

Preglednica 3: Geodetsko-navigacijski sprejemniki.

MODEL	KANA- LOV	SPREJEM	VELIKOST š x v x g (cm)	TEŽA (kg)	POST. PROC. SOFTWARE	POSEBNOSTI	CENA (USD)
Ashtech XII Ranger	12	L1-C/A	10 x 21,6 x 20	3,7	DA	možnost real-time differential, izhod DXF, Arc format	15.000
Standard El. Lorenz GLOBOS M2000	6	L1-C/A	24,4 x 10,2 x 6,1	1,4	NE	—	6.500 DEM
GESSA GPSpac	5	L1-C/A	12 x 4 x 9	0,3	NE	dela s HP 95 LX izhod Lotus format	1.550
Konsberg Navigation DS 9254	5	L1-C/A	20 x 12 x 7	2	DA	—	5.000
MAGELLAN 5000 PRO	5	L1-C/A	21,5 x 9 x 5	0,85	DA	izhod ASCII format	4.000 6.000
Magnavox MX 1000	6	L1-C/A	30 x 15 x 6,6	1,2	NE	—	2.995
Navstar XR4-G	2	L1-C/A	28 x 15 x 8,9	2,3	NE	možnost real-time differential	2.995
Rauß & Sorrensen GPS-7	5	L1-C/A	17 x 11,4 x 7,4	1,3	NE	—	1.499
TerraNav 2000	6	L1-C/A	16 x 6 x 23	1,1	DA	možnost real-time differential	18.000 DEM
TRIMBLE Pathfinder	3	L1-C/A	20,7 x 12,7 x 5,1	1,27	DA	izhod 10 GIS formatov	4.000

Viri:

Blair, B., 1989, Practical applications of GPS, Journal of surveying engineering, Vol. 115, No. 2, 218-222.

Grissim, T., 1992, GPS surveying the Golden Gate, Geodetical Info Magazine, No. 3, 65-70.

Seeber, G., 1989, Anwendungsmöglichkeiten von GPS in Geodäsie und Nachbargebieten. Erfahrungen mit dem TI4100 Navigator, VPhuKT, No. 8, 479-489.

