

Mr Branko Božić,  
major, dipl. inž.  
Vojnogeografski institut,  
Beograd

## NEKI PROBLEMI U PRIMENI GLOBALNOG POZICIONOG SISTEMA U NAŠIM USLOVIMA

UDC: 528.01:528.006.27:528;355.528.8

### Rezime:

*U članku su istaknuti određeni problemi u primeni globalnog pozicionog sistema (GPS) u praksi. Posebno se ukazuje na potrebu posedovanja savremene i tačne državne geodetske mreže i njeno povezivanje u Evropsku referentnu mrežu (EUREF). To je nužan preduslov za određivanje pouzdanih parametara za transformaciju GPS (WGS84) koordinata u državni koordinatni sistem.*

*Ključne reči: geodetski datum, transformacije.*

## SOME PROBLEMS IN USING GLOBAL POSITIONING SYSTEM IN OUR CONDITIONS

### Summary:

*The paper points out some problems in using GPS in true field conditions. In particular, the paper describes importance of having a very good state network and its connection with the European reference frame (EUREF). It should be noted that in order to have good transformation parameters, we must define the relationship between the local geodetic system (local datum) and the satellite global datum (World Geodetic System 1984), in a proper way.*

*Key words: GPS, geodetic datum, transformations.*

### Uvod

Primena GPS tehnologije donela je revolucionarne promene u načinu određivanja položaja željenih tačaka ili objekata u prostoru, uključujući pri tome i navigaciju. U svetu je primena GPS postala nužnost. Bez GPS-a se ne može ni zamisliti savremena navigacija, na moru, kopnu ili u vazдушnom prostoru. GPS je danas jedno od najefikasnijih sredstava za masovno prikupljanje podataka za potrebe izgradnje geografskog informacionog sistema (GIS). Ovaj rad, pored prikaza osnovnih pojmova o GPS-u, analizira koordinatne sisteme; globalni — u kome se daju GPS rezultati i lokalni — u kome

su sračunate koordinate tačaka kojima se u praksi služi (državni sistem).

Cilj rada je da ukaže na važnost uspostavljanja neophodnih preduslova za potpunu primenu GPS-a u našim uslovima, kao i da posluži budućim korisnicima u sagledavanju svih relevantnih faktora koji utiču na stepen iskorisćenosti ovog nesumnjivo veoma efikasnog tehničko-tehnološkog sistema.

