

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

ODDELEK ZA  
GEODEZIJO



*VISOKOŠOLSKI  
STROKOVNI ŠTUDIJ  
GEODEZIJE  
SMER GEODEZIJA V  
INŽENIRSTVU*

Kandidat:

**MATJAŽ FLERIN**

**RAZISKAVA HORIZONTALNIH PREMICOV V MREŽI  
GAMELJNE**

Diplomska naloga št.: 355

**RESEARCH OF HORIZONTAL DISPLACEMENTS IN  
NETWORK GAMELJNE**

Graduation thesis No.: 355

***Mentor:***

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

***Predsednik komisije:***

viš. pred. mag. Samo Drobne

***Somentor:***

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 2011

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVE**

Podpisani Matjaž Flerin izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Raziskava horizontalnih premikov v mreži Gameljne«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 3. 10. 2011

---

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	528:551.242.1(043.2)
<b>Avtor:</b>	Matjaž Flerin
<b>Mentor:</b>	izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
<b>Somentor:</b>	izr. prof. dr. Dušan Kogoj
<b>Naslov:</b>	Raziskava horizontalnih premikov v mreži Gameljne
<b>Obseg in oprema:</b>	52 str., 24 pregl., 22 sl.
<b>Ključne besede:</b>	geodetska mreža, prelomnica, horizontalni premiki, natančnost horizontalnih premikov

### **Izvleček**

Obravnavana mreža Gameljne je ena izmed treh manjših mrež ob ljubljanski prelomnici za določanje horizontalnih premikov. Izmed vseh treh leži najseverneje. Sestavljena je iz štirih točk in ima obliko četverokotnika z le eno diagonalo. Mreža je bila vključno z letošnjo izmero izmerjena šestkrat. V mreži so opazovani horizontalni ter vertikalni koti in merjene dolžine. Osnova za določitev premikov je prva izmera, s katero se primerja vse kasnejše meritve, opravljene v izbranih časovnih intervalih. Da lahko z največjo verjetnostjo določimo zelo majhne premike, je poleg precizne izmere in izravnave prav gotovo izredno pomembna lastna stabilnost merskih točk, s pomočjo katerih opišemo premike. Rezultat obdelave meritev in izravnave so definitivne koordinate točk. Iz razlik teh koordinat so računani horizontalni premiki v smeri osi  $y$  in  $x$ , z vektorskim seštevanjem obeh vektorjev pa je mogoče dobiti celotni premik. Premike točk je mogoče z zadostno verjetnostjo odkriti šele tedaj, ko so premiki statistično značilno večji od natančnosti ocene premikov pri izbrani stopnji značilnosti testa. Natančnost premika je odvisna od natančnosti določitve položaja točke v prvi seriji meritev in natančnosti določitve položaja točke v tekoči seriji meritev. S povečanjem natančnosti merjenj se ne bi sorazmerno povečevala tudi natančnost določitve premika posamezne točke, saj jo obremenjuje natančnost določitve položaja te točke v prvi seriji meritev.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	528:551.242.1(043.2)
<b>Author:</b>	Matjaž Flerin
<b>Supervisor:</b>	Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph. D.
<b>Co-supervisor:</b>	Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph. D.
<b>Title:</b>	Research of horizontal displacements in network Gameljne
<b>Scope and tools:</b>	52 p., 24 tab., 22 fig.
<b>Key words:</b>	geodetic network, seismic zone, horizontal displacements, accuracy of horizontal displacements

### **Abstract**

The discussed network Gameljne is one of the three smaller networks of seismic nets along the tectonic fault of Ljubljana for the determination of horizontal displacements. It is the most northern network of those three. It consists of four points in a shape of a rectangular with only one diagonal. The network has been, including this year, measured six times. Horizontal and vertical angles and slope distances are measured in the network. The basis for displacement determination is the first measurement, with which all subsequent measurements performed in selected time intervals are compared. In addition to precise measurements, the stability of the measurement points is also very important so that we can determine even the smallest displacements with the highest probability. The result of processing the measurements are definite coordinates of points. From the differences of the coordinates the horizontal displacements in the  $y$  and  $x$  axes direction are defined and with adding both vectors we can obtain the entire displacement. The displacement of points can be detected with sufficient certainty only when the displacements are significantly higher than the accuracy of estimated displacements. The accuracy of displacement depends on the accuracy of determining the position of points in the first series of measurements and the accuracy of determining the position of point in the ongoing series of measurements. By improving the accuracy of the measurements it would not relatively increase the accuracy of determining individual points, because it is burdened with the accuracy of the determination point in the first measurement.

## **ZAHVALA**

Za strokovno vodenje, nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču in somentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju. Posebna zahvala velja tudi vsem ostalim članom Katedre za geodezijo, ki so mi kakorkoli pomagali pri izdelovanju diplomske naloge.

Nazadnje se moram zahvaliti tudi družini in puncu, ki so me med študijem finančno in moralno podpirali ter prijateljem in sošolcem, ki so me spravljali v dobro voljo. Hvala vsem, ki so mi stali ob strani, me spodbujali in bodrili v času študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Predmet diplomskega dela .....	2
1.2	Namen diplomskega dela .....	2
1.3	Cilj diplomskega dela.....	2
1.4	Delova hipoteza.....	2
<b>2</b>	<b>PREMIKI ZEMELJSKE SKORJE.....</b>	<b>3</b>
2.1	Splošno o premikih .....	3
2.2	Horizontalni premiki .....	3
2.3	Vertikalni premiki .....	4
<b>3</b>	<b>OPIS MREŽE .....</b>	<b>6</b>
3.1	Projektiranje mreže .....	6
3.2	Oblika mreže Gameljne.....	7
3.3	Stabilizacija točk .....	8
<b>4</b>	<b>MERITVE .....</b>	<b>11</b>
4.1	Metoda .....	11
4.1.1	Merjenje kotov .....	11
4.1.2	Merjenje dolžin .....	12
4.2	Instrumentarij .....	13
4.3	Obseg meritev .....	14
<b>5</b>	<b>PREDHODNA RAČUNANJA .....</b>	<b>16</b>
5.1	Izračun sredin .....	16
5.2	Redukcija dolžin.....	17
5.2.1	Meteorološki popravki .....	17
5.2.2	Geometrični popravki.....	19
5.2.3	Projekcijski popravki.....	20
5.3	Analiza opazovanj .....	21
5.3.1	Horizontalni koti .....	21
5.3.2	Dolžine .....	23
<b>6</b>	<b>IZRAVNAVA.....</b>	<b>24</b>
6.1	Izravnavna proste mreže .....	27

6.2	Izravnava mreže, če je dana točka 103.....	29
6.3	Izravnava mreže, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	29
6.4	Izračun multiplikacijske konstante.....	29
6.4.1	Izračun multiplikacijske konstante iz vseh dolžin.....	29
6.4.2	Izračun multiplikacijske konstante iz ene dolžine.....	30
<b>7</b>	<b>PREMIKI.....</b>	<b>31</b>
7.1	Splošno o premikih .....	31
7.2	Izračun premikov .....	32
7.3	Analiza premikov .....	33
7.3.1	Kombinirana mreža.....	34
7.3.1.1	Kombinirana prosta mreža .....	34
7.3.1.2	Kombinirana mreža, če je dana točka 103 .....	35
7.3.1.3	Kombinirana mreža, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	36
7.3.2	Triangulacijska mreža .....	37
7.3.2.1	Triangulacijska prosta mreža .....	37
7.3.2.2	Triangulacijska mreža, če je dana točka 103.....	38
7.3.2.3	Triangulacijska mreža, če je dana točka 103 in točka 104.....	39
7.3.3	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin.....	40
7.3.3.1	Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin..	40
7.3.3.2	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin, če je dana točka 103 .....	41
7.3.3.3	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104 .....	42
7.3.4	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	43
7.3.4.1	Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	43
7.3.4.2	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104, če je dana točka 103 .....	44
7.3.4.3	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	45
7.3.5	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	46
7.3.5.1	Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	46
7.3.5.2	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104, če je dana točka 103 .....	47
7.3.5.3	Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	48



<b>8</b>	<b>UGOTOVITVE IN KOMENTAR .....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>50</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>51</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Uporabljeni instrumenti po posameznih letih .....	13
Preglednica 2: Prikaz uporabljenih instrumentov po posameznih letih .....	14
Preglednica 3: Primerjava natančnosti opazovanja kotov in merjenja dolžin .....	14
Preglednica 4: Izvedene meritve med točkami v vseh serijah.....	15
Preglednica 5: Opazovane horizontalne smeri v letu 2011 .....	16
Preglednica 6: Izmerjene in reducirane dolžine v letu 2011 .....	21
Preglednica 7: Izmerjeni horizontalni koti z odstopanjem zapiranja trikotnika in srednjim pogreškom opazovane smeri po Ferreru v vseh serijah meritev .....	22
Preglednica 8: Razlika dolžin merjenih v obeh smereh in srednji kilometrski pogrešek dolžin za vse serije meritev .....	23
Preglednica 9: Izračun multiplikacijske konstante iz ene dolžine.....	30
Preglednica 10: Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži.....	34
Preglednica 11: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 .....	35
Preglednica 12: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	36
Preglednica 13: Vektorji premikov točk v triangulacijski prosti mreži .....	37
Preglednica 14: Vektorji premikov točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103 .....	38
Preglednica 15: Vektorji premikov točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103 in točka 104 ...	39
Preglednica 16: Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin .....	40
Preglednica 17: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin .....	41
Preglednica 18: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin	42
Preglednica 19: Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	43
Preglednica 20: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	44
Preglednica 21: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	45
Preglednica 22: Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	46
Preglednica 23: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	47
Preglednica 24: Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	48

## KAZALO SLIK

Slika 1: Mreža ob prelomnici .....	3
Slika 2: Prelom v mreži Gameljne .....	4
Slika 3: Ljubljanski prelomi z opazovalnimi mrežami.....	6
Slika 4: Mreža Gameljne .....	7
Slika 5: Mreža Gameljne z dodatnim stebrom .....	8
Slika 6: Merski steber v prerezu in na terenu.....	9
Slika 7: Dvojna centrirna plošča .....	10
Slika 8: Premiki točk v kombinirani prosti mreži .....	34
Slika 9: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103.....	35
Slika 10: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104.....	36
Slika 11: Premiki točk v triangulacijski prosti mreži .....	37
Slika 12: Premiki točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103.....	38
Slika 13: Premiki točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103 in točka 104.....	39
Slika 14: Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin .....	40
Slika 15: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin .....	41
Slika 16: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin .....	42
Slika 17: Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	43
Slika 18: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104 .....	44
Slika 19: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104.....	45
Slika 20: Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	46
Slika 21: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104 .....	47
Slika 22: Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104.....	48

## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: TERENSKI ZAPISNIK IZ LETA 2011

PRILOGA B: REPORT DATOTEKA IZ LETA 2011

PRILOGA C: MERITVE IN NATANČNOSTI MERITEV V LETU 2011

PRILOGA D: REDUKCIJA DOLŽINE 101-102 IZMERJENE V LETU 2011

PRILOGA E: REZULTATI IZRAVNAVE KOMBINIRANE PROSTE MREŽE V LETU 2011

PRILOGA F: REZULTATI IZRAČUNOV PREMIOV IN NATANČNOSTI PREMIOV TOČK V  
KOMBINIRANI PROSTI MREŽI V LETU 2011

## 1 UVOD

V sodobnem svetu se je pokazala potreba in možnost za raziskave na vseh področjih človekovega delovanja. Posebno zgodaj so se pojavile želje, da bi človek obvladoval naravne zakonitosti. Vendar mu to do danes še ni v celoti uspelo. Tako kot druge vede, hoče tudi geodezija kot veda dodati svoj delež na področju, s katerim se ukvarja. Ker je geodezija ozko specializirana veda, se povezuje z ostalimi vedami in tako v interdisciplinarnih nalogah in raziskavah pomaga in rešuje probleme. Izkazalo se je, da lahko geodezija s sodobnimi instrumenti in metodami reši problem, ki ga drugače ne bi mogli.

Ker je Zemlja kozmično telo, se po zakonih vesolja ohlaja, kar se odraža z neprestanim spreminjanjem. Posledica tega ohlajanja so naravni pojavi kot so vulkani, potresi, tektonski premiki, erozija idr. Ti naravni pojavi povzročajo katastrofe, škodo in človeške žrtve. Zato si mnoge vede, vključno z geodezijo, prizadevajo, da bi te katastrofe preprečile ali vsaj pravočasno napovedale in opozorile na verjetnost njihovega pojava.

Slovenija je dežela z relativno močnimi potresi. Seizmološke raziskave imajo zato že bogato tradicijo. Po potresu leta 1895 je Ljubljana dobila prvo seizmološko postajo na Balkanu. Približno stoletje kasneje - leta 1976 - se je Geodetski zavod v Ljubljani z geodetskimi meritvami prvič vključil v raziskave (Vodopivec, 2000). Prvi raziskavi premikov na območju Karavank v sodelovanju z Avstrijo so sledile nove raziskave na osnovi geodetskih meritev na drugih območjih Slovenije. Klasičnim terestričnim mrežam so se pridružile tudi novejšje mreže GPS.

Leta 1977 je bila v sodelovanju Geodetskega zavoda SRS in Oddelka za geodezijo pri FAGG izvedena raziskovalna naloga z naslovom: »Uvod v geodetske meritve recentnih pomikov zemeljske skorje v SRS«. Dolgoročno je naloga predvidevala zbiranje podatkov za napovedovanje potresov. Te podatke naj bi dobili iz meritev recentnih premikov zemeljske skorje ob tektonskih prelomih. Da bi naloga dosegla zastavljeni cilj, je bil nujen sistemski pristop k njeni izvedbi (Vodopivec, 2000).

Sistematične geodetske meritve v daljšem časovnem obdobju so osnova za določitev vektorjev recentnih premikov. Ob periodičnih meritvah ugotovljene lastnosti premikov bi pomenile svarilni znak za možnost potresa, njegova tehtnost pa bi se še povečala, če bi bil potrjen z nadaljnjimi fizikalnimi meritvami.

### ***1.1 Predmet diplomske naloge***

V diplomski nalogi bomo obravnavali mrežo Gameljne, ki je ena izmed treh manjših mrež ob ljubljanski prelomnici, za določanje horizontalnih premikov. Mreža je bila vključno z letošnjo izmero izmerjena šestkrat. Prvič je bila mreža izmerjena leta 1979. Letos smo mrežo ponovno izmerili, od prve izmere je torej minilo 32 let. V delu bomo opisali mrežo, uporabljen instrumentarij in potek meritev. Na podlagi razlik izravnanih koordinat bomo določili horizontalne premike in izračunali oceno natančnosti premika.

### ***1.2 Namen diplomske naloge***

Namen diplomske naloge je analiza vseh do sedaj zbranih preciznih geodetskih meritev v mreži in horizontalnih premikov točk.

### ***1.3 Cilj diplomske naloge***

Cilj diplomske naloge je iz razlik izravnanih koordinat točk merjenih v več serijah, določiti horizontalne premike točk, jih primerjati, grafično prikazati in interpretirati.

### ***1.4 Delovna hipoteza***

Na podlagi poročila geologov in dosedanjih raziskav, smo predpostavili, da prelomnica v mreži Gameljne poteka pravokotno na dolžini 101-103 in 102-104 (slika 2).

## 2 PREMIKI ZEMELJSKE SKORJE

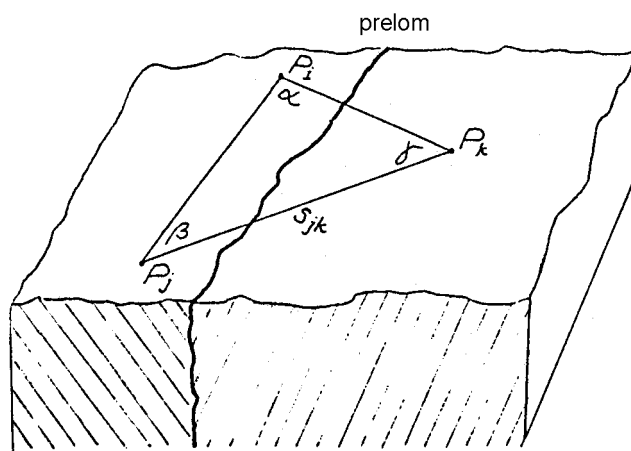
Merske metode za določevanje tektonskih premikov bi lahko razdelili na geodetske in negeodetske, čeprav je strogo ločnico med njima težko potegniti (Kogoj, 1989). Vsem pa je skupno, da določajo relativne položaje med posameznimi točkami, ki aproksimirajo površje ali notranjost zemeljske skorje.

### 2.1 Splošno o premikih

Pri vsaki nalogi, kjer hočemo, da dosežemo svoj namen, moramo najprej določiti cilje. To največkrat podamo že v samem naslovu naloge. Zato je pomembneje, da si pravilno oblikujemo probleme in nato z metodološkimi meritvami pridemo na cilj z želenim rezultatom. Da uporabimo pravilno metodologijo, se poslužujemo simulacij, na podlagi teh rezultatov lahko metodologijo sprejmemo ali zavrnemo. Za vsako simulacijo je potreben model, na katerem se simulacija opravi. Če hočemo določiti lege točk, moramo v modelu uporabiti tudi dvorazsežni referenčni sistem. S tem dobimo vektorje pomikov točke glede na neko začetno točko (točka je poljubno izbrana). Če hočemo dobiti vektorje prostorskih premikov, uporabimo trirazsežni referenčni sistem (Vodopivec, 1985).

### 2.2 Horizontalni premiki

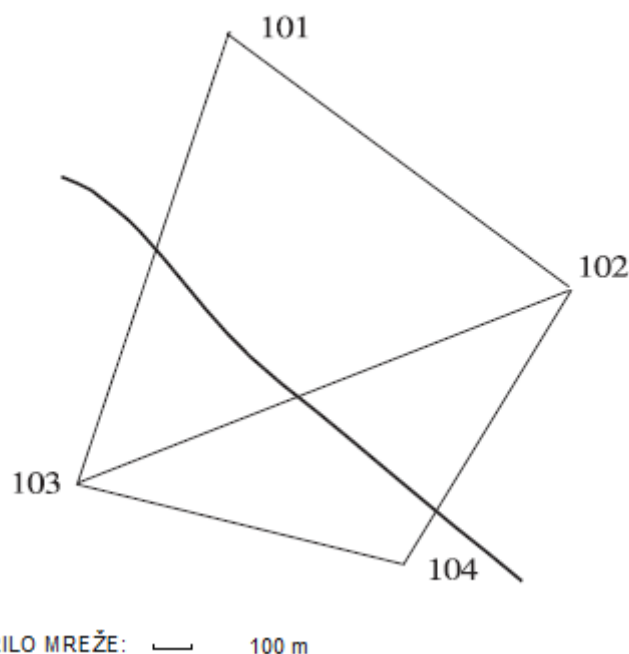
V geodeziji se vektorje horizontalnih premikov točk na terenu določi s pomočjo posebej razvitih mrež. V mrežah so merjeni koti in dolžine. Osnova je prva (ničelna) izmera, na katero se primerja vse kasnejše meritve, opravljene v izbranih časovnih intervalih. Rezultat obdelave meritev in izravnave so definitivne koordinate  $X'$ ,  $Y'$  (prva izmera),  $X''$ ,  $Y''$  (druga izmera) itn. Iz teh koordinat so računani premiki v smeri osi  $x$  in  $y$ , z vektorskim seštevanjem obeh vektorjev pa je mogoče dobiti celoten premik.



Slika 1: Mreža ob prelomnici (Vir: Kogoj, 1988: str 2.)

Metodo za določanje premikov tektonskih enot na osnovi meritev je razvil in objavil M. Cimbalnik v Pragi leta 1978 in podobno leta 1967 M. Jenko, vendar tega ni objavil (Vodopivec, 1985). Osnovni model tvorijo tri točke iste ravnine, ki omejuje trikotnik ( $P_I$ ,  $P_J$ ,  $P_K$ ). Sprememba lege točke je določena iz merjenj vseh kotov trikotnika in vsaj ene dolžine tega trikotnika. Njegova lega je izbrana tako, da ležita dve točki na isti tektonski plošči ( $P_I$ ,  $P_J$ ) in sta stabilni, tretja točka ( $P_K$ ) pa leži na drugi strani tektonske prelomnice in je glede na prvi dve pomična.

