



Grad Opuzen

# Studentska praksa **OPUZEN 2000.**



ZAGREB, prosinac 2000.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY  
Zavod za inženjersku geodeziju - Institute of Engineering Geodesy

# Studentska praksa OPUZEN 2000.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY  
Zavod za inženjersku geodeziju - Institute of Engineering Geodesy

Voditelj prakse: Prof.dr.sc. Zdravko Kapović

Suradnici: Prof.dr.sc. Miodrag Roić  
Dr.sc. Siniša Mastelić-Ivić  
Marijan Ratkajec, dipl.ing.  
Vlado Cetl, dipl.ing.  
Dr.sc. Marko Džapo  
Hrvoje Matijević, dipl.ing.

Studenti: Maja Berket  
Ružica Bošnjak  
Vicko Burčul  
Tisa Ćus  
Iva Dollar  
Silvija Franković  
Miranda Jukić  
Ana Lokas  
Dalibor Marinčić  
Bepo Matijaca  
Slaven Marasović  
Franjo Mijaković  
Toni Modrušan  
Vice Mrša  
Iva Novak  
Marija Staničić  
Tina Šumberac

Zagreb, prosinac 2000.

# Studentska praksa

## **OPUZEN 2000.**

### **SADRŽAJ**

<b>1. UVOD .....</b>	<b>4</b>
<b>2. POLOŽAJNA OSNOVA.....</b>	<b>5</b>
2.1 IZRADA PROJEKTA I PLAN MJERENJA .....	5
2.2 MJERENJE GPS STATIČKOM METODOM.....	8
2.3 RAČUNANJE VEKTORA .....	11
2.4 IZJEDNAČENJE MREŽE I TRANSFORMACIJA KOORDINATA.....	13
2.5 TERESTRIČKA MJERENJA.....	16
<b>3. 3D IZMJERA I VIZUALIZACIJA .....</b>	<b>18</b>
3.1 IZMJERA.....	18
3.2 IZRADA 3D MODELA .....	19
3.3 VIZUALIZACIJA I PRIKAZI .....	20
<b>4. KINEMATIKA I RTK.....</b>	<b>22</b>
4.1 KINEMATIKA.....	22
4.2 REAL TIME KINEMATIC.....	24
<b>5. BAZA PODATAKA.....</b>	<b>25</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>27</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>28</b>

## 1. UVOD

Razvoj tehnologije i znanosti, njihovo neophodno usvajanje u nas, te uključivanje Hrvatske u integracijske procese zahtjevalo je promjene i u području visokoškolskog obrazovanja. Tako su sveobuhvatnom reformom nastave 1995. godine na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu uspostavljena tri usmjerenja na četvrtoj godini studija:

- *Fotogrametrija i kartografija,*
- *Satelitska i fizikalna geodezija i*
- *Inženjerska geodezija i upravljanje prostornim informacijama.*

Usmjerenje *Inženjerska geodezija i upravljanje prostornim informacijama* organiziralo je drugu po redu praksu za svoje studente u cilju upotpunjavanja terenske nastave za buduće mlade geodetske stručnjake, a u skladu s novim nastavnim programom. Napomenimo samo da studentske prakse kroz povijest Geodetskog fakulteta imaju tradiciju i uvijek su imale značajnu ulogu u obrazovanju studenata. Ideja o organiziranju studentske prakse upravo na području Delte Neretve pokrenuta je za razgovora između Ante Vladimira, voditelja Ureda za katastar iz Metkovića i Zdravka Kapovića, profesora Geodetskog fakulteta.

Opće je poznato da su katastar i zemljišna knjiga evidencije, koje su temelj svim imovinsko-pravnim ili građevinskim zahvatima u prostoru, kao npr. izgradnja objekata infrastrukture, izgradnja gospodarskih objekata, kupnja-prodaja-zamjena nekretnina, davanje poljoprivrednog zemljišta u zakup, itd. Svim nabrojenim zahvatima preduvjet je postojanje solidne geodetske osnove, tj. stabiliziranih geodetskih točaka poznatih po koordinatama u državnom koordinatnom sustavu. Kako je geodetska osnova na području Delte Neretve u katastrofalno lošem stanju, planirano je njezino obnavljanje kroz studentsku praksu i to na rudinama, koje su od posebnog državnog interesa: Luke, Vidrice, Glog, Modrić i Ušće.

O planiranoj praksi upoznato je rukovodstvo Geodetskog fakulteta, koje je dalo odobrenje o izvodenju. Također su o tome upoznati i predstavnici lokalne uprave i samouprave: Ivo Šprlje, župan Županije dubrovačko-neretvanske, Ivo Mihaljević, gradonačelnik grada Opuzena, Smiljan Mustapić, načelnik općine Slivno i Pero Ljubić, pročelnik Ureda za katastar županije dubrovačko-neretvanske. Svi oni bezrezervno su podržali studentsku praksu, odnosno pokrili dio troškova za 17 studenata i 6 nastavnika Geodetskog fakulteta. Svima njima i ovom prilikom izražavamo našu zahvalnost.

Tablica 1: Sudionici prakse Metković 2000.

<i>Nastavnici</i>		<i>Studenti</i>					
1.	Z. Kapović	7.	M. Berket	13.	M. Jukić	19.	T. Modrušan
2.	M. Roić	8.	R. Bošnjak	14.	A. Lokas	20.	V. Mrša
3.	S. Mastelić-Ivić	9.	V. Burčul	15.	D. Marinčić	21.	I. Novak
4.	M. Ratkajec	10.	T. Ćus	16.	B. Matijaca	22.	M. Staničić
5.	V. Cetl	11.	I. Dollar	17.	S. Marasović	23.	T. Šumberac
6.	M. Džapo	12.	S. Franković	18.	F. Mijaković		

Sudionici prakse (vidi tablicu 1.) bili su smješteni u metkovskom hotelu "Narona". Prema utvrđenom programu, planu i rasporedu, grupe su već u 7 sati kretale na teren, stanica za objed trajala je sat i pol, a rad na terenu završavao je u 17 sati. Do večere trebalo je podatke prebaciti na računalo te potom obaviti kontrolna računanja. To se obično nastavljalo i nakon večere trajajući i do kasnih sati, jer trebali smo biti sigurni da su podaci mjerenja upotrebljivi za završnu obradu. Na kraju prakse održano je natjecanje u brzom horizontiranju i centriranju instrumenata te prigodna zajednička večera.

Projekt prakse organizacijski je podijeljen na nekoliko zadataka:

- ❖ položajna osnova – s dvije podzadace:
  - GPS mjerenja – uspostava nove geodetske osnove na spomenutim rudinama,
  - terestrička mjerenja – određivanje koordinata križa na Marijinom Vijencu,
- ❖ 3D izmjera – Pjace u Opuzenu sa svrhom izrade njenog trodimenzionalnog modela i vizualizacije,
- ❖ GPS kinematika – izmjera nogometnog igrališta u Opuzenu,
- ❖ RTK GPS – izmjera dijela Pjace radi usporedbe s terestričkim metodama.

Svi mjerenjem prikupljeni podaci obrađivani su tijekom devetog semestra u okviru dva seminara: *Inženjerska geodezija* i *Upravljanje zemljišnim informacijama*, kako bi se naposljetku mogao izraditi završni elaborat. Nakon uspješno završene prve prakse našeg usmjerenja pod nazivom **Vrbovec 1998.** nadamo se da je ovaj elaborat znak uspjeha i ove druge prakse **Opuzen 2000.**

## 2. POLOŽAJNA OSNOVA

Rad na zadaći **položajna osnova** započeo je prije službenog početka prakse u okviru pripremnih terenskih radova. Prilikom rekognosciranja terena, uz korištenje kartografskog materijala, načinjen je idejni projekt i napravljen okvirni plan radova na položajnoj osnovi.

Rekognosciranje terena obavili su prof.dr.sc. Zdravko Kapović, Nikša Pulić, dipl.ing., Ante Vladimir, inž.geod., Boško Pavlović, dipl.ing., te umirovljeni geometar Hrvoje Gabrić. Odabrane su lokacije novih točaka, razmotrena je njihova pogodnost za GPS mjerenja, utvrđena je dostupnost vozilima te vlasništvo nad zemljištem na kojem se nalaze nove točke. Također je obavljen obilazak točaka postojeće geodetske osnove, tj. trigonometara.

Na temelju toga stabilizirane su nove točke betonskim stupovima dimenzija 15x15x50 cm, bolcnama i uklesanim križevima. Četvero studenata Geodetskog fakulteta, raspoređenih u dvije grupe, obavilo je stabilizaciju točaka uz nadzor dvojice nastavnika. Prvu grupu činili su Vicko Burčul i Vice Mrša, a voditelj im je bio prof.dr.sc. Zdravko Kapović. Drugu grupu činili su Bepo Matijaca i Dalibor Marinčić, a njihov voditelj bio je dr.sc. Marko Džapo.

Nova položajna osnova ostvaruje se u jedinstvenoj cjelini kao mreža osnovnih točaka. Kod određivanja nove mreže točaka za GPS mjerenja predviđen je priključak na postojeću geodetsku osnovu. Time se omogućuje transformacija koordinata između dva različita koordinatna sustava na temelju identičnih točaka. Razlog tome jest potreba da se nove točke iskažu u hrvatskom državnom koordinatnom sustavu.

Budući da je došlo do velikih neslaganja između stvarnog stanja na terenu i stanja na planovima koje posjeduje katastar, nova položajna osnova imat će specifičan značaj za budućnost održavanja katastra.

### 2.1 Izrada projekta i plan mjerenja

Za izradu projekta mreže osnovnih točaka za GPS mjerenja korišteni su:

- Topografska karta (TK) 1:50000,
- Hrvatska osnovna karta (HOK) 1: 5000,
- plan grada Opuzena,
- podaci o postojećoj geodetskoj osnovi,
- položajni opisi trigonometrijskih točaka,
- pregledna karta 1:15000, koju je pripremio asistent Vlado Cetl.

Globalni raspored položajne osnove izrađen je najprije na TK 1:50000, a zatim je detaljno prenešen na HOK 1: 5000, na temelju koje je izrađena pregledna karta 1:15000. Na kartama označene su točke postojeće geodetske osnove, te su nanijete sve nove točke. Konačan projekt položajne



Tablica 2c: Plan mjerenja za 7.10.2000. (DOY: 281).

<i>Sess</i>	<i>Team</i>			A:	B:	C:	D:	E:	F:
	Oprema			auto:	auto:	auto:	auto:	auto:	auto:
	<i>Time</i>								
1	8:30	-	9:00	12	1009	1038	1029	1024	1046
	9:00	-	9:30						
2	9:30	-	10:00			1036	1028		1047
	10:00	-	10:30						
3	10:30	-	11:00			1035	1027	87	1048
	11:00	-	11:30						
4	11:30	-	12:00			1034	1055	1039	1049
	12:00	-	12:30						
5	12:30	-	13:00			1033	1026	1041	1050
	13:00	-	13:30						
	13:30	-	14:00						
	14:00	-	14:30						
6	14:30	-	15:00	12	1009	1031	1025	1040	1052
	15:00	-	15:30						
7	15:30	-	16:00			1032	1030	1037	1051

Tablica 2d: Plan mjerenja za 8.10.2000. (DOY: 282).

