

# ДОСАДАШЊЕ АКТИВНОСТИ УКЛАПАЊА ПОСТОЈЕЋИХ ДРЖАВНИХ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМА У ETRS РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ И ЗЕМАЉА У ОКРУЖЕЊУ

Сања Грекуловић, дипл геод.инж. <sup>1</sup>

Милева Самарџић, дипл геод.инж.

## РЕЗИМЕ

У свету, као и код нас, све већом употребом GPS технологије, постоји оправдана потреба за одређивањем трансформационог модела између постојећег и новог референтног система. У раду је дат приказ GPS референтних основа, Републике Србије и неких земаља бивших чланица СФРЈ, као и досадашње активности уклапања постојећих државних координатних система у ETRS (European Terrestrial Reference System).

**Кључне речи:** EUREF, референтна основа.

## CURRENT ACTIVITIES REGARDING MATCHING THE NATIONAL REFERENCE FRAME TO ETRS OF REPUBLIC OF SERBIA AND THE SURROUNDING COUNTRIES

Sanja Grekulović, MSc. in Geodesy

Mileva Samardžić, MSc. in Geodesy

## ABSTRACT

In the world, as well as us, all the greater use of GPS technology, there is a justified need for the determination of transformation models between existing and new reference system. The paper presents a GPS reference basis of Serbia and some countries of the former member of the SFRY and current activities regarding matching the national reference frame to ETRS (European Terrestrial Reference System).

**Key words:** EUREF, reference frame.

## 1. УВОД

Идеја унапређења и модернизације постојећег државног координатног система актуелна је већ дуже време. Израда пројекта мреже GPS станица и Европског координатног система у Србији подразумева имплементацију националне мреже сталних GPS станица и усвајања просторног референтног система ETRS. ETRS представља једну од четири подкомисије IAG (International Association of Geodesy). Усвајањем резолуције 1 на конференцији у Фиренци 1990 године, дефинисан је Европски координатни систем ETRS89 који се поклапа са ITRS за епоху 89 [11].

Циљ успостављања новог референтног система је [1]:

- Подршка геодетској и катастарској аутоматизацији
- Подршка растућим потребама и одговорностима државне управе
- Поједностављено управљање дигиталним просторним подацима
- Редукција трошкова и ризика државне управе
- Могућност задовољавања будућих потреба државне управе
- Компатибилност у међународној сарадњи
- Могућност обухватања деформација Земљине коре

Тригонометријска мрежа 1. реда, као основа државног премера остварена је први пут 1948. године. У ту сврху развијена су прво два ланца троуглова, од Словеније до Војводине и од Словеније, дуж Далмације, до Црне Горе, који су касније спојени трећим који иде преко територије Босне и Херцеговине. Датум ове триангулације био је дефинисан астрономском латитудом и лонгитудом полазне тачке 1. реда Hermannskogel-Hundsheimberg и параметрима Беселевог елипсоида [2].

Тригонометријска мрежа 1 реда никада није изведена као целина и састоји се из више делова који су развијани и рачунати у различитим временским епохама. У овом тренутку, са свим недостацима, ова триангулација 1 реда представља основу државног премера Југославије, који се од 1924 године, на предлог Н.С. Свечникова, изводи у Гаус Кригеровој пројекцији. Овако нехомогена мрежа, одмах по њеном завршетку, није могла задовољити потребе геодетских радова и није могла бити укључена у европску триангулацију јер није задовољавала тадашње критеријуме тачности IAG [2].

Један од предуслова за успешно успостављање новог референтног система и остваривања његове везе са старим је одабир најбољег трансформационог модела на подручју државе. То подразумева остваривање компромиса између тачности, једноставности и корисничких потреба.

<sup>1</sup> Грађевински факултет Универзитета у Београду - Катедра за геодезију и картографију  
Булевар краља Александра 73, 11000 Београд, e-mail: sanjag@grf.bg.ac.rs, mimas@grf.bg.ac.rs

## 2. EUREF МРЕЖЕ

Референтни европски геодетски оквир (Europe Reference Frame-EUREF) датира од 1987/88 године, пројектован је и дефинисан од стране Интернационалне асоцијације за геодезију - ИАГ, подкомисије за EUREF.