Metoda »nepremičnih točk«, kot bi jo lahko imenovali, pa vzbuja nekaj dvoma. Zelo majhna je namreč verjetnost, da se dve točki zemeljskega površja ne bi medsebojno premikali. Če tega ne povzročijo premiki vzdolž prelomov, lahko na njihovo lego vplivajo druge sile, ki delujejo v zemeljski skorji. Verjetnost, da sta ti dve točki nepremični, se manjša z večanjem razdalje med njima. Če hočemo opazovati premike na velikih teritorialnih območjih, ta metoda postane neuporabna (Vodopivec, 1993).



**Slika 2:** Prelom v mreži Gameljne (Vir: Vodopivec, 2000: str 60.)

### 2.3 Vertikalni premiki

Vzrokov za vertikalni premik neke točke na površini Zemlje je veliko.

Najpogostejši so (Vodopivec, 1993):

- posedanja terena,
- plazenje terena,
- mikrotektonski premiki ob prelomu,
- makrotektonski premiki plošč kontinentov.



Z geodetskimi meritvami je možno določiti absolutno višino točke (nadmorsko višino) ali relativno višino točke (glede na neko dano točko). Sprememba višine oziroma vertikalni premik je razlika dveh merjenj v različnem času.

V geodeziji se največ uporabljajo naslednje štiri metode (Vodopivec, 1993):

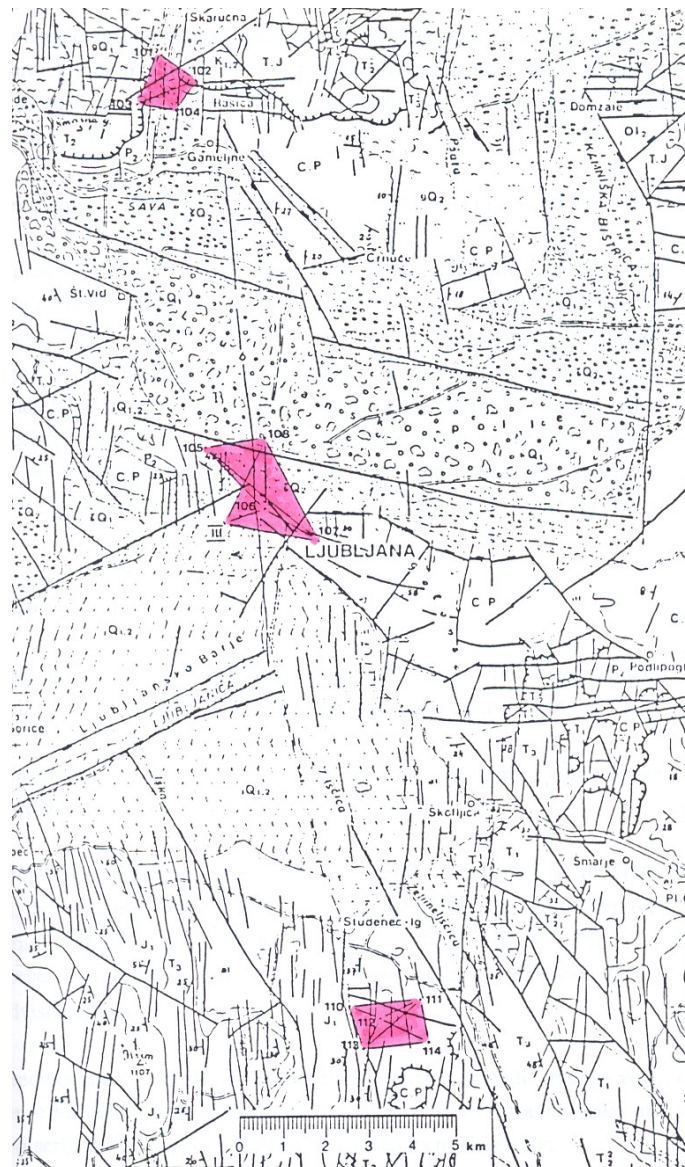
- geometrični nivelman,
- trigonometrični nivelman,
- tridimenzionalne mreže,
- fotogrametrično določanje premikov.

Najbolj natančna in razširjena metoda je geometrični nivelman. Pri tej metodi je s pomočjo instrumenta – nivelirja, ki zagotavlja horizontalnost vizurne osi in dveh nivelmanskih lat, merjena višinska razlika med stojiščem lat. Metoda je natančna, vendar je najpočasnejša in najdražja. Vedno bolj se uveljavlja trigonometrični nivelman, kjer so merjeni višinski kot in poševna dolžina med točkama osnova za izračun višinske razlike. Sprva je bila natančnost te metode majhna, z razvojem instrumentov, predvsem elektromagnetnih razdaljemerov pa se je le-ta močno izboljšala. S tem se je tudi uporabnost trigonometričnega višinomerstva zelo razširila. Poleg klasičnega trigonometričnega višinomerstva se čedalje bolj uveljavljajo tridimenzionalne mreže. V taki mreži so merjeni horizontalni in vertikalni koti ter poševne dolžine. Rezultat skupne izravnave je boljša tako horizontalna kot tudi vertikalna mreža. Na ta način je možno povezati merjenje horizontalnih in vertikalnih premikov.

### 3 OPIS MREŽE

#### 3.1 Projektiranje mreže

Analiza potresnih področij v Sloveniji je pokazala, da je najbolj seizmogeni cona prav gorenjsko-ljubljanska cona (Vodopivec, 1993). Na podlagi seizmoloških raziskav vzdolž preloma je bilo predlagano merjenje horizontalnih in vertikalnih premikov. Idealno bi bilo merjenje premikov vzdolž celotnega preloma, vendar zaradi premajhnega dosega takratnih razdaljemetrov in številnih objektivnih razlogov to ni bilo izvedljivo. Zato naj bi se projektirale tri mreže. Prva bi bila stabilizirana med Šmarno goro in Rašico, druga v Ljubljani med Šišenskim hribom, Gradom in Golovcem in tretja mreža med Dobravico in Sarskim pri Igu. Tako so nastale tri mikro mreže: mreža Ljubljana, mreža Dobravica in mreža Gameljne.



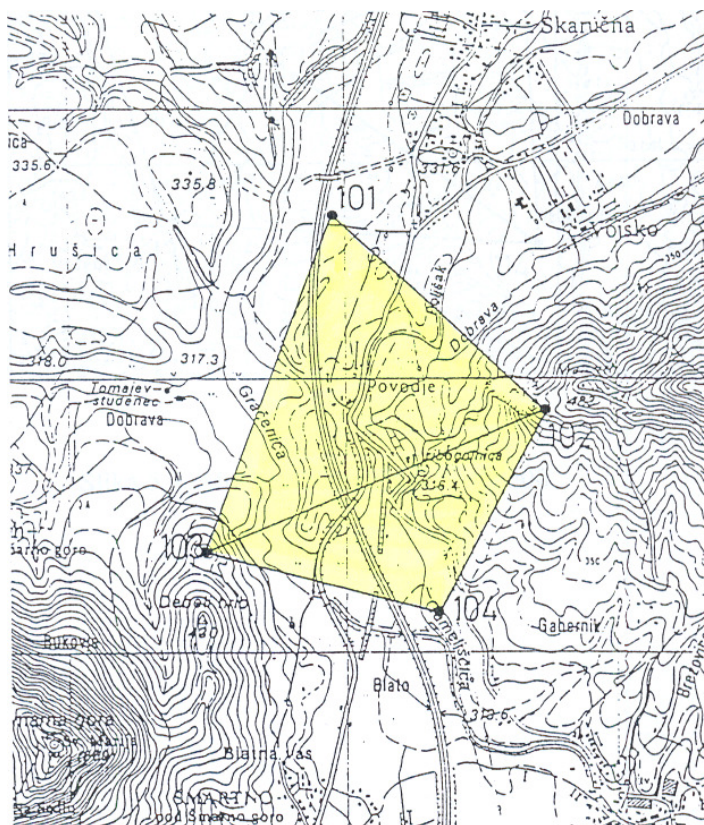
**Slika 3:** Ljubljanski prelomi z opazovalnimi mrežami (Vir: Vodopivec, 1995: str 21.)

Zaradi zapletenosti sestave površinskih tvorb je potrebno mreže poenostavljati. Kot mala mreža je mišljena mreža z nekaj točkami in z relativno kratkimi stranicami (1 - 2 km). Njihova prednost se izkaže pri meritvah in izravnavi, ker so pri velikih mrežah lahko pogreški opazovanj večji od dejanskih premikov. Poleg tega bi velike mreže onemogočale hitro izmero, ki je v takih primerih priporočljiva. Predlagano je bilo, naj imajo mreže ob ljubljanski in mišjedolski prelomnici obliko geodetskega četrkotnika, z daljšo diagonalo ob prelomu (Vodopivec, 1985). Dolžine stranic so bile predvidene za merjenje dolžin s preciznim razdaljemerom Kern Mekometer ME 3000, to so dolžine od 1 do 1,5 kilometra.

V nadaljevanju bomo obravnavali le mrežo Gameljne in raziskovali morebitne premike točk le v tej mreži.

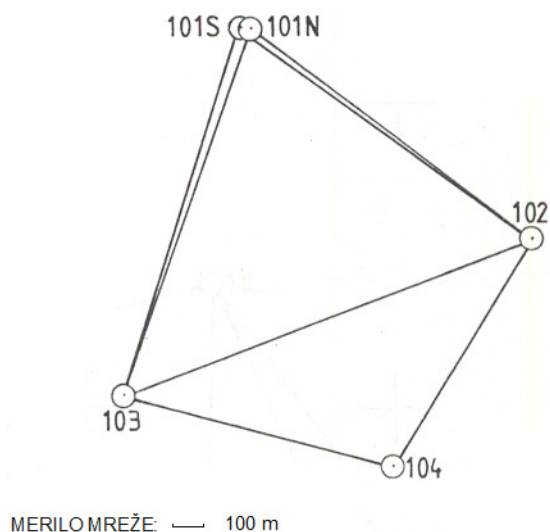
### 3.2 Oblika mreže Gameljne

Mreža Gameljne izmed vseh treh mrež ob ljubljanski prelomnici leži najseverneje. Sestavljena je iz štirih točk in ima obliko četrkotnika z le eno diagonalo. Dve točki ležita na različnih straneh preloma (Debeli hrib pod Šmarno goro – točka 103 in Mali vrh na obronkih Rašice – točka 102), in na ravninskem območju še dve točki (Blato – točka 104 in Skaručna – točka 101), ki pa med seboj nista vidni (Vodopivec, 1985). Točke so bile prvotno povezane v dveh neodvisnih trikotnikih.



Slika 4: Mreža Gameljne (Vir: Vodopivec, 1996: str 57.)

Zaradi projekta o izgradnji nove avtoceste Kranj–Ljubljana je obstajala velika verjetnost, da bo stabilnost stebra točke 101 v Skaručni ogrožena (Vodopivec, 1985). Zato je bil pred drugo serijo meritev približno 30 m stran, pravokotno na os bodoče avtoceste, stabiliziran nov dodatni steber. Točke so poimenovali s 101S (stari) in 101N (novi). Tako je v drugi seriji meritev mrežo sestavljalo pet točk (trije neodvisni trikotniki). Kot so predvidevali je bil steber 101 resnično ogrožen. Zaradi gradnje avtoceste so steber, ker je bil očitno preblizu vozišča, brez pomislekov odstranili. Tako ima mreža enako kot pri prvi meritvi spet obliko četverokotnika z le eno diagonalo.



**Slika 5:** Mreža Gameljne z dodatnim stebrom

Ob točki 102 je kamnolom, ki so ga po letu 1995 spet začeli intenzivneje izkoriščati (Vodopivec, 2000). Bližina kamnoloma je bila ocenjena kot kritična, meritve na tej točki pa kot nesmiselne. Točka je namreč izpostavljena lokalnim vplivom nestabilnosti. Na osnovi eventualnih premikov točke 102 bi namreč zelo težko sklepali o tektonskih premikih, veliko verjetnejši bi bil zaključek, da je premik posledica miniranja v kamnolomu. Oblika mreže Gameljne brez točke 102 ne bi bila več primerna za opazovanje tektonskih premikov. Posledica tega je šestnajstletni premor med zadnjima dvema serijama meritev. Skoraj je že propadel poskus določanja tektonskih premikov na tem območju in s tem izvajanje meritev, vendar pa se je mreža sedaj ponovno izmerila in se bo verjetno obravnavala tudi še v prihodnje.

### 3.3 Stabilizacija točk

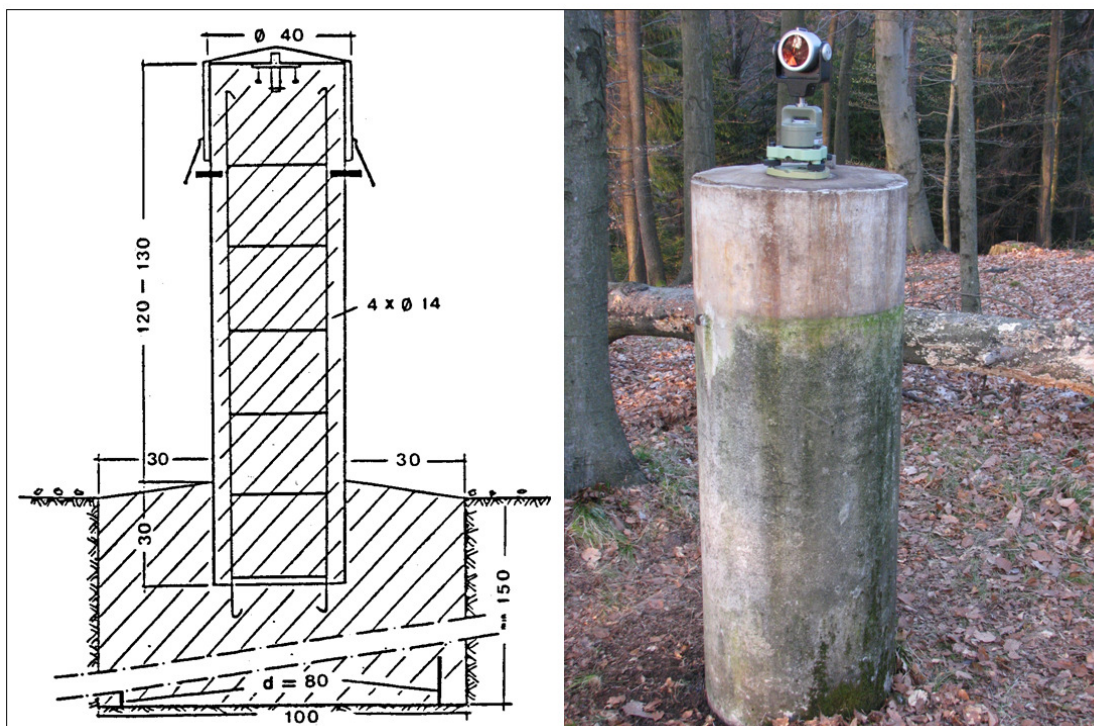
Z vsakdanjim razvojem in višanjem standardov, so tudi želje in zahteve po kakovosti geodetskih del vedno večje. Da lahko z največjo verjetnostjo določimo zelo majhne premike, je poleg precizne izmere in izravnave prav gotovo izredno pomembna lastna stabilnost merskih točk, s pomočjo katerih opišemo premike. Pri najnatančnejših geodetskih izmerah geodetske točke stabiliziramo na precizne načine. Vsak način stabilizacije ima svoje dobre in tudi slabe lastnosti.

Od vsake stabilizacije pričakujemo (Vodopivec, Kogoj, 2005):

- zagotovitev lastne (lokalne) stabilnosti,
- možnost prisilnega centriranja,
- točka naj bo fizično in vizualno čim manj moteča v naravnem okolju ali na objektu,
- točko je mogoče nedvoumno najti in
- čim manjše stroške gradnje.

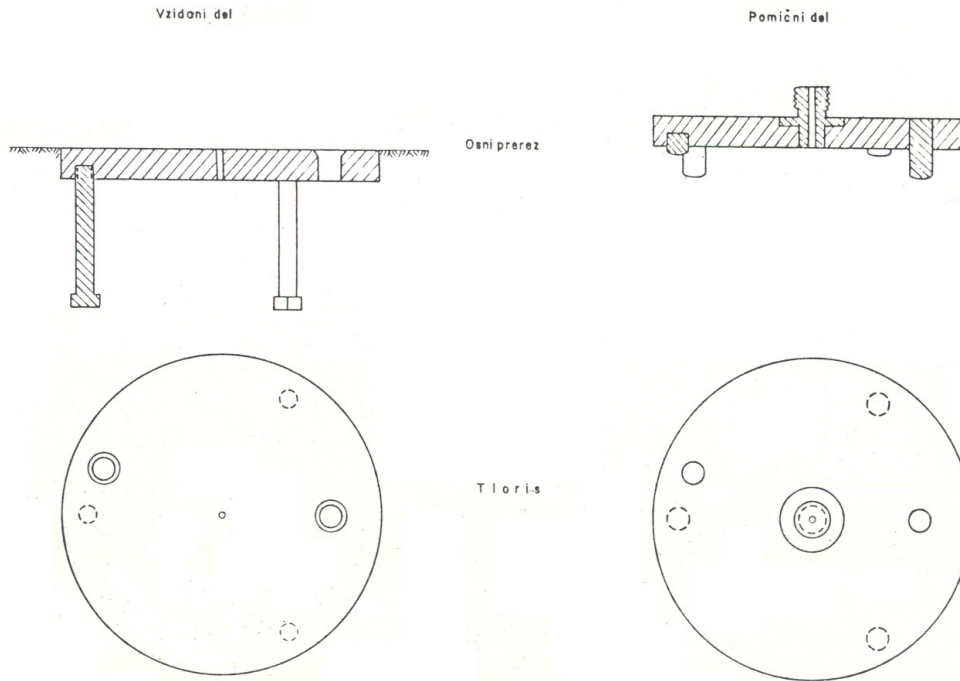
Pred izvedbo geodetskih meritev je potrebno zagotoviti ustrezno stabilizacijo točk, ki naj bi zagotavljala stabilnost točk skozi daljše časovno obdobje. Stabilnost točk zagotavlja primerno izbrana stabilizacija točk. Točke morajo ostati stabilne skozi celotno obdobje njihove uporabe. O stabilnosti točk se moramo pred izmero prepričati. Kakovost stabilizacije se loči glede na zahtevo projekta in s tem glede na natančnost, ki jo želimo doseči z uporabo stabiliziranih točk (Vodopivec, Kogoj, 2005).

Za doseganje dobrih rezultatov pri merjenju dolžin in kotov je poleg primerne geometrije mreže, uporabljenega instrumentarija in pogojev med meritvami, potrebna tudi dobra stabilizacija točk. Dobra stabilizacija točke je tista, kjer se točka ne premika glede na njeno okolico (se ne poseda, nagiba). Zato je v mreži Gameljne sama konstrukcija stebra izvedena zelo masivno. Gre za okrogle armirane betonske stebre, premera 40 cm in visoke med 120 in 130 cm. Nosilec stebra je obsežen in kompakten betonski temelj, izmere 100 x 100 x 150 cm. Kjer je na terenu kamnita podlaga, je temelj manjši, zato pa je sidran v kamnito podlago. Izjema je tudi glinena podlaga, kjer je temelj dimenzije 120 x 120 x 100 cm (Vodopivec, 1985).



Slika 6: Merski steber v prerezu (Vir: Vodopivec, 1985: str 8.) in na terenu

Pri meritvah, kjer se zahteva velika natančnost, je potrebna tudi visoka točnost centriranja instrumentov. Temu primerno so prirejeni stebri, ki omogočajo prisilno centriranje. Izdelane so bile posebne aluminijaste centriralne plošče premera 14 cm. Pod ploščo je vzidan tudi zavarovalni čep (Vodopivec, 1985). Proti vremenu in drugim vplivom je vrh stebra zaščiten s pokrovom iz pocinkane pločevine, ki se ga priklene s ključavnicama.



**Slika 7:** Dvojna centriralna plošča (Vir: Vodopivec, 1985: str 9.)

To je klasični način stabilizacije. Steber je dodatno zaščiten z betonsko cevjo in vmesnim praznim prostorom, ki ga zapolnjuje temperaturni izolator. To daje stebri veliko temperaturno odpornost, saj predstavlja zaščito pred zunanjimi vplivi, predvsem soncem, ki povzroča velika temperaturna nihanja.