<i>Sess</i>	<i>Team</i>			A:	B:	C:	D:	E:	F:
	Oprema			auto:	auto:	auto:	auto:	auto:	auto:
	<i>Time</i>								
	8:30	-	9:00						
	9:00	-	9:30						
	9:30	-	10:00						
	10:00	-	10:30						
	10:30	-	11:00						
	11:00	-	11:30						
	11:30	-	12:00						
1	12:00	-	12:30	1056	1057	281	169	12	1009
	12:30	-	13:00						
	13:00	-	13:30						
	13:30	-	14:00						
	14:00	-	14:30						
	14:30	-	15:00						
	15:00	-	15:30						
	15:30	-	16:00						
	16:00	-	16:30						
	16:30	-	17:00						

Prilikom stabiliziranja točaka izrađeni su položajni opisi i numerirane sve nove točke. Za uspostavu geodetske osnove odabrana je GPS statička metoda, koja je najpouzdanija za ovakve zadaće (Hofmann-Wellenhof i dr. 1997). Plan mjerenja prikazan u tablicama 2a.–2d. napravili su profesor Zdravko Kapović i asistent Marijan Ratkajec. Određen je interval od po 30 minuta za mjerenje i 30 minuta za premještanje s točke na točku, te je odabran interval od 15 sekundi kao *sample rate* i definirana elevacijska maska od 15°.

## 2.2 Mjerenje GPS statičkom metodom

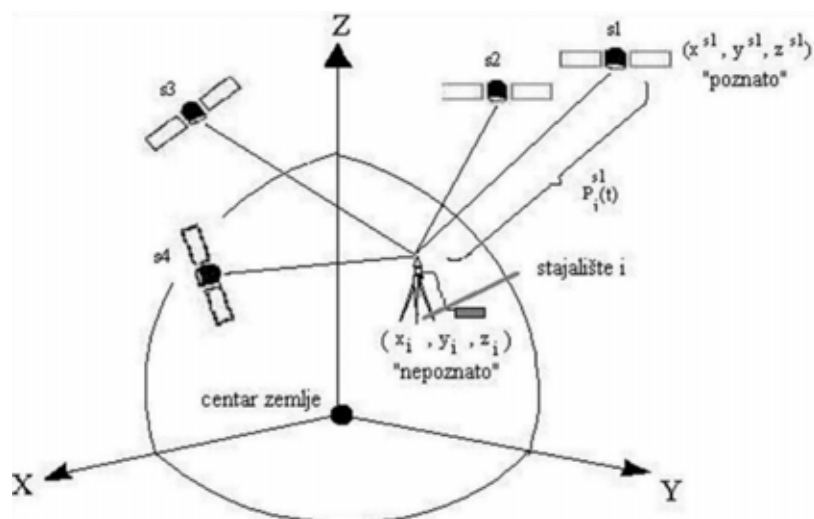
Za razliku od većine drugih metoda satelitske geodezije (SLR, VLBI, satelitska altimetrija) čija se mjerenja zasnivaju na mjerenju reflektiranog signala (dvostruki put), GPS mjerenja zasnovana su na "konceptu jednostrukog puta signala", uz primjenu dva sata, jednog u satelitu i drugog u prijammniku. Mjerena udaljenost izvodi se iz mjerenja vremena ili faznih razlika na temelju usporedbe između primljenog signala i signala generiranog u prijammniku. Pritom su i kodne i fazne udaljenosti opterećene pogreškom sinhronizacije satova, te ih zato nazivamo pseudoudaljenostima. Dakle pseudoudaljenosti su opažane veličine koje se mogu dobiti iz kodnih ili faznih mjerenja.

Općenito govoreći točnost kodnih mjerenja je na metarskoj razini, dok je točnost nosećih faza u području milimetra. S druge strane, kodna mjerenja su praktično jednoznačna, dok su mjerenja faze višeznačna. Zato je prije određivanja koordinata iz faznih mjerenja potrebno odrediti višeznačnosti – ambiguitete. GPS mjerenje izvodi se ili jednom od tehnika opažanja ili kombiniranjem više tehnika. Koja će se tehnika opažanja primijeniti za pojedino mjerenje ovisi o nizu čimbenika, s naglaskom na zahtjevanu točnost. Tehnike opažanja definiraju se s četiri parametra kojima su jednoznačno određeni način pozicioniranja, korištenje prijammnika, opažane veličine i način obrade. Razlikujemo dvije osnovne grupe tehnika opažanja:

- Apsolutne – određivanje položaja jedne točke koristeći jedan prijammnik.
- Relativne – određivanje položaja kombiniranjem podataka opažanih simultano na dvije točke.

### Tehnika apsolutnog pozicioniranja

Pod apsolutnim pozicioniranjem podrazumijeva se određivanje koordinata pojedine točke koristeći jedan prijammnik koji mjeri pseudoudaljenosti do satelita. Izvorno se u engleskom jeziku za apsolutno pozicioniranje koristi izraz "single point positioning" (pozicioniranje jedne točke). Za apsolutno pozicioniranje GPS pruža dvije razine usluga: Standardni pozicijski servis (Standard Positioning Service – SPS) dostupan civilnim korisnicima, te Precizni pozicijski servis (Precise Positioning Service – PPS) dostupan samo autoriziranim korisnicima (NRC 1994).



Slika 1: Princip apsolutnog pozicioniranja.

SPS koristi smo C/A kod, te garantira postizanje horizontalne točnosti od 100 m i vertikalne točnosti od 156 m uz razinu vjerojatnosti od 95%. Uz povećanu vjerojatnost od 99.99% horizontalna točnost smanjuje se na 300 m, a vertikalna točnost na 500 m. Korisnicima PPS – a dostupna su oba koda, pri čemu je horizontalna točnost unutar 16 m, a vertikalna unutar 23 m uz razinu vjerojatnosti



od 95%. Kada se koristi jedan prijamnik ima smisla mjeriti samo kodne udaljenosti, a rješenje se dobije na principu trilateracije u prostoru. Princip apsolutnog pozicioniranja prikazan je na slici 1.

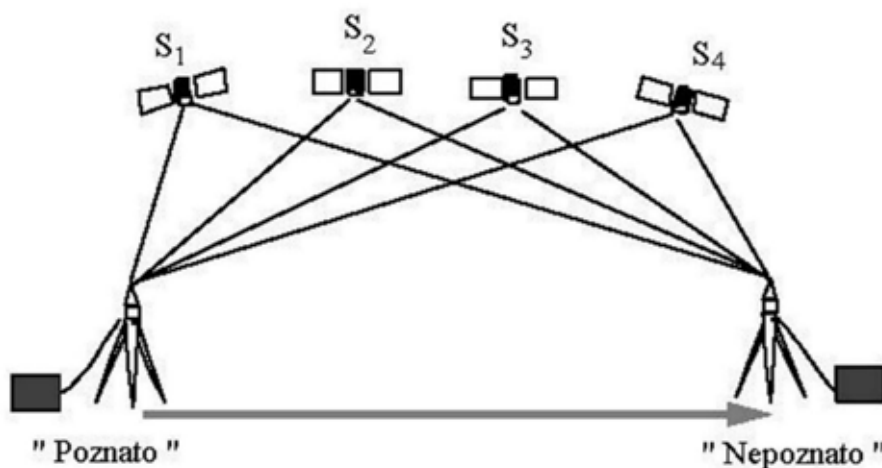
Korištenjem broadcast efemerida može se izračunati položaj bilo kojeg satelita u bilo kojem vremenskom trenutku. Na slici 4.  $s_1, s_2, s_3,$  i  $s_4$  predstavljaju četiri različita satelita. Položaji ovih satelita se odnose na centar zemlje u  $x, y, z$  koordinatnom sustavu. Koordinate za  $s_1$  su prikazane kao  $x^{s_1}(t), y^{s_1}(t), z^{s_1}(t)$ , pri čemu su  $x^{s_1}(t), y^{s_1}(t), z^{s_1}(t)$  komponente geocentričkog vektora pozicije satelita za epohu  $t$ , dok su  $x_i, y_i, z_i$  tri nepoznate koordinate opažanog stajališta u ECEF (Earth Centered, Earth Fixed) sustavu. ECEF je sustav kartezijevih koordinata (XYZ) u kojem su definirani trodimenzionalni položaji točaka u odnosu na centar referentnog elipsoida. Z-os je usmjerena prema sjevernom polu. X-os je definirana sjecištem ravnine početnog meridijana i ekvatorijalne ravnine a Y-os kompletira desno orijentirani ortogonalni sustav s ravninom  $90^0$  istočno od X-osi i njenim sjecištem s ekvatorom.

## Tehnika relativnog pozicioniranja

Relativno pozicioniranje može se realizirati primjenom najmanje dva prijamnika koji opažaju iste satelite simultano. Pri tome se diferenciranjem mjerenja oba prijamnika računa prostorni vektor između dva prijamnika. Koordinate nepoznate točke određuju se relativno u odnosu na poznatu – referentnu točku. Metode relativnog pozicioniranja koriste jedno – ili dvofrekvencijske podatke faze, čime se postižu najviše točnosti. Prostorni vektor – bazna linija između dva prijamnika može se izračunati iz simultanih opažanja najmanje četiri satelita na oba prijamnika (slika 2.). Obrada mjerenja se izvodi najčešće naknadno, ali je danas, prijenosom podataka u stvarnom vremenu na manje udaljenosti, moguća obrada i u realnom vremenu (RTK).

Relativno pozicioniranje možemo podijeliti u tri grupe:

- statičko relativno pozicioniranje,
- kinematičko relativno pozicioniranje,
- pseudokinematičko relativno pozicioniranje.



Slika 2: Princip relativnog pozicioniranja.

Statičko relativno pozicioniranje podrazumijeva da su prijamnici tijekom mjerenja stacionarni na svojim točkama. Opažaju se noseće faze, čime se postižu najveće točnosti s GPS – om, te se zato ova metoda najviše koristi u geodeziji. Mjerenje se zasniva na određivanju prostornog vektora između dvije točke, kojim se na osnovu poznatih koordinata referentne točke dobiju koordinate nepoznate točke. Ovom metodom postižu se relativne točnosti od 1 ppm do 0.1 ppm.

## Izvođenje mjerenja

Formirano je šest grupa za mjerenje:

- A – Miranda Jukić;
- B – Tisa Čus;
- C – Dalibor Marinčić, Maja Berket;
- D – Bepo Matijaca, Iva Novak;
- E – Vicko Burčul, Ana Lokas;
- F – Vice Mrša, Ružica Bošnjak.

