

PRIMJENA GNSS TEHNOLOGIJE U INŽENJERSKIM GEODETSKIM ZADAĆAMA

, Ilija Grgić¹, Bojan Barišić², Tomislav Bašić³

¹Hrvatski geodetski institut, Zagreb (e-mail:ilija.grgic@cgi.hr)

²Hrvatski geodetski institut, Zagreb (e-mail:bojan.barisic@cgi.hr)

³Hrvatski geodetski institut, Zagreb (e-mail:tomislav.basic@cgi.hr)

Sažetak: Geodetsku osnovu za katastarske izmjere i inženjerske zadaće manjih zahtjeva preciznosti, tradicionalno je do sada predstavljala mreža stabiliziranih točaka na zemljinoj površini s koordinatama određenim u državnom koordinatnom sustavu. Uzmu li se u obzir suvremene tehnologije koje su u primjeni može se reći da takva mreža točaka, s motrišta sustava za globalno satelitsko pozicioniranje, pri određivanju položaja točaka detalja, predstavlja pasivnu geodetsku osnovu. Nasuprot tome aktivna geodetska osnova s mrežom referentnih stanica s precizno određenim koordinatama u globalnom geocentričnom referentnom sustavu osigurava servis satelitskog pozicioniranja različitih razina preciznosti. Primjena satelitskog pozicioniranja s pasivne geodetske osnove moguća je uspostavom referentnog uređaja na jednoj ili više točaka primjenom kinematičkog i statičkog pozicioniranja. U cilju eksperimentalnog istraživanja preciznosti i efikasnosti različitih metoda pozicioniranja na kraćim udaljenostima opažanjem umjetnih zemljinih satelita obavljena su testna mjerenja na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta u odnosu na samo jednu referentnu stanicu.

Ključne riječi: testno određivanje, katastar, zahtjevi preciznosti

1 UVOD

Precizno relativno GPS pozicioniranje provodi se na temelju obrade vektora. Najvažniji korak u obradi vektora je određivanje cjelobrojne dvostruke razlike fazne višeznačnosti koja se provodi za par postaja. Uspije li se to riješiti onda je moguće i pri kraćem vremenskom intervalu sakupljanja satelitskih signala za vektore duljine do nekoliko kilometara ostvariti centimetarsku položajnu točnost. Za vektore preko 10...20 km duljine rješenje fazne višeznačnosti se postiže duljim vremenskim intervalom mjerenja, a standardno odstupanje određivanja koordinata položaja točke višestruko prelazi vrijednost 1 cm. Primjena satelitski podržanih postupaka pozicioniranja dosegla je u međuvremenu novu kvalitetu. GPS se ne primjenjuje više samo kao precizan, fleksibilan i ekonomičan mjerni postupak, nego je prerastao u osnovu za određivanje stalnih točaka geodetske osnove. GPS-a karakterizira da je skoro neovisan o duljini pri čemu se koordinatne razlike određuju bez uzajamnog dogledanja s visokom preciznosti. Na temelju toga može se GPS primijeniti

naravno i u određivanju točaka za potrebe katastarskih izmjera. Uvođenje satelitski podržanih mjernih postupaka u području katastra nekretnina značajno se reflektira na buduću strukturu klasičnih mreža stalnih točaka geodetske osnove kao i na izgradnju koordinatnog katastra. Uspostava satelitskih sustava za pozicioniranje posebice smanjuje potrebu za trajno stabiliziranim točkama.