Dobri lastnosti tega načina stabilizacije sta predvsem (Vodopivec, Kogoj, 2005):

- velika lastna stabilnost točke ob kvalitetni izvedbi stabilizacije in
- zagotovljeno natančno prisilno centriranje (pogrešek centriranja manjši od 0,1 mm).

Slabe lastnosti pa so (Vodopivec, Kogoj, 2005):

- velika masa – možnost lokalnega premika,
- možnost nagiba, ki se odraža kot premik točke,
- poseg v okolje, točka lahko predstavlja fizično oviro in je vizualno moteča,
- stalna višina, ki jo glede na višino opazovalca ni mogoče spreminjati, in
- večji materialni stroški in stroški izdelave stabilizacije.

## **4 MERITVE**

Raziskovalna naloga GZ SRS in Oddelka za geodezijo pri FAGG je bila začeta leta 1979 (Vodopivec, 1995). Točke v mreži so bile stabilizirane leta 1979. Istega leta so bile opravljene prve meritve. Domnevali so, da je štiriletni časovni interval dovolj dolgo obdobje, v katerem je velikost tektonskih premikov na mrežah že zaznavna. Po prvi ponovitvi meritev leta 1983 pa je bilo ugotovljeno, da je potrebno geodetska merjenja razširiti in povečati natančnost. Leta 1987 je bila opravljena tretja serija merenj, v letu 1991 pa četrta serija. Peta meritev je bila opravljena v letu 1995. Letos je bila po daljšem premoru izvedena ponovna izmera.

### **4.1 Metoda**

V nadaljevanju so opisane metode meritev posameznih količin, ki so se merile v mreži od prve serije do danes.

#### **4.1.1 Merjenje kotov**

Prvo serijo meritev so opravili leta 1979, drugo pa med 7. in 26. 10. 1983 (Vodopivec, 1985). V obeh serijah so horizontalne kote merili v šestih girusih po girusni metodi s teodolitom DKM 3. Horizontalni krog so med girusi premaknili za približno 33 gonov. Vertikalne kote so merili dvakrat v različnem času, v obeh krožnih legah. Čitali so na eni niti. Pri merjenju horizontalnih in vertikalnih kotov so na mikrometru cenili desetinke sekund. Vse odčitke so zapisovali v obrazec in sproti preverjali merske podatke. Pred vsakim čitanjem so naravnali zavarovalno libelo. Vizirali so vedno na sredino prizme. Zaradi različno visokih prizem so morali reducirati vertikalne kote na višino instrumenta.

Tretjo serijo meritev so opravili med 31. 10 in 3. 11. 1987 (Kogoj, 1988), četrto serijo med 18. in 29. 3. 1991 (Vodopivec, 1993) in peto serijo 24. 3. 1995 (Vodopivec, 1996). V vseh treh serijah so horizontalne kote merili s preciznim elektronskim teodolitom E2 Nr. 352600 po girusni metodi v šestih girusih. Gornji del teodolita so med posameznimi girusi zavrteli za približno 33 gonov. Vizirali so na vizirne tarče (reflektor Kern) ali pa na dodatne nastavke, ki so jih pričvrstili na reflektorje, včasih pa, kjer je bila vidljivost slaba, na prizme reflektorjev. Ker je bilo to eno izmed prvih merenj z elektronskim teodolitom, podatkov merenj niso shranjevali na pomnilniško enoto, saj računalniški paket ni omogočal sprotne kontrole merjenih podatkov. Zato so le-te klasično zapisovali v obrazec. Vertikalne kote so merili z istim instrumentom, in sicer obojestransko (tja-nazaj) na vseh treh nitih v obeh krožnih legah. Vidljivost s stojišča na posamezno točko je bil tisti faktor, ki je določal mesto viziranja na posameznem reflektorju.

Šesta in trenutno tudi zadnja serija meritev je bila opravljena 8. 4. 2011. Horizontalne in hkrati tudi vertikalne kote smo merili z elektronskim tahimetrom Leica TS30 v šestindvajsetih girusih s sistemom ATR (Automatic Target Recognition). Pri delu s tem sistemom smo morali prizmo samo grobo navizirati z dioptrrom v prvem pol girusu in sprožiti meritev, vse ostalo (precizno viziranje, merjenje in shranjevanje podatkov) je opravil instrument. Ker nam ni bilo potrebno precizno vizirati niti fokusirati, so bile merite z ATR mnogo hitreje opravljene, hkrati pa niso bile utrujajoče. Na vseh točkah smo uporabili precizne reflektorje Leica.

#### 4.1.2 Merjenje dolžin

V prvih treh serijah meritev (leta 1979, 1983 in 1987) so dolžine med točkami v mreži merili obojestransko z razdaljemero Mekometer ME 3000 Nr. 218004 (Kogoj, 1988). Od reflektorjev so uporabili originalni reflektor Kern s tremi odbojnimi prizmami, dva AGA trojna reflektorja z dodano četrto prizmo, en HP trojni reflektor z dodano četrto prizmo, za najdaljše dolžine pa Zeiss reflektor s sedmimi odbojnimi prizmami. Uporaba toliklega števila reflektorjev je omogočila, da so z ene točke lahko opazovali vse ostale točke mreže, ob prenosu razdaljemera na drugo točko pa je bilo potrebno prenesti največ en reflektor, vse ostale pa so obrnili v smer novega stojišča. Pri ponovni meritvi je bil na istih točkah uporabljen isti reflektor. Ker je bilo potrebno določiti samo morebitne spremembe dolžin v primerjavi s predhodnim merjenjem, te pa so bile po pričakovanju majhne, je bilo dovolj citati samo vrednosti dolžin pri prvi frekvenci, to pa je bistveno skrajšalo čas meritev (Vodopivec, 1988). Tako so bili kilometri, stotine metrov, desetine metrov, metri in decimetri merjeni dvakrat, centimetri, milimetri in desetinke milimetrov pa so bili merjeni v seriji po dvanajst odčitkov z uporabo gumba SYSTEM REVERSE. To pomeni merjenje fazne razlike pri obeh ničlah ( $0$  in  $\pi$ ). Če je eden od odčitkov očitno odstopal, so ga črtali in takoj nadomestili z novim odčitkom. Kjer je bil povratni signal dovolj velik, so merili dolžine tudi z barvnimi filtri. Z vsako »barvo« so merili dolžine v dveh serijah, vsaka serija je vsebovala tri meritve v obeh legah »system reverse«.

Vrstni red je bil naslednji:

- brez filtra – moder filter – rdeč filter – 1. serija,
- rdeč filter – moder filter – brez filtra – 2. serija.

S tem so skušali čimbolj izenačiti meteorološke pogoje v času merjenja za posamezno barvo. Dodatno so merili temperaturo in zračni tlak na stojišču reflektorja vsakih 15 minut, na stojišču instrumenta pa ob začetku in koncu merjenja (Vodopivec, 1988).



V četrti in peti seriji meritev (leta 1991 in 1995) so dolžine izmerili z novim preciznim razdaljemerom Kern Mekometer ME 5000, serijska številka 357043 (Vodopivec, 1996). Merjenje z njim je bilo enostavnejše in hitrejše. Vsaka dolžina je bila merjena v dveh serijah po trikrat obojstransko. Uporabljene so bile originalne prizme Kern 5000 in dve prizmi Kern 3000. Veliko pozornosti so morali posvetiti določitvi meteoroloških parametrov, ki so bili določeni na obeh krajnih točkah merjene dolžine. Temperaturo in zračni tlak so merili na stojišču reflektorja vsakih 15 minut, na stojišču instrumenta pa so merili temperaturi psihrometra in zračni pritisk ob začetku in koncu merjenja.

V zadnji seriji meritev (leta 2011) smo dolžine merili z elektronskim tahimetrom Leica TS30. Vse dolžine smo izmerili šestindvajsetkrat in obojstransko, hkrati z merjenjem kotov. Meritve so se shranjevale na pomnilnik instrumenta. Na vseh točkah smo uporabili precizne reflektorje Leica. Na vseh stojiščih instrumenta smo merili tudi temperaturi psihrometra ter zračni tlak, in sicer na začetku, sredini in koncu meritev na posameznem stojišču. Te vrednosti in višine instrumenta ter reflektorjev smo zabeležili v zapisnik.

#### 4.2 Instrumentarij







V spodnjih preglednicah so pregledno prikazani vsi instrumenti, ki so bili uporabljeni na meritvah v mreži Gameljne. Le v zadnji seriji meritev je bil tako za merjenje dolžin kot kotov uporabljen isti instrument, drugače pa so te vrednosti merili z različnimi instrumenti. V drugi preglednici so ti instrumenti predstavljeni še s slikami, v tretji pa so podane deklarirane natančnosti posameznega instrumenta, tako da jih lažje primerjamo med seboj.

**Preglednica 1:** Uporabljeni instrumenti po posameznih letih (Vir: Kogoj, 1988, Vodopivec, 1996)

Leto izmere	1979	1983	1987	1991	1995	2011
Opazovanje kotov	teodolit Kern DKM 3	teodolit Kern DKM 3	elektronski teodolit Kern E2 s.š.: 3526000	elektronski teodolit Kern E2 s.š.: 3526000	elektronski teodolit Kern E2 s.š.: 3526000	elektronski tahimeter Leica TS30 s.š.: 360155
Merjenje dolžin	precizni razdaljemer Kern Mekometer ME 3000 s.š.: 218004	precizni razdaljemer Kern Mekometer ME 3000 s.š.: 218004	precizni razdaljemer Kern Mekometer ME 3000 s.š.: 218004	precizni razdaljemer Kern Mekometer ME 5000 s.š.: 357043	precizni razdaljemer Kern Mekometer ME 5000 s.š.: 357043	elektronski tahimeter Leica TS30 s.š.: 360155

**Preglednica 2:** Prikaz uporabljenih instrumentov po posameznih letih

(Vir: [http://www.swisstek.com/kern\\_swiss.htm](http://www.swisstek.com/kern_swiss.htm), <http://ppd.fnal.gov/align/images/mekometer.jpg>,  
[http://www.geo-anse.com/geo/Inventaire/0497\\_mecometre\\_ME3000\\_Charmasson\\_Veillard.htm](http://www.geo-anse.com/geo/Inventaire/0497_mecometre_ME3000_Charmasson_Veillard.htm),  
<http://www.geoservis.si/produkti/64-tahimetri-za-geodezijo-in-inzenirsko-geodezijo/42-leica-ts30>)

Leto izmere	1979	1983	1987	1991	1995	2011
Opazovanje kotov						
Merjenje dolžin						

**Preglednica 3:** Primerjava natančnosti opazovanja kotov in merjenja dolžin

(Vir: Benčič, Solarić, 2008)

Leto izmere	1979	1983	1987	1991	1995	2011
Opazovanje kotov [ $\sigma_s$ ]	0,5"		0,1 mgon			0,5"
Merjenje dolžin [ $\sigma_{mm}$ ; $\sigma_{ppm}$ ]	0,2 mm; 1 ppm			0,2 mm; 0,2 ppm		0,6 mm; 1 ppm

**4.3 Obseg meritev**

Kot je že zapisano, ima mreža Gameljne obliko četverokotnika z le eno diagonalo. Kljub temu pa niso bile vsako izmero izvedene identične meritve. V preglednici so pregledno prikazane vse izvedene meritve v vseh serijah meritev.


**Preglednica 4:** Izvedene meritve med točkami v vseh serijah

Leto	Točka	101S		101N		102		103		104	
		Smer	Dolžina	Smer	Dolžina	Smer	Dolžina	Smer	Dolžina	Smer	Dolžina
1979	101S					+	+	+	+		
	101N										
	102	+	+						+	+	+
	103	+	+			+	+			+	-
	104					+	+	+	-		
1983	101S			+	+	+	+	+	+		
	101N	+	+			+	+	+	+		
	102	+	+	+	+			+	+	+	+
	103	+	+	+	+	+	+			+	-
	104					+	+	+	-		
1987	101S										
	101N					+	+	+	+		
	102			+	+			+	+	+	+
	103			+	+	+	+			+	+
	104					+	+	+	+		
1991	101S										
	101N					+	+	+	+		
	102			+	+			+	+	+	+
	103			+	+	+	+			+	+
	104					+	+	+	+		
1995	101S										
	101N					+	+	+	+		
	102			+	+			+	+	+	+
	103			+	+	+	+			+	+
	104					+	+	+	+		
2011	101S										
	101N					+	+	+	+		
	102			+	+			+	+	+	+
	103			+	+	+	+			+	+
	104					+	+	+	+		

Legenda:

+ ... smer/dolžina je bila opazovana/merjena

- ... smer/dolžina ni bila opazovana/merjena

 ... smeri/dolžine ni bilo možno opazovati/meriti

Iz preglednice vidimo, da leta 1979 in 1983 ni bila merjena dolžina med točko 103 in točko 104, sicer pa so v vseh izmerah opravili vsa možna opazovanja.

## 5 PREDHODNA RAČUNANJA

Rezultati merjenj, ki jih dobimo na terenu, največkrat niso v obliki, primerni za izravnavo. Potrebno jih je urediti, poleg tega pa je potrebno izvršiti predhodno oceno natančnosti.

V geodeziji se za oceno natančnosti dobljenih rezultatov najpogosteje računa srednji pogrešek utežne enote. Ta daje objektivnejšo informacijo o natančnosti merjenih količin, kot na primer povprečni ali najverjetnejši pogrešek, ki ne opozarjata dovolj na prisotnost večjih pogreškov merjenih količin. Čim manjši je srednji pogrešek tem večja je natančnost določitve količine, na katero se nanaša.

Za prvih pet serij meritev smo vse podatke o opazovanjih prevzeli, tako da z njimi nismo opravili predhodnih računanj. Opazovanja iz serije iz leta 2011, pri kateri sem tudi sodeloval, pa smo morali predhodno preračunati. Tako smo morali izračunati sredine girusov pri horizontalnih kotih in reducirati dolžine.

### 5.1 Izračun sredin

Kot je bilo že omenjeno, so bili horizontalni koti merjeni po girusni metodi. Včasih so podatke merjenj zapisovali v trigonometrični obrazec 1, kjer so že med merjenjem kontrolirali dvojni kolimacijski pogrešek ter med seboj primerjali posamezne smeri med girusi zato, da so se izognili grobim pogreškom. Pred oceno natančnosti merjenja so v trigonometričnem obrazcu 2 tvorili aritmetične sredine reduciranih smeri posameznih girusov. Od takrat, ko podatke opazovanj shranjujemo v pomnilnik instrumenta, je postopek nekoliko drugačen. Po opravljenih meritvah je potrebno v pisarni z instrumenta prenesti podatke na osebni računalnik. Tam jih z ustreznimi programi (v našem primeru LisCAD) obdelamo in tako dobimo sredine girusov in standardne deviacije sredin.

**Preglednica 5:** Opazovane horizontalne smeri v letu 2011

Stojišče	Vizura	Hz smer [g]
102	104	0
102	103	45,38114
102	101	114,73987
104	103	0
104	102	110,87424
103	102	0
103	104	43,74480
103	101	346,63491
101	102	0
101	103	77,27611

## 5.2 Redukcija dolžin

Vrednost merjene dolžine, ki jo prikaže elektronski razdaljemer, v splošnem ni direktno uporabna za nadaljnja računanja koordinat. Na terenu izmerimo dolžino med izbranimi točkama. Ta dolžina je največkrat poševna, zaradi meteoroloških vplivov tudi ukrivljena. Ker je dolžina merjena na neki nadmorski višini, še ni uporabna za računanje na izbrani skupni ploskvi. Merjeno dolžino moramo zato reducirati, kar pomeni, da jo popravimo za izračunano vrednost. Izhajamo iz vrednosti merjene dolžine, ki jo instrument izračuna na osnovi dejanske merske frekvence – upoštevana je multiplikacijska konstanta razdaljemera  $k_M$ .

Enačbe, ki sledijo v nadaljevanju, so povzete po Kogoj, 2005.

### 5.2.1 Meteorološki popravki

Dolžina  $D_0'$ , ki jo prikaže instrument, se nanaša na referenčni lomni količnik  $n_0$ , ki je različen za različne tipe instrumentov. Običajno izbere isti proizvajalec za vse svoje tipe razdaljemerov iste referenčne pogoje.

Grupni lomni količnik je po Cauchyju opisan z interpolacijsko enačbo:

$$(n_G - 1) \cdot 10^6 = A + 3 \cdot \frac{B}{\lambda^2} + 5 \cdot \frac{C}{\lambda^4},$$

kjer so:

$$A (= 287,6155),$$

$$B (= 1,62887),$$

$$C (= 0,01360)$$

(IUGG, 1999) empirično določene konstante, ki veljajo za normalno atmosfero  $t = 0$  °C,

$p = 1013,25$  hPa,  $e = 0$  hPa, 0,03 % CO<sub>2</sub>,

$\lambda$  (= 0,658  $\mu$ m) pa valovna dolžina nosilnega valovanja.

Med merjenjem v trenutni, dejanski atmosferi, vlada dejanski lomni količnik  $n_D$ , ki se razlikuje od referenčnega. Njegova vrednost se izračuna na osnovi izmerjenih meteoroloških parametrov ( $t$ ,  $p$ ,  $e$ ) po enačbi, ki jo povzamemo po Kohlrauschu:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha \cdot t} \cdot \frac{p}{1013,25} - \frac{4,1 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha \cdot t} \cdot e,$$

kjer pomenijo:

$p$  ... zračni tlak v [hPa],

$t$  ... temperatura v [°C],

$e$  ... delni tlak vodne pare v [hPa],

$\alpha$  ... razteznostni koeficient zraka  $\alpha = 0,003661$  °C<sup>-1</sup>.

Za izračun enačbe potrebujemo podatek za delni tlak vodne pare, ki ga izračunamo s pomočjo na terenu izmerjenih meteoroloških podatkov in Sprungove enačbe:

$$e = E_m - (t_s - t_m) \cdot \frac{K}{755} \cdot p,$$

kjer je:

$t_s$  ... temperatura suhega termometra v [°C],

$t_m$  ... temperatura mokrega termometra v [°C],

$p$  ... zračni tlak v [torr],

$E_m$  ... nasičeni tlak vodne pare izračunan s temperaturo mokrega termometra v [torr],

$K (= 0,5)$  empirično določena konstanta.

Nasičeni tlak vodne pare  $E_m$ , kakor tudi konstanta  $K$  sta odvisna od tega, ali merimo mokro temperaturo  $t_m$  z mokrim ali zaledenelim termometrom.

Po Magnus – Tetensu velja empirično za  $E_m$  enačba:

$$E_m = 10^{\left( \frac{\alpha t_m + \gamma}{\beta + t_m} \right)},$$

kjer so  $\alpha (= 7,5)$ ,  $\beta (= 237,5)$  in  $\gamma (= 0,66077)$  empirično določene konstante.

Pri izračunih smo upoštevali srednjo vrednost zračnega tlaka, ki smo ga izračunali po Jordanovi enačbi barometričnega višinomertva (zadnji člen smo izpustili):

$$\bar{p} = p \cdot \left( 1 - 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\Delta h}{T} \right),$$

kjer je:

$p$  ... izmerjena vrednost zračnega tlaka na stojišču instrumenta v [hPa],

$\Delta h$  ... višinska razlika med krajnjima točkama dolžine v [m],

$T$  ... srednja temperatura v [K].

Popravek zaradi adicijske in multiplikacijske konstante razdaljemera in reflektorja je:

$$D_a = D_0' \cdot k_M + k_A,$$

kjer je  $k_M$  multiplikacijska konstanta in  $k_A$  adicijska konstanta, ki ju dobimo s komparacijo instrumenta.

Prvi popravek hitrosti

Optična pot je za referenčne in dejanske pogoje enaka. Za dejansko dolžino prostorske refrakcijske krivulje velja:

$$D' = \frac{n_0}{n_D} D_a.$$

Drugi popravek hitrosti

$$D = D' - (k - k^2) \cdot \frac{D_a^2}{12 \cdot R^2},$$

kjer je

$R$  ... polmer Zemlje (= 6378411 m),

$k$  ... refrakcijski koeficient ( $k = R/r = 0,13$ ).