mag. Miran Kuhar
mag. Bojan Stopar

Prispelo za objavo: 16.6.1992

GPS izmera navezovalne mreže ROVTE

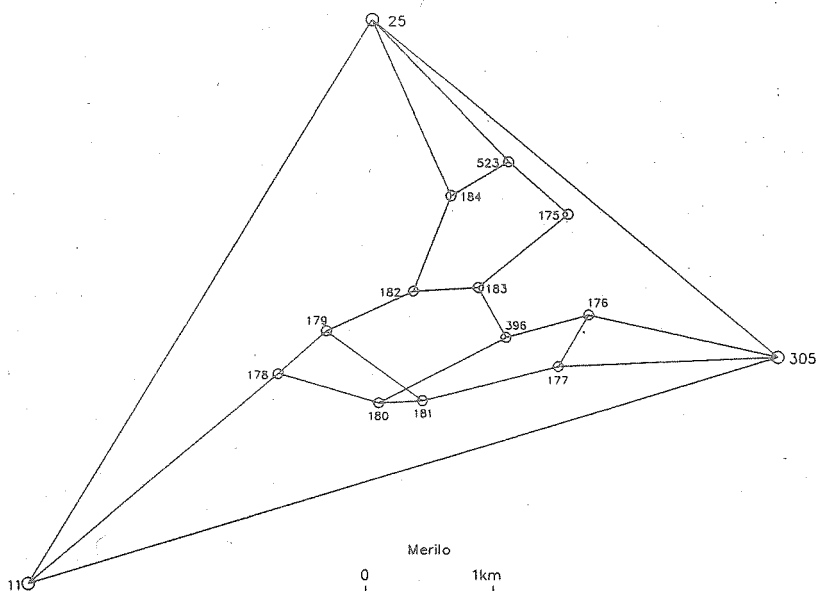
1. UVOD

V oktobru leta 1991 smo na Katedri za geodezijo skupaj z Geodetskim zavodom R Slovenije (GZ RS) izmerili navezovalno mrežo Rovte z meritvami GPS. Rekognosciranje, stabilizacijo in terestrično izmero elementov za navezavo ekscentričnih stojišč na centre je izvedel GZ RS. Mreža je bila razvita za potrebe terestrične izmere, zato so bili položaji točk temu ustrezno izbrani. Kriteriji za izbiro položajev za GPS točke so nekoliko drugačni od kriterijev za terestrično mrežo, zato smo v nekaj primerih postavili ekscentrična stojišča sprejemnikov. Na Katedri za

geodezijo FAGG smo opravili izmero, obdelavo opazovanj in transformacijo koordinat v državno mrežo v G-K projekciji. Točkam smo določili tudi nadmorske višine.

2. OBLIKA MREŽE

Navezovalno mrežo Rovte tvori 11 novih točk in 3 obstoječe trigonometrične točke IV. reda: 395, 396 in 523, katerim naj bi koordinate določili na novo. Mreža je navezana na 3 obstoječe trigonometrične točke: točko II. reda 305 in točki III. reda 25 in 11. Z GPS tehniko smo določili 10 novih točk in na novo 2 obstoječi trigonometrični točki 396 in 523 (Slika 1).



Slika 1

3. UPORABLJENI INSTRUMENTI

Izmero smo opravili z dvema „Ashtech LD-XII“ GPS sprejemnikoma. „Ashtech LD-XII“ je geodetski, dvofrekvenčni, 24-kanalni sprejemnik, kar omogoča istočasni sprejem signala iz 12 satelitov na obeh (L1 in L2) frekvencah. Sprejemniško enoto tvorita antena in sprejemnik. Sprejemnik je dimenzij 21,6 x 11,8 x 32,1 cm, skupaj z notranjimi baterijami tehta 4,8 kg. V normalni izvedbi ima 1 MB notranjega spomina, kar zadostuje za 18 ur opazovanj šestih satelitov pri registraciji signala vsakih 20 sekund. Sprejemni del antene je tipa „microstrip“ in je postavljena na okroglo aluminijasto ploščo s premerom 30 cm, ki predstavlja telo antene. Skupna teža antene je 1,2 kg. Sprejemni del antene je zavarovan s plastičnim pokrovom. Na telesu antene se nahajata tudi magnetna igla in libela. Oblika antene in magnetna igla naj bi v veliki meri zmanjšala pogreške zaradi spremembe položaja faznega centra antene, ki se spreminja v odvisnosti od spreminjanja jakosti in smeri vpadnega signala.

Delo s sprejemnikom je popolnoma avtomatizirano. Takoj po vklopu sprejemnik ugotovi stanje in delovanje svojih posameznih delov (opravi „self test“). To traja približno dve sekundi. Takoj za tem začne sprejemnik sprejemati signale s satelitov, ki so v tem trenutku nad obzorjem. Sprejeti signal s prvega satelita uskladi sprejemnikovo uro s satelitovo. Za izračun absolutnega položaja opazovališča je potreben sprejem signala s 4 satelitov. Izračun absolutnega položaja sprejemnika traja dve minuti.

