

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidat:

Andrej Glavica

Zasnova geodinamične GPS mreže Ljubljana

Diplomska naloga št.: 664

Mentor:

izr. prof. dr. Bojan Stopar

Somentor:

asist. mag. Oskar Sterle

Ljubljana, 21. 12. 2005

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Andrej Glavica izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
"ZASNOVA GEODINAMIČNE GPS MREŽE LJUBLJANA".

Ljubljana, 25.11.2005

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.28
Avtor: Andrej Glavica
Mentor: izr.prof.dr. Bojan Stopar
Naslov: Zasnova geodinamične GPS mreže Ljubljana
Obseg in oprema: 66 str., 7 pregl., 2 graf., 8 sl., 1 diag., 19 pril.
Ključne besede: geodinamična mreža, GPS, geodezija, tektonika

Izvleček

V tej diplomski nalogi smo naredili korak k vzpostavitvi nove geodinamične mreže, ki bi za oceno geodinamičnega dogajanja omogočala uporabo GPS tehnologije. Diplomsko delo tako vsebuje opis in zahteve takšne geodinamične mreže, njeno vzpostavitev ter postopek obdelave podatkov pridobljenih z GPS meritvami na točkah. Naloga obravnava tudi vključitev permanentnih GPS postaj v geodinamično mrežo. Praktični del naloge je bila meritev štirih točk, ki tvorijo profil skozi osrednje obravnavano območje. Na podlagi podatkov preteklih meritev iz let 1995 in 2001 ter sedaj opravljenih meritev smo določili vektorje hitrosti premikov v globalnem smislu. Poleg omenjenih meritev je v nalogi predstavljeno tudi opravljeno rekognosciranje terena, katerega rezultat so topografije možnih lokacij točk nove geodinamične mreže.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 528.28
Author: Andrej Glavica
Supervisor: Assoc.Prof. Bojan Stopar
Title: Planning the Ljubljana geodynamics GPS network
Notes: 66 p., 7 tab., 2 graph., 8 fig., 1 diag., 19 ann.
Key words: geodynamic network, GPS, geodesy, tectonics

Abstract

The graduation thesis represents one step further towards establishing the new geodynamic GPS network Ljubljana. Therefore the description of and the requirements for such geodynamic network are included. The method for computing data, obtained from GPS observations using Bernese GPS 5.0 software, is described as well. The thesis also deals with the use of permanent GPS stations into a geodynamic network. The practical part of the thesis was two-fold: the aim was to search for proper locations of new points and to take GPS observations on four already existing geodynamic points across the region. These measurements and the measurements from years 1995 and 2001 were the basis for computing global site velocities. Another result of the field work are site descriptions of all checked points of the new geodynamic network.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ZGODOVINA GEODETSKEGA SPREMLJANJA GEODINAMIČNEGA DOGAJANJA PRI NAS	3
2.1	Ljubljanski centralni sistem	5
2.2	Ljubljanske mikromreže.....	6
2.3	Dosedanje raziskave in razvoj ljubljanskih mikromrež	8
2.4	Zaključki o ljubljanskih mikromrežah	10
2.5	Mednarodne raziskave	10
3	TEKTONIKA IN GEODETSKE NALOGE PRI GEODINAMKI	13
3.1	Interpretacija rezultatov	15
4	KOORDINATNI SISTEMI POMEMBNI ZA GNSS	17
4.1	WGS84 koordinatni sistem	18
4.2	ITRS koordinatni sistemi	19
4.3	ETRS89 koordinatni sistem	21
4.4	Transformacije med globalnimi koordinatnimi sistemi	22
4.4.1	Prehod med ITRFyy v ETRF89	22
4.4.2	Prehod med ETRS89 in WGS84.....	23
4.5	Predstavitev rezultatov	24
5	GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI – GNSS	26
5.1	NAVSTAR GPS.....	27
5.1.1	GPS signal.....	30
5.1.2	Tipi opazovanj v GPS	32
5.1.3	Metode geodetske GPS izmere	38
6	ZASNOVA GEODINAMIČNE MREŽE NA OBMOČJU LJUBLJANE	42
6.1	Na splošno o geodinamičnih mrežah	42
6.2	Določitev makrolokacij.....	44
6.3	Rekognosciranje terena in določitev mikrolokacij novih točk.....	45

6.3.1	Geološke zahteve	45
6.3.2	Zahteve, pogojene glede na mersko tehniko, oz. geodetske zahteve	45
6.4	Rezultat rekognosciranja	47
6.5	Način stabilizacije.....	47
6.6	Vzpostavitev sistema za izvajanje meritev in obdelavo podatkov	49
7	PRAKTIČNI DEL ZASNOVE GEODINAMIČNE GPS-MREŽE LJUBLJANA.	53
7.1	Izmera štirih točk in izračun vektorjev hitrosti.....	54
7.1.1	Meritve.....	56
7.1.2	Podatki z interneta	56
7.1.3	Obdelava podatkov	57
7.2	Prikaz podatkov in rezultati obdelave meritev	61
8	ZAKLJUČEK	69
VIRI	72
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke FGG3	62
Preglednica 2:	Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke KRIM	62
Preglednica 3:	Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke PSTJ	62
Preglednica 4:	Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke GSR1	63
Preglednica 5:	Hitrosti spremembe koordinat položajev obravnavanih točk na leto	66
Preglednica 6:	Vrednosti premikov obravnavanih točk	67
Preglednica 7:	Koordinate položajev točk v ITRF2000 koordinatnem sestavu, določene za epoho 2000-01-01	67

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko FGG3.....	64
Grafikon 2:	Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko KRIM.....	64
Grafikon 3:	Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko GSR1.....	65
Grafikon 4:	Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko PSTJ.....	65

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz tirnic satelitov na obzorju za območje Slovenije – iz GPS Survey Trimble	46
Slika 2: Skica stabilizacije čepa v skalo.....	48
Slika 3: Položaj merjenih točk na širšem območju ljubljanske kotline	55
Slika 4: Položaj uporabljenih IGS točk.....	55
Slika 5: Vektorji v kampaniji leta 1995.....	61
Slika 6: Vektorji v kampaniji leta 2001.....	61
Slika 7: Vektorji v kampaniji leta 2005.....	61
Slika 8: Vektorji hitrosti premikov točk mreže.....	66

KAZALO DIAGRAMOV

Diagram 1: Potek obdelave podatkov s programskim paketom Bernese GPS Software, verzija 5.0	58
---	----

KAZALO PRILOG

Priloga A: Topografija in fotografije točke T1 – Vnanje Gorice.....	ii
Priloga B: Topografija in fotografije točke T2 – Notranje Gorice	iv
Priloga C: Topografija in fotografije točke T3 – Dobčenica	vi
Priloga D: Topografija in fotografije točke T4 – Krim (obstoječa).....	viii
Priloga E: Topografija in fotografije točke T5 – Zgornja Slivnica.....	x
Priloga F: Topografija in fotografije točke T6 – Mali Konec	xii
Priloga G: Topografija in fotografije točke T7 – Jordanov kot	xiv
Priloga H: Topografija in fotografije točke T8 – Koreno nad Horjulom 1	xvi
Priloga I: Topografija in fotografije točke T9 – Koreno nad Horjulom 2.....	xviii
Priloga J: Topografija in fotografije točke T10 – Gumnišče	xx
Priloga K: Topografija in fotografije točke T11 – Babna Gorica	xxii
Priloga L: Topografija in fotografije točke T12 – sv. Ana nad Podpečjo	xxiv
Priloga M: Topografija in fotografije točke T13 – Goričica.....	xxvi
Priloga N: Topografija in fotografije točke T14 – Buven.....	xxviii
Priloga O: Topografija in fotografije točke T15 – Gorica (pri Mengšu)	xxx
Priloga P: Topografija in fotografije točke T16 – grad Smlednik.....	xxxii
Priloga Q: Topografija in fotografije točke T17 – Šmarna gora.....	xxxiv
Priloga R: Topografija in fotografije točke T18 – Toško Čelo.....	xxxvi
Priloga S: Pregledna karta vseh izbranih lokacij za nove točke vključno z obstoječimi ..	xxxix
Priloga T: Zapisnik GPS-meritev na točki Krim – KRIM.....	xli
Priloga U: Zapisnik GPS-meritev na točki Postojna – PSTJ	xliii
Priloga V: Zapisnik GPS-meritev na točki steber na FGG št. 3 – FGG3.....	xliv

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BIH	Bureau International de L'Heure
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
CTE	Conventional Terrestrial Equator
CTP	Conventional Terrestrial Pole
DOF	Digitalni Orto-Foto
ECEF	Earth Centered Earth Fixed
EPN	EUREF Permanent Network
ETRS	European Terrestrial Reference System
EUREF	EUropean REference Frame
GLONASS	GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
IERS	International Earth Rotation Service
IGS	International GNSS System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
LLR	Luna Laser Ranging
NAVSTAR GPS	NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
PIVO-2003 GPS	Periadriatic fault - Istria Velocity Observations Global Positioning System
PPP	Precise Point Positioning
PRN	PseudoRandom Noise
RINEX	Receiver INdependent EXchange format
SIGNAL	SI Geodezija NAVigacija Lokacija
SLR	Satelite Laser Ranging
UTC	Universal Time Coordinated
VLBI	Very long Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System

1 UVOD

Slovenija je dežela z relativno močnimi potresi. Seizmološke raziskave imajo zato že bogato tradicijo. Ljubljana je dobila svojo prvo seizmološko postajo po potresu leta 1895, ki je bila takrat prva na Balkanu. Približno sto let kasneje – leta 1976 – se je takratni Geodetski zavod v Ljubljani prvič vključil v raziskave geodinamičnega dogajanja z geodetskimi meritvami. Prvi raziskavi premikov na območju Karavank v sodelovanju z Avstrijo so sledile nove raziskave na osnovi geodetskih meritev na drugih območjih Slovenije.

Območja za opazovanje tektonskih deformacij so bila določena na osnovi objektivnih kriterijev, določenih po podatkih o geološkem dogajanju, zbranih v zadnjih nekaj sto letih.

Iz seizmološke karte Slovenije ter karte potresne nevarnosti se vidi, da so najzanimivejša področja za opazovanje predvsem Ljubljanska kotlina, pas področja doline Idrijce, ki se nadaljuje proti severozahodnemu delu Slovenije, ter območje jugovzhodne Slovenije.

Na območju Ljubljane so bile v 80-ih letih prejšnjega stoletja vzpostavljene tri lokalne geodinamične mreže (Dobravica, Gameljne in Ljubljana), od katerih je bila le ena vzpostavljena tako, da je bil na njej mogoč prehod iz klasičnih geodetskih meritev na GPS tehnologijo. Ena lokalna mreža na južnem delu Ljubljane pa ni dovolj za dobro oceno geodinamičnega dogajanja na širšem območju Ljubljane. Zato se je kmalu zatem pojavila potreba po novi geodinamični mreži na širšem območju Ljubljane, ki bi za oceno geodinamičnega dogajanja omogočala uporabo tehnologije GPS.

Tudi v ta namen so na območju Slovenije že potekale nekatere mednarodne raziskave geotektonskih gibanj. Skupni cilj vseh je bil raziskati območje stika Afriške in Evrazijske plošče, na katerem se nahaja tudi Slovenija, njihovi izsledki pa so uporabni pri snovanju nove geodinamične mreže, predvsem pri izbiri lokacij za nove točke.

Eden takšnih raziskovalnih projektov je bil tudi projekt PIVO-2003 GPS (*Periadriatic fault - Istria Velocity Observations Global Positioning System*). Cilj projekta je bil določitev deformacij vzdolž potencialno aktivnih tektonskih struktur v Sloveniji ter opredelitev gibanja Jadranske mikroplošče. S kakovostnimi GPS-meritvami so bili pridobljeni vektorji hitrosti

sprememb položajev 36 geodinamičnih točk v Sloveniji in na Hrvaškem. V izboru točk, ki so bile vključene v projekt PIVO-2003 GPS, so bile namenoma izključene točke na južnem delu območja Ljubljane in na območju Krškega. Namen je bil omenjeni območji zaradi njune pomembnosti obravnavati ločeno in bolj temeljito. Praktični del te diplomske naloge je eden izmed korakov k celoviti obravnavi širšega ljubljanskega območja z namenom vzpostavitve kakovostne geodinamične GPS-mreže na območju Ljubljane.

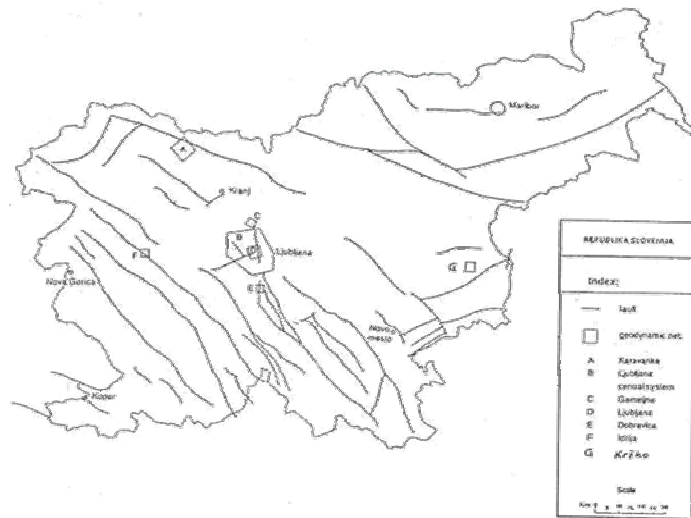
Takšna geodinamična mreža pa ni sama sebi namen. Na območju Slovenije bomo v bližnji prihodnosti prešli na nov koordinatni sistem. Danes je težnja in potreba po zagotavljanju točnega položaja odvisna tudi od kakovosti koordinatnega sistema, v katerem položaj predstavljamo. Tako so danes v uporabi 4D koordinatni sistemi, s katerimi opisujemo položaje v odvisnosti od časa. Kakovostne, časovno stabilne koordinatne sisteme pa lahko definiramo le na območjih, kjer dobro poznamo geodinamično dogajanje. Tako bi bili rezultati meritev in dognanja v takšni geodinamični mreži uporabni predvsem za definiranje kinematičnih modelov gibanja zemeljske skorje na našem območju, ki bi jih vključevali v definicije koordinatnih sistemov. Takšna geodinamična mreža bi služila predvsem geodetom za boljše definiranje koordinatnih sistemov v prihodnje, pridobljeni rezultati pa bi bili uporabni tudi za druge stroke, kot je geologija ipd.

2 ZGODOVINA GEODETSKEGA SPREMLJANJA GEODINAMIČNEGA DOGAJANJA PRI NAS

Slovenija leži na ozemlju, ki je z geološkega vidika zelo pestro. Tukaj se stikajo večje geološke enote. Največji del Slovenije tako zavzema alpsko območje – na severu Vzhodne Alpe, ki so s Periadriatskim prelomom ločene od Južnih Alp. Na jugu Alpe mejijo z Dinaridi, ki zavzemajo južni del ozemlja s kraškim površjem. Severovzhodni del Slovenije pa pripada območju Panonskega bazena.

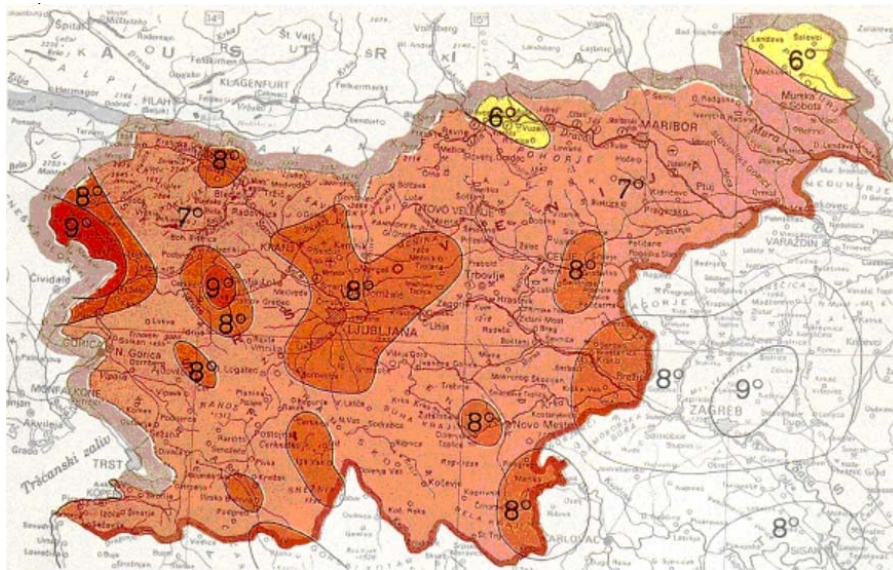
Tektonska zgradba slovenskega ozemlja je dokaj komplicirana, nastala pa je v alpidskem geotektonskem ciklusu. Narivna zgradba, ki je nastala koncem alpidskega ciklusa, je bila deformirana z mlajšo zmično tektoniko. Omenjeni tektonski premiki so povzročili dvigovanje posameznih delov ozemlja in relativno pogrezanje drugih. Zmične deformacije so se dogajale v pliocenu in kvartarju in so aktivne še danes. (Vodopivec F., et al. 1994)

Ker je Slovenija dežela z relativno močnimi potresi imajo seizmološke raziskave bogato tradicijo. Prvi raziskavi premikov na območju Karavank v sodelovanju z Avstrijo so sledile nove raziskave na osnovi geodetskih meritev na drugih območjih Slovenije. Območja za opazovanje tektonskih deformacij so bila določena na osnovi objektivnih kriterijev, določenih po podatkih o geološkem dogajanju, zbranih v zadnjih nekaj sto letih. Izbirale so se najbolj seizmogene cone, ki so zanimive tudi zaradi človekovih dejavnosti na konkretnem območju. Od parametrov, ki so bili upoštevani pri določevanju območij, sta bila najpomembnejša verjetnost potresnih stopenj (velikost intenzitete po MSK) ter potresna nevarnost. Parametri so bili za območje Slovenije določeni na osnovi podatkov o potresih od leta 792.



Najznačilnejši tektonski prelomi ter položaj geodetskih mikromrež
 (Vodopivec F., et al. 1999, str. 3)

Iz seizmološke karte Slovenije ter karte potresne nevarnosti se vidi, da so najzanimivejša področja za opazovanje predvsem Ljubljanska kotlina, pas področja doline Idrije, ki se nadaljuje proti severozahodnemu delu Slovenije, ter območje jugovzhodne Slovenije. Tako je bilo na območju Slovenije od leta 1977 do danes stabiliziranih 5 mikromrež, namenjenih ugotavljanju položajnih premikov ob tektonskih prelomnicah: Karavanke, Ljubljanski centralni sistem, Idrija, Ljubljanske mikromreže, Krško in Premogovnik Velenje (Vodopivec F., et al. 1999).



Seizmološka karta Slovenije s 500-letno povratno dobo potresov (Ribarič V., 1984)

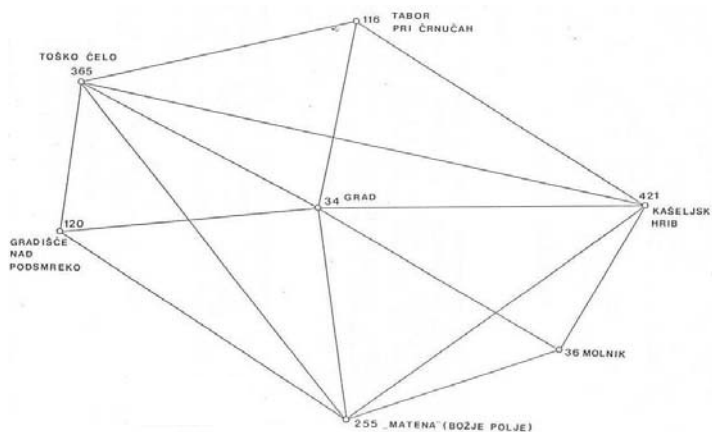
Omenjene geodinamične mreže so bile tako postavljene na območja, ki so najzanimivejša za opazovanje tektonskih deformacij. Hkrati so to območja, ki so bodisi gosto poseljena, bodisi tam stoji pomembna infrastruktura.

Geodetsko mrežo predstavlja niz v naravi stabiliziranih geodetskih točk, ki so postavljene pod točno določenimi pogoji, njihov položaj pa je pogojen tudi z lego preloma in obliko reliefa na obravnavanem območju. V takšni mreži se na osnovi geodetskih merskih tehnik določa položaj točk v nekem časovnem trenutku. Iz primerjave položajev točk, določenih v različnih časovnih trenutkih, je mogoče ugotoviti spremembo položaja točke ter hitrost premika.

Od vseh stabiliziranih mrež za opazovanje tektonskih premikov na območju Slovenije se bomo osredotočili na mreže, razvite na območju Ljubljane.¹

2.1 Ljubljanski centralni sistem

Ljubljanski centralni sistem obsega sedem predhodno stabiliziranih geodetskih točk državne geodetske mreže. Točke so izbrane tako, da povezujejo obrobja Ljubljanske kotline. Ljubljanski centralni sistem je primer geodetske mreže, ki ni bila razvita z namenom ugotavljanja stabilnosti tal. Mreža je okvir triangulacijske mreže mesta Ljubljana, razvite v letih 1955/56. Šest obodnih točk skupaj s centralno točko tvori šestkotni centralni sistem. Dolžine stranic v mreži so od 5 do 10km.



Oblika mreže Ljubljanski centralni sistem (Vodopivec F., et al. 1995, str. 11)

¹ Podatke o geodinamičnih mrežah smo povzeli po končnem poročilu Projekta stalnega določanja tektonskih premikov vzdolž Orliškega preloma, Vodopivec F., et al. 1999.

V mreži so bile opravljene prvotne meritve leta 1955, nato pa še v letih 1976 in 1985. Za ugotavljanje stabilnosti področja prvotne meritve niso bile vključene. Iz obeh drugih meritev so bili po uspešni izravnavi dobljeni definitivni položaji točk v dveh epohah. Ti položaji so bili uporabljeni v Helmertovi transformaciji kot metodi za odkrivanje položajnih sprememb. Izbrane so bile različne kombinacije danih količin, saj na osnovi znanih geotektonskih informacij in zaradi majhne količine merskih podatkov točk ni mogoče grupirati tako, da bi le-te predstavljale relativno nepomičen sistem in bi bile hkrati dovolj oddaljene druga od druge. Za obravnavano območje obstaja premalo geotektonskih informacij, prav tako pa je tudi merskih informacij premalo za določitev oz. odločitev o skupini stabilnih točk in skupini premičnih točk. (Vodopivec F., et al. 1995)

2.2 Ljubljanske mikromreže

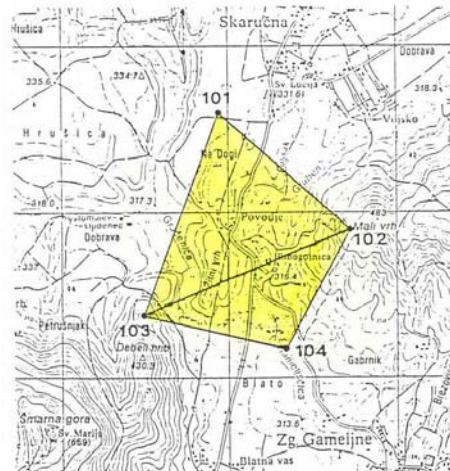
Analiza potresnih območij v Sloveniji je pokazala, da je najbolj seizmogeno cona prav gorenjsko-ljubljanska cona. Na podlagi seizmoloških raziskav so v preteklosti predlagali, da bi se geodetske meritve opravile vzdolž Ljubljanskega preloma. Idealno bi bilo merjenje vzdolž celotnega preloma, vendar zaradi številnih objektivnih razlogov to ni bilo izvedljivo. Zato so bile projektirane tri mreže, katerih oblika je bil geodetski četverkotnik. Te mreže so bile: Gameljne, Dobravica, Ljubljana.



Ljubljanski prelomi z
opazovalnimi mrežami
(Vodopivec F., et al. 1995, str. 21)

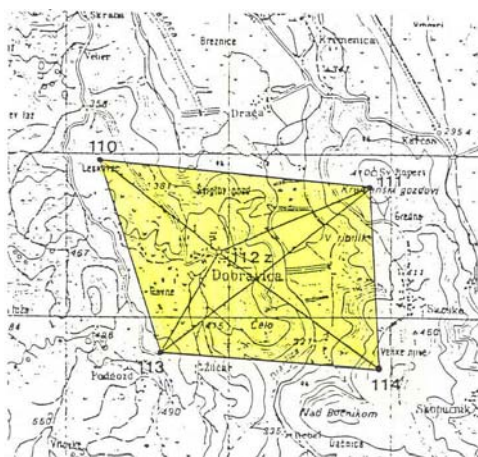
Mreža Gameljne

Mreža leži najseverneje in ima obliko četrkotnika z eno diagonalo. Po dve točki ležita na obeh straneh preloma.



Oblika mreže Gameljne

(Vodopivec F., et al. 1995, str. 23)

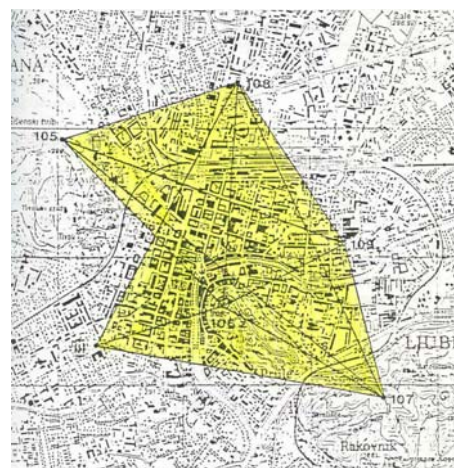


Oblika mreže Dobravica

(Vodopivec F., et al. 1995, str. 24)

Mreža Ljubljana

Na območju mesta Ljubljane (centralna mreža) so pogoji za postavitve geodinamične mreže zelo neugodni. Mrežo tvori pet točk, in ima glede na pogoje optimalno obliko.



Oblika mreže Ljubljana

(Vodopivec F., et al. 1995, str. 25)

Opisane mikromreže ob ljubljanskem prelomu so lokalne mreže. Zasnovane so kot triangulacijsko – trilateracijske mreže, v katerih so merjeni vsi koti in vse dolžine. Na vsaj dveh stojiščih posamezne mreže so bile projektirane orientacijske vizure na vidne trajno stabilizirane triangulacijske točke, oddaljene 4 do 6 kilometrov. Njihov namen je zlasti lažje odkrivanje in kontrola rotacijskih premikov stranic mreže.

Namen mrež je bil odkriti in določiti tektonske horizontalne premike vzdolž prelomov na opazovanih območjih. Za določevanje višin so uporabljali trigonometrični nivelman, kar je zadostovalo za zahtevano nekaj centimetrsko natančnost določitve višin. (Vodopivec F., et al. 1999)

2.3 Dosedanje raziskave in razvoj ljubljanskih mikromrež²

Leta 1977 zastavljena raziskovalna naloga GZ SRS in Oddelka za geodezijo FAGG je bila vključno s prvimi meritvami mikromrež ob ljubljanskem prelomu končana leta 1979. Rezultati izmere so bili dovolj dobri in so potrdili pravilnost izbire metode izmere in inštrumentarija.

Za časovno bazo meritev so določili štiri leta. Po tem času so sklepali, da bo velikost tektonskih premikov na mrežah že zaznavna s pomočjo sodobnih geodetskih instrumentov. Po ponovitvi meritev leta 1983 so dobili prve razlike položajev merskih točk in pričakovane končne rezultate – hitrosti premikov oziroma določitve velikosti premikov na časovno periodo. Končna ugotovitev je bila, da je potrebno geodetska merjenja razširiti ter povečati natančnost, saj so bile v večini primerov spremembe položajev točk manjše od natančnosti njihove določitve. Tako je bilo onemogočeno postavljati zaključke o premikih.

Leta 1987 in 1988 je bila izvršena tretja serija meritev, v letih 1991 ter 1992 pa četrta v enakem obsegu kot prvi dve. Peta meritev je bila izvedena v mrežah Gameljne in Dobravica leta 1995, v mreži Ljubljana pa leto kasneje, leta 1996.

V vseh treh mrežah so merjene vse dolžine, zenitne razdalje, ter opazovane smeri. Mreže so dodatno orientirane na oddaljene geodetske točke. Definitivne vrednosti koordinat so

² Vodopivec F., et al. 1999

določene z izravnavo vsake mreže posebej. Uporabljena je bila izravnavo z minimalnim številom danih količin, ki definirajo koordinatni sistem. Opravljena je bila tudi primerjava rezultatov posameznih serij meritev.

Kot rečeno, so v preteklosti določali položaje točk predvsem klasično, t.j. na osnovi merjenja kotov, dolžin, zenitnih razdalj in višinskih razlik. Klasične meritve so ponujale natančne meritve, a so bile dolgotrajne, drage in so zahtevale zelo izkušenega operaterja, močno pa so bile odvisne tudi od vremenskih pogojev. V zadnjem času se namesto klasičnih meritev uporabljajo satelitske tehnike določevanja položajev in koordinatnih razlik, predvsem GPS. Z metodo GPS želen rezultat dobimo v relativno krajšem času, z manjšimi stroški meritev, vremenskih omejitev skorajda ni, operaterju za instrumentom pa je s pomočjo napredne tehnologije prihranjenega veliko dela.

Tudi Ljubljanske mikromreže so se od vzpostavitve malo spremenile. Mreža v Gameljnah je bila zaradi uničene točke in zaradi ponovno aktivnega izkoriščanja kamnoloma v bližini druge točke za geodinamično opazovanje neuporabna in zato opuščena.

Mreža Ljubljana je med vsemi tremi najzahtevnejša, saj ima več slabih lastnosti. Poleg tega da je največja in ima slabo obliko zaradi razpotegnjenosti, ima dve nestabilni točki na visokih zgradbah, vizure pa potekajo nad urbanim območjem. Tudi točke v mreži so se spreminjale, saj je bila točka na vrhu Kliničnega centra zaradi težje dostopnosti zamenjana s točko na vrhu zgradbe Petrol. Otežujoče dejstvo je tudi to, da vse točke v mreži niso primerne za opazovanje z GPS-metodo izmere.

Od vseh treh ljubljanskih mikromrež je le mreža v Dobravici doživela transformacijo na novo metodo izmere in je še danes v uporabi. Od leta 1991 naprej je v mreži Dobravica potekal prehod s terestričnih na GPS-meritve. Takrat se je izvedla prva testna izmera. Druga GPS-izmera se je izvedla skupaj s terestrično leta 1995, kar je omogočalo preračun na nov GPS-datum, s čimer je bila ohranjena kontinuiteta izmere. V nadaljnjih izmerah, od vključno 1999 leta naprej, se v tej mreži uporablja le še GPS-metoda izmere.

2.4 Zaključki o ljubljanskih mikromrežah

Pri preteklih meritvah sta metoda dela in uporabljeni inštrumentarij določala natančnost, ki pa je bila odvisna tudi od drugih, objektivnih okoliščin, ki lahko nastopajo v trenutku meritve. Tako je bil kljub najnatančnejšemu uporabljenemu inštrumentariju pri meritvah še vedno prisoten človeški faktor v obliki omejene natančnosti opazovalca in faktor vpliva okolja v trenutku meritev, na kar pa lahko vplivamo le pogojno z izbiro časa meritev. Z namenom, da bi eliminirali vpliv operaterjeve omejene natančnosti, so v šesti meritvi leta 1999 v mreži Dobravica dokončno vpeljali GPS-metodo meritve, mreža Ljubljana pa je bila izmerjena kot čista trilateracijska mreža.