## 3. РЕФЕРЕНТНА GPS МРЕЖА РЕПУБЛИКЕ ХРВАТСКЕ

Основна GPS мрежа Републике Хрватске (PX) састоји се од GPS тачака првог и другог реда. GPS мрежа 1. реда је референтна GPS мрежа Републике Хрватске и састоји се од 78 тачака распоређених на целој територији Републике Хрватске и 15 тачака изван граница РХ.

Прва GPS кампања за успостављање основне GPS мреже РХ одржана је истовремено у Републици Хрватској и Републици Словенији 1994. године под називом EUREF-SLOCRO-1994. Циљ одржавања био је укључивање мреже Републике Хрватске и Републике Словеније у јединствени европски координатни систем EUREF.

Обухваћено је укупно 26 тачака, од тога 11 у Словенији и 10 у Хрватској, 3 референтне IGS (International GPS Service) тачке и 2 контролне IGS тачке. На свакој тачки мерене су 4 сесије у трајању по 24 часа. Изравнање мреже GPS тачака обухваћених кампањом обављено је у систему ITRF 92 (International Terrestrial Reference Frame) у епохи мерења 1994.4. Коришћена је статичка релативна метода позиционирања двофреквентним GPS пријемницима. Мрежа је ослоњена на 3 референтне IGS тачке (Граз, Матера и Zimmerwald).

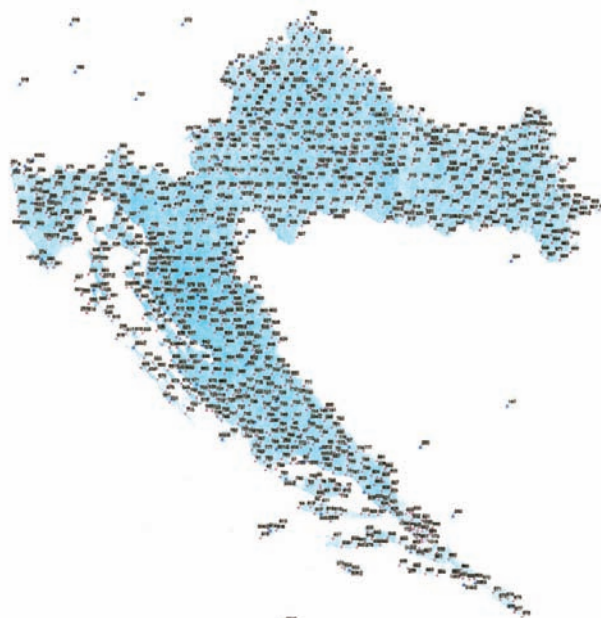
У Републици Хрватској одржана је друга GPS кампања CROREF-1995, у којој је опажано 14 тачака у 7 сесија по 24 сата. Коришћена је статичка релативна метода позиционирања двофреквентним GPS пријемницима. Мрежа је ослоњена на 4 референтне IGS тачке (Граз, Матера, Zimmerwald и Wetzel). За изравнање CROREF-1995 уврштено је и 9 тачака на подручју Републике Словеније, 4 референтне IGS тачке и 5 контролних IGS тачака, тако да су укупно 32 тачке учествовале у изравнању мреже у систему ITRF 93 у епохи мерења 1995.7.

Циљ треће GPS кампање, CROREF-1996, био је успостављање EUREF GPS мреже на целој територији Републике Хрватске, са посебним нагласком на подручја која су у време претходних GPS кампања била окупирана. Обухваћено је укупно 97 тачака, од тога 76 нових на територији Републике Хрватске и по 5 тачака на територији Словеније и БиХ, 4 референтне IGS тачке и 7 контролних IGS тачака. Мерења су обављена у 4 фазе од који је четврта добила посебно име CRODYN-1996, али је на крају у целости укључена у CROREF-1996. Изравнање је обављено у систему ITRF 94 у епохи мерења 1996.7.