4. GPS IZMERA MREŽE

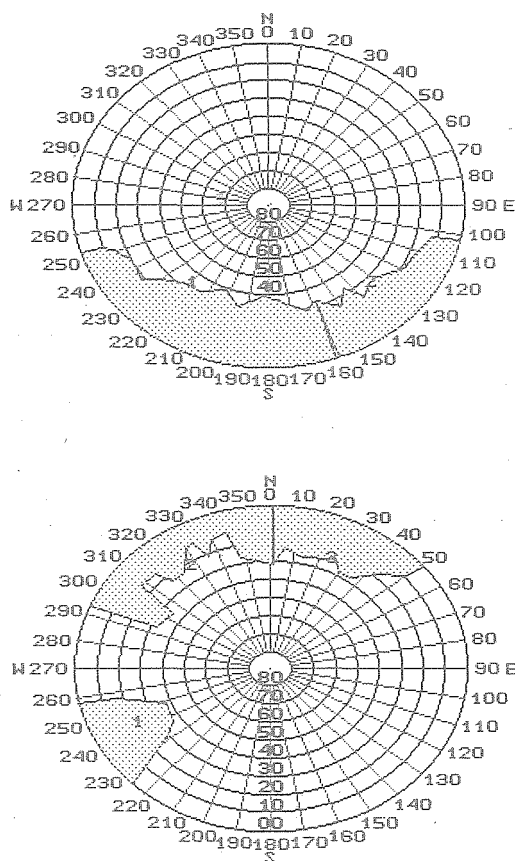
Mrežo smo izmerili z relativno statično metodo. Prvotno smo nameravali mrežo izmeriti s 5 GPS sprejemniki, kar bi izmero zelo pospešilo. 3 sprejemnike naj bi nam posodila Geodetska fakulteta Vseučilišča iz Zagreba, kar pa zaradi vojne na Hrvaškem ni bilo mogoče, zato smo mrežo izmerili z našima dvema sprejemnikoma. Z dvema sprejemnikoma lahko v eni seriji izmerimo eno dolžino (bazni vektor med točkama, na katerih se nahajata sprejemnika) oz. določimo tridimenzionalne koordinatne razlike med točkama (s 5 sprejemniki lahko izmerimo 4 neodvisne oziroma 10 med seboj odvisnih vektorjev).

Zaradi zanesljivosti mreže in za pridobitev dovolj velikega števila nadštevilnih vektorjev za izravnavo mreže smo se odločili, da mrežo izmerimo tako, da bo na vsaki točki sprejemnik postavljen trikrat. Na ta način je položaj vsake točke v prostoru določen kot presečišče treh prostorskih vektorjev. Med izmero smo prvotni načrt malo spremenili, tako da je bila navezovalna točka 175 zasedena samo dvakrat, trigonometrična točka 305 pa štirikrat. S tem smo dobili boljšo navezavo mreže na obstoječe trigonometrične točke. Skupaj je bilo izmerjenih samo 23 vektorjev (Slika 1).

V večini primerov smo GPS opazovanja opravili na samih centrih, na točkah 175, 180 in 182 smo morali postaviti ekscentrična stojišča, ki so ustrezala pogojem GPS opazovanj (ovire okoli točke morajo biti pod višinskim kotom 15°). Ekscentrična stojišča so bila tudi na treh trigonometrih (na tč. 25 in 523 cerkvi, 305 zaraščena okolica). Tudi na večini novih točk okoliške ovire presegajo višinski kot 15° . Zato se je že tako kratek razpoložljivi čas opazovanj še skrajšal. Z ustreznim programom za planiranje GPS opazovanj („Ashtech GPS Multi-Site Mission Planing-MP“) smo določili primeren čas za opazovanja na posameznih točkah. Program „MP“ omogoča ustrezno nastavitve višinskega kota in vnos ovir na točkah. Položaji ovir so podani z azimutom in višinskim kotom ovire, tako da lahko te podatke izmerimo z busolnim teodolitom ali kar z busolo.