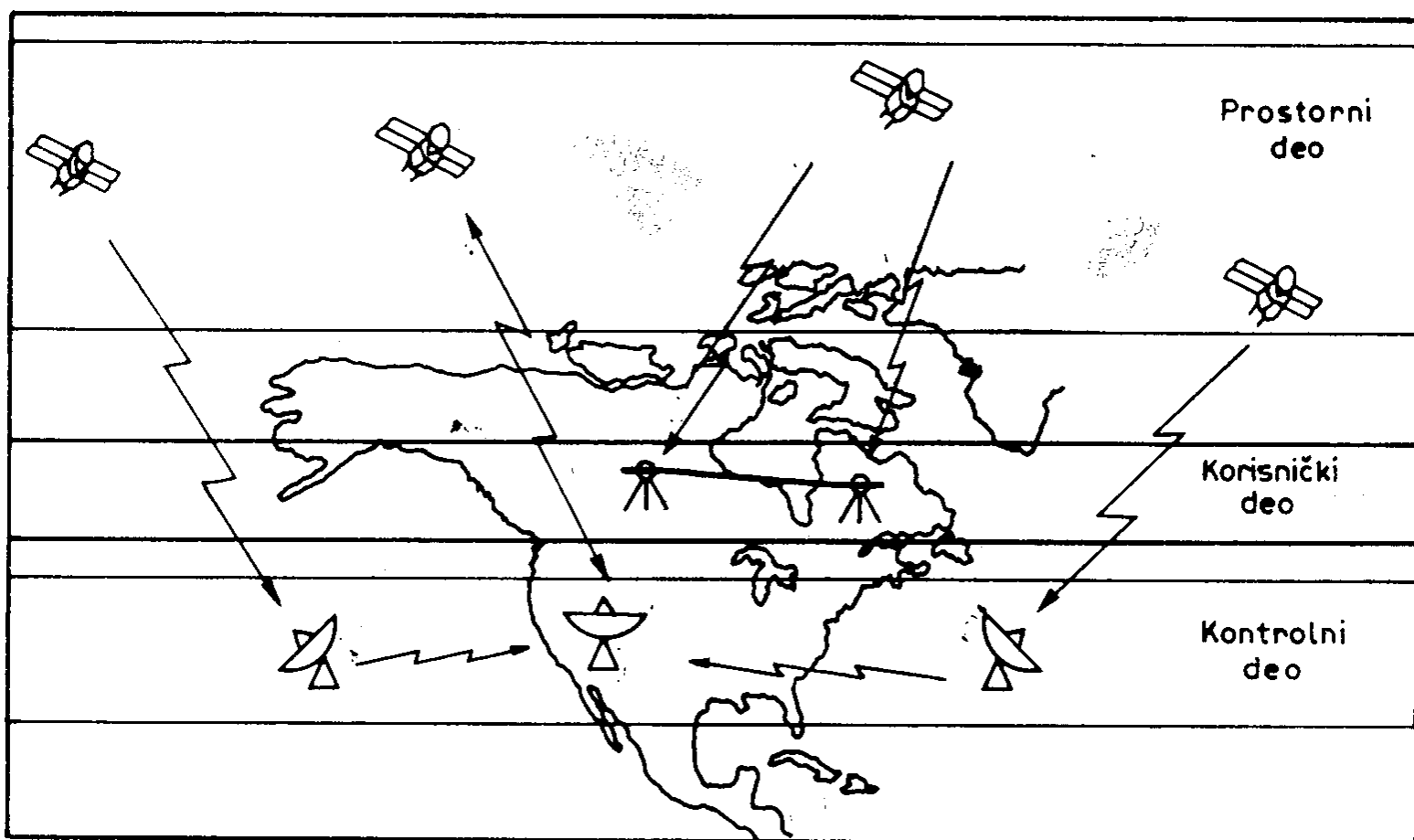
### Komponente globalnog pozicionog sistema

Globalni pozicioni sistem čini skup od 21+3 rezervna satelita, raspoređena u 6 orbitalnih ravni, na visini od oko 20 000 km iznad Zemlje, koji emi-

tuju podatke o svom položaju (koordinate — efemeride) u svetskom prostornom trodimenzionalnom koordinatnom sistemu (WGS84) sa ciljem da se na svakoj tački Zemlje, u bilo koje doba dana ili godine može odrediti tačan položaj i brzina kretanja GPS antene (sredstva na kojem je montirana) (slika 1).

GPS je projektovao i održava ga Ministarstvo odbrane SAD. Od svog nastanka (1971) do danas, u orbitu su

ličitih vrsta. U zavisnosti od karakteristika i namene prijemnici mogu biti kodni i beskodni, jednofrekventni i dvofrekventni, navigacioni i geodetski, vojni i civilni i sl. Svi oni imaju istu namenu, a to je prijem signala sa satelita i njegova dalja obrada, čiji nivo zavisi od namene uređaja. Za vojne potrebe posebno je interesantno: određivanje pozicija u što kraćem vremenu i u koordinatnom sistemu koji je razumljiv korisniku (saglasan sa kartom).



Sl. 1 — Komponente globalnog pozicionog sistema

sukcesivno izbacivane tri generacije satelita (Blok 1, Blok 2 i Blok 2R), različitih karakteristika i mogućnosti.

Svaki satelit (prostorna komponenta sistema) emituje na dve noseće frekvencije ( $L_1=1,5$  GHz i  $L_2=1,2$  GHz): kodove (C/A na  $L_1$  nosaču i P kod na oba noseća talasa), efemeride, podatke o jonosferi i druge pomoćne informacije značajne za dalju obradu podataka u GPS prijemniku ili računaru.

Korisnički deo GPS-a čine satelitski prijemnici, kojih ima preko 100 raz-

Treću komponentu GPS-a čini skup kontrolnih stanica, čija je osnovna namena praćenje satelita, izračunavanje njihovih putanja kretanja i slanje tih podataka do svakog satelita.