### 5.2.2 Geometrični popravki

Geometrični popravki se obravnavajo na dva načina. Omejili smo se na drugi način obravnave geometričnih popravkov, kot je vrstni red v uporabljenem viru (Kogoj, D., 2005), ki zahteva merjenje zenitnih razdalj in je torej bolj neodvisen od danih količin oziroma so zanj potrebne dodatno merjene količine. Geometrični popravki pomenijo razliko med prostorsko krivuljo  $D$ , definirano z refrakcijsko krivuljo in premo poševno dolžino na nivoju točk, to je dolžina kamen – kamen. Popravki pomenijo upoštevanje ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera in reflektorja.

Zanima nas torej, kako izračunati vrednost dolžine kamen – kamen. Ločeno obravnavamo popravek zaradi ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter popravke zaradi horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet.

Popravek zaradi ukrivljenosti merskega žarka

Potrebno je določiti razliko med dolžino refrakcijske krivulje in pripadajočo tetivo. V normalnih razmerah se optična gostota zraka zmanjšuje z naraščanjem višine. Predpostavimo, da Zemljo obdajajo koncentrični zračni sloji, znotraj katerih je optična gostota zraka enaka. Pri prehodu iz enega v drugi sloj se žarek lomi. Dolžina, ki jo merimo, zaradi refrakcije predstavlja dolžino prostorske krivulje. To krivuljo v vertikalni ravnini aproksimiramo z delom krožnega loka z radijem  $r$ . Krožni lok je s svojo konkavno stranjo obrnjen proti površini Zemlje. Njegova velikost je glede na polmer zemeljske krogle definirana s koeficientom refrakcije.

Z izbranim radijem ukrivljenosti žarka  $r$  velja strogo:

$$S_r = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{D}{2 \cdot r}\right).$$

Enačbo razvijemo v Taylorjevo vrsto:

$$S_r = D - \frac{D^3}{24 \cdot r^2} + \frac{D^5}{1920 \cdot r^4} - \dots$$

Z omejitvijo na člene do 3. reda in z znanim koeficientom refrakcije sledi redukcija zaradi ukrivljenosti žarka:

$$S_r = D - k^2 \cdot \frac{D^3}{24 \cdot R^2}.$$

Izračun dolžine  $S_p$  na nivoju višine razdaljemera, ki je vzporedna poševni dolžini na nivoju točk:

$$S_p = S_r - (l - i) \cdot \cos z' + \frac{((l - i) \sin z')^2}{2 \cdot S_r},$$

kjer je:

$i$  ... višina instrumenta v [m],

$l$  ... višina reflektorja v [m],

$z'$  ... merjena zenitna razdalja v [rad].

Izračun poševne dolžine med točkama na nivoju terena se nanaša na dolžine, ki jih merimo tako, da instrument kot tudi reflektor postavimo na stativ. V splošnem imata stativa različni višini, vertikalni oddaljenosti instrumenta in reflektorja od talnih točk sta različni:

$$S_K = S_p - \frac{i \cdot S_p}{R}.$$

### 5.2.3 Projekcijski popravki

Izračun in upoštevanje projekcijskih popravkov pomeni prehod poševne dolžine na nivoju točk na sferni lok v nivoju referenčnega horizonta. Dolžine bomo reducirali z merjeno zenitno razdaljo. Merimo jo zato, da bomo lahko poševno dolžino horizontirali oziroma reducirali na horizont. V točki A z znano nadmorsko višino  $H_A$  je izmerjena zenitna razdalja  $z'$ . Predpostavimo, da se vrednost  $z'$  nanaša na poševno dolžino na nivoju točk  $S_K$ , to pomeni, da so vertikalne ekscentricitete pri vrednosti zenitne razdalje že upoštevane.

Naklonske in višinske redukcije so izvedene v dveh ločenih korakih:

1. korak – horizontiranje:

$$S_m = S_K \cdot \sin(z' + \varepsilon); \quad \varepsilon = \frac{S_K}{2 \cdot R} \cdot (k - \sin z'),$$

2. korak – redukcija na nivo točke 104:

$$S_0 = S_m \cdot \left( \frac{R}{R + H_m} \right); \quad H_m = \frac{H_A + H_B}{2}.$$



**Preglednica 6:** Izmerjene in reducirane dolžine v letu 2011

Stojišče	Vizura	Dolžina [m]		
		Merjena	Reducirana	Sredina
101	102	1082,53297	1072,60576	1072,60485
101	103	1279,78348	1278,77618	1278,77579
102	101	1082,53309	1072,60393	
102	103	1355,07508	1351,74311	1351,74283
102	104	884,01748	870,10952	870,10988
103	101	1279,79376	1278,77539	
103	102	1355,08540	1351,74255	
103	104	899,15575	897,08003	897,07958
104	102	884,01736	870,11023	
104	103	899,14858	897,07914	

### 5.3 Analiza opazovanj

#### 5.3.1 Horizontalni koti

Enostavne neodvisne računске kontrole pred izravnavo izključijo možnost napačnega tolmačenja rezultatov zaradi grobih pogreškov med opazovanji. Ena takih kontrol izmerjenih horizontalnih kotov je kontrola zapiranja trikotnikov. Za manjša območja, kot je obravnavana mreža, aproksimiramo zemeljsko površino z ravnino, kjer je sferni eksces zanemarljiv in zato za trikotnik velja pogoj, da je  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ .

$f = 180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma)$  ...odstopanje zapiranja trikotnikov (pravi pogrešek zapiranja trikotnika)

Eno od meril natančnosti merjenja horizontalnih kotov po girusni metodi je srednji pogrešek opazovane smeri izveden iz odstopanj zapiranja trikotnikov in je računán po Ferrerovi strogi enačbi (Vodopivec, 1985):

$$m = \sqrt{\frac{[f \cdot f]}{6 \cdot n}},$$

kjer je  $n$  število neodvisnih trikotnikov.

**Preglednica 7:** Izmerjeni horizontalni koti z odstopanjem zapiranja trikotnika in srednjim pogreškom opazovane smeri po Ferreru v vseh serijah meritev

Leto	Kot	Izmerjen kot [°]	Odstopanje ["]	$m$ ["]
1979	101S	68,943583	1,600	0,465
	102	62,134167		
	103	48,921806		
	102	40,842917	-0,200	
	103	39,369444		
	104	99,787694		
1983	101S	68,943583	1,300	0,443
	102	62,135028		
	103	48,921028		
	102	40,842583	1,300	
	103	39,370167		
	104	99,786889		
	101N	69,548806	0,400	
	102	62,422750		
103	48,028333			
1987	101N	69,548679	-0,162	0,096
	102	62,422659		
	103	48,028707		
	102	40,842216	-0,292	
	103	39,370059		
	104	99,787806		
1991	101N	69,548661	-0,194	0,063
	102	62,422767		
	103	48,028626		
	102	40,842621	-0,097	
	103	39,369834		
	104	99,787572		
1995	101N	69,548283	4,374	1,405
	102	62,422767		
	103	48,027735		
	102	40,842828	2,138	
	103	39,370023		
	104	99,786555		
2011	101N	69,548499	0,227	0,181
	102	62,422857		
	103	48,028581		
	102	40,843026	-0,583	
	103	39,370320		
	104	99,786816		

V preglednici 7 podajamo po posameznem letu merjenja odstopanje  $f$  in srednji pogrešek opazovane smeri  $m$  po Ferreru.

Vidimo, da je vrednost odstopanja in srednjega pogreška opazovane smeri največja v prvih dveh serijah meritev, nato pa se zmanjša. To je posledica uporabe drugega instrumenta. Pri izmeri v letu 1995 pa so kot kaže imeli težave ali otežene razmere in je zato vrednost precej večja kot v drugih serijah.

### 5.3.2 Dolžine

Dvojna merjenja so v geodeziji zelo pogosta, saj so najbolj učinkovita kontrola pri odkrivanju grobih pogreškov, zmanjšanju vpliva slučajnih pogreškov in povečanju natančnosti merjenj. Pri tem merimo enkrat v eni smeri, drugič v drugi smeri. Na osnovi dvojnih merjenj lahko ocenjujemo tudi natančnost merjenja dolžin.

Izračun natančnosti temelji na osnovi razlike med merjenjem v eni in drugi smeri. Merilo natančnosti izmerjenih dolžin je srednji kilometrski pogrešek dolžin, računana iz razlik dvojnih merjenj, skupno za celotno mrežo, po enačbi (Vodopivec, 1985):

$$M = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[p \cdot d \cdot d]}{n}},$$

kjer je:

$p$  ... utež dolžine,

$d$  ... razlika tja-nazaj v [mm],

$n$  ... število merjenih dolžin.

**Preglednica 8:** Razlika dolžin merjenih v obeh smereh in srednji kilometrski pogrešek dolžin za vse serije meritev (Vir: Kogoj, 1989, Vodopivec, 1993)

Stranica	$S'$ [km]	Razlika tja-nazaj [mm]					
		1979	1983	1987	1991	1995	2011
101S-102	1,10	-1,10	-0,20	/	/	/	/
101S-103	1,28	0,60	1,60	/	/	/	/
101N-102	1,07	/	-3,10	-2,10	0,86	*	2,12
101N-103	1,28	/	1,60	1,40	0,13	*	0,35
102-103	1,36	0,60	1,40	2,33	-1,37	*	-2,04
102-104	0,88	-1,00	-0,40	0,35	0,47	*	-0,94
103-104	0,90	/	/	-0,70	0,81	*	0,43
	$M$ [mm]	0,428	0,839	0,788	0,419	*	0,700

Legenda:

\* ... podatkov nam ni uspelo pridobiti

/ ... dolžina ni bila merjena

V preglednici 8 podajamo po posameznem letu merjenja razliko merjenih dolžin v obeh smereh in srednji kilometrski pogrešek dolžin.

Vidimo, da so razlike merjenih dolžin v obeh smereh največje pri dolgih dolžinah. Srednji kilometrski pogrešek dolžin pa se je, z izjemo prve serije meritev, zmanjšal z uporabo novejšega instrumenta.

## 6 IZRAVNAVA

Trigonometrične mreže lahko izravnamo po posrednem ali pogojnem načinu. Po obeh načinih dobimo identičen rezultat. Včasih je bil izbor načina odvisen od števila normalnih enačb, danes pa se uporablja izključno posredni način zaradi možnosti računske obdelave.

V izravnavi nastopajo tri vrste količin, ki jih med seboj povezujemo:

- merjene količine (opazovanja, meritve),
- dane količine (dane koordinate),
- iskane količine (neznanke, koordinate novih točk).

Osnova za izračun koordinat novih točk so meritve in dane točke. Končni rezultat izravnave so »izračunane« izravnane koordinate novih točk. Zvezo, ki povezuje iskane in merjene količine definira matematični model. Za rešitev matematičnega modela potrebujemo zadostno število meritev.

Minimalno število meritev = nujno potrebno število meritev;  $N = u$

- matematični model je enolično določen
- izračunamo le približne vrednosti iskanih količin
- meritve še vedno lahko vsebujejo grobe pogreške
- natančnost ocene iskanih količin ni možna

Nadštevilne meritve;  $N - u > 0$ ;  $N > u$

- meritev imamo več, kot je nujno potrebnih,
- zato imamo več rešitev matematičnega modela,
- zato si moramo izbrati kriterij izbora modela; odločimo se za optimalno rešitev
- enolično optimalno rešitev matematičnega modela v primeru nadštevilnih opazovanj dobimo z metodo minimalne vsote kvadratov popravkov merjenih količin
- omogočeno je iskanje grobih pogreškov
- izračunamo lahko natančnost iskanih količin

Enačbe, ki sledijo v nadaljevanju, so povzete po Ambrožič, 2008.

Sestava normalnih enačb:

$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}$  ... matrika koeficientov normalnih enačb,

kjer je

$\mathbf{P}$  ... matrika uteži,

$\mathbf{A}$  ... matrika enačb popravkov.

$\mathbf{n} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{f}$  ... vektor prostih členov,

kjer je

$\mathbf{f}$  ... vektor odstopanj.

Rešitev sistema normalnih enačb:

$\mathbf{x} = -\mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{n}$  ... vektor neznank.

Izračun popravkov opazovanj:

$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{f}$ .

Izračun izravnanih vrednosti koordinat:

$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{x}$ ,

kjer je

$\mathbf{x}_0$  ... vektor približnih vrednosti neznank.

Natančnost meritev:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}}{N - u}}.$$

Natančnost neznank:

$$\Sigma_{\mathbf{xx}} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \mathbf{Q}_{\mathbf{xx}} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \begin{bmatrix} q_{xx} & q_{xy} \\ q_{yx} & q_{yy} \end{bmatrix},$$

kjer je

$\Sigma_{\mathbf{xx}}$  ... kovariančna matrika neznank,

$\mathbf{Q}_{\mathbf{xx}}$  ... matrika kofaktorjev neznank.

Geodetski datum geodetske mreže je definiran kot najmanjše število parametrov, potrebnih za določitev novih koordinat točk v geodetski mreži. Problem definiranja geodetskega datuma geodetske mreže nastopa v različnih primerih, predvsem pa pri vzpostavitvi geodetskih mrež za najnatančnejše naloge. Z navezavo take mreže na državni koordinatni sistem bi bili primorani privzeti dane koordinate točk v državnem koordinatnem sistemu. Te bi po kakovosti določitve zaostajale za koordinatami točk, določenimi v okviru lokalne geodetske mreže. Meritve v deformacijskih mrežah opravljamo z najsodobnejšim instrumentarijem in metodami izmere, ki zagotavljajo veliko nadštevilnih opazovanj in jih obdelujemo s postopki, ki omogočajo obravnavo vseh vplivov na opazovanja. Zato koordinat točk v okviru deformacijske analize ne računamo v geodetskem datumu državnega koordinatnega sistema, ampak definiramo geodetski datum lokalnega koordinatnega sistema, v katerem nato spremljamo spremembe lege točk v mreži (Marjetič, Stopar, 2007).

Pri določevanju geodetskega datuma geodetske mreže velja nekaj splošnih lastnosti. Če v geodetski mreži geodetski datum ni ali ni v celoti določen, ga je treba določiti z ustreznimi datumskimi parametri. Notranja in morebitna zunanja opazovanja lahko določajo nekatere datumске parametre, preostali nedoločeni datumski parametri pa se v geodetski mreži kažejo kot nepopolnost ali **defekt geodetskega datuma** ( $d$  - število preostalih nedoločenih datumskih parametrov). Če sedaj zagotovimo natanko toliko danih datumskih količin (npr. danih koordinat točk), kot je število preostalih potrebnih datumskih parametrov, potem govorimo o **enolično določenem geodetskem datumu**. V tem primeru z izbiro danih količin oz. vezi med danimi količinami in parametri za definiranje geodetskega datuma ne posegamo v notranjo geometrijo geodetske mreže, kar je tudi edina sprejemljiva možnost za korektno obravnavo geodetskih mrež. Dejstvo je tudi, da je geodetski datum lahko podvržen spremembam, zato se lahko skozi čas spreminja (Marjetič, Stopar, 2007).

Število potrebnih datumskih parametrov je odvisno od vrste opravljenih opazovanj in od razsežnosti prostora, v katerem določamo koordinate točk: 1D, 2D, 3D. Na primeru lokalnih geodetskih mrež za deformacijsko analizo nas zanimajo horizontalne koordinate točk ( $y$ ,  $x$ ), zato je število potrebnih datumskih parametrov, ki jih moramo določiti ali privzeti iz danih količin, največ štiri. Parametri, ki jih je treba definirati za zagotovitev geodetskega datuma so zasuk ali rotacija, premik ali translacija in merilo. V osnovi geodetski datum zagotovijo zunanja opazovanja (zunanje količine), lahko pa posamezne datumске parametre definirajo tudi geodetska opazovanja (notranje količine, notranja opazovanja) v geodetski mreži. Merjene dolžine v geodetski mreži določajo merilo mreže, morebitna opazovanja azimuta zagotavljajo orientacijo mreže, merjeni koordinati ene od točk v geodetski mreži zagotavljata poznavanje premika geodetske mreže glede na izhodišče koordinatnega sistema (Marjetič, Stopar, 2007).

Izravnavo smo izvedli s programom Gem4. Sestaviti smo morali vhodno datoteko (\*.pod), od izhodnih datotek pa sta bili za nadaljnje računanje pomembni datoteki \*.koo z izravnanimi koordinatami in elementi matrike kofaktorjev neznank ter \*.gem z rezultati izravnave.

Izravnavo smo opravili na več različnih načinov in jih med seboj tudi primerjali ter poiskali optimalno rešitev. Tako smo kombinirano mrežo izravnali kot prosto mrežo, nato kot vpeto z dano točko 103 in še kot vpeto, kjer je bila dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104. Nato smo izločili vse opazovane dolžine in izravnali triangulacijsko mrežo. Najprej kot prosto, potem kot vpeto z dano točko 103 in na koncu še kot vpeto z danima točkama 103 in 104. Triangulacijske mreže zaradi premajhnega števila opazovanj nismo mogli izravnati kot vpeto z dano točko 103 in vizuro s točke 103 na točko 104, saj v tem primeru pride do poddoločenega geodetskega datuma.

### 6.1 Izravnavna proste mreže

Prosta mreža je tista, v kateri koordinat nobene točke ne privzamemo kot danih. V 3D in 2D prostoru zahtevajo notranje vezi izpolnitev naslednjih pogojev za prosto mrežo:

- koordinate težišča mreže (povprečje približnih koordinat točk v mreži) se po izravnavi ne smejo spremeniti,
- mreža se glede na težišče ne sme zasukati,
- velikost geodetske mreže (povprečna razdalja med težiščem in posameznimi točkami mreže) mora ostati nespremenjena.

Enačbe, ki sledijo v nadaljevanju, so povzete po Marjetič, Stopar, 2007.

Matematično pridobimo vezne enačbe, ki zagotavljajo izpolnitev notranjih vezi, iz enačb podobnostne transformacije, ki zagotavlja, da je vsota kvadratov razlik med približnimi in ocenjenimi vrednostmi koordinatnih neznank najmanjša možna:

$$\begin{bmatrix} \delta y_i \\ \delta x_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_i^0 & y_i^0 \\ 0 & 1 & -y_i^0 & x_i^0 \end{bmatrix} \cdot [t_y \quad t_x \quad \delta \omega_z \quad \delta s]^T.$$

Vidimo, da je npr. popravek koordinate  $y$  sestavljen iz premika  $t_y$ , člena  $\delta \omega_z \cdot x_i^0$ , ki vsebuje zasuk mreže in  $\delta s \cdot y_i^0$ , ki vsebuje spremembo merila mreže. Zahtevi, da se naj mreža v povprečju ne premakne, je enakovredna zahteva, da naj bo vsota popravkov približnih vrednosti koordinat vseh točk enaka 0:

$$\sum_{i=1}^m \delta y_i = 0, \quad \sum_{i=1}^m \delta x_i = 0.$$

Zahtevo, naj se mreža v povprečju ne zasuka, lahko zapišemo kot:

$$\sum_{i=1}^m (x_i^0 \cdot \delta y_i - y_i^0 \cdot \delta x_i) = 0.$$

Zahtevo, naj se velikost mreže v povprečju ne spremeni, lahko zapišemo kot:

$$\sum_{i=1}^m (y_i^0 \cdot \delta y_i + x_i^0 \cdot \delta x_i) = 0.$$

Enačbe lahko zapišemo v matrični obliki v obliki t. i. veznih enačb:

$$\mathbf{H}^T \cdot \Delta = 0,$$

kjer je za triangulacijsko mrežo

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \\ y_1^0 & x_1^0 & y_2^0 & x_2^0 & \dots & y_m^0 & x_m^0 \end{bmatrix},$$

oziroma za kombinirano mrežo, v kateri so merjene tudi dolžine, ki določajo merilo mreže

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \end{bmatrix}.$$

Prvi dve vrstici v matriki  $\mathbf{H}^T$  podajata zahtevo, da se mreža ne premakne, tretja vrstica zahtevo, da se mreža ne zasuka in četrta, da merilo mreže ostane nespremenjeno. Če smo v mreži že opazovali katero od količin, izbrišemo ustrezno vrstico v matriki  $\mathbf{H}$ .

Med matriko  $\mathbf{H}^T$  in matriko koeficientov enačb popravkov pri neznankah  $\mathbf{A}$  obstaja pomembna zveza:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{H} = 0.$$

Ker sta prostora, ki ga napenjajo vrstice matrike  $\mathbf{A}$  in pripadajoče matrike normalnih enačb

$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}$  enaka, lahko zapišemo tudi zvezo:

$$\mathbf{N} \cdot \mathbf{H} = 0.$$

Iz enačbe izhaja, da stolpci matrike  $\mathbf{H}$  predstavljajo lastne vektorje matrike  $\mathbf{N}$  za lastno vrednost  $\lambda = 0$ .