2 VIRTUALNE REFERENTNE STANICE (VRS)

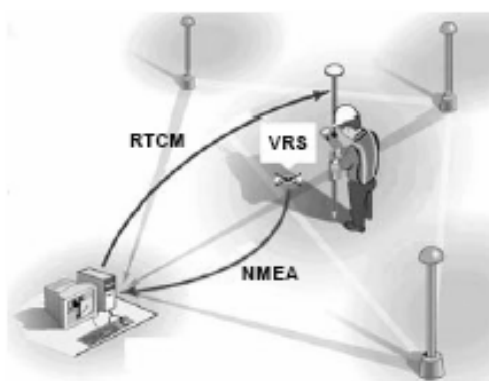
RTK (Real Time Kinematic) metoda GPS pozicioniranja je danas jedna od najčešće korištenih metoda izmjere u razvijenim zemljama. Međutim, GPS izmjera u realnom vremenu ograničena je utjecajima ionosfere i troposfere koji se manifestiraju u obliku sustavnih pogrešaka u originalnim podacima opažanja. Eliminiranje ili umanjivanje utjecaja tih pogrešaka podrazumijevalo je da se u načinu rada koriste kratke udaljenosti GPS rovera od baze. U većem broju europskih država danas postoje mreže referentnih GPS stanica koje osiguravaju podatke individualnim korisnicima. Izmjera u realnom vremenu RTK metodom zahtijeva kratke udaljenosti GPS rovera od bazne točke, ili gustu mrežu referentnih stanica. U većini zemalja mreža je dovoljno gusta da bi zadovoljila metarski nivo preciznosti, ali nedovoljno dobra za RTK preciznost od 1 do 2 cm. U slučaju velikih udaljenosti od bazne stanice, kada su područja nepokrivena podacima za RTK izmjeru, korisnik je prisiljen sam uspostaviti svoju baznu točku. Situacija se još dodatno pogoršava u vrijeme perioda visoke solarne aktivnosti koje karakteriziraju značajne nestabilnosti u atmosferi.

2.1 Princip rada VRS-a

Mogućnosti primjene RTK metode značajno se proširuju konceptom VRS-a. Ukoliko se koristi VRS sustavne pogreške u podacima referentnih stanica se mogu umanjiti ili potpuno eliminirati, s čime se ne samo omogućuje povećanje udaljenosti GPS rovera od baze nego i povećanje ukupne pouzdanosti sustava te skraćivanje vremena potrebnog za automatsku inicijalizaciju On The Fly (Wanninger, 2002). Princip rada VRS-a koristi se u uspostavljanju novih mreža ali u isto vrijeme i za poboljšanje performansi već uspostavljenih mreža referentnih stanica. VRS koncept temeljen je na mreži referentnih stanica međusobno povezanih telefonskim linijama s kontrolnim centrom. Svaka pojedina referentna stanica opremljena je GPS prijarnikom, antenom, napajanjem i modemom za komunikaciju s kontrolnim centrom. Računalo u kontrolnom centru kontinuirano preuzima podatke svih GPS prijarnika mreže referentnih stanica i na osnovu njih kreira bazu podataka regionalnih korekcija. Ti podaci koriste se za kreiranje VRS-a, koja je zapravo imaginarna točka nekoliko metara udaljena od GPS rovera. Rover prima i interpretira podatke kao da se oni zaista odnose na fizičku referentnu stanicu koja se nalazi u njegovoj

neposrednoj blizini. Kao rezultat dobije se evidentan porast performansi RTK izmjere (Landau, Vollath, 2002). Opažanja VRS-a računaju se iz podataka realno postojećih referentnih stanica. VRS bi trebao iskazati slične ili bolje karakteristike pogrešaka nego opažanja koja bi se s realnom referentnom stanicom na jednom te istom položaju mogla ostvariti.

Za prostorno definiranje VRS-a koriste se približne koordinate mobilne stanice da bi se izvore pogrešaka ovisne o udaljenosti reduciralo na minimum. U tu svrhu je preciznost od 100 m više nego dovoljna, a s apsolutnim GPS pozicioniranjem je u bilo koje vrijeme lako ostvariva, slika 1.



Sl.1. Princip rada VRS-a

Formiranje opažanje VRS-a realizira se u dva koraka. U prvom dijelu se računaju stajališno ovisne pogreške i korekcijski modeli za pogreške koje ovise o udaljenosti i smjeru prema rješenju fazne višeznačnosti u mreži referentnih stanica iz opažanja dobivenih na njima. Na taj način dobivaju se korekcije opažanja za kodna i fazna mjerenja u odnosu na izabrani položaj i korekcijski modeli pogrešaka ovisni o smjeru i udaljenosti, koji omogućuju preračunavanje korekcija opažanja željenog položaja u području mreže. U drugom koraku mogu se tako dobivene informacije koristiti da bi se oformila opažanja VRS-a. Izračun opažanja VRS-a može se svagdje provesti gdje se raspoložuje približnim položajem korisnika, korekcijama opažanja i korekcijskim modelima (Wanninger, 1998). Pozicioniranje mobilne rover stanice rezultira korištenjem kratke bazne linije prema VRS-u, koja je oslobođena od izvora pogrešaka ovisnih o udaljenosti. VRS sustav funkcionira tako da GPS rover odašilje svoju približnu poziciju kontrolnom centru putom standardne NMEA (National Marine Electronics Association) poruke. Taj format je izabran budući je zastupljen kod gotovo svih prijamnika. Kontrolni centar prihvaća poziciju i odgovara roveru slanjem RTK ili DGPS (Differential GPS) korekcija u RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatu. Odmah po prijemu korekcija GPS rover računa preciznu poziciju te je nakon toga odašilje u kontrolni centar. U kontrolnom centru računaju se nove RTCM korekcije tako