V obeh mikromrežah dosednji rezultati le deloma dovoljujejo sklenitev jasnih zaključkov o premikih na ljubljanski prelomnici, pogovarjati pa se je mogoče o dogajanjih na njej v okviru interdisciplinarnih raziskav. Doba meritev na ljubljanskem prelomu je prekratka za pridobitev hitrosti tektonskih premikov, zato bo za jasnejše rezultate treba počakati še na naslednje serije meritev, pri katerih bi se še dalo povečati natančnost določitve dejavnikov, ki vplivajo na merske rezultate. (Vodopivec F., et al. 1999)

2.5 Mednarodne raziskave

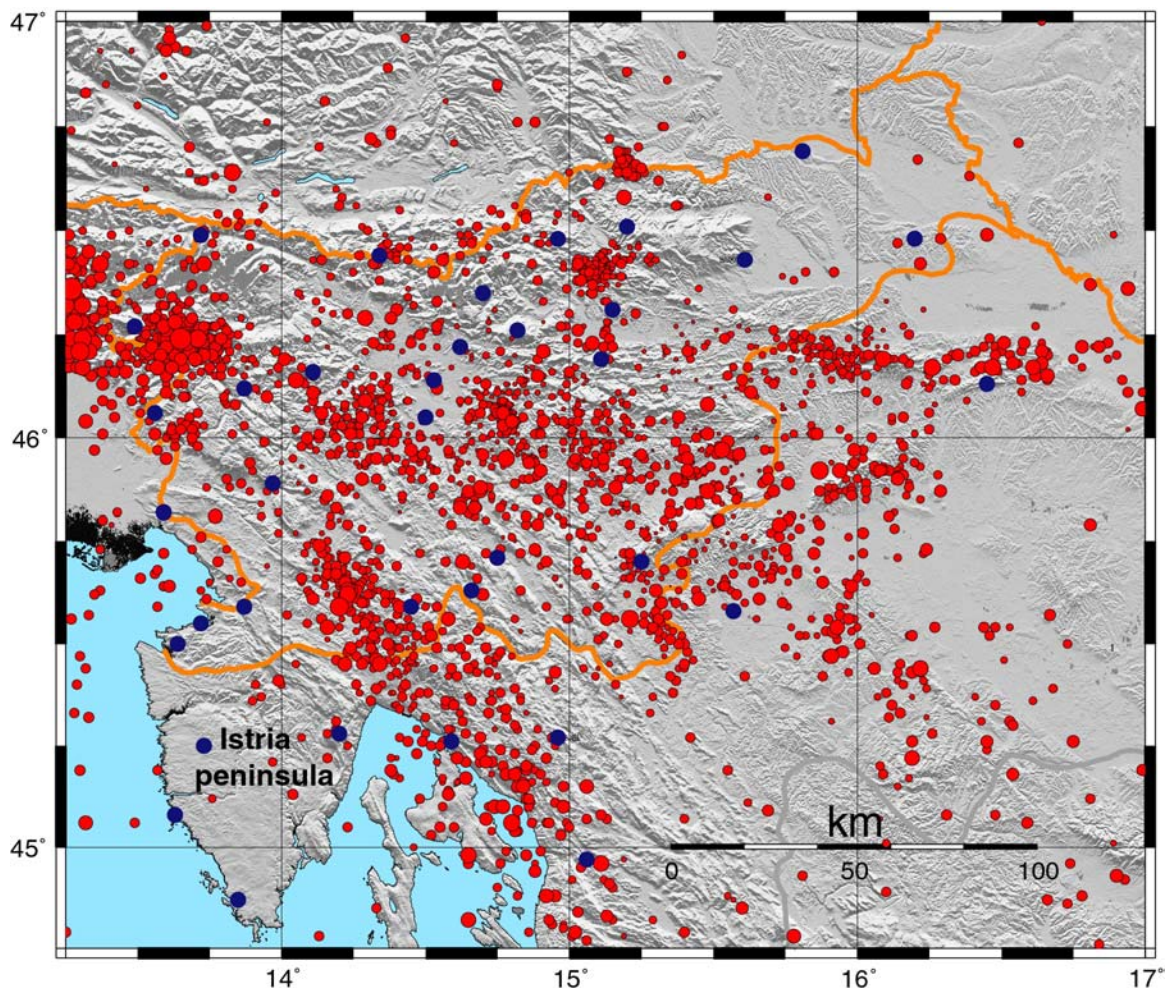
V preteklosti so na območju Slovenije potekale tudi nekatere mednarodne raziskave geotektonskih gibanj. Skupni cilj vseh je bil raziskati območje stika Afriške in Evrazijske plošče, na katerem se nahaja tudi Slovenija. Na tem območju so te raziskave potrdile obstoj Jadranske mikroplošče. Natančno ovrednotenje njenega gibanja še vedno ostaja velik izziv v raziskovanju geodinamike na alpskem območju.

Eden takšnih raziskovalnih projektov je bil tudi projekt PIVO-2003 (*Periadriatic fault - Istria Velocity Observations*) GPS (*Global Positioning System*). Cilj projekta je bil določitev deformacij vzdolž potencialno aktivnih tektonskih struktur v Sloveniji ter opredelitev gibanja Jadranske mikroplošče. S kakovostnimi GPS-meritvami so bili pridobljeni vektorji hitrosti sprememb položajev 36 geodinamičnih točk v Sloveniji in na Hrvaškem. Z analizo točk v Istri, ki predstavlja edini izdanek severnega dela Jadranske mikroplošče, so bile pridobljene prve neposredno izmerjene hitrosti premikov na tem delu mikroplošče.

V študiji je uporabljenih 27 točk, razporejenih po ozemlju celotne Slovenije, in 9 točk na ozemlju Hrvaške in hrvaške Istre. Izbira točk je bila omejena na tiste, na katerih so bila v preteklosti vsaj v okviru ene GPS-izmere že opravljena GPS-opazovanja, upoštevana pa je bila tudi kakovost stabilizacije oziroma geološka stabilnost točk. V septembru in oktobru 2003 je bila tako izvedena ponovna GPS-izmera 24 točk. Uporabljena je bila statična metoda GPS-izmere v trajanju 72 ur na posamezni točki, z izjemo dveh točk na Hrvaškem, kjer so bila opazovanja opravljena v trajanju 48 ur. Preostale točke so bile v preteklem obdobju (2001–2003) vsaj enkrat ponovno merjene v okviru drugih kampanj, zato tam meritve niso bile ponovljene. Vseh 36 točk, uporabljenih v tej študiji, je bilo tako vključenih v najmanj dve izmeri. Maksimalni časovni razpon med izmerami je večinoma znašal 8–9 let, najmanj (za eno točko) pa 5 let. V analizo so bili vključeni tudi podatki 17 permanentnih GPS-postaj, lociranih v Padski nižini in v sosednjih državah.

Rezultati teh meritev so bili obdelani neodvisno na dva načina, in sicer prvič na Rosenstiel School of Marine Geology and Geophysics na Univerzi v Miamiju, ZDA, s programom GIPSY-OASIS II (verzija 2.5), z uporabo natančnih JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) efemerid GPS-satelitov, drugič pa na Katedri za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani s programskim paketom Bernese GPS Software (verzija 4.2), z uporabo IGS (*International GNSS Service*) natančnih efemerid GPS-satelitov. (Projekt PIVO-2003 GPS)

Rezultat obdelave GPS-opazovanj so bile v obeh primerih koordinate točk ter vektorji hitrosti sprememb položajev točk v ITRF2000 referenčnem sestavu. Ocenjena natančnost določitve hitrosti sprememb položajev točk znaša v obeh primerih $\pm(1-2)$ mm/leto.



Prikaz točk uporabljenih v projektu PIVO-2003 GPS (modre pike) in epicentrov potresov (rdeče pike, radij pike odvisen od jakosti potresa).

(Projekt PIVO-2003 GPS)

V izboru točk, ki so bile vključene v projekt PIVO-2003 GPS, so bile namenoma izključene točke na južnem delu območja Ljubljane in na območju Krškega. Namen je bil omenjeni območji zaradi njune pomembnosti obravnavati ločeno in bolj temeljito. Praktični del te diplomske naloge je eden izmed korakov k celoviti obravnavi širšega ljubljanskega območja z namenom vzpostavitve kvalitetne geodinamične GPS-mreže na območju Ljubljane. (Projekt PIVO-2003 GPS)

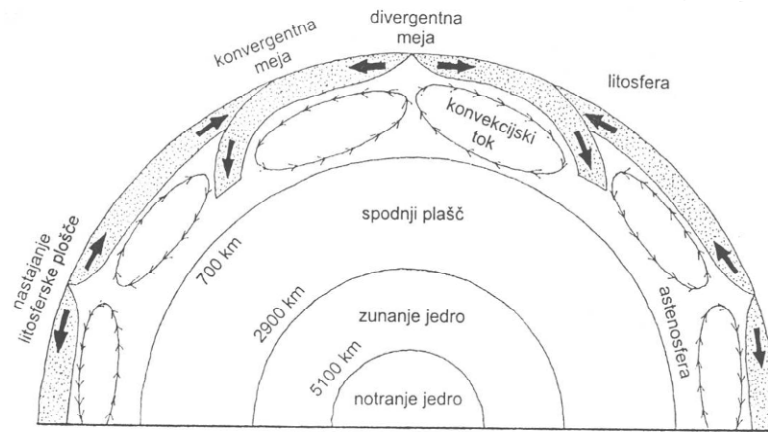
3 TEKTONIKA IN GEODETSKE NALOGE PRI GEODINAMKI

Zemlja je kozmično telo in se po zakonih vesolja ohlaja. To se odraža v njenem neprestanem spreminjanju. Posledica tega ohlajanja so naravni pojavi, kot so izbruhi vulkanov, tektonski premiki, erozija ipd. Poleg vulkanskih izbruhov so potresi toliko bolj nevarni, ker se zgodijo na območjih, kjer jih ne pričakujemo. Ti naravni pojavi pa se žal odvijajo tudi tam, kjer je sodobni človek naravo spremenil in si jo uredil po svojih željah. Na takšnih urbanih območjih pomenijo ti naravni pojavi nevarnost. Zavedajoč se, da teh naravnih procesov ne moremo preprečiti, predvsem v razvitih državah veliko truda usmerjajo v iskanje primernih načinov, s katerimi bi lahko le-te napovedali. (Vodopivec F., et al. 1994)

Potresi ali seizmična aktivnost Zemlje so posledica premikanja zemeljske skorje. Ta je sestavljena iz večjih delov, imenovanih litosferske plošče, in manjših enot mikroplošč. Tektonika litosferskih plošč obravnava dele Zemljine skorje kot nestabilne mase z aktivnimi procesi širjenja in kovanja. Nekaj predpostavk, na katerih ta teorija sloni, povzemamo spodaj³:

- litosfera, ki sestoji iz različnih litosferskih plošč, plava na plastični astenosferi – prehodna plast med spodnjim Zemljinim plaščem in litosfero, kjer potekajo konvekcijski tokovi;
- tektonska aktivnost je opazna na robovih litosferskih plošč, istočasno na teh delih poteka tudi živahnejša seizmična in vulkanska aktivnost;
- premikanja litosferskih plošč so troje vrst:
 - širjenje oceanske skorje se odvija v akrecijskih conah na oceanskih grebenih, proces imenujemo nastajanje nove oceanske skorje ali akrecija;
 - stiskanje plošč, kjer pride do kolizije oziroma do trka in stiskanja ali do subdukcije, oziroma do spodrivanja;
 - horizontalni premiki med litosferskima ploščama ali strižni premiki;
- kolizijske cone, kjer se stikajo litosferske plošče, so podvržene močnemu lomljenju in gubanju;
- ravnotežje zaradi raztezanja v srednjeoceanskih grebenih se odraža v kolizijskih in subdukcijskih conah na robovih litosferskih plošč.

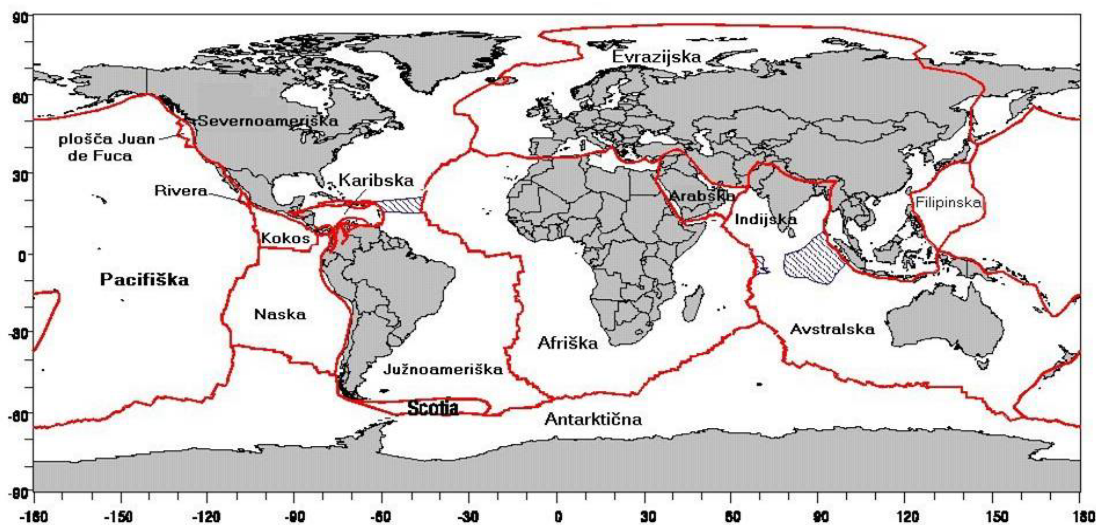
³Pavšič J. 2002. str. 30.



Prerez Zemlje z geosferami in konvekcijskimi tokovi v astenosferi, ki povzročajo premikanje litosferskih plošč (Pavšič, 2002, stran 31, slika 9)

Da bi se izognili conam, kjer je tektonika aktivnejša, moramo biti sposobni odkrivati tektonske prelome in spremljati njihovo aktivnost. Določitev vidnih prelomnic je enostavna. S sodobnimi geofizikalnimi meritvami lahko dokaj točno določimo tudi tiste prelome, ki so prekriti z mladimi sedimenti (seizmika, geološke raziskave). Vendar tako vertikalne kot horizontalne premike vzdolž prelomov v relativno kratkem časovnem obdobju (nekaj 10 let) določamo predvsem z geodetskimi meritvami.

Kot rečeno, se seizmična aktivnost pojavlja predvsem ob tektonskih prelomih kot posledica stikanja litosferskih plošč oziroma mikroplošč.



Globalna razdelitev litosferskih plošč

(Stopar B., et al. Geodezija - Osnovni geodetski sistem, str. 9)

Danes poznamo kakšnih dvajset večjih tektonskih plošč, ki sestavljajo mozaiku podobno strukturo. Del tega mozaika je podan z obrisi današnjih celin, katerih medsebojne razdalje se neprestano spreminjajo. Poleg velikih tektonskih plošč so znanstveniki ugotovili obstoj manjših enot – mikroplošč. Slovensko ozemlje se nahaja v coni kolizije Evrazijske plošče in Jadranske mikroplošče. Ozemlje Slovenije tako sekajo številni prelomi, ki so še danes aktivni. To se da opaziti ob pogostih potresih, ki zaznamujejo naše življenje.

Geodetsko določevanje in odkrivanje tektonskih premikov sloni na kontinuiranem določevanju položajev točk na območjih, kjer je že dokazan prelom, oziroma tam, kjer na podlagi seizmične aktivnosti sklepamo, da bi lahko bil.

Tektonsko enoto, katere premike želimo določiti, simbolizira ena ali več geodetskih točk. Te točke morajo biti izbrane na osnovi tektonskih opredelitev problema, ki ga običajno predstavlja grafični prikaz – geološka ali tektonska karta. Lokacije točk za opazovanje premikov, ki so izbrane na osnovi omenjenih kart, tvorijo geodetsko mrežo, ki terja tako zasnovo opazovanj, da bodo rezultati podajali odgovor na zastavljena vprašanja. (Vodopivec F., et al. 1994)

V preteklosti je bila oblika mreže in bližina točk toliko bolj pomembna zaradi omejitev merskega instrumentarija, ki zaradi zahtevane visoke natančnosti položajev ni dovoljeval večjih razsežnosti. Danes se v te namene uporablja predvsem določevanje položajev točk s satelitskimi tehnikami, kjer pa oblika mreže in razdalje med točkami ne igrajo pomembnejše vloge. (Stopar B. 2002/2003a)

3.1 Interpretacija rezultatov

Kot že rečeno, geodetsko določevanje tektonskih premikov temelji na določevanju koordinat položajev izbranih točk v nekem časovnem zaporedju. Premik se smatra kot sprememba položaja neke sestavine prostora, v našem primeru geodinamične točke. Izraža se v spremembi koordinat identične točke, ki je rezultat ponovljene meritve, predstavljenih v istem koordinatnem sestavu. Premiki točk mreže so osnova za izdelavo modela hitrosti premikov zemeljske skorje. Iz smeri in velikosti premikov točk lahko sklepamo na posledice takšnega

premikanja. Pomembno pri tem je, da smo prej poskrbeli za eliminacijo vseh lokalnih vplivov, ki bi lahko vplivali na spremembo koordinat točke in niso povezani s tektonskim premikanjem (izbira primerne lokacije in načina stabilizacije točk). S tem si zmanjšamo možnost za napačno interpretacijo dobljenih rezultatov.

Na primer: Pri opazovanju preloma smo ugotovili, da se točke na nasprotnih straneh preloma premikajo vzdolžno glede na prelom, vendar v nasprotni smeri. Iz tega se da sklepati na naraščajočo napetost ob tem strižnem prelomu in ob nadaljnjem kopičenju napetosti tudi na večjo možnost sprostitve energije – potresa.

Iz dosedanjih raziskav (PIVO-2003 GPS, mreža Velenje) je znano, da so ti premiki velikostnega reda nekaj milimetrov na leto, zato je zelo pomembna natančnost določitve teh premikov. Da pa lahko z večjo gotovostjo sklepamo na možne posledice geodinamičnega delovanja, je poleg natančnosti izvajanih meritev pomembna tudi njihova kontinuiteta z določeno časovno bazo. Pri tem je pomembna vzpostavitev sistema za izvajanje takšnih opazovanj. Za posamezno območje in glede na njegovo geološko strukturo se določi položaje in število točk za opazovanje geodinamike. Glede na modelirano in pričakovano hitrost premikanja tektonske plošče ter na pričakovane premike določimo časovno bazo oziroma časovni razmik med zaporednimi opazovanji (meritvami) položajev geodinamičnih točk.

S sodobnimi geodetskimi tehnikami smo danes sposobni relativno hitro in poceni določiti natančen položaj (na 1mm natančno), kar pa je bistvenega pomena pri določevanju premikov ob tektonskih prelomnicah. Te tehnike so satelitske tehnike, s pomočjo katerih preko znanih položajev umetnih satelitov določamo položaj točkam na Zemlji.

4 KOORDINATNI SISTEMI POMEMBNI ZA GNSS

Položaj neke točke v prostoru najlažje opišemo s koordinatami v okviru izbranega koordinatnega sestava. Položaj pa ni absolutna količina, ampak predstavlja pojem, ki definira lego točke relativno glede na druge točke. S časom se tudi neprestano spreminja, saj Zemlja sama ni statično telo v vesolju in je kot taka podvržena številnim vplivom. Točke koordinatnega sestava so namenjene materializaciji teoretično zasnovanega koordinatnega sistema. Ta pa je spet predstavljen preko določenega števila fizičnih točk, katerih koordinate oz. položaj poznamo. Definiran mora biti tako dobro, da je možna nedvoumna definicija gibanja poljubne točke v njem.⁴

Pojav GNSS (*Global Navigation Satellite System*) tehnologije je v praktičnem delu geodezije prinesel veliko več kot samo novo mersko tehniko. Posegel je tudi na področje poznavanja koordinatnih sistemov. To je posledica tega, da so ti sistemi globalni. V primeru GPS-sistema je razlog v razvoju koordinatnih sistemov tudi dejstvo, da se različne tehnike merjenja nanašajo na različne koordinatne sisteme. Rezultati pa morajo biti med seboj primerljivi, zato je potrebno dobro poznavanje različnih koordinatnih sistemov, če hočemo rezultate pravilno primerjati in tolmačiti. Na primer, kadar s sistemom GPS določamo položaj v realnem času, so nam osnova s satelita oddane efemeride ('broadcast efemeride', kjer so položaji satelita podani v WGS84 k.s.), kar ima za posledico določevanje položaja merjenih točk v WGS84 koordinatnem sistemu. Pri določevanju položaja z naknadno obdelavo podatkov z uporabo preciznih efemerid pa so tako dobljeni položaji podani v aktualnem ITRSy koordinatnem sistemu, tako kot precizne efemeride. Koordinate točk, določene s tehnologijo GPS v Sloveniji, so določene v ETRS89 koordinatnem sistemu, veljavnem za epoho 1989.0.

Iz zgornjega primera je lepo razvidno, da je za pravilno uporabo GNSS sistemov, oziroma v našem primeru sistema GPS, nujno potrebno dobro poznavanje vseh uporabljenih koordinatnih sistemov ter transformacije med njimi.

⁴ Stopar B, et al. Geodezija - Osnovni geodetski sistem. <http://www.izs.si/izpiti/gradivo/> (4.11.2005). str. 4-9

4.1 WGS84 koordinatni sistem

WGS84 je matični terestrični koordinatni sistem GPS-sistema. Definirala in vzpostavila ga je ameriška agencija NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*). Definiran je kot globalni koordinatni sistem in kot globalni geodetski datum. Realizacija WGS84 koordinatnega sistema temelji na 1500 geodetskih observatorijih, razporejenih po celotni Zemlji. Sistem je vzpostavljen na osnovi GPS, SLR (*Satellite Laser Ranging*), LLR (*Lunar Laser Ranging*) in VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) opazovanj.

WGS84 koordinatni sistem je pravokotni kartezični ECEF (*Earth Centered, Earth Fixed*) – je geocentričen, na zemljo pritrjen koordinatni sistem. Izhodišče je v težišču Zemlje, sestavljajo pa ga:

- primarna z os usmerjena proti CTP (*Conventional Terrestrial Pole*) – dogovorjeni terestrični pol;
- sekundarna x os usmerjena proti presečišču ravnine začetnega WGS84 meridiana, kot ga določa BIH (*Bureau International de L'Heure*) in ravnine CTE (*Conventional Terrestrial Equator*) – dogovorjeni terestrični ekvator;
- terciarna y os usmerjena tako, da je sistem desnosučen.

Povezava WGS84 koordinatnega sistema z drugimi globalnimi in lokalnimi koordinatnimi sistemi je bila določena empirično preko 7-parametrične prostorske transformacije koordinat identičnih točk. Vendar te povezave zaradi spremembe tehnologije in globalnega geodinamičnega delovanja ne delujejo trajno in se zato s časom redefinirajo. Tudi koordinatni sistem WGS84 je bil deležen izboljšav. Zadnja posodobitev se je vršila leta 1997 in ima ime WGS84(G873), kjer predstavlja 873 število GPS tedna za epoho 0^h UTC 29. septembra 1996. Takrat je bil koordinatni sistem na voljo uporabnikom preko oddanih efemerid. Oznaka G pove, da v določitev sistema niso bili uporabljeni Dopplerjevi podatki.

WGS84 koordinatni sistem je pomemben zato, ker so v njem določeni položaji točk, kadar položaj določamo v realnem času preko s satelita oddanih efemerid.

WGS84 geodetski datum pa je definiran kot geocentrični rotacijski elipsoid. Podan je s štirimi parametri, in sicer:

- velika polos $a = 6378137,000$ m;
- sploščenost elipsoida $f = 1/298,257223563$;
- kotna hitrost rotacije $\omega = 7292115 \cdot 10^{-11}$ rad/s ;
- produkt gravitacijske konstante in mase elipsoida $G \cdot M = 3986005 \cdot 10^8$ m³/s² .

4.2 ITRS koordinatni sistemi

Povezava med GPS in ITRS (*International Terrestrial Reference System*) je postala pomembna z ustanovitvijo Mednarodne GPS-službe IGS (*International GNSS Service*), ki sodeluje s službo IERS (*International Earth Rotation Service*). IERS je med drugim tudi odgovorna za definicije ITRS koordinatnih sistemov ter njihovih realizacij ITRF. Od začetka leta 1992 se v IGS uporabljajo ITRF koordinate permanentnih GPS postaj za potrebe določanja preciznih efemerid tirnic GPS-satelitov. Položaji teh satelitov so v okviru preciznih efemerid podani v ITRF koordinatnih sestavih. Do sedaj je bilo realiziranih kar precej ITRF sestavov: ITRF89, -90, -91, -92, -93, -94, -96, -97 ter 2000. Slednji med njimi je trenutno aktualen, v pripravi pa je že ITRF2004 različica koordinatnega sestava.

ITRF_y je verzija koordinatnega sestava, kot ga definira izbrana množica točk za praktično realizacijo ITRS koordinatnega sistema v določenem trenutku. Koordinatni sistem ITRS_y temelji na poznavanju modeliranja premikov tektonskih plošč (novejše realizacije temeljijo na modelu NNR-NUVEL-1A), post-ledenodobnih dvigovanj zemeljskega površja, na poznavanju plimovanja čvrste zemljine skorje, realizacija pa je izvedena tudi ob upoštevanju drugih modeliranih in poznanih vrednosti popravkov velikostnega reda milimeter. Sistem ITRS je realiziran na osnovi SLR, LLR, VLBI in GPS opazovanj na točkah, razporejenih po celotni Zemlji, za referenčni datum pa ima definiran referenčni elipsoid GRS80.

ITRS koordinatni sistemi so definirani z naslednjimi parametri:

- izhodišče je v težišču Zemlje – geocentričen, pravokotni, kartezični koordinatni sistem;
- primarna z os je usmerjena proti IERS severnemu polu;

- sekundarna x os je definirana s presečiščem začetnega meridiana IERS in IERS ekvatorja;
- terciarna y os dopolnjuje koordinatni sistem v desnosučnega.

Transformacija med različnimi realizacijami ITRSy sistemov je podana preko 7-parametrične prostorske transformacije, predstavimo pa jo z naslednjim izrazom:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Transformacija se po navadi izvaja iz aktualno veljavnega ITRSy sistema v želeni ITRSy sistem. V izrazu (1) je torej položaj točke $[X, Y, Z]^T$ podan v aktualnem ITRFy sestavu, položaj točke $[X_s, Y_s, Z_s]^T$ pa v poljubnem koordinatnem ITRFy sestavu, v katerem želimo predstaviti položaj točke. Elementi T_i , R_i in D predstavljajo sedem parametrov prostorske transformacije, in sicer 3 translacije, 3 rotacije in merilo.

ITRF								
Solution	T_1	T_2	T_3	D	R_1	R_2	R_3	Epoch
	(cm)	(cm)	(cm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)	
ITRF97	0.67	0.61	-1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	0.67	0.61	-1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	0.67	0.61	-1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	1.27	0.65	-2.09	1.95	-0.39	0.80	-1.14	1988.0
rates	-0.29	-0.02	-0.06	0.01	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	1.47	1.35	-1.39	0.75	0.0	0.0	-0.18	1988.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	2.67	2.75	-1.99	2.15	0.0	0.0	-0.18	1988.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	2.47	2.35	-3.59	2.45	0.0	0.0	-0.18	1988.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	2.97	4.75	-7.39	5.85	0.0	0.0	-0.18	1988.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	2.47	1.15	-9.79	8.95	0.1	0.0	-0.18	1988.0
rates	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	

Parametri transformacije iz trenutno veljavnega ITRF2000 v ostale realizacije

(<http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn32/>)

V zgornji tabeli so translacije podane v centimetrih, merilo v "ppb" (10^{-9}) in rotacije v 'mas' (mili arc per second).

4.3 ETRS89 koordinatni sistem

ETRS89 (*European Terrestrial Reference System*) koordinatni sistem uvrščamo med regionalne koordinatne sisteme. Sprejele so ga države članice EUREF na začetku leta 1989 in je rezultat prve evropske GPS-kampanje. Definiran je bil tako, da je v času 1989,0 sovpadal z ITRS89 koordinatnim sistemom, pritrjen pa je na stabilni del Evrazijske litosferske plošče. Realizacija tega sistema je tako ETRF89 koordinatni sestav, definiran na osnovi ITRF89 koordinat evropskih SLR in VLBI postaj, vključenih v ITRF za čas 1989,0. Po dogovoru naj bi ETRS89 sovpadal z WGS84 koordinatnim sistemom v mejah 1 metra. Za večino praktičnih geodetskih nalog koordinat naj ne bi obravnavali kot funkcijo časa, to pomeni, da je ETRS89 časovno stabilen.

Prva praktična realizacija dovolj goste mreže točk v okviru ETRF89 koordinatnega sestava je bila izvedena v okviru EUREF GPS 89 izmere. Po tej izmeri leta 1989 se nadaljuje zgoščevanje mreže točk za realizacijo ETRS sistema z EUREF izmerami v posameznih državah. Med te se je Slovenija vključila s tremi EUREF GPS izmerami, in sicer:

- CROSLO 94 – izmera 8 točk astrogeodetske mreže (AGM), od katerih je 5 točk uradnih EUREF točk,
- SLO 95 – izmera 47 točk, od tega 35 točk AGM, 2 bazni točki, 1 točka II. reda, 8 geodetskih točk in mareograf v Kopru;
- CROREF 96 – izmera 11 točk.

Tako so bile z GPS-opazovanji opazovane vse točke astrogeodetske mreže Slovenije. Koordinate opazovanih točk so podane v ETRF89 koordinatnem sestavu. ETRF89 predstavlja čvrsto, trdno in natančno ogrodje za številne geodetske, geodinamične, geofizikalne in druge potrebe. Omogoča tudi poenostavitev koordinat po vsej Evropi za potrebe katastra, prostorskih informacijskih sistemov ter navigacije. ETRF89 bo v bodoče uporabljen tudi kot horizontalni del državnega koordinatnega sistema v Sloveniji.

Realizacija ETRF89 koordinatnega sestava je možna preko vzpostavljenih ITRFyy sestavov, kjer se tako preračunan sestav označi z ETRFyy. Do sedaj so izdelani že vsi ETRFyy sestavi, ki ustrezajo posameznim ITRFyy sestavom.

4.4 Transformacije med globalnimi koordinatnimi sistemi

Zvezo med zgoraj omenjenimi koordinatnimi sistemi vzpostavljamo s 7-parametrično podobnostno transformacijo. Pri tem predpostavljamo, da se relativni odnosi med točkami ohranjajo oz. imajo spremembe zanemarljiv pomen. Pri transformacijah moramo danes upoštevati tudi dejstvo, da koordinate položajev točk zaradi raznoraznih deformacij niso konstante v času. To pomeni, da moramo položaj točke obravnavati v 4D prostoru. Enako velja za transformacije.

Tako transformacije med koordinatnimi sistemi izvedemo v dveh korakih. Najprej izvedemo transformacijo med koordinatnima sistemoma za trenutek opazovanj, nato pa s translacijo upoštevamo premik točke v obdobju od začetne epohe do trenutka opazovanj. Parametri transformacije so tako podani v odvisnosti od časa, kjer imajo premiki enoto cm/leto, zasuki pa 0,001"/leto.

4.4.1 Prehod med ITRFyy v ETRF89

Ta prehod je pomemben za povezavo položajev točk, podanih v ETRS89 koordinatnem sistemu, s položaji satelitov, dobljenih v okviru natančnih tirnic satelitov, ki se nanašajo na aktualni ITRSy_{yy} koordinatni sistem. Tak primer je v uporabi predvsem pri statični GPS-metodi meritev z naknadno obdelavo, kjer se v izračunu uporabljajo precizne efemeride. Prehod iz ITRFyy v ETRF89 je podan na naslednji način:

$$\vec{X}_{ETRF89}(t) = \vec{X}_{ITRFyy}(t) + t_{yy} + R_{yy} \cdot \vec{X}_{ITRFyy}(t) \cdot (t - 1989,0) \quad (2)$$

kjer so:

$\vec{X}_{ETRF89}(t)$	položaj točke v ETRF89
$\vec{X}_{ITRFyy}(t)$	položaj točke v ITRFyy
t_{yy}	vektor translacije izhodišča ETRS89 glede na izhodišče ITRFyy (podan v tabelah z enoto spremembe na leto)
R_{yy}	rotacijska matrika med sestavoma (rotacije okrog posamezne osi so podane v tabelah z enoto spremembe na leto)
t	časovni trenutek izmere

Z zgornjo transformacijo dobimo položaj točke v ETRF89 koordinatnem sestavu za trenutek meritve. Za definiranje položaja točke v ETRF89 sestavu za ničelno epoho 1989,0 pa moramo dobljen položaj translirati na sledeč način:

$$X_{ETRF89}(1989,0) = X_{ETRF89}(t) + v_{ETRF89} \cdot (1989,0 - t) \quad (3)$$

kjer v_{ETRF89} predstavlja premik točke zaradi časovne spremembe.

4.4.2 Prehod med ETRS89 in WGS84

To transformacijo se predvsem uporablja pri GPS-meritvah, kjer položaj točk določamo v realnem času. Pri tem se soočimo s položaji satelitov, dobljenih preko s satelita oddanih efemerid, ki so podani v WGS84 koordinatnem sistemu. Da lahko operiramo s takšnimi podatki, moramo koordinate točk, podane v ETRF89, pretvoriti v WGS84.

