

HRVATSKA U EUREF'94 I PROJEKT CRODYN

Krešimir ČOLIĆ¹, Tomislav BAŠIĆ¹, Hermann SEEGER², Branimir GOJČETA³,
Yuksel ALTINER³, Ljerka RAŠIĆ³, Zlatko MEDIĆ², Boško PRIBIČEVIĆ¹,
Damir MEDAK¹, Marijan MARJANOVIĆ³ i Eduard PRELOGOVIĆ⁴

SAŽETAK. U radu se najprije iznose osnovne informacije o namjeni, nastanku i proširenju jedinstvenog europskog prostornog koordinatnog sustava EUREF. Potom se izvješćuje o GPS-kampanji EUREF 1994 – Hrvatska i Slovenija i o tada postignutim izvršnim rezultatima u okviru ITRF89 i srodnog ETRS89. Zatim se prvi put informira o pokretanju Hrvatskoga geodinamičkog projekta, pri čemu se interdisciplinarna znanstvena zasnovanost bazira u prvom redu na postojanju famozne jadranske mikroploče, te iznose osnovni elementi izvedenih GPS-mjerenja u sklopu njegove prve faze – CRODYN'94. Na kraju ovoga rada nalaze se neke važne konstatacije za daljnju svrsishodnu primjenu GPS-tehnologije na hrvatskom teritoriju.

1. UVODNE NAPOMENE

U godini 1994. obavljene su dvije GPS-kampanje na teritoriju Republike Hrvatske u realizaciji Državne geodetske uprave uz suradnju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i potporu njemačkog Instituta za primijenjenu geodeziju (IfAG). Upravo je prva od njih omogućila uvrštavanje Republike Hrvatske, ali ujedno i Republike Slovenije, u jedinstveni europski koordinatni sustav EUREF. Na nju se vremenski neposredno nadovezala druga GPS-kampanja u svrhu geodinamičkih istraživanja uz hrvatsku obalu Jadranskog mora.

Od 26. kolovoza do 13. rujna 1996. ostvarena je velika državna GPS-kampanja CROREF'96 – CRODYN'96, koja se s oko 80 GPS-točaka proteže preko cijelog područja Republike Hrvatske, osim do tada još nepristupačnog dijela istočne Hrvatske. Tu je GPS-kampanju, najveću tijekom 1996. u Europi, izvela Državna geodetska uprava opet u suradnji s Geodetskim fakultetom i u okviru međunarodne suradnje s IfAG-om iz Frankfurta na Majni, kao stalnog voditelja projekta EUREF, o kojem godišnje izvješćuje CERCO te EUREF-simpozije. U IfAG-u je obrada podataka tih GPS-mjerenja podmakla i bit će dovršena do polovice 1997. (Lj. Rašić i M. Marjanović).

¹ Akademik Krešimir Čolić, prof.dr.sc. Tomislav Bašić, Boško Pribičević, dipl.ing.geod. i Damir Medak, dipl.ing.geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26.

² Prof.Dr.-Ing. Hermann Seeger, Dr.-Ing. Yuksel Altiner, Ljerka Rašić, dipl.ing.geod., Marijan Marjanović, dipl.ing.geod., Institut für Angewandte Geodäsie, Richard-Strauß-Allee 11, 6 000 Frankfurt/Main 70, Njemačka.

³ Branimir Gojčeta, dipl.ing.geod. i Zlatko Medić, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Zagreb, Gruška 20.

⁴ Prof.dr.sc. Eduard Prelogović, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottieva 6.

Ravnatelj DGU je inicirao nastavak toga projekta proglašavanja polja GPS–točaka već tijekom 1995. godine, ali uslijed objektivnih razloga koji su potom uslijedili to nije bilo moguće. Stoga se inozemni partner sa svojim uređajima zadržao na području Republike Slovenije, gdje je ostvarena velika GPS-kampanja pod nazivom SLOVENIJA'95. Tom su prigodom na području Republike Hrvatske ipak izvedena GPS-mjerenja na 12 triangulacijskih točaka I. reda uz granicu prema Sloveniji i osloničkim EUREF-točkama Pula i Novoselsko brdo, te na nekoliko dodatnih GPS-točaka u Istri i na GTŠ (Geodetska tehnička škola) u Zagrebu. To je ostvareno s hrvatskim GPS-prijamnicima i manjim dijelom sa slovenskim, a hrvatski je dio kampanje popraćen nazivom CROREF'95.

Obje navedene GPS-kampanje iz 1995. i 1996. sasvim su se oslonile na prethodnu kampanju EUREF'94, čiji su izvanredni rezultati objavljeni u članku (Altiner, Čolić et al. 1995), i to u posebnoj EUREF-publikaciji čuvene serije izdanja Bavarske komisije za međunarodnu izmjeru Zemlje pri Bavarskoj akademiji znanosti u Münchenu.

S obzirom na izloženo očigledna je potreba da se ovim člankom u "Geodetskom listu" hrvatska znanstvena i stručna javnost podrobnije izvjesti (s opravdano većim brojem koautora!) o provedbi polazne i prijelomne GPS-kampanje EUREF'94 na hrvatskom teritoriju. Zbog ograničenosti prostora nema mjesta za podjednako navođenje tada također postavljenih GPS-točaka u Sloveniji, pogotovo što je sada nužno objaviti i osnovne informacije o namjeni i postanku jedinstvenog europskog prostornog koordinatnog sustava EUREF. Uz to ovdje moramo prvi put, barem ukratko, izvjestiti o znanstvenoj opravdanosti značajnoga Hrvatskoga geodinamičkog projekta i o provedbi njegove prve faze CRODYN'94. Njezini će se rezultati izložiti ipak kasnije, najbolje u kombinaciji s korespondentnim rezultatima iz proširene druge faze – CRODYN'96 (s dodatnim GPS-točkama, također u Italiji i Albaniji).

2. JEDINSTVENI EUROPSKI PROSTORNI KOORDINATNI SUSTAV

2.1. Uspostavljanje EUREF'89 i njegova proširenja

Međunarodna asocijacija za geodeziju (IAG – Internacional Association of Geodesy) osnovala je u kolovozu 1987. potkomisiju EUREF (European Reference Frame), a u rujnu iste godine Europsko povjerenstvo nadležno za službenu kartografiju (CERCO – Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle) uspostavlja Radnu grupu VIII. Objе se ubrzo složiše da osnova za međunarodne zadatke digitalne kartografije, za navigaciju na kopnu, moru i u zraku, te kao baza potrebna za rješavanje problema iz područja geodinamike (kinematika i dinamika planeta Zemlje) mora biti jedinstveni europski koordinatni sustav, koji koristi GPS – Global Positioning System (Globalni pozicijski sustav) s njegovim bazičnim elipsoidom WGS84.

Iako se predkampanjama isprobala mogućnost samostalne GPS-primjene za uspostavu takve mreže s europskim protezanjem (EUNAV – GPS 1988), ipak su se najprije željeli iskoristiti rezultati raspoloživih svemirskih tehnika (SLR-Satellite Laser Ranging, VLBI-Very Long Baseline Interferometry) na postojećim opservatorijima u Europi.

Zbog toga je kao osnova uzet ITRF (International Terrestrial Reference Frame), što ga je preko cijele Zemlje uspostavio poznati IERS (International Earth Rotation Service). ITRF obuhvaća oko 190 globalno preko cijele Zemlje raspoređenih stanica, čije su geocentrične koordinate određene pomoću visokopreciznih svemirskih tehnika SLR, VLBI i ponešto GPS-točaka. Međutim, skupljanjem podataka s ITRF–stanica dolazilo se do stalno novih spoznaja o ponašanju Zemljinih tektonskih (litosfernih) ploča, vidi ovdje također poglavlje 4.1. Stoga su nastajala godišnja izračunavanja popisa koordinata, što su nosili oznaku svake konkretne godine, pa je dogovoreno da je ishodišno prihvaćeni ITRF89 određen za početak godine 1989 (1989.0).

Na temelju europskih ciljeva EUREF-podkomisija je odlučila da se jedinstveni europski koordinatni sustav poveže samo sa stabilnim europskim dijelom euroazijske litosferne ploče, kako bi se izbjegla nužnost uzimanja u obzir promjena uzrokovanih godišnjim iznosima pomaka postojećih mikroploča. Tako je definiran pod internacionalnom oznakom novi ETRS89 (European Terrestrial Reference System), prostorno ograničen na Europu i vremenski fiksiran na epohu 1989.0. Kako je u zapadnoj Europi 17 stanica iz ITRF89 činilo osnovu za uspostavljanje ETRS89, one su proširene za još 6 stanica u okviru mobilne VLBI-kampanje 1989, koju je poduzeo IfAG s mobilnim radioteleskopom posuđenim iz SAD, (Seeger 1993).