da izgleda kao da ih je emitirala bazna stanica u neposrednoj blizini rovera te ih odašilje putom iste GSM (Global System for Mobile Communications) veze. Tom tehnikom mogu se ostvariti puno bolji rezultati RTK pozicioniranja unutar mreže referentnih stanica. Očekivana horizontalna preciznost iznosi 1-2 cm u slučaju kada su referentne stanice međusobno udaljene do 70 km.

3 NOVA STRATEGIJA U PRIMJENI GPS TEHNOLOGIJE

U svim primjenama geodetske prakse s aspekta ekonomske isplativosti postavlja se najprije pitanje kako mjerni postupak, njegovu preciznost i nastale troškove dovesti u suglasje s projektnom zadaćom, i njezinim zahtjevima preciznosti. To osnovno geodetsko pravilo se nikako ne smije izgubiti iz vida. Pri izvođenju raznih inženjerskih zadaća uglavnom su se obavljali sljedeći radovi: utvrđivanje granica projektne zadaće, uspostavljanje mreže, iskolčenje, označivanje i izmjera granica blokova u lokalnom području, prijenos novih granica katastarskih čestica u lokalno područje i njihova izmjera. Ovisno o vrsti radova birana je mjerna metoda i tehnologija koja je jamčila izvođenje geodetskih mjerenja u okviru zahtijevane preciznosti. Smanjivanje geodetskih troškova najefektivnije je moguće tamo gdje se u velikom opsegu na lokalnoj razini izvode radovi. S druge strane treba imati na umu da radovi koji se izvode u svrhu inženjerskih radova ili definiranja vlasništva nad katastarskim česticama podliježu posebnim zahtjevima preciznosti. Razvoj nove strategije u svrhu izvođenja radova bazirao bi se na pitanju odnosa zahtijevane i moguće preciznosti utvrđivanja činjeničnog stanja. Primjera radi osnovni koncept u katastarskim izmjerama sastoji se u tome da se definirane granice kao i ostala topografija, granice kultura, pretežno određuju fotogrametrijskim postupkom na temelju zračnih snimaka (URL-1). Izmjera položaja s centimetarski dobro definiranim građevinama kao što su zidovi, ograde, zgrade pomoću fotogrametrijskog postupka je s odgovarajućim krupnim mjerilom snimanja teoretski moguća, međutim budući je limitirana glede preciznosti, upitna je njena uporabna vrijednost u svrhu osiguravanja pravne sigurnosti vlasništva nad katastarskom česticom. U izgrađenom području zbog reducirane vidljivosti detalja iz zraka fotogrametrijski mjerni postupak ima svoja ograničenja, pa će se sukladno tome i ubuduće jasno definirane granice određivati terestrički ili satelitski podržanim mjernim postupcima. Centimetarski pouzdano definirane nove granice katastarskih čestica u okviru intravilana trebaju se određivati s odgovarajućom preciznosti sukladno zakonskim odredbama koje trebaju biti odraz nove strategije, obzirom na naraslu vrijednost građevinskog zemljišta i mogućnosti nove tehnologije koja osigurava vrlo precizno prostorno pozicioniranje.

4 TESTNA MJERENJA NA KALIBRACIJSKOJ BAZI

Eksperimentalno istraživanje preciznosti, ekonomičnosti i efikasnosti pojedinih metoda pozicioniranja u svrhu testiranja prihvatljivosti metode s različitim intervalima prikupljanja satelitskih signala za obavljanje različitih geodetskih zadaća u inženjerskoj geodeziji i katastarskim izmjerama obavljeno je na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta. Ona je izgrađena za potrebe kalibriranja elektrooptičkih daljinomjera i postizanja jednog zajedničkog mjerila pri mjerenju duljina do 6000 m. Kalibracijska baza je uspostavljena na nasipu oteretnog kanala Sava-Odra u blizini Donje Lomnice 1982. godine, a rasponi između stupova cijele baze izmjerni su 1984. godine (Solarić i dr 1992).