Pretvorbo opravimo s 7-parametrično prostorsko transformacijo:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

kjer so t_i elementi premika izhodišča WGS84 glede na ETRS89 izhodišče, R_i elementi rotacije okoli posamezne osi, D faktor merila, $[X, Y, Z]^T$ ETRS89 koordinate točk, $[X_s, Y_s, Z_s]^T$ pa iskane WGS84 koordinate točk.

Pravilno transformiranje rezultatov izmere na koncu in danih koordinat pred obdelavo meritev je ključnega pomena za pridobitev pravih rezultatov ter posledično za pravilno interpretacijo le-teh. V Sloveniji se večkrat soočamo z dejstvom, da se transformacije ne uporabljajo, izgovore za to pa se išče v slabi realizaciji državnega koordinatnega sistema. To bo vsekakor imelo negativne posledice pri vzpostavitvi novega državnega koordinatnega sistema.

4.5 Predstavitev rezultatov

Po obdelavi opravljenih meritev in po vseh transformacijah, ki smo jih morali opraviti, dobimo koordinate položajev točk v enem izmed globalnih koordinatnih sestavov. Koordinate položajev točk se nanašajo na izhodišče koordinatnega sistema oziroma na težišče Zemlje. Vendar nam pri meritvah geodinamičnih premikov ter ugotavljanju njihovih posledic na nekem lokalnem območju takšna predstavitev rezultatov ne pomaga kaj dosti, ker iz sprememb položajev točk dobljeni premiki v veliki meri predstavljajo premik večje tektonske enote (litosferske plošče), na kateri se točke nahajajo. Da bi lahko te rezultate uporabili za potrebe raziskovanja geodinamičnih premikov na nekem lokalnem območju, potrebujemo lokalne premike znotraj večje tektonske gmote. To pomeni da, če želimo ugotavljati vpliv premikov točk zaradi geodinamike na nekem manjšem območju, moramo te vrednosti premikov in iz njih dobljenih hitrosti premikov transformirati glede na tektonsko ploščo, na kateri se točka nahaja.

Globalno geodinamično premikanje tektonskih plošč je predstavljeno s kinematičnimi modeli premikov tektonskih plošč. Ti modeli opisujejo hitrosti premikov točk na Zemljini površini zaradi premikov posameznih tektonskih plošč. Določitev teh gibanj je možna na dva načina, in sicer s satelitskimi tehnikami, kot so VLBI, LLS ali GPS, oziroma preko geofizikalnih metod s poznavanjem razmikanja oceanskega dna, azimutom smeri drsenja plošč pri potresih ali napak transformacij.

Poznamo več kinematičnih modelov, med katerimi nekateri predstavljajo relativne premike, drugi pa absolutne; na primer Nuvel-1, NNR-Nuvel-1, Nuvel-1A, NNR-Nuvel-1A, APKIM. Premiki plošč so predstavljeni z geocentričnimi rotacijskimi vektorji, katerih numerične vrednosti so tabelirane. Različne realizacije ITRS koordinatnih sistemov temeljijo na uporabi takšnih geofizikalnih kinematičnih modelov. Tako definiciji ITRF91 in ITRF92 koordinatnih sestavov temeljita na geofizikalnem modelu NNR-Nuvel-1, sestavi ITRF93, ITRF94, ITRF96 in ITRF2000 pa na absolutnem modelu NNR-Nuvel-1A.

Ko poznamo modelirane hitrosti premikov tektonskih plošč, lahko iz globalnih hitrosti premikov opazovanih točk, dobljenih iz naših meritev, odstranimo vpliv zaradi premikanja

celotne tektonske plošče, in tako dobimo velikost premikov relativno glede na tektonsko ploščo, na kateri se točka nahaja. Za boljšo oceno dinamike tektonske enote v praksi pogosto preko merjenih točk določamo navidezni pol rotacije tektonske enote (Eulerjev pol).

5 GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SISTEMI – GNSS

Začetki globalnih navigacijskih sistemov segajo v obdobje začetka razvoja vesoljske tehnologije in razvoja umetnih satelitov za raznovrstne potrebe. Glavni namen je zadovoljiti potrebe po navigaciji na področjih, kjer klasični postopki niso dovolj, ter hkrati omogočiti uporabo sistema najširšemu krogu uporabnikov. Globalni navigacijski satelitski sistem (GNSS) je skupni termin za vse načine navigacije, ki za svoje delovanje uporabljajo umetne zemljine satelite in jih je mogoče uporabljati globalno – na celotnem zemljinem območju.

Določevanje položaja s satelitskim navigacijskim sistemom temelji na prostorskem preseku merjenih razdalj med danimi in neznanimi točkami, podobno kot pri trilateraciji. Pomembno pri tem je, da so tu dane točke sateliti, katerim se položaj s časom spreminja. Za določitev položaja moramo razdalje meriti od večih satelitov hkrati.

Satelitski navigacijski sistem je za razliko od elektrooptičnih razdaljemerov, ki so definirani kot aktivni sistem, pasiven. Taki sistemi imajo fizično ločen oddajnik in sprejemnik oddanega signala. V primeru satelitskih navigacijskih sistemov je oddajnik satelit v zemljini orbiti, sprejemnik pa je lociran na zemeljskem površju ali v njeni bližini. Sistem je tako podoben sistemu za oddajo in sprejem radijskega in televizijskega signala in je tako na voljo vsem, ki imajo sprejemnik.

Trenutno sta na razpolago dva aktivna satelitska navigacijska sistema, NAVSTAR GPS ("*NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*") in GLONASS ("*GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*"). Prvi je v lasti ZDA, drugi pa Rusije. Oba sistema sta bila prvotno vzpostavljena za vojaške potrebe. Kasneje se je pokazala tudi civilna uporabnost, pri kateri pa se je GPS bolje uveljavil. Leta 1998 so začeli program priprave evropskega satelitskega sistema Galileo, ki pa še ni zgrajen. Galileo bo prvi satelitski sistem, ki bo namenjen samo civilnim uporabnikom in ne bo vzpostavljen s strani vojske.

5.1 NAVSTAR GPS⁵

Sistem je razvilo ameriško obrambno ministrstvo (US Department of Defense – DoD) in je v osnovi namenjen vojaški uporabi. Z razvojem tehnologije, dostopne vsakemu posamezniku, se je pokazala tudi možnost uporabe za civilne namene, predvsem v navigaciji ter tam, kjer je pomembna točna in natančna določitev položaja in časa.

Sistem sestavljajo trije segmenti:

- vesoljski segment,
- kontrolni segment,
- uporabniški segment.

Vesoljski segment predstavlja sistem 24 navigacijskih satelitov, ki krožijo okrog Zemlje na višini približno 20.200km in neprekinjeno oddajajo signal. Razporejeni so na šestih tirnicah, ki so glede na zemeljski ekvator nagnjene za 55°. Tirnice satelitov so razporejene tako, da je v vsakem trenutku kjerkoli na Zemlji možno sprejemati signal z vsaj štirih satelitov hkrati.

Kontrolni segment sestavljajo kontrolne postaje, ki so enakomerno razporejene vzdolž ekvatorja, in glavna kontrolna postaja v Falcon Air Force Base v bližini mesta Colorado Springs v ZDA. Naloga in namen kontrolnega segmenta je ugotavljanje stanja sistema in posameznih GPS-satelitov na osnovi sprejetih signalov GPS-satelitov, določanje parametrov tirnic GPS-satelitov – t.i. "broadcast efemeride", ugotavljanje urnega teka satelitovih ur in periodično obnavljanje navigacijskega sporočila. Glavna kontrolna postaja lahko komunicira s sateliti in odstranjuje morebitne težave.

Uporabniški segment predstavljajo vsi uporabniki sistema GPS. Uporabniki sprejemajo in shranjujejo GPS-signal, na podlagi katerega nato določajo svoj položaj, hitrost in podatek o točnem času. Civilni uporabniki imajo omejen dostop do GPS-signala in tako razpolagajo le z delom celotne vsebine satelitskega signala. Popoln dostop do GPS-signala imajo le vojaški uporabniki.

⁵ Stopar B., Pavlovčič P., 2001. GPS v geodetski praksi – študijsko gradivo. FGG, Ljubljana

V zadnjem času se je uveljavil tudi t.i. uporabniški kontrolni segment. Sestavljajo ga omrežja stalno delujočih GPS-postaj – permanentne postaje. Zaradi potrebe po višji točnosti različnih rezultatov GPS-izmer, ki je na civilnem področju uporabe večja kot na vojaškem, so se razvila različna civilna in znanstvena združenja in posamezne službe v okviru le-teh. Najpomembnejša med njimi je Mednarodna GPS služba za geodinamiko v okviru IGS (*International GNSS Service*, prej *International GPS Service*). Njen del je tudi omrežje stalno delujočih GPS-postaj, s katerimi IGS služba upravlja.

Naloge IGS so:

- materializacija referenčnega terestričnega sistema za potrebe različnih nalog in raziskav,
- priprava natančnih efemerid GPS-satelitov z mnogo višjo natančnostjo, kot je na razpolago v okviru s satelita oddanih efemerid,
- usmerjanje aktivnosti uporabe GPS za potrebe geoznanosti,
- študije globalnega geodinamičnega dogajanja,
- študije vremenskih in klimatskih sprememb na osnovi raziskav stanja zemljine atmosfere,
- študija spremljanja nivoja svetovnih morij,
- priprava priporočil za enotno izvajanje različnih izmer – standardizacija.

Natančne efemeride in parametri orientacije se določajo na podlagi podatkov, dobljenih preko visoko kvalitetnih sprejemnikov GPS-mreže s 381 IGS točkami⁶ (18. oktober 2005), ki so razporejene po celem svetu. Podatki teh točk se obdelajo v desetih analitičnih centrih, kjer se efemeride preračunavajo ločeno za vsak center.ocene natančnosti efemerid se dobijo preko primerjav rezultatov vseh desetih centrov skupaj. Služba IGS zagotavlja naslednje produkte:

- GPS in GLONASS efemeride,
- parametre zemljine rotacije,
- podatke o položajih in hitrostih gibanja IGS točk,
- popravke ur satelitov in ur sprejemnikov na točkah,
- oceno troposfere,
- oceno ionosfere.

⁶ <http://igsceb.jpl.nasa.gov/> (18.10.2005)

Poleg IGS je bilo v minulem desetletju zgrajenih tudi nekaj kontinentalnih in lokalnih omrežij permanentnih GPS-postaj s podobnimi nalogami. Kontinentalna omrežja imajo podobne naloge kot IGS, pri lokalnih pa je poudarek predvsem na nalogah definiranja državnih koordinatnih sistemov ter na reševanju nalog s področja geodezije.

Med kontinentalna omrežja permanentnih GPS-postaj sodi tudi EPN (*EUREF Permanent Network*). Deluje na čisto prostovoljni bazi in je znanstveno vzpostavljena mreža permanentnih GPS-postaj. Tedenske rešitve določitve položajev točk v mreži uporablja EUREF (*EUropean REference Frame*) za realizacijo ETRS (*EUropean Terrestrial Reference System*) sistema. V okviru EPN je danes 174 permanentno delujočih GPS-postaj⁷ (16. oktober 2005). Z njimi upravljajo državne službe, univerze ali privatniki. Center EPN je v Bruslju, drugje po Evropi pa se nahajajo še regionalni centri.

V Sloveniji se vzpostavlja lokalno omrežje 15 permanentnih GPS-postaj SIGNAL (*SI-Geodezija-NAVigacija-Lokacija*). Je del temeljne državne geoinformacijske infrastrukture, namenjene geodeziji in navigaciji. Za centralni nadzor njegovega delovanja skrbi Služba za GPS. Trenutno ga tvorijo štiri delujoče permanentne postaje, in sicer v Ljubljani, Mariboru, Črnomlju in Bovcu, ki so komunikacijsko povezane s centrom Službe za GPS v Ljubljani. Za geodete predstavlja omrežje tudi enega prvih korakov pri postopnem prehodu na nov državni koordinatni sistem, ki bo temeljil na ETRS89. (www.gu.gov.si)



Slika GPS permanentne mreže SIGNAL v končni fazi
(www.gu-signal.si)

⁷ <http://www.epncb.oma.be/> (16.10.2005)

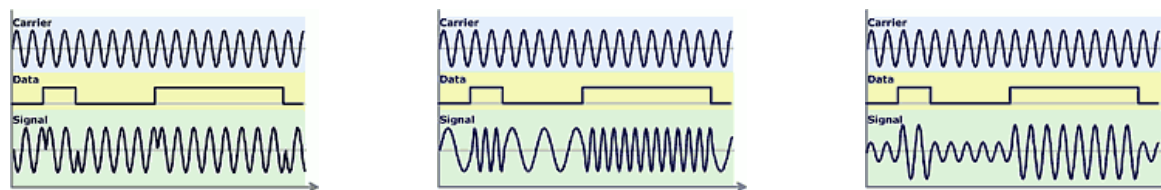
Ljubljanska permanentna postaja GSR-1 je vključena tudi v Evropsko omrežje permanentnih postaj EPN. Podatki s te postaje se redno pošiljajo v podatkovni center EUREF, ki deluje v okviru Mednarodne zveze za geodezijo (*International Association of Geodesy - IAG*). Ena od nalog EUREF je vzdrževanje novega evropskega koordinatnega sistema ETRS89, ki ga bo, kot že rečeno, na svojem ozemlju vzpostavila tudi Slovenija.

Omrežje stalnih GPS-postaj je za uporabnika pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja lastnega sprejemnika glede na izbrano permanentno postajo. Tako določen položaj je neprimerljivo natančnejši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Za navezavo GPS-meritev na fizično realizacijo koordinatnega sistema rabimo dva GPS-sprejemnika. Omrežje torej omogoča racionalnejšo izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik; za izmero rabi le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema permanentna postaja stalno delujočega omrežja GPS.

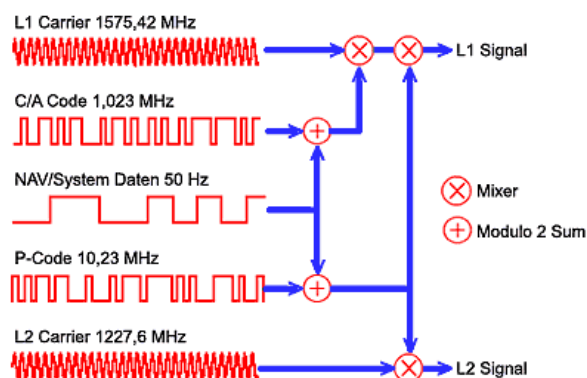
5.1.1 GPS signal

GPS-signal generirajo oscilatorji na posameznem satelitu. Osnovna frekvenca generiranega signala je $f_0 = 10,23$ MHz in je zelo stabilna. Ta je zaradi relativističnih vplivov zmanjšana za 0,005Hz. Vsak GPS-satelit oddaja unikaten GPS-signal. Ta je nanesen na dve nosilni elektromagnetni valovanji s frekvencama $L1 = 1575,42$ MHz in $L2 = 1227,60$ MHz. $L1$ in $L2$ sta dobljeni iz osnovne frekvence tako, da prehajata skozi oblake, se odbijata od objektov in vode, zaustavi pa ju vsaka fizična ovira, ki je ovira za svetlobo.

Valovanji sta desnosučno krožno polarizirani in kot taki ne vsebujeta nobenih podatkov. Vsi sateliti oddajajo nosilni valovanji enakih frekvenc, ki pa se na mestu sprejemnika nekoliko razlikujejo zaradi posledic Dopplerjevega efekta. V GPS sta na nosilni valovanji z modulacijo nanesen dve skupini kod – merske kode in navigacijsko sporočilo.



Prikaz fazne, frekvenčne in amplitudne modulacije nosilnega valovanja
(<http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm>)



Prikaz sestave valovanj L1 in L2

(<http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm>)

Merski kodi sta dve. Zaradi njunega navidezno naključnega zglada jih imenujemo tudi PRN kodi (*Pseudo Random Noise*). Prva koda je C/A koda (*Coarse Acquisition* – je prosto dostopna) in je nanesena samo na L1 nosilno valovanje. Druga koda je P koda (*Precise* – dostop je omejen) in je nanesena tako na L1 kot na L2 nosilno valovanje. Enačbi valovanj sta tako dani z:

$$\begin{aligned} L_1 &= a_1 \cdot P(t) \cdot D(t) \cdot \cos(f_1 \cdot t) + a_1 \cdot C/A(t) \cdot D(t) \cdot \sin(f_1 \cdot t) \\ L_2 &= a_2 \cdot P(t) \cdot D(t) \cdot \cos(f_2 \cdot t) \end{aligned} \quad (5)$$

kjer je nosilno valovanje dano z $L_i = \cos(f_i \cdot t)$ ter trenutne vrednosti kode P, C/A in navigacijskega sporočila dane z P(t), C/A(t) in D(t).

P koda je natančnejša in namenjena le vojaški uporabi, koda C/A pa je prosto dostopna in nanesena le na eno valovanje, kar zmanjšuje natančnost dobljenega položaja. Omenjena lastnost predstavlja omejitev uporabe sistema za civilne uporabnike. V preteklosti je bila prisotna še SA motnja (*Selective Availability*), ki je povzročala namerno izkrivljanje podatka o položaju (napačne efemeride) in urah satelita. Odpravljena je bila 01. 05. 2000.

C/A kodo sestavlja 1023 elementov kode, ki se ponovijo vsako milisekundo. Frekvenca C/A kode je tako $f_{C/A} = 1,023$ MHz. Dolžina elementa kode znaša 293m, se pravi da dolžina celotne kode znaša okoli 300km. P koda ima kompleksnejšo zaporedje binarne kode, ki se

ponovi vsakih 266,4 dni. Generirana je z osnovno frekvenco f_0 . Dolžina elementa kode je 29,3m, valovna dolžina celotne kode pa je okoli 30km. Valovna dolžina elementa P kode je za faktor 10 manjša od valovne dolžine C/A kode, kar omogoča 10-krat natančnejše določevanje položajev.

Navigacijsko sporočilo je del vsebine GPS-signalu. Za določitev položaja v realnem času potrebujemo podatke, ki jih uporabniku posreduje sistem v okviru navigacijskega sporočila.

Na tak način pridobimo:

- vnaprej določene efemeride GPS-satelitov (broadcast efemeride),
- vnaprej določene modele urinega teka satelitovih ur,
- splošne informacije o stanju sistema,
- GPS-model ionosfere.

Navigacijsko sporočilo je modulirano v binarni obliki podobno kot merske kode. Ponovi se na vsakih 20 ponovitev C/A kode, kar odgovarja hitrosti 50bit/s. Celotno navigacijsko sporočilo je na voljo uporabniku, če spremlja GPS-signal vsaj 30 sekund.

Tako je signal oddan s satelita kombinacija nosilnih valovanj, merskih kod in navigacijskega sporočila. Za razliko od elektrooptičnega razdaljemerstva, kjer signal potuje v obe smeri, GPS-signal potuje le v smeri od satelita k sprejemniku.

5.1.2 Tipi opazovanj v GPS

Osnova za določevanje položaja s pomočjo satelitskega navigacijskega sistema so merjene razdalje med satelitom in sprejemnikom. Če vzamemo, da je hitrost svetlobe konstantna, moramo za določitev razdalje poznati čas potovanja signala od satelita do sprejemnika. Razdalja torej temelji na časovni razliki, ki predstavlja časovni interval med trenutkom oddaje signala s satelita in trenutkom sprejema signala v GPS-sprejemniku. Ta časovni interval lahko pridobimo na podlagi kode, ki je modulirana na nosilni valovanji, ali pa na podlagi opazovanja faze nosilnega valovanja. Prvi primer imenujemo kodna in drugi fazna opazovanja.

5.1.2.1 Kodna opazovanja

Izmera časovnega zamika temelji na avtokorelaciji s satelita oddane in s sprejemnikom sprejete kode ter kode generirane v GPS-sprejemniku. Ti dve valovanji sta v idealnem primeru identični in zamaknjeni za čas potovanja signala. Tako določen časovni interval, pomnožen s svetlobno hitrostjo, predstavlja izmerjeno razdaljo med satelitom in sprejemnikom. Opazovanje bi z enačbo predstavili na sledeč način:

$$P_k^p(t) = \rho_k^p(t) + (dt^p - dt_k) \cdot c + I_k^p + T_k^p + \varepsilon_k \quad (6)$$

kjer velja:

- $P_k^p(t)$ merjena psevdorazdalja med satelitom p in sprejemnikom k , merjena v času t
- dt^p, dt_k pogreška urinega stanja satelitove in sprejemnikove ure
- c svetlobna hitrost ($c = 299792458$ m/s)
- I_k^p, T_k^p vpliv ionosfere in troposfere na merjeno psevdorazdaljo
- ε_k vpliv okolja sprejemnika na sprejet signal (multipath) in šum sprejemnika
- $\rho_k^p(t)$ geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikom, ki se določi po
- $$\rho_k^p(t) = \sqrt{(x^p - x_k)^2 + (y^p - y_k)^2 + (z^p - z_k)^2}, \text{ kjer so}$$
- x^p, y^p, z^p koordinate satelita v trenutku oddaje signala, podane v referenčnem koordinatnem sistemu
- x_k, y_k, z_k koordinate sprejemnika, ki mu določamo položaj, podan v referenčnem koordinatnem sistemu

Razvidno je, da v enačbi nastopa osem neznank, in sicer položaj sprejemnika (3), pogrešek satelitove in sprejemnikove ure, vpliv ionosfere in troposfere ter vpliv okolja na sprejemnik. Pri tem predpostavljamo, da poznamo položaj satelita v trenutku oddaje signala. Z uporabo modelov troposfere in ionosfere ter s predpostavko, da so satelitove ure zaradi stalne kontrole pravilne in da vplive okolja z načinom dela minimaliziramo, te štiri neznanke 'odstranimo'. Ostanjejo nam še štiri neznanke – položaj sprejemnika in pogrešek sprejemnikove ure. Položaj sprejemnika lahko v nekem trenutku določimo tako na osnovi poznanih štirih psevdorazdalj od sprejemnika do štirih satelitov.

Časovni zamik kode lahko sprejemnik s postopkom avtokorelacije določi z resolucijo 1 % valovne dolžine kode ali manj. Glede na valovno dolžino obeh kod, moduliranih na nosilni valovanji ($\lambda_{C/A} = 293$ m in $\lambda_P = 29,3$ m), predstavlja izmera časovnega zamika z resolucijo 1 % v dolžinskem smislu ločljivost za C/A kodo 3 m, za P kodo pa 30 cm. Določitev tako absolutnega kot relativnega položaja na osnovi kodnih opazovanj v geodeziji ne zadovoljuje potreb po natančnosti. Opazovane psevdorazdalje pa so primarnega pomena za navigacijo, kartografijo malih meril, za potrebe v GIS-tehnologiji idr. Osnova za določevanje položaja za potrebe v geodeziji so opazovanja faze nosilnih valovanj oziroma fazna opazovanja.

5.1.2.2 Fazna opazovanja

Osnova faznim opazovanjem je dejstvo, da se razdalja med satelitom in sprejemnikom nenehno spreminja, predvsem na račun premikanja satelita. Opazovanja se izvajajo na nemoduliranem nosilnem valovanju sinusne oblike obeh frekvenc, torej na L1 in L2. Pri faznih opazovanjih se meri sprememba razlike faz dveh valovanj. Prvo valovanje je valovanje oddano s satelita in drugo valovanje je generirano v sprejemniku. Ker sta valovanji po osnovi identični (valovanje satelita je popravljeno za vrednost Dopplerjevega efekta), lahko spremembo razlike faze merimo izključno zaradi spremembe razdalje med satelitom in sprejemnikom. Problem se pojavi, ker v času meritev ne poznamo števila celih valov valovanja med sprejemnikom in satelitom, saj na opisan način merimo le spremembo merjene faze zaradi spremembe položaja od trenutka sprejema signala naprej. Vendar pa se ob neprekinjenem sprejemu signala to število celih valov ne spremeni in ostane vseskozi enako. Tako se lahko v procesu obdelave podatkov to število določi.

Opazovanje je torej v grobem sestavljeno iz merjenja spremembe faze (seštete faze), kjer se merijo vrednosti faze v okviru enega vala ter iz neznanega števila celih valov:

$$\varphi_k^p(t) = \Delta\varphi_k^p \Big|_{t_0}^t + N(1) \quad (7)$$

kjer $\Delta\varphi_k^p(t)$ predstavlja sešteto fazo (vsota razlik med generirano in sprejeto fazo) in $N(1)$ neznano število celih valov. Sešteta faza ima lahko pozitiven ali negativen predznak, odvisno od tega, ali sta se sprejemnik in satelit medsebojno približala ali oddaljila v času od začetka spremljanja signala.

Sprejemnik vrednosti števila celih valov $N(1)$ med satelitom in sprejemnikom v začetnem trenutku opazovanj ne more zaznati. Ta vrednost ostane enaka, vse dokler ne pride do prekinitve signala. Po zgornji enačbi (7) lahko pridobimo iskano razdaljo le, če poznamo valovno dolžino valovanja λ , število celih valov $N(1)$, fazo sprejetega valovanja $\varphi^p(t)$ in fazo valovanja vzpostavljenega v sprejemniku $\varphi_k(t)$. V enotah valovnih dolžin lahko zapišemo enačbo faznih opazovanj tudi kot:

$$\Phi_k^p(t) = \varphi_k(t) - \varphi^p(t) + N(1) = f \cdot \frac{\rho_k^p(t)}{c} = \frac{\rho_k^p(t)}{\lambda} \quad (8)$$

kjer je $\Phi_k^p(t)$ nedoločena psevdorazdalja med satelitom p in sprejemnikom k ter $\rho_k^p(t)$ geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikom v trenutku sprejema signala.

Če zgornji izraz (8) pomnožimo z valovno dolžino λ , dobimo geometrijsko razdaljo $\rho_k^p(t)$.

V končni obliki je enačba faznih opazovanj sledeča:

$$\Phi_k^p(t) = \frac{f}{c} \rho_k^p(t) - f(dt^p - dt_k) + N_k^p(1) + I_k^p + \frac{f}{c} T_k^p + \varepsilon_k \quad (9)$$

Sprejemnik lahko določi merjeno fazo z resolucijo 1 % valovne dolžine nosilnega valovanja, kar je približno za faktor 1000 boljše od kodnih opazovanj na podlagi C/A kode ter za faktor 100 na podlagi P kode. Natančnost določitve opazovanj je tako 1–3 mm, kar v časovnem smislu odgovarja natančnosti urinega stanja 0,01 nanosekunde.

5.1.2.3 Fazne razlike

So ključnega pomena pri določanju položajev točk z geodetsko natančnostjo. Predstavljajo osnovo za določitev relativnega položaja med dvema ali več sprejemniki. To pa pomeni, da jih lahko uporabljamo samo v primeru, ko z dvema ali več GPS-sprejemniki istočasno sprejemamo signal oddan s štirih ali več satelitov.

Enojno fazno razliko imenujemo razliko opazovanih faz valovanja, oddanega z enega satelita in sprejetega istočasno z dvema sprejemnikoma. Osnovno enačbo opazovane faze lahko zapišemo tudi kot:

$$\Phi_k^p(t) - fdt^p(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_k^p(t) + N_k^p(1) - fd_k(t) \quad (10)$$

Če označimo stojišči z A in B in satelit z j, sta enačbi opazovanih faz za ti dve točki:

$$\Phi_A^j(t) - fdt^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j(1) - fd_A(t)$$

$$\Phi_B^j(t) - fdt^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j(1) - fd_B(t)$$

Razlika teh dveh enačb je enačba enojne fazne razlike:

$$\Phi_{AB}^j(t) = \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j(1) - fd_{AB}(t) \quad (11)$$

S pomočjo enojne fazne razlike vidimo, da smo se znebili pogreška urinega stanja satelitove ure.

Dvojna fazna razlika predstavlja razliko enojnih faznih razlik opazovanj valovanj, oddanih z dveh satelitov. Če označimo stojišči z A in B in satelita z j in k, sta enačbi enojnih faznih razlik enaki:

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j(1) - fd_{AB}(t)$$

$$\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k(1) - fd_{AB}(t)$$

Dvojno fazno razliko predstavlja razlika dveh enojnih faznih razlik od dveh satelitov:

$$\underline{\underline{\Phi_{AB}^{j,k}(t)}} = \Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} (\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)) + N_{AB}^k(1) - N_{AB}^j(1) = \frac{1}{\lambda} \underline{\underline{\rho_{AB}^{j,k}(t)}} + N_{AB}^{j,k}(1) \quad (12)$$

Iz zgornjega izraza (12) vidimo, da izraz za dvojno fazno razliko ne vključuje pogreška urinega stanja ure sprejemnika. Na ta način smo eliminirali še eno neznancko.

Trojna fazna razlika pa je razlika dvojnih faznih razlik, sestavljena za dva trenutka opazovanj t_1 in t_2 .

$$\Phi_{AB}^{j,k}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t_1) + N_{AB}^{j,k}(1)$$

$$\Phi_{AB}^{j,k}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t_2) + N_{AB}^{j,k}(1)$$

Trojna fazna razlika je sedaj:

$$\underline{\underline{\Phi_{AB}^{j,k}(t_2)}} = \Phi_{AB}^{j,k}(t_2) - \Phi_{AB}^{j,k}(t_1) = \frac{1}{\lambda} (\rho_{AB}^{j,k}(t_2) - \rho_{AB}^{j,k}(t_1)) = \frac{1}{\lambda} \underline{\underline{\rho_{AB}^{j,k}(t_2)}} \quad (13)$$

Kot je razvidno, v izrazu za trojno fazno razliko (13) ne nastopa neznanost število celih valov, kar je tudi prav, saj je le-to konstantno skozi celoten čas neprekinjenega sprejemanja signala.

Določanje relativnega položaja je možno na osnovi kateregakoli tipa faznih razlik, vendar se različni tipi uporabljajo v različnih fazah v postopku določanja relativnega položaja. Tako se trojne fazne razlike uporabljajo za odstranitev neznanega števila celih valov ob začetku opazovanja in za pridobitev prvega približka komponent baznega vektorja med točkama, če je položaj ene od točk A ali B znan. Dvojne fazne razlike nato uporabljamo za izračun komponent baznega vektorja.

5.1.2.4 Druge kombinacije opazovanj

Pseudorazdaljo lahko določimo na osnovi korelacije C/A ali P kode; na nosilnem valovanju L1 za C/A kodo oziroma na obeh valovanjih L1 in L2 za P kodo ali z opazovanjem faze nosilnega valovanja. Tako lahko pridobimo različna opazovanja, npr. pseudorazdalji P_{L1} , P_{L2} na osnovi opazovane kode, nedoločeni pseudorazdalji φ_{L1} , φ_{L2} na osnovi opazovane faze ter vrednost Dopplerjevega efekta D_{L1} , D_{L2} za nosilni valovanji L1 in L2.

Nekatere vplive na opazovanja lahko zmanjšamo ali odstranimo s kombinacijami istega tipa opazovanj. Vpliva ionosfere pa s kombinacijami takih opazovanj ne moremo niti odstraniti niti zmanjšati niti oceniti. Zato si pomagamo z linearnimi kombinacijami opazovanih vrednosti faze dveh različnih frekvenc.

V splošnem linearno kombinacijo faznih opazovanj φ_1 in φ_2 definiramo z zvezo

$$\varphi = n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2$$

kjer sta n_1 in n_2 poljubni števili.