Izravnava opazovanj v geodetski mreži po metodi najmanjših kvadratov (MNK) z minimalnim številom notranjih vezi za definiranje geodetskega datuma mreže poteka po postopku izravnave funkcijsko odvisnih neznank:

$$\mathbf{v} + \mathbf{A} \cdot \Delta = \mathbf{f} = \mathbf{d} - \mathbf{l}, \mathbf{H}^T \cdot \Delta = \mathbf{0}.$$



V okviru izravnave moramo izpolniti zahtevo, da je  $\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min$  in tako dobimo rešitev za vektor popravkov približnih vrednosti neznank  $\Delta z$ :

$$\Delta = \left( (\mathbf{N} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^T \right) \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{f}.$$

## 6.2 Izravnava mreže, če je dana točka 103

V nasprotju s prosto mrežo, v vpeti mreži določimo dane količine. V tem primeru smo za dano točko izbrali točko 103, ki se je po dosedanjih izkušnjah izkazala za najzanesljivejšo. Zaradi danih količin se spremeni defekt mreže in posledično tudi matrika  $\mathbf{H}^T$ .

V triangulacijski mreži ima obliko: 
$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \\ y_1^0 & x_1^0 & y_2^0 & x_2^0 & \dots & y_m^0 & x_m^0 \end{bmatrix},$$

v kombinirani mreži pa: 
$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \end{bmatrix}.$$

## 6.3 Izravnava mreže, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

V tem primeru se defekt mreže še zmanjša, saj smo poleg dane točke določili še dano vizuro, kar pomeni, da se mreža ne more premakniti in zasukati. V kombinirani mreži, kjer so opazovane dolžine, je tako defekt mreže enak nič, v triangulacijski mreži pa smo morali zaradi premajhnega števila opazovanj določiti dve dani točki. Ti dve točki določata vse datumske parametre, tako da je tudi v tem primeru defekt mreže nič.

## 6.4 Izračun multiplikacijske konstante

Multiplikacijsko konstanto ali konstanto merila določamo na osnovi merjenih dolžin in danih približnih koordinat. Ta konstanta je torej kvocient med nominalno in dejansko dolžino in podaja zahtevo, da ostane povprečna razdalja med težiščem mreže in posameznimi točkami nespremenjena (Kogoj, 2005):

$$k_M = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{S_0}.$$

### 6.4.1 Izračun multiplikacijske konstante iz vseh dolžin

Da smo določili konstanto merila mreže, smo izravnali mrežo z vsemi opazovanji in vse točke določili kot dane. V programu za izravnavo smo dodali še pogoj, da se naj izračuna multiplikacijska konstanta. S tem se je v izravnavi pojavila samo ena neznanka-ena multiplikacijska neznanka. Rezultat izravnave je bila izračunana deformacija merila mreže oziroma izračunani faktor napetosti mreže. To izračunano vrednost napetosti mreže smo nato uporabili v izravnavi ter mrežo izravnali na vse tri zgoraj omenjene načine.

### 6.4.2 Izračun multiplikacijske konstante iz ene dolžine

Ker se v prejšnjem primeru pri izračunu multiplikacijske konstante le ta izračuna iz vseh dolžin, se lahko zgodi, da morebitni premiki ostanejo neodkriti. Zato smo izračunali multiplikacijsko konstanto še na podlagi samo ene dolžine. Ker pa prelomnica v mreži ni zanesljivo določena in obstaja več teorij, kje naj bi potekala, smo se odločili, da multiplikacijsko konstanto iz ene dolžine izračunamo iz dveh različnih dolžin, in sicer za dolžino 103-104 in dolžino 102-104. Želja je namreč bila, da bi se izognil dolžini, ki gre preko prelomnice. Tudi s to vrednostjo smo izravnali mrežo na vse tri načine.

**Preglednica 9:** Izračun multiplikacijske konstante iz ene dolžine

	Točka	Y [m]	X [m]	Dolžina iz koordinat [m]	Merjena dolžina [m]	Merilo mreže
Izračun multiplikacijske konstante iz dolžine 103-104						
1979	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	*	
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
1983	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	*	
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
1987	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	897,07600	1,00001496
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
1991	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	897,07940	1,00001117
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
1995	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	897,07992	1,00001059
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
2011	103	10000,0000	10000,0000	897,08942	897,07958	1,00001097
	razlika	-861,5382	250,0427			
	104	10861,5382	9749,9573			
Izračun multiplikacijske konstante iz dolžine 102-104						
1979	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,12980	1,00000969
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			
1983	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,13200	1,00000716
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			
1987	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,11940	1,00002164
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			
1991	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,11500	1,00002670
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			
1995	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,11613	1,00002540
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			
2011	102	11242,5877	10532,2244	870,13823	870,10988	1,00003258
	razlika	381,0495	782,2671			
	104	10861,5382	9749,9573			

Legenda: \* ... dolžina ni bila merjena

## 7 PREMIKI

### 7.1 Splošno o premikih

Različne vrednosti koordinat iste točke mreže v posameznih serijah merjenj ob enaki računski obdelavi nastopijo zaradi:

- različne kvalitete merjenih podatkov,
- premikov točk mreže.

Kvaliteto določitve položaja točke opisuje elipsa pogreškov, ki je v splošnem različna za posamezno serijo merjenj. Premik točke predstavlja sprememba koordinat glede na primerjalno (ničelno) izmero. Natančnost določitve tega premika je odvisna od natančnosti določitve položaja točke v posamezni seriji merjenj (Savšek-Safić, 2004).

Osnova za ugotavljanje premikanja zgrajenega objekta ali naravnega dela zemeljskega površja je določitev spremembe položajev točk objekta. Točke med seboj povezujemo v mreže, ki jih opazujemo v vnaprej določenih časovnih terminih, imenovanih terminske izmere. O premikih točk med dvema terminskima izmerama lahko sklepamo izključno takrat, ko gre za identične točke, izmerjene v dveh terminskih izmerah. Po izravnavi dveh terminskih izmer lahko določimo premike točk s pripadajočimi merili natančnosti ocenjenih premikov, torej spremembe položajev točk.

Glede na zahtevano natančnost določitve premikov točk morajo biti opazovanja vestno opravljena z ustreznim instrumentarijem in s preizkušenimi metodami izmere. Opazovanja v geodetski mreži izravnamo in ocenimo kakovost geodetske mreže. Po skrbni analizi in oceni kakovosti posamezne terminske izmere ocenimo premike in izračunamo natančnost ocene premikov točk med dvema terminskima izmerama. Pri mnogih inženirskih nalogah daje ocena razlike položajev točk med dvema terminskima izmerama popolnoma zadovoljive informacije o premikih. To velja v primeru zadostnega števila stabilnih točk ali če so premiki nekajkrat večji od natančnosti premika (Savšek-Safić, 2004).

Zelo pomembno vlogo pri ugotavljanju premikov točk ima statistično testiranje. Podrobno poznavanje postopkov in praktične izkušnje so nujno potrebne za pravilno interpretacijo ocenjenih premikov točk. V praksi se pogosto uporablja test za ugotavljanje statistične značilnosti premika kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo premika točke. Običajno izračunano vrednost testa primerjamo s faktorjem 3, 5 ali več. Pri presoji o značilnosti premikov je za uporabnika zelo uporabna informacija o dejanskem tveganju za zavrnitev ničelne hipoteze, zato jo je koristno izračunati. Ob predpostavki, da natančno določimo porazdelitveno funkcijo, je taka testna statistika enostavna in primerna za

praktično uporabo. Na ta način pridobimo prvo oceno dogajanja v geodetski mreži. Izvedemo jo lahko takoj po izravnavi dveh terminskih izmer (Savšek-Safić, 2004).

## 7.2 Izračun premikov

Premike točk ugotavljamo na osnovi primerjave koordinat točk v dveh terminskih izmerah. Predpostavimo, da obravnavamo koordinate točke T v ravnini v času  $t$  in  $t+\Delta t$ . Da bi lahko izračunali natančnost ocene premika točke, moramo poleg koordinat točke poznati tudi kovariančno matriko koordinat točke za posamezno terminsko izmero. Naj bo  $T_t (y_t, x_t)$  položaj točke T v času  $t$  in  $\Sigma_t$  pripadajoča kovariančna matrika ter  $T_{t+\Delta t} (y_{t+\Delta t}, x_{t+\Delta t})$  položaj točke T v času  $t+\Delta t$  s pripadajočo kovariančno matriko  $\Sigma_{t+\Delta t}$ . Predpostavimo, da so koordinate v času  $t$  nekorelirane s koordinatami v času  $t+\Delta t$ .

Enačbe, ki sledijo v nadaljevanju, so povzete po Savšek-Safić, 2004.

Premik točke T v ravnini izračunamo po enačbi:

$$d = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} = \sqrt{(y_{t+\Delta t} - y_t)^2 + (x_{t+\Delta t} - x_t)^2}.$$

Izraz za varianco premika točke T:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\Delta y}{d}\right)^2 \cdot (\sigma_{y_t}^2 + \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2) + 2 \cdot \frac{\Delta y}{d} \cdot \frac{\Delta x}{d} \cdot (\sigma_{y_t x_t} + \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}}),$$

ki jo uporabimo za testiranje premika s testno statistiko.

V praksi pri presoji premikov pogosto računamo testno statistiko:

$$T = \frac{d}{\sigma_d}$$

in jo primerjamo s kritično vrednostjo glede na izbrano stopnjo značilnosti testa  $\alpha$ . Premike točk je mogoče z zadostno verjetnostjo odkriti šele tedaj, ko so premiki statistično značilno večji od natančnosti ocene premikov. Porazdelitveno funkcijo za testno statistiko določimo za posamezno točko analitično ali s simulacijami. Nato določimo še pripadajočo kritično vrednost glede na izbrano stopnjo značilnosti testa. Natančnost ocene koordinat točk v posamezni terminski izmeri je za različne točke različna. Zato je porazdelitvena funkcija testne statistike za vsako točko v posamezni terminski izmeri drugačne oblike.

Testno statistiko testiramo glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo:

$H_0 : d = 0$  ; točka miruje in

$H_a : d \neq 0$  ; točka se je premaknila.

Testno statistiko primerjamo glede na kritično vrednost, ki jo izračunamo na osnovi simulirane porazdelitvene funkcije. Če je testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji značilnosti testa  $\alpha$ , je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. V tem primeru zaključimo, da premik ni statistično značilen. Če je testna statistika večja od kritične vrednosti, je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti testa  $\alpha$ . Zato upravičeno zavrnemo hipotezo in na ta način potrdimo, da je obravnavani premik statistično značilen. Za lažjo odločitev izračunamo dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze. Dejansko tveganje  $\alpha_T$  izračunamo iz simulirane porazdelitvene funkcije pri izračunani vrednosti testne statistike  $T$ . Dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze primerjamo s stopnjo značilnosti testa  $\alpha$ . Obravnavamo dva primera:

- $\alpha_T < \alpha$  : zavrnemo ničelno hipotezo; premik točke je statistično značilen ali
- $\alpha_T > \alpha$  : ne zavrnemo ničelne hipoteze; premik točke ni statistično značilen.

Uporabnik, glede na dejansko tveganje in posledice napačne odločitve, presodi ali je tveganje zanj še sprejemljivo ali ne. Odločitev ima za posledico uvrstitev določene točke med mirujoče točke ali med točke, ki so se premaknile, zato mora biti izbira stopnje značilnosti testa zelo preiščljena.

V obravnavani mreži smo za izračun premikov uporabili program Premik. Vhodna datoteka je vsebovala imena datotek s končnico \*.koo, ki so bile izhodne datoteke izravnave, stopnja značilnosti testa  $\alpha$ , ki je bila v našem primeru 5 % in število iteracij, ki smo ga nastavili na največje možno. V \*.koo datotekah so vrednosti koordinat s pripadajočimi elementi kovariančne matrike za vse točke v mreži, datotek pa je toliko, kolikor je bilo serij meritev. Med temi serijami smo računali premike. Vso pozornost smo posvetili premikom med zaporednimi serijami (med 1. in 2. serijo, 2. in 3. serijo, 3. in 4. serijo, 4. in 5. serijo ter 5. in 6. serijo). Izračunane premike smo s pomočjo programa, napisanega v Matlabu in AutoCAD-a, tudi izrisali.

### **7.3 Analiza premikov**

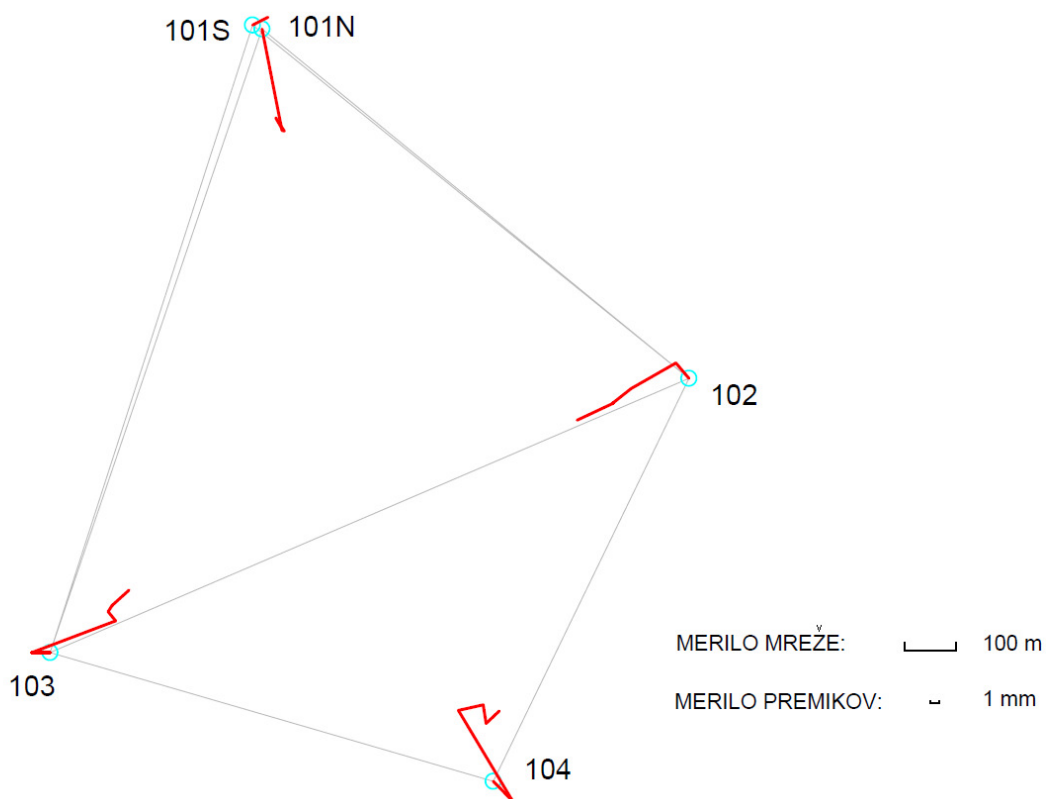
V nadaljevanju so tabelarično in grafično prikazani rezultati računanja premikov.

### 7.3.1 Kombinirana mreža

#### 7.3.1.1 Kombinirana prosta mreža

**Preglednica 10:** Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	63	0,0022	0,0006	3,6287	0,07	*
	102	320	0,0026	0,0009	2,3363	1,04	
	103	270	0,0024	0,0021	1,1512	37,84	
	104	135	0,0035	0,0036	0,9851	45,16	
1983-1987	101N	169	0,0134	0,0010	13,3451	0,00	*
	102	240	0,0067	0,0011	6,2222	0,00	*
	103	69	0,0116	0,0014	8,1711	0,00	*
	104	329	0,0136	0,0024	5,5935	0,00	*
1987-1991	101N	108	0,0003	0,0006	0,5384	85,67	*
	102	232	0,0031	0,0006	5,4628	0,00	*
	103	320	0,0016	0,0005	2,9286	1,46	
	104	78	0,0033	0,0005	6,0005	0,00	*
1991-1995	101N	327	0,0020	0,0006	3,3728	0,22	*
	102	90	0,0001	0,0005	0,1998	2,44	
	103	32	0,0009	0,0005	1,9702	14,84	
	104	171	0,0024	0,0007	3,6859	0,07	*
1995-2011	101N	150	0,0016	0,0005	3,1819	0,45	*
	102	245	0,0052	0,0004	12,5758	0,00	*
	103	48	0,0030	0,0004	7,4864	0,00	*
	104	47	0,0023	0,0004	6,0397	0,00	*

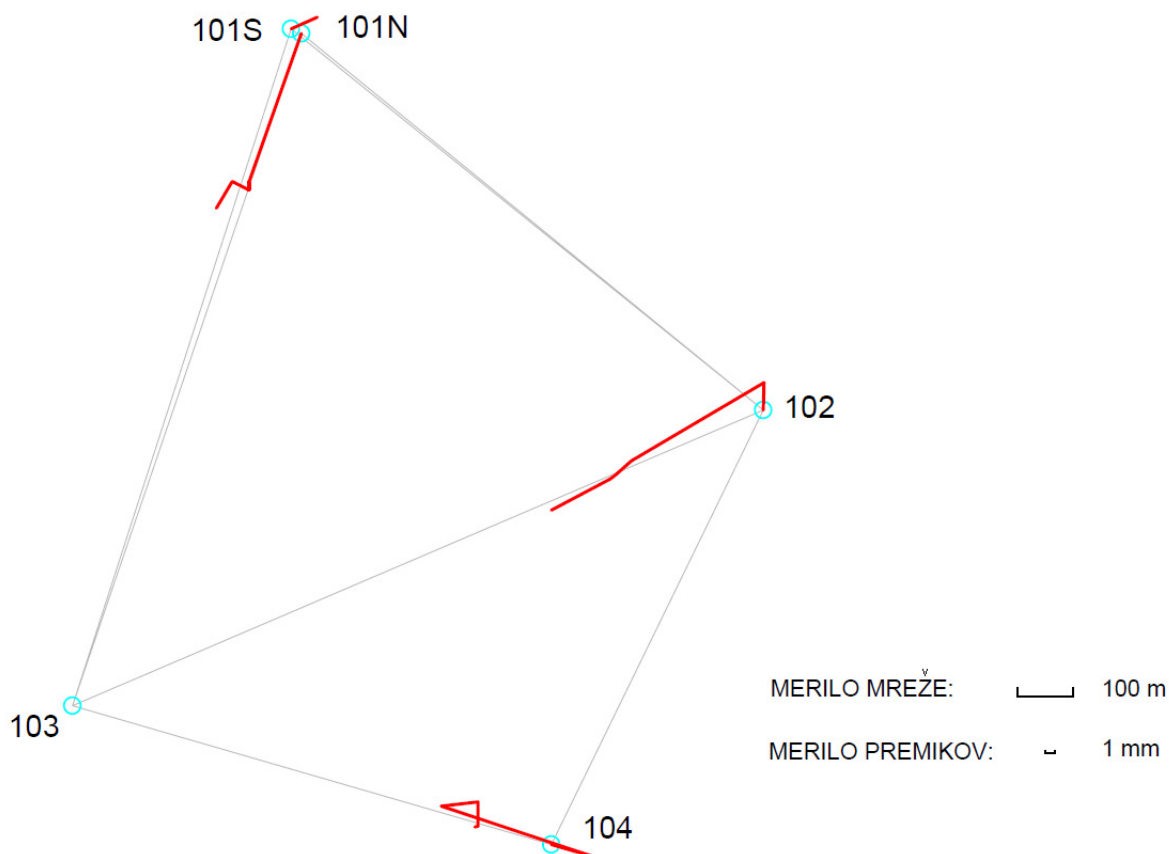


**Slika 8:** Premiki točk v kombinirani prosti mreži

### 7.3.1.2 Kombinirana mreža, če je dana točka 103

**Preglednica 11:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	66	0,0034	0,0013	2,7025	2,58	
	102	2	0,0033	0,0012	2,8407	1,01	
	104	106	0,0053	0,0057	2,0721	49,31	
1983-1987	101N	199	0,0190	0,0014	13,9739	0,00	*
	102	239	0,0185	0,0016	11,3983	0,00	*
	104	288	0,0193	0,0042	4,5810	0,00	*
1987-1991	101N	180	0,0009	0,0010	0,9402	62,14	
	102	228	0,0025	0,0009	2,8729	1,16	
	104	84	0,0044	0,0011	4,1258	0,02	*
1991-1995	101N	297	0,0022	0,0007	3,3794	0,29	*
	102	234	0,0009	0,0008	1,1449	48,00	
	104	180	0,0029	0,0008	3,6746	0,13	*
1995-2011	101N	211	0,0037	0,0007	5,4609	0,00	*
	102	242	0,0079	0,0006	12,4539	0,00	*
	104	256	0,0004	0,0006	0,6389	81,17	