Како су наведене GPS кампање изравнате у три различита референтна система и у три различите епохе мерења, обједињени су сви подаци из све три кампање и прерачу-

нати у јединствен систем ITRF 96 и средњој епохи мерења 1995.55 са ослоном на споменуте четири референтне GPS тачке (Graz, Matera, Zimmerwald и Wetzel). Комбиновано решење све три кампање добило је назив EUREF-CRO-94/98/96.

Коначна референтна GPS мрежа Републике Хрватске има 93 (78 унутар РХ и 15 изван РХ) тачака, од тога 48 тригонометријских тачака 1. реда, 9 тригонометријских тачака 2. реда, 6 тригонометријских тачака 3. и 4. реда, 15 осталих тачака (мареографи, репери и геодинамичке тачке) и 15 тачака изван Републике Хрватске.



Слика 1: Основна GPS мрежа Републике Хрватске [3]

Како би се мрежа изравната у светском систему ITRF96, имплементирала у европски ETRS89, извршена је трансформација координата из ITRF96 у ETRF89. Трансформација координата обављена је софтверима Trimble GPTrans и Dat\_Abmo.

GPS мрежа 2. реда је GPS мрежа РХ 10x10 km (десетокилометарска мрежа) и састоји се од 1016 тачака које су распоређене на међусобној удаљености од око 10 km и прекривају целу територију РХ и ослањају се на референтну мрежу РХ. Преузета је и стабилизација неколико тачака старе тригонометријске мреже:

- 4 тригонометријске тачке 1. реда,
- 177 тригонометријских тачака 2. реда,
- 7 тригонометријских тачака 3. и 4. реда,

Осталих 828 тачака су новоодређене GPS тачке 10x10 km

2001 године извршено је поновно изравнање целокупне GPS мреже 1. реда, мерене од 1994. до 1996. године у систему ITRF96, такође је обављено и ново заједничко изравнање GPS мреже 2. реда Републике Хрватске у систе-

му ITRF96, који је идентичан систему ITRF94 у средњој епохи мерења 1999.6. Трансформација координата у систем ETRS89 обављена је на исти начин као што је описано за GPS мрежу 1. реда. Јединствени параметри за трансформацију координата из система ETRS89 у Гаус Кригеров систем за цело подручје РХ имају превелике резидуале (око 0,50 метара), стога у склопу пројекта 10-километарске мреже није обављена трансформација координата у Гаус Кригеров систем.

У склопу пројекта Основне GPS мреже Републике Хрватске израчунати су трансформациони параметри из система ETRS86 (елипсоид GPS80) у Гаус Кригеров систем (елипсоид Besel) за сваку жупанију посебно. Резидуали параметара крећу се између 0,13 и 0,37 метара [3].

Већи градови у РХ покривени су посебним хомогеним пољима GPS-тачака на удаљености од око 200 до 500 метара. За свако хомогено поље израчунати су посебни трансформациони параметри за прелаз у Гаус Кригеров систем, и резидуали који се крећу од 0,06 до 0,14 метара, задовољавају тачност већине геодетских радова [3].

За град Загреб, трансформациони параметри из система Гаус Кригерових координата у Хрватски државни координатни систем, одређени су Хелмертовом седампараметарском трансформацијом, при чему су тачке с већим резидуалима избациване да би преостали резидуали били унутар 20 цм (максимуми су на рубовима градског подручја) [4].