### Određivanje koordinata položaja stajnih tačaka

Da bi se došlo do koordinata položaja stajne tačke u koordinatnom sistemu države na čijoj teritoriji se izvode merenja, potrebno je znati: koordinate satelita u trenutku opažanja,

najmanje tri dužine između prijemnika i satelita (jedan prijemnik i tri satelita), kao i vezu (odnos) između koordinatnog sistema u kome su date koordinate satelita (WGS84) i državnog koordinatnog sistema (kod nas je to na određeni način orijentisan i lociran Beselov elipsoid na koji je projektovana državna trigonometrijska mreža, tj. na kome je preslikana državna teritorija, da bi se dalje lakše projektovala na poprečni cilindar, formirajući, radi smanjenja deformacija, tri koordinatna sistema u ravni (na karti poznatiji kao 5. 6. i 7. zona).

Koordinate položaja satelita su predmet tzv. dinamičke satelitske geodezije i ne tiču se direktnog korisnika. Tačnost emitovanih efemerida definisana je određenim standardima. Običnim korisnicima pristupačan je tzv. SPS standard (tačnost oko 100 m po položaju i 150 m po visini), dok je tzv. PPS standard (tačnost oko 10 m) privilegija SAD i njenih saveznika, što je postignuto uvođenjem tzv. AS (Antispoofing), tj. ograničenjem u pristupu P kodu. Na nivo tačnosti od 100 m došlo se tzv. politikom propustljivosti (SA — Selektive Availability) koja podrazumeva degradaciju tačnosti efemerida i neadekvatno modelovanje parametara časovnika u satelitu.

Merenje dužina od prijemnika do satelita zadatak je operativnog dela satelitske geodezije i jeste nešto što budući korisnik treba da zna. Poznate su tri vrste GPS merenja: *kodno merenje*, *fazno merenje* i *merenje pomaka Doplerove frekvencije*. Cilj sve tri vrste merenja je da se dođe do dužine između prijemnika i satelita.

Kodna merenja se, uglavnom, koriste za potrebe određivanja pozicija u realnom vremenu. Princip merenja zasniva se na određivanju vremena (upoređenjem istih sekvenci kodova koji se generišu u satelitu i prijemniku) koje je potrebno signalu da pređe put od satelita do prijemnika. Tačnost položaja dobijenih ovom vrstom opaža-

nja kreće se od 10 m (P kod) do 100 m (C/A kod).

Fazna merenja se, uglavnom koriste kada treba ispuniti zahteve najviše tačnosti (nekoliko santimetara). Do vrednosti dužina između satelita i prijemnika se dolazi merenjem fazne razlike između signala (noseće frekvencije) pristiglog sa satelita i istog signala generisanog u prijemniku. Određujući ukupnu vrednost celog broja talasnih dužina između satelita i prijemnika i mereći preostali deo talasne dužine (poznata vrednost talasne dužine signala  $\lambda_{L1}=19$  cm i  $\lambda_{L2}=24$  cm), dolazi se do rastojanja satelit-prijemnik.

Treća vrsta merenja je jedna od prvo primenjenih metoda merenja. Pošto je satelit pokretan, frekvencija koju emituje, usled relativističkog efekta, biće pomeren (saglasno radijalnoj komponenti brzine satelita — poznata vrednost) u odnosu na fiksnu vrednost. To omogućuje da se izvesnim metodama dođe do brzine kretanja antene, kao i razlike rastojanja između dva različita položaja satelita. Poznavajući rastojanje do satelita u početnoj epohi merenja, mogu se dobiti rastojanja do satelita u nekoj od narednih vremenskih epoha (trenutaka).

Na osnovu rastojanja merenih do najmanje tri satelita, dobijaju se tri dužine, na osnovu kojih se, metodom presecanja, mogu izračunati prostorne koordinate položaja antene (X, Y i Z). Često se, kod zahteva najviše tačnosti, traži i četvrto rastojanje (satelit) koje se upotrebljava radi ocene vrednosti popravke prijemnikovog časovnika, koja se pri daljem računanju uzima u obzir. Opšti je princip — što se veći broj satelita opaža, to je veća pouzdanost rezultata merenja, a ocena tačnosti položaja objektivnija. Zahtev za što većim brojem kanala (vezano sa brojem satelita koji se prati) posebno se postavlja pri radu instrumenta u pokretu (kinematička metoda GPS merenja).