Grupe A i B koristile su prijavnike i antene proizvođača *Leica* tipa SR 399 i SR 399E, dok su ostale grupe koristile prijavnike i antene proizvođača *Topcon* tipa TURBO-SII.

Kod geodetskih mreža koje se mjere GPS statičkom metodom poželjno je stvarati zatvorene geometrijske figure radi kontrole postizanja visoke točnosti. Budući se rezultati mjerenja moraju iskazati u nacionalnom geodetskom datumu potrebno je s njim uspostaviti vezu.

Mjerenje GPS mreže obuhvaća sljedeće zahvate:

- kalibraciju opreme (GPS antena i prijavnika, podnožnih ploča ...) prije opažanja,
- opažanje na točkama mreže i kontrolnim točkama,
- kontrolu po završetku opažanja.

Da bi mjerenje bilo uspješno provjerena je oprema prije samog opažanja. To je napravljeno ispred hotela prije započinjanja planiranih mjerenja. Provjerili smo funkcioniranje prijavnika, stanje memorije, ispravnost kablova i njihovo spajanje na antene i prijavnike, te se upoznavali s različitim izbornicima.

Mjerenja su izvedena prema planu prikazanom u tablicama 2a.–2d. Sa svakom grupom osim onih na referentnim točkama bio je po jedan nastavnik, ali uglavnom radi prijevoza ili eventualne koordinacije rada. Cilj je bio postići samostalnost studenata pri radu. Komuniciranje je riješeno putem mobilnih telefona, pri čemu se vodilo računa da telefoni ne budu u neposrednoj blizini prijavnika zbog interferencije signala.

Osim plana mjerenja svaka grupa imala je:

- preglednu kartu u mjerilu 1:15000, na kojoj su vidljivo označene nove točke, kao i trigonometri uključeni u program opažanja;
- položajne opise svake točke;
- zapisnike opažanja.

U zapisnik su upisivani podaci važni za naknadnu obradu, ako bi se slučajno potkrala pogreška pri unošenju u prijavnik. Radi se npr. o visini antene, opažaču, ali i o datumu opažanja, tipu prijavnika i antene, zaklonjenosti točke, itd. Stalni parametri tijekom kampanje kao što su interval registracije od 15 sekundi i elevacijska maska od 15°, već su prethodno bili upisani u zapisnik i nisu se smjeli mijenjati.

Poslije završenog dnevnog opažanja svaka grupa prebacivala je podatke mjerenja na računalo i dodatno arhivirala na diskete. Za tu svrhu korištena su tri računala (1 stolno računalo i 2 laptop računala).

## 2.3 Računanje vektora

Naknadna obrada GPS mjerenja dijeli se u dva dijela:

- obradu baznih linija (vektora) i
- izjednačenje mreže.

Obrada mjerenja obavljena je na osobnom računalu pomoću programskog paketa GPSurvey 2.30, a radi kontrole i pomoću programskog paketa SKI 2.30. Obrada vektora jest automatiziran postupak kod kojega je potrebno podesiti manji broj parametara, ovisno o aplikaciji. Pogreške nastale zbog propusta u prethodnim radnjama najčešće se u obradi baznih linija ne vide, jer komercijalni programski paketi samostalno računaju vektore. Kao ulazni podaci korišteni su RINEX2 zapisi provedenih mjerenja. Oni su prethodno uređeni i prilagođeni za obje aplikacije što je obavio Dalibor Marinčić.

Opisat će se detaljno samo obrada s GPSurvey programom (Trimble 1997), jer je ona uzeta kao primarna. Obradu proveo je Bepo Matijaca, a vodio je asistent Marijan Ratkajec. Za obradu vektora definirana su četiri projekta, za svaki dan kampanje po jedan: 279, 280, 281 i 282. Za obradu vektora mogu se koristiti dva načina računanja:

- *vektor po vektor* ili
- *zajedničko rješenje više točaka*.

U ovom slučaju korištena je metoda *vektor po vektor*. Prednost ove metode je da pogreške jednog vektora ne opterećuju ostale vektore, te je ocjena kvalitete vektora lakša nego kod zajedničke obrade. Individualna obrada vektora sadrži redom slijedeće radnje:

- Generiranje datoteka orbita
- Računanje koordinata točaka iz kodnih pseudoudaljenosti
- Tvorba nediferenciranih podataka faze
- Tvorba diferenciranih podataka faze
- Računanje približnog vektora iz trostrukih razlika
- Računanje rješenja iz dvostrukih razlika, pri čemu ambiguiteti nisu fiksirani
- Procjena cjelobrojnih vrijednosti ambiguiteta
- Računanje konačnog vektora na osnovu najboljeg rješenja ambiguiteta iz prethodnog koraka
- Računanje drugih vektora čiji se ambiguiteti malo razlikuju od najboljih
- Računanje omjera statističkih pokazatelja najboljeg i drugog najboljeg rješenja.

Prije započinjanja obrade kreirana je grupa antena PRAKSA2000 koja sadrži podatke o tipovima antena korištenih pri mjerenju (Topcon TURBO SII, Leica INTERNAL, Leica EXTERNAL). Nakon samog unosa otvara se mogućnost mijenjanja parametara zadanih na terenu. Moguće je mijenjati ime točke, tip prijavnika i antene, visinu antene i niz drugih parametara. Slijedi računanje baznih linija programskim modulom WAVE. Sam modul sastoji se od više razina u kojima treba definirati pojedine segmente mjerenja. Kao fiksna točka (fixed control) uzeta je točka 12 na kojoj su obavljena cjelodnevna opažanja, a njezine koordinate dobivene su na osnovu jednodnevnog opažanja.

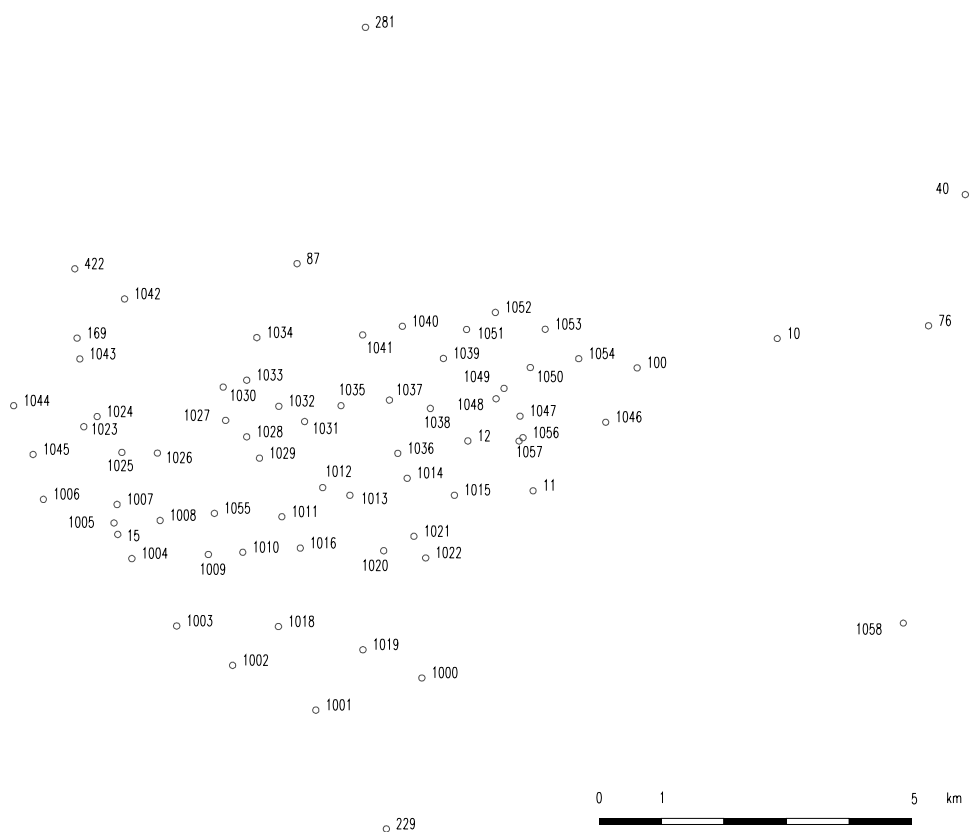
Ostale točke obrađivane su kao "baseline solutions". Na prvoj razini programskog modula definira se način mjerenja (static), računanje svih baznih linija (all baselines), vremenski okviri, podaci kojih satelita će biti korišteni u obradi, te da li se koriste precizne ili broadcast efemeride. U ovom slučaju korištene su precizne efemeride za pojedine dane prikupljene na internetu sa stranica IGS-International GPS Service-a. Nakon unosa tih parametara kreće se s računanjem baznih linija.

Za obradu vektora važno je procijeniti da li su mjerenja dobra ili ne. Budući da kvaliteta GPS rezultata ovisi o nizu faktora: konfiguracija satelita i njihov status podliježu promjenama, uvjeti rasprostiranja signala se kontinuirano mijenjaju, kao što su uvjeti opažanja na točkama jedinstveni ne samo za svaku točku, već se i oni mogu s vremenom mijenjati. Zbog toga je potrebno definirati jedinstvene vrijednosti valorizacije mjerenja. Postoji više veličina koje pokazuju koliko su mjerenje i

obrada bili uspješni. Prihvatljiva su samo "fiksna" rješenja, što podrazumijeva da su ambiguiteti uspješno zaokruženi na cijeli broj (solution type: fixed). Daljni pokazatelji su statistički pokazatelji obrade bazne linije: ratio ( $>10$ ) i referentna varijanca (reference variance:  $<5$ ). Slijedeća kontrola je odstupanje faze između dva satelita u odnosu na fiksno rješenje za svaku mjerenu epohu. Odstupanje faze zapravo predstavlja šum i prikazano je grafički. Ukoliko grafički prikaz ima veću amplitudu, evidentne skokove, prekide ili silazni ili uzlazni trend riječ je o lošem mjerenju.

Rezultati su bili zadovoljavajući na većini baznih linija. Ostale bazne linije su uzete u ponovnu obradu, ali ovaj put samostalno. Na njima je provedeno optimiranje isključivanjem pojedinih satelita, podešavanjem vremenskog prozora i mjenjanjem vrijednosti elevacijske maske. Time se uspjelo dovesti do poboljšanja vrijednosti referentne varijance i ostalih parametara na prihvatljivu razinu, pogodnu za izjednačenje. Kao rezultat ovog postupka dobivene su \*.ssf datoteke, koje sadrže podatke o mjerenim vektorima.

Nakon obrade vektora otvoren je novi projekt pod nazivom *mreza* u kojeg su učitane sve \*.ssf datoteke radi formiranja mreže i kontrolnog izjednačenja. Tim izjednačenjem htjelo se dobiti jedno od rješenja za provesti kontrolu kvalitete cjelokupne nove položajne osnove.