Fazo φ lahko izrazimo tudi kot produkt ustreznih frekvenc f_1 ali f_2 in časa t :

$$\varphi = n_1f_1t + n_2f_2t = ft$$

iz česar lahko zapišemo izraz za frekvenco in valovno dolžino linearne kombinacije

$$f = n_1f_1 + n_2f_2, \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Linearno kombinacijo faznih opazovanj φ_{L1} in φ_{L2} za primer $n_1 = 1$ in $n_2 = 1$ imenujemo ozek pas (*narrow lane*) in označimo z L4:

$$\begin{aligned}\varphi_{L4} &= \varphi_{L1+L2} = \varphi_{L1} + \varphi_{L2} \\ \lambda_{L4} &= \lambda_{L1+L2} = 10,7 \text{ cm} \\ f_{L4} &= f_{L1+L2} = 2803,02 \text{ MHz}\end{aligned}$$

Kombinacijo za primer, ko sta $n_1 = 1$ in $n_2 = -1$, imenujemo široki pas (*wide lane*) in jo označimo z L5. Uporablja se za določitev neznanega začetnega števila celih valov za vektorje srednjih dolžin. Za krajše vektorje neznan število celih valov določamo na osnovi L1 in L2, ker valovanje L5 za to ni posebej primerno.

$$\begin{aligned}\varphi_{L5} &= \varphi_{L1-L2} = \varphi_{L1} - \varphi_{L2} \\ \lambda_{L5} &= \lambda_{L1-L2} = 86,2 \text{ cm} \\ f_{L5} &= f_{L1-L2} = 347,82 \text{ MHz}\end{aligned}$$

Linearno kombinacijo, za katero velja $n_1 = 1$ in $n_2 = -\frac{f_{L1}}{f_{L2}}$ in jo označimo z L3, velja, da je

praktično neobčutljiva za vpliv ionosfere (zato tudi ionofree). Uporabna je pri izračunu vektorjev dolžin od 10 do 50 km, kjer je določitev neznanega začetnega števila celih valov za obe frekvenci dokaj težavna.

$$\varphi_{L3} = \varphi_{L1} - \frac{f_{L1}}{f_{L2}} \varphi_{L2}$$

Poleg omenjenih linearnih kombinacij obstajajo še nekatere, ki kombinirajo kodna in fazna opazovanja. Njihov namen je predvsem izboljšati natančnost kodnih psevdorazdalj v kombinaciji s faznimi opazovanji. Ta kombinacija je predvsem pomembna pri določevanju položaja v realnem času in predhodni obdelavi nediferenciranih opazovanj.

Vsaka linearna kombinacija povzroči tudi povečanje šuma na opazovanih količinah. Če določimo šum na valovanjih L1 in L2 za enoto, potem ima šum na L3 vrednost 3, na L4 vrednost 1,4 in na L5 vrednost okoli 6.

5.1.3 Metode geodetske GPS izmere

Metode GPS-izmere delimo na tiste, ki določajo relativen položaj, in tiste, ki določajo absoluten položaj v izbranem globalnem koordinatnem sistemu. Za uporabo v geodeziji so

primerne le relativne metode določanja položaja, saj le z njimi lahko dosežemo primerno visoke natančnosti. Druga delitev metod GPS-izmere pa deli metode glede na način izvedbe meritev. Tu je mišljeno predvsem to, ali sprejemnik med meritvami miruje ali se premika. V primeru mirovanja je sprejemnik lociran ves čas izmere na istem mestu in tako določamo položaj ene točke, v primeru premikanja pa določamo položaje točk na opravljeni poti gibanja sprejemnika. Glede na to delitev ločimo le dve izmeri, in sicer statično in kinematično metodo GPS-izmere.

Za potrebe nalog, ki se tičejo obravnavane teme v tem diplomskem delu (geodinamika), pride v poštev le statična metoda izmere, torej tisti način, kjer je sprejemnik ves čas meritve lociran na eni izmed geodinamičnih točk.

Statična izmera je osnovna metoda za določevanje relativnega položaja z visoko natančnostjo. Opazovanja, ki trajajo različno dolgo, odvisno od zastavljene naloge, tipično pa od 30 do 120 minut, temeljijo na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Pri upoštevanju vseh vplivov na opazovanja, od modeliranja ionosferske refrakcije, algoritmov za določitev neznanega števila začetnih celih valov do natančnih efemerid, je s to metodo izmere brez posebnih težav mogoče pridobiti položaje točk z relativno natančnostjo do 1 mm/10 km.

Zelo primerna metoda GPS-izmere za potrebe v geodinamiki je tista statična metoda, ki vključuje tudi meritve, opravljene na izbranih permanentno delujočih GPS-točkah. Te točke v postopku določevanja položajev geodinamičnih točk služijo kot referenčne točke z znanimi položaji. Glede na omenjeno visoko položajno natančnost statične metode GPS-izmere lahko tako dobimo natančne relativne položaje geodinamičnih točk glede na referenčne točke. Boljše rezultate je možno dobiti še s posebnimi postopki obdelave GPS-meritev. Eden takšnih predhodnih postopkov izračuna relativnih položajev, kjer se kot vhodni podatek potrebuje dokaj točen a-priori položaj, je postopek PPP – *Precise Point Positioning*.

5.1.3.1 GPS Precise Point Positioning – PPP

PPP je ena od metod, s katero določamo absolutni položaj točk. Prednost absolutnega določanja položaja je v tem, da za to potrebujemo le en sprejemnik na točki, katere položaj določamo. V preteklosti z absolutnimi metodami zaradi različnih vplivov ni bilo mogoče dosežati visokih natančnosti.

Klasično določevanje položaja z enim samim sprejemnikom (angl. Point Positioning) temelji na opazovanju kodnih psevdorazdalj do vsaj štirih satelitov hkrati. Položaji satelitov so dobljeni preko navigacijskega sporočila v obliki 'broadcast efemerid', razdalje pa so določene na podlagi opazovanja C/A oziroma P kode. Tako pridobljeni položaji točk niso določeni z dovolj visoko natančnostjo in niso primerni za uporabo v geodeziji.

Natančnost določevanja absolutnega položaja je v tem primeru omejena zaradi mnogih dejavnikov. Ti so natančnost položajev satelitov, popravki satelitovih ur, multipath, vpliv ionosfere in troposfere, pogreški na sprejemniku in satelitu ter vpliv geofizikalnih premikov točk. V preteklosti je bila tu prisotna še SA motnja. Z njeno ukinitvijo je postal vpliv ionosfere največji vpliv na natančnost meritev. Ta vpliv je odvisen od frekvence nosilnega valovanja. Eliminirati se ga da z uporabo primerne linearne kombinacije opazovanj – L3 oz. ionofree.

Velik in neposreden vpliv na natančnost meritev imajo tudi natančnosti položajev satelitov. Te se da izboljšati z uporabo natančnih efemerid, ki pa niso na voljo v realnem času. Določajo jih različne službe na svetu, kot na primer že omenjena IGS (*International GNSS Service*) in CODE (*Center of Orbit Determination for Europe*). Najnatančnejše ali končne efemeride so na voljo po približno 10 do 14 dneh.

Poleg upoštevanja vseh omenjenih vplivov pa natančnost klasično določenega absolutnega položaja (*PP – Point Positioning*) ne more biti zadovoljiva, ker temelji na kodnih opazovanjih. PPP (*Precise Point Positioning*) metoda tako poleg upoštevanja vseh možnih vplivov na opazovanja, kot so vpliv troposfere, pogreški v satelitu in sprejemniku ter vplivi plimovanja, temelji na faznih psevdorazdaljah.

Sam vpliv troposfere se določi preko modelov troposfere, ostali vplivi pa se določijo v postopku obdelave podatkov. Največkrat sta v uporabi Hopfieldov in Saastamoinenov model troposfere, medtem ko se v obdelavi podatkov največkrat uporabi Niellova projekcijska komponenta troposferske refrakcije. Vplivi geofizikalnih premikov točk se v glavnem odpravijo z ustreznimi modeli za plimovanje čvrste Zemlje, plimovanje vode in atmosfere; upoštevati pa je potrebno tudi sistematčne pogreške, ki nastopajo na satelitu, in tiste, ki imajo izvor v sprejemniku. Ti vplivi so posledica odstopanja težišča od faznega centra antene satelita in sprejemnika, posledica spremembe relativne orientacije satelita in sprejemnika, vpliva relativnosti ter zamika med nosilnima valovanjema. Pri obdelavi podatkov se pri PPP metodi namesto izravnave po metodi najmanjših kvadratov večkrat uporablja razne vrste filtriranja, največkrat Kalmanov filter. (Sterle O. 2004)

6 ZASNOVA GEODINAMIČNE MREŽE NA OBMOČJU LJUBLJANE⁸

6.1 Na splošno o geodinamičnih mrežah

Namen geodinamičnih mrež je opazovanje in določevanje premikov zemeljskega površja, nastalih zaradi tektonskih aktivnosti. Geodinamične mreže se projektirajo in postavljajo večinoma na območjih, kjer so tektonski prelomi že določeni, ali pa se z njimi opazuje območja, pomembna zaradi infrastrukture. Uporabne so tudi na območjih, kjer se ugotavlja aktivnost plazenja ali udara zemlje. Značilen primer takšne uporabe geodinamičnih mrež so mreže, razvite na območjih rudniškega izkopavanja ter na območjih, kjer so pomembnejši objekti, npr. JE Krško.

Da se doseže tako široko uporabnost geodinamičnih mrež, je potrebno njihovi zasnovi nameniti dovolj pozornosti. Ker z zasnovo takšne mreže posegamo na več področij geoznanosti, je zelo pomemben interdisciplinarni pristop k takšni zasnovi. Vsaka od geoznanosti mora določiti pogoje na področjih, za katere je specializirana. Tako morajo npr. geologi, hidrologi, seizmologi, rudarji, geofiziki ipd. določiti primerna območja, kjer bi se nahajale geodinamične točke, ter sodelovati pri izbiri mikrolokacije predvsem z nalogo določanja primernih kamnin. Po drugi strani pa moramo tem točkam določiti natančne koordinate v posameznih trenutkih in tako ugotavljati spremembe. To je naloga geodezije, ki na tem področju razvija tehnologijo meritev, koordinatne sisteme in postopke določevanja koordinat. Rezultati takšnih opazovanj so spet uporabni na večih področjih (v geodeziji, gradbeništvu, geologiji oz. tektoniki, rudarstvu ipd).

Geodetske meritve za potrebe geodinamike morajo biti visoke natančnosti. V preteklosti so bile geodinamične mreže manjših razsežnosti in manjšega števila točk. Razlog za to je bil predvsem v takratnih merskih inštrumentih in tehnikah. Mreže so se obravnavale lokalno in koordinate točk niso bile predstavljene v globalnem koordinatnem sistemu. Slabost takratnih sistemov je bila tudi v tem, da so morali v takšnih mrežah izbrati oz. definirati geodetski datum mreže preko izbranih koordinat točk v opazovani mreži. To je pomenilo, da so morali

⁸ Besedilo je povzeto in zbrano iz zapiskov predavanj pri predmetih Kogoj D. Geodezija II 1999/2000, Koler B. Geodezija v inženirstvu II 2002/2003, Stopar B. Višja geodezija II 2002/2003, konzultacij pri mentorju Stoparju B. in somentorju Vrabcu M. ter na podlagi izkušenj pridobljenih na terenskem delu.

posvetiti izboru geodetskega datuma mreže veliko pozornosti, ker je temeljil na predvidevanju o stabilnosti posameznih točk. (Vodopivec F., et al. 1996)

Kot smo že omenili, so danes v ospredju satelitske merske tehnike, predvsem GPS, ki omogočajo natančne meritve in posledično natančno določevanje položajev točk. Oblika in razsežnost mreže ne igrata več pomembnejše vloge. Te tehnike določajo položaj v globalnih koordinatnih sistemih. Za pravilnejšo interpretacijo dobljenih rezultatov je potrebno končne podatke transformirati v primeren lokalni sistem.

Pri načrtovanju geodinamične mreže za opazovanje tektonskih premikov vzdolž tektonskih prelomov na nekem območju je potrebno upoštevati sledeče:

- Izbrati je potrebno primerne makrolokacije. Izbor temelji na podlagi geoloških analiz in potreb, ki naj bi jih mreža zadostila. Točke se morajo nahajati na obeh straneh tektonskega preloma, ki ga opazujemo. Postaviti moramo skupno tolikšno število točk, da bomo kasneje zmožni opravljati vse potrebne meritve ter obdelavo pridobljenih podatkov.
- Izbrati moramo primerno mikrolokacijo. Pri tem moramo upoštevati tako geodetske kot geološke zahteve. Postavitev točk mora omogočiti izvajanje meritev s satelitskimi merskimi tehnikami (odprt pogled na jug, brez ovir, ki bi povzročale odboj signala in s tem multipath), točka ne sme biti izpostavljena nevarnosti uničenja ali poškodovanja, dostopnost do točke naj bo čim lažja, stabilizacija točke mora biti izvedena na način, ki ne dopušča posedanja oz. spremembe položaja zaradi stabilizacije same. Stabilizacija mora slediti tektonskim premikom in mora biti hkrati neobčutljiva na lokalne vplive. Za ta namen se točke stabilizira bodisi v "zraščeno" skalo bodisi v primerno globoko temeljeno armirano betonsko konstrukcijo.
- Zelo pomembna je tudi kakovost izvedbe stabilizacije geodinamičnih točk, ki neposredno vpliva na kakovost rezultatov.
- Pri postavitvi točk moramo biti pozorni, da so točke dovolj odmaknjene od samega preloma. V neposredni bližini preloma se manjši premiki zaradi tektonike ne poznajo, razen ob potresih. Če hočemo pravilno zaznati premike, je najbolje, da točke stabiliziramo v linijo prečno na sam prelom v različnih oddaljenostih.

- Vzpostaviti moramo sistem, po katerem se bodo izvajala opazovanja in obdelovali podatki. V tem sistemu moramo predvideti, kdo bo za to skrbel in iz kje so bo celotna stvar financirala.
- Pri načrtovanju moramo predvideti uporabo permanentno delujočih GPS postaj, ki nam bodo v izračunih služile kot referenčne točke ter točke za določitev geodetskega datuma.
- Določiti moramo primerno časovno bazo oziroma časovni razmak med ponovljenimi meritvami tako, da bodo dobljeni premiki statistično dovolj večji glede na natančnosti določitve le-teh.

6.2 Določitev makrolokacij

Za določitev makrolokacij na izbranem območju se orientiramo glede na znane tektonske prelome, katerih aktivnost želimo spremljati. Iz kartografskih prikazov geološke strukture in topografskih vsebin določimo manjša območja, kjer bi potrebovali geodinamične točke. Le-te se morajo nahajati na obeh straneh preloma, ki ga želimo opazovati. Osnovni kartografski viri, iz katerih črpamo informacije za določitev makrolokacij, so osnovna geološka karta (OGK) M1:100000, topografska karta ter DOF (Digitalni Orto Foto) posnetki. Poslužujemo se različnih meril, odvisno od tega, kako velika območja obravnavamo. Zelo primerni za uporabo so tudi geološki tolmači, ki nam prikazujejo geološke lastnosti območij, ki jih opazujemo.

Pri določanju makrolokacij moramo upoštevati tudi vrsto kamnin na obravnavanem območju. Najbolje je geodinamične točke stabilizirati v karbonatne kamnine, neprimerni pa so na primer konglomerati. V primeru, da na želeni lokaciji ni primerne kamnine, se da točko stabilizirati v z vidika trdnosti slabšo kamnino, ki se jo primerno učvrsti. Iz osnovne geološke karte in posameznih tolmačev lahko razberemo, kakšne kamnine se nahajajo na posameznih območjih.

Pri določanju makrolokacij se da s prekrivanjem dveh kartografskih virov hkrati, na primer topografske karte in geološke karte, lažje določiti iskana območja. Pri določevanju lokacij

moramo upoštevati tudi vpliv nihanja gladine talne vode na položaj točke. Vpliv talne vode na položaj točke je lahko reda nekaj milimetrov, kar se pri tako natančnih meritvah zelo pozna.

6.3 Rekognosciranje terena in določitev mikrolokacij novih točk

Ko smo določili makrolokacije novih točk, je potrebno na samem terenu preveriti, kakšno je dejansko stanje v naravi, in določiti točna mesta, kjer naj bi te točke bile. Temu postopku rečemo tudi rekognosciranje terena. Dobro je, če smo pri določevanju makrolokacij izbrali več možnosti za postavitev posameznih točk. To predvsem olajša izbiro v težavnih območjih, kot so gozdovi, urbana naselja ipd.

Na terenu smo pri iskanju primernih lokacij pozorni predvsem na zahteve, ki izhajajo iz geološkega vidika, kot tudi na zahteve, ki izhajajo iz merske tehnike, ki bo uporabljena za določitev koordinat točk.

6.3.1 Geološke zahteve

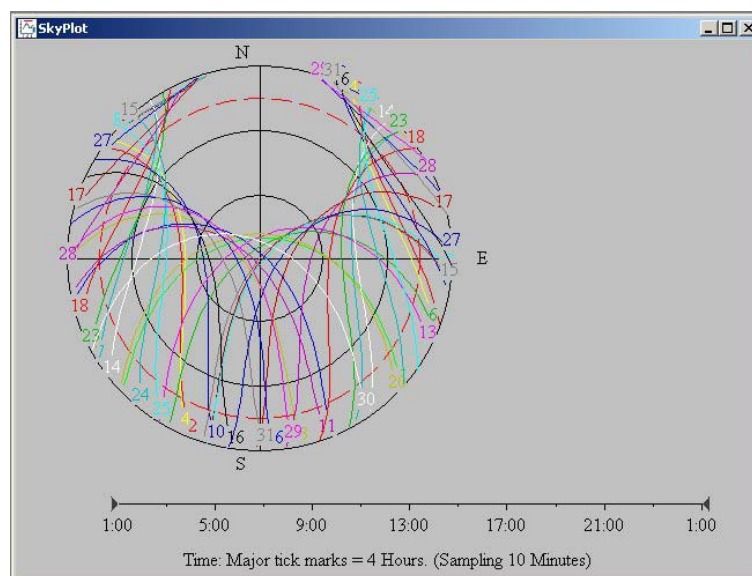
Točka mora biti z geološkega vidika stabilizirana v stabilni kamnini, ki bo v modelnem nivoju nedvoumno predstavljala območje in tektonsko enoto, na kateri se nahaja. To pomeni, da na terenu iščemo primeren izdanek, ki zadošča tako potrebe po vrsti kamnine kot tudi po stabilnosti. Iščemo primarne izdanke, ki so zraščeni s podlago, oziroma ustrezno kompaktno kamnino, ki omogoča stabilno vgradnjo točke. To so večinoma karbonatne kamnine. Ali je neki izdanek primaren, torej zraščen s terenom, se da ugotoviti iz okolice in njene strukture. Izdanek mora biti dovolj velik, da je stabilizacija v njem sploh mogoča. Pozorni moramo biti še na konfiguracijo terena. Izogibati se moramo plazovitih predelov ali predelov na strmih pobočjih. Točke se tako najpogosteje nahajajo na vrhovih hribin ali na primernih pobočjih.

6.3.2 Zahteve, pogojene glede na mersko tehniko, oz. geodetske zahteve

Pri določevanju lokacij za stabilizacijo geodinamičnih točk moramo poleg geoloških zahtev upoštevati tudi zahteve, pogojene z izbrano mersko tehniko. V preteklosti, ko so se geodinamična opazovanja opravljala izključno s klasičnimi geodetskimi meritvami, so morale biti točke v mreži med seboj vidne, zato je bil izbor točk zelo omejen s strukturo okolja. Satelitske tehnike imajo prav tako svoje zahteve ter imajo pred klasičnimi tehnikami tako

prednosti kot slabosti. Tako ni več potrebe po medsebojni vidnosti točk, je pa nujno, da nad točkami ni nobene ovire, ki bi onemogočala sprejem satelitskega signala. Pri tem je prav, da omenimo, da je ovira za satelitski signal vse tisto, kar je ovira tudi za vidno svetlobo. Zelo moteči so še objekti v bližini točke, od katerih bi se lahko signal, oddan s satelitov, odbil in tako povzročal multipath. Iz slednjega sledi, da se točka ne more nahajati na primer v gozdu, med hišami, v kotanji ipd.

Položaj morebitne ovire je odvisen od tega, kje se območje nahaja v globalnem merilu. To je posledica razporeditve tirnic satelitov satelitskega sistema, ki ga uporabljamo. V primeru uporabe GPS merske tehnike, so tirnice GPS-satelitov za območja v Sloveniji po obzorju razporejene tako, kot prikazuje spodnja slika.



Slika 1: Prikaz tirnic satelitov na obzorju za območje Slovenije – iz GPS Survey Trimble

Kot je razvidno, je na severni strani obzorja nad Slovenijo območje, kjer ni nobenega satelita. To pomeni, da je verjetnost sprejema signala z večih satelitov hkrati veliko večja na južni kot na severni strani. Posledično to pomeni, če že moramo točko stabilizirati na mestu, kjer je ovira, se mora ta nahajati na severni strani točke in ne na južni, drugače bo točka neuporabna. Če zgornje povzamemo, mora biti na geodinamičnih točkah, v primeru uporabe GPS merske tehnike, pogled na obzorje vedno odprt na jug, najbolje pa v celoti. Paziti je potrebno tudi na bližnje hribine, ki lahko v veliki meri onemogočajo dober sprejem satelitskega signala.

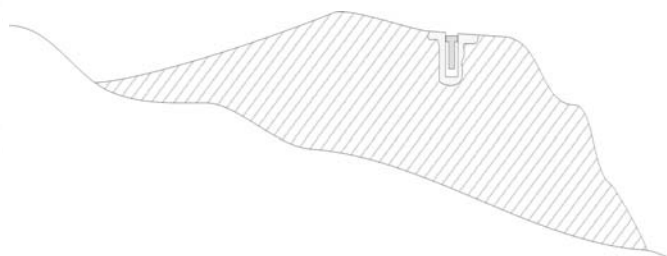
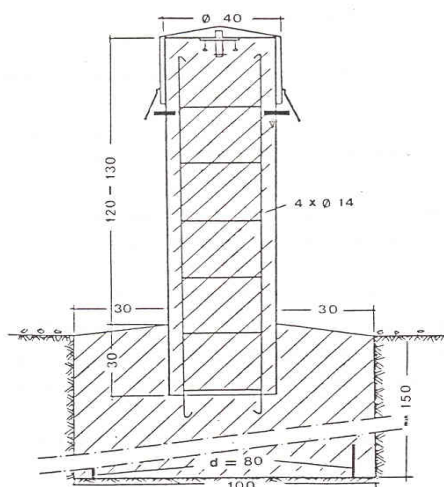
6.4 Rezultat rekognosciranja

Na terenu vedno določimo večje število možnih lokacij, kjer bi se geodinamične točke lahko nahajale, kot pa je bilo to določeno v zasnovi mreže. S tem si zagotovimo dovolj veliko število točk in potrebno gostoto mreže. Izbor primernih točk naredimo potem naknadno, ko imamo pred seboj vse možne lokacije. Rezultat rekognosciranja so topografije izbranih lokacij, iz katerih je nedvoumno razvidno, kje točno naj bi se točka nahajala. V primeru večih možnih izdankov to na skici tudi označimo. Topografija naj bi vsebovala med drugim kontaktno osebo, lastnika, ki se ga mora pred stabilizacijo točke obvestiti in prositi za dovoljenje. Pozanimati se je potrebno tudi o načrtih, ki jih ima lokalna skupnost na izbrani lokaciji. Nezaželeno je, da bi nekaj let po stabilizaciji točka postala neuporabna zaradi novogradnje v neposredni bližini. Topografije točk opremimo še s fotografijami terena in same kamnine, kamor bi točko stabilizirali. Pri fotografiranju kamnine zraven posnamemo kakšen znan predmet, ki fotografiji doda metričnost (merski trak ali geološko kladivo).

Rezultat rekognosciranja je prikaz vseh možnih lokacij na primerni kartografski podlagi (na primer DTK25). To omogoča pregled nad celotno geodinamično mrežo in pomaga pri končni izbiri točk.

6.5 Način stabilizacije

Pogoj za doseganje dobrih rezultatov z geodetskimi metodami opazovanj v geodinamičnih raziskavah je vsekakor dobra stabilizacija točk. Dobra stabilizacija točke je tista, kjer se točka ne premika glede na njeno okolico (se ne poseda, nagiba ipd). Kot smo že omenili, se največkrat izvede v izdanke kamnin primerne velikosti, trdnosti in stabilnosti. V takšen izdanek, vzdamo jeklen čep, v katerega med meritvami privijemo nastavek z anteno. Tak čep je med posameznimi izmerami zavarovan z navojnim pokrovčkom, ki zaščiti navoj čepa pred uničenjem. Sam čep se v izvrtano luknjo trajno zacementira. Postavljen mora biti navpično.



Slika 2: Skica stabilizacije čepa v skalo

Merski steber
(Vodopivec F., et al. 1995, str. 26)

Vedno pa taka stabilizacija ni možna. To se zgodi v primeru, kjer je območje poraščeno ali pa tam ni primernega izdanka, kamor bi stabilizirali točko. V tem primeru se poslužujemo dražjega načina stabilizacije, in sicer z uporabo betonskega stebra. Na željeni, dovolj odprti lokaciji postavimo globoko temeljen betonski steber. Zaradi potrebe po stabilnosti je izvedba stebra izvedena zelo masivno. Izdelava se okrogle armirane betonske stebre premera 40 cm in višine med 120 in 130 cm. Nosilec stebra je obsežen in kompakten betonski temelj velikosti vsaj 100 x 100 x 150 cm (širina/dolžina/globina). Kjer je na terenu kamnita podlaga, je temelj lahko manjši, zato pa sidran v kamnito podlago. Pri manj stabilnih tleh, kot je recimo glinena podlaga, pa je temelj večji.

Omenjena stabilizacija je povezana z velikimi stroški izdelave in z večjim posegom v naravo, kot pa vzidan čep v skalo. Upoštevati je potrebno tudi soglasje lastnikov zemljišča in odškodnino, ki jo je potrebno plačati. Iz teh razlogov se takšna stabilizacija uporablja le tam, kjer ni druge možnosti. Posebno pozornost je treba nameniti vplivu talne vode na takšno stabilizacijo. Potrebne podatke dobimo pri hidrologih.

6.6 Vzpostavitev sistema za izvajanje meritev in obdelavo podatkov

Cilj izvedbe geodinamičnih mrež in opravljanja meritev je pridobivanje vektorjev hitrosti spremembe položajev geodinamičnih točk in spremljanje dogodkov vzdolž tektonskih prelomov. Želena uporabnost rezultatov bomo dosegli z vzpostavitvijo sistema, ki bo opredeljeval vse od izbora lokacij točk do interpretacije rezultatov.

Do sedaj smo že opisali kriterije za določitev lokacije in stabilizacijo geodinamičnih točk. Naslednji korak je vzpostavitev sistema za izvajanje GPS-meritev in obdelavo podatkov.

Pri načrtovanju geodinamične mreže in števila točk v njej moramo doseči kompromis med našo sposobnostjo, kako obsežne meritve lahko izvajamo, in potrebami po gostoti mreže. To je po eni strani pogojeno z razpoložljivim merskim inštrumentarijem, po drugi strani pa s finančnimi sredstvi, ki jih imamo na razpolago za ta projekt.

Ko smo izbrali in stabilizirali točke, ki sedaj predstavljajo geodinamično mrežo, je na vrsti določevanje koordinat položajev teh točk. Opravimo t.i. ničelno meritev. Na podlagi števila točk v mreži in razpoložljive merske opreme sestavimo serije meritev. V obdelavo vključimo podatke izbranih permanentnih GPS-postaj mreže IGS, ki nam predstavljajo referenčne točke in določajo geodetski datum mreže. Izračun koordinat točk in zelenih hitrosti sprememb položajev geodinamičnih točk opravimo z izbrano programsko opremo, ki naj se v dolgoletnem obdobju izvajanja opazovanj ne bi zamenjala. V primeru da se, pa je prav, da v eni izmed prihodnjih meritev izračun opravimo tako s starim kot z novim programom ter dobljene rezultate primerjamo.

V geodinamično mrežo na območju Ljubljane bi tako lahko vključili pet permanentnih IGS točk, in sicer Matera, Gradec, Wettzell in Zimmerwald. V obdelavo bi vključili tudi podatke permanentne postaje v Ljubljani GSR1, ki bi nam služila kot referenčna točka. Obdelavo podatkov bi lahko opravili z enim od znanstvenih programov za obdelavo GPS-meritev Bernese GPS Software, GIPSY/OASIS II, GAMIT/GLOBK idr.

Hitrost spremembe položajev točk lahko v splošnem dobimo le, če imamo določene koordinate položajev točk v različnih časovnih trenutkih. Iz sprememb položajev točk potem določamo hitrost spremembe. Le-ta je določena z naklonom interpolirane premice (po metodi najmanjših kvadratov popravkov – MNK) med vsemi dnevnimi rešitvami koordinat opazovanih točk, z upoštevanjem njihovih natančnosti določitve.

Tektonski premiki, obravnavani na lokalnem območju, so po naravi majhnih amplitud reda nekaj milimetrov na leto. Zato je pomembno, da meritve opravljamo s čim večjo natančnostjo, ki jo lahko dosežemo. Za določevanje hitrosti sprememb položajev geodinamičnih točk moramo na začetku določiti časovno bazo zaporednih meritev. To je čas med dvema zaporednima meritvama. Ta je odvisen od velikosti premikov na obravnavanem območju in od natančnosti opravljenih meritev. Velikosti globalnih premikov za posamezna območja po celi Zemlji so modelirana v že omenjenih kinematičnih modelih. Vendar je tako pridobljen podatek hitrosti premika globalen premik toge litosferske enote, na kateri se nahaja obravnavano območje. Če nimamo drugih predhodnih meritev, se ravnamo po teh podatkih. V primeru že obstoječih podatkov o premikih in hitrostih na določenem območju toge tektonske enote (poznavanje lokalne geodinamike) pa so nam kot osnova za določitev časovne baze le-ti.

V našem primeru zasnove geodinamične mreže na območju Ljubljane že razpolagamo z nekaterimi podatki o lokalni geodinamiki iz preteklih meritev. V okviru projekta PIVO-2003 GPS so bile nekaterim točkam določene hitrosti premikov. Le-te bi lahko bile osnova pri določitvi časovne baze opravljanja meritev v naši geodinamični mreži. Hkrati pa moramo upoštevati tudi natančnost določitve koordinat točk in posledično natančnost določitve hitrosti premikov. V splošnem bi ta postopek opisali tako:

- okvirna pričakovana hitrost premika točk v in njena natančnost σ_v sta znani,
- znana je tudi natančnost določitve koordinat točk oziroma natančnost določitve premika σ_p ,
- iz teh podatkov lahko sedaj sklepamo na čas, ki naj bi minil med posameznimi meritvami.

Pri določevanju časovne baze si pomagamo tudi z razmerjem med pričakovanim premikom in njegovo natančnostjo določitve, ki naj bo vsaj 2, bolje pa je, da je nekajkrat več. S tem si zagotovimo, da bodo pridobljeni premiki točk in posledično hitrosti premikov statistično večji od njihove natančnosti določitve.

$$\frac{\Delta P}{\sigma_p} > 2, 3, 5, 10 \Rightarrow \text{čas med meritvami}$$

Če se sedaj prestavimo v čas, ko že imamo rezultate druge meritve v geodinamični mreži, je naslednji korak določitev vektorjev hitrosti spremembe koordinat. Podroben opis korakov je odvisen od uporabljene programske opreme, v grobem pa izračun poteka po sledečih korakih:

- izračun koordinat točk iz opravljenih meritev za posamezno epoho v tistem koordinatnem sestavu, v katerem imamo podane posamezne precizne efemeride;
- transformacija dobljenih koordinat v enotni referenčni koordinatni sestav;
- določitev koordinat točk v različnih epohah;
- izračun premikov posameznih točk;
- izračun globalnih hitrosti sprememb položajev iz velikosti premika in časovnega intervala med njimi;
- transformacija globalnih hitrosti premikov naših točk v mreži glede na tektonsko enoto na kateri se nahajamo;
- izračun deformacij območja.

Dobljene hitrosti premikov geodinamičnih točk podajamo z enoto mm/leto. Na zgoraj opisan način pridobljene hitrosti premikov točk predstavljajo premike točk glede na stabilno togo tektonsko enoto na kateri se točke nahajajo. To pomeni, da je iz premikov izvzet vpliv globalnega premika točke, in tako predstavlja dejansko lokalno dogajanje okrog opazovanega preloma.

Iz tako dobljenih vektorjev hitrosti sprememb koordinat položajev točk sedaj lahko sklepamo na dogajanje v naši mreži. Ugotavljamo lahko skladnost smeri in velikosti vektorjev za posamezno točko in iz tega sklepamo na aktivnost in kinematiko preloma. Po dveh zaporednih meritvah nekaj že lahko sklepamo, za podrobnejše analize in ugotavljanje pa je potrebno počakati na naslednje meritve.

Pri vzpostavitvi sistema moramo predvideti tudi, kako se bodo izvajale meritve, kako dolgo, kakšne so zahtevane karakteristike merske opreme, kakšna metoda GPS-izmere bo uporabljena, katere efemeride (efemeride katere službe) bomo uporabljali za izračun koordinat točk, kako bomo obdelovali pridobljene podatke ter v katerem koordinatnem sistemu bodo rezultati predstavljeni.