Zahtev, koji se odnosi na brzinu i tačnost određivanja položaja, traži da se ovi pojmovi odvoje i posebno objasne. To proističe iz ličnog iskustva autora koji je u praksi primetio izvesne nejasnoće u razmatranju ovih veličina.

Vreme koje je potrebno za određivanje koordinata položaja antene zavisi (uglavnom) od tražene tačnosti. Ukoliko se traži tačnost od 100 m, dovoljno je opažati samo nekoliko sekundi, a ukoliko je zahtevana veća tačnost, veće (duže) je i vreme opažanja. Kod zahteva najviše tačnosti (u geodeziji gde se traži milimetarska tačnost), nužna je naknadna obrada podataka merenja (u računaru), koja može trajati i po nekoliko sati. Kod zahteva tog nivoa, koriste se tzv. relativne metode GPS-a (simultano opažanje sa više prijemnika). Sigurno je da pri zahtevu za što bržim određenjem položaja dolaze u obzir samo dve grupe prijemnika: obični navigacioni sa što većim brojem kanala i GPS prijemnici u sistemu tzv. DGPS-a (diferencijalni GPS).

Što se tiče tačnosti, treba razlikovati unutrašnju tačnost (preciznost) od spoljašnje tačnosti. Unutrašnja tačnost podrazumeva odstupanje pojedinog rezultata merenja od srednje vrednosti, dok se pod spoljašnjom tačnošću podrazumeva odnos između srednje vrednosti (najverovatnije vrednosti merene veličine) i uslovno tačne vrednosti. Pomenuti podaci o tačnosti GPS-a (od 10—100 m) odnose se na unutrašnju tačnost pojedinog rezultata merenja. Spoljašnja tačnost srednje vrednosti koordinata zavisi od vremena opažanja (npr. neki rezultati ispitivanja prijemnika SCOUT — Trimble pokazali su da je u vremenskom intervalu od 10 do 15 min moguće postići tačnost od oko 40 m). U literaturi se može naći podatak da se jednim prijemnikom nakon opažanja u vremenu od jednog dana može postići spoljašnja tačnost ispod 3 do 4 metra.

## **Veza globalnog (WGS84) i lokalnog (državnog) koordinatnog sistema**

Običnog korisnika ne zanima odnos između lokalnog i globalnog sistema (datuma). Važno je da pozicije budu prepoznatljive, tj. date u ravni projekcije karte (ili neki drugi medij) koju poseduje. Ostvarivanje veze između koordinatnih sistema zadatak je geodeta prema prirodi nauke i sadržaju njenog predmeta. Drugi način da se prikaz položaja GPS prijemnika učini uporedivim sa topografskom kartom je da se na određenom broju topografskih karata postojeća pravougla mreža zameni mrežom paralela i meridijana, u sistemu WGS84. I jedna i druga mogućnost imaju prednosti i nedostatke i zahtevaju određivanje tzv. transformacionih parametara. Vojno-geografski institut je za šire područje Beograda odredio transformacione parametre, ali se oni zbog nehomogenosti državne mreže (na celom njenom prostoru; osim toga nije definisan globalni datum — povezivanje u EUREF), ne mogu zvanično koristiti bez detaljnije analize tačnosti transformacije, na celoj teritoriji SRJ.