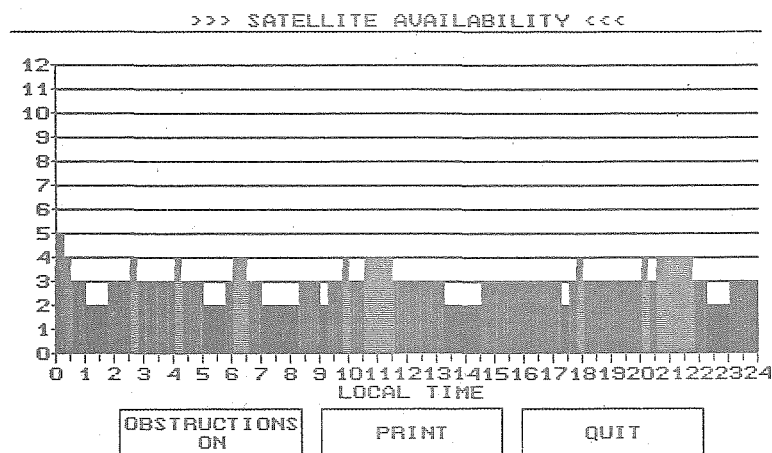
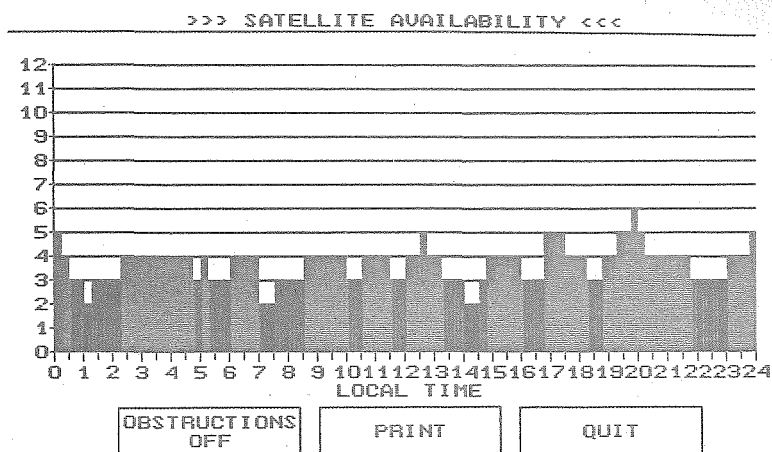
Ko smo se odločili o številu vektorjev v mreži, smo želeli mrežo izmeriti v čim krajšem času s čim manjšimi stroški (z najkrajšo potjo med točkama). Zato smo planiranje izmere posvetili precej pozornosti. Pri izmeri naše mreže smo se že srečali s skoraj vsemi težavami, ki spremljajo GPS izmero in smo jih poskušali čim bolje rešiti. Predvsem smo želeli opazovati čim več vektorjev dnevno (delovišče smo želeli obiskati najmanjkrat), s tem da bi bil tudi čas potovanja med posameznimi stojišči minimalen.

Na Sliki 2 so prikazane skice ovir za točki 183 in 396 in na Sliki 3 grafična ponazoritev števila vidnih satelitov za določitev vektorja 183-396. Vidimo, da se, upoštevajoč ovire, število vidnih satelitov oz. razpoložljivi čas opazovanj z ovirami na stojišču zelo skrajša.



Slika 2

GPS opazovanja so na vseh točkah trajala eno uro, registrirali smo satelitski signal nad višinskim kotom 15° . Z opazovanji, ki trajajo najmanj eno uro, z intervalom sprejemanja signala 20 sekund pridobimo dovolj nadštevilnih opazovanj za zanesljivo določitev baznega vektorja. V primeru, da bi skrajšali čas opazovanja, bi še vedno imeli veliko nadštevilnih opazovanj, vendar bi bili rezultati slabši, ker se v tem času razporeditev satelitov ne spremeni dovolj. Na kvaliteto meritev na enak način vpliva tudi število satelitov, s katerih lahko sprejemamo signal.