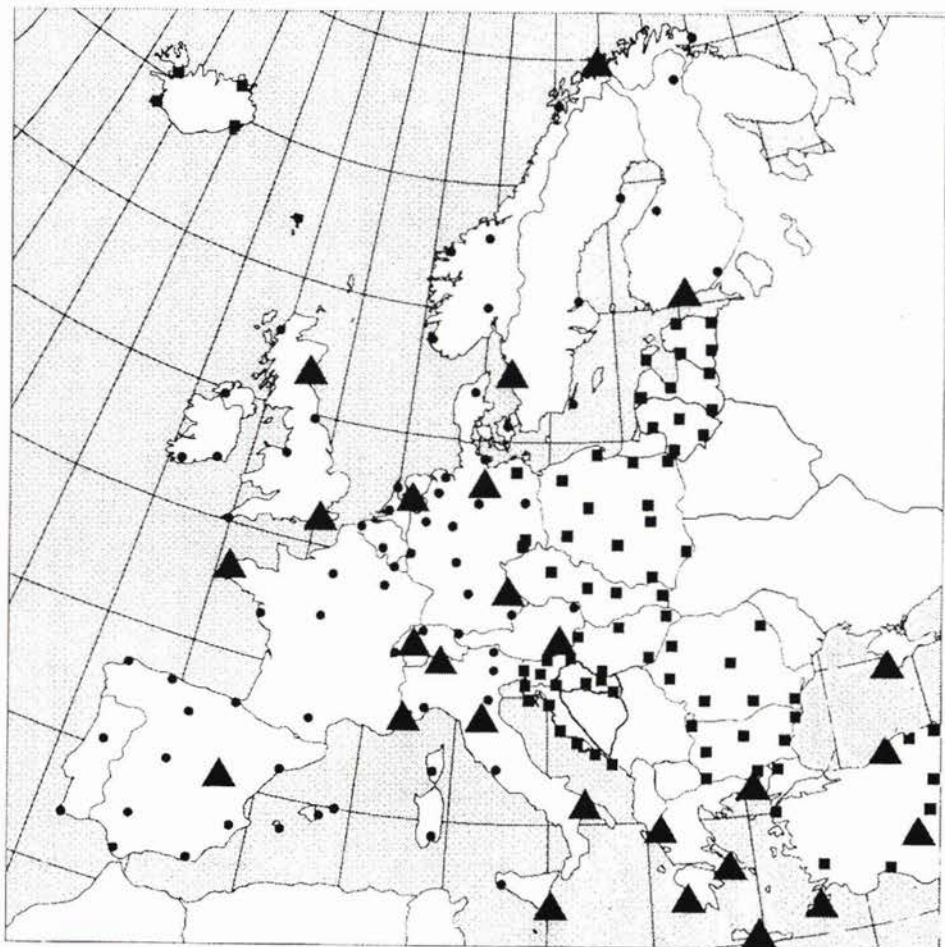
Ni 23 zapadnoeuropske SLR- i VLBI-stanice nisu zadovoljile postavljenim zahtjevima da se postojeće nacionalne mreže osnovnih geodetskih točaka (triangulacija i nivelman) uspješno prevedu u novi referentni europski sustav, jer su za to potrebne minimalno po 3 identične stanice za svaki od nacionalnih referentnih sustava. Rukovodeće EUREF-tijelo je prema izraženim potrebama zapadnih i južnih europskih država usvojilo broj od 78 proglašujućih GPS-točaka, što zajedno s već postojećim ETRS-stanicama čini polje od čak 93 stajališta u projektu EUREF'89. Dobivena unutrašnja točnost za SLR- i VLBI-stanice je 13-23mm po X, Y, Z, a izjednačenje s dodatnim GPS-točkama (na prosječnoj udaljenosti oko 200km) daje točnost čak unutar 1 cm, (Seeger i dr. 1992).

Rezultati GPS-kampanje potvrđeni su od EUREF-komisije i zatim objavljeni pod nazivom "EUREF'89", što vodi na ETRS89. Treba zapaziti da engleski naziv "Reference Frame" (referentni okvir) označava stvarnu realizaciju nekog referentnog sustava ("Reference System") pomoću konkretnog polja stalnih geodetskih opažajkih točaka. Dodatno je prihvaćeno da se kao referentna ploha upotrebljava elipsoid GRS80, koji se samo beznačajno razlikuje od elipsoida WGS84, imajući istu veliku poluos a i gotovo podjednaku spljoštenost f . Za obradu GPS-podataka u EUREF-kampanjama odabran je isključivo Bernese softver sa Sveučilišta u Bernu. Također je odlučeno da se svi registrirani mjerni podaci moraju iz uporabnih formata raznih vrsta dvofaznih prijemnika prethodno prevesti u standardni RINEX-format.

U jesen 1989. proizašli su kao posljedica političkih promjena u istočnoj Europi novi aspekti za EUREF, kako bi se i istočnoeuropske države mogle uključiti u taj novi europski referentni sustav. Počelo je s GPS-kampanjom SEG AU u bivšoj DDR (studeni 1990.), pa se sve više država priključivalo na EUREF, a korištenje prethodnih referentnih EUREF-točaka jamčilo je održanje homogenosti cijele mreže. Uslijedila su daljna proširenja EUREF'89, ali je u ujedinjenoj Njemačkoj prije bila (travanj 1990.) velika nacionalna GPS-kampanja DREF'91 sa 109 stanica. Slijedi projekt CIGNET kao globalna permanentna opažajka služba s početnom 21 stanicom za točno određivanje putanje GPS-satelita, a onda nekoliko europskih geodinamičnih projekata. Od državnih GPS-kampanja realizirani su: EUREF OST'91 (Čehoslovačka i Mađarska), EUREF POL'92 (Poljska), EUREF BAL'92 (Letonija, Litva i Estonija), EUREF BUL'92 (Bugarska). GPS-mreža Cipra bila je 1993., a Rumunjska u 1994., (Seeger 1993), kada je ostvaren i EUREF'94 – Hrvatska i Slovenija. Tadašnje stanje pokazuje slika 2.1.1 (trokutići = SLR i VLBI-stanice, točkice = EUREF'89, kvadratići = EUREF'90 – '94).

Tako uspostavljena mreža točaka u EUREF bila je kasnije baza za proglašivanja nacionalnih geodetskih GPS-mreža, (Seeger 1993), (Schödlbauer 1993) i dr.

Može se postaviti pitanje zašto kao podloga za primjenu GPS-a nije uzet WGS84 (World Geodetic System 1984), jer se putanje GPS-satelita izračunavaju na bazi toga sustava i stavljaju na raspolaganje kao sastavni dio GPS-signalu. Odgovor je u činjenici da WGS84 određen iz manje točnih doplerovskih mjerenja ima ograničenu unutrašnju točnost 1-2m. Osim toga većina je kontrolnih stanica te mreže vojno senzibilna, te nisu široko dostupne da bi se mogle upotrebljavati kao povezujuće točke jedinstvenoga geodetskog referentnog sustava. Uz to se smještaj WGS84 podudara s ETRS89 na 1 do 2 m, dok unutrašnja točnost ETRS89 iznosi već sjajnih 4-5 cm. Tako možemo ETRS89 shvatiti kao precizni europski "geodetski datum", premda već postoji noviji i točniji ETRS94, kako se navodi npr. u (Erker, Höggerl 1996).



Slika 2.1.1. EUREF-mreža 1989.-1994.

2.2. EUREF'94 i ulazak Republike Hrvatske u ETRS89

Prvi koraci za priključenje Hrvatske u EUREF-projekt poduzeti su nakon primitka mlade hrvatske države u Ujedinjene narode početkom 1992. Još je trebalo realizirati prije planirane GPS-kampanje u zemljama bivšeg istočnog bloka, pa se tek u ljeto 1993. uputio u IfAG prvoimenovani autor ovog članka u funkciji domaćeg voditelja projekta (zamjenik profesor Bašić). U prijateljskoj razmjeni mišljenja s trećenavedenim autorom postavljeni su temelji za GPS-kampanju u Republici Hrvatskoj i Republici Sloveniji pod nazivom EUREF'94, što su predložili četvrtonavedenom autoru.

U jesen 1993. održan je prvi dogovorni hrvatsko-slovenski sastanak u Državnoj geodetskoj upravi u Zagrebu, a potom sastanak u širem sastavu u Ljubljani početkom 1994. dakako uz nezaobilaznu nazočnost i potpunu suglasnost direktora IfAG-a. Definitivno je prihvaćeno uspostavljanje ukupno 15 osnovnih GPS-točaka za koje su odabrani trigonometri I. reda, i to 10 točaka na hrvatskom i 5 točaka na slovenskom po-

dručju. Slovenski su stručnjaci naknadno uvrstili još 3 točke s njihovim GPS-uređajima (označene plavom bojom ili zvjezdicom), slika 2.2.1 i tablica 2.2.1.

U tu EUREF'94 GPS-kampanju osim navedenih 18 polaznih GPS-stajališta bile su uključene – uz austrijsku željenu permanentnu GPS-točku Reisseck (H=2 287m), koja je sudjelovala u ranijem GPS-projektu MICROPLATE 1993 – još i 3 minimalno potrebne referentne IGS-stanice: Wettzell (Njemačka), Graz (Austrija) i Matera (Italija), (Altiner i dr. 1995.). Istodobna se opažalo na stanici Askites, koja ne pripada mreži stanica Međunarodne GPS-službe za geodinamiku IGS (International GPS Service for Geodynamic), pa zato nije ušla u obradu podataka.