U poslednje vreme često se postavlja zahtev za proširivanjem zone naše državne projekcije sa 3 na 6 stepeni. Osnovni razlog za uvođenje trostepenih zona bio je da se postigne da deformacije dužina na krajevima zone ne pređu iznos od 1:10 000 (1 dm po kilometru dužine). Uvođenje šestostepene zone, za vojne potrebe, može se realizovati bez većih problema, uz istovremeno korišćenje i neke druge kartografske projekcije (npr. UTM i sl.), uz prikaz meridijana i paralela u sistemu WGS84. Da bi se to realizovalo, pored toga što bi postojeću državnu trigonometrijsku mrežu trebalo homogenizovati (nova merenja unutar mreže i njeno povezivanje u EUREF — European reference frame), potrebno bi bilo, radi određivanja globalnih transformacionih parametara za čitavu teri-

toriju SRJ, izvršiti GPS merenja na određenom broju trigonometrijskih tačaka. Time se stiču neophodni uslovi koji, uz poznavanje oblika geoida, omogućuju definisanje datuma mreže.

Pitanje geodetskog datuma često je predmet nedoumica pri prvom susretu sa Uputstvom za rad bilo kog GSP prijemnika.

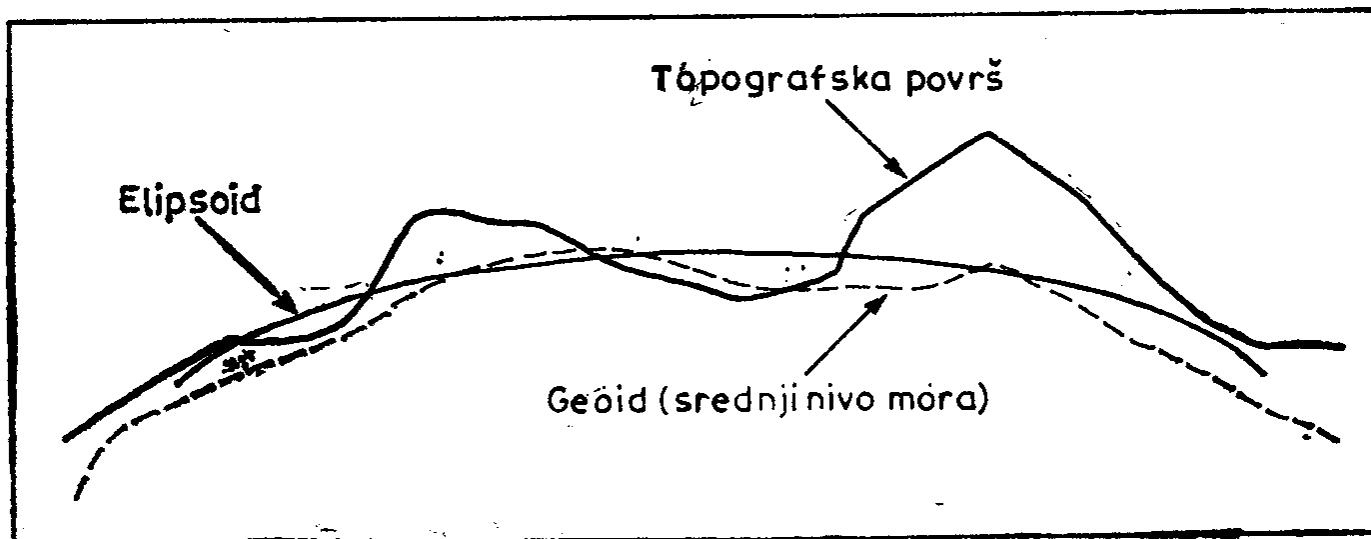
### Geodetski datum

Da bi se pomoglo u rešavanju izvesne konfuzije u vezi sa pozicijama dobijenih GSP-om u sistemu WGS84, bitno je objasniti pojam horizontalnog datuma. Naime, postoji nekoliko formi oblika površi koje se koriste za prikaz Zemlje. *Istiniti* oblik čvrste Zemlje je njena *topografska površ* koja obuhvata, kako planinske visove, tako i morska udubljenja. Ona na prvi pogled ima izvesne sličnosti sa sferoidom (elipsoidom), ali, zbog neregularnosti, od njega odstupa i do 9000 m na kopnu, odnosno oko 11 000 m na okeanu. Kako je topografsku površ nemoguće tačno matematički definisati, ona se ne može koristiti kao referentna površ za pozicioniranje. Druga figura je *geoid* koji je nešto jednostavnijeg oblika, a, takođe, odstupa od sferoida i do 100 m. On se definiše kao ekvipotencijalna gravitaciona površ »jednaka« srednjem nivou mora. Može se zamisliti kao za-

krivljena (undulaciona) površ koja se prostire kroz kontinente (slika 2).