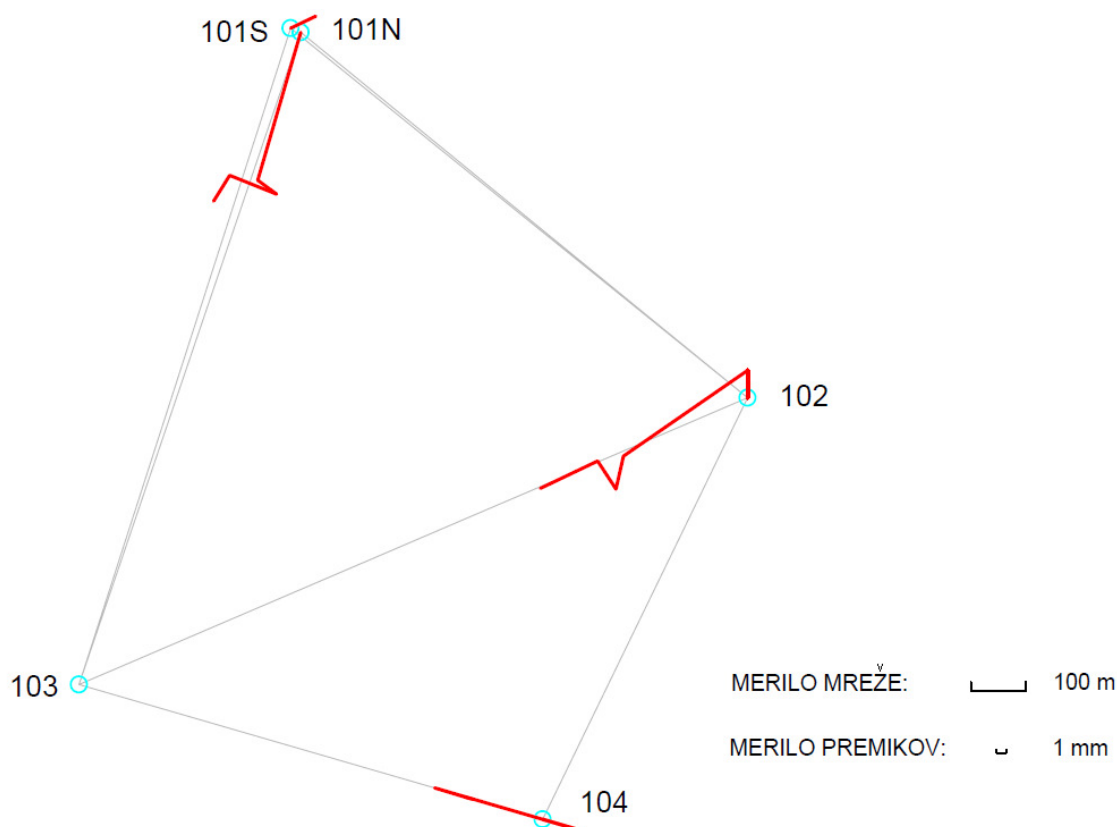


**Slika 9:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103

### 7.3.1.3 Kombinirana mreža, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

**Preglednica 12:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	64	0,0034	0,0027	1,2590	30,83	
	102	0	0,0034	0,0024	1,4084	28,76	
	104	106	0,0053				
1983-1987	101N	196	0,0191	0,0013	14,1658	0,00	*
	102	235	0,0187	0,0014	12,9364	0,00	*
	104	286	0,0193				
1987-1991	101N	126	0,0029	0,0017	1,6916	19,37	
	102	192	0,0042	0,0012	3,6127	0,08	*
	104	107	0,0042				
1991-1995	101N	292	0,0062	0,0017	3,6684	0,04	*
	102	327	0,0042	0,0014	3,0095	0,54	*
	104	106	0,0007				
1995-2011	101N	212	0,0038	0,0008	4,8769	0,00	*
	102	244	0,0079	0,0006	12,9453	0,00	*
	104	288	0,0003				



**Slika 10:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

Vsi trije načini izravnave so dali podobne rezultate, ki kažejo na to, da so se točke premaknile proti težišču mreže (primer v prosti mreži) oziroma proti točki 103, ki preprečuje translacijo mreže. To se nam zdi malo verjetno, zato smo poskusili z dodatnimi preračuni.

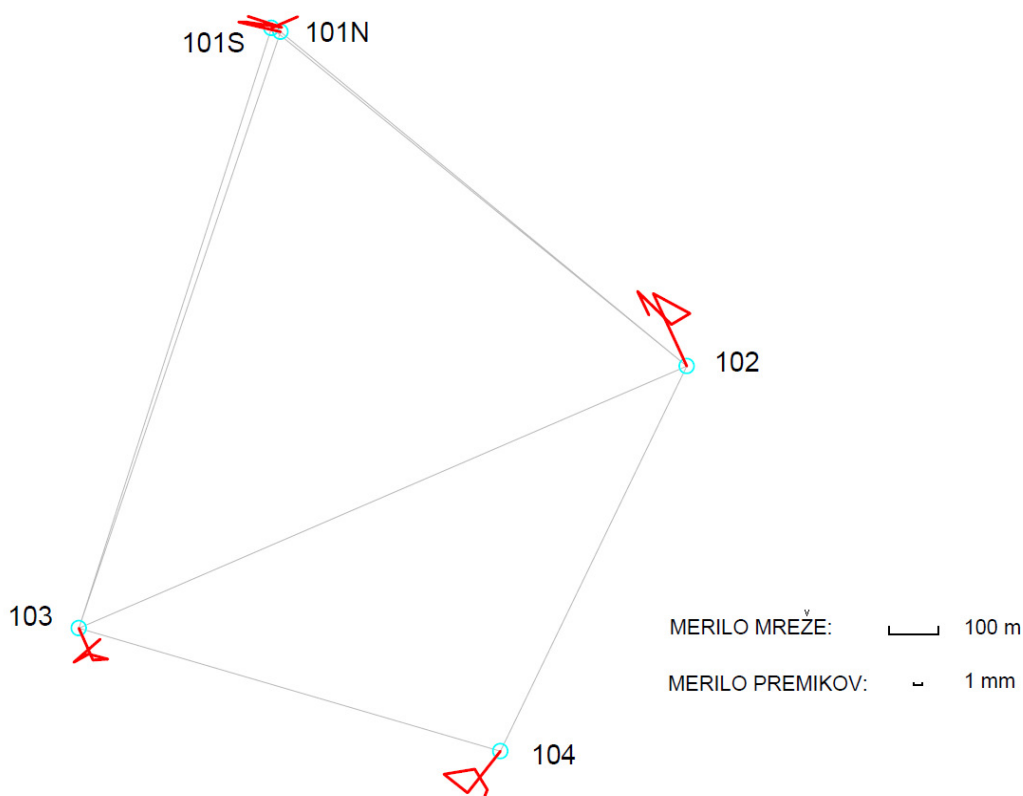


### 7.3.2 Triangulacijska mreža

#### 7.3.2.1 Triangulacijska prosta mreža

**Preglednica 13:** Vektorji premikov točk v triangulacijski prosti mreži

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	67	0,0039	0,0037	1,0681	43,54	
	102	335	0,0108	0,0048	2,2653	5,29	
	103	156	0,0047	0,0042	1,1072	51,64	
	104	219	0,0072	0,0042	1,7051	17,05	
1983-1987	101N	283	0,0058	0,0046	1,2798	27,52	
	102	118	0,0057	0,0035	1,6224	21,24	
	103	87	0,0020	0,0032	0,6264	80,87	
	104	308	0,0041	0,0028	1,4540	27,16	
1987-1991	101N	90	0,0010	0,0004	2,4341	4,84	
	102	239	0,0029	0,0004	8,2991	0,00	*
	103	285	0,0027	0,0004	6,0950	0,00	*
	104	81	0,0043	0,0005	8,3088	0,00	*
1991-1995	101N	98	0,0049	0,0046	1,0671	55,92	
	102	314	0,0064	0,0052	1,2336	41,37	
	103	241	0,0023	0,0039	0,5823	83,61	
	104	149	0,0033	0,0030	1,0960	47,55	
1995-2011	101N	288	0,0048	0,0046	1,0486	57,27	
	102	155	0,0035	0,0059	0,5996	81,01	
	103	49	0,0048	0,0038	1,2475	43,77	
	104	201	0,0014	0,0046	0,3003	94,89	

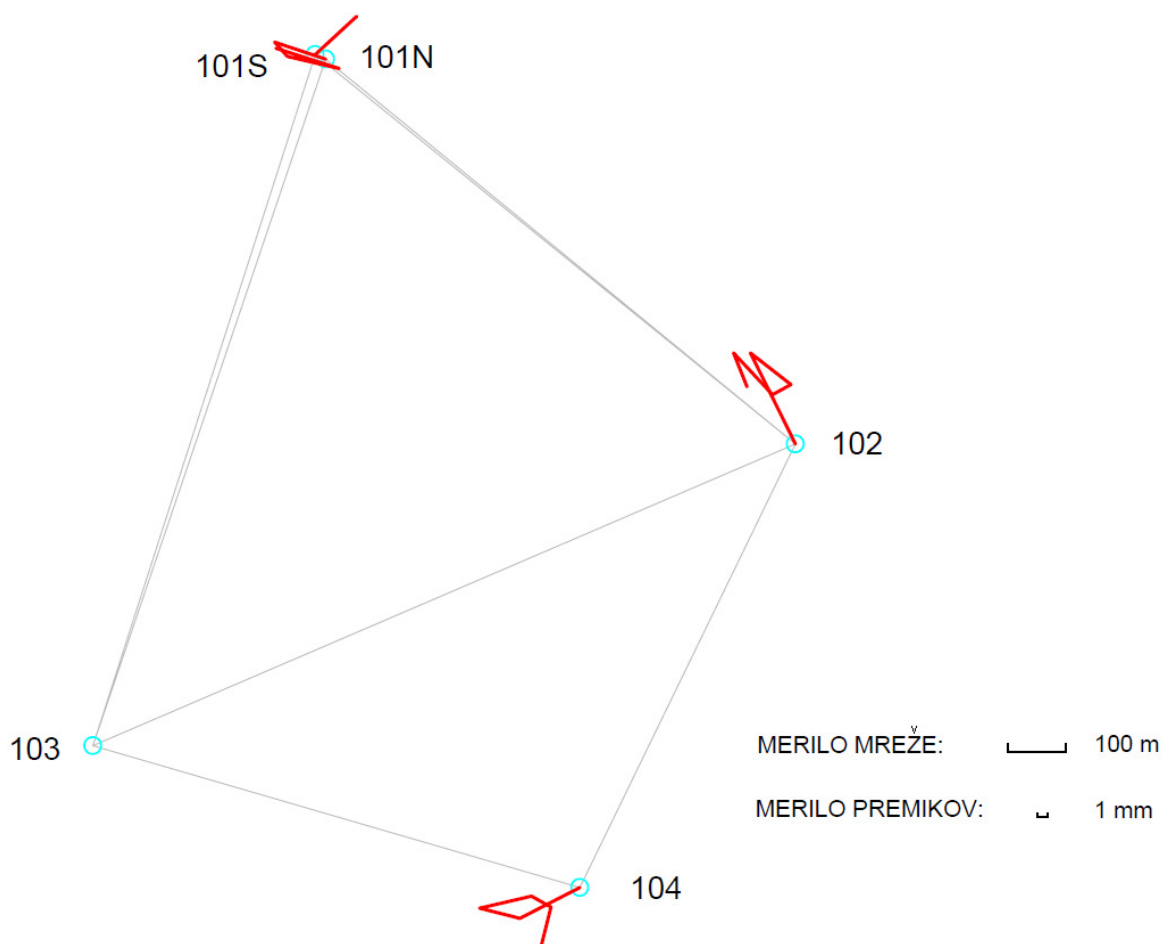


**Slika 11:** Premiki točk v triangulacijski prosti mreži

## 7.3.2.2 Triangulacijska mreža, če je dana točka 103

Preglednica 14: Vektorji premikov točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_T$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	47	0,0067	0,0043	1,5353	28,41	
	102	334	0,0119	0,0053	2,2328	6,14	
	104	243	0,0080	0,0074	1,0761	50,40	
1983-1987	101N	288	0,0063	0,0051	1,2300	43,22	
	102	128	0,0061	0,0047	1,2890	38,56	
	104	284	0,0049	0,0069	0,6981	74,94	
1987-1991	101N	139	0,0023	0,0006	4,0305	0,02	*
	102	241	0,0025	0,0003	7,2709	0,00	*
	104	77	0,0063	0,0008	7,6391	0,00	*
1991-1995	101N	103	0,0063	0,0068	0,9210	65,39	
	102	317	0,0067	0,0057	1,1720	45,33	
	104	119	0,0026	0,0077	0,3430	93,45	
1995-2011	101N	288	0,0079	0,0067	1,1679	50,14	
	102	158	0,0043	0,0063	0,6875	76,23	
	104	194	0,0049	0,0060	0,8048	68,02	

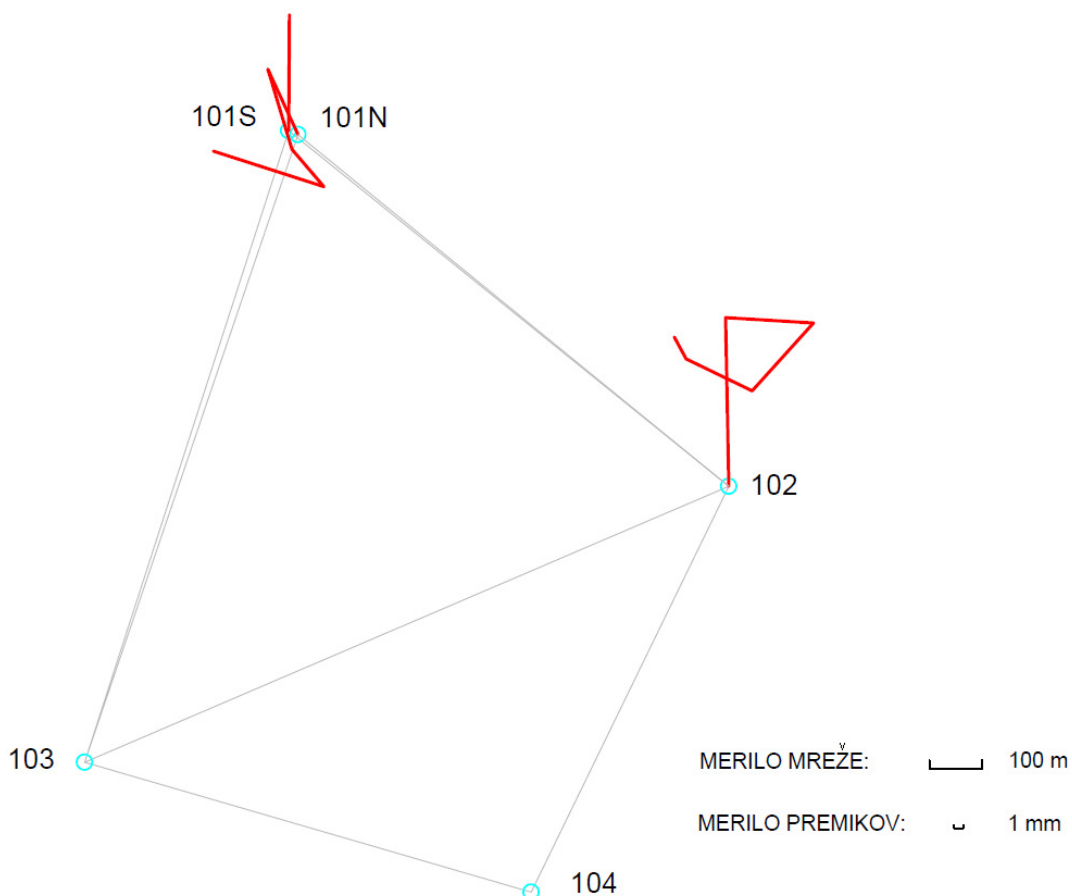


Slika 12: Premiki točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103

### 7.3.2.3 Triangulacijska mreža, če je dana točka 103 in točka 104

**Preglednica 15:** Vektorji premikov točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103 in točka 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	0	0,0149	0,0140	1,0640	54,42	
	102	359	0,0217	0,0121	1,7867	13,43	
1983-1987	101N	335	0,0093	0,0123	0,7560	73,57	
	102	94	0,0113	0,0070	1,6067	19,69	
1987-1991	101N	163	0,0108	0,0016	6,8045	0,00	*
	102	222	0,0118	0,0014	8,1482	0,00	*
1991-1995	101N	139	0,0063	0,0157	0,4015	91,76	
	102	296	0,0094	0,0079	1,1925	40,41	
1995-2011	101N	288	0,0149	0,0127	1,1722	47,45	
	102	332	0,0032	0,0119	0,2675	95,90	



**Slika 13:** Premiki točk v triangulacijski mreži, če je dana točka 103 in točka 104

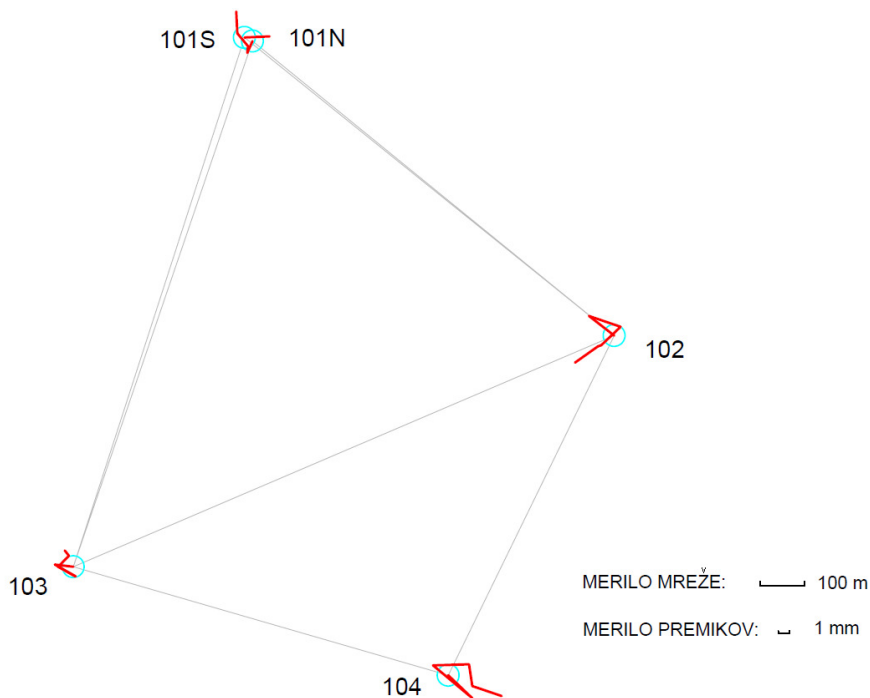
V teh variantah izravnav smo uporabili samo smeri, dolžine in torej merilo dolžin pa ne vplivajo na izravnavo. Zaključimo lahko, da ima multiplikacijska konstanta oziroma faktor merila mreže velik vpliv. Slabost triangulacijskega načina pa je v tem, da smo uporabili samo eno vrsto meritev, torej samo kotna opazovanja. Ker ugotavljamo, da faktor merila mreže močno vpliva na rezultate, smo se odločili, da ga bomo pred izravnavo izračunali in nato upoštevali, kar smo naredili v nadaljevanju.