Izvršen je izbor točaka koji je morao zadovoljiti kriterije jednakih međusobnih udaljenosti i ravnomjernog površinskog pokrivanja, napose na čitavom području Republike Hrvatske. Tu je došla do izražaja tadašnja teška situacija, radi egzistencija UNPA-zona i nemogućnosti pristupa nekim trigonometrima I. reda na terenu. Ipak, s postignutim rasporedom EUREF'94 točaka možemo biti sasvim zadovoljniji, pogotovo što na



Slika 2.2.1. Prikaz rasporeda EUREF'94 točaka u Hrvatskoj i Sloveniji

hrvatskom području međusobna udaljenost tih 10 GPS-točaka iznosi u prosjeku 95 km, tj. manje od 100 km. Maksimalna im udaljenost dostiže tek 120 km, i to samo za dva para trigonometara I. reda: Brusnik-Šatorina i Šatorina-Žirje, slika 2.2.1, te tablica 2.2.1. (prema (Altiner i dr. 1995), plus stupac za nadmorske visine točaka).

Osim toga razlika je njihovih nadmorskih visina od gotovo minimalnih 32m (Pula) do maksimalnih 1624m (Šatorina), a i raspored tih točaka u Sloveniji je blizu optimuma, tablica 2.2.1 (* pridodane slovenske točke bez rednih EUREF-brojeva).

Trigonometrijska točka I. reda		EUREF broj	Geodetske koordinate		Nadmorska visina (m)
broj	ime		B	L	
402	Donji Miholjac	0725	45° 45'	18° 09'	98
391	Novoselsko brdo	0726	45° 35'	17° 06'	185
384	Brusnik	0727	45° 34'	15° 34'	226
362	Gradište	0728	45° 09'	18° 43'	103
187	Pula	0729	44° 51'	13° 51'	32
286	Šatorina	0730	44° 38'	15° 03'	1624
302	Žirje	0731	43° 39'	15° 38'	117
305	Sveti Nikola	0732	43° 08'	16° 36'	626
312	Sveti Ivan	0733	42° 52'	17° 27'	470
322	Ilin vrh	0734	42° 29'	18° 23'	561
388	Lendavske gorice	0720	46° 33'	16° 28'	351
372	Velika kopa	0721	46° 30'	15° 11'	1542
173	Kucelj	0722	45° 59'	14° 44'	749
518	Korada	0723	46° 03'	13° 33'	813
180	Malija	0724	45° 30'	13° 38'	278
175	Snežnik*	0175	45° 35'	14° 26'	1798
214	Donačka gora*	0214	46° 15'	15° 44'	884
163	Golica*	0516	46° 29'	14° 03'	1834

Tablica 2.2.1. Pregledni podaci točaka u EUREF'94 – Hrvatska i Slovenija

Uz to će se u vremenski neposredno nastavljenoj GPS-kampanji CRODYN'94 pokazati vrlo značajnom i činjenica da je u Hrvatskoj čak 5 EUREF'94-točaka smješteno neposredno uz obalu Jadranskog mora.

Nešto prije početka kampanje u Hrvatsku je iz IfAG-a poslan kolega Frank Töppe s dva GPS-prijamnika, s kojima su izvršena provjeravanja neometanog prijama GPS-signala na točkama mreže (sudjelovali Čolić, Bašić, Pribičević, Medak). Nakon terenskog obilaska i probnih mjerenja, utvrđeno je da sve točke zadovoljavaju uvjete za nesmetana GPS-opažanja.

Valja napomenuti da do tog trenutka u Hrvatskoj nije postojao ni jedan GPS-prijamnik tvrtke Trimble⁵. Ravnatelj DGU B. Gojčeta je formirao tim koji je vodio i bio odgovoran za cijelu kampanju, s time da su se neki – zbog drugih obveza – sami isključili iz projekta. U logistici mu je pomagao Z. Medić, a ostali su se članovi hrvatskog tima maksimalno angažirali, dok je prema dogovoru direktor IfAG-a poslao po jednog eksperta za svaku GPS-točku; predvodio ih je Y. Altiner, dipl.ing.geod.

Opažanja su izvršena GPS-prijamnicima tvrtke Trimble model 4000SSE, oni su dvofrekventni, devetkanalni prijamnici koji su upotrijebljeni na svim GPS-točkama u sklopu projekta EUREF'94. U pravilu su korištene antene Trimble 4000 ST L1/L2 GEOD, osim na trima točkama u Hrvatskoj (Novoselsko brdo, Gradište i Ilin vrh), gdje su bile postavljene Trimble Geodetic L1/L2 kompaktne antene.

Opažanja su na ukupno 22 točke u projektu EUREF'94 izvršena od 30. svibnja do 3. lipnja 1994, a 4 serije su pojedinačno trajale po 24 sata. Svaka je "sesija" počinjala u 9,00 UT (ili u 11,00 po lokalnom vremenu) i završavala u 9,00 UT idućeg dana, s potrebnih oko 20 minuta za prijenos podataka iz memorije prijamnika u terensko računalo na svakoj stajališnoj točki. Registrirana GPS-mjerenja imala su elevacijsku masku (najmanji vertikalni kut iznad horizonta stajališta antene) od 15 stupnjeva i intervali registracije podataka trajali su po 15 sekundi, što su standardni elementi u svim EUREF-kampanjama.

Zbog ondašnje neiskusnosti naših stručnjaka, njemački je partner za sve voditelje ekipa imenovao eksperte IfAG-a (uvrstivši također Lj. Rašić i M. Marjanovića), te je tijekom kampanje kroz prijateljski pristup provedena edukacija naših stručnjaka, koji su u sljedećim godinama bili jezgra ekipa u svima u nas poduzetim GPS-kampanjama. U kampanji EUREF'94 su u Hrvatskoj uz istraživače s Geodetskog fakulteta u Zagrebu sudjelovali i stručnjaci vodećih geodetskih tvrtki, i to: Zavoda za fotogrametriju Zagreb, Geodetskog zavoda Split i Geodetskog zavoda Rijeka. To je bilo nedovoljno ljudi za sastav ekipa i logističku potporu na terenu, pa su uključeni službenici onih ureda za katastar koji su u blizini opažanih točaka i sudionici u "GPS-test-mreži Zagreb'94", ostvarenoj s čuvanim rezervnim Trimble prijamnikom.

Mjerne grupe na slovenskim GPS-točkama imale su više sreće s vremenskim uvjetima, a na hrvatskom je tlu jedino helikopterom transportirana terenska ekipa na visokom velebitskom vrhu Šatorina imala tijekom prve sesije ozbiljan prekid u registraciji mjerenja zbog jakog nevremena. Na svim su se ostalim zaposjednutim hrvatskim trigonometrijskim točkama I. reda pojavile samo male smetnje, koje su registracije GPS-mjerenja tek ponegdje omele do 2 sata trajanja. Međutim, sve to nije utjecalo na iznimno visoku kakvoću cjelokupne GPS-kampanje u Hrvatskoj i Sloveniji.

3. OBRADA GPS-PODATAKA ZA EUREF'94 – HRVATSKA I SLOVENIJA

3.1. *Prevođenje mjernih GPS-podataka u potrebni format i određivanje orbita satelita*

Terenskim GPS-mjerenjima dobiveni su tzv. sirovi podaci u binarnom kodu te je prvi korak u numeričkoj obradi bio prevođenje tih podataka u općenito čitljivi RINEX format (ASCII kod), koji je neovisan o tipu prijamnika (Receiver INdependent EXchange Format). Pri tome su kontrolirane u prijamnik unesene visine antena sa stanjem u zapisnicima, te koso mjerene visine reducirane na vertikalne vrijednosti. Potom je bilo potrebno prevođenje RINEX formata u Bernese softveru prepoznatljivi Bernese format. Tek s tako pripremljenim podacima mjerenja mogla je početi obrada podataka Bernese softverom, verzija 4.0 (izvršitelj Lj. Rašić).

⁵ Postojala su tada tri GPS-prijamnika Ashtech na Geodetskom fakultetu, s njima se radilo pod vodstvom prof.dr.sc. M. Solarčića i prof.dr.sc. A. Bilajbegovića, vidi (Solarčić et al. 1996).

U postupku obrade podataka mjerenja najprije je izvršeno pročišćavanje kodnih mjerenja od mjerenja s grubim pogreškama (outliers). Pri tome su podaci prezentirani pomoću polinoma drugog stupnja s vremenskim razmakom od 10 minuta. Velika odstupanja mjerenja (po kriteriju trostruke a priori sigme) markirana su i nisu bila upotrijebljena u daljnjoj obradi podataka.

Sljedeći je korak bio prvo određivanje koordinata točaka u WGS84 pomoću kodnih mjerenja i L3 frekvencije, te određivanje parametara sata prijamnika za svaku točku i svaku sesiju. Zatim je izvršeno formiranje bazisnih linija iz faznih mjerenja. Pošto su mjerenja na svim točkama provedena pod jednakim uvjetima (isto vrijeme opažanja), nije trebalo manualno graditi bazisne linije, nego je to napravljeno automatski, metodom najkraćih udaljenosti. Tzv. single difference su građene iz istovrsnih faznih mjerenja dvaju različitih prijamnika, te je uslijedilo pročišćavanje loših faznih mjerenja i otkrivanje tzv. cycle slipsa, i to prvo L1 i L2 frekvencije, a potom linearna kombinacija tih dviju frekvencija L3. Pri tome su pronađeni cycle slipsi (diskontinuiteti) uvedeni kao korekture u odgovarajuće datoteke mjerenja, a koordinate točaka dobivene tim postupkom su ušle kao a priori dane koordinate u izjednačenje.