7 PRAKTIČNI DEL ZASNOVE GEODINAMIČNE GPS-MREŽE LJUBLJANA

Praktični del zasnove geodinamične mreže na območju Ljubljane je bila določitev možnih lokacij bodoče geodinamične GPS-mreže (t.i. rekognosciranje terena) in ponovna meritev ter obdelava pridobljenih podatkov na nekaterih GPS-točkah, ki tvorijo profil skozi osrednje območje bodoče geodinamične mreže.

S takšno geodinamično mrežo bi lahko na dolgi rok ugotovili geodinamično aktivnost območja predvsem vzdolž že poznanih prelomov. Na območju Ljubljanskega barja bi preko točk, ki bi bile stabilizirane na osamelcih, opazovali morebitno ugrezanje bazena ob t.i. "prečno-dinarskih" prelomih (v smeri SW-NE) in ugotavljali veljavnost današnje predpostavke, da so t.i. "dinarski prelomi" (v smeri NW-SE) večinoma desno-zmični.

Na podlagi geoloških kart in poznanih tektonskih prelomov so nam geologi določili potencialno zanimiva območja, kjer bi bilo dobro imeti stabilizirane točke, ki bi tvorile našo geodinamično mrežo. Na podlagi določenih makrolokacij smo se odpravili na teren.

Terensko delo smo opravljali v mesecu marcu in aprilu leta 2005. Skupno smo si ogledali več kot 20 potencialno zanimivih območij in na koncu izbrali 17 novih možnih lokacij točk. Na območju Ljubljanskega barja smo naše iskanje osredotočili na osamelce, ki predstavljajo trden izdanek kamnine. Druga območja so bili predvsem vrhovi hribin okrog Ljubljanskega barja. Iskali smo takšne lokacije, ki so dostopne z osebnim avtomobilom oz. je potreben del za hojo minimalen.

Težave, s katerimi smo se srečevali tam, kjer so bili izdanki, so bile predvsem v zaraščanju terena in ovirah, ki so motile pogled proti jugu. Po drugi strani pa je bila sama konfiguracija terena takšna, da je bilo težko najti primeren kvaliteten izdanek. Na dveh potencialno zanimivih lokacijah (Ljubljanski vrh pri Vrhniki in Soteški hrib pri Podgorici pri Ljubljani) smo imeli težave tudi z nedostopnostjo terena zaradi vojaške službe. Na teh dveh lokacijah ima Slovenska vojska svoja območja, kjer je gibanje omejeno. V okviru naše diplomske naloge se nismo lotili postopka za pridobitev dovoljenja za dostop do teh območij, ker bi bilo

časovno preobsežno. Načeloma je dostop do teh območij možen s posebnim dovoljenjem generalštaba slovenske vojske. Zaradi nedostopnosti teh dveh območij smo zato pregledali celotno območje Ljubljanskega vrha in Soteškega hriba ter ugotovili, da nikjer na pobočju, bodisi zaradi strukture terena (ni primernih izdankov), bodisi zaradi zaraščenosti z gozdom, ni druge primerne lokacije namesto vrha.

Ena izmed težav pri terenskem delu je bila tudi iskanje lastnikov zemljišč, na katerih smo našli primerno lokacijo. To je posledica dejstva, da so te lokacije bodisi na kakšni večji jasi, bodisi so to primerni izdanki (skale) na travnikih in obdelovalnih površinah. Na terenu smo se, kolikor je bilo v naših močeh, pozanimali glede lastnikov, vendar je bil uspeh majhen. Tako bi bilo potrebno sedanje lokacije primerjati z zemljiškim katastrom in zemljiško knjigo ter tako najti lastnike. Omeniti je potrebno, da so ljudje, s katerimi smo imeli stik, načeloma soglašali s postavitvijo takšnih točk na njihova ozemlja, kar je vsekakor spodbudno.

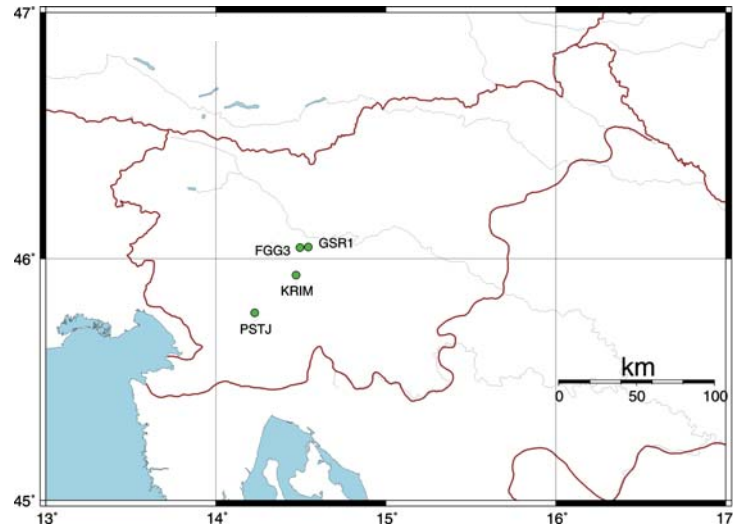
Rezultat našega terenskega dela je tako 17 možnih novih lokacij za postavitev geodinamičnih točk. Za vsako izmed teh lokacij smo naredili tudi topografijo (priloge A-R) in karto prikaza vseh predlaganih lokacij novih geodinamičnih točk (priloga S), ki so del te diplomske naloge. Med te smo vključili nekatere točke, na katerih so bila v preteklosti izvedena GPS-opazovanja. Tako bi lahko tudi stara opazovanja vključili v novejšo izračune. Takšne točke so: Krim, Dobravica, steber na strehi FGG št. 3 in Postojna.

Z namenom, da bi pridobili podrobnejše informacije o geodinamiki na obravnavanem območju, ki bi nam pomagale pri odločitvi, kam točke zares stabilizirati, smo izvedli tudi GPS-meritev in izračun vektorjev hitrosti premikov štirih točk preko osrednjega območja bodoče geodinamične mreže Ljubljana, ki so bile opazovane že v preteklosti.

7.1 Izmera štirih točk in izračun vektorjev hitrosti

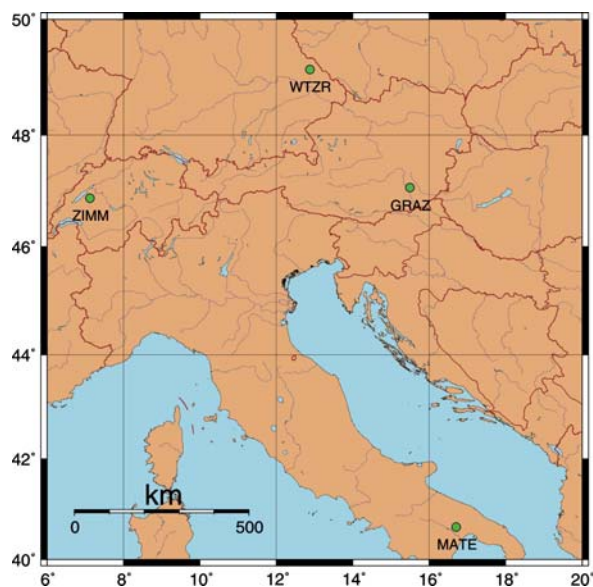
Meritve smo opravljali na točkah, na katerih so bila že v preteklosti opravljena natančna GPS-opazovanja. To so bile točke na Krimu (KRIM), steber na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana ševilka 3 (FGG3) ter točka v Postojni (PSTJ).

Uporabili smo tudi podatke meritev, pridobljene na permanentni GPS-postaji v Ljubljani (GSR1). Medsebojni položaj točk je prikazan na spodnji sliki.



Slika 3: Položaj merjenih točk na širšem območju ljubljanske kotline

V izračunu vektorjev hitrosti spremembe koordinat položajev obravnavanih točk smo uporabili podatke štirih IGS točk, in sicer Matera (MATE), Gradec (GRAZ), Wettzell (WTZR) in Zimmerwald (ZIMM).



Slika 4: Položaj uporabljenih IGS točk

7.1.1 Meritve

Meritve na točkah KRIM, FGG3 in PSTJ smo opravljali 10., 11. in 12. maja 2005, (130., 131., 132. julijanski dan), in sicer v skupnem obsegu 48 ur na vsaki točki. Uporabljena je bila statična GPS-metoda merjenja z naknadno obdelavo podatkov. Za te dneve smo uporabili tudi meritve, opravljene na permanentnih točkah GSR1, MATE, WTZR, GRAZ in ZIMM. Za določitev vektorjev hitrosti sprememb koordinat položajev točk smo uporabili še pretekle meritve, in sicer:

- v dneh 25.–28. 9. 1995 (268., 269., 270., 271. julijanski dan) na točkah KRIM, FGG3, PSTJ, MATE, WTZR, GRAZ in ZIMM,
- v dneh 2.–7. 1. 2001 (2., 3., 4., 5., 6., 7. julijanski dan) na točkah GSR1, MATE, WTZR, GRAZ in ZIMM.

7.1.2 Podatki z interneta

Pred obdelavo podatkov najprej zberemo vse podatke opravljenih opazovanj in zunanjih podatkov, ki jih bomo potrebovali pri obdelavi.

- precizne efemeride službe IGS se nahajajo na spletni strani <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/www> - *IGSwwwd.sp3*
- podatki o gibanju polov službe IGS se nahajajo na spletnem naslovu <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/www> - *IGSwww7.erp*
- podatki o urah sprejemnikov referenčnih postaj uporabljenih IGS točk so na spletnem naslovu <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/product/www> - *IGSwwwd.clk*
- podatki o stanju ionosfere službe CODE najdemo na spletnem naslovu <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE/yyyy> - *CODwwwd.ION*
- podatki o časovnem zamiku med kodama P1 in P2 se nahajajo na <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE/yyyy> - *PIP2yymm.DCB*
- podatki o časovnem zamiku med kodama P1 in C1 se nahajajo na <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE/yyyy> - *PIC1yymm.DCB*
- podatki o hitrostih sprememb položajev in koordinate IGS točk, ki jih uporabimo v našem izračunu, se nahajajo na <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/STA> - *IGS_00_R.CRD, IGS_00_R.VEL*

- parametre o vplivu plimovanja morja na položaj določene točke na kopnem se da dobiti v okviru datoteke *.BLQ na spletnem naslovu <http://www.oso.chalmers.se/loading/>

7.1.3 Obdelava podatkov

Podatke iz vseh treh meritev smo obdelali skupaj s programskim paketom Bernese GPS Software, Version 5.0.

7.1.3.1 Bernese GPS Software 5.0

Bernese GPS Software so razvili znanstveniki in strokovnjaki Astronomskega inštituta Univerze v Bernu. Prva verzija programa se je pojavila v začetku leta 1988, sedaj pa je na tržišču že zelo dopolnjena in izboljšana verzija 5.0, razvita predvsem na podlagi verzije 4.2 iz leta 2001. Glede na natančnost in zanesljivost dobljenih rezultatov ta programski paket zadovoljuje širok krog uporabnikov, tako znanstvenike kot tudi manj zahtevne uporabnike. Predstavlja enega izmed profesionalnih programskih paketov za visoko kvalitetno obdelavo podatkov tako sistema GPS kot GLONASS. Poudarek je še vedno na obdelavi dvojnih faznih razlik, omogoča pa tudi obdelavo nediferenciranih opazovanj, torej določevanje položaja po metodi PPP. (Sterle O. 2004)

V osnovi je programski paket narejen za operacijski sistem UNIX, namestiti pa se ga da tudi kot DOS različico programa na operacijskem sistemu MS Windows (95/98, NT, 2000). Programski paket sestavlja več kot 100 različnih programskih enot, ki so pojmovno razporejene na 5 delov:

- prenosni del (*Transfer Part*), kjer se datoteke opazovanj prenesejo in pretvorijo iz RINEX (*Receiver INdependent Exchange format*) formata v programski binaren format;
- orbitalni del (*Orbit Part*), kjer se izdelava neodvisen format, ki vsebuje podatke orbit satelitov; orbite se med seboj primerjajo;
- procesni del (*Processing Part*), kjer se vrši obdelava podatkov kodnih in faznih opazovanj, ocena neznank in parametrov iz sistema normalnih enačb izravnave;

- simulacijski del (*Simulation Part*), kjer se simulira tako kodna kot tudi fazna opazovanja na podlagi informacij o natančnosti, izpadih signala, sistematičnih vplivov ipd;
- predstavnici del (*Service Part*), kjer se pregleduje in ureja binarne datoteke rezultatov, predstavlja popravke, ocenjene neznanke ipd.

Nad vsemi petimi deli programskega paketa deluje orodje, poimenovano BPE – *Bernese Processing Engine*.

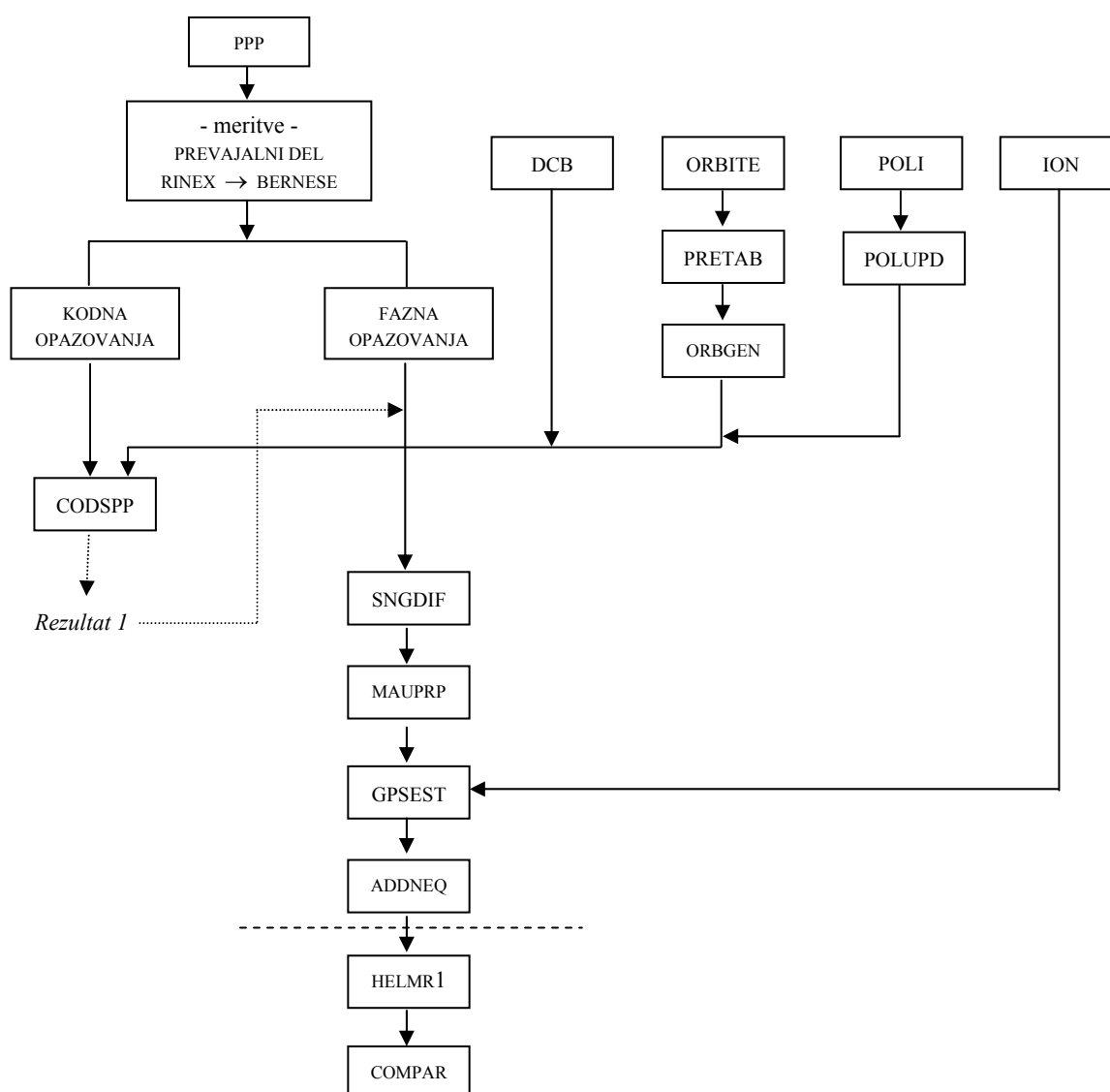


Diagram 1: Potek obdelave podatkov s programskim paketom Bernese GPS Software, verzija 5.0

Razlaga diagrama:

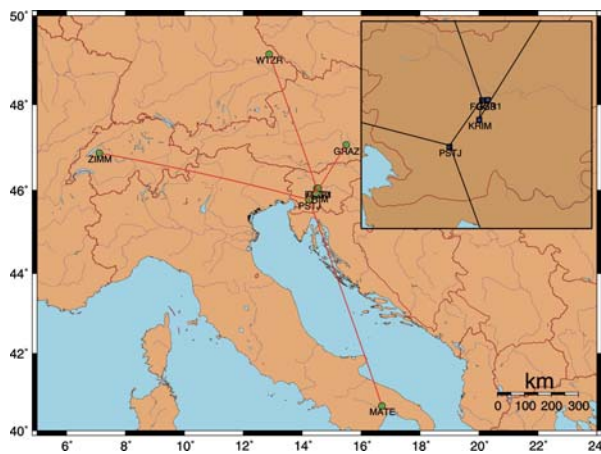
- *Priprava RINEX datotek:* meritve smo opravljali več dni zapored. Sedaj je potrebno datoteke z meritvami razdeliti po julijanskih dnevih, ker imamo tako podane vse ostale podatke. Na ta način najprej računamo dnevne rešitve.
- Določitev približnih vrednosti neznank – PPP: za enostavnejšo obdelavo je potrebno v programskem paketu Bernese poznati a-priori vrednosti neznank z relativno visoko natančnostjo (reda nekaj cm). Te začetne vrednosti se določijo preko nediferenciranih opazovanj v okviru postopka PPP (*Precise Point Positioning*). Tako dobljene koordinate se nanašajo na ITRF2000. Efemeride iz leta 1995, ki so bile podane v ITRF93, ter efemeride iz leta 2001, podane v ITRF97, smo transformirali v koordinatni sestav, v katerem računamo – ITRF2000. Transformacijo smo opravili s programom `trnfsp3n` avtorja Jana Koube.
- Za izračun a-priori položajev točk v času posameznih meritev te koordinate ekstrapoliramo v posamezno epoho meritev (1995, 2001, 2005).
- Vnos vseh potrebnih podatkov v novo kampanjo Bernese programskega paketa in pretvorba v Bernese binarno kodo (meritve – RINEX datoteke, efemeride (ORB) – sp3, podatki o premiku polov (POL), podatki o ionosferi (ION), o plimovanju čvrste zemlje, o vplivu plimovanja morja na kopno, podatki o danih točkah, časovni zamik kode na posameznem satelitu (DCB)).
- *Predhodna obdelava:* opazovanja v RINEX datotekah je potrebno prečistiti in zgladiti. Najprej se obdelata kodna opazovanja (CODSPP). Rešitev 1 so ocene popravkov sprejemnikovih ur oziroma sinhronizacija sprejemnikovih ur z GPS časom. To se izvede na podlagi razlike med razdaljo, določeno iz efemerid in a-priori položaja, ter razdalje, določene iz kodnih opazovanj. Te rešitve se pripiše v datoteko s faznimi opazovanji.
- Nato se formira bazne vektorje (SNGDIF), ki se jih na podlagi enojnih faznih razlik prečisti in s tem odstrani grobo pogrešena opazovanja ter opazovanja z velikim številom izpadov signala (angl. *cycle slips*). Postopek imenujemo tudi glajenje faze (MAUPRP), kjer se izvaja predprocesiranje faznih opazovanj. V tem koraku se določi število neznank neznanega začetnega števila celih valov. Za meritve v letih 1995 in 2005 smo bazne vektorje sestavili sami, za leto 2001 pa smo uporabili način 'star' s središčno točko GSR1 (slike 5, 6 in 7).

- Na podlagi kratkih intervalov sprejetega signala, meritev le ene frekvence ali pri prisotnosti prevelikih pogreškov, se takšna opazovanja označijo z namenom, da se v izravnavo ne vključijo.
- Prva izravnava po metodi najmanjših kvadratov popravkov – MNK (GPSEST). Obdelujemo vsa opazovanja znotraj ene serije (posamezen dan). Program shrani le odstopanja z namenom, da jih lahko pregledamo in slabša opazovanja izločimo. Po ponovni izravnavi dobimo prve vrednosti neznank na podlagi L3 linearne kombinacije opazovanj (število neznanih celih valov na začetku meritev je še v rangu realnih števil ($N\check{S}CV \in \mathfrak{R}$)). Po izravnavi dobimo dnevne rešitve položajev točk.
- V naslednjem koraku se za posamezni vektor določi neznano začetno število celih valov za posamezen dan/serijo. Kjer je možno, je rešitev že v rangu naravnih števil. Pri krajših vektorjih se reši večinoma vse, pri nekaterih daljših pa imamo lahko probleme. Neznanke program določi s QIF algoritmom, ki je primeren za dolge serije in vektorje srednjih dolžin. Izhajamo iz ocenjenih koordinat in troposferskih parametrov.
- Na podlagi določenih neznanih števil celih valov določimo končne vrednosti neznank, 3 koordinate za vsako točko in 17 parametrov troposfere (ADDNEQ) – rešitve za celotno kampanijo (posebej iz leta 1995, 2001 in 2005).
- Dosedanja obdelava je obravnavala točke kot prosto mrežo.
- Vklon v mrežo se izvrši s Helmertovo transformacijo preko štirih permanentnih IGS točk (HELMR1). Preko koordinat danih točk, določenih v izravnavi, in ekstrapoliranih koordinat danih točk v epoho meritve, za vsak dan, program določi parametre Helmertove transformacije. Končne vrednosti koordinatnih neznank določimo, ko iz sistema normalnih enačb izločimo parametre troposfere.
- Sledi primerjava vseh dobljenih koordinat časovne vrste in določevanje odstopanj od srednje vrednosti za posamezne epohe meritev (95, 01, 05) za vsako točko posebej (COMPAR).
- Tako pridobimo dnevne rešitve koordinat točk, se pravi za vsako točko 13 položajev.
- Iz vseh položajev vseh obravnavanih točk se določi hitrost premikov v globalnem merilu. Zapišejo se v datotekah FINAL.crd – koordinate, FINAL.vel – hitrosti, FINAL.out.

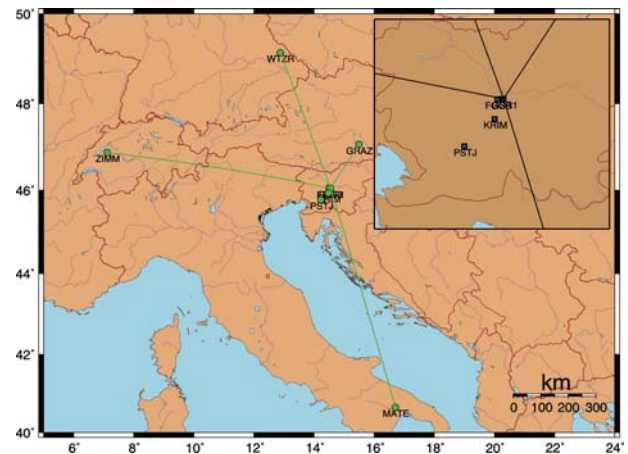
V tej nalogi nismo naredili transformacije hitrosti premikov glede na Evrazijsko ploščo. Rezultati naših meritev so namenjeni predvsem pridobitvi celotne slike o dogajanju na širšem območju Ljubljane z namenom pravilnejše odločitve pri postavitvi novih točk bodoče geodinamične mreže. Iz tega vidika se naše delo tukaj konča.

7.2 Prikaz podatkov in rezultati obdelave meritev

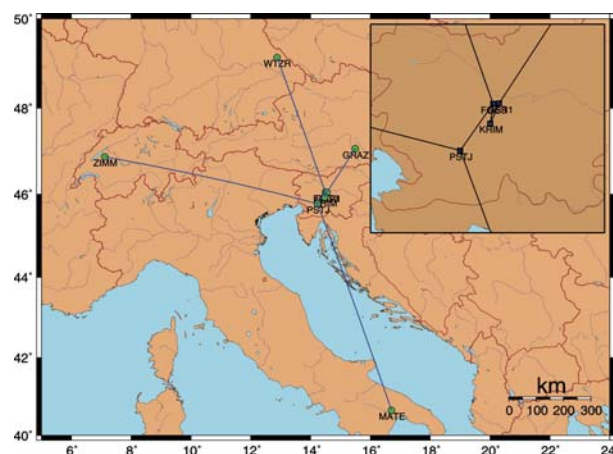
V posameznih kampanijah smo izbrali različne vektorje odvisno od tega, katere točke smo obdelovali. Naslednje slike prikazujejo obliko mreže za posamezno kampanijo (leta 1995, 2001 in 2005).



Slika 5: Vektorji v kampaniji leta 1995



Slika 6: Vektorji v kampaniji leta 2001



Slika 7: Vektorji v kampaniji leta 2005

Štirim točkam našega profila smo določali najprej dnevne položaje, nato pa smo na podlagi utežnih sredin posameznih kampanij določili premike točk in pripadajoče hitrosti v smeri sever – jug ter vzhod – zahod. Rezultate podajamo v spodnjih tabelah.

Koordinate, podane v preglednicah od 1 do 4, se navezujejo na ITRF2000 koordinatni sestav.

Preglednica 1: Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke FGG3

dan	x (m)	y (m)	z (m)	RMS_x	RMS_y	RMS_z
1995-09-25	4293737,897	1110067,86	4569047,682	0,0019	0,0007	0,0018
1995-09-26	4293737,903	1110067,86	4569047,688	0,0014	0,0005	0,0014
1995-09-27	4293737,902	1110067,864	4569047,685	0,0015	0,0006	0,0015
1995-09-28	4293737,904	1110067,87	4569047,691	0,0023	0,0010	0,0023
2005-05-10	4293737,764	1110068,034	4569047,804	0,0008	0,0004	0,0009
2005-05-11	4293737,768	1110068,036	4569047,810	0,0007	0,0003	0,0007
2005-05-12	4293737,763	1110068,036	4569047,808	0,0010	0,0005	0,0010

Preglednica 2: Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke KRIM

dan	x (m)	y (m)	z (m)	RMS_x	RMS_y	RMS_z
1995-09-25	4303467,487	1110727,619	4560823,547	0,0020	0,0010	0,0019
1995-09-26	4303467,491	1110727,62	4560823,549	0,0014	0,0007	0,0014
1995-09-27	4303467,497	1110727,622	4560823,555	0,0015	0,0008	0,0015
1995-09-28	4303467,501	1110727,623	4560823,555	0,0023	0,0012	0,0023
2005-05-10	4303467,273	1110727,776	4560823,591	0,0010	0,0007	0,0010
2005-05-11	4303467,278	1110727,776	4560823,595	0,0008	0,0006	0,0008
2005-05-12	4303467,279	1110727,776	4560823,596	0,0012	0,0010	0,0012

Preglednica 3: Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke PSTJ

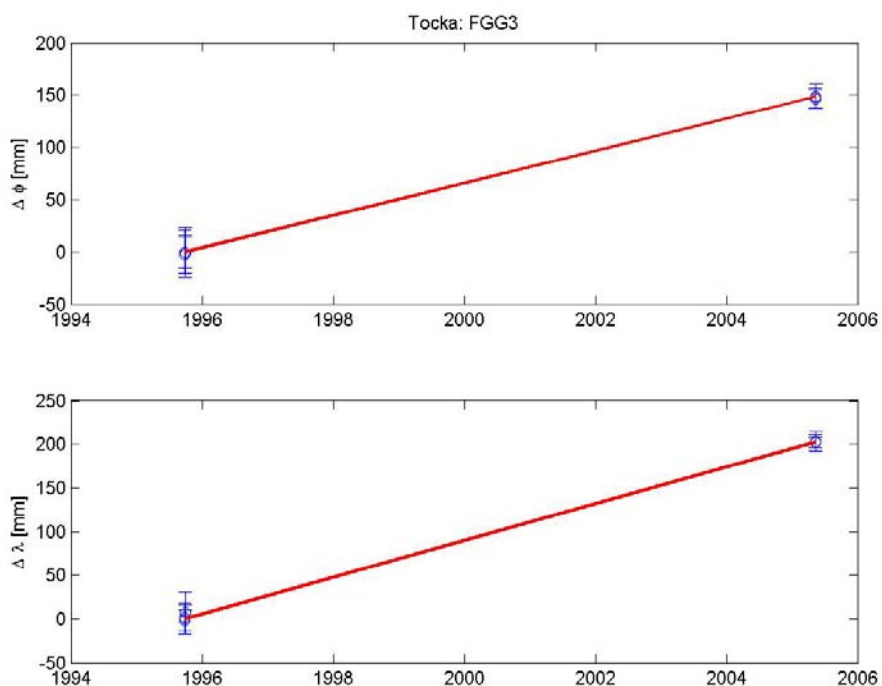
dan	x (m)	y (m)	z (m)	RMS_x	RMS_y	RMS_z
1995-09-25	4319956,407	1095408,073	4548544,878	0,0019	0,0007	0,0018
1995-09-26	4319956,407	1095408,072	4548544,878	0,0014	0,0005	0,0014
1995-09-27	4319956,407	1095408,074	4548544,875	0,0015	0,0006	0,0015
1995-09-28	4319956,408	1095408,08	4548544,88	0,0023	0,0010	0,0022
2005-05-10	4319956,271	1095408,213	4548545,012	0,0009	0,0004	0,0009
2005-05-11	4319956,276	1095408,214	4548545,016	0,0007	0,0003	0,0007
2005-05-12	4319956,27	1095408,214	4548545,013	0,0011	0,0005	0,0011

Preglednica 4: Koordinate položajev dnevnih rešitev GPS meritev točke GSR1

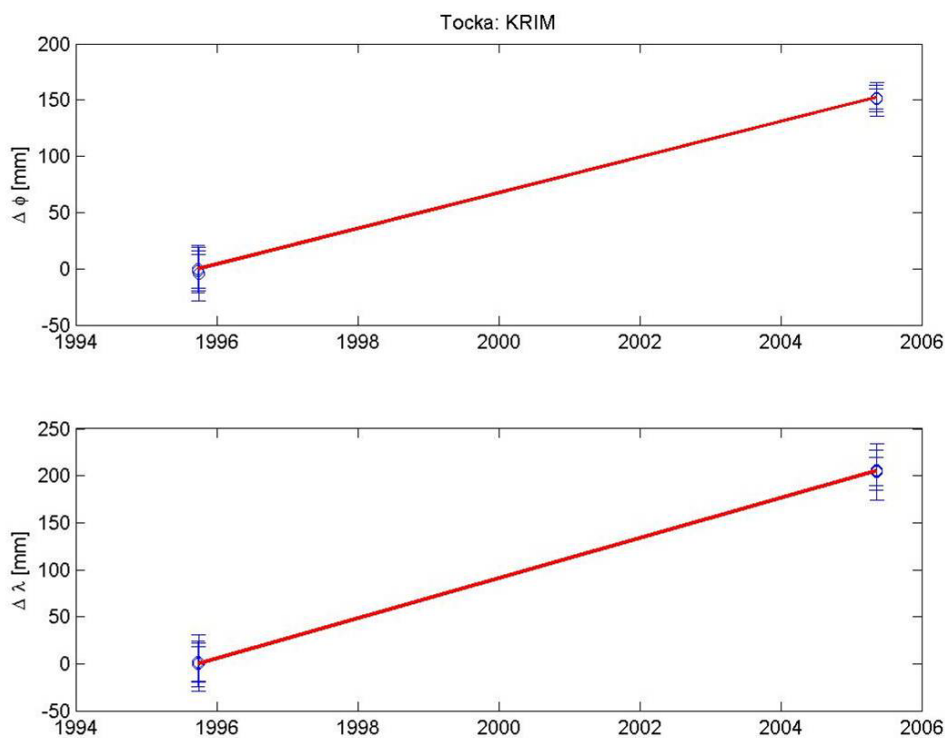
dan	x (m)	y (m)	z (m)	RMS_x	RMS_y	RMS_z
2001-01-02	4292609,543	1113639,212	4569215,606	0,0009	0,0003	0,0009
2001-01-03	4292609,548	1113639,215	4569215,607	0,0008	0,0003	0,0008
2001-01-04	4292609,547	1113639,215	4569215,607	0,0008	0,0003	0,0008
2001-01-05	4292609,548	1113639,217	4569215,609	0,0009	0,0003	0,0009
2001-01-06	4292609,551	1113639,218	4569215,612	0,0012	0,0005	0,0012
2001-01-07	4292609,554	1113639,214	4569215,614	0,0010	0,0004	0,0010
2005-05-10	4292609,46	1113639,293	4569215,638	0,0008	0,0005	0,0008
2005-05-11	4292609,459	1113639,293	4569215,639	0,0007	0,0004	0,0007
2005-05-12	4292609,456	1113639,292	4569215,637	0,0009	0,0006	0,0009

Iz dnevnih rešitev koordinat točk smo določili hitrosti sprememb koordinat opazovanih točk preko naklona interpolirane premice po metodi najmanjših kvadratov popravkov – MNK z upoštevanjem natančnosti določitve dnevnih rešitev koordinat. Premiki točk v smeri smeri sever – jug in vzhod – zahod za posamezno točko so predstavljeni na spodnjih grafikonih.