Slika 3

5. OBDELAVA PODATKOV OPAZOVANJ

Podatke opazovanj smo obdelali s programom „GPPS“, ki ga je izdelal izdelovalec sprejemnikov. S programom lahko obdelamo podatke, pridobljene z vsemi metodami GPS izmere: z relativno statično, relativno kinematično in relativno psevdokinematično metodo. Z obdelavo podatkov opazovanj določimo koordinatne razlike baznega vektorja (prostorsko dolžino) med dvema stojiščema. Pri tem program uporabi podatke o sprejeti kodi in fazi nosilnega valovanja. S pomočjo merjenja C/A kode izračuna sprejemnik svoj položaj že med samimi opazovanji (sprejemanjem signala), ki pa je absolutno dokaj slabo določen. Program „GPPS“ te koordinate privzame kot približne vrednosti koordinat za obdelavo izmerjenih faz sprejetega nosilnega valovanja. Program v iterativnem postopku z izravnavo nadštevilnih

opazovanj po metodi najmanjših kvadratov določi geocentrične koordinate opazovališč ter koordinatne razlike ΔX , ΔY , ΔZ vektorja v koordinatnem sistemu WGS-84. Mere o natančnosti opazovanj oz. natančnosti izravnane baznega vektorja nam podajo srednji pogrešek izravnave dvojnih faznih razlik in vrednosti srednjih pogreškov izračunanih koordinatnih razlik točk v smereh koordinatnih osi.

Pri izračunu vektorjev smo uporabili frekvenco L1, ki jo uporabljamo pri krajših dolžinah (do 30 km). Pri večjih razdaljah uporabimo podatke, dobljene s sprejemom obeh frekvenc, ker na ta način zmanjšamo vpliv ionosfere na izmerjene vrednosti faze. Pri razdaljah v mreži Rovte je vpliv ionosfere zanemarljiv. Želeli smo pridobiti oceno o primerni dolžini opazovanj, zato smo obdelali podatke enournih opazovanj, opazovanja obeh polovic ure ter 20-minutna opazovanja (izmerjene podatke lahko s programom za obdelavo opazovanj skrajšujemo, odstranjujemo posamezna opazovanja ...). Kot prvo kontrolo meritev lahko izračunamo odstopanja v zaključenih poligonih mreže. Podobno kot v nivelmanu mora biti vsota koordinatnih razlik (v smeri ene koordinatne osi) enaka 0. Povprečni srednji pogrešek izravnanih dvojnih faznih razlik enournih opazovanj za vse vektorje mreže znaša $M = \pm 4,8$ mm. Povprečne vrednosti srednjih pogreškov koordinatnih razlik za vse vektorje v mreži za enourna opazovanja pa znašajo: $m_x = \pm 5,6$ mm, $m_y = \pm 2,6$ mm in $m_z = \pm 5,9$ mm.

6. IZRAVNAVA GPS MREŽE

Izmerjene GPS vektorje smo izravnali v mreži s programom FILLNET. FILLNET je program za izravnavo prostorske GPS mreže in ga lahko uporabimo za izravnavo proste ali vklopljene GPS mreže. Ko želimo GPS mrežo izravnati kot vklopljeno mrežo, moramo imeti točke, na katere mrežo navezujemo, dane z geodetskimi koordinatami (B, L, h); poznati moramo tudi elipsoidne višine točk mreže. Če elipsoidnih višin točk mreže ne poznamo, lahko v primeru manjših mrež in ob predpostavki, da se geoidna undulacija lokalno mnogo ne spreminja (planota, ravnina), mrežo v višinskem smislu navežemo na nadmorske višine danih točk. S primerjavo odstopanj med tako določenimi nadmorskimi višinami in danimi nadmorskimi višinami točk, na katere mrežo navezujemo, lahko našo predpostavko zavrnilo in določimo nadmorske višine točk terestrično.

GPS mrežo izravnamo kot prosto mrežo v primeru, ko nimamo danih geodetskih koordinat točk (B, L, h), na katere bi mrežo navezali. Pri izravnavi proste GPS mreže pa moramo eno točko mreže privzeti kot dano. Na ta način določimo lego mreže v prostoru (na elipsoidu). Izravnani položaji drugih točk mreže so določeni relativno na privzeti položaj izhodiščne točke mreže. Zaželeno je, da je privzeta točka v sredini mreže.