Pretraživanjem broadcast-efemerida otklonjene su sve velike pogreške u parametrima (npr. odstupanja putanje elipse od nekoliko kilometara). Pri tome mogu biti otkriveni i mogući manevri satelita. Broadcast-efemeride pročišćene u ovom koraku bile su potrebne za određivanje parametara sata prijamnika, jer sadrže informacije o parametrima sata za svaki pojedini satelit.

Pri obradi podataka, a napose pri izjednačenju mreže, osobitu važnost ima standardna orbita. U tu svrhu korištene su precizne efemeride koje daje "Center for Orbit Determination in Europe", tzv. CODE-orbita u ITRF92 sustavu. Od svakog CODE-filea (jedan dan jedan file) napravljene su datoteke s elementima putanje pojedinog satelita u tabelarnoj formi, potrebne za standardnu orbitu. Iz tih datoteka proizvedena je standardna orbita, i to tako da je za svaku sesiju definiran poseban luk putanje (ukupno 4 putanje za cijelu kampanju).

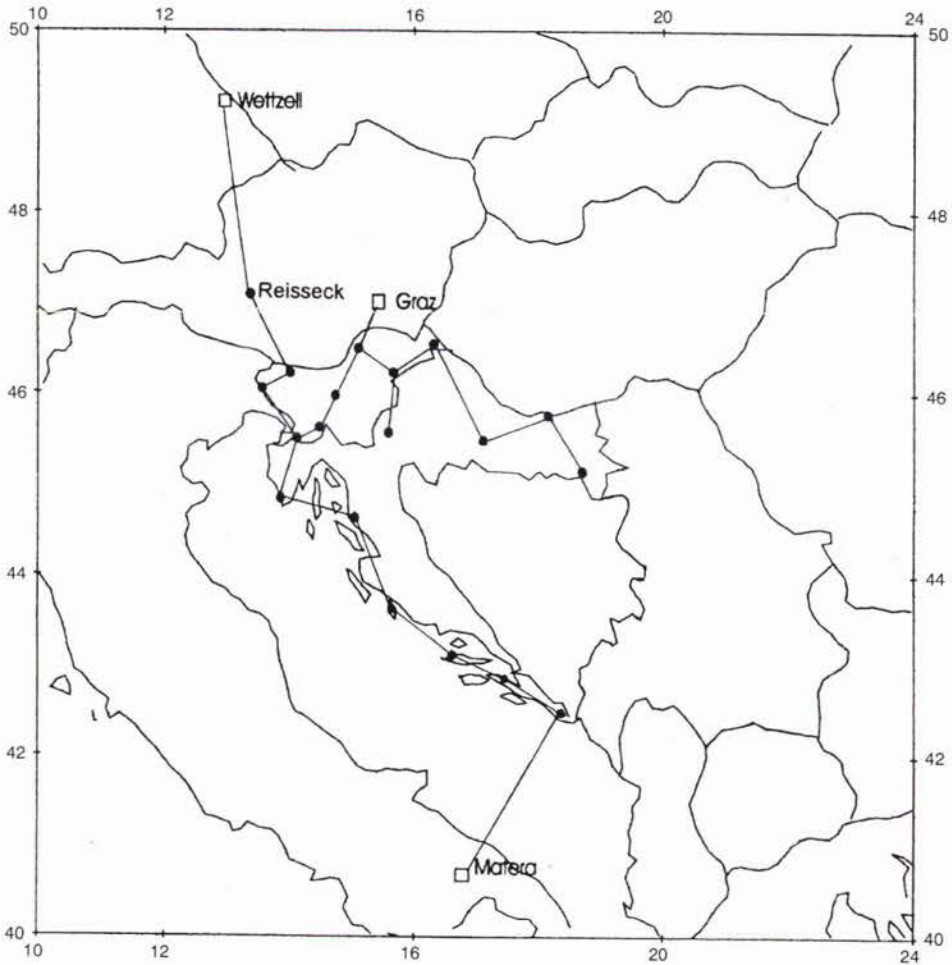
Od 1. siječnja 1994. godine stoji također na raspolaganju IGS-orbita, tj. precizne efemeride u koordinatnom sustavu ITRF92, izračunane u "IGS Analysis Center Workshop" u Ottawi na osnovi 13 točaka raspoređenih po svim kontinentima. Usporedbe radi provedeno je izjednačenje i sa IGS-orbitom, te je utvrđeno da se IGS-orbite i CODE-orbite za područje Hrvatske i Slovenije iznimno dobro slažu! Razlike koordinata dobivenih korištenjem tih dviju orbita očituje se na rezultatu visina točaka, a one se razlikuju samo 1 do 2 mm (a tek na dvije točke dosežu 3 mm).

3.2. Izjednačenje GPS-opažanja EUREF'94 i transformacija koordinata iz ITRF92 u ETRS89

Tek nakon izvršenih predradnji započelo je izjednačenje mreže, provedeno u tri stupnja. Najprije je izvedeno izjednačenje pojedinih bazisnih linija rješavanjem tzv. ambiguitija (višeznačnosti) tako da su utvrđeni L5 ambiguiti, za koje je potreban model ionosfere proizveden iz faznih mjerenja, pa onda iz njih L1 i L2 ambiguiti. Potom je pojedina bazisna linija riješena ponovno L3 frekvencijom radi eliminacije utjecaja ionosfere. Kako duljine bazisnih linija nisu bile velike, nije bilo većih problema pri rješavanju ambiguitija (višeznačnosti). Usporedbom koordinata dobivenih izjednačenjem pojedinačnih bazisnih linija proizlazi razlika od samo nekoliko milimetara za pojedine dane, što je dokaz da nema grubih pogrešaka.

Drugi je korak bio izjednačenje rješenja svih bazisnih linija za pojedine dane. Usporedbom dnevnih rješenja dobivena je točnost od samo nekoliko milimetara u položaju, do gotovo 1cm u visini. Manja točnost u određivanju elipsoidnih (geodetskih) visina točaka dolazi zbog još uvijek neriješenog problema troposfere, a i zbog velikih razlika u visini točaka (od 32m Pula do čak 2379m Reissek), tablica 2.2.1.

I na kraju, definitivno je rješenje za konačne koordinate 18 GPS-točaka dobiveno kombiniranjem svih mjerenja, tj. izjednačenjem svih bazisnih linija za sve dane. To je rješenje dobiveno uz korištenje CODE-orbita i uz transformirane koordinate čvrstih točaka u ITRF92 sustav za epohu mjerenja 1994.4, tako da budu u istom sustavu i epohi kao orbita. Kao čvrste točke uzete su tri Hrvatskoj i Sloveniji bliske IGS-točke: Graz (Austrija), Wettzell (Njemačka) i Matera (Italija), kako je zorno prikazano na slici 3.2.1.



Slika 3.2.1. Povezanost pojedinih EUREF'94-točaka s IGS-točkama

Transformacija koordinata iz ITRF92 (1988.0) u ITRF92 (1994.4), rezultati koje su dani u tablici 3.2.1. izvedena je po formuli (1):

$$T_{(1994.4)} = T_{(1988.0)} + v \cdot (1994.4 - 1988.0) \quad (1)$$

pri čemu su: T-geocentričke koordinate X, Y, Z; v – vektori pomaka IGS-točaka. U tablici 3.2.1. dani su dobiveni rezultati.

Točka	ITREF92 (1988.0)			Vektori pomaka			ITRF92 (1994.4)			
	X (m)	Y (m)	Z (m)	V_x (m/god)	V_y (m/god)	V_z (m/god)	X (m)	Y (m)	Z (m)	
	Graz	4194424.122	1162702.404	4647245.219	-0.0190	0.0176	0.0094	4194424.000	1162702.517	4647245.279
	GPS GRAZ – Rogue									
Wetzell	4075530.046	931781.267	4801618.210	-0.0169	0.0161	0.0092	4075529.938	931781.370	4801618.269	
SLR 7834										
Matera	4641949.890	1393045.111	4133287.191	-0.0217	0.0171	0.0119	4641949.751	1393045.220	4133287.267	
GPS MATE – Rogue										

Tablica 3.2.1. Koordinate referentnih IGS-točaka u ITRF92 sustavu za epohu 1988.0 i 1994.0

Ekscentricitete Trimble-stajališta nasuprot VLBI- ili SLR-točaka, čije su koordinate poznate u ITRF92, nudi tablica 3.2.2.

Koordinate i vektori pomaka IGS-točaka u ITRF92 za epohu 1988, preuzeti su iz "IERS Annual Report 1992".

Ime točke GPS-ekscentar	Ime točke centar	Geocentrični ekscentriciteti Centar – GPS ekscentar			izvor
		dX (m)	dY (m)	dZ (m)	
Graz GRAA TRIMBLE	Graz GPS GRAZ ROGUE	1.464	-0.539	-3.603	(1)
Wetzell 1201 TRIMBLE	Wetzell 7834 SLR	-47.734	-73.869	48.088	(2)
Matera TRIMBLE	Matera GPS MATE ROGUE	26.919	51.067	5.567	(3)

Tablica 3.2.2. Ekscentriciteti TRIMBLE IGS-točaka

Tu su oznake za: (1) Institut for Space Research, ÖAW, P. Pesec; (2) IfAG, W. Schlüter; (3) Telespazio, Centro Spaziale di Matera, M. Poggi.