Slika 3: Polje točaka geodetske osnove.

Obrada je napravljena paralelno i u programskom paketu SKI 2.30 (Leica 1998), čime je dobiveno drugo rješenje za procjenu kvalitete. Ovo računanje napravio je Vicko Burčul, a vodio je asistent Marijan Ratkajec. Kao ulazni podaci poslužili su isti RINEX zapisi mjerenja kao i za GPSurvey. Usporedbom dobivenih rezultata utvrđeno je da obrađeni vektori zadovoljavaju sve kriterije točnosti i da su pogodni za daljni postupak izjednačenja.

## 2.4 Izjednačenje mreže i transformacija koordinata

Izjednačenje mreže izvodi se u geocentričkom referentnom sustavu (WGS84). Nakon pripreme rezultata obrade vektora za izjednačenje, približnih koordinata, te podešavanja različitih mogućnosti izjednačenja pokreće se postupak izjednačenja unutar programskog paketa PANDA.

PANDA je složen program za obradu geodetskih mreža koji se sastoji od tri osnovna dijela:

- **Izjednačenje mreže**
- **Analiza deformacija**
- **Grafički prikaz rezultata**

Programski sistem PANDA je modularno koncipiran, tj. sastoji se od međusobno ovisnih komponenata (Geo Tec 1989). Svaka komponenta omogućava modificiranje ulaznih podataka te postavu izlaznih podataka koji opet mogu biti upotrijebljeni u sljedećim komponentama.

### ▪ **Izjednačenje**

Program PAN (za izjednačenje u sklopu programskog paketa PANDA) omogućava realizaciju izjednačenja geodetskih mreža na temelju različitih vrsta opažanja i uvjeta izjednačenja ovisno o potrebama (Geo Tec 1998).

Svaka vrsta opažanja sadrži brojne grupe opažanja (npr. kod različitih instrumenata). Svakoj se grupi može pojedinačno dodijeliti standardno odstupanje. Pripremljeni GPS podaci (npr. Geo–Tec program TRANS) i “mjerene” koordinate mogu se uvesti kao ulazni podaci u izjednačenje.

Ovisno o datumu mreže program omogućava nekoliko vrsta izjednačenja:

- **Izjednačenje pod “prisilom”** (kroz unošenje fiksnih točaka njihov se datum prenosi na mrežu),
- **“Meko” smještanje** (datum se određuje kroz “mjerene koordinate” korištenjem datumskih točaka),
- **Slobodno izjednačenje mreže** (geometrija mreže i određivanje datuma ovdje su međusobno neovisni).

U našem slučaju kao ulazni podaci za postupak izjednačenja korišteni su prethodno obrađeni i optimirani vektori, pomoću Trimble-ovog programskog paketa GPS Survey, u obliku \*.ssf datoteka, te približne 3D koordinate svih točaka mreže. Koristili smo izjednačenje pod “prisilom”, a kao fiksna točka uzeta je točka 12 (referentna točka za vrijeme opažanja).

Kod upravljanja izjednačenjem mogući je izbor nekoliko različitih tipova izjednačenja:

- **Simulacija (\*SIMUL)** – ona omogućava analizu točnosti i pouzdanosti izjednačenja bez opažanja (npr. za planiranje i optimiranje mreže); ne računa se apsolutni član i popravci koordinata,
- **Kontrola opažanja (\*CHECK)** – služi kao pomoć pri otkrivanju pogrešnih opažanja bez intenzivnog računa izjednačenja,
- **Iterativno izjednačenje (\*ITER)** – ovo izjednačenje koristi se kod nedostatno poznatih približnih koordinata; izjednačenje se ponavlja tako dugo dok popravci koordinata ne prijeđu zadanu granicu.

Upravo ovaj posljednji tip izjednačenja korišten je u našem zadatku.

### ▪ **Ocjena točnosti**

Pri ocjeni i analizi točnosti mreže pomoću potprograma PAN izračunate su slijedeće veličine:

#### a) **za opažanja:**

- *a posteriori* standardno odstupanje,
- normirane popravke, udio redundance i grube pogreške opažanja,
- procjena komponenti varijance.

#### b) **za točke:**

- standardno odstupanje,
- elipse pogrešaka/pouzdanosti.

## ▪ Transformacija koordinata

Izjednačenje koordinata točaka dobivenih GPS mjerenjem izvodi se u geocentričkom koordinatnom sustavu u kojem je pozicija točke izražena Kartezijevim koordinatama X, Y, Z. Kao konačan rezultat GPS mjerenja zahtijevaju se ravninske koordinate (y, x) H, tj. koordinate u lokalnoj projekciji. U Hrvatskoj to je Gauss-Krügerova projekcija.

U okviru programskog paketa Panda korištena je 7 parametarska Helmertova transformacija koordinata, koju je moguće izvršiti na dva načina:

1. Uz prethodno zadane parametre ili
2. Preko identičnih točaka.

Transformacija koja je korištena u našem zadatku je upravo transformacija preko identičnih točaka. Koristili smo devet poznatih točaka navedenih u tablici 2. Ista tablica prikazuje koordinate prije i poslije transformacije te koordinatne razlike. Cjelokupni postupak transformacije koordinata prikazan je shematski na slici 3.

Tablica 3: Usporedba koordinata točaka prije i poslije transformacije.

	Date koordinate			Koordinate dobivene GPS-om			Razlike		
	Prije transformacije			Poslije transformacije					
Točke	y	x	h	y	x	h	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta h$
10	6468929.49	4765340.38	3.46	6468929.55	4765340.43	3.60	-0.06	-0.05	-0.14
11	6465031.79	4762911.18	68.93	6465031.69	4762911.21	68.97	0.10	-0.03	-0.04
12	6463990.52	4763706.44	4.09	6463990.53	4763706.46	4.29	-0.01	-0.02	-0.20
15	6458401.63	4762213.62	103.17	6458401.55	4762213.78	103.31	0.08	-0.16	-0.14
76	6471344.19	4765545.11	62.79	6471344.30	4765545.14	63.03	-0.11	-0.03	-0.24
100	6466692.12	4764873.55	127.00	6466692.27	4764873.61	127.10	-0.15	-0.06	-0.10
229	6462689.06	4757512.22	325.34	6462689.04	4757512.15	324.74	0.02	0.07	0.60
281	6462356.50	4770310.24	738.00	6462356.42	4770309.93	737.02	0.08	0.31	0.98
422	6457716.31	4766454.46	66.34	6457716.26	4766454.50	67.05	0.05	-0.04	-0.71
86	6457752.02	4765348.41	80.54	6457751.91	4765348.40	81.24	0.11	0.01	-0.70
87	6461266.81	4766537.53	36.55	6461265.03	4766536.67	36.98	1.78	0.86	-0.43

Od jedanaest trigonometara navedenih u tablici 2., na kojima su obavljena GPS mjerenja, samo trigonometri 86 i 87 nisu korišteni kao identične točke za transformaciju. Za trigonometar 87 predlažemo da mu se promjene koordinate u one dobivene ovim projektom, dok za preostalih deset trigonometara predlažemo da im se zadrže dosadašnje koordinate.

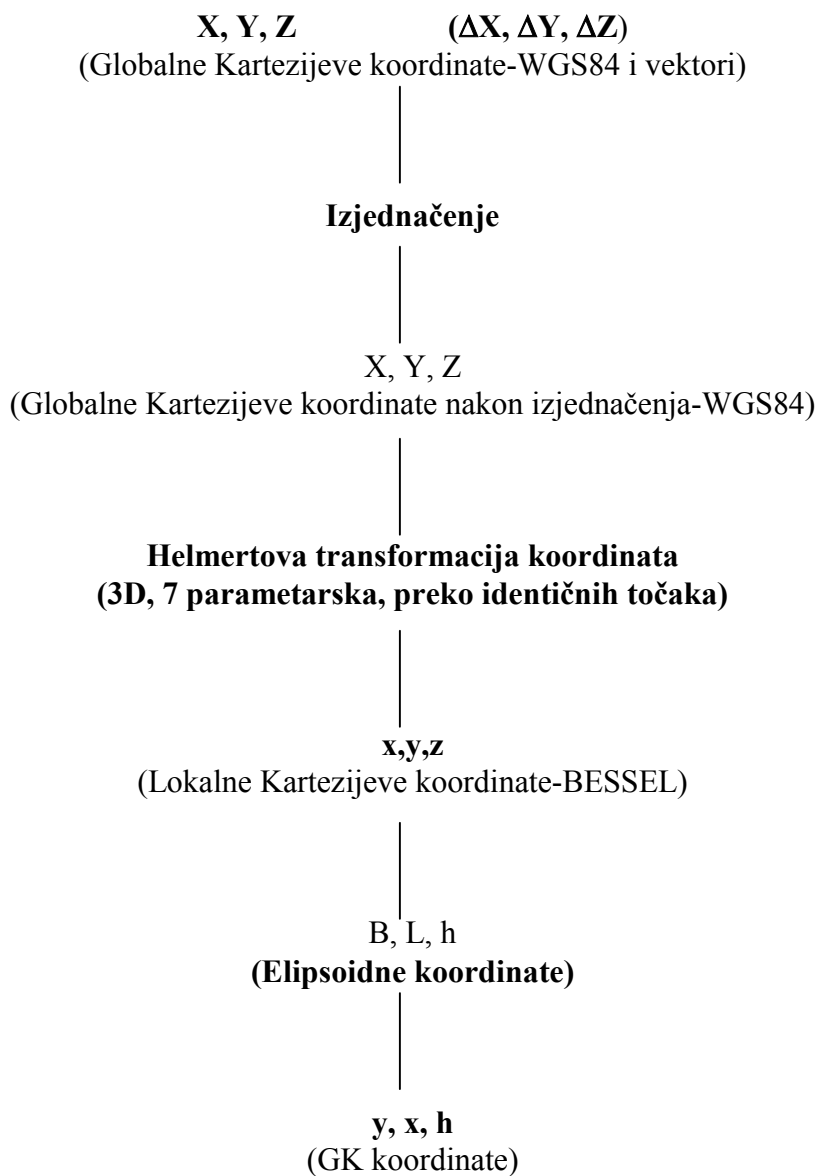
## Rezultati

Rezultat izjednačenja su:

- izlazna datoteka s izjednačenim koordinatama i ocjenom točnosti,
- datoteke za grafički prikaz rezultata.

Konačan rezultat transformacije su koordinate u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu, tj. koordinate u Gauss-Krügerovoj projekciji date u tablici 4. Ukupne standardne devijacije kao mjera ocjene točnosti nalaze se u rasponu između  $\pm 3$  mm i  $\pm 2$  cm. Napominjemo da točka 1017 nije

uspostavljena zbog otežane dostupnosti, a zbog mogućih problema uslijed prenumeracije točaka taj broj jednostavno je preskočen.