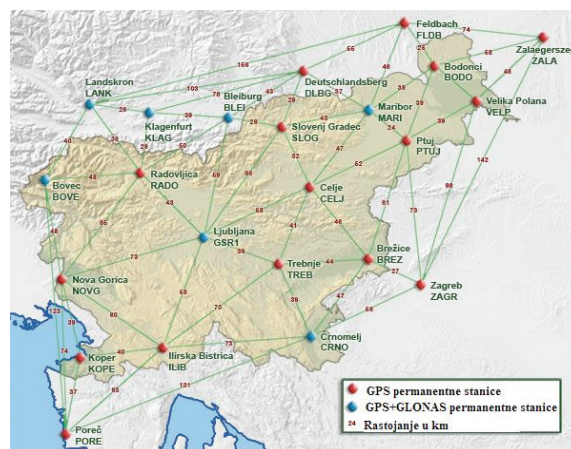
#### 4. РЕФЕРЕНТНА GPS МРЕЖА РЕПУБЛИКЕ СЛОВЕНИЈЕ

Нов државни координатни систем Словеније реализован је у оквиру европског референтног система ETRS (European Spatial Reference System). Хоризонтална компонента представља ETRS89 док је висинска компонента ослоњена на EVRS (European Vertical Reference System) [5].

Координатни систем ETRS89 реализован је у оквиру 3 EUREF кампање, SLOCRO'94, SLOVENIA'95 и CRODYN'96 - CROREF'96. GPS-опажања су завршена 2003. Обухваћено је укупно 46 тачака, од тога 5 нових EUREF тачака и 41 тачка на територији Словеније.

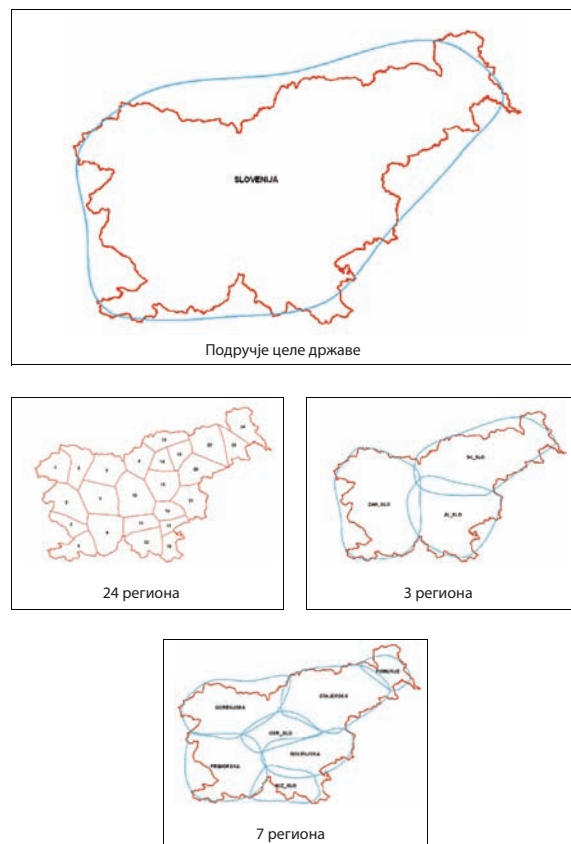
За реализацију координатног система, Геодетска управа Републике Словеније, систематично је пригушћивала мрежу EUREF тачака, постављајући тачке приближно 1 тачка/100 км<sup>2</sup>, распоређене по целој територији државе. Већи број EUREF тачака у координатном систему ETRS89 обезбеђује боље повезивање старог координатног система са новим државним координатним системом [6].

Мрежа SIGNAL (SI-Словенија, G-геодезија, NA-навигација, L-локација) представља активну GPS мрежу. Основана је истовремено са мрежом GNSS (Global Navigation Satellite System) станица. Увођењем новог координатног система, SIGNAL представља основу државне геоинформационе инфраструктуре [14].



Слика 2: Мрежа перманентних станица Р.Словеније [14]

Поред параметара за територију целе Словеније одређени су и параметри за 3, 7 и 24 региона (Слика 3). За успостављање везе између старог и новог координатног система за подручје целе Словеније коришћена је седмпараметарска трансформација, која се такође користила и када је подручје подељено на 3 и 7 региона, док је код поделе на 24 региона коришћена четворопараметарска трансформација.