Slijedi tablica 3.2.4. koja daje usporedbu razlike dnevnih rješenja i kombiniranog rješenja. Tu su s obzirom na četiri serije mjerenja naznačena četiri dana u godini: 150, 151, 152 i 153, te su navedene ukupne vrijednosti za rms po geodetskim (elipsoidnim) koordinatama B, L i H. Iz svega je vidljivo da su rezultati takvi da se ova GPS-mreža može ubrojiti u najtočnije mreže u sklopu cijelog EUREF-a.

EUREF-točka	Koordinata	RMS m	Dani			
			150 m	151 m	152 m	153 m
Donji Miholjac 0725	B	0.002	0.003	-0.001	-0.001	-0.002
	L	0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.002
	H	0.012	0.007	-0.014	0.012	-0.005
Novoselsko brdo 0726	B	0.002	0.003	-0.001	-0.001	-0.001
	L	0.001	0.000	0.001	-0.001	0.001
	H	0.009	0.004	-0.010	0.011	-0.005
Brusnik 0727	B	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.001
	L	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
	H	0.008	0.001	-0.007	0.011	-0.005
Gradište 0728	B	0.002	0.003	0.001	-0.001	-0.003
	L	0.002	-0.001	0.000	-0.002	0.003
	H	0.009	-0.003	-0.009	0.013	-0.001
Pula 0729	B	0.001	0.001	-0.001	0.000	0.000
	L	0.003	0.001	0.001	0.002	-0.004
	H	0.014	0.007	-0.012	0.016	-0.011
Šatorina 0730	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	L	0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.001
	H	0.012	0.000	-0.009	0.017	-0.008
Žirje 0731	B	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.001
	L	0.001	0.000	0.001	-0.001	0.000
	H	0.011	-0.001	-0.010	0.015	-0.004
Sveti Nikola 0732	B	0.002	0.000	-0.002	0.003	-0.001
	L	0.002	-0.001	0.002	-0.002	0.001
	H	0.017	-0.012	-0.011	0.024	-0.001
Sveti Ivan 0733	B	0.003	0.001	-0.003	0.003	-0.001
	L	0.004	0.006	-0.002	-0.004	0.000
	H	0.013	-0.013	-0.002	0.018	-0.002
Ilin vrh 0734	B	0.002	-0.001	0.001	0.002	-0.002
	L	0.002	0.001	-0.001	-0.002	0.002
	H	0.015	-0.013	-0.008	0.021	0.000

Tablica 3.2.4. Odstupanja pojedinih dnevnih rješenja od definitivnog rješenja

Dobivenu izvrsnu ukupnu ocjenu točnosti pokazuje tablica 3.2.5, s time da je i ovdje točnost visina H objektivno niža u odnosu na točnost horizontalnih koordinata.

RMS (B) m	RMS (L) m	RMS (H) m
0.002	0.002	0.011

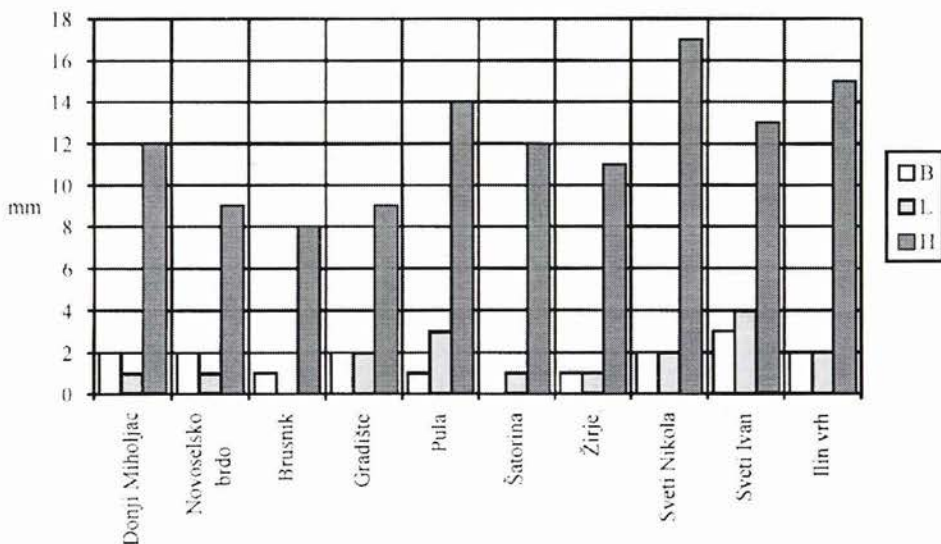
Tablica 3.2.5. Srednje kvadratne pogreške koordinata za sve točke

Srednja kvadratna pogreška svih 18 GPS-točaka u EUREF'94 izračunana je prema sljedećoj formuli:

$$\text{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1, u}^{i=1, n} v v_{ij}}{u(n-1)}}, \quad (2)$$

pri tome je: n – ukupan broj sesija, u – ukupan broj točaka, v – odstupanje dnevnog od kombiniranog rješenja.

Na slici 3.2.6. je grafikon vrijednosti rms (root mean square) po sve tri koordinate za svaku EUREF'94 točku na hrvatskom području, uz napomenu da su manje-više podjednake točnosti postignute i za svih 8 točaka na slovenskom teritoriju.



Slika 3.2.6. Grafikon srednje kvadratne pogreške za 10 osnovnih EUREF'94 točaka u Hrvatskoj

Treba još napomenuti da je u izjednačenju upotrebljen uobičajeni standardni model troposfere po SAASTAMOINEN-u, te je svaka dva sata bio uveden novi parametar troposfere po točki i danu. Upotrebom L3 frekvencije eliminiran je najvećim dijelom utjecaj ionosfere.

Koordinate čvrstih točaka i orbita su u ITRF92 sustavu za epohu mjerenja 1994.4, pa su i koordinate točaka dobivene provedenim izjednačenjem EUREF'94-mreže također u ITRF92. One su kao takve morale biti transformirane u ETRS89 epoha 1989.0, tj. u definirani jedinstveni europski koordinatni sustav za sve EUREF-točke neovisno o kampanji i vremenu mjerenja.

EUREF-točka	ITRF92 (1994.4)			
	Koordinate	RMS (m)	Koordinate	RMS (m)
	X (m)	X	B	B
	Y (m)	Y	L	L
Z (m)	Z	H (m)	H	
Donji Miholjac 0725	4 235 413.274	0.0004	45° 45' 39.96518''	0.0001
	1 389 394.764	0.0001	18° 09' 42.04537''	0.0001
	4 546 864.221	0.0004	142.291	0.0006
Novoselsko brdo 0726	4 273 227.790	0.0004	45° 35' 35.93772''	0.0001
	1 314 661.960	0.0001	17° 06' 02.00361''	0.0001
	4 533 896.961	0.0004	230.113	0.0006
Brusnik 0727	4 307 965.924	0.0004	45° 34' 42.90345''	0.0001
	1 200 393.243	0.0001	15° 34' 12.82977''	0.0001
	4 532 778.767	0.0004	268.920	0.0006
Gradište 0728	4 267 436.791	0.0004	45° 09' 14.21832''	0.0001
	1 445 417.756	0.0001	18° 42' 42.06630''	0.0001
	4 499 533.509	0.0004	146.031	0.0006
Pula 0729	4 396 623.890	0.0004	44° 51' 55.76722''	0.0001
	1 083 670.751	0.0001	13° 50' 46.16666''	0.0001
	4 476 822.910	0.0004	80.478	0.0006
Šatorina 0730	4 390 466.113	0.0004	44° 38' 51.68002''	0.0001
	1 180 403.492	0.0001	15° 02' 54.78809''	0.0001
	4 460 751.578	0.0004	1 668.563	0.0006
Žirje 0731	4 450 950.218	0.0004	43° 39' 16.40630''	0.0001
	1 246 404.480	0.0001	15° 38' 38.03543''	0.0001
	4 380 514.181	0.0004	162.672	0.0006
Sveti Nikola 0732	4 467 258.145	0.0004	43° 08' 40.12485''	0.0001
	1 331 545.446	0.0001	16° 35' 51.43225''	0.0001
	4 339 685.490	0.0004	670.836	0.0006
Sveti Ivan 0733	4 466 232.467	0.0004	42° 52' 25.62989''	0.0001
	1 404 551.112	0.0001	17° 27' 26.78206''	0.0001
	4 317 584.917	0.0004	511.779	0.0006
Ilin vrh 0734	4 469 743.935	0.0004	42° 29' 55.89174''	0.0001
	1 485 678.435	0.0001	18° 23' 09.82664''	0.0001
	4 287 027.925	0.0004	601.943	0.0006

Tablica 3.2.7. Koordinate i točnost za 10 hrvatskih EUREF'94-točaka u ITRF92 (1994.4)

Konačna je transformacija provedena po poznatoj Boucherovoj formuli:

$$\underline{X}(S_0) = \underline{X}(S_1) + \underline{T}(S_1) + \underline{R} * \underline{X}(S_1) * (t_1 - t_0), \quad (3)$$

tu su: $\underline{X}(S_0)$ – koordinate u ETRS89 epoha 1989.0; $\underline{X}(S_1)$ – koordinate u ITRF92 epoha 1994.4; $\underline{T}(S_1)$: $T_1 = 3.8\text{cm}$, $T_2 = 4.0\text{cm}$, $T_3 = -3.7\text{cm}$ – translacijski parametri bazirani na globalnoj transformaciji između ITRF92 i ITRF89, dok su \underline{R} – parametri rotacije u odnosu na epohu 1989, i to: $R_1 = 0.21\text{mas/god}$, $R_2 = 0.52\text{mas/god}$, $R_3 = -0.68\text{mas/god}$. ($1\text{mas} = 0.001''$), a $t_1 - t_0$ je vremenska razlika od 5.4 godine (1994.4-1989.0). Parametri rotacije R_1 , R_2 i R_3 su rotacije europske litosferne ploče po modelu NNR-NUVEL1.