Slika 3: Postupak transformacije.

Izjednačenje mreže i transformaciju koordinata provela je Iva Novak, a vodio je asistent Marijan Ratkajec.

Tablica 4: Gauss-Krügerove koordinate u HDKS.

Točka	y	x	Točka	y	x
87	6461265.03	4766536.67	1029	6460664.63	4763431.54
1000	6463255.59	4759922.29	1030	6460085.81	4764566.47
1001	6461563.30	4759409.64	1031	6461384.35	4764016.62
1002	6460234.85	4760123.70	1032	6460974.25	4764260.11
1003	6459342.27	4760752.78	1033	6460460.66	4764675.98
1004	6458626.51	4761828.63	1034	6460622.00	4765355.68
1005	6458341.53	4762396.65	1035	6461965.75	4764269.47
1006	6457215.11	4762774.09	1036	6462872.17	4763508.18
1007	6458390.69	4762692.19	1037	6462738.10	4764359.20
1008	6459077.82	4762437.26	1038	6463391.52	4764225.66
1009	6459848.47	4761894.18	1039	6463600.27	4765023.89
1010	6460397.69	4761928.44	1040	6462946.28	4765536.03
1011	6461020.98	4762495.82	1041	6462311.11	4765397.75
1012	6461673.82	4762961.74	1042	6458510.48	4765973.79
1013	6462107.97	4762838.72	1043	6457796.36	4765014.66
1014	6463022.88	4763109.99	1044	6456739.72	4764268.69
1015	6463775.67	4762839.09	1045	6457050.89	4763490.59
1016	6461316.42	4761995.49	1046	6466190.96	4764004.83
1018	6460966.72	4760743.11	1047	6464822.64	4764101.87
1019	6462314.99	4760372.63	1048	6464440.31	4764380.25
1020	6462646.60	4761953.92	1049	6464567.36	4764545.45
1021	6463129.83	4762183.84	1050	6464987.27	4764878.46
1022	6463317.43	4761838.51	1051	6463970.06	4765484.99
1023	6457860.63	4763934.43	1052	6464430.52	4765757.53
1024	6458071.66	4764095.94	1053	6465225.12	4765489.29
1025	6458468.22	4763522.57	1054	6465761.15	4765018.38
1026	6459034.50	4763512.05	1055	6459944.79	4762549.93
1027	6460123.69	4764033.74	1056	6464869.60	4763758.27
1028	6460459.53	4763772.15	1057	6464807.82	4763704.49

Na temelju iznosa preostalih odstupanja po visini (vidi tablicu 3.) odlučeno je da se visine ne iskazuju jer su nepouzdana u apsolutnom smislu. Relativni visinski odnosi zadovoljavaju, ali visinski sustav u cjelokupnoj novoj položajnoj osnovi trebalo bi odrediti na temelju dodatnih nivelmanskih mjerenja i ponovljenog postupka transformacije.

## 2.5 Terestrička mjerenja

Za veliki broj geodetskih radova baziranih na terestričkim mjerenjima važne su dominantne točke s poznatim koordinatama koje mogu služiti za orijentaciju. Jedna od takovih točaka, koja se vidi iz velikog dijela neretvanske doline, jest trigonometrijska točka I. reda 281 Babina gomila. Prije nekoliko godina sagrađen je križ na brdu Marijin Vijenac pa se isti pokazao dobrim kao jedna od dominantnih točaka pogodnih za orijentaciju. Stoga je odlučeno da se toj točki odrede koordinate presjecanjem naprijed.

Presjek naprijed sastoji se od presjecanja pravaca s točaka poznatih po koordinatama prema novoj točki čije se koordinate određuju. Da bi se pravci s poznatih točaka na traženu točku mogli presjeći analitički ili trigonometrijski potrebno je na poznatim točkama izvršiti orijentaciju pravaca. Stoga se osim viziranja na novoodređivanu točku mora vizirati i na točke poznate po koordinatama.

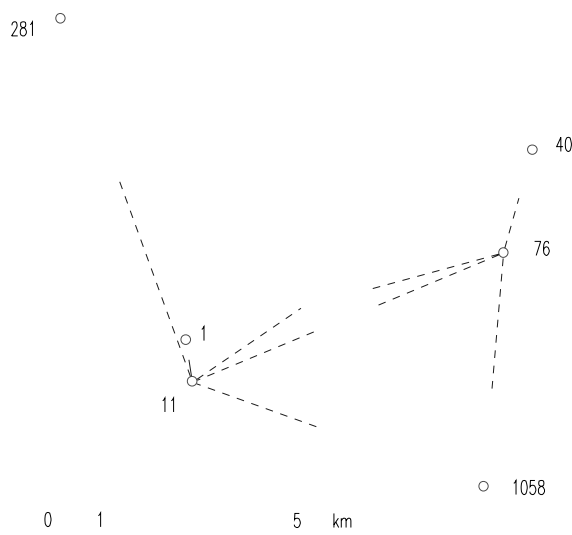
Križ na Marijinom Vijencu kao nova točka položajne osnove dobio je broj 1058. Za presjecanje naprijed korištena je motorizirana mjerna stanica GMT-100, čije značajke su:

- Duljina durbina 176 mm,
- Leća od 45 mm,
- Mogućnost povećanja do 30x,
- Minimalno fokusiranje od 1.3 m,



- Maksimalna brzina rotacije je 30 °/sec,
- Elektroničko mjerenje kuta s točnošću od 2",
- Instrument je težak 8.6 kg,
- Dimenzije su mu: 405 x 217 x 193 mm.

U tri girusa obavljeno je mjerenje s dvije točke: 11 i 76. Sa svakog stajališta vizirano je na tri točke poznate po koordinatama te na novu točku 1058 (vidi sliku 4). Podaci mjerenja pohranjivani su u internoj memoriji instrumenta, a nakon terenskog dijela posla prebacivani su na računalo pomoću odgovarajućeg softvera.



Slika 4: Skica presjeka naprijed za točku 1058.

Zbog dužina vizura od 4,7 km do 7,9 km (samo su dvije vizure kraće od 2,5 km) ova mjerenja odgovaraju određivanju trigonometrijske točke III. reda, te je potrebno mjerene pravce reducirati s elipsoida u ravninu (Čubranić 1974).

Obrada je započeta računanjem sredina pravaca iz sva tri girusa. Orjentirani smjerni kut sa stajališta prema nepoznatoj točki dobiven je na osnovu definitivnog orjentacijskog kuta, koji je dobiven kao aritmetička sredina orijentiranih smjerova i mjenenog pravca prema nepoznatoj točki (Narobe 1959).

Pomoću koordinata poznatih točaka i približnih koordinata tražene točke izračunati su svi potrebni elementi: smjerni kutovi između točaka, koeficijenti konfiguracijske matrice, te korekcije pravaca za prijelaz s elipsoida u ravninu. Potom je provedeno izjednačenje te su dobivene definitivne koordinate točke 1058 (vidi tablicu 5).

Tablica 5: Koordinate točke na Marijinom Vijencu.

Ime točke	Točka	y	x
Marijin Vijenac	1058	6471941.12	4760797.20

Ocjena točnosti koordinata data je na temelju točnosti mjenenih pravaca odnosno dvostruke kolimacijske pogreške jer nije bilo prekobrojnih mjerenja u smislu višestrukog presjeka s poznatih točaka. Stoga se procjenjuje da su koordinate točke 1058 po obje osi određene s točnosti od 20 cm te se ta točka može koristiti za orijentaciju.

Terenska mjerenja obavili su Dalibor Marinčić i Miranda Jukić, a obradu Miranda Jukić pod nadzorom asistenta Marijana Ratkajec.

### 3. 3D IZMJERA I VIZUALIZACIJA

Prodor modernih tehnologija u područje geodezije zadnjih je desetljeća dosegno neslućene razmjere. Brzi računalni razvoj promijenio je čak i poimanje geodetske struke. Računalom podržano upravljanje prostorom, osim obične filozofije, danas postaje stvarnost.

Zadaća dviju grupa studenata bila je napraviti trodimenzionalnu izmjeru užeg centra grada Opuzena odnosno 3D izmjeru Trga kralj Tomislav. Naknadnom obradom mjerenja trebalo je izraditi modele zgrada i okoliša, napraviti vizualizaciju trga, a sve u cilju izrade digitalne podloge za bolje upravljanje prostorom. Digitalna podloga može služiti i za očuvanje kulturne baštine imajući u vidu starost objekata na trgu. Možda model trga neće ostaviti poseban dojam na nekog promatrača. Međutim, zamislimo veliko industrijsko postrojenje koje, uz pomoć računala i izrađenog modela, možete pregledati i procijeniti njegovu vrijednost za nekoliko sati, za što bi bez računala bilo potrebno nekoliko tjedana ili čak mjeseci.

Cjelokupni projekt 3D izmjere i vizualizacije u sklopu prakse vodili su profesor Miodrag Roić i dr.sc. Siniša Mastelić Ivić.

#### 3.1 Izmjera

Dvije grupe studenata imale su za zadaću trodimenzionalnu izmjeru trga u Opuzenu. Prvu grupu činili su Toni Modrušan, Franjo Mijaković i Silvija Franković, a drugu Slaven Marasović, Tina Šumberac, Iva Dollar i Marija Staničić. Voditelji su im bili profesor Miodrag Roić i asistent Vlado Cetl.



Slika 5: Fotografija trga.

Jedna grupa dobila je zadaću napraviti trodimenzionalnu izmjeru Trga kralj Tomislav (vidi sliku 5.), a druga grupa trebala je postaviti poligonski vlak s kojeg se radi izmjera.

3D izmjera je zapravo kombinacija različitih geodetskih metoda. Kako bi konačan proizvod bio što bolji, nužno je izabrati metode koje jamče što točniju i precizniju izmjeru. U našem slučaju to su bile poligonometrija i polarna izmjera detalja. Izmjera se sastojala iz tri dijela:

- postavljanje geodetske osnove,
- trodimenzionalna izmjera karakterističnih točaka zgrade,
- detaljna izmjera pročelja zgrada.



Slika 6: Fotografija zgrade gradskog poglavarstva - "općine".

Zadana točnost izmjere bila je 2 cm (relativno 1 cm), a da bi bila ostvarena trebalo je postaviti geodetsku osnovu za određivanje prostornih točaka zgrade. Koliko su komplicirani detalji na nekim zgradama pokazuje slika 6. Stoga je postavljen i izmjeren zatvoreni poligonski vlak uz uporabu pribora za prisilno centriranje. S točaka poligonskog vlaka opažane su karakteristične točke zgrada. Pristupačne točke opažane su polarno, a nepristupačne metodom presjeka pravaca. Korišteni su instrumenti Leica TC 1800 i Zeiss Elta 15, s mogućnosti automatske registracije mjerenih podataka i prijenosa podataka u računalo.