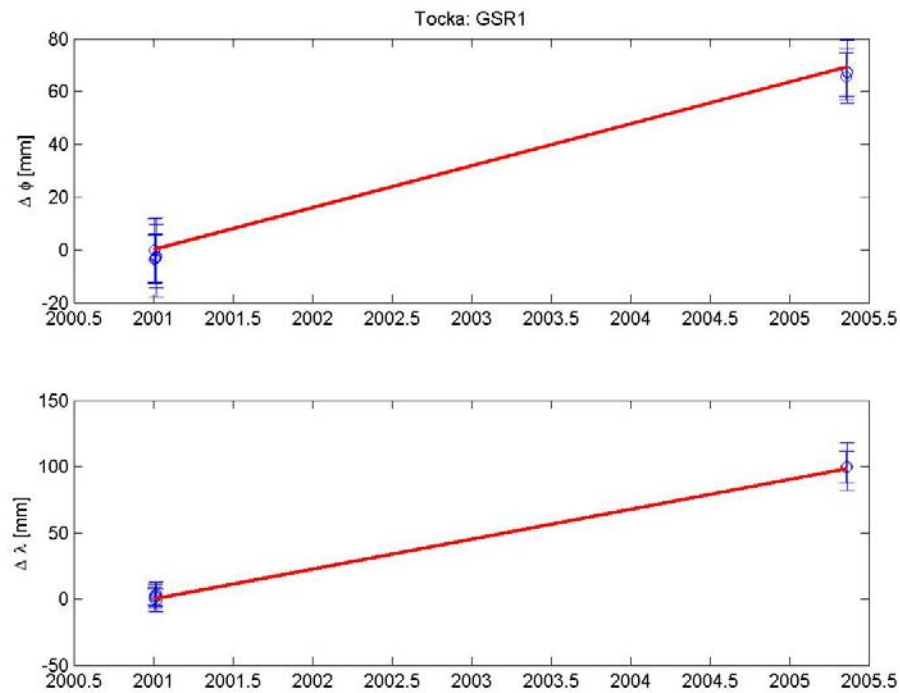
Na grafikonih od 1 do 4 so koordinate točk ϕ in λ prikazani z modrim krogcem, njihove natančnosti določitve pa z modrim intervalom. Slednje so zaradi boljše preglednosti prikazane povečano za faktor 30.



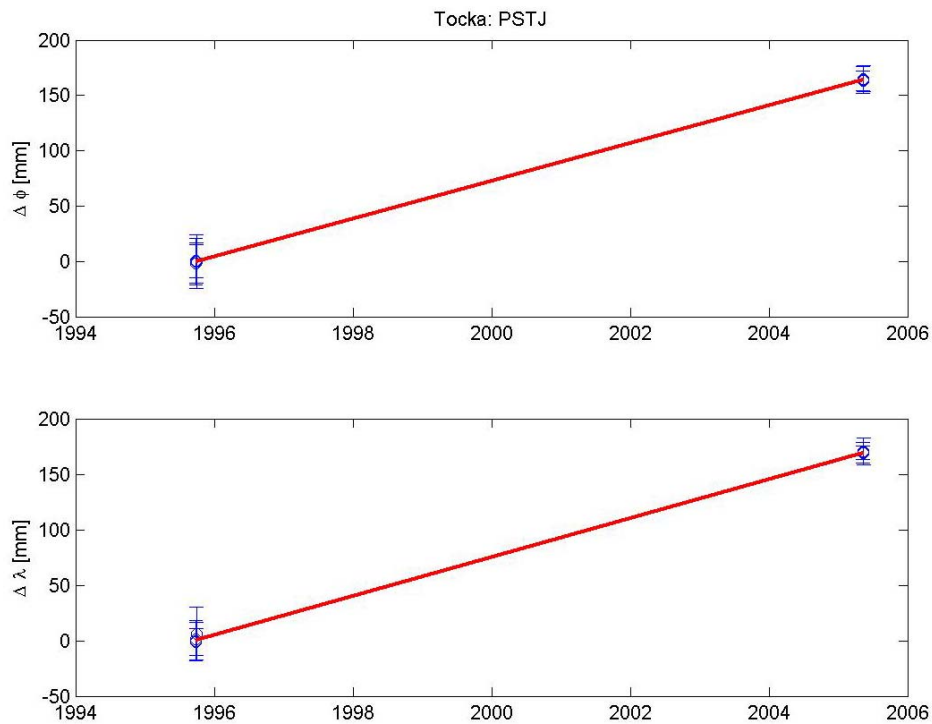
Grafikon 1: Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko FGG3.



Grafikon 2: Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko KRIM.



Grafikon 3: Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko GSR1.



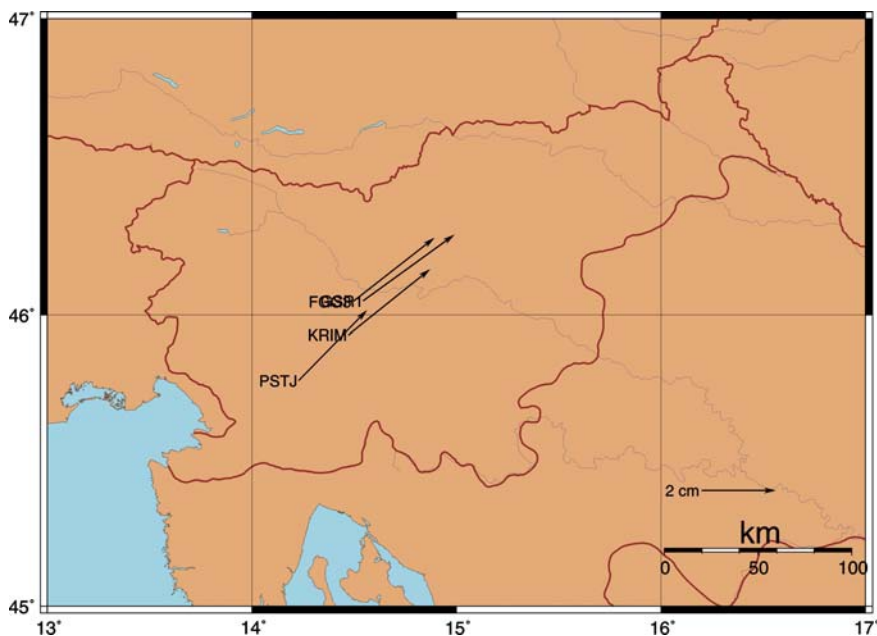
Grafikon 4: Prikaz premikov obravnavanih točk v smeri sever – jug in vzhod – zahod v obdobju med opazovanji za točko PSTJ.

Kot smo že omenili so hitrosti sprememb koordinat točk v zgornjih grafikonih predstavljene kot nakloni premic. Njihove vrednosti podajamo v preglednici 5.

Preglednica 5: Hitrosti spremembe koordinat položajev obravnavanih točk na leto

	hitrost v smeri (mm/leto)		hitrost v tangencialni ravnini (mm/leto)
	sever – jug	vzhod – zahod	
FGG3	16	21	27
KRIM	17	22	27
PSTJ	18	18	25
GSR1	17	22	28

Grafični prikaz vektorjev hitrosti premika obravnavanih štirih točk je prikazan na spodnji sliki.



Slika 8: Vektorji hitrosti premikov točk mreže.

Iz tako dobljenih hitrosti premikov opazovanih točk ter iz poznanega časovnega intervala med njimi smo preko enostavne enačbe $P = v \cdot t$ (premik P je opravljena pot s hitrostjo v v času t) določili premik v posamezni smeri, skupen premik ter iz njih azimut premika.

Preglednica 6: Vrednosti premikov obravnavanih točk

	premik v smeri (cm)		skupen premik (cm)	azimut premika (°E)
	sever – jug	vzhod – zahod		
FGG3	15,6	20,6	25,8	52,9
KRIM	16,0	21,1	26,4	52,8
PSTJ	17,1	17,2	24,3	45,2
GSR1	7,4	9,6	12,2	52,6

Na koncu podajamo še ekstrapolirane koordinate štirih obravnavanih točk določene v ITRF2000 koordinatnem sestavu za epoho 2000-01-01.

Preglednica 7: Koordinate položajev točk v ITRF2000 koordinatnem sestavu, določene za epoho 2000-01-01

točka	x (m)	y (m)	z (m)	RMS_x	RMS_y	RMS_z
FGG3	4293737,851	1110067,940	4569047,756	0,0007	0,0003	0,0007
KRIM	4303467,407	1110727,688	4560823,586	0,0007	0,0004	0,0008
PSTJ	4319956,357	1095408,136	4548544,954	0,0007	0,0003	0,0007
GSR1	4292609,565	1113639,197	4569215,603	0,0007	0,0003	0,0008

Iz prikazanih rezultatov je lepo razvidno, da so se vse obravnavane točke v globalnem smislu premaknile proti severovzhodu. Izračunana hitrost premika za vse točke je okoli 2 cm na leto. Ugotovimo lahko, da so premiki med seboj primerljivi tako po velikosti kot po smeri, le točka v Postojni (PSTJ) se od ostalih hitreje premika proti severu.

Interpretacijo dobljenih rezultatov, torej kaj ti premiki pomenijo, na tej točki prepuščamo strokovnjakom geologom, ki se bodo na podlagi skupne obdelave rezultatov teh in preteklih raziskav odločali o položajih točk nove geodinamične mreže na območju Ljubljane.

8 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je predstavljen eden izmed korakov za uspešno vzpostavitev nove geodinamične mreže na širšem območju Ljubljane. Na podlagi geološke opredelitve problema smo določili območja, kjer bi bilo potrebno stabilizirati geodinamične točke. Na terenu smo nato poiskali primerne lokacije. Rezultat rekognosciranja terena je 17 novih lokacij točk. K tem bi dodali še nekatere točke, ki so bile v uporabi že v preteklih GPS kampanjah (Krim, Dobravica, Dobeno, FGG, Petrol). Lokacija, kjer bi si želeli vzpostaviti geodinamično točko, je tudi Ljubljanski vrh pri Vrhniku in Soteški hrib pri Podgorici pri Ljubljani, vendar nam je bil dostop do obeh vrhov onemogočen zaradi vojaške službe.

Sam ogled terena je zahteval kar precej časa, saj je bilo potrebno na sorazmerno zahtevnem terenu (gozd, poselitev, zaraščanje, ipd) poiskati primerne lokacije za nove točke, ki so morale ustrezati tako zahtevam z geološkega vidika kot tudi z geodetskega. Pri tem se je kot ovira pokazala tudi neizkušenost dveh študentov na terenu. Sprva smo morali pridobiti občutek kolikšno zaraščanje terena je še dopustno, kaj se da očistiti in kako z gotovostjo trditi, da je nek izdanek kamnine trdno vraščen v teren in ni morda tja prinešen. S časom prebitim na terenu in s tako pridobljenimi izkušnjami, smo se proti koncu že dobro znašli. Prav zaradi neizkušenosti operaterjev na terenu je potrebno vse lokacije točk, pred odločitvijo o obliki mreže, še enkrat preveriti z vidika primernosti lokacije za postavitev geodinamične točke.

Poleg rekognosciranja smo zaradi boljše ocene geodinamičnega dogajanja opravili GPS meritve na štirih točkah, ki tvorijo nekakšen profil skozi obravnavano območje (Postojna, Krim, steber na strehi FGG št. 3 in permanentna postaja Ljubljana – GSR1). Na podlagi preteklih meritev iz leta 1995 za točke Postojna, Krim in FGG3 ter iz leta 2001 za GSR1 smo izračunali vektorje hitrosti premikov v globalnem smislu. Velikosti vektorjev in njihove smeri so bile v okviru pričakovanj in so skladne s predpostavkami, narejenimi na temelju preteklih raziskav na našem območju (PIVO, CERGOP).

Izračun smo opravili na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo na Oddelku za geodezijo. Sam izračun je potekal pod vodstvom somentorja g. Oskarja Sterleta. Njegovo poznavanje

programskega orodja Bernese GPS Software, Version 5.0 nam je prihranilo veliko časa, ker nam ni bilo potrebno spoznavati programa od začetka.

Sedaj so na voljo podrobnejše informacije o geodinamičnem dogajanju tudi na območju Ljubljane, ki je bilo v prejšnjih meritvah izpuščeno. Območje bodoče geodinamične mreže Ljubljane je pregledano in izbrane so možne lokacije, ki ustrezajo tako geodetskim kot geološkim zahtevam. Tako določene točke je potrebno še enkrat preveriti, izbrati in nato stabilizirati. Stabilizacijo bi opravil Geološki zavod Slovenije. Po stabilizaciji bi sledila izvedba ničelne meritve, s katero bi se pridobilo začetne položaje vseh točk. Na podlagi določene časovne baze, ki bi znašala od 3 do 4 leta, bi se nato izvajale ciklične meritve in ugotavljali premiki.

VIRI

Altamini Z., Sillard P., Boucher C. 2002. ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications. *Journal of geophysical research*, vol. 107, no. B10, str. 2214.

Buser S., Plesničar M. 1963. Geologija ljubljanske kotline s posebnim ozirom na potresne razmere. Ljubljana. RSS, Geološki zavod.

Kenyeres A., Bruyninx C. 2004. EPN coordinate time series monitoring for reference frame maintenance. *GPS Solutions* (2004), št. 8, str. 200-209.

Kogoj D. 1999/2000. Predavanja pri predmetu Geodezija II.

Koler B. 2002/2003. Predavanja pri predmetu Geodezija v inženirstvu II.

Mao A., Harrison C. G. A., Dixon T. H. 1999. Noise in GPS coordinate time series. *Journal of geophysical research*, vol. 104, no. B2, str. 2797-2816.

Mecej Z. 1990. Prodni zapis pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. *Geologija* 31, 32, letnik 1988/89. Ljubljana. str. 517-554.

Pavlovčič Prešeren P., Stopar B., Vrabc M. 2005. Hitrosti premikov ob prelomih v vzhodni Sloveniji: opazovanja iz let 1996, 1999 in 2002. *Geodetski vestnik*, letnik 49, št. 3, str. 407-415.

Pavšič J. 2002. Osnove geologije za študente gradbeništva in rudarstva (skripta). Učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za geologijo.

Ribarič V. 1984. Potresi. Ljubljana. Cankarjeva založba.

Sterle O. 2004. Zasnova koncepta GPS opazovanj za stalno spremljanje geodinamičnega dogajanja na širšem območju Premogovnika Velenje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Stopar B. 2002/2003a. Predavanja pri predmetu GPS.

Stopar B. 2002/2003b. Predavanja pri predmetu Višja geodezija II.

Stopar B., Koler B., Kuhar M. Geodezija – Osnovni geodetski sistem.

<http://www.izs.si/izpiti/gradivo/> (4.11.2005)

Stopar B., Kogoj D. Geodezija – Geodetska izmera. <http://www.izs.si/izpiti/gradivo/>

(4.11.2005)

Stopar B., Pavlovčič P. 2001. GPS v geodetski praksi (študijsko gradivo). Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo.

Tavčar D. 1998. Obdelava GPS opazovanj v EUREF SLO 95. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Vodopivec F., Kogoj D., Breznikar A., Koler B., Stopar B., Kuhar M., Savšek-Safić S., Ambrožič T., Jaklič S., Pavlovčič P. 1999. Projekt stalnega določanja tektonskih premikov vzdolž orliškega preloma, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, raziskovalni projekt: L2-1306-0792-509-99/44.

Vodopivec F., Kogoj D., Koler B., Stopar B., Mioč P., Žnidaršič M., Aničič B. 1994. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, raziskovalni projekt: P2-5234-0792-93.

Vodopivec F., Kogoj D., Koler B., Stopar B., Kuhar M., Savšek-Safić S. 1995. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, raziskovalni projekt: P2-5234-0792-93.

Vodopivec F., Kogoj D., Koler B., Breznikar A. 1996. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, raziskovalni projekt: P2-5234-0792-95.

Vrabec M., Pavlovčič Prešeren P., Stopar B. 2005. Aktivni premiki ob prelomih periadriatskega prelomnega sistema v vzhodni Sloveniji: prvi rezultati GPS-meritev (razširjen povzetek). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004: zbornik predavanj/10. srečanje, 2005, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG. str. 83-86.

Vrabec M., Fodor L. 2005. in press: Late Cenozoic tectonics of Slovenia: Structural styles at the northeastern corner of the Adriatic microplate. In: N. Pinter, G.Grenerczy, J. Weber, D.

Medak & S. Stein (eds.): The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards. Kluwer Academic Publishers. [due early 2005]

Weber J., Vrabec M., Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Dixon T. 2005. Študija premikov Jadranske mikroplošče in aktivnih tektonskih deformacij v Sloveniji in Istri na osnovi GPS-opazovanj (razširjen povzetek). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004: zbornik predavanj/10. srečanje, 2005, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG. str. 87-89.

URL naslovi:

<http://core2.gsfc.nasa.gov/dtam/dtam/> (22.08.2005)

http://comet.nerc.ac.uk/schools_eq_tectonics.html (22.08.2005)

<http://igsjb.jpl.nasa.gov/> (27.10.2005)

<http://igsjb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2001/msg00450.html> (27.10.2005)

<http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE/yyyy> (27.10.2005)

<http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/> (22.10.2005)

<http://www.bf.uni-lj.si/pedologija/geolkaz.html> (30.09.2005)

<http://www.geologija.uni.cc/> (18.10.2005)

<http://www.gps.gov.uk/guide6.asp> (27.10.2005)

<http://www.gu-signal.si> (20.08.2005)

<http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn32> (22.08.2005)

<http://www.izs.si/izpiti/gradivo/> (4.11.2005)

<http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm> (22.08.2005)

<http://www.ntfgeo.uni-lj.si/mvrabec/publications/> (15.10.2005)

<http://www.oso.chalmers.se/loading/> (27.10.2005)

PRILOGE

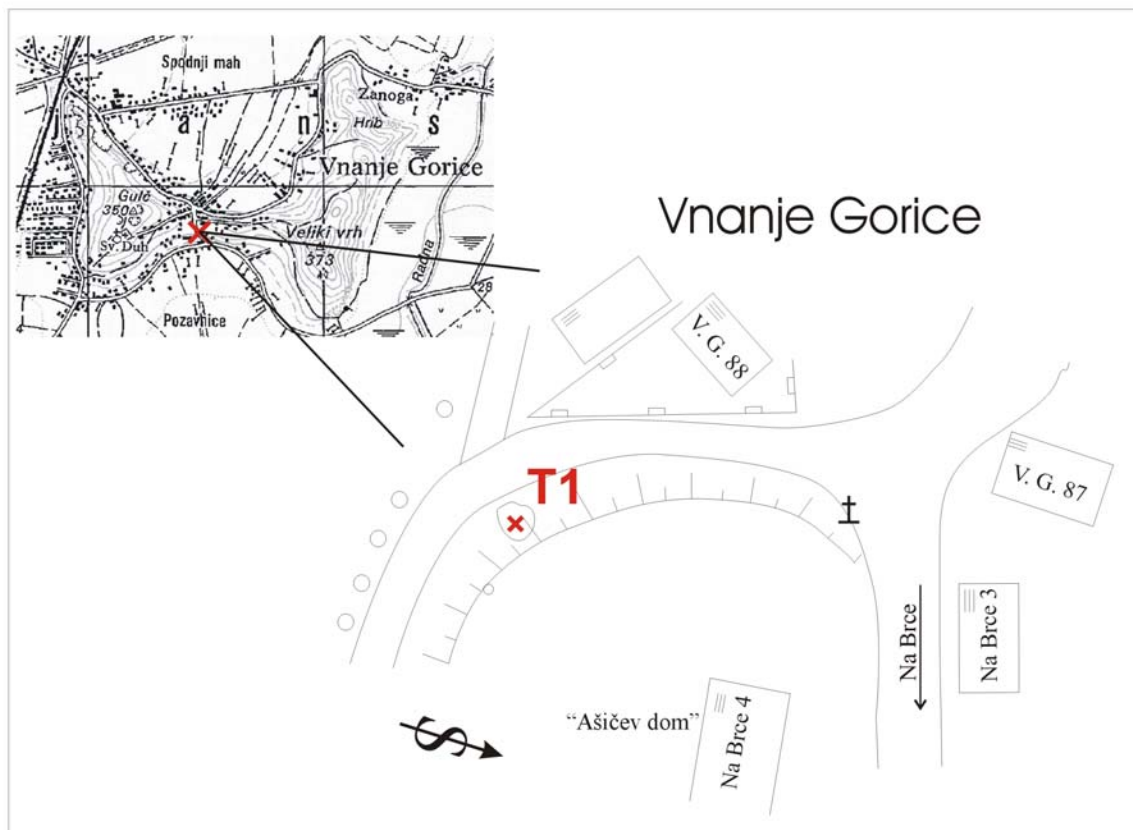
Priloga A: Topografija in fotografije točke T1 – Vnanje Gorice.....	ii
Priloga B: Topografija in fotografije točke T2 – Notranje Gorice	iv
Priloga C: Topografija in fotografije točke T3 – Dobčenica	vi
Priloga D: Topografija in fotografije točke T4 – Krim (obstoječa).....	viii
Priloga E: Topografija in fotografije točke T5 – Zgornja Slivnica.....	x
Priloga F: Topografija in fotografije točke T6 – Mali Konec	xii
Priloga G: Topografija in fotografije točke T7 – Jordanov kot	xiv
Priloga H: Topografija in fotografije točke T8 – Koreno nad Horjulom 1	xvi
Priloga I: Topografija in fotografije točke T9 – Koreno nad Horjulom 2.....	xviii
Priloga J: Topografija in fotografije točke T10 – Gumnišče	xx
Priloga K: Topografija in fotografije točke T11 – Babna Gorica	xxii
Priloga L: Topografija in fotografije točke T12 – sv. Ana nad Podpečjo	xxiv
Priloga M: Topografija in fotografije točke T13 – Goričica.....	xxvi
Priloga N: Topografija in fotografije točke T14 – Buven.....	xxviii
Priloga O: Topografija in fotografije točke T15 – Gorica (pri Mengšu)	xxx
Priloga P: Topografija in fotografije točke T16 – grad Smlednik.....	xxxii
Priloga Q: Topografija in fotografije točke T17 – Šmarna gora.....	xxxiv
Priloga R: Topografija in fotografije točke T18 – Toško Čelo.....	xxxvi
Priloga S: Pregledna karta vseh izbranih lokacij za nove točke vključno z obstoječimi ..	xxxix
Priloga T: Zapisnik GPS-meritev na točki Krim – KRIM.....	xli
Priloga U: Zapisnik GPS-meritev na točki Postojna – PSTJ	xliii
Priloga V: Zapisnik GPS-meritev na točki steber na FGG št. 3 – FGG3.....	xliv

Priloga A: Topografija in fotografije točke T1 – Vnanje Gorice

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T1**

OPOMBE:

Točka leži na trdni skali na nasipu, pogled je odprt na jug, prostor za šotor je na ravnem delu zahodno od "Ašičevega doma".

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - vzhodno od točke srednje veliko drevo

- na sredini nasipa

- potrebno očistiti okolico točke (zaraščenost)

Datum: 23.3.2005

" T1 – Vnanje Gorice"



izdanek kamnine



pogled na JZ

Ašičev dom



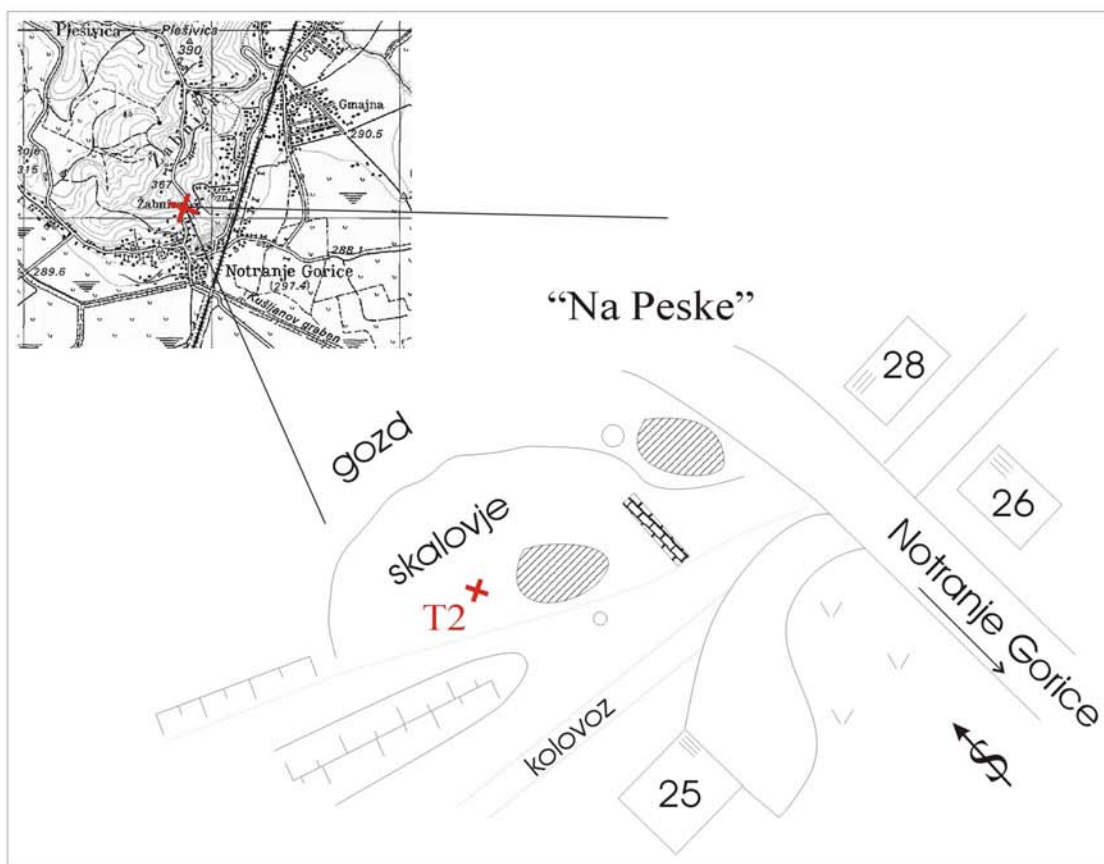
potrebno očistiti
podrast

Priloga B: Topografija in fotografije točke T2 – Notranje Gorice

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T2**

OPOMBE:

Točka lahko leži na eni izmed trdnih skal zahodno od večje skale
Prostor je odprt na jug, potrebno je čiščenje podrasti.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - JV od točke manjše drevo

- severno in zahodno od točke visoka drevesa - gozd
- hiša (Na Peske 25) predstavlja manjšo oviro
- potrebno očistiti okolico točke (zaraščenost)
- na naslovu Na Peske 25 razumevajoči ljudje
- točka naj bi stala na državnem zemljišču (nepreverjeno)

Datum: 23.3.2005

" T2 – Notranje Gorice, Na Peske"



izdanek
kamnine



Na Peske 25



pogled na pogozen grič
na severni strani točke



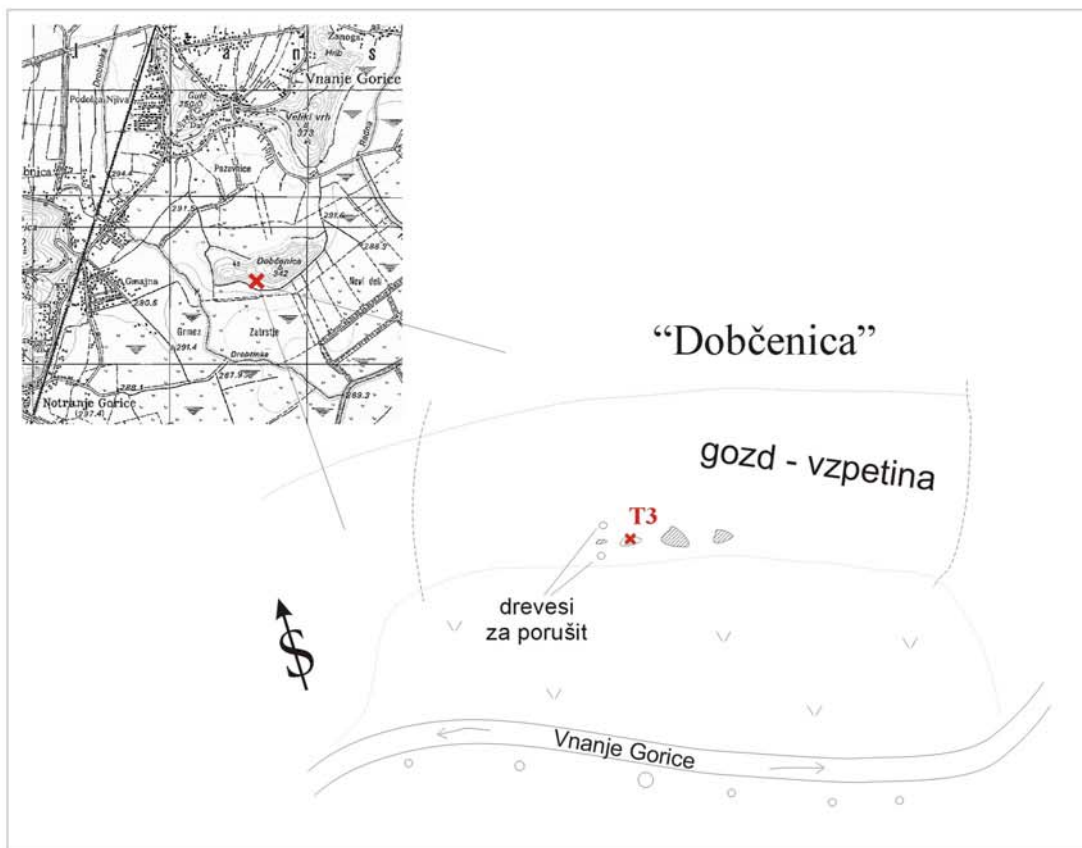
pogled s ceste na točko

Priloga C: Topografija in fotografije točke T3 – Dobčenica

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T3**

OPOMBE:

Točka lahko leži na južni strani griča Dobčenica južno od Vnanjih Goric. Skale - izdanki se nahajajo na vznožju vzpetine, na obrobju jase. Grič je poraščen z gozdom. Za predvideno lokacijo bi bilo potrebno posekati dve manjši drevesi v neposredni bližini skale - zahodno. Lastnik za zdaj še ni znan. Prostor je odprt na jug.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - Z od točke dve manjši drevesi - potrebno očistiti okolico točke
- severno od točke visoka drevesa - gozd

Datum: 23.3.2005

" T3 – Dobčenica, Vnanje Gorice"



izdanek
kamnine



drevesi, ki bi ju bilo
potrebno porušiti



pogled na jaso in grič na
severni strani točke,

viden tudi kolovoz po
katerem se pride do točke

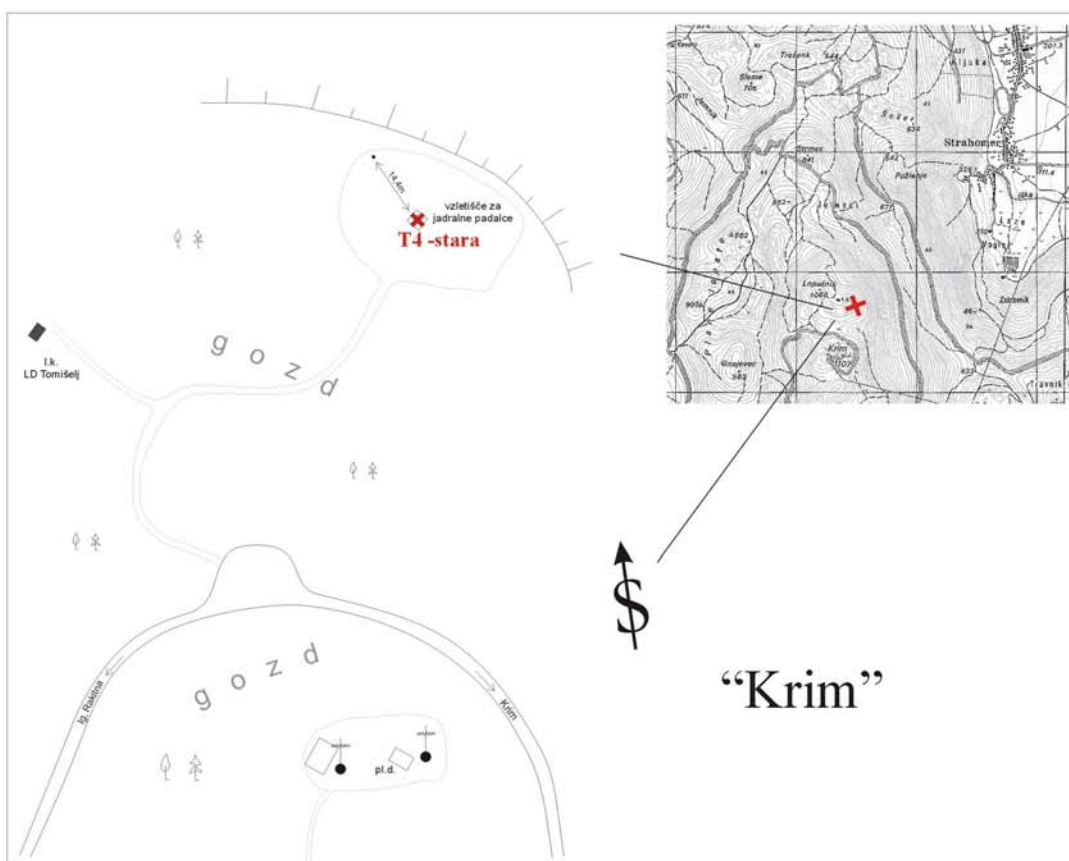


Priloga D: Topografija in fotografije točke T4 – Krim (obstoječa)

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T4 -stara**

OPOMBE:

Točka se nahaja pod vrhom Krima, severno od vrha (anten) na vzletišču za jadralne padalce. Dostop je možen z avtom po gozdni cesti, ki pelje tudi do lovske kočice LD Tomišelj. Kovinski čep je stabiliziran v betonsko podlago dimenzij cca. 40 x 40 cm in je v nivoju terena. Točka je odprta na jug. S točke se vidijo antene in planinski dom na Krimu.