EUREF-točka	ETRS89 (1989.0)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
0725 Donji Miholjac	4 235 413.399	1 389 394.703	4 546 864.134
0726 Novoselsko brdo	4 273 227.913	1 314 661.899	4 533 896.873
0727 Brusnik	4 307 966.045	1 200 393.182	4 532 778.678
0728 Gradište	4 267 436.916	1 445 417.695	4 499 533.422
0729 Pula	4 396 624.008	1 083 670.688	4 476 822.819
0730 Šatorina	4 390 466.233	1 180 403.429	4 460 751.488
0731 Žitje	4 450 950.338	1 246 404.417	4 380 514.091
0732 Sveti Nikola	4 467 258.266	1 331 545.382	4 339 685.400
0733 Sveti Ivan	4 466 232.589	1 404 551.049	4 317 584.826
0734 Ilin vrh	4 469 744.058	1 485 678.372	4 287 027.836
0720 Lendavske gorice	4 212 714.809	1 246 016.084	4 608 998.295
0721 Velika kopa	4 244 884.550	1 153 155.672	4 605 345.114
0722 Kucelej	4 293 438.835	1 129 475.514	4 565 201.867
0723 Korada	4 310 119.747	1 039 590.795	4 570 877.104
0724 Malija	4 351 694.749	1 056 274.704	4 526 994.554
0175 Snežnik	4 330 964.613	1 115 839.028	4 534 674.492
0214 Donačka gora	4 252 206.938	1 198 631.975	4 586 161.268
0516 Golica	4 268 440.622	1 068 560.015	4 604 390.653

Tablica 3.2.9. Definitivne koordinate u ETRS89 za 18 polaznih EUREF'94-točaka na području Republike Hrvatske i Republike Slovenije.

4. HRVATSKI GEODINAMIČKI PROJEKT

4.1. Interdisciplinarna utemeljenost projekta CRODYN

NASA je 1997. pokrenula svjetski Crustal Dynamic and Earth Research Project, koji među ostalim omogućava i razvijanje metoda za modeliranje kinematike svjetskih i malih litosfernih ploča, npr. (Drewes 1989.). Kao europski prilog predložen je dodatni istraživački program WEGENER (Working Group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earth Science Research) iz 1981, a u njegovu se okviru pomoću VLBI, SLR i GPS-mjerenja te gravimetrijskih mjerenja i drugih postupaka ponajprije izvode geodetsko-geofizičko-geološke studije u Sredozemlju.

Pripadni podprojekt MEDLAS (Mediterranean Laser Tracking Projects) primjenjuje laserska mjerenja do geodetskih satelita i prva je faza WEGENER programa kojim se trebaju utvrditi granice i kinematika mikroploča u centralnom i istočnom području Mediterana, (Hauck i dr. 1992). Znanstveni ciljevi WEGENER-MEDLAS projekta obu-

hvaćaju kratkotrajna i dugotrajna pomicanja točaka na Zemljinoj površini. On će omogućiti znanstvene spoznaje za daljnji razvoj geodezije, geodinamike, geofizike, seizmologije i geologije. Pretpostavlja se da će pridonijeti i u očekivanoj prognozi potresa na tom istaknutom području. MEDLAS obuhvaća i Italiju, ali mobilni laserski uređaj nije mogao biti instaliran npr. na Opservatoriju Hvar zbog prijašnjih uvjeta i nastalih ratnih događanja na području Hrvatske. Sada je moguće da se u međunarodnoj suradnji, poglavito uz izuzetnu pomoć IfAG-a i njegova direktora, realiziraju GPS-mjerenja za potrebe geodinamike na istočnoj obali Jadrana, uglavnom u Republici Hrvatskoj.

Vrijedi spomenuti da su još potkraj 19. stoljeća na hrvatskom tlu ponovljenim klasičnim geodetskim mjerenjima (nivelman i triangulacija) stručnjaci iz MGI-Beč poduzeli iznimna ispitivanja deformacija stabiliziranih točaka na Zemljinoj površini; koje su bile izazvane razornim zagrebačkim potresom (Božičnik M.: U povodu stogodišnjice katastrofalnog zemljotresa u Zagrebu, Geodetski list 4 – 6, 1980, 102 – 112).

Poremećaji u građi Zemljine kore u 20. stoljeću su već dugo u žarištu interesa pojedinih geoznanstvenih disciplina, pa tako i geodezije. Astronomska, geodetska i geofizička mjerenja mogu se promatrati kao signalne veličine dubinskog rasporeda masa u Zemljinoj kori. Tako geodeti – uz stalne poslove u svezi sa izmjerom Zemljine površine – slijede dva važna cilja: a) određivanje Zemljina polja sile teže, napose detaljnog oblika plohe geoida, b) određivanje točnih modela za strukturu Zemljinih masa i njihove varijacije.

Stoga su na Geodetskom fakultetu u Zagrebu dvije ekipe istraživača pod vodstvom prvoimenovanog autora ovog rada ne samo ispitivale parametre Zemljinog gravitacijskog polja – otkloni vertikale, anomalije sile teže i geoidne undulacije, (Čolić i dr. 1992a), nego dale i doprinose istraživanju strukture Zemljine kore, uvodeći prvi put u svijetu korištenje (nivo)plohe geoida u kombiniranu prognozu prostornog protezanja Mohorovičićeva diskontinuiteta kao donje granice Zemljine kore, (Čolić i dr. 1992b). Mogli su biti navedeni i zapaženi radovi spomenute dvije istraživačke grupe na IAG-simpozijima Nr. 112 (Potsdam 1992) i Nr. 113 (Graz 1994), ali su zasad izostavljeni.

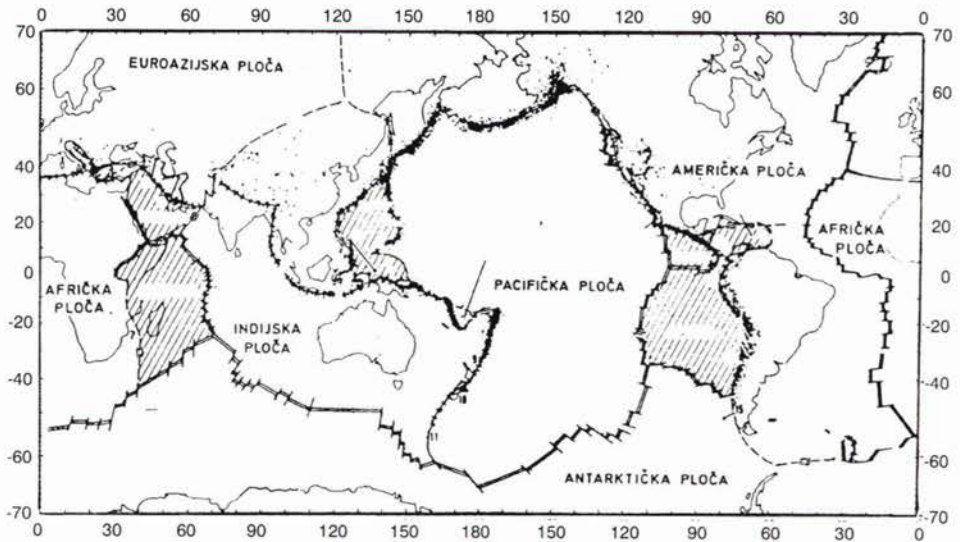
U ovom radu nema mjesta ni da bi se malo prikazala polazna studija Čolić, K.: Uz moguću ulogu geodezije u geoznanostima (1979) i efikasna "Stanica za opažanje plimnih valova Zemljine kore – Zagreb" (H. Lichtenegger und K. Čolić: Erste Ergebnisse von Erdzeitenregistrierungen in der Station Zagreb, Mitteilungen der Abteilung Satellitengeodäsie des Institutes für Weltraumforschung der ÖAW, Folge 7, Graz 1988), te planirani interdisciplinarni projekt "Geodinamički poligon Kašina", čija bi osnova trebala biti "Trodimenzionalna geodetska mikromreža Kašina-Zagreb", itd.

Iz nešto pojednostavljene slike 4.1.1 (Skoko, Makjanić 1978) vidljivo je da se koncentracije epicentara potresa poklapaju s granicama tektonskih ploča. Mišljenje je da se one gibaju na tri načina: a) razilaze se duž oceanskih hrptova i nastaje novi dio Zemljine kore, b) dolazi do njihova sudara u zonama subdukcije (npr. duž sjeverne i južne Amerike, od Himalaje do Sredozemlja, Japan i dr.), c) klišu jedna na drugu (npr. na Novom Zelandu).

U osobito zanimljiva područja svakako se ubraja Sredozemlje, gdje postoji nekoliko mikroploča što se stalno međusobno gibaju i izazivaju potrese, čak i vulkane.