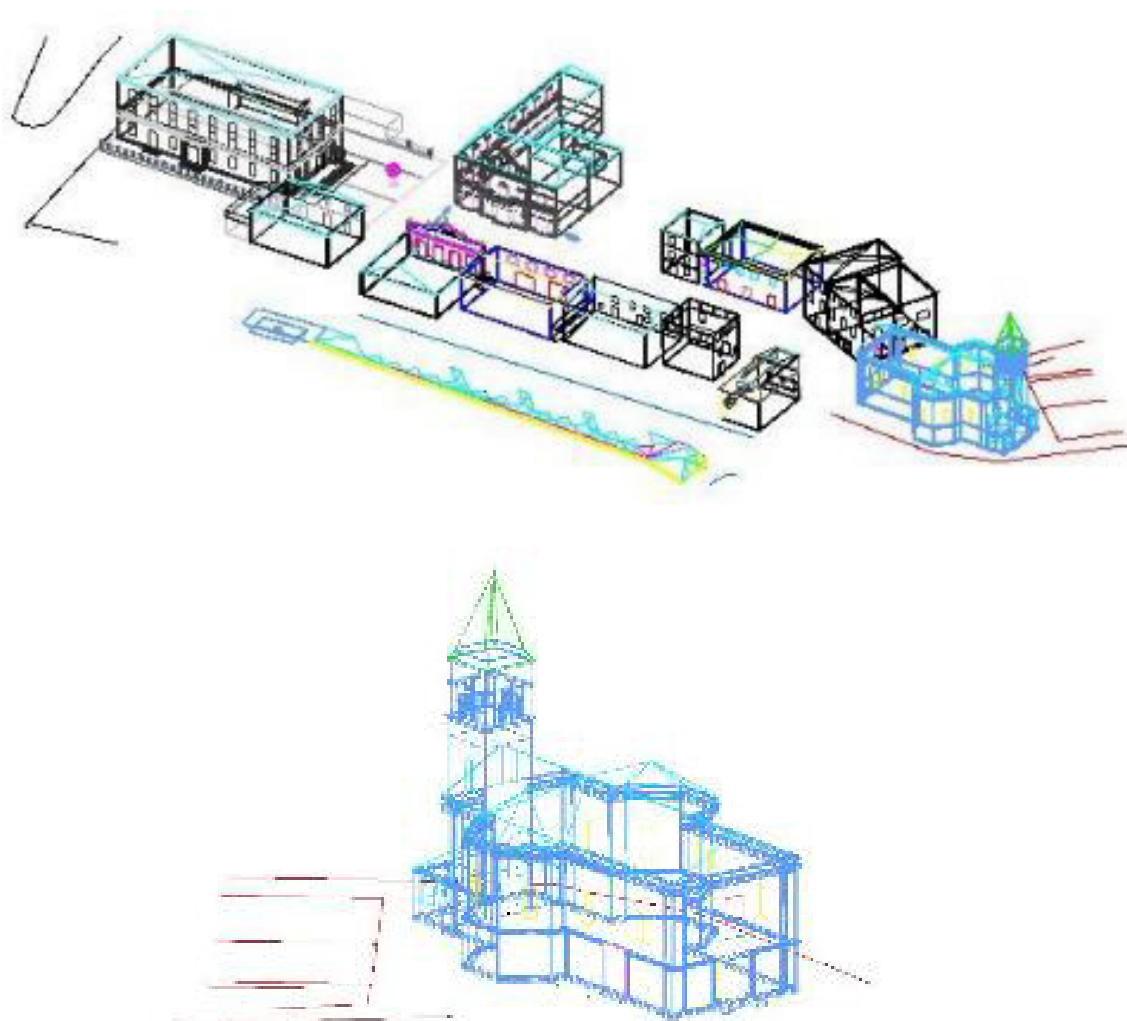
Detaljna izmjera pročelja zgrada sastojala se od mjerenja udaljenosti između karakterističnih točaka na tim pročeljima. Kod izmjere pročelja trebalo je izmjeriti svaki detalj, odnosno istaku, veću od 2 cm. Pri tome su upotrebljavani ručni dvometar i ručni laserski daljinomjer DISTO. Kod te izmjere trebalo je posebnu pažnju posvetiti crtanju skica, koje su kasnije u velikoj mjeri poslužile kod izrade 3D-modela.

Sve zgrade su fotografirane, kako kasnije ne bi bilo poteškoća prilikom crtanja modela ako je nešto propušteno kod izmjere.

### 3.2 Izrada 3D modela

Sam zadatak se dijeli na tri dijela: izmjeru, računanje koordinata iz podataka mjerenja i 3D vizualizaciju. Digitalni 3D-model svih zgrada i crkve izrađivao se na PC računalima fakultetske računaonice. Prije same izrade modela trebalo je izračunati koordinate prostornih točaka objekta. Prvo su računane koordinate svake točke u zatvorenim poligonskim vlakovima. Nakon toga bilo je moguće izračunati koordinate detaljnih točaka objekta koje su opažane s tih točaka ili polarnom metodom ili presjekom pravaca. Za računanje koordinata točaka korišten je tablični kalkulator Excel iz Microsoftova office-a 2000.

Izračunate koordinate detaljnih točaka objekata učitane su u CAD aplikaciju Microstation 95, pomoću koje su modelirani izmjereni objekti. Svaka grupa trebala je izraditi jednu zgradu, a na kraju su sve zgrade spojene u jednu cjelinu.

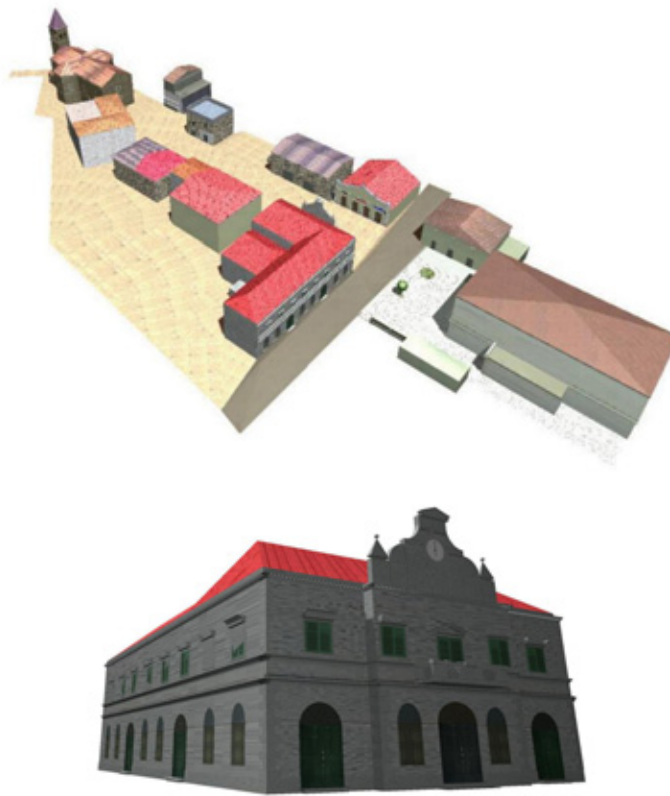


Slika 7: Mrežni modeli trga i crkve.

Samo mjerenje trajalo je punih pet dana, što dovoljno govori o opsežnosti ovog zadatka. Izvođenjem 3D izmjere i kasnije vizualizacije Trga kralj Tomislav željelo se pokazati mogućnosti moderne geodezije. Tako je napravljen 3D model trga i crkve kao središnje figure na njemu (vidi sliku 7.), izrađeno je niz realističnih prikaza objekata te cjelokupna situacija na trgu i oko njega. Budući da nije ostvarena je zadana točnost od  $\pm 2\text{cm}$  kod svih objekata ne preporuča se korištenje 3D modela trga za tehničke namjene već samo u turističko-promidžbene svrhe. Uz neka dodatna mjerenja i poboljšanje modela isti bi se mogao koristiti npr. za restauraciju zgrada i crkve, nova projektiranja, itd.

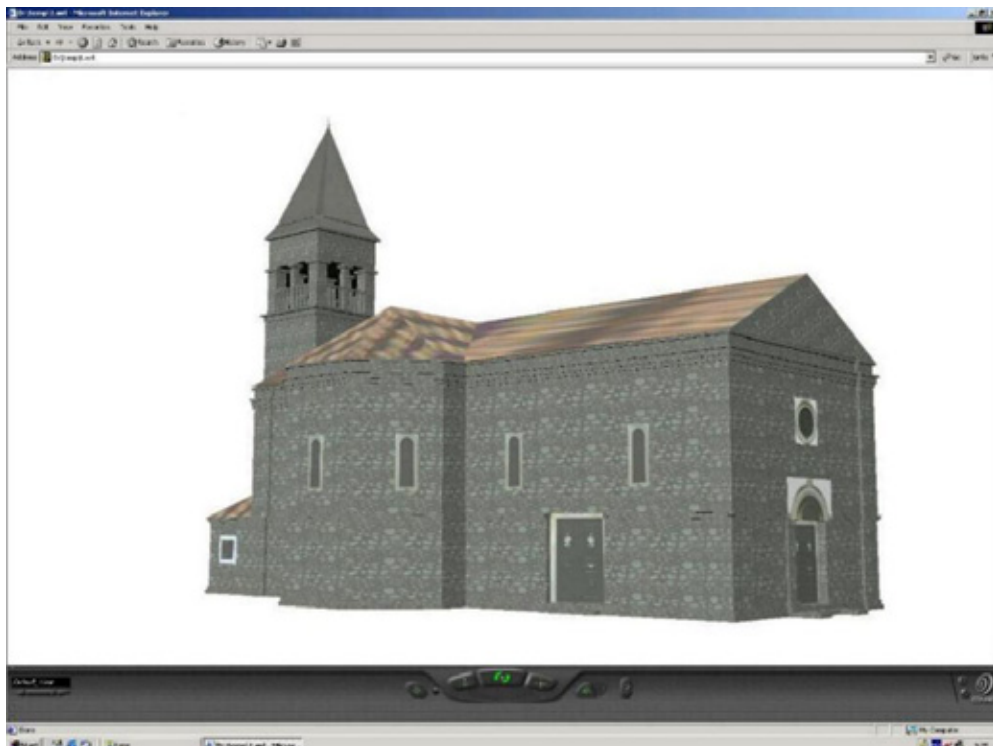
### 3.3 Vizualizacija i prikazi

Postignuta je vrlo visoka razina prezentacije trga. Trodimenzionalni prikazi modela Trga kralj Tomislav i svih objekata na njemu vrlo su slični fotografijama. Ti prikazi mogu biti s efektima sjenčenja i bez njih. Prikazi bez sjenčenja zapravo su skup linija i ne mogu nam dočarati stvarni objekt, dok prikazi sa sjenčenjem vrlo su slični stvarnom objektu. Cilj vizualizacije, između ostalog, bio je dobiti model sličan realnom objektu (vidi sliku 8.).