Dio kalibracijske baze koji je korišten za testna mjerenja uključivao je sve stupove na udaljenosti 0-2100 m. Na svim stupovima testirane su mogućnosti kinematičkog pozicioniranja. Kao referentne vrijednosti koordinata svakog pojedinog stupa usvojene su vrijednosti koordinata dobivene iz statičkih mjerenja i za potrebe ovog istraživanja smatrane su, obzirom na ostvarene rezultate, uvjetno točnim, Tablica 1.

Tablica 1. Ostvarena standardna odstupanja na dijelu kalibracijske baze

Stup	σ_x	σ_y	σ_H	Stup	σ_x	σ_y	σ_H
0	0.2mm	0.2mm	0.3mm	700	0.3mm	0.3mm	0.4mm
100	0.1mm	0.1mm	0.1mm	800	0.2mm	0.2mm	0.2mm
200	0.2mm	0.2mm	0.5mm	900	0.3mm	0.2mm	0.4mm
300	0.3mm	0.2mm	0.3mm	1000	0.2mm	0.2mm	0.2mm
400	0.2mm	0.2mm	0.4mm	1100	0.2mm	0.1mm	0.2mm
500	0.3mm	0.3mm	0.3mm	1600	0.3mm	0.2mm	0.3mm
600	0.2mm	0.2mm	0.4mm	2100	0.3mm	0.2mm	0.3mm

Za izvođenje statičkih mjerenja korišteni su dvofrekvencijski GPS prijammnici Trimble R7 sa Zephir Geodetic antenama. Podaci statičkih mjerenja obrađeni su softverom Trimble Total Control, verzija 2.73. Mikromreža od 14 stupova s ugrađenim vijcima za prisilno centriranje, koji su, vrlo važno za primijenjeno eksperimentalno istraživanje, smanjili pogrešku centriranja na minimum, izjednačena je kao potpuno slobodna bez prethodno fiksiranih stupova u svrhu što boljeg i vjerodostojnijeg definiranja međusobnih relativnih odnosa. Na osnovu rezultata statičkih mjerenja, Tablica 1., može se reći da je ekonomično primijeniti GPS u mrežama posebnih namjena u graditeljstvu i industriji, gdje se zahtijeva milimetarska preciznost kao i u praćenju pomaka i deformacija.

Kao još jedan pokazatelj kvalitete dobivenih rezultata, ali ovaj put s naglaskom na njihovoj visinskoj komponenti, poslužila je usporedba undulacija geoida dobivenih iz razlike elipsoidnih i preciznim nivelmanom mjerenih visina (GPS/nivelman) te modela geoida HRG2000 (Bašić, 2001).