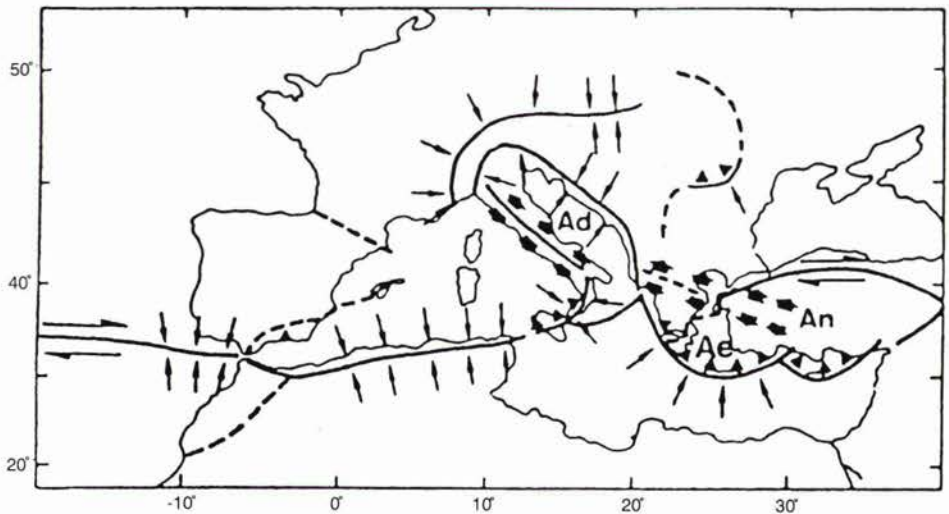
Posebni program Europske zajednice i Međunarodni litosferni program (ILP) potaknuli su visokoprecizna GPS-mjerenja na mareografima u Sredozemlju (prikazanom u cjelosti na slici 4.1.2) i njihovo svjetsko povezivanje pomoću SLR i VLBI, da se obuhvate globalne razlike morskog nivoa i njihove vremenske promjene. O švicarskim GPS-mjerenjima grčkog zapadnog luka (dio Ae), te sjeverozapadne Anatolije (dio An) uz suradnju turskih partnera, izvještava se u (Kahle i dr. 1995).

Prema slici 4.1.2. za Republiku Hrvatsku je najvažnija Jadranska mikroploča (= Ad)! Prvonavedeni autor ovog članka još je u pozdravnom govoru na prvom međunarodnom simpoziju "Određivanje gravitacijskog polja i GPS-pozicioniranje u području Alpe-Jadran", održanom pod patronatom IAG u Dubrovniku i Hvaru od 2.-7. listopada 1989.



Slika 4.1.1. Osnovne litosferne ploče na Zemlji

istaknuo: "Budući da će prof. Sünkel obraditi u detalje temu ovog simpozija, naglasit ću samo kako se smatra da područje Alpe-Jadran nije samo političko-geografski pojam, nego sinonim za značajnu tektonsku jedinicu, tzv. Jadransku mikroplöču sa svojim rubnim zonama. Pod tim nazivom razumije se prostor markiran na sjeveru Alpama, na istoku pojasom Dinarida i djelomice Helenida, te na zapadu lancem Apenina. Sada je općenito prihvaćeno da je Jadransko more, zajedno sa spomenutim graničnim zonama, trnoviti izdanak Afričke ploče uvučen u Euroazijsku ploču. Sasvim je vjerojatno da je



Slika 4.1.2. Jadranska mikroplöča kao trn Afričke ploče

to područje za vrijeme formiranja mediteranskog pojasa tijekom 200 milijuna godina došlo do svoga neovisnog razvoja. Brojni geološki i drugi srodni znanstveni radovi pokazali su da Jadranska mikroploča u odnosu na ostala euro-mediteranska područja ima izrazito različitu strukturu kore i cijele litosfere. Alpski i dinaridski lanci se izdižu, pa i to čini zanimljivim istraživanje ponašanja granične zone između Zemljine kore i gornjeg omotača – Mohorovičićeva diskontinuiteta, pa i modeliranje visinskih razlika između donje litosfere i astenosfere. Ta specifična situacija sigurno djeluje na Zemljino gravitacijsko polje u području Alpe-Jadran", nalazi se u (Čolić, Pesec, Sünkel 1990).

Republika Hrvatska se nalazi u tektonski aktivnom području, o čemu najbolje svjedoče potresi, osobito u priobalnom dijelu, ali i u unutrašnjosti, poglavito u širem zagrebačkom području. U recentnom geološkom strukturnom sklopu izdvajaju se pojedine aktivne zone rasjeda. Najvažniji rasjedi uz jadransku obalu naznačeni su na slici 4.2.1.

Tektonsku aktivnost uvjetuju pomaci Afričke ploče prema sjeveru i sjeverozapadu. U dodiru s Euroazijskom pločom u Sredozemlju se znatno povećava tektonska aktivnost. Za tu aktivnost jadranskog i dinaridskog područja temeljni su pomaci spomenute Jadranske mikroploče. Mase stijena Dinarida odupiru se tim pomacima pri čemu nastaju deformacije struktura i reljefa. Mase stijena Jadranske mikroploče utiskuju se i podvlače pod Dinaride (Prelogović, Kranjec 1983). Od središnjih zona tih najvećih pritisaka geološke se strukture pomiču lijevo ili desno. Osim pojedinih rasjeda prikazanih na slici zamjetno je tzv. desno transkurentno pomicanje. Dodatno pritisci uvjetuju rotaciju velikih struktura, što je osobito značajno u istraživanjima kojima je cilj prognoza potresa. Općenito su za prognozu potresa značajna precizna geodetska mjerenja, i to SLR, VLBI i u novije vrijeme sve više suvremena GPS-tehnologija.

Tektonski su pokreti veoma polagani. Za točnija određivanja njihovih amplituda nisu dostatni geološki podaci jer uključuju dugo razdoblje opažanja. Stoga su pri proučavanju tektonskih pokreta, osobito vrste, veličine i ritma pomaka, potrebna i odgovarajuća geodetska mjerenja.

Od učestale seizmotektonske aktivnosti na području Hrvatske najpoznatiji su potresi: 361. godine Caska (Pag), intenzitet X° MCS (Mercalli-Cancani-Siebergova ljestvica); Dubrovnik 6. travnja 1667., intenzitet X° MCS ljestvice, Medvednica 9. rujna 1880., magnituda 6,3 prema Richterovoj ljestvici; Pokupsko 8. listopada 1909., magnituda 6,0; Biokovo 11. siječnja 1962., magnituda 6,2, pa nedavno Ston 5. rujna 1996., magnituda 6,0. Žarišta svih potresa u Hrvatskoj nalaze se u Zemljinoj kori, tj. iznad Mohorovičićeva diskontinuiteta kao njene donje granice.

O značajnoj ulozi geodezije u proučavanju seizmotektonske aktivnosti važno je istaknuti sljedeće: "Za dinamički promjenjivu Zemlju geodeziji trebaju geodinamički modeli. Na taj način međusobna suradnja geodezije, geofizike i geologije brani geodeziju od toga da ostane čista geometrijska i statička, te na Zemljinu površinu ograničena znanost", (Moritz 1991). Također je suštinska činjenica: "Trodimenzionalno je pozicioniranje za sve geoznanosti od ključnog značenja jer vrijednost većine mjerenja često ovisi o točnosti određivanja položaja mjerne točke," (Sünkel 1993).⁶

4.2. Realizacija prve faze CRODYN'94

U najnovije su doba GPS-mjerenja osobito aktualna u srednjeeuropskom prostoru. Tako se u (Vogel 1995) prezentira analiza alpske GPS-traverse s 43 GPS-točke s njihovom srednjom udaljenosti 23 km. Ona se proteže od Münchena do Trsta upravo zbog činjenice što su za područje istočnih Alpi od posebnog interesa pomicanja Jadranske

⁶ Više o tektonici ploča, pomorskoj gravimetriji i prognozi potresa u: Moores, E. M., Twiss, R. J.: *Tectonics*, Freeman, New York, 1995; Dehlinger, P.: *Marine gravity*, Elsevier 1978; Kiyoo Mogi: *Eartquake prediction*, Academic Press, 1988, itd.

mikroploče. Prema Sünkelu (1993) geodetski su eksperti u Austriji, uz stalnu SLR-stanicu na Opservatoriju Graz – Lustbühel, postavili mrežu GPS-točaka, i to ne samo u Austriji nego i na područje uz Jadran, preko Slovenije do Hrvatske. U (Solarić et al 1996) navedeno je uz ostalo da su i kolege u Italiji pokrenule geodinamički projekt TYRGEONET s nekim GPS-točkama na hrvatskom području, dok je u europskom projektu CERGOP dvaput bila samo točka Brusnik. Sudjelovanje u ovim projektima tijekom pet godina imalo je potporu Državne geodetske uprave Republike Hrvatske.

Međutim, prema rezolucijama spomenutog simpozija u Dubrovniku i Hvaru 1989. slijedio je zadatak da se odmah nakon GPS-kampanje EUREF'94 počne ostvarivati Hrvatski geodinamički projekt – CRODYN. Pri odlučivanju o rasporedu GPS-točaka u njegovoj prvoj fazi CRODYN'94 – vidi sliku 4.2.1 – slijedili smo u prvom redu kartu rasporeda glavnih rasjeda uz hrvatsko priobalno područje (E. Prelogović). Pri tome je značajna pogodnost bio položaj GPS-točaka u upravo završenoj kampanji EUREF'94. Na sjeveru su za referentne točke odabrane EUREF-točke 0727 Brusnik i 0729 Pula, a na jugu 0732 Sveti Nikola i 0733 Sveti Ivan.