V našem primeru smo za izhodiščni položaj mreže izbrali točko 180. Izhodiščni položaj celotne mreže je določen s približno geodetsko dolžino, geodetsko širino in nivelirano nadmorsko višino točke 180. To pomeni, da se koordinate te točke med izravnavo ne bodo spremenile. Rezultat izravnave so izravnane geodetske koordinate točk mreže z danimi srednjimi pogreški položajev točk. Ker je bila mreža v višinskem smislu navezana na nadmorsko višino točke 180, lahko rečemo, da smo na ta način določili nadmorske višine točk mreže. Primerjava med nadmorskimi višinami, določenimi na ta način, in danimi nadmorskimi višinami trigonometričnih točk

pokaže odstopanja do nekaj cm. Lahko trdimo, da bi dobili v višinskem smislu boljši rezultat z navezavo na večje število višinsko danih točk, kjer pa se postavi vprašanje zanesljivosti danih nadmorskih višin.

7. TRANSFORMACIJA TOČK GPS MREŽE V G-K KOORDINATNI SISTEM

Geodetske koordinate (B, L, h) točk mreže pretvorimo v Gauss-Kruegerjeve koordinate po enačbah preslikave elipsoidnih koordinat (B, L) v G-K ravninske koordinate (x, y) . Pred tem pa moramo odstraniti element višine h . Eliminacijo elementa višine iz trojice koordinat (B, L, h) lahko izvršimo na dva načina: z algebraično in geometrično eliminacijo. Rešitev z algebraično eliminacijo je boljša, vendar zahteva možnost dostopa do sistema normalnih enačb, iz katerega z Gaussovo eliminacijsko metodo odstranimo komponente višin točk in izravnavo nadaljujemo samo z geodetsko dolžino in širino. Rezultat take izravnave bi bili položaji (B, L) točk mreže na elipsoidu. Mi nismo imeli možnosti dostopa do sistema normalnih enačb, zato smo komponento višine odstranili po prostorski izravnavi mreže enostavno z opustitvijo elementa višine iz trojice koordinat posamezne točke.

Geodetske koordinate točk mreže smo nato transformirali v modularane Gauss-Kruegerjeve koordinate elipsoida WGS-84. Srednji pogreški položajev točk, ki smo jih dobili po izravnavi s programom FILLNET, predstavljajo srednje pogreške položajev točk: m_x , m_y in m_h . Te vrednosti lahko z zadovoljivo natančnostjo privzamemo za srednje pogreške Gauss-Kruegerjevih koordinat: $m_x = m_y$, $m_y = m_x$ (Schmidt 1986) in nadmorskih višin $m_h = m_H$. Povprečne vrednosti srednjih pogreškov izravnanih koordinat znašajo $m_y = m_x = m_H = \pm 7$ mm.

8. TRANSFORMACIJA GPS MREŽE V DRŽAVNO MREŽO

Izravnane Gauss-Kruegerjeve koordinate točk, izračunane v GPS mreži, moramo transformirati še v državno mrežo. Transformacijo izvedemo s Helmertovo ravninsko transformacijo prek (najmanj dveh) identičnih točk v obeh mrežah. V našem primeru smo imeli tri skupne (trigonometrične) točke 25s, 305s in 11. Transformacijo v skupni državni koordinatni sistem smo izvedli tako, da so koordinate danih trigonometričnih točk po transformaciji ostale nespremenjene. Helmertova ravninska transformacija je štiriparametrična, kar pomeni, da se koordinatna sistema mrež med seboj razlikujeta za translacijo v smereh osi x in y za kot zasuka med koordinatnima sistemoma in za faktor merila. Od vseh štirih transformacijskih parametrov, ki jih dobimo s transformacijo identičnih točk v skupni koordinatni sistem, nima nobeden praktične vrednosti. Obe translaciji med koordinatnima sistemoma ne predstavljata dejanskega premika med koordinatnim sistemom državne mreže in s pomočjo GPS opazovanj določenega položaja mreže v G-K koordinatnem sistemu. Za izhodiščni položaj GPS mreže je namreč privzet z GPS opazovanji določen položaj točke 180, ki pa je obremenjen z absolutno nenatančnostjo GPS opazovanj. Enako velja za kot zasuka med koordinatnima sistemoma. Faktor merila je določen kot razmerje modularanih horizontalnih dolžin v G-K projekciji GPS mreže na elipsoidu WGS-84 in modularanih horizontalnih dolžin med točkami v G-K projekciji državne mreže.