Slika 8: Virtualne slike trga i "općine".

VRML je jezik za opisivanje multiinteraktivnih simulacija prividne stvarnosti povezanih preko Web-a. Svi aspekti prividne stvarnosti koje možemo prikazati, interakcije i rad unutar Web-a mogu se stvoriti koristeći VRML. Namjera dizajnera je da VRML postane standardni jezik za interaktivne simulacije unutar Web-a.



### Slika 9: Prikaz crkve iz VRML-a.

Prva verzija VRML-a omogućava izradu prividnih svjetova s ograničenom interaktivnošću. Ti svjetovi mogu sadržavati objekte koji imaju hyperlinkove na druge svjetove, HTML dokumente, itd. Kada korisnik odabere link koji vodi na VRML dokument, unutar korektno konfiguriranih Web browsera, pokrenut će se program za gledanje VRML svjetova. Ti VRML programi savršene su aplikacije za standardne Web browsere, koje omogućuju navigaciju i vizualizaciju Web-a. Buduće verzije VRML-a omogućavat će bolje funkcije uključujući i multikorisničku interakciju u stvarnom vremenu.

U današnje vrijeme sve više koristi se 3D CAD program za dizajn i razradu projektne dokumentacije na računalu. Ovi programi omogućavaju razvoj 3D modela objekata u nekom formatu koji podržava korišteni program. Najpopularniji programi te vrste koji se koriste su: AutoCAD, 3D Studio, ArchiCAD, Microstation, itd. Pojavom VRML jezika pojavili su se i programski alati za konvertiranje CAD 3D formata u VRML format. Na taj način moguće je 3D modele pretvoriti u VRML format te upotrebom preglednika interaktivno kretati se kroz zgradu i istraživati njene prostorije. Crkva u VRML prikazu na papiru data je na slici 9.

Izradu modela i vizualizaciju vodio je asistent Hrvoje Matijević.

## 4. KINEMATIKA I RTK

Kinematičko relativno pozicioniranje podrazumijeva da je referentni prijamnik stacionaran, dok je drugi prijamnik pokretan. Kinematičkom metodom određuje se trajektorija gibanja antene prijarnika u pokretu.

Jedna zadaća u okviru ovog projekta bila je izmjeriti nogometno igralište u Opuzenu klasičnom kinematičkom GPS metodom, a druga zadaća odnosila se na izmjeru detaljnih točaka RTK metodom na Trgu kralj Tomislav, odnosno Pjaci, radi usporedbe s terestričkom 3D izmjerom.

### 4.1 Kinematika

Relativna kinematička metoda podrazumijeva da je mjerenje potrebno inicijalizirati (odrediti ambiguitete), što omogućuje da se trajektorija odredi s točnošću od nekoliko centimetara. Osnova dobivanja pozicija je da prijamnik mora neprekidno primati signale s minimalno četiri satelita. U slučaju da prijamnik prima signale s manje od četiri satelita potrebno je ponovno inicijalizirati mjerenje. Postupak inicijalizacije može biti "klasičan", tj. statičko mjerenje na dvije poznate točke, brzo statičko određivanje nepoznate točke i zamjena antena ili s nekim od OTF ("on-the-fly") postupaka. Za naglasiti je da postupak inicijalizacije mjerenja, bilo na početku ili tijekom mjerenja, determinira mogućnosti pojedine relativne kinematičke metode.

Kao što je već naglašeno, osnovni problem relativnog kinematičkog mjerenja sadržan je u potrebi da se neprekidno zadrži prijem signala s minimalno četiri satelita. Zato relativna kinematička mjerenja nisu pogodna za urbanizirana i šumovita područja. U okolišu gdje je prijam signala zaklonjen ili konstantno trpi od smetnji ne pomažu niti OTF metode, zbog stalne potrebe za reinicijalizacijom. Zato je u takvim područjima bolje koristiti druge metode.

Početna inicijalizacija i sljedeće mjerenje u pokretu označava se kao *mjerni lanac*. Postoji dakle "stop and go" mjerni lanac i kinematički mjerni lanac.

Klasično relativno kinematičko mjerenje podrazumijeva, bilo primjenom klasične ili OTF inicijalizacije, naknadno određivanje izmjerene trajektorije. U tom postupku definirana je trajektorija nizom određenih položaja antene čija gustoća ovisi od intervala registracije.

Uklanjanje navedenih nedostataka, određivanje diskretnih točaka i obrada u realnom vremenu, djelomično je riješeno razvojem “*stop and go*” metode, a u potpunosti razvojem metoda kinematike u realnom vremenu (*real-time kinematic* – RTK).

Kinematička tehnika najproduktivnija je kada je potrebno odrediti veliki broj točaka na manjem području u što kraćem vremenu. Dok statička tehnika zahtijeva da sateliti promijene poziciju na nebu, to za kinematičku tehniku nije potrebno. Da bi dobili rezultate s visokom točnošću, GDOP ne smije prekoračiti vrijednost 8, a idealna GDOP vrijednost nalazi se na 5 ili ispod.

Za sve vrste kinematičkih mjerenja prioritetna zadaća je određivanje ambiguiteta dok je antena u pokretu, bilo da je riječ o početnoj inicijalizaciji ili u toku mjerenja uslijed gubitka signala. Metode koje omogućuju takvu inicijalizaciju nazivaju se “on-the-fly” (OTF), “ambiguity resolution on the fly” (AROF) ili “on-the-run” (OTR). Ove tehnike karakterizira uporaba kodnih i faznih mjerenja. Kodne udaljenosti se koriste za određivanje početnog rješenja i prostora traženja. Kako će se početni položaj odrediti i kakav će biti prostor traženja ovisi od pojedine metode. Sami postupci traženja također se međusobno razlikuju, kao i kriteriji selekcije i prihvaćanja kombinacija ambiguiteta.

Tehnike određivanja ambiguiteta:

- metoda funkcije ambiguiteta,
- tehnika traženja ambiguiteta pomoću najmanjih kvadrata,
- tehnika traženja pomoću varijanc-kovarijanc matrice,
- metoda dekorelacije ambiguiteta,
- “*fast ambiguity search filter*”.

Mjerenja uz pomoć kinematike “on the fly” omogućavaju kontinuirano određivanje pozicije, bez potrebe za statičkom inicijalizacijom. Senzor se može pomicati od prve epohe. OTF-mjerni lanac sastoji se samo iz mjerenja u pokretu. Kod OTF kinematičkih mjerenja može se ostvariti ista točnost kao kod mjerenja “pravom kinematikom” (KIS), pod uvjetom da se ispune sljedeće pretpostavke:

- najmanje 5 satelita se promatra od prve epohe,
- dobra geometrija satelita (niska vrijednost GDOP-a),
- ne postoje “*cycle slips*” (fazni skokovi) ili “*loss of lock*” (prekid faznog mjerenja) u prvih 200 sekundi mjernog lanca,
- udaljenost između referentne stanice i pokretnog prijammnika je maksimalno pet kilometara.

Jednom određene višeznačnosti koriste se za sva sljedeća određivanja pozicija, sve dok se najmanje četiri satelita promatraju bez “*cycle slips*”-a. Čim broj satelita padne ispod brojke četiri, da bi se i dalje postizali visoko točni rezultati, neophodni su ponovno podaci koji su oslobođeni od “*cycle slips*”-a od najmanje pet satelita preko dvjesto sekundi.

Primjena OTF metode posebno se preporučuje, kada statička inicijalizacija nije moguća ili nije provediva. Na primjer kod hidrografskih mjerenja, gdje je antena instalirana na mjernom brodu i zbog ljuljanja statička inicijalizacija nije moguća.

Za uspješna “stop and go”, “prava kinematika” i “on the fly” mjerenja potrebno je, u prozoru opažanja raditi s dobrom satelitskom konfiguracijom (vidi tablicu 6. i 7.). Potrebno je odabrati prozor opažanja u kojem stoji na raspolaganju što je više moguće satelita. Što je više satelita to su manje problematični prekidi u faznim mjerenjima. Treba izabrati prozore opažanja u kojima su sateliti s visokom elevacijom, jer kod njih su gubici signala zbog zasjenjenja manje mogući.

Tablica 6: Važni čimbenici za "stop and go" metodu.

Prozor opažanja	Sateliti, elevacija, GDOP
dobar prozor opažanja	5 ili više satelita, elevacija preko 20°, GDOP=5
prozor opažanja se može koristiti ali ne i preporučiti	4 satelita, elevacija preko 15°, GDOP=8
prozor opažanja se ne bi trebao koristiti	4 satelita, GDOP>8
prozor opažanja se ne može koristiti	3 satelita i manje

Tablica 7: Važni čimbenici za "on the fly" kinematiku.

Prozor opažanja	Sateliti, elevacija, GDOP
od posebnog značenja za vrijeme prvih 200-300 sekundi za inicijalizaciju mjernog lanca	5 ili više satelita, elevacija u idealnom slučaju preko 20°, GDOP=5
prozor opažanja se može koristiti nakon prvih 200-300 sekundi	4 satelita, elevacija preko 15°, GDOP=8
prozor opažanja se ne i trebao koristiti	4 satelita, GDOP>8
prozor opažanja se ne može koristiti	3 satelita i manje

Zadaća je bila izmjeriti nogometno igralište u Opuzenu klasičnom kinematičkom metodom. Jedan prijamnik je postavljen na referentnu točku, a 3 prijarnika bila su u pokretu. Pokretne prijarnike su nosili su studenti hodajući po rubu igrališta. Vrijeme bilježenja podataka sa satelita u prvom obilasku igrališta bilo je 4 sekunde, a nakon toga 3 sekunde.

Obrada podataka napravljena je sa softverskim paketom GPS-Survey 2.30, međutim nisu dobivena zadovoljavajuća rješenja zbog raznih smetnji pri mjerenju. Tijekom mjerenja, što je vidljivo u podacima koji su služili za obradu, nije bio vidljiv dovoljan broj satelita (4 i više), a ako je to i bio slučaj onda je to trajalo vrlo kratko vrijeme tako da ti podaci nisu mogli biti korišteni u obradi.

## 4.2 Real time kinematic

Kinematika u realnom vremenu ili skraćeno RTK je način određivanja položaja točke kinematičkim opažanjem te obradom u realnom vremenu. U radu se koriste dva prijarnika od kojih je jedan statičan (referentni), a drugi pokretan (rover). Mjerenja s referentnog prijarnika prebacuju se radio vezom na pokretni prijarnik u kojem se istovremeno s postupkom mjerenja obavlja i računanje koordinata. RTK sistemi funkcioniraju na jednoj ili obje frekvencije. Dvofrekventni sistemi su puno brži jer raspoložu OTF tehnikama inicijalizacije. OTF (on the fly) postupak je bitan kod kinematike u realnom vremenu jer omogućava ponovnu inicijalizaciju u pokretu nakon gubitka neophodnog broja satelita.