Umjesto također poželjne referentne točke 0731 Žirje, iskorišteni su slovenski raspoloživi GPS-uređaji za referentnu EUREF-točku 0724 Malija i mareograf Koper (5052), te geodinamičku točku Blegoš (5051). Kolege iz Italije su se pridružile GPS-mjerenjima na mareografu Molo Sartorio u Trstu (5053) i na svojoj WEGENER-MEDLAS stanici BAZOVICA (5054), ali opažajući prijammnicima tipa LEICA. S tim smo dodatnim točkama nastojali uključiti u praćenje i seizmotektonski zanimljiv Idrijski rasjed i rasjed Trst-Učka-Lošinj.

Zbog ograničenog broja raspoloživih Trimble prijammnika čitava je faza CRODYN'94 koncentrirana uz jadransko obalno područje! Da je već tada bilo mogućnosti pokrilo bi se bar dijelom i unutrašnji dio Hrvatske, ali poteškoće je činilo već spomenuto postojanje tzv. UNPA zona.

Prema slici 4.2.1 rasjedi na kontinentalnom području jadranske obale bili su mjerodavni za izbor ovih trigonometrijskih točaka: 5011 Žuta Lokva, 5012 Kapela i 5013 Tjarica, koje su i nivelmanski reperi. Rasjed što se proteže od Istre preko većine hrvatskih otoka do Dubrovnika i njegov odvojak prema vanjskim hrvatskim otocima bili su odlučujući u odabiru preostalih geodinamičkih GPS-točaka: 5006 Učka, 5007 Veliki vrh (Krk), 5008 Vis, 5009 Lastovo te najudaljenija točka 5010 Palagruža. Još valja spomenuti da se zbog ranije utvrđenih smetnji u prijemu GPS-signalna na trigonometru I. reda Učka upotrebljavao nedaleko specijalno postavljeni reper preciznog nivelmana.

U tako ozbiljnom geodinamičkom projektu moralo je biti mjesta za svih 5 mareografa u Hrvatskoj: 5001 Rovinj, 5002 Bakar, 5003 Zadar, 5004 Split i 5005 Dubrovnik, slika 4.2.1. Tako su se slijedile i već prije izražene težnje za povezivanjem određenog broja mareografskih stanica na Sredozemlju projektom WEGENER-MEDLAS.

U realizaciji GPS-kampanje CRODYN'94, uz stručnjake koje je IfAG poslao da u Hrvatskoj sudjeluju u realizaciji kampanje EUREF'94, pridružile su se još i njihove kolege, prije toga aktivne na području Slovenije. Zbog velikog opsega GPS-kampanje CRODYN'94 dodatno su uključeni i neki djelatnici najbližih ureda za katastar. Uz to se sa zahvalnošću napominje da su GPS-opažanja u Sloveniji i Italiji u sklopu akcije CRODYN'94 spremno održavali samo njihovi uvježbani stručnjaci.

Bilo je potrebno neko vrijeme da se s prijammnicima, laptopima i meteorološkim uređajima stigne s EUREF-točaka do novih točaka, kampanja CRODYN'94 je počela 7. lipnja 1994. u 9,00 UT i trajala do 10. lipnja 1994. u 9,00 UT.

U CRODYN'94, toj prvoj fazi Hrvatskoga geodinamičkog projekta, kao i u osloničkom EUREF'94, sva su mjerenja protekla bez poteškoća. Sudionici obiju GPS-kampanja su se vratili u mjesta svojeg boravka 11. ili 12. lipnja 1994. godine.



Slika 4.2.1. Hrvatski geodinamički projekt – prva faza CRODYN'94

Do trenutka pisanja ovog opsežnog članka stigle su vijesti iz Frankfurta (Lj. Rašić) da su rezultati određivanja trodimenzionalnih koordinata svih CRODYN-točaka sasvim zadovoljavajući, a njihovo objavljivanje ostaje za drugu priliku.

5. ZAKLJUČNE KONSTATACIJE

Ostvarivanjem GPS-kampanje EUREF'94 u realizaciji Državne geodetske uprave uz suradnju s Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu ušla je Republika Hrvatska u jedinstveni europski koordinatni sustav. Na EUREF'94-točke naslonjeni CRODYN'94 kao početak Hrvatskoga geodinamičkog projekta također se smatra prijelomnim u daljnjem razvoju geodezije u ovoj samostalnoj državi. Zadovoljni mogu biti i slovenski geodeti, a također sve njemačke kolege, što su pridonijeli uspješnom završetku značajnih GPS-mjerenja u ovom dijelu centralne i sredozemne Europe.

LITERATURA

- Altiner Y., Čolić K., Gojčeta B., Lipej B., Marjanović M., Rašić Lj., Seeger H. (1995): Results of the EUREF 1994 Croatia and Slovenia GPS Campaign. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung bei Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätischen Arbeiten, Heft Nr. 56, 51-57, München.
- Čolić K., Pesec P. Sünkel H. (1990): Proceedings of the First International symposium Gravity field determination and GPS-positioning in the Alps-Adria Area. Dubrovnik and Hvar, October 2-7, 1989. Mitteilungen der geodätisches Institute der Technischen Universität Graz, Folge 67, Graz.
- Čolić K., Bašić T., Petrović S., Pribičević B., Ratkajec M. (1992a): Istraživanje Zemljinog polja sile teže u Hrvatskoj i Sloveniji (1975-1992). Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u povodu 30. obljetnice samostalnog djelovanja 1962-1992, 123-136, Zagreb.
- Čolić K., Petrović S., Pribičević B., Vučetić N., Medak D. (1992b): Geodetski doprinosi određivanju Mohorovičićeva diskontinuiteta. *ibid*, 137-146.
- Drewes H. (1989): Methoden zur Modellierung der Plattenkinematik. Rezente Krustenbewegungen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, 29-49, Neubiberg.
- Erker E., Höggerl N. (1996): Das GPS-Grundnetz, ein gemeinsames Projekt des BEV und der BAIK. Eich- und Vermessungsmagazin (EVM), 84, 22-25, Wien 1996.
- Hauck H., Reinhart E., Wilson P. (1992): WEGENER-MEDLAS-Projekt-Vorläufige Ergebnisse zur Messung der Geokinematik im östlichen Mittelmeerraum. ZfV 4, 195-205.
- Kahle H. – G., Müller M. V., Straub C. (1995): Satellitengeodäsie und Geodynamik: Aktuelle Projekte der ETH-Zürich in Griechenland und Anatolien. VPK (Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik), 4, 227-231.
- Moritz H. (1991): Zur Entwicklung der physikalischen Geodäsie in den letzten drei Jahrzehnten. ZfV 12, 540-544.
- Prelogović E., Kranjec V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora. Pomorski zbornik, Rijeka, knjiga 21, 387-405.
- Schödlbauer A. (1993): Bezugssysteme und Koordinatentransformationen für geodätische Arbeiten mit dem GPS. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, 161-184, Neubiberg.
- Seeger H., Breuer B., Friedhoff H., Habrich H., Müller A., Rausch E., Reichardt G., Schlüter W. (1992): Der Beitrag des IfAG zu überregionalen GPS-Kampagnen in Europa. AVN 11-12, 463-476.
- Seeger H. (1993): EUREF – Aufbau eines neuen geodätischen Bezugssystem in Europa. Schriftenreihe zum 31. DVW Seminar, Dresden, 22.-24. März 1993, 1-14 (+11).
- Skoko D., Makjanić J. (1980): Andrija Mohorovičić. Školska knjiga, Zagreb.
- Solarić M., Bilajbegović A., Junašević M., Ambroš F., Cigrovski-Detelić B., Džapo M., Ivković M., Hečimović Ž., Barković Đ., Bačić Ž. i Podunavac B. (1996): Pregled ostvarenih rezultata na znanstvenom projektu "Osnovni geodetski radovi informacijskog prostornog sustava Republike Hrvatske". Geodetski list 1., 29-39.
- Sünkel H. (1993): Panta rhei. Festschrift aus Anlaß des 70. Geburtstages von o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter Schelling. Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 78, 149-158.
- Vogel M. (1995): Analyse der GPS-Alpentravese. – Ein Beitrag zur geodätischen Erfassung rezenter Erdkrustenbewegungen in der Ostalpen. DGK, C, 436, München.

CROATIA IN EUREF'94 AND THE PROJECT CRODYN

The paper presents first the basic information about the purpose, origins and extension of the unique European spatial coordinate system EUREF. Furthermore, there is a report about GPS Campaign EUREF 1994 – Croatia and Slovenia and about so far obtained remarkable results within the scope of ITRF89 and the related ETRS89. For the first time at all, this paper brings information about the initiation of the Croatian Geodynamic Project, in which the interdisciplinary scientific grounds are based primarily on the existence of the famous Adriatic micro-plate, and highlights the fundamental elements of the already carried out GPS-measurements within the frame of its first phase – CRODYN'94. At the end of this paper there are some very significant findings presented which are important for further appropriate application of GPS technology at the Croatian territory.

Primljeno: 1996-12-16