### 7.3.3 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin

#### 7.3.3.1 Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin

**Preglednica 16:** Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	88	0,0023	0,0007	3,0750	0,49	*
	102	308	0,0029	0,0010	2,9422	0,92	
	103	277	0,0017	0,0022	0,7791	63,43	
	104	134	0,0030	0,0036	0,8443	55,30	
1983-1987	101N	204	0,0012	0,0008	1,5544	26,49	
	102	109	0,0031	0,0010	3,1192	0,73	*
	103	120	0,0022	0,0019	1,1820	41,51	
	104	310	0,0047	0,0026	1,7881	12,96	
1987-1991	101N	9	0,0006	0,0007	0,8924	65,36	
	102	227	0,0025	0,0006	4,4326	0,00	*
	103	299	0,0018	0,0005	3,3867	0,36	*
	104	88	0,0033	0,0006	5,9753	0,00	*
1991-1995	101N	320	0,0016	0,0006	2,6656	2,35	
	102	252	0,0003	0,0005	0,6427	81,02	
	103	45	0,0014	0,0005	2,9421	1,37	
	104	171	0,0020	0,0007	3,0692	0,62	*
1995-2011	101N	357	0,0020	0,0005	3,9065	0,02	*
	102	234	0,0026	0,0004	6,5124	0,00	*
	103	321	0,0006	0,0003	1,9410	15,36	
	104	108	0,0028	0,0005	6,0096	0,00	*

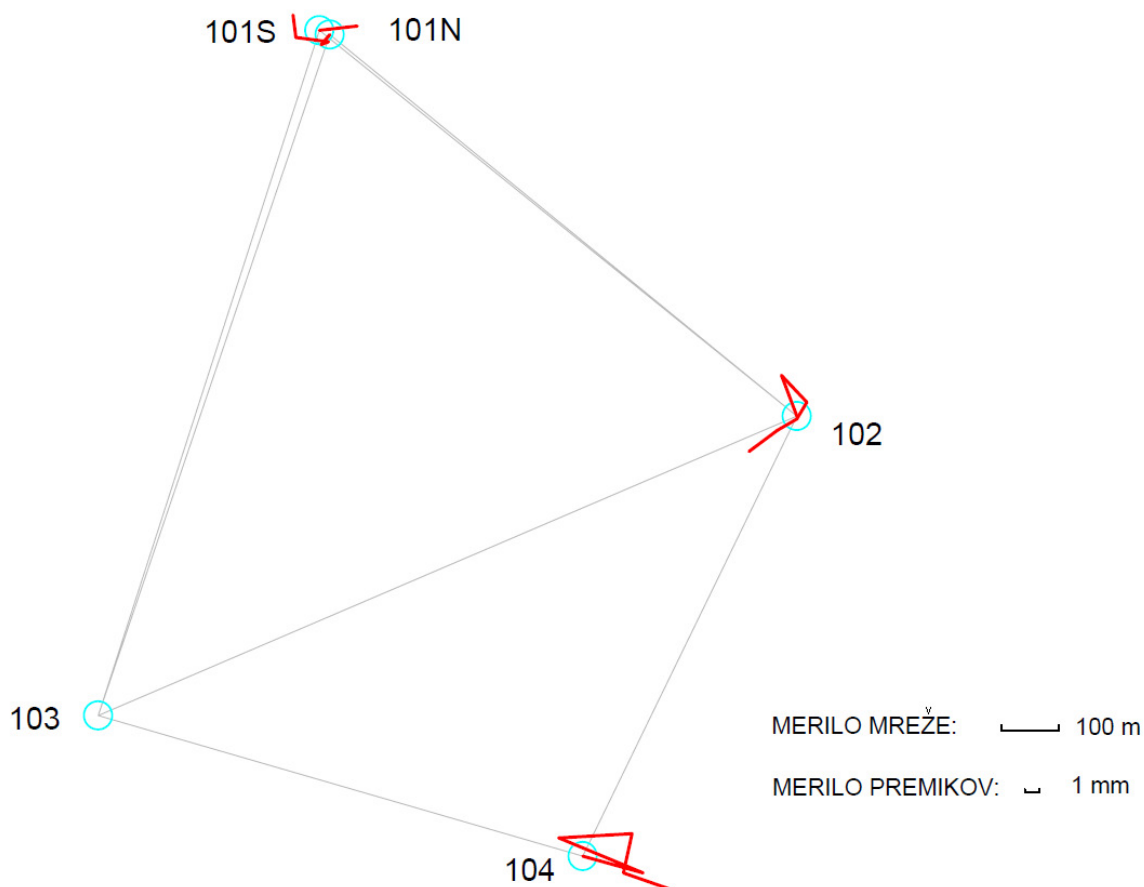


**Slika 14:** Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

### 7.3.3.2 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin, če je dana točka 103

**Preglednica 17:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	84	0,0027	0,0012	2,2523	7,56	
	102	339	0,0031	0,0009	3,4181	0,10	*
	104	106	0,0045	0,0057	0,7858	59,95	
1983-1987	101N	221	0,0009	0,0014	0,6519	80,30	
	102	137	0,0026	0,0009	2,8949	0,83	
	104	293	0,0065	0,0042	1,5555	19,97	
1987-1991	101N	68	0,0005	0,0011	0,5126	86,49	
	102	210	0,0014	0,0008	1,6592	22,59	
	104	87	0,0052	0,0011	4,8616	0,00	*
1991-1995	101N	277	0,0023	0,0007	3,1270	0,63	*
	102	240	0,0016	0,0008	2,1328	8,08	
	104	192	0,0029	0,0008	3,5864	0,18	*
1995-2011	101N	353	0,0016	0,0006	2,7986	1,84	
	102	233	0,0025	0,0006	4,0055	0,02	*
	104	109	0,0034	0,0007	5,1835	0,00	*

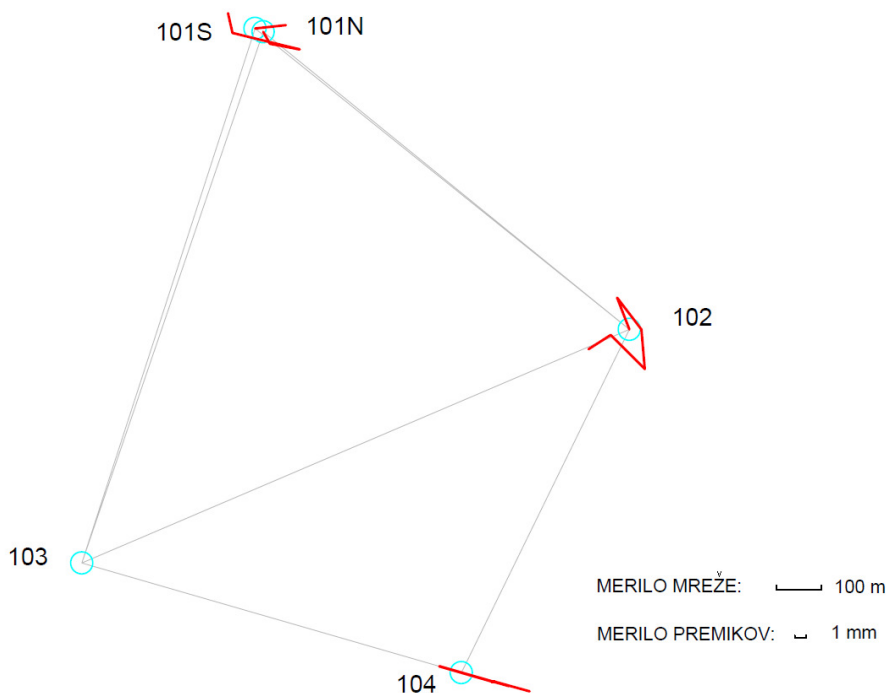


**Slika 15:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

### 7.3.3.3 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz vseh dolžin, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

**Preglednica 18:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_T$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	84	0,0028	0,0032	0,8703	56,18	
	102	339	0,0031	0,0028	1,1059	45,31	
	104	106	0,0045				
1983-1987	101N	151	0,0013	0,0025	0,5054	82,90	
	102	143	0,0036	0,0028	1,2784	36,83	
	104	286	0,0066	0,0042	1,5519	12,74	
1987-1991	101N	100	0,0027	0,0018	1,4878	27,51	
	102	175	0,0036	0,0013	2,7196	1,75	
	104	106	0,0050	0,0010	4,8683	0,00 *	
1991-1995	101N	284	0,0063	0,0017	3,6516	0,04 *	
	102	315	0,0044	0,0014	3,1381	0,38 *	
	104	90	0,0002	0,0008	0,2528	80,35	
1995-2011	101N	347	0,0018	0,0009	2,0525	6,84	
	102	237	0,0024	0,0005	4,4409	0,00 *	
	104	106	0,0033				



**Slika 16:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz vseh dolžin

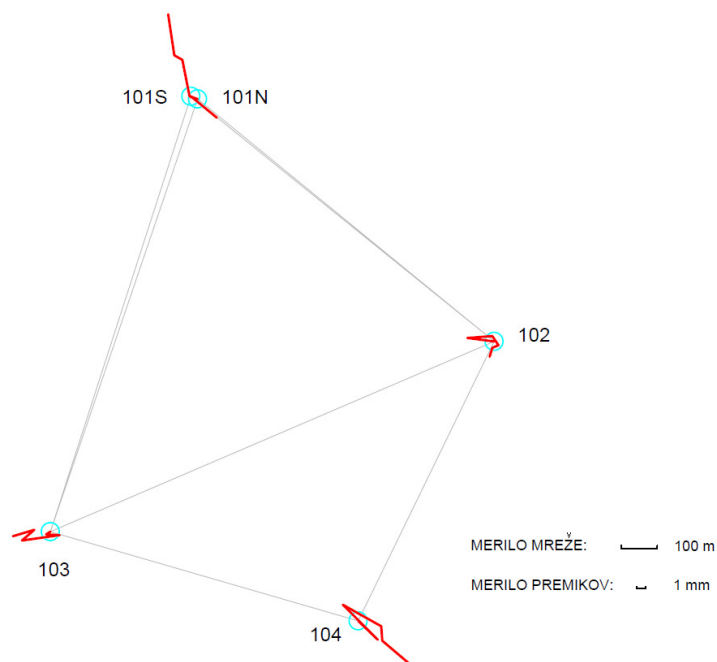
V teh treh načinih izravnave smo najprej izračunali multiplikacijsko konstanto iz vseh dolžin, ki smo jo nato upoštevali v ponovnih izravnavah. Slabost tega načina je, da vpliva morebitni premik točke zaradi tektonike na izračun multiplikacijske konstante. Tako ne dobimo realnega faktorja napetosti mreže in naprej premikov točk v mreži. Zato smo v nadaljevanju izračunali multiplikacijsko konstanto samo iz ene dolžine.

### 7.3.4 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104

#### 7.3.4.1 Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104

**Preglednica 19:** Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_T$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	130	0,0038	0,0011	3,4603	0,12	*
	102	278	0,0030	0,0012	2,5182	3,18	
	103	239	0,0006	0,0013	0,4340	86,33	
	104	134	0,0030	0,0036	0,8443	55,30	
1983-1987	101N	288	0,0009	0,0009	1,0168	56,38	
	102	86	0,0028	0,0011	2,6582	2,81	
	103	94	0,0015	0,0018	0,8584	62,98	
	104	315	0,0055	0,0026	2,1843	5,79	
1987-1991	101N	349	0,0042	0,0007	5,7993	0,00	*
	102	145	0,0012	0,0006	2,1840	9,48	
	103	262	0,0042	0,0006	7,4691	0,00	*
	104	119	0,0049	0,0006	8,1008	0,00	*
1991-1995	101N	299	0,0010	0,0005	1,9781	12,45	
	102	247	0,0008	0,0005	1,5611	29,35	
	103	49	0,0018	0,0005	3,8412	0,04	*
	104	176	0,0016	0,0007	2,4625	3,90	
1995-2011	101N	351	0,0047	0,0005	8,9968	0,00	*
	102	197	0,0010	0,0003	3,1346	0,72	*
	103	254	0,0025	0,0004	6,6614	0,00	*
	104	130	0,0045	0,0006	7,7904	0,00	*

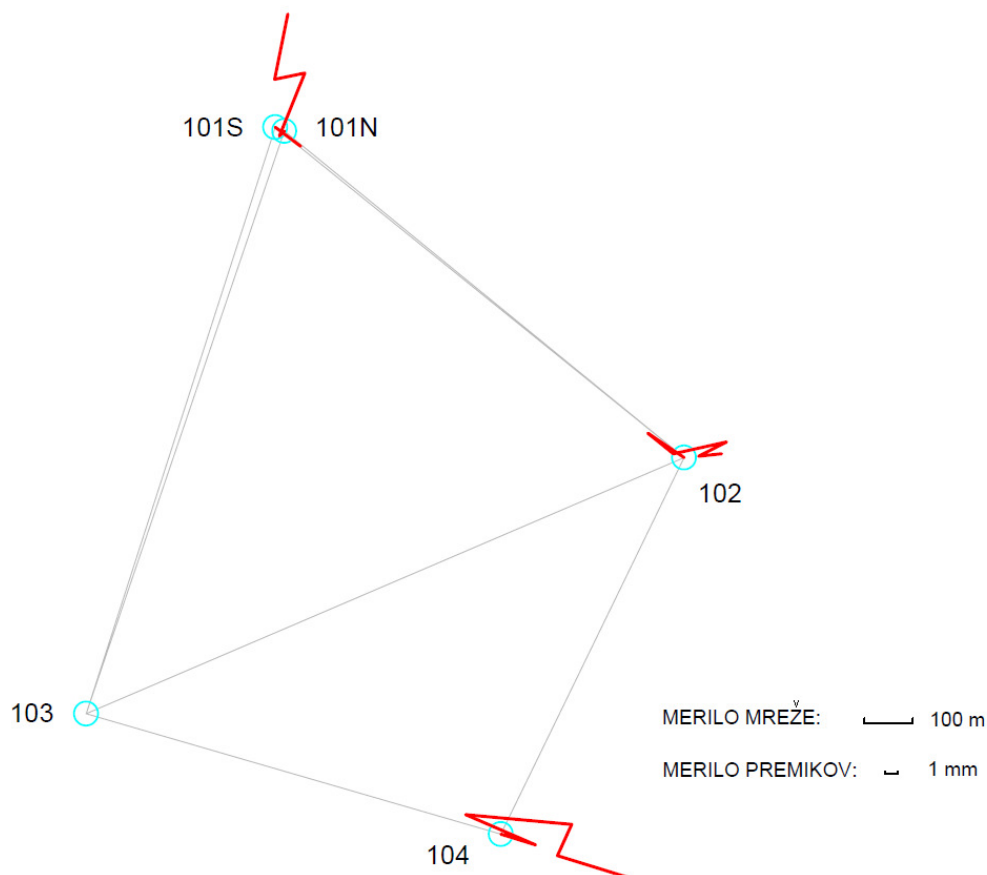


**Slika 17:** Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104

### 7.3.4.2 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104, če je dana točka 103

**Preglednica 20:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_T$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	127	0,0026	0,0010	2,5347	4,02	
	102	304	0,0036	0,0010	3,7633	0,01	*
	104	107	0,0030	0,0057	0,5340	78,29	
1983-1987	101N	225	0,0006	0,0014	0,3993	92,16	
	102	129	0,0027	0,0010	2,8333	1,07	
	104	293	0,0063	0,0042	1,5140	21,67	
1987-1991	101N	22	0,0056	0,0011	5,2296	0,00	*
	102	77	0,0045	0,0009	5,2283	0,00	*
	104	95	0,0088	0,0011	8,3467	0,00	*
1991-1995	101N	259	0,0025	0,0008	3,0965	0,65	*
	102	242	0,0026	0,0008	3,4293	0,15	*
	104	205	0,0029	0,0008	3,5323	0,21	*
1995-2011	101N	12	0,0055	0,0006	8,7031	0,00	*
	102	84	0,0019	0,0006	3,0845	0,46	*
	104	107	0,0062	0,0007	9,4840	0,00	*



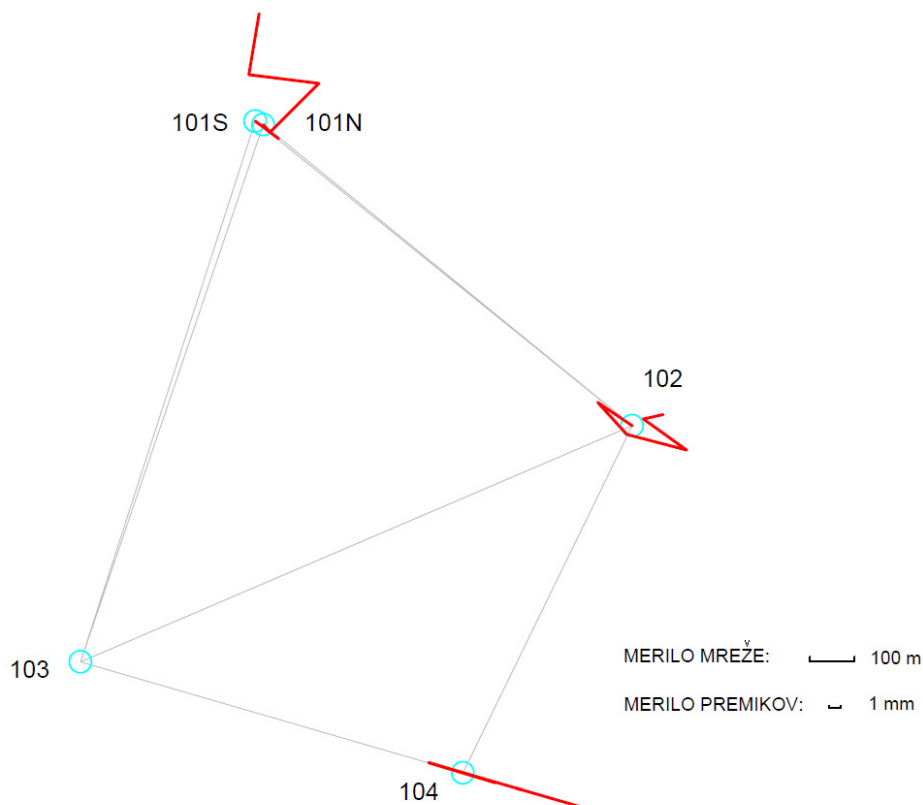
**Slika 18:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104



### 7.3.4.3 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 102 in točko 104, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

**Preglednica 21:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1979 - 1983	101S	127	0,0026	0,0032	0,8320	58,97	
	102	304	0,0037	0,0028	1,3199	32,98	
	104	107	0,0030				
1983-1987	101N	139	0,0009	0,0029	0,3232	92,71	
	102	138	0,0039	0,0029	1,3659	31,76	
	104	287	0,0063	0,0042	1,4837	14,35	
1987-1991	101N	45	0,0062	0,0014	4,5022	0,00	*
	102	105	0,0056	0,0013	4,4555	0,00	*
	104	106	0,0086	0,0010	8,4125	0,00	*
1991-1995	101N	277	0,0064	0,0017	3,6977	0,03	*
	102	306	0,0048	0,0014	3,5066	0,12	*
	104	284	0,0004	0,0008	0,5009	62,10	
1995-2011	101N	9	0,0056	0,0007	8,5418	0,00	*
	102	77	0,0018	0,0008	2,3789	2,53	
	104	106	0,0061				



**Slika 19:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 102 in točko 104

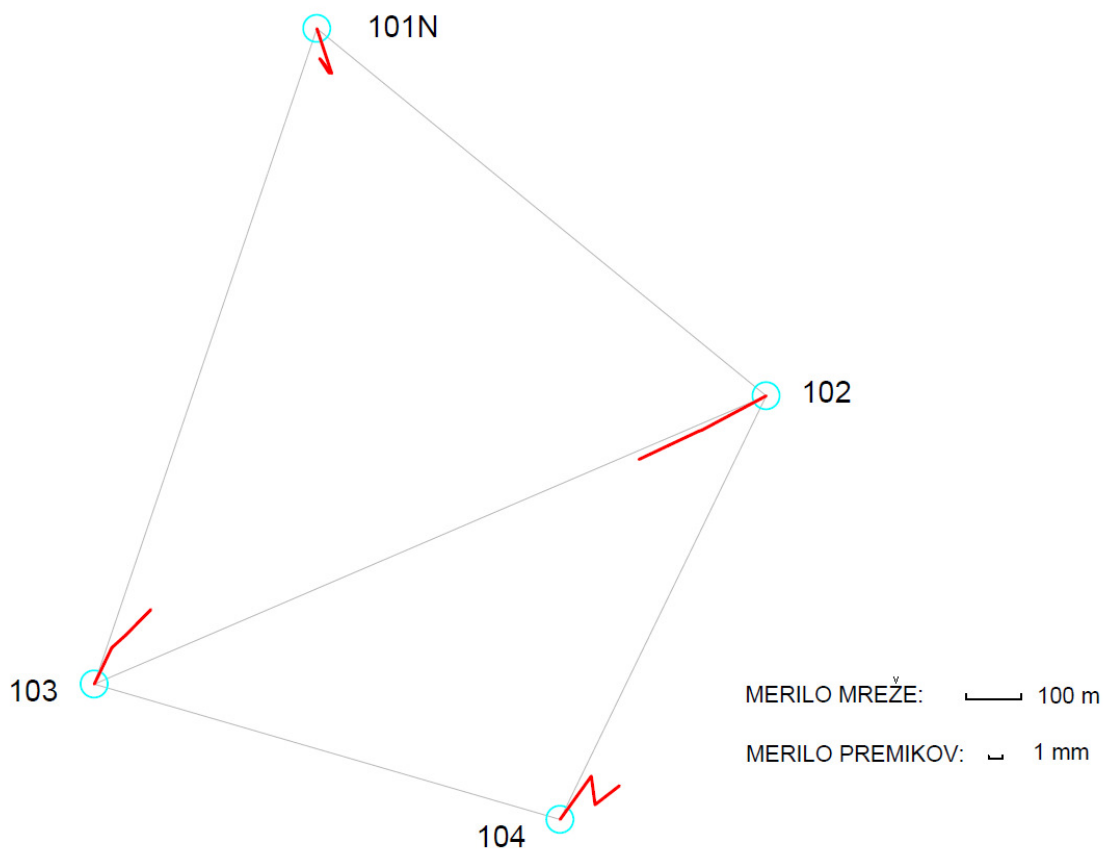
Če prelom seka dolžino 103-101 in dolžino 103-104, potem so ti načini izračunov pravilni. Vendar glede na natančnost določitve premikov težko trdimo, da so izračunani premiki statistično značilni.