Undulaciona priroda geoida je rezultat nejednakog rasporeda nehomogenih masa unutar Zemlje. Važnost ove figure je uglavnom u tome, što je pravac gravitacione sile uvek upravan na geoid. To ima za posledicu da su svi geodetski instrumenti prirodno vezani za njega (pravac viska). *Sferoid* (elipsoid) je treća figura (površ) koja ima veliki značaj u geodeziji. Sferoid je matematičko-fizički definisana površ koja predstavlja praktičan model Zemlje na koji se svode sva položajna računanja. On se formira rotacijom elipse oko male ose i definisanjem fizičkih konstanti koje određuju njegova fizička svojstva (brzina rotacije, gravitaciona konstanta, normalno polje sile teže).

Radi što boljeg definisanja (aproximacije) geoida, u praksi je uveden veliki broj sferoida (različitih dimenzija). Neki od njih su lokalni (ishodište pomeneno u odnosu na centar Zemlje), a neki su globalni (ishodište u centru mase Zemlje). Da bi se neki elipsoid koristio kao osnova za računanje položaja tačaka, mora se definisati njegov položaj u odnosu na geoid. Definisanje jedne takve veze naziva se **DATUM**. Tako, npr. ED50 (evropski datum 1950), sa određenom tačnošću, povezuje internacionalni sferoid sa geoidom. Veoma je važno istaći da datum,



Sl. 2 — Odnos između različitih površi

koji nije dobro definisan u celini ili u nekom delu teritorije koju pokriva, ne može biti dobra osnova za povezivanje sa drugim datumima, koji, takođe, imaju neke svoje slabosti.

Šezdesetih godina satelitska tehnologija je omogućila definisanje globalnog datuma čije je ishodište u centru mase Zemlje. To je dovelo do pojave WGS84 datuma, koji povezuje satelitski određen sferoid sa geoidom.

Da bi se prešlo iz jednog datuma u drugi, potrebno je, na osnovu najmanje tri zajedničke tačke (poznate koordinate položaja u oba datuma), uspostaviti odnos između datuma. Kvalitet transformacije zavisiće (između ostalog) od broja i kvaliteta zajedničkih tačaka. Može se desiti da transformacioni parametri, sračunati za celu državnu teritoriju, nisu pouzdani za pojedine njene delove, ili da transformacioni parametri za jedan deo teritorije ne odgovaraju drugom delu teritorije (nehomogenost mreže izaziva pogrešno definisan datum).

GPS pozicije su definisane u WGS84 sistemu (WGS84 koristi Geodetic Reference System 1980 — GRS80 elipsoid sa ishodištem u geocentru), ali većina prijemnika ima mogućnost transformacije koordinata u veliki broj drugih datuma. Treba skrenuti pažnju da su ponuđeni datumi (parametri) aproksimativni, tako da neki od njih, na krajevima zone koju obuhvataju, mogu izazvati greške položaja i do 100 m, pa se preporučuje upotreba WGS84 sistema, kad god je to moguće.

Kod nas, za sada, nema ni jedne karte definisane u WGS84 sistemu. Međutim, zbog brzog razvoja GPS-a i sve masovnije primene u navigaciji i pozicioniranju, postoji potreba da se odredi veza između lokalnog (državnog) datuma i WGS84 datuma, tako da se, pored ostalog, GPS koordinate mogu direktno kartirati, a za to je potrebna dobro definisana kontrolna horizontalna mreža. Tako, na primer, ukoliko se

veza između lokalnog horizontalnog datuma i WGS84 odredi sa tačnošću manjom od 10 m, a znajući da je tačnost plotiranja 0,2 mm, ova bi greška bila značajna za sve karte razmere veće od 1:50 000.