Слика 3: Подручја са одређеним трансформационим параметрима [14]

Добијени параметри тестирани су на мрежама вишег реда и на тачкама детаља преузетим из катастра. Резултати трансформације у многим подручјима Словеније показали су велика неслагања због системских неправилности постојећих тачака у мрежи и различитих размера. На локалном нивоу (на тачкама детаља) се такође појављују неслагања. У циљу побољшања квалитета трансформација тачака на локалном нивоу, геодетска управа је омогућила корисницима употребу програмског пакета SiTra (Si-Slovenija, Tra-Transformacija). За одређивање трансформационих параметара, на локалном нивоу, овај програмски пакет користи седмопараметарску трансформацију за 3D, док за 2D користи Афину раванску трансформацију [15].

## 5. РЕФЕРЕНТНА ГПС МРЕЖА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

### Пасивна геодетска основа

Тачке EUREF мреже и тачке из мерне кампање БиХ 2000 су саставни део GPS референтне мреже Републике Српске. Пројектно решење мреже обухвата 327 тачака при чему је 313 новопројектованих тачака, 5 тачака EUREF мреже и 9 тачака из мерне кампање БиХ 2000. Реализована је пројектна документација, извршена је стабилизација свих новопројектованих тачака, планирана GPS опажања још увек нису изведена у потпуности [7].

### Активна геодетска референтна основа

Пројектно решење подразумева да мрежу GPS перманентних станица чини 20 перманентних станица. Израђена је пројектна документација, а реализација пројекта је у току [7].



Слика 4: Референтна мрежа Републике Српске [16]

## 6. РЕФЕРЕНТНА МРЕЖА РЕПУБЛИКЕ ЦРНЕ ГОРЕ

У времену када је рађена YUREF мрежа, Дирекција за некретнине урадила је и реализовала пројекат за 8 одабраних тачака на територији Црне Горе (CGREF), чији су подаци GPS мерења прикупљани у временском интер-

валу од 12 сати по 3 серије (од 20 до 8 х). Тачке CGREF су одабране од постојеће тригонометријске мреже 1. реда, градске тригонометријске мреже, наменске мреже, тј. мреже која служи за праћење објеката (оскултација) и фундаменталних репера. Тачке су тако одабране да су: на геолошки стабилном терену, стабилизване бетонским стубовима (осим репера у Петровцу) и лако приступачне. У пројекат су укључене тачке: градске тригонометријске мреже у Улцињу, Подгорици, Никшићу и Беранама, тригонометријске тачке 1. реда на Орјену код Херцег Новог и на Маглићу код Мратиња, тачка за оскултације у Требаљеву код Колашина и фундаментални репер код Петровца [10].



Слика 5: Тачке CGREF мреже [10]

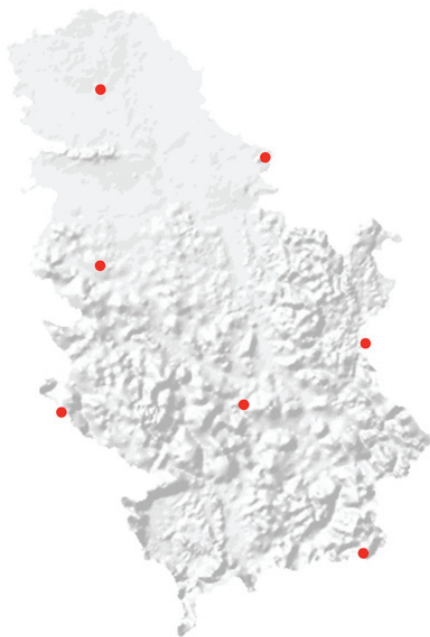
## 7. РЕФЕРЕНТНА МРЕЖА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

### Пасивна геодетска основа-SREF

Пројекат је започет 1996. године, а референтна мрежа је реализована у периоду од 1997. до 2003. године. Референтна мрежа Републике Србије се ослања на југословенски референтни оквир -YUREF који представља реализацију европског референтног оквира - EUREF за подручје Југославије. Координате тачака државне референтне мреже дефинисане су у просторном геоцентричном светском систему који је дефинисан 1984. године (World Geodetic System 1984-WGS84) [8].