Dostop: - z avtom do točke (gozdna pot)

Ovire: - ovir za GPS praktično ni

Datum: 6.4.2005

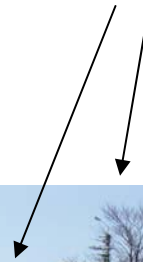
"T4 – Krim - obstoječa točka"



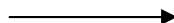
stabilizacija točke



anteni na vrhu Krima



pogled proti vrhu Krima
proti jugu



stojalo za vetrokaz



pogled proti Barju



Priloga E: Topografija in fotografije točke T5 – Zgornja Slivnica

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T5**



OPOMBE:

Točka se nahaja med Zgornjo Slivnico in Repčami. Nahaja se na pobočju pod hišami z začetnimi številkami Zg. Slivnice. V neposredni bližini sta dve liniji električnih vodov. En steber bližnjega voda je A oblike. Tam se nahajajo trije izdanki, od katerih bi bil srednji primernejši. Od njega so pomerjene razdalje do vzhodne noge droga A, dveh lesenih stebrov žičnate ograje pašnika ter naslednjega stebra električnega voda.

Dostop: - z avtom do bližine točke. Možno ga je pustiti ob cesti pri hiši 3d.

Ovire: - ovir za GPS praktično ni

- možna ovira je zaraščanje terena v okolici

- lastnik za zdaj neznan

Datum: 29.3.2005

"T5 – Repče, Zg. Slivnica"



izdanek kamnine



cesta

začetek Zg. Slivnice
(št. 3d)

začetek Zg. Slivnice
(št. 3d)



točka



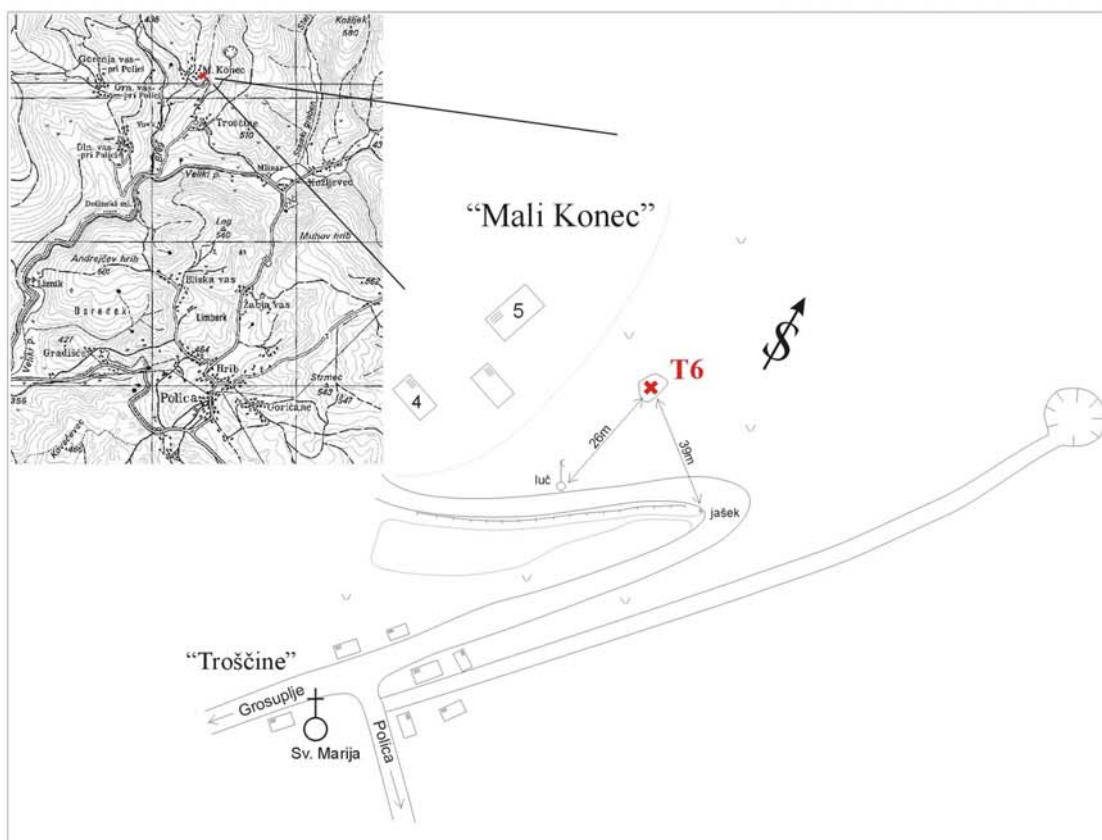
pogled s ceste na
točko

Priloga F: Topografija in fotografije točke T6 – Mali Konec

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T6**

OPOMBE:

Točka se nahaja med vasema Troščine in Mali Konec. Nahaja se na pobočju pod vasjo Mali Konec. Tam je nekaj izdankov. Eden izmed njih je pomerjen do luči javne razsvetljave in občestnega jaška pri dovozu na dvorišče. Odprt je pogled na jug in na vas Troščine, katere stavbe pa ne predstavljajo ovir. Na južem delu vasi Troščine (severno od Velikega potoka) je še nekaj primernih lokacij - na pobočju hriba, le neposreden dostop z avtom ni mogoč.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - ovir za GPS praktično ni

- možna ovira je zaraščanje terena v okolici

- lastnik za zdaj neznan

Datum: 30.3.2005

"T6 – Mali Konec"



izdanek kamnine ←

↓ Mali Konec št. 5



← pogled na točko in vas
Mali Konec

pogled na točko
in vas Troščine –
pogled na jug →

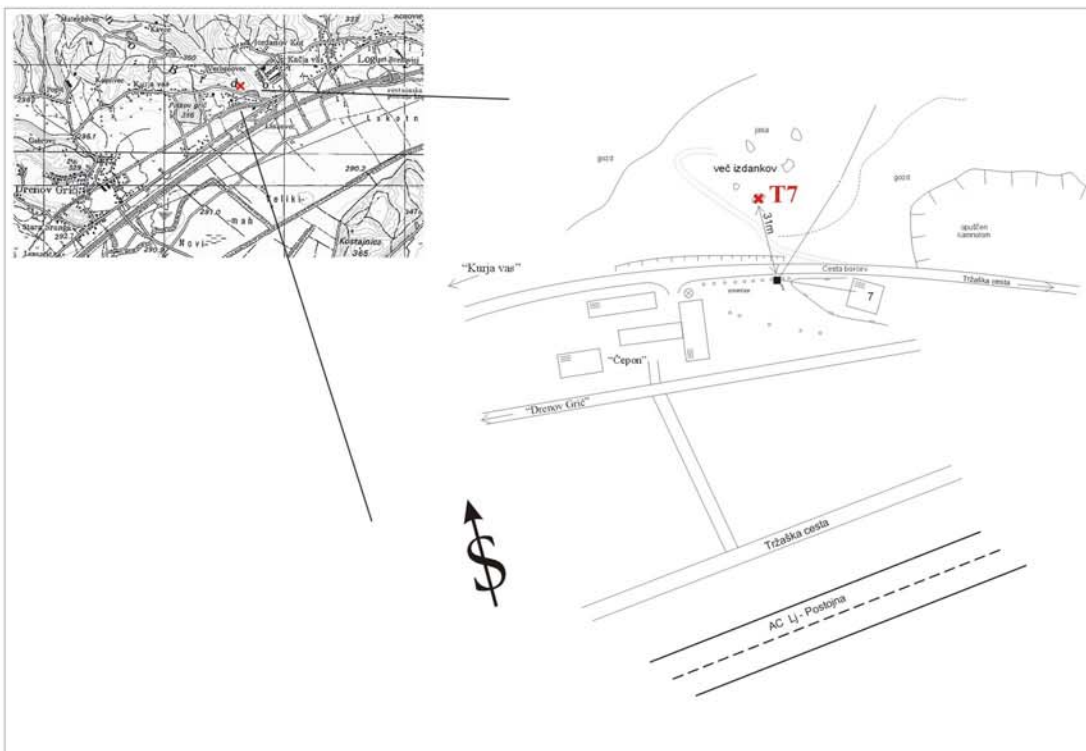


Priloga G: Topografija in fotografije točke T7 – Jordanov kot

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T7**

OPOMBE:

Točka se nahaja južno od naselja Jordanov kot na poti iz Ljubljane do Vrhnike. Na Cesti borcev se pri hišni številki 7 zavije na gozdno pot, kjer je na malo poraščeni čistini večje število izdankov. Mimo vodi tudi električna napeljava. Eden izmed primernih izdankov je pomerjen do transformatorja. Območje izdankov naj bi bilo last Franca Končan, stanujočega na kmetiji na koncu Jordanovega kota. Zemljišče je tudi zazidljivo in zato obstaja rizik pozidave.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - odprto protu jugu, na severu vzpetina

- možna ovira je zaraščanje terena v neposredni okolici

- možna pozidava

Lastnik: Franc Končan, Jordanov kot (kmetija na koncu naselja)

Datum: 31.3.2005

"T7 – Jordanov kot - jug, Log pri Brezovici"



izdanek kamnine



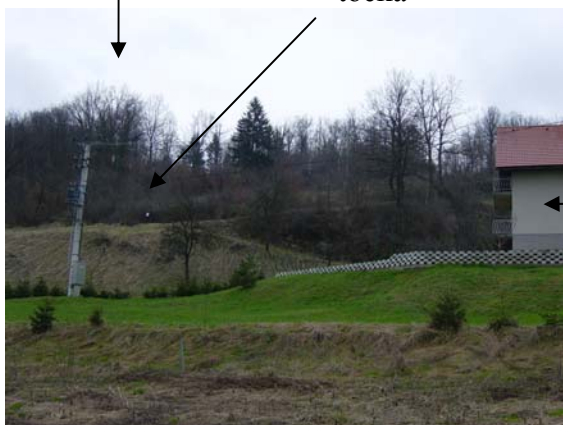
Cesta borcev št. 7

izdanek



pogled na vzpetino
med Cesto borcev in
Jordanovim kotom
– pogled na sever –

točka



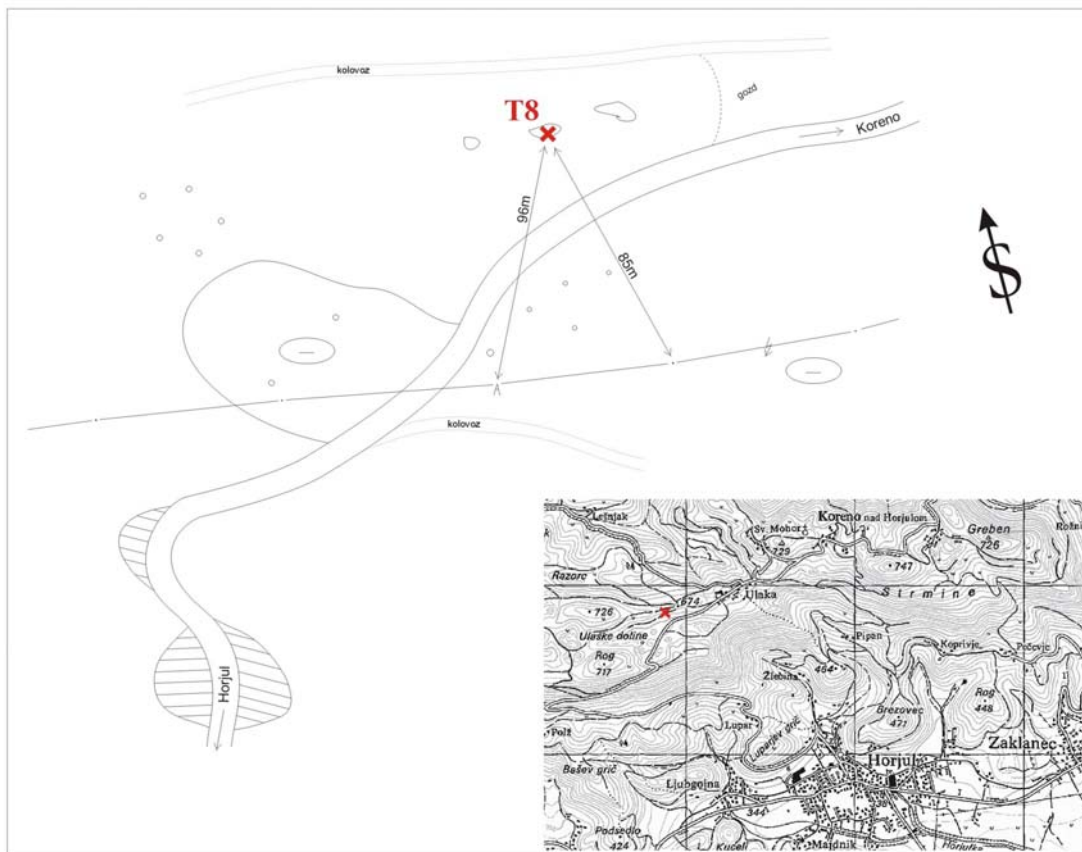
Cesta borcev št. 7

Priloga H: Topografija in fotografije točke T8 – Koreno nad Horjulom 1

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T8**

OPOMBE:

Točka se nahaja na poti med Horjulom in Korenom nad Horjulom, kakšnih 200m pred tablo za Koreno. Na pobočju je več izdankov, ki so primerni za točko. Eden izmed njih je pomerjen no dveh drogov električnega voda. Pogled je odprt na jug in ovir za GPS takorekoč ni (pobočje na severni strani se nadaljuje). Točka bi lahko dopolnila točko T10 na vrhu hriba.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - ovir za GPS praktično ni

- možna ovira je zaraščanje terena v okolici

- lastnik za zdaj neznan

Datum: 31.3.2005

"T8 – Koreno nad Horjulom 1 – pred vasjo"



izdanek kamnine



pogled s ceste v smeri proti
vasi Koreno na Horjulom
-pogled na sever-



dodaten pogled na točko in
cesto

A drog električne
napeljave, do katere je
točka pomerjena

Priloga I: Topografija in fotografije točke T9 – Koreno nad Horjulom 2

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T9**

OPOMBE:

Točka se nahaja vrhu hriba v vasi Koreno (nad Horjulom) pri zahodni GSM anteni. Sama lokacija je boljša kot pri točki T8. Zahodno od cerkve je še ena GSM antena, zraven nje pa geodetska točka verjetno enega višjih redov. Okoli zahodne antene je tudi nekaj skal, vendar je težko reči kako globoke in velike so. Severno od točke T9 je teren zarašččen, drevo od katerega je izdanek odmerjen pa ne predstavlja ovire. Točka je tudi pomerjena od stebra GSM antene.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - ovir za GPS praktično ni

- možna ovira je zaraščanje terena v okolici

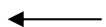
- lastnik za zdaj neznan

Datum: 31.3.2005

"T9 – Koreno nad Horjulom 2 – v vasi"



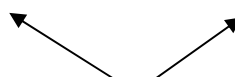
izdanek kamnine



Koreno 8a



GSM antena



pogled proti vrhu s ceste
Horjul – Koreno
(točka je bela pika na sliki)

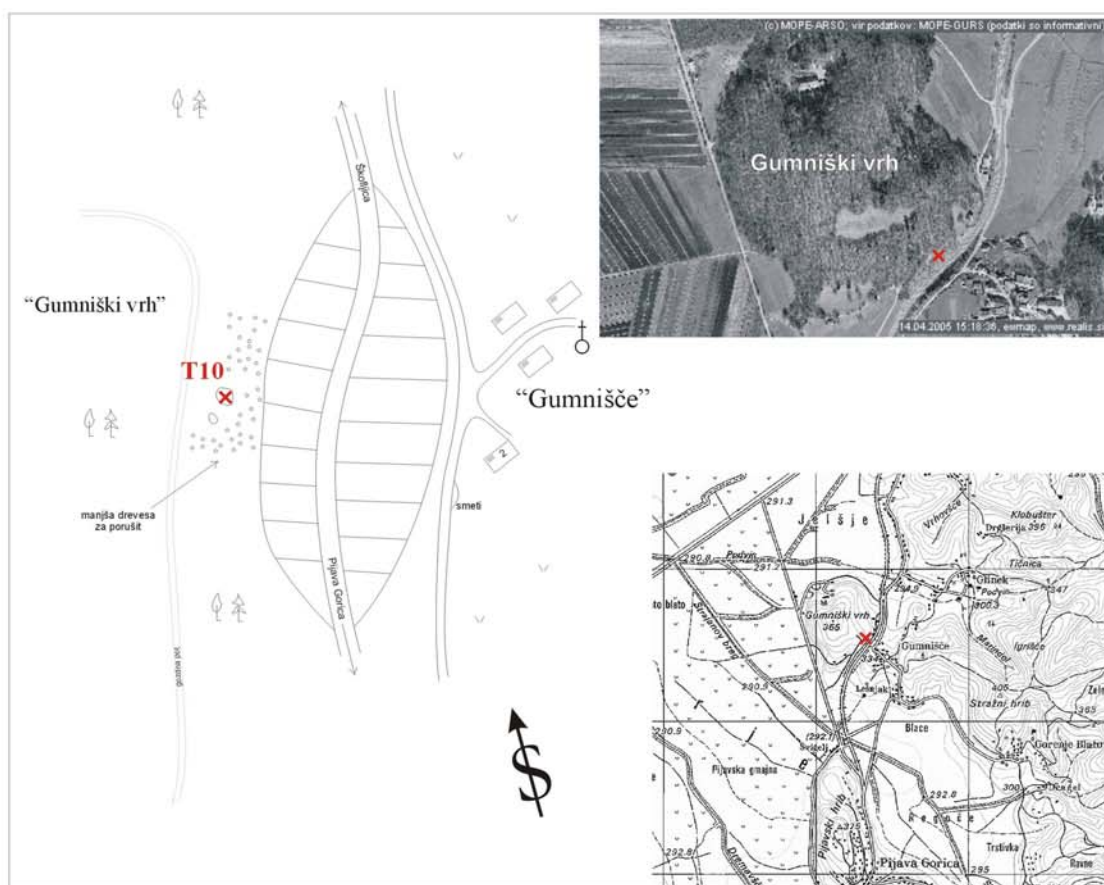
Priloga J: Topografija in fotografije točke T10 – Gumnišče

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T10**



OPOMBE:

Točka se nahaja na vzhodnem robu Gumniškega vrha, nad ukopom ceste Ljubljana - Kočevje. Na drugi strani ceste je vas Gumnišče. Na manjši čistini je nekaj izdanekov. Žal je čistina obraščena z drevesi, ki ovirajo GPS signal, zato bi jih bilo potrebno na južni strani posekat. Dostop je mogoč z avtom po slabši gozdni poti.

Dostop: - z avtom do točke - po gozdni poti

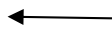
Ovire: - mlajša drevesa okoli čistine, kjer je izdanek - potrebno posekat
 - možna ovira je zaraščanje terena v okolici
 - zemljišče je verjetno državno (zaradi bližine ceste)

Datum: 15.4.2005

"T10 – Gumniški vrh"



izdanek
kamnine



pogled na vas Gumnišče
(čez cesto)



pogled proti jugu in drevesa,
ki bi jih bilo potrebno za
uporabnost točke posekati

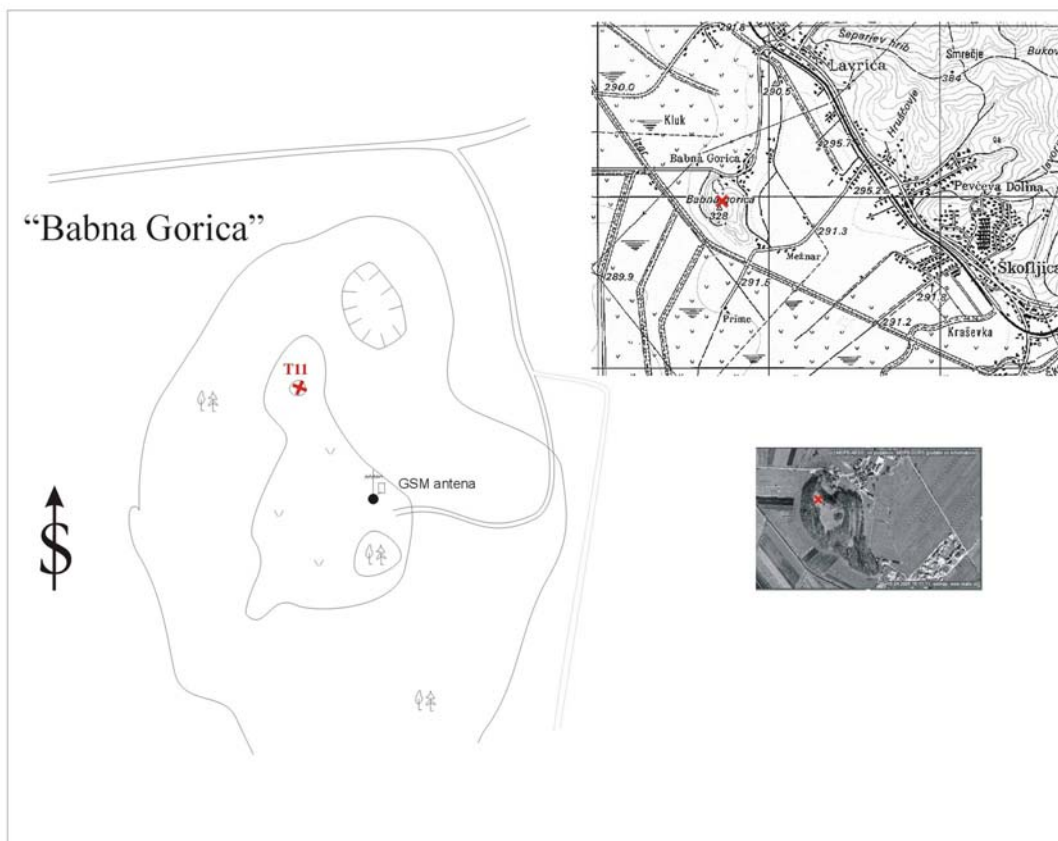


Priloga K: Topografija in fotografije točke T11 – Babna Gorica

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T11****OPOMBE:**

Točka se nahaja na severnem delu jase na vrhu Babne Gorice. Drevesa na J in JZ strani predstavljajo določeno oviro za GPS signal do višinskega kota okoli 45°. Pogled pa je odprt na JV proti GSM anteni. Dostop je mogoč z avtom po gozdni poti, ki pelje do vrha griča. Jaso verjetno uporabljajo za košnjo, kar predstavlja določeno nevarnost za samo točko, ker je skala v nivoju s terenom in ne izdanja veliko.

Dostop: - z avtom do točke (gozdna pot)

Ovire: - ovira so drevesa na J in JZ do okoli 45°
- lastnik za zdaj neznan

Datum: 15.4.2005

"T11 – Babna Gorica"



izdanek
kamnine

GSM antena
(v ozadju)



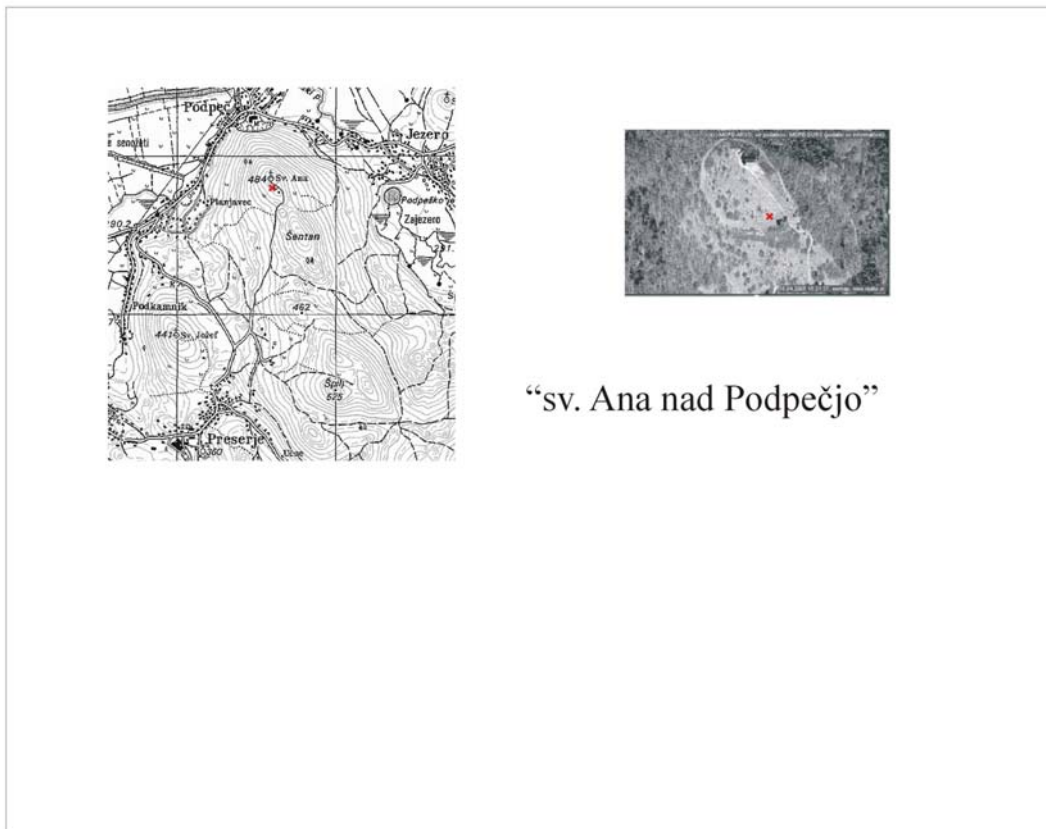
pogled proti točki s
smeri GSM antene
-severni del jase-

Priloga L: Topografija in fotografije točke T12 – sv. Ana nad Podpečjo

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T12**

OPOMBE:

Točka se nahaja pri cerkvi sv. Ane nad Podpečjo, na južnem robu ljubljanskega barja. Točka je bila izbrana za “zapolnitev” območja med Krimom in Borovnico. Okolica cerkvice je bila v času ogleda na sveže posekana in očiščena podrasti. Verjetno bo okolica namenjena pašniku (naše predvidevanje). Na južnem pobočju je več izdankov primernih za točko. S križcem je označen eden izmed večjih, v bližini kamnite mize.

Dostop: - z avtom do točke (gozdna pot)

Ovire in opombe: - manjša ovira je bližnja smreka

- točka na območju, kjer bo verjetno pašnik
- vetrovno območje
- več primernih izdankov

Datum: 15.4.2005

"T12 – Podpeč, sv. Ana"



eden izmed izdankov



pogled z vrha na točko
in bližnjo kamnito
klopico



kamnita miza in
klopce



cerkev sv. Ane

pogled s smeri klopice
proti cerkvi



izdanek

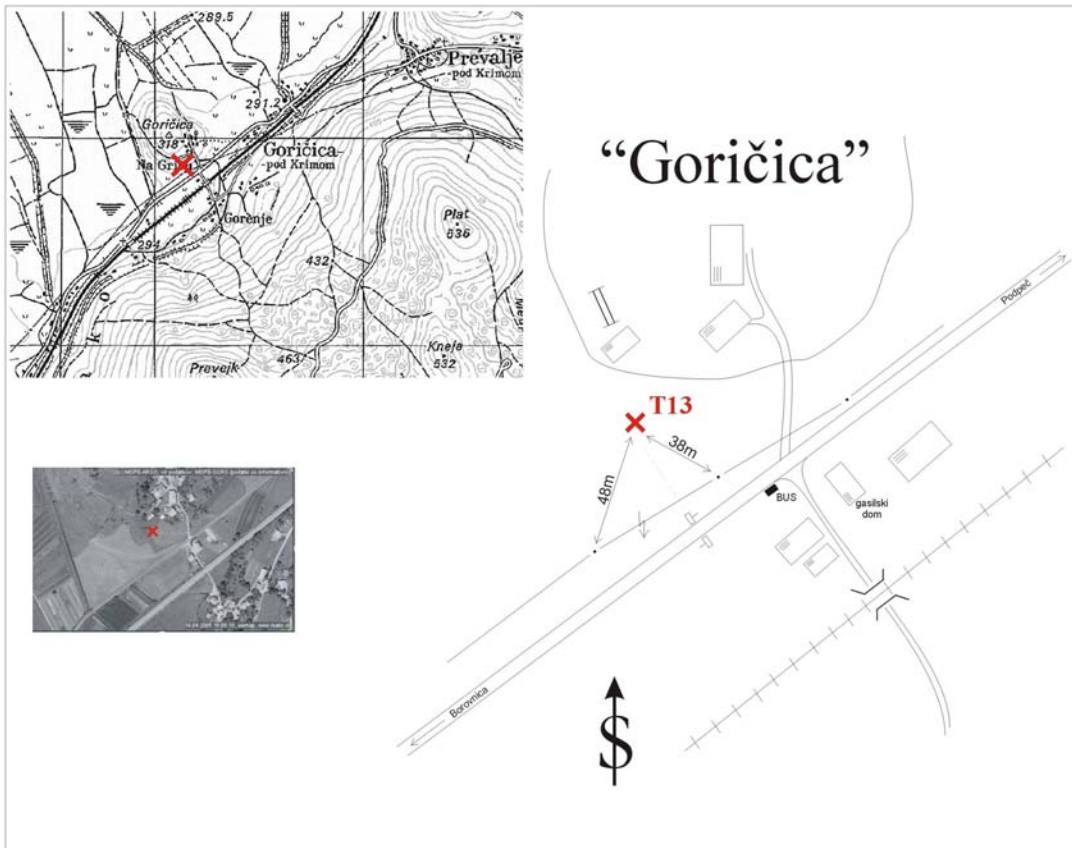


Priloga M: Topografija in fotografije točke T13 – Goričica

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T13**

OPOMBE:

Točka se nahaja pri naselju Goričica, na severni strani ceste Podpeč - Borovnica. Na travniku na južni strani griča je več izdankov, od katerih je eden pomerjen do dveh stebrov električne napeljave. Izdanek se nahaja v višini tabel z napisom naselja. Točka je na sredini travnika.