9. ZAKLJUČEK

Izmera navezovalne mreže Rovte je prva mreža, ki tvori tudi del državne mreže pri nas in smo jo izmerili s pomočjo GPS tehnologije. Določili smo koordinate točk mreže v Gauss-Kruegerjevi projekciji in nadmorske višine točk. Poleg izkušenj, ki smo si jih nabrali pri praktičnem delu z GPS sprejemniki in ustrezno programsko opremo, sta pomembna tudi stik in izkušnja z dokaj novo tehnologijo in primerjava le-te s klasičnim geodetskim instrumentarijem in s klasičnimi geodetskimi postopki. Kot je bilo že nekajkrat omenjeno, sistem GPS satelitov še ni popoln. To pa pomeni, da je tudi razpoložljivi čas opazovanj omejen (ko bo sistem popoln, bo na razpolago 24 ur na dan). Pri GPS opazovanjih je nujno treba imeti točke postavljene na mestih, kjer ni ovir za sprejem signala s satelitov in ker sistem še ni popoln, je treba to dejstvo nujno upoštevati v največji možni meri meri (Slika 3). To tudi pomeni, da je sistem omejeno uporaben v gosto poraščenih in v gosto pozidanih območjih. Problem lahko v gosto poraščenih območjih rešimo s primerno visokim stolpom, na katerega bi pritrdili anteno oziroma s postavljanjem antene zunaj zaraščenih območij na ekscentrična stojišča. V zelo gosto pozidanih območjih sistem dejansko lahko uporabljamo le omejeno (zelo nujna je pravilna izbira položajev točk in pazljivo planiranje opazovanj).

Pokazalo se je, da je sistem ob omenjenih omejitvah zelo uporaben. Pomanjkljivosti sistema, ki pa bodo ostale tudi, ko bo sistem popoln, bo treba odpraviti s primernim kombiniranjem s klasičnimi geodetskimi meritvami. V primeru navezovalne mreže Rovte smo se srečali samo z relativno statično metodo izmere, ki je za izmero mrež tudi edina priporočljiva. Želeli bi preizkusiti tudi psevdokinematično metodo GPS izmere, ki daje dokaj natančne rezultate ob večji produktivnosti.

Viri:

- Ashtech XII GPPS post processing system, 1990, Navodila za uporabo programa GPPS, prva izdaja, Ashtech Inc., Sunnyvale, ZDA.*
Borčić, B., 1976, Gauss-Kruegerova projekcija meridianskih zona, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
FILLNET, 1989, Navodila za uporabo programa, druga izdaja, Ashtech Inc., Sunnyvale, ZDA.
Harvey, B., 1986, Transformation of 3D Coordinates, The Australian Surveyor, Vol. 31, No. 2, 105-125.
Leick, A., 1990, GPS satellite surveying, John Wiley&sons, New York.
Schmidt, 1986, Kontrolle des Deutschen Hauptdreiecksnetzes durch Macrometer Messungen 1983-1985, DGK Reihe B, zvezek štev. 282, Muenchen.
Steed, J., 1990, A Practical Approach to Transformation Between Commonly Used Reference Systems, The Australian Surveyor, Vol. 35, No. 3, 248-264.
Welsch, W.M., 1986, Problems of accuracies in combined terrestrial and satellite control networks, Bulletin Geodesique No. 2, 193-203.
Wolf, H., 1980, Scale and Orientation in Combined Doppler and Triangulation Nets, Bulletin Geodesique, No. 1, 45-53.

mag. Bojan Stopar
mag. Miran Kuhar

Prispelo za objavo: 16.6.1992