Септембра месеца 1998. године изведена је у Републици Србији EUREF GPS мерна кампања у склопу међународне GPS кампање BALKAN98. У кампању је било укључено 6 тригонометријских тачака 1. реда на територији Републике Србије и 2 тригонометријске тачке 1. реда на територији Републике Црне Горе (Слика 6). Мерења су изведена у пет мерних сесија трајања по 24 часа. Обрада GPS мерења извршена је у Франкфурту програмским пакетом BERNESE. Тачност хоризонталних положаја тачака

оцењена је на 3 мм, а тачност елипсоидних висина на око 7 мм. Координате тачака односиле су се на референтни оквир ITRF96 за епоху 1998.7. Подаци о EUREF мрежи за подручје Републике Србије у оквиру кампање BALKAN98 дати су у Табели 1.



Слика 6: Тачке EUREF мреже за подручје Републике Србије [1].

Табела 1: Основни подаци за EUREF мрежу у Србији

број тачака:	7	тачност	
трајање сесије:	5x24 h	3D	7 mm
реф. основа:	ITRF96	2D	3 mm
епоха:	1998.7	1D	6 mm

У периоду од 1997 године до 2003. године успостављена је на целој територији Републике Србије такозвана пасивна геодетска основа, односно референтна GPS мрежа (SREF). Она је пројектована тако да се састоји од укупно 838 тачака на просечном међусобном растојању од око 10 км (Слика 7). Посебна пажња била је посвећена стабилизацији тачака, тако да оне могу истовремено служити и као вертикални репери. Све тачке стабилизоване су трајним белегама и налазе се на лако приступачном и стабилном терену, при чему се настојало да у околини не буде јаких извора радио зрачења, нити препрека које би заклањале слободно небо и онемогућавале несметани пријем GPS сигнала. Оптимална густина тачака омогућује једноставно и sukcesивно прогушавање мреже на жељеним локацијама [8].

GPS мерења у SREF мрежи иводили су стручњаци Републичког геодетског завода Републике Србије, а 2002. и 2003. године мерења су препуштена припадницима Војске Србије. Мерну кампању карактерисали су следећи параметри:

- Трајање мерне сесије: најмање 60 минута,
- Гранични вертикални угао: 150,
- Интервал регистрације података: 15 с.

Положајне координате SREF мреже одређене су обрадом извршених GPS мерења са тачношћу од око 10 мм, а елипсоидне висине са тачношћу од око 15 мм. У обраду су укључивани само линеарно независни GPS вектори.

Математичку обраду извршених мерења карактерисали су следећи параметри:

- Сателитске ефемериде: прецизне (IGS),
- Јоносферска рефракција: L3 комбинације,
- Тропосферска рефракција: Модел HOPFIELD.

С обзиром на то да је SREF мрежа посебним GPS мерењима повезана са ЈУРЕФ тачкама, координате SREF тачака односиле су се такође на референтни оквир ITRF96 за епоху 1998.7. Основни подаци о пасивној мрежи SREF дати су у Табели 2 [8].



Слика 7: Локације тачака референтне ГПС мреже Републике Србије (SREF) [1].

Табела 2: Основни подаци о пасивној мрежи

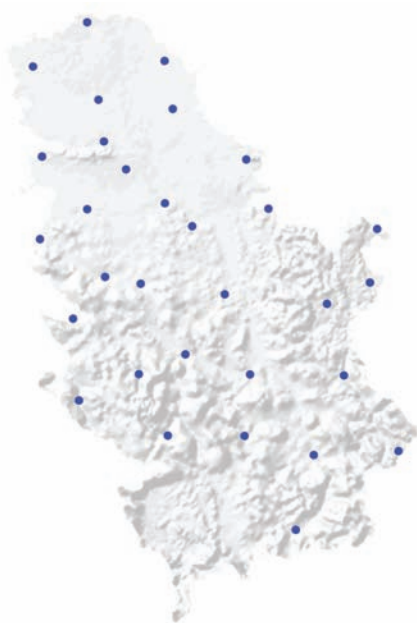
број тачака:	838	тачност	
трајање сесије.	90 min	3D	12 mm
реф. основа:	ITRF96	2D	6 mm
епоха:	1998.7	1D	10 mm