Dostop: - z avtom do točke

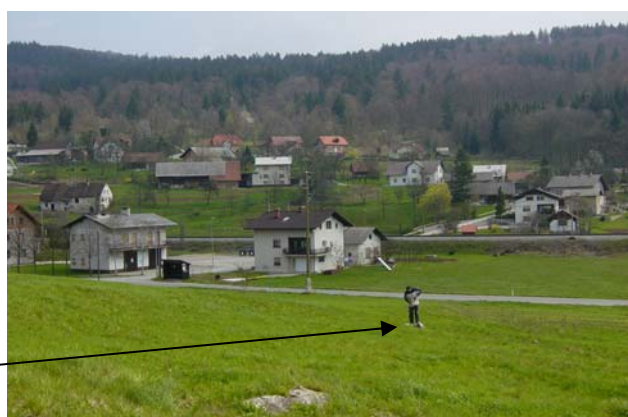
Ovire: - ovir za GPS praktično ni
- lastnik za zdaj še ni znan

Datum: 15.4.2005

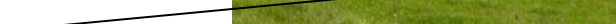
"T13 - Goričica"



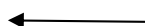
eden od izdankov



izdanek



pogled na severni del
Goričice – s ceste proti SV



pogled na severni del
Goričice –
s ceste proti S - SZ



izdanek

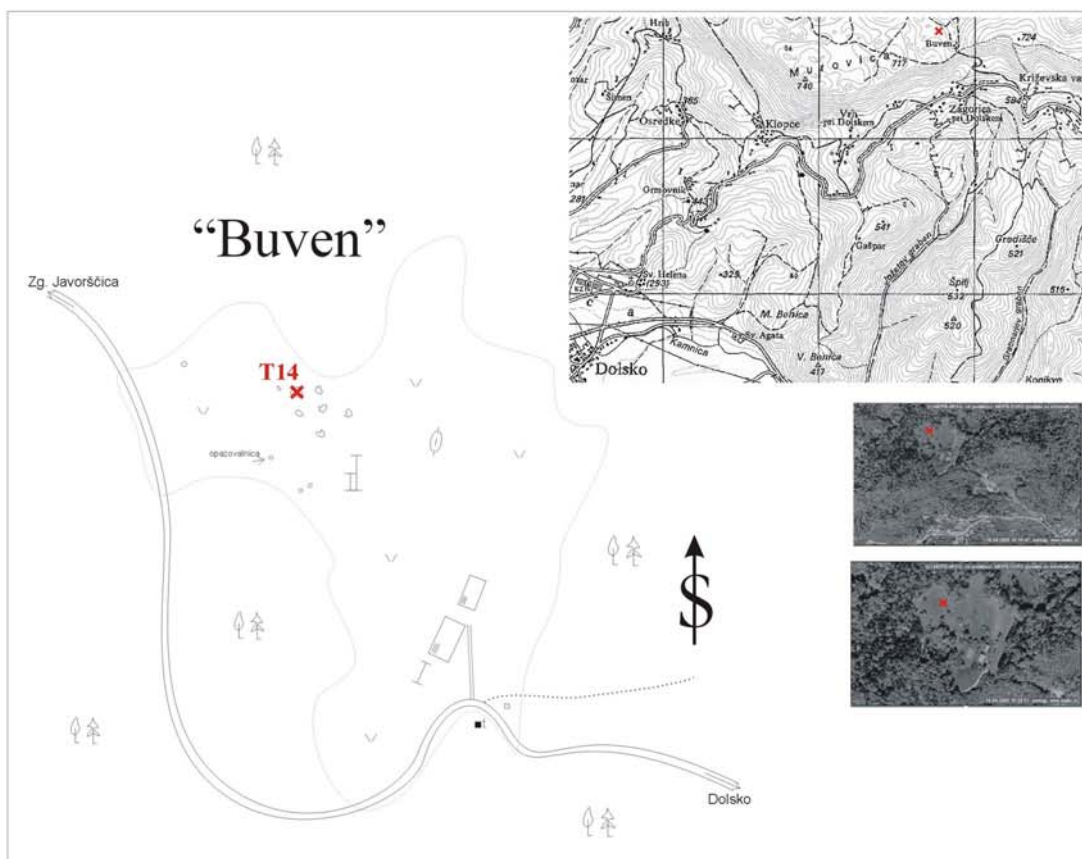


Priloga N: Topografija in fotografije točke T14 – Buven

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T14**

OPOMBE:

Točka se nahaja na jasi ob gozdni cesti med Zgornjo Javorščico in Križevsko vasjo. Jasa se nahaja tik preden se cesta spusti po hribu strmo navzdol proti Križevski vasi in naprej do Dolskega. Na severnem delu jase je več primernih izdankov. Ker jasa ni tako velika in je podobna veliki vrtači, drevesa na južnem delu jase predstavljajo določeno oviro (do 30°). Bolj primerne lokacije na tem območju ni bilo moč najti. V Sp. Javorščici je bilo še nekaj izdankov, a ležijo na pobočju in so usmerjeni na sever.

Dostop: - z avtom do točke po gozdni cesti (do Križevske vasi je asfalt)

Ovire: - ovira za GPS so drevesa na J in JZ delu jase
- možna ovira je zaraščanje terena v okolici
- lastnik za zdaj neznan

Datum: 15.4.2005

"T14 – Buven (med Dolskim in Zg. Javorščico)"



izdanek

pogled proti JV



pogled na več
izdankov



pogled na izdanke s
smeri kapelice
- pogled na SZ -



pogled s ceste proti
zahodu

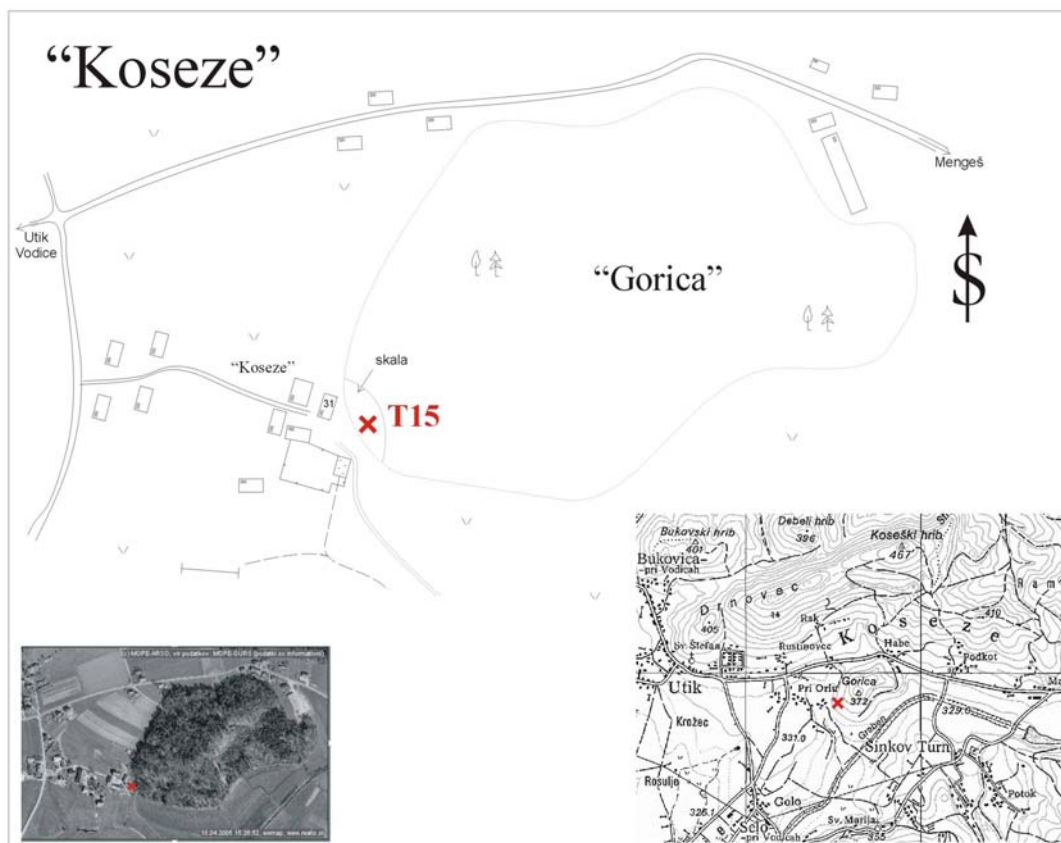


Priloga O: Topografija in fotografije točke T15 – Gorica (pri Mengšu)

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T15**

OPOMBE:

Točka se nahaja v naselju Koseze pri griču Gorica, med Mengšem in Utikom. Grič Gorica je poraščen z gozdom, a na njegovem JZ delu, pri hišah, je večja skala. Je v neposredni bližini hiše oz. gospodarskega poslopja. Slabost točke je, da se skala nahaja v bližini gnoja. Lastnik se načeloma strinja s postavitvijo točke na tem mestu.

Dostop: - z avtom do točke - skozi dvorišče zadnje hiše

Ovire: - ovir za GPS tako rekoč ni

- grič v ozadju točke je poraščen

- v neposredni bližini je gnoj, kar lahko predstavlja oviro (vonj)

Datum: 16.4.2005

"T15 – Koseze, Gorica (pri Mengšu)"



izdanek
kamnine



pogled s točke proti jugu



Koseze št. 31

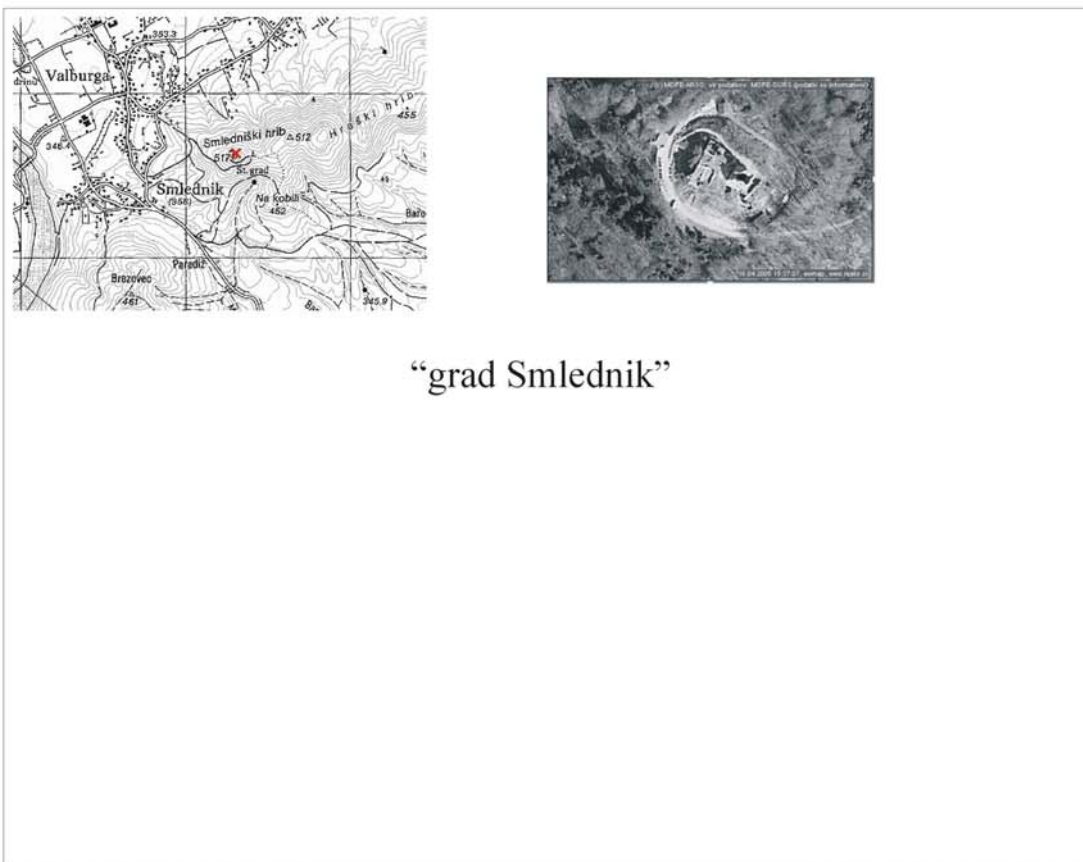


Priloga P: Topografija in fotografije točke T16 – grad Smlednik

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T16****OPOMBE:**

Točka se nahaja pri starem gradu v Smledniku. Ruševina gradu stoji na veliki skali. Točko se lahko stabilizira nekam v to skalo. Velika ovira pa je dejstvo, da je ta lokacija zelo priljubljena izletniška točka. Dodatna slabost pa je, da je skala prirejena kot plezalno igrišče za otroke. Grad je bil v času ogleda v obnovi, ki pa lahko traja še dolgo časa. Potreben je še en strokovni ogled, na podlagi katerega bi se ugotovila uporabnost lokacije.

Dostop: - z avtom do vrha - gradu

Ovire: - priljubljena izletniška lokacija

- grad v obnovi

- skalo uporabljajo kot plezalno igrišče

Datum: 16.4.2005

"T16 – Smlednik – stari grad"



primera kamnin na
dveh mestih



sestavljen pogled na skalo
pod ruševino gradu



južna stran gradu

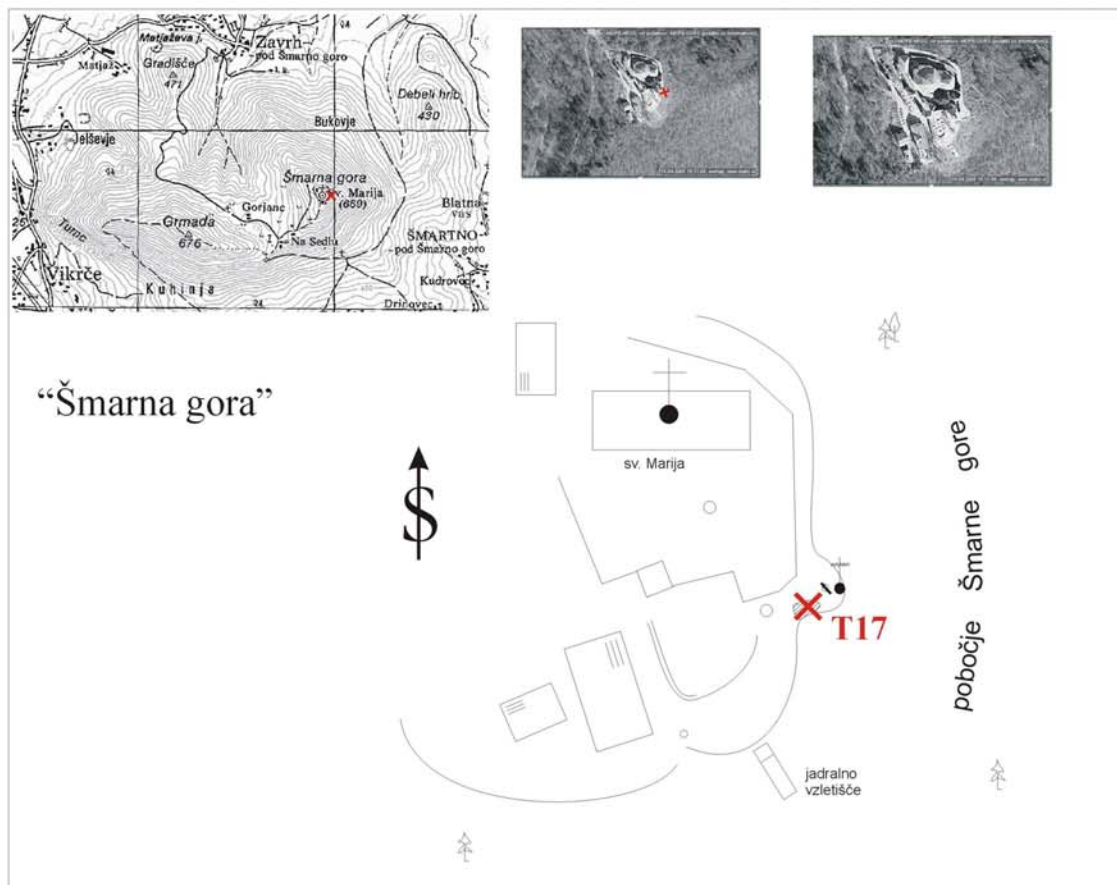


Priloga Q: Topografija in fotografije točke T17 – Šmarna gora

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T17**

OPOMBE:

Točka se nahaja na vrhu Šmarne gore pri daljnogledu in anteni. Tam je izdanek, ki je primeren z geološkega vidika. Z geodetskega vidika pa je nekaj ovir. Točka je zelo obljudena in večdnevno opazovanje bi bilo dokaj moteno. Okoli izdanka je potrebno zudi počistiti manjše grmovje, ki moti sicer odprt pogled na jug. Na območju Šmarne gore je to edina primerna lokacija.

Dostop: - s terenskim avtom po zelo zahtevni gozdni cesti do vrha

Ovire: - obljudena točka

- manjše grmovje, ki ga je treba posekati

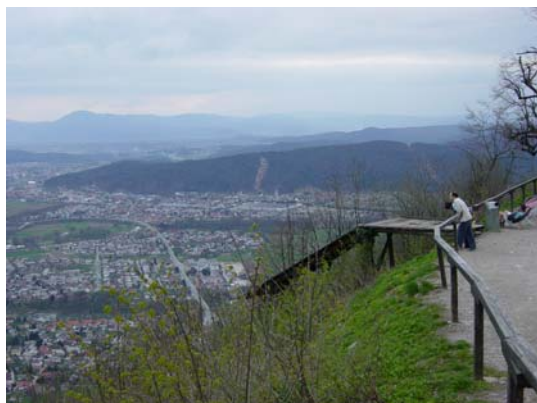
- za dostop potrebno terensko vozilo, drugače peš 300m višinske razlike

Datum: 16.4.2005

"T17 – Šmarna gora - vrh"



izdanek



pogled s točke
proti jugu

okolica izdanka

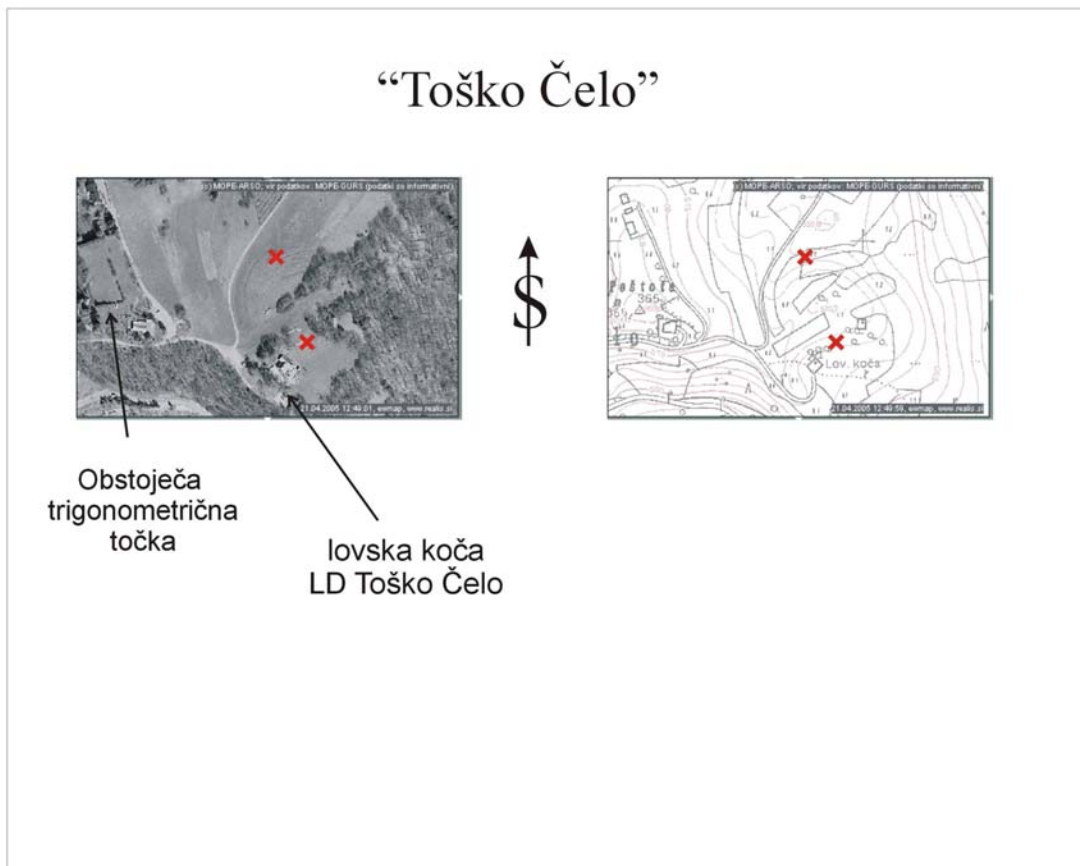


Priloga R: Topografija in fotografije točke T18 – Toško Čelo

TOPOGRAFIJA

Občina: _____

K.O.: _____

Št. točke: **T18**

OPOMBE:

Točka se nahaja v bližini lovske kočice na Toškem Čelu. Na označenih mestih je več primernih izdankov.

Dostop: - z avtom do točke

Ovire: - ovir za GPS praktično ni
- lastnik za zdaj še ni znan

Datum: 21.4.2005

"T18 – Toško Čelo"

☛ lokacija pri lovskem domu

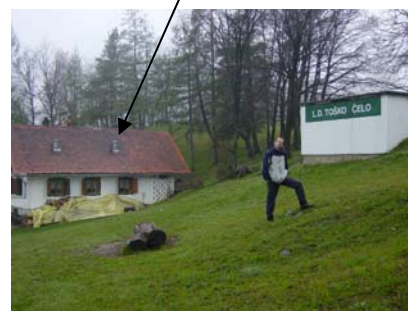


izdanki



pogled na sever

lovski dom



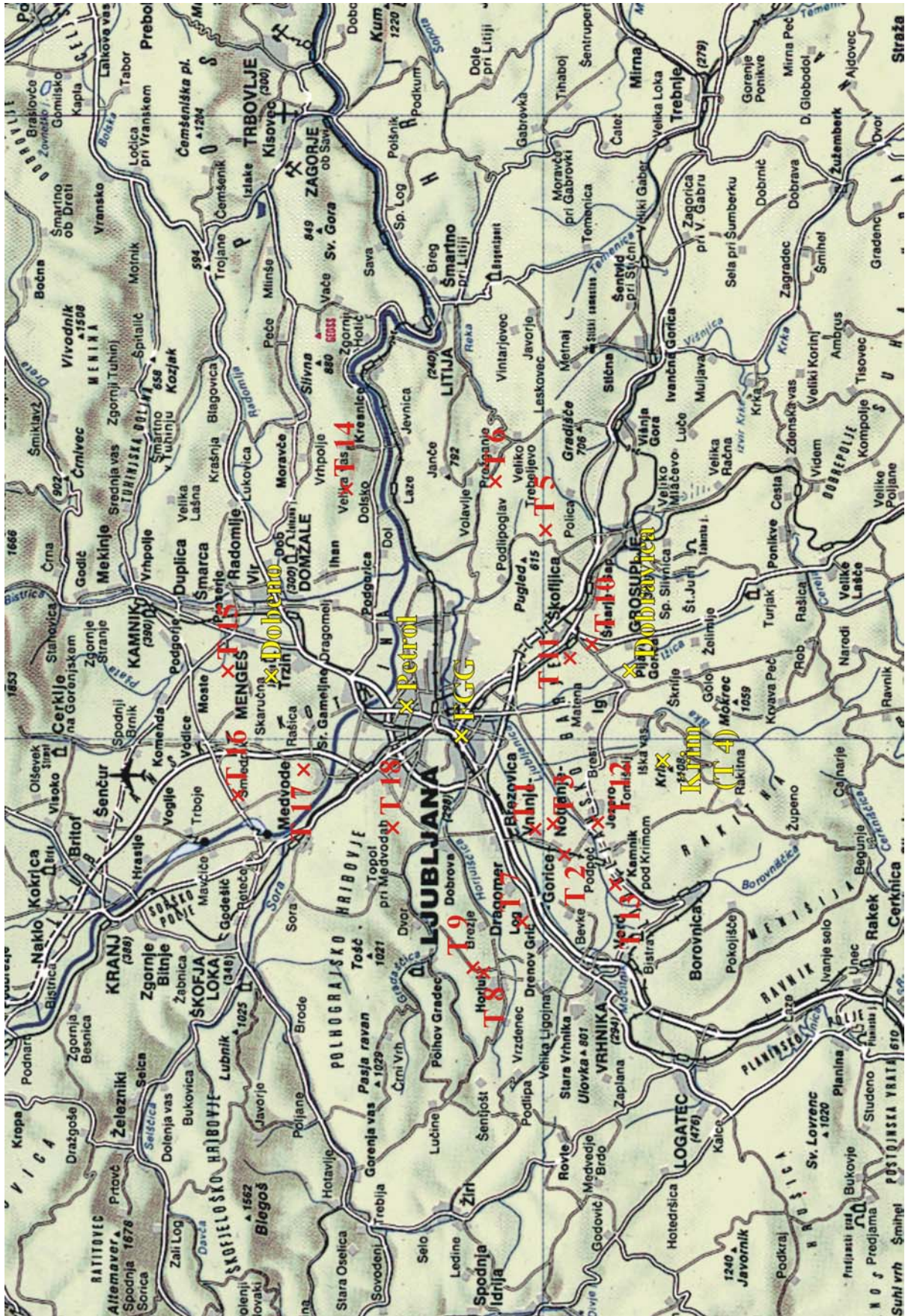
pogled na jug

☛ lokacija severno od lovskega doma



izdanki

Priloga S: Pregledna karta vseh izbranih lokacij za nove točke vključno z obstoječimi



Priloga T: Zapisnik GPS-meritev na točki Krim – KRIM

Obrazec GPS-stat-v2

ZAPISNIK GPS IZMERE

PROJEKT/NALOGA DIPLOMSKA GLAVICA	DATUM 10.05.2005	ŠT.SERIJE 1	IZVAJALEC FGG
STOJIŠČE KRIM	IME DATOTEKE KRIM304.	OPERATER ŽNIDERSKI, GLAVICA	

TIP SPREJEMNIKA TRIMBLE 4000 SSI/GSE
ŠTEVILKA SPREJEMNIKA 3604A 14243

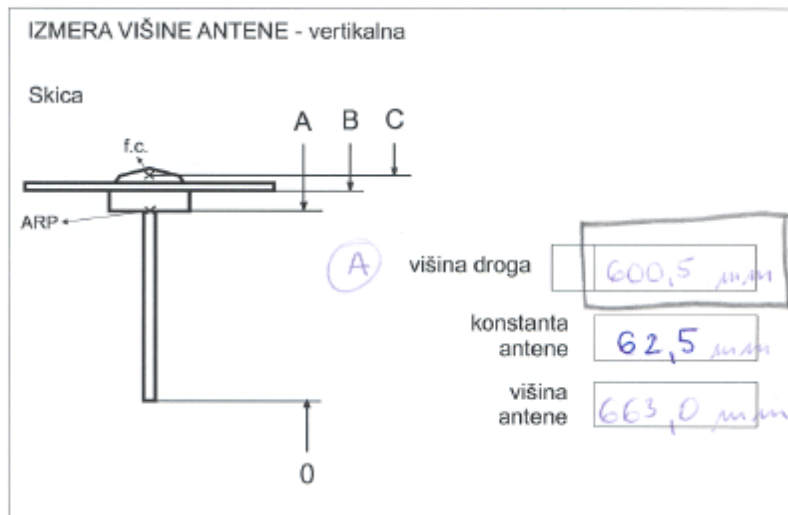
ČAS OPAZOVANJA	10.5.2005 ^{od} 11:04	12.5.2005 ^{do} 12:04
VIŠINSKI KOT	10°	
INTERVAL REGISTRACIJE	30"	

TIP ANTENE COMPACT L1/L2 W/GRND P
ŠTEVILKA ANTENE 0220051884



KONTROLA POSTOPKOV

- ime točke
- ime datoteke
- višina antene
- način izmere viš.ant.
- številka serije
- višinski kot
- interval registracije



OPOMBE
 PRILOGE (SKICE, FOTOGRAFIJE TOČKE)
 OCENA METEOROLOŠKIH POGOJEV

*tordek: močna megla z dežjem

*sreda: popoldan: vetroarno in oblačno, malo delno jasno; Popoldan: predežno jasno

*četrtek: jasno

Priloga U: Zapisnik GPS-meritev na točki Postojna – PSTJ

Obrazec GPS-stat-v2

ZAPISNIK GPS IZMERE

PROJEKT/NALOGA GEODIN. MR. LJ.	DATUM 10.5.2005	ŠT.SERIJE 1	IZVAJALEC FGB
-----------------------------------	--------------------	----------------	------------------

STOJIŠČE PSTJ	IME DATOTEKE 4232-130-1	OPERATER DOMINIK FAJDIGA ROK STEFANIČ
------------------	----------------------------	---

TIP SPREJEMNIKA TRIMBLE 4000 SSE/SSI
ŠTEVILKA SPREJEMNIKA 3604A14232

ČAS OPAZOVANJA	od 10.5.2005 11 ⁵⁷	do 12.5.2005 12 ¹³
	VIŠINSKI KOT 10°	
INTERVAL REGISTRACIJE 30 s		

TIP ANTENE COMPACT L1/L2 W/GROUND PLANE
ŠTEVILKA ANTENE 052080

NAČIN POSTAVITVE ANTENE OPIS STABILIZACIJE IN OZNAČBE TOČKE BOLČNA
--

KONTROLA POSTOPKOV	
<input type="checkbox"/>	ime točke
<input checked="" type="checkbox"/>	ime datoteke
<input checked="" type="checkbox"/>	višina antene
<input checked="" type="checkbox"/>	način izmere viš.ant.
<input checked="" type="checkbox"/>	številka serije
<input checked="" type="checkbox"/>	višinski kot
<input checked="" type="checkbox"/>	interval registracije

IZMERA VIŠINE ANTENE - vertikalna

Skica

višina droga	0,6015
konstanta antene	0,0625
višina antene	0,664 m

OPOMBE PRILOGE (SKICE, FOTOGRAFIJE TOČKE) OCENA METEOROLOŠKIH POGOJEV	_____ _____ _____ _____
---	----------------------------------

Priloga V: Zapisnik GPS-meritev na točki steber na FGG št. 3 – FGG3

Obrazec GPS-stat-v1

ZAPISNIK GPS IZMERE

PROJEKT/NALOGA <i>GEOD. GPS MREŽA L3</i>	DATUM <i>10.5.2005</i>	ŠT.SERIJE <i>1</i>	IZVAJALEC <i>FGG</i>
STOJIŠČE <i>FGG3</i>	IME DATOTEKE	OPERATER <i>KLEKUN KORJUS</i>	

TIP SPREJEMNIKA
TRIMBLE 4000 SSE/SSI


ŠTEVILKA SPREJEMNIKA
?

ČAS OPAZOVANJA	od <i>7:00</i>	do <i>11:00</i>
	<i>10.5.2005</i>	
VIŠINSKI KOT		<i>10°</i>
INTERVAL REGISTRACIJE		<i>30 s</i>

TIP ANTENE
COMPACT L1/L2 W. GROUND PLANE

ŠTEVILKA ANTENE
?

NAČIN POSTAVITVE ANTENE
OPIS STABILIZACIJE IN OZNAČBE TOČKE
bolena na steber



GREZILO / ŠT.GREZILA

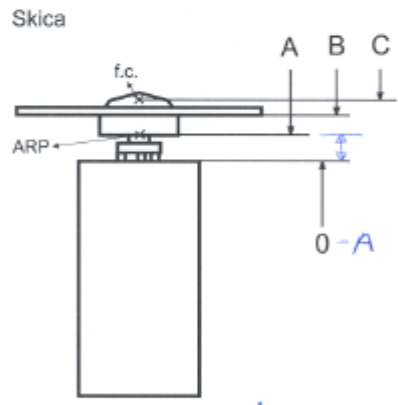
NAČIN GREZENJA

KONTROLA POSTOPKOV

- ime točke
- ime datoteke
- višina antene
- način izmere viš.ant.
- številka serije
- višinski kot
- interval registracije

IZMERA VIŠINE ANTENE - vertikalna

Skica



	pred meritvijo	po meritvi
1		
2		
3		
4		

konstanta antene *62,5 mm*

višina antene *610,5 mm*

od 0 do A ⇒ dolžina bolene 548 mm

OPOMBE
 PRILOGE (SKICE, FOTOGRAFIJE TOČKE) _____
 OCENA METEOROLOŠKIH POGOJEV _____

** zapisnik napisati naknadno pri obdelavi podatkov.*

Glavica