Tablica 2. Razlika undulacija

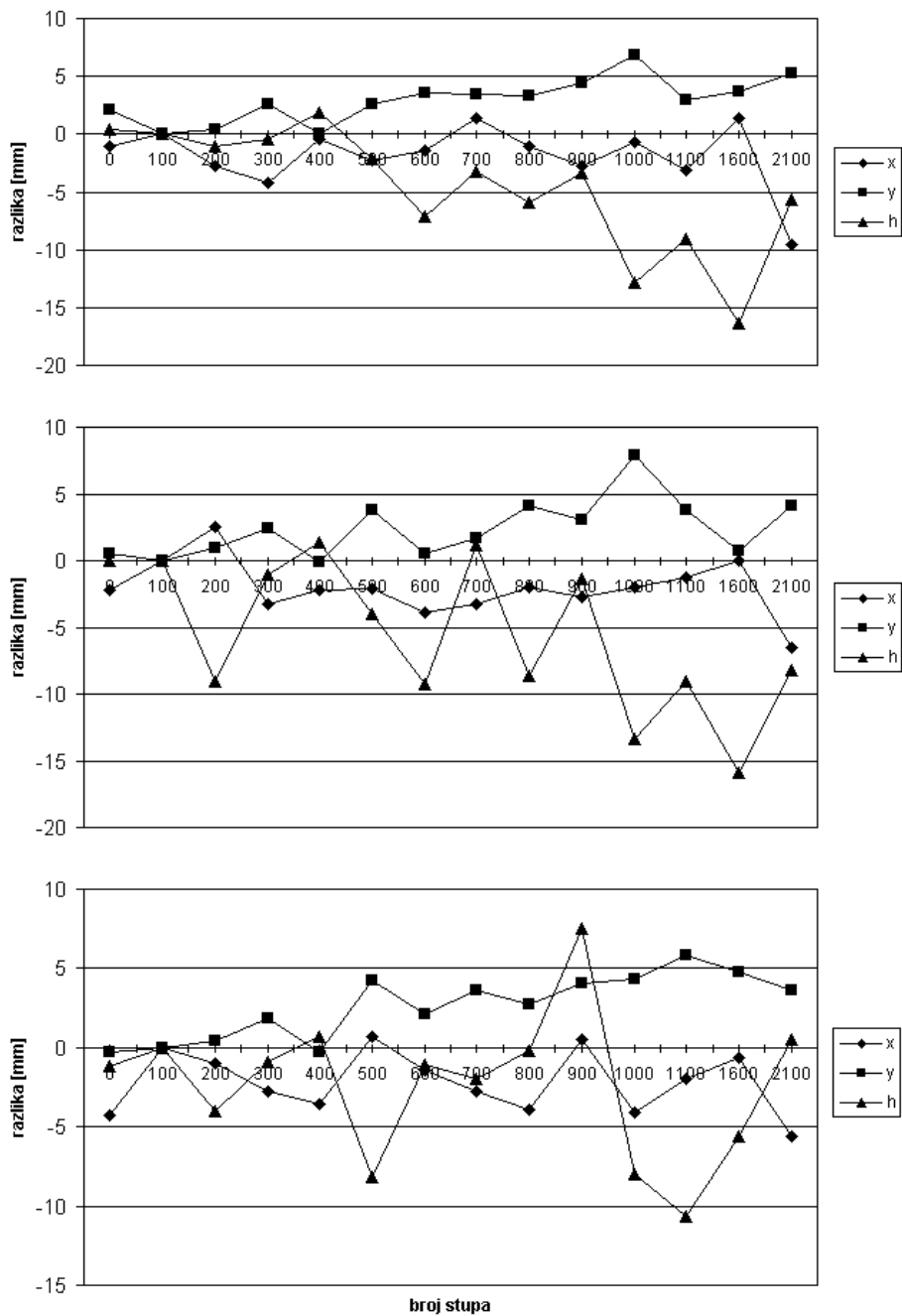
Stup	Undul. GPS/niv.	Undul. HRG2000	Undul. Razlika	Stup	Undul. GPS/niv.	Undul. HRG2000	Undul. Razlika
0	45.240 m	45.24 m	0.000 m	700	45.252 m	45.25 m	0.002 m
100	45.241 m	45.25 m	-0.009 m	800	45.249 m	45.25 m	-0.001 m
200	45.240 m	45.25 m	-0.010 m	900	45.251 m	45.25 m	0.001 m
300	45.243 m	45.25 m	-0.007 m	1000	45.252 m	45.26 m	-0.009 m
400	45.246 m	45.25 m	-0.004 m	1100	45.252 m	45.26 m	-0.008 m
500	45.247 m	45.25 m	-0.003 m	1600	45.260 m	45.26 m	0.000 m
600	45.246 m	45.25 m	-0.004 m	2100	45.265 m	45.27 m	-0.005 m

Problem razlike između referentne visinske plohe i plohe geoida riješen je na način da je na stupu 0 ta razlika postavljena na nulu. Iz tog razloga ostvarene rezultate, Tablica 2., treba promatrati kao procjenu unutarnje točnosti geoida HRG2000 što je u suglasju s deklariranim iznosom 1-2 cm (Bašić, 2001).