#### Активна геодетска референтна основа Србије –АГРОС

У периоду од 2003. године до 2006. године на целој територији Републике Србије успостављена је такозвана активна геодетска референтна основа (АГРОС). Она је пројектована тако да се састоји од укупно 32 перманентно оперативне референтне GPS станице. Координате

перманентних станица одређене су GPS мерењима у три мерне сесије трајања по 24 часа. Основни подаци о активној мрежи дати у Табели 4.

Хардвер, софтвер и комуникациона инфраструктура АГРОС мреже омогућују корисницима да се било где на територији Републике Србије позиционирају са тачношћу од око 2 цм по положају и 3 цм по елипсоидној висини у реалном времену, и са практично произвољно високом тачношћу у режиму такозване накнадне обраде података. Координате АГРОС станица одређене су GPS повезивањем са JUREF и SREF тачкама, тако да се и оне односе на референтни оквир ITRF96 за епоху 1998.7 [8]. Слика 8 представља локације перманентних GPS станица АГРОС мреже на територији Републике Србије.



Слика 8: Локација тачака активне геодетске референтне основе Републике Србије (АГРОС) [1]

Табела 3: Основни подаци о активној мрежи

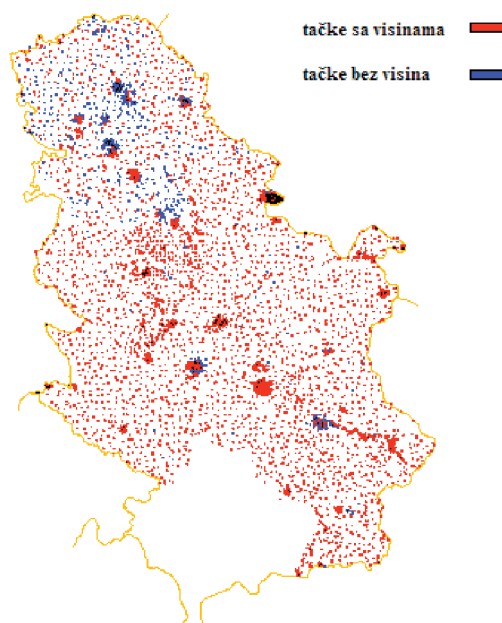
број тачака:	32	тачност	
трајање сесије:	3x8 h	3D	9 mm
реф. основа:	ITRF96	2D	4 mm
епоха:	1998.7	1D	8 mm

Глобални трансформациони параметри (цела територија Републике Србије) су добијени на основу 1217 тачака државне тригонометријске мреже. Трансформациони параметри су одређени Халмертовом седмопараметарском трансформацијом и могу се преузети на сајту Републичког геодетског завода [9]. За катастарске општине (Београд, Крагујевац, Крушевац, Ниш, Нови Сад, Панчево, Шабац, Ужице и Зајечар) срачунати су званични трансформациони параметри који се могу преузети у Одељењу архива Републичког геодетског завода.



Слика 9: Катастарске општине са одређеним трансформационим параметрима [9]

Досадашњим мерењем Републичког Геодетског Завода (РГЗ) одређене су координате на 4401 тригонометријских тачака у систему WGS84 (Слика 10) [9]. Овако одређене координате тачака могу се користити за потребе одређивања трансформационих параметара за све потребе. Координате се налазе у Одељењу архива Републичког геодетског завода Републике Србије.