### *Problemi sa našim datumom*

Radovi na našoj položajnoj mreži započeli su 1899. godine i trajali su do 1949. godine, što je nedopustivo dug period u uspostavljanju jedne trigonometrijske mreže, jer se, zbog pomerenja Zemljine kore, međusobni položaji tačaka u prostoru menjaju. Takođe, u toku merenja, korišćeni su različiti instrumenti i metode rada, a mreža je razvijana nadovezivanjem, onako kako se državna teritorija menjala, a hitni zadaci i potrebe zahtevali. Čak ni tako urađena mreža nije celovito obrađena (izravnata), već po delovima, što je dodatno uticalo na njenu nehomogenost. Međutim, najveća greška je napravljena oslanjanjem mreže na mrežu bečkog Vojnogeografskog instituta, 1904. godine. Ustanovilo se, da je austrougarska mreža bila pogrešno orijentisana, jer je fundamentalna tačka *Hermanskogel* kod Beča pogrešno određena po položaju, a orijentacija početnog pravca pogrešna za nekoliko sekundi. Posledica toga (pored nepoznavanja geoida na ovim prostorima) jeste nemogućnost definisanja preciznijeg lokalnog datuma, koji bi poslužio kao osnov za određivanje transformacionih parametara za prelazak iz WGS84 sistema u naš lokalni, državni sistem. Zbog činjenice da ovakva mreža ne zadovoljava naučne, privredne i vojne ciljeve, najviši organi geodetske službe su 1953. godine doneli odluku da se preduzmu radovi na stvaranju nove astronomsko-geodetske mreže (AGM). Sva merenja u AGM urađena su u skladu sa tadašnjim normama i standardima. Međutim, pošto se radi o obimnim i skupim radovima, a posebno nakon ukidanja Savezne geodetske upra-

ve (SGU) sredinom sedamdesetih godina prekinut je rad na potpunoj obradi i analizi projektovanih referentnih mreža. Posledica tog stanja je da se i danas koristi mreža za koju je još pre 44 godine konstatovano da ne zadovoljava savremene potrebe, što umanjuje efikasnost primene GPS-a u našim uslovima i ukazuje na potrebu planskog i sistematskog pristupa u realizaciji jedne savremene geodetske osnove kao podloge za potpunu primenu svih sadašnjih i budućih sredstava koja se koriste u definisanju položaja i kretanja u prostoru.

## Zaključak

Globalni pozicioni sistem je nužno i nezaobilazno sredstvo, koje u današnjem vremenu predstavlja svojevr-

sni standard tehnološkog stepena razvoja i ozbiljnosti pristupa rešavanju određenih problema u domenu navigacije i pozicioniranja. Svetska iskustva u primeni ovog sistema pokazuju punu opravdanost njegovog uključivanja u najrazličitije sfere primene. Kod nas još uvek nema jedinstvenog sveobuhvatnog pristupa njegovom planskom uvođenju u upotrebu, što može izazvati bespotrebnu potrošnju sredstava i dupliranje kapaciteta. Zato je neophodno, bar u Vojsci Jugoslavije, centralizovati nabavku ovih uređaja i izraditi jedinstveni multikorisnički sistem diferencijalnog GPS-a, koji bi zadovoljio interese različitih profila korisnika. Na čelu jednog takvog tima morao bi biti Vojnogeografski institut koji jedini raspolaže potpunim podacima o prostoru i ima neophodan stručni potencijal potreban za potpunu primenu GPS-a u Vojsci Jugoslavije.

## Literatura:

- [1] Eckels, R.: Surveying njith GPS in Australia, Report School of Surveying, The University of New South Wales Kensington, N. S. W. 2033, Australia, 1987.
- [2] Wild: POPS Manual, WM Satellite Survey Company, Heerbrugg (Switzerland), 1990.
- [3] Leick, A.: GPS Satellite Surveying, John Wiley&Sons Inc., New York, 1990.
- [4] Božić, B.: Globalni pozicioni sistem, Vojnotehnički glasnik br. 6, Beograd, 1991.
- [5] Božić, B.: Globalni pozicioni sistem i selektivnost — vojni aspekt, Vojnotehnički glasnik br. 1, Beograd, 1992.
- [6] Božić, B.: Diferencijalni globalni pozicioni sistem, Geodetska služba, Geokarta Beograd, str. 65—69, 1994, br. 68.