4.1 RTK mjerenja

U svrhu testiranja empirijskih rezultata RTK mjerenja izvedeno je kinematičko određivanje koordinata svih stupova na kojima su obavljena i statička mjerenja. Kinematička mjerenja obavljena su s različitim vremenskim intervalima prikupljanja satelitskih signala: 5, 30 i 60 sekundi. Interval registracije svakog pojedinog mjerenja iznosio je 1 sekundu. Kao bazna točka za potrebe obavljanja testnih RTK mjerenja na dijelu kalibracijske baze poslužio je stup 100 na kojem je postavljen dvofrekvencijski Trimble R7 prijamnik s pripadajućom Zephir Geodetic antenom. Ostalih 11 stupova od 0 do 2100 određeni su također dvofrekvencijskim Trimble R7 prijamnik s pripadajućom Zephir antenom priređenim za obavljanje RTK mjerenja. RTK mjerenja obavljena su u istom danu. Prije mjerenja na svakom pojedinom stupu i za različite testne intervale prikupljanja satelitskih mjerenja obavljena je inicijalizacija na točki, odnosno statičko određivanje startnog vektora. Usporedba vrijednosti koordinata za stupove dijela kalibracijske baze dobivenih obradom kinematičkih mjerenja s uvjetno točnim vrijednostima koordinata stupova proizašlim iz obrade statičkih mjerenja vizualno je prikazana na Slici 2. Zajednička karakteristika odstupanja vrijednosti koordinata pojedinih stupova dobivenih obradom RTK mjerenja u odnosu na uvjetno točne vrijednosti koordinata dobivene iz statičkih mjerenja je da položajna preciznost u pravilu proporcionalno raste s udaljenošću rovera od bazne točke, dok visinska preciznost nema tako jasnu tendenciju nego je karakteriziraju, korelirano s udaljenošću, sve naglašeniji skokovi od uvjetno točne vrijednosti. Odstupanje položaja na dijelu kalibracijske baze na kojem su obavljena testna mjerenja se kreće u intervalu do 10 mm, a po visini do 20 mm.

Zephyr antena: 5, 30 i 60 sek.



Sl. 2. Usporedba vrijednosti koordinata

5 ZAKLJUČAK

Uvažavajući moderne tehnologije i servise koji trebaju biti uspostavljeni, korištenje mreže referentnih stanica i servisa CROPOS-a u kombinaciji s fotogrametrijskim metodama znatno će reducirati financijske izdatke nužne za obavljanje geodetskih radova u okviru izvođenja inženjerskih zadaća, ne dovodeći u pitanje zahtijevanu preciznost određivanja točaka, pomaka i deformacija ili granica katastarskih čestica. Na osnovu testnih mjerenja i statističkih pokazatelja kvalitete ostvarenih rezultata nedvojbeno je da se statička i kinematička metoda mogu koristiti za niz inženjerskih i katastarskih zadaća. Metoda nije dvojbena nego samo odabir i prikladnost pojedine metode u specifičnoj projektnoj zadaći u svrhu ispunjavanja zahtjeva preciznosti.

LITERATURA

- Bašić, T. (2001): *Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000*. Izvješće DGU-a o znanstveno-stručnim projektima iz 2000. g., 11-22, Zagreb.
- Landau, H., Vollath, U. (2002): *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 2, 137-143.
- Solarić, N., Solarić M., Benčić, D. (1992): *Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta*, Geodetski list br. 1, 7-25, Zagreb.
- Wanninger, L., (2002): *Virtual Reference stations for centimeter-Level Kinematic Positioning*, Proc of ION GPS2002, Portland, Oregon, 1400-1407.
- Wanninger, L., (1998): *Verwendung virtueller Referenzstationen in regionalen GPS-Netzen*, AVN, 105:113-118, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- URL-1: *Photogrammetrische Datenerfassung in der Flurneuordnung*, <http://www.gia.rwth-achen.de/Service/download.php?fileTag=photoinbo.pdf> (12.12.2006.)

APPLICATION OF GNSS IN GEODETIC SURVEYING

Abstract. *Surveying frame for cadastral surveys and less accurate engineering purposes was traditionally formed as network of stabilized control point whose coordinates were given in official geodetic system. Recently applied GNSS technology for the field survey is giving that network character of passive control point network. Active geodetic frame, network of permanent station with high precise coordinates in global geocentric referent system assure reliable positioning services of different accuracy. Application of satellite positioning from the passive network points is possible by setting base receivers on the one or more sites, using static or kinematical mode. To test accuracy and efficiency of different satellite positioning methods on short bases, test measurements were conducted on the calibration base of Geodetic Faculty from one referent point.*

Key words: *test measurements, cadastre, accuracy demands*