Слика 10: Тригонометријске тачке

## 8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Досадашње активности уклапања постојећег државног координатног система у ETRS, земаља за које је дат преглед у раду, је на различитим нивоима. Република Хрватска је до сада успоставила везу између ова два система на глобалном нивоу, и започела је успостављање на нивоу градова (за град Загреб). Република Словенија је успоставила везу у 4 различита нивоа (први - глобални, други – територија државе подељена на 3 региона, трећи-територија државе подељена на 7 региона и четврти – територија државе подељена на 24 региона). Република Српска и Република Црна Гора су извршиле стабилизацију новопроектованих тачака али GPS мерења нису извршена у потпуности. Пројекти су у току.

Наша земља је успешно успоставила везу између постојећег државног координатног система у ETRS за подручје целе државе и започела је одређивање трансформационих параметара за подручја катастарских општина.

Из досадашњих резултата (пројекат TR16022) закључено је да подручја са недовољном густином тачака имају и највећа положајна одступања. Војводина је специфична јер у њој постоји 7-8 делова тригонометријске мреже 1. реда (сваки одређиван посебно - слично као мрежа СФРЈ), те се због тога јављају и највећа одступања.

На основу досадашњих разматрања овог проблема у оквиру овог пројекта, препоруке за успешну реализацију новог референтног система су следеће:

- Прогушћавање и хомогенизација постојеће мреже,
- Коришћење Хелмертове трансформације сличности (7 параметара) приликом одређивања трансформационих параметара,
- Подела територије Р. Србије на мање области и одређивање њихових параметара,
- Дефинисање оптималне површине мањих области, како би се обезбедила тачност за различите потребе корисника.

Како би се успешно користио нови референтни систем потребно је решити проблеме његове везе са старим системом. Један од проблема представља коришћење глобалних параметара на локалном нивоу, које доводи до великих неслагања у мрежи. Такође је потребно обезбедити хомоген распоред тачака у мрежи на основу којих би се одређивали трансформациони параметри и одговарајућа густина истих. Поред наведеног, захтев за успешан трансформациони модел је једноставност и флексибилност за различите потребе корисника.

Захвалност: Рад је настао у оквиру истраживања на пројекту TR16022, чију је реализацију омогућило Министарство за науку, којем се овом приликом срдечно захваљујемо.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Делчев Синиша, Благојевић Драган, Нови државни референтни систем Републике Србије, Сава Центар, Београд, 2006.
- [2] Братуљевић Наталија, Геодетске референтне мреже СРЈ, Грађевински факултет, Институт за Геодезију, Београд, 1995.
- [3] Иванковић Предраг, Основна ГПС-мрежа РХ, Геодетски лист 2008, 2, 99–106/2008, Загреб, 2008.
- [4] Башић Томислав, Уклапање ГПС мреже Града Загреба у Хрватски државни координатни сустав, ДГУ РХ: “Извјешћа о званствено-стручним пројектима из 2004.-2005. године”, Загреб 2006.
- [5] Мозетић Блаж, Mednarodni projekt vzpostavitev Evropskega prostorskega referenčnega sistema v Sloveniji, Геодетски вестник, ИССН 0351-0271, Љубљана, 2007.
- [6] Бојан Стопар, Vupostavitev ESRS v Sloveniji, Геодетски вестник, ИССН 0351-0271, Љубљана, 2007.
- [7] Мишковић Дарко, Реализација нових референтних система за подручје Републике Српске, [www.gdhh.ba](http://www.gdhh.ba)
- [8] Самарцић Милева, Одређивање геоида Републике Србије методом ГПС нивелмана, Грађевински факултет, Институт за Геодезију, Београд, 2007.
- [9] <http://www.rgz.gov.rs>
- [10] <http://www.nekretnine.co.me>
- [11] <http://www.gu.gov.si>
- [12] <http://etrs89.ensg.ign.fr>
- [13] <http://www.gu-signal.si>
- [14] <http://prostor.gov.si>
- [15] <http://sitranet.si>
- [16] <http://www.rgurs.org>