Problem kod RTK, tj. razlog manje točnosti, je "latency" ili pogreška sinhronizacije. Podaci statičnog (referentnog) prijarnika kasne zbog vremena potrebnog za prenos podataka tako da se antena više ne nalazi na izračunatoj poziciji. Da bi se izbjegao "latency" koriste se podaci iz mjerenja referentne stanice iz prethodne epohe i ekstrapoliraju se u trenutak registracije podataka na pokretnom prijarniku. To uzrokuje dodatnu pogrešku pozicioniranja. Iznos te pogreške varira obzirom na programski paket.

Mi smo koristili RT-SKI, Leica sustav 300, koji nam omogućava dobivanje koordinata u realnom vremenu s centimetarskom točnošću. Kako je već prije objašnjeno jedan prijarnik postavljen je na poznatu točku, a s pokretni prijarnik premješta se na točke detalja. Važno je primijetiti da registracija koordinata nije bila moguća na točkama uz visoke objekte zbog nemogućnosti rješavanja ambiguiteta, tj. zbog nedostupnosti signala s minimalnog broja satelita. Koordinate su direktno dobivene u HDKS u Gauss-Krügerov projekciji.



U tablici 8. nalaze se odstupanja za nekoliko izmjerenih detaljnih točaka, odabrane slučajnim odabirom, čije su koordinate dobivene na dva načina: terestrički i RTK. Napominjemo da su iskazana odstupanja najvećim dijelom uzrokovana problemom identifikacije točke, tj. postavljanjem držača rover antene na mjesto gdje se prethodno nalazila prizma. Skica izmjere nalazi se u arhivi.

Tablica 8: Odstupanja koordinata identičnih točaka dobivenih dvjema metodama.

Br. detaljne točke	dy	dx	dh
510	-0.029	-0.044	-0.044
544	0.015	0.003	-0.030
545	-0.027	0.028	0.011
547	-0.047	0.022	-0.028
551	-0.063	-0.026	-0.029
1059	0.029	-0.033	0.046
1060	0.118	-0.026	0.050

Na osnovi našeg iskustva možemo zaključiti da je metoda određivanja koordinata metodom kinematike u realnom vremenu brza metoda, visoke je točnosti i neovisna je o vremenskim prilikama. Pokazalo se međutim da je u našem slučaju od veće koristi bila klasična metoda jer smo se nalazili među visokim objektima što je smetalo prijemu satelitskog signala.

## 5. BAZA PODATAKA

Bazu podataka sačinjavaju informacije koje se odnose na određene objekte, namjene i događaje (Bočkal 1996). U relacijskoj bazi podataka vezani su podaci relacijama i strukturirani tako da se osigurava minimalna zalihost (redundancija) podataka. Jedan od programa koji podržava rad po relacijskom modelu baze podataka jest *MS Access* koji je korišten kao okružje za izradu baze podataka "*BazaOpuzen2000*".

Svaka baza podataka sastoji se od osnovnih gradivnih dijelova. To su: tablice, maske, upiti, izvješća, makro naredbe te tzv. moduli.

**Tablice (Tables)** su osnovni i najvažniji dio relacijske baze podataka. Svi podaci koji se nalaze u bazi smješteni su u tablice. Tablice se međusobno povezuju relacijama. Prilikom dodavanja polja u tablicu potrebno je:

- navesti naziv polja (*Field name*),
- odrediti tip polja (*Data Type*),
- navesti opis polja (*Deskription*), po želji.

Baza podataka "*BazaOpuzen2000*" sastoji se od dvije tablice pod nazivom:

1. "Osnovne"
2. "Stabilizacije".

Tablica ad 1. sadrži 28 polja, a pobljeze navest ćemo neke:

- broj – broj točke,
- naziv – naziv odnosno ime točke,
- red – kojeg je reda točka,
- y – Gauss-Krügerova koordinata na apscisnoj osi,
- x – Gauss-Krügerova koordinata na ordinatnoj osi,
- h – ortometrijska visina,
- trigkotar – trigonometrijski kotar u kojem se točka nalazi,
- ko – katastarska općina u kojoj se točka nalazi,

- rudina – rudina u kojoj se točka nalazi,
- stabilizacija – način stabilizacije točke,
- obilazak – tko i kada je obavio obilazak točke,
- položaj – skica položajnog opisa točke s odmjeranjima,
- dostupnost – kako se dolazi do točke,
- dogledanje – dogledanje prema drugim točkama,
- smetnje – zaklanjanje za prijem GPS signala,
- postavio – tko je točku stabilizirao,
- datum – datum stabilizacije.

Tablica ad 2. sadrži 4 polja:

- ID – redni broj,
- tip – način stabilizacije točke označen kodom,
- opis – opis načina stabilizacije,
- slika – prikaz načina stabilizacije.

Podaci iz različitih tablica mogu biti međusobno povezani različitim relacijama:

- 1:1 (jedan zapis iz prve tablice vezan za samo jedan zapis iz druge tablice),
- 1:M (jedan zapis iz prve tablice vezan za više zapisa iz druge tablice),
- M:1 (više zapisa iz prve tablice vezani za jedan zapis iz druge tablice),
- M:M (više zapisa iz prve tablice vezani za više zapisa iz druge tablice).

**Upiti (*Queries*)** služe za dobivanje željenih informacija koje su pohranjene u bazi podataka. Podaci na koje se upit odnosi mogu biti smješteni u više tablica, pa se uz pomoć pravilno postavljenih relacija omogućuje pravilan odgovor na upit. Odgovor je u obliku skupa zapisa koji je dinamičke prirode, tj. promjenljiv je u vremenu i mijenja se kako se mijenjaju podaci spremljeni u tablicama.

Upit *qOsn\_sta* u bazi podataka “*BazaOpuzen2000*” objedinjuje podatke o geodetskim točkama smještene u tablicama “Osnovne” i “Stabilizacije”.

**Maska (*Form*)** koristi se za lakši i jednostavniji unos podatka kao i za pregled podataka. Pregled podataka u tablici nekada je pogodnije obavljati pomoću maske jer ako zapis ima mnogo polja u tabličnom obliku neće se sva istodobno moći vidjeti na zaslonu, pa je za pregled jednog zapisa pogodnija maska koja ga može odjednom prikazati u cjelosti.

Svaka maska za unos sastoji se od tri dijela:

- zaglavlja,
- tijela maske,
- podnožja.

Kada prikazujemo podatke, smještamo ih u tijelo maske. Zaglavlje i podnožje služe da bi se u njih mogle smjestiti neke informacije ili komande koje se mijenjaju promjenom sadržaja tijela maske. “*BazaOpuzen2000*” nije komplicirana baza podataka te stoga nije kreirana maska.

**Izvješća (*Reports*)** su u osnovi samo ispisi podataka iz naše baze podataka. Mogu sadržavati sve naše podatke ili samo neke od njih. Kao izvješće kod naše baze podataka dobije se položajni opis s podacima o pojedinoj geodetskoj točki (broj, naziv, red ...), isječkom HOK s ucrtanim položajem točke, skicom položaja točke s odmjeranjima, načinom stabilizacije i drugim već spominjanim podacima. Položajni opisi točaka obuhvaćenih projektom prakse nalaze se u **Prilogu**.

Bazu podataka izradili su Ružica Bošnjak i Vice Mrša uz pomoć asistenta Marijana Ratkajec, a vodio ih je profesor Zdravko Kapović.

## 6. ZAKLJUČAK

Sedamnaest studenata pod nadzorom pet nastavnika prikupili su mjerenjem, u relativno kratkom vremenskom razdoblju studentske prakse, mnoštvo raznovrsnih podataka, koje su obrađivali na Fakultetu u okviru dvaju seminara spomenutih u **Uvodu**. Rezimirajmo ukratko što je sve napravljeno.

Područje Delte Neretve od preko 5000 ha u užem smislu i od čak 10000 ha u širem smislu obuhvaćeno je projektom prakse. Za 58 novostabiliziranih točaka određene su koordinate u hrvatskom državnom koordinatnom sustavu u Gauss–Krügerovoj projekciji na temelju GPS mjerenja. Radi transformacije koordinata na temelju identičnih točaka obavljena su mjerenja i na 11 postojećih trigonometara od kojih je 9 upotrijebljeno u postupku transformacije. Stari trigonometri zadržavaju svoje brojeve, a samo za trigonometar 87 predlažemo promjenu koordinata. Novodređene točke započinju s brojem 1000, kao što je uobičajeno kod svih novih mreža određivanih GPS mjerenjima na nekom zahvaćenom području.

Ocjena kvalitete postojeće mreže kao i transformacija u GK sustav izvršena je programskim paketom PANDA baziranim na najnovijim znanstvenim dostignućima u obradi geodetskih mreža. Srednje pogreške koordinata iskazanih u HDKS iznose između  $\pm 3$  mm i  $\pm 2$  cm, što je znatno manje od preostalih odstupanja nakon transformacije na identičnim točkama, tj. datim trigonometrima.

Napravljena je relacijska baza podataka o stalnim geodetskim točkama, čija se najvažnija prednost pred klasičnim načinom arhiviranja podataka očituje u mogućnosti brzog pregledavanja i ažuriranja. Radi lakšeg pronalaženja točaka na terenu, osim ispisanih položajnih opisa iz baze, načinjeni su grafički prikazi smještaja točaka na rasterskim podlogama.

Središnji dio grada Opuzena, popularna Pjaca, trodimenzionalno je izmjeren, a potom izrađen virtualni model. To je jedan novi vid uloge geodezije u očuvanju kulturno-povijesne baštine, ali i njezinih potencijala u turističko-promidžbene svrhe.

Postignuta je visoka razina samostalnosti rada studenata radi primjenjenog principa: nastavnici izlože zadaće, a studenti ih samostalno izvršavaju. Držimo da je studentska praksa **Opuzen 2000.** u potpunosti uspjela, jer su ostvareni rezultati na zavidnoj razini, studenti su upotpunili svoje teoretsko znanje, a nastavnici su stekli još jedno organizacijsko iskustvo.

## LITERATURA

Bočkal, D. (1996): MS Access 7.0 – Baza podataka za WINDOWS 95.

Čubranić, N. (1974): Viša geodezija, I dio. Liber, Zagreb.

Geo Tec (1989): PANDA – Version 1.0, Software Manual.

Geo Tec (1998): PANDA – Version 2.12, Software Manual.

Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, J. Collins (1997): Global Positioning System – Theory and Practice, Fourth, revised edition. Springer Wien New York.

Leica (1998): SKI 2.30 – Software Manual.

Natural Resources Canada (1994): GPS POSITIONING GUIDE. Minister of Supply and Services, Canada.

Narobe, Z. (1959): Priručnik za vježbe iz geodetskog računanja. Zagreb.

Trimble (1997): GPSurvey 2.20 – Software Manual.