### 7.3.5 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104

#### 7.3.5.1 Kombinirana prosta mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104

**Preglednica 22:** Vektorji premikov točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_T$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1987-1991	101N	162	0,0035	0,0007	4,8108	0,00	*
	102	242	0,0053	0,0006	9,4400	0,00	*
	103	26	0,0030	0,0006	5,3071	0,00	*
	104	36	0,0039	0,0006	6,5833	0,00	*
1991-1995	101N	321	0,0014	0,0006	2,4203	4,47	
	102	252	0,0003	0,0005	0,6427	81,02	
	103	48	0,0013	0,0005	2,8010	2,09	
	104	172	0,0021	0,0007	3,2220	0,45	*
1995-2011	101N	148	0,0013	0,0005	2,5952	2,63	
	102	244	0,0049	0,0004	11,8320	0,00	*
	103	45	0,0027	0,0004	6,7496	0,00	*
	104	52	0,0023	0,0004	6,2621	0,00	*

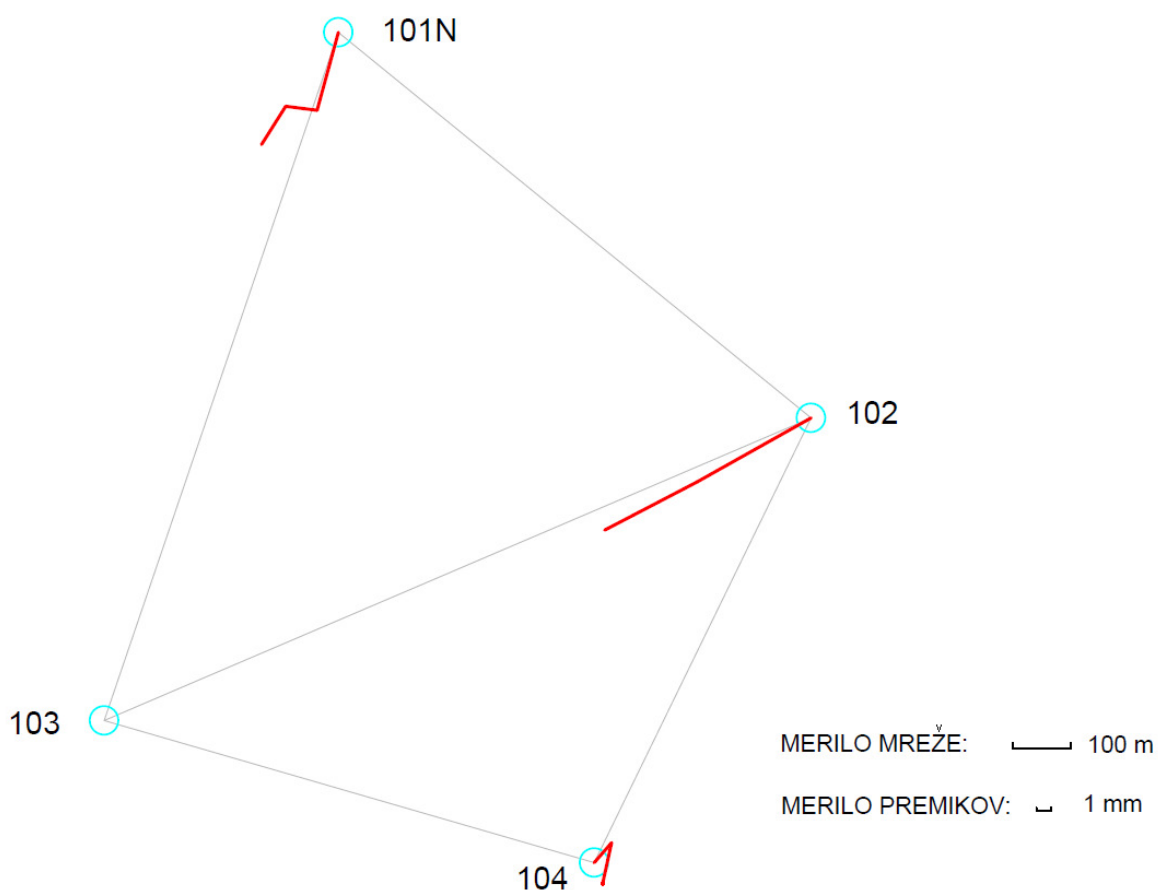


**Slika 20:** Premiki točk v kombinirani prosti mreži, če je podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

### 7.3.5.2 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104, če je dana točka 103

**Preglednica 23:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1987-1991	101N	195	0,0057	0,0010	5,4624	0,00	*
	102	241	0,0076	0,0009	8,4704	0,00	*
	104	41	0,0018	0,0010	1,9229	15,15	
1991-1995	101N	278	0,0022	0,0007	2,9996	0,89	
	102	240	0,0016	0,0008	2,1328	8,08	
	104	192	0,0029	0,0008	3,5864	0,18	*
1995-2011	101N	212	0,0032	0,0007	4,6629	0,00	*
	102	242	0,0073	0,0006	11,5350	0,00	*
	104	180	0,0001	0,0007	0,1343	99,18	

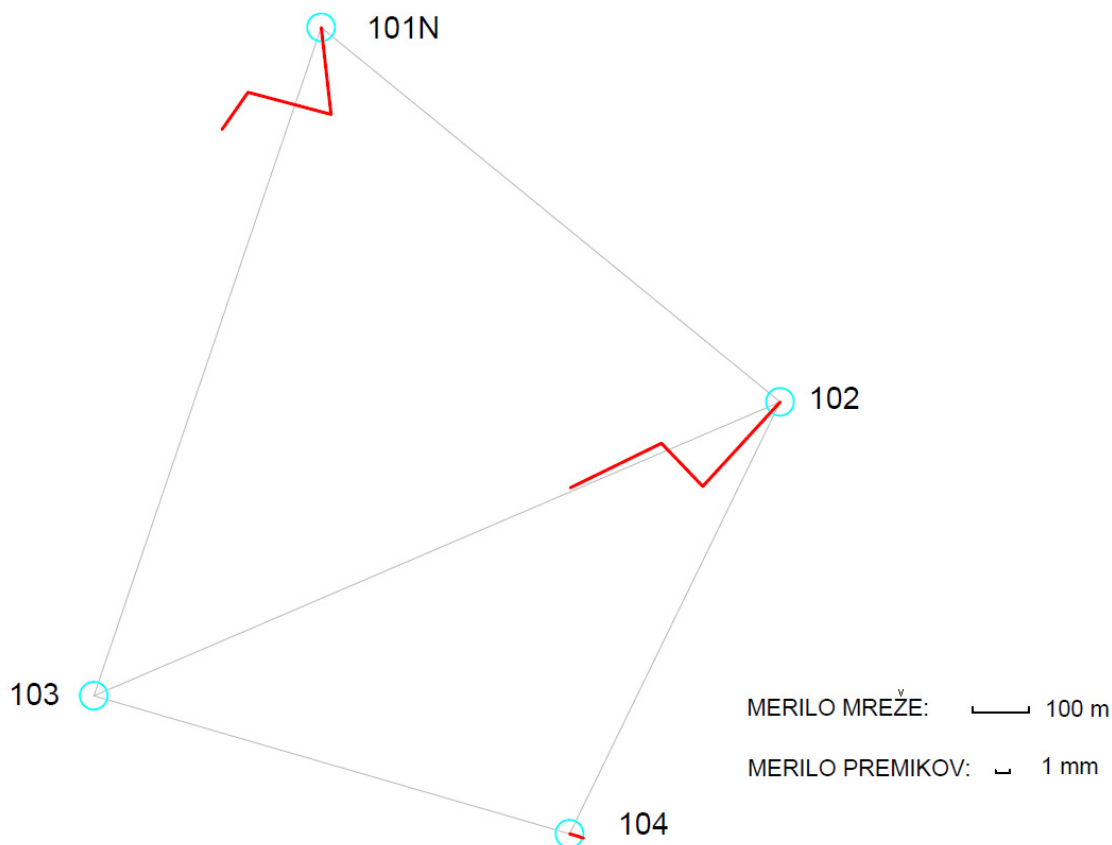


**Slika 21:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

### 7.3.5.3 Kombinirana mreža s podano multiplikacijsko konstanto izračunano iz dolžine med točko 103 in točko 104, če je dana točka 103 in vizura s točke 103 na točko 104

**Preglednica 24:** Vektorji premikov točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

Med serijama	Točka	Vektor premika					
		$\varphi$ [°]	$d$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$T$	$\alpha_r$ [%]	$3 \cdot \sigma$
1987-1991	101N	174	0,0063	0,0011	5,8558	0,00	*
	102	223	0,0083	0,0009	9,4101	0,00	*
	104	106	0,0007	0,0010	0,7088	48,70	
1991-1995	101N	285	0,0062	0,0017	3,6124	0,04	*
	102	316	0,0043	0,0014	3,0851	0,42	*
	104	117	0,0002	0,0008	0,2760	78,63	
1995-2011	101N	215	0,0033	0,0008	4,0444	0,01	*
	102	244	0,0073	0,0006	12,1237	0,00	*
	104	90	0,0001				



**Slika 22:** Premiki točk v kombinirani mreži, če je dana točka 103 ter vizura s točke 103 na točko 104 in podana multiplikacijska konstanta izračunana iz dolžine med točko 103 in točko 104

Če poteka prelom tako, kot ga prikazuje slika 2, potem so ti izračuni pravilni. Velikosti premikov pa so glede na natančnost določitve premikov ravno tolikšni, da težko trdimo, da so statistično značilni.

## 8 UGOTOVITVE IN KOMENTAR

Po tretji izmeri in opravljenih vseh izračunih, so na podlagi predhodne analize morali zavreči idejo, ki so jo postavili po drugi izmeri, da sta točki 103 in 104 stabilni. Kot stabilna je od takrat dalje privzeta točka 103. Ker je bila točka 103 izbrana kot stabilna, so za ostale točke dobljeni premiki posledica spremenjenih izmerjenih podatkov. Groba analiza je pokazala, da sta zanesljivo vsaka na svoji strani serije prelomnic le točka 102 in točka 103. Do leta 1987 so analize in izravnava pokazale, da so se v mreži zgodile določene spremembe, ki so kazale na tendenco premika. Vsi trije premiki so se kazali kot rotacija okoli točke 103, torej ležijo vse tri točke na drugi strani aktivne prelomnice kot točka 103. Pri izmeri leta 1987 je odpadla točka 101S, tako da je za to točko določen le en premik, v nadaljevanju pa za to točko ni direktnih premikov. Za točko 101N pa je bila druga serija meritev šele začetna meritev (Vodopivec, 1988).

Premik točke 101S je bil približno pravokoten na traso avtoceste in je zato lahko posledica zemeljskih del in obremenitve tal, torej le lokalni premik. Točka 102 je bila izbrana precej nerodno, nad kamnolomom in je zato tudi tu možen lokalni premik (Vodopivec, 1985).

Ob upoštevanju vseh dosedanjih ugotovitev in analizi vseh dobljenih rezultatov v tej diplomski nalogi, lahko sklenemo naslednje. Premiki so največji pri izračunih, kjer smo uporabili le kotna opazovanja in najmanjši pri izračunih, v katerih smo podali izračunano multiplikacijsko konstanto. Razlog za to je količina in vrsta opazovanj. Čeprav je med zadnjima dvema serijama meritev minilo šestnajst let, ni vidnih značilnih premikov, izračunane vrednosti pa se ne razlikujejo bistveno v primerjavi s prejšnjimi. Premiki, ki so se po prvih treh serijah kazali kot značilni premiki, so spremenili smer in se vrnili proti središču točke. V celoti gledano jih zato ne moremo več smatrati za značilne premike. Nerealni so tudi rezultati, kjer vse točke lezejo proti središču mreže (slika 8) ali kjer glede na predpostavljen položaj prelomnice točke lezejo narazen (slika 17). Na slikah 14 do 16 vidimo, da se točke praktično ne premikajo ampak se premiki vrtijo v krogu in so verjetno posledica omejene natančnosti meritev in ne premikov površja.

Iz končnih rezultatov ni mogoče podati jasnih ugotovitev ali se je kakšna točka statistično značilno premaknila. Velikost vektorjev premikov ne presega bistveno srednje elipse pogreškov določitve položaja posameznih točk mreže, zato s statističnega vidika ne moremo govoriti o dejanskih premikih. Za potrditev premikov bodo potrebna dodatna merjenja.

## 9 ZAKLJUČEK

Pri meritvah nam metoda dela in uporabljeni instrumentarij določata natančnost, ki pa je odvisna tudi od drugih, objektivnih okoliščin, ki lahko nastopijo v trenutku meritve. Kljub uporabljenemu instrumentariju je pri meritvah še vedno prisoten človeški faktor v obliki omejene natančnosti opazovalca oziroma elektronike v zadnji meritvi in omejenih pristojnosti za optimizacijo merskih pogojev na terenu (Vodopivec, 1993).

Eden od ciljev naloge je bil ugotovitev premikov točk v mreži. Merilo za to ali res lahko govorimo o premikih ali pa so ti le posledica omejene natančnosti meritev, je ocena natančnosti določitve premikov. Opisujeta jo elipsa pogreškov in srednji pogrešek določitve premika. Oba sta odvisna od natančnosti določitve položaja točke v prvi seriji meritev in natančnosti določitve položaja v tekoči seriji meritev (Vodopivec, 1993).

Povečanje natančnosti merjenj z uporabo kvalitetnejšega instrumentarija je pri zadnjih meritvah očitna. Ob največji možni meri angažiranosti vseh dejavnikov, ki vplivajo na merske rezultate, bi bilo možno to natančnost še povečati. Vendar pa se s tem ne bi sorazmerno povečevala tudi natančnost določitve premika posamezne točke, ki jo obremenjuje natančnost določitve položaja te točke v ničelni seriji meritev. Temu bi se bilo možno izogniti s študijo parcialnih premikov med posameznimi serijami, ki pa je mogoča le ob velikem številu serij (Vodopivec, 1996).

Doba meritev na ljubljanski prelomnici je prekratka za hitrost tektonskih aktivnosti v tem delu sveta, 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. Mogoče bi izboljšali natančnost določitve premika točke s primerjavo parcialnih premikov med posameznimi serijami, kar pa po statističnih zakonih zopet zahteva večje število meritev (Vodopivec, 1996).

## VIRI

Ambrožič, T. 2008. Zapiski predavanj Geodezija II študijskega leta 2008/09, Ljubljana.

Benčić, D., Solarić, N. 2008. Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici. Zagreb, Školska knjiga: 996 str.

Kogoj, D. 1989. Analiza pozicijske natančnosti določitve horizontalnih premikov v mikro mrežah Ljubljane. Magistrsko delo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 100 f.

Kogoj, D. 2000. Geodetske meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih na območju Slovenije. Geodetski vestnik 44, 1-2: 53-71.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 159 str.

Kogoj, D. 1988. Natančnost merskih podatkov na mikro mrežah Dobravica in Gameljne v letu 1987. Študij ob nalogi. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD Gradbeništvo in geodezija: 64 f.

Marjetič, A., Stopar, B. 2007. Geodetski datum in S-transformacija. Geodetski vestnik 51, 3: 549-564.

Savšek-Safić, S. 2004. Testiranje premikov točk v geodetski mreži s simulacijami. SZGG, 69-79.

Vodopivec, F. 1993. Določitev premikov zemeljske skorje v testnih mrežah Ljubljane. Raziskovalna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo: 95 f.

Vodopivec, F. 1995. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic. Raziskovalni projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 91 f.

Vodopivec, F. 1996. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic. Raziskovalni projekt. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 87 f.

Vodopivec, F. 1985. Raziskava horizontalnih premikov v mikro mrežah Ljubljane. Raziskovalna naloga. Ljubljana, VTOZD gradbeništvo in geodezija, Katedra za geodezijo: 52 f.

Vodopivec, F. 1988. Raziskava horizontalnih premikov v mikro mrežah Ljubljane. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UEK, FAGG, VTOZD GG, Katedra za geodezijo: 93 f.

Vodopivec, F. 2000. Raziskava neotektonskih premikov vzdolž prelomov v Ljubljanski kotlini. Meritev tektonskih premikov na območju Slovenije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 30 f.

Vodopivec, F., Kogoj, D. 2005. Nov način precizne stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov. Geodetski vestnik 49, 1: 9-17.

Nacionalni laboratorij pospeševalnikov Fermi, Skupina za usklajevanje in meroslovje, 2007;  
<http://ppd.fnal.gov/align/images/mekometer.jpg> (pridobljeno 11. 8. 2011).

Združenje, ki si prizadeva zbrati in ohraniti stare instrumente, 2011;  
[http://www.geo-anse.com/geo/Inventaire/0497\\_mecometre\\_ME3000\\_Charmasson\\_Veillard.htm](http://www.geo-anse.com/geo/Inventaire/0497_mecometre_ME3000_Charmasson_Veillard.htm)  
(pridobljeno 11. 8. 2011).

Pooblaščen prodajalec merilne opreme v Sloveniji, 2011;  
<http://www.geoservis.si/produkti/64-tahimetri-za-geodezijo-in-inzenirsko-geodezijo/42-leica-ts30>  
(pridobljeno 11. 8. 2011).

Ponudnik za prodajo in najem izbranih najkvalitetnejših instrumentov, 2011;  
[http://www.swisstek.com/kern\\_swiss.htm](http://www.swisstek.com/kern_swiss.htm) (pridobljeno 11. 8. 2011).



**PRILOGA A: TERENSKI ZAPISNIK IZ LETA 2011**

stran: 1

PROJEKT: . GAMELJNE

Meril: Tomaž Ambrožič

Datum: 8.4.2011

Instrument: Leica TS30, TCC-2003

PSIHO Z temp. stoj. PRAVO SLOJEVI. Vreme: hladno, malo pila, idealno za izmer

ime točke		čas	instr.	reflektor		temp. stoj.		tiak stoj	opom.	ime točke		čas	instr.	reflektor		temp. stoj.		tiak stoj	opom.
od(A)	do(B)			ime	višina	ts	tm			od(A)	do(B)			ime	višina	ts	tm		
103		8.57 8.59	00520 00530 00545			12.4 12.8 13.1	9.8 10.1 10.2	972,119 972,155 972,190	103 I 103 I 103 I	102 104	15:10 15:26 15:31	00555 00555 00550			20.9 20.9 20.9	11.2 11.1 11.6	960,030 960,100 960,141		
			00532		0.2383										20.93	11.3	960,170		
						8.57 8.59 8.59	10.4 10.4 10.4								20.93	11.3			
						9.57 9.57	10.7 10.8	972,262 972,353	103 II	104	16:22 16:29	00530 00535			22.1 21.8	11.9 16.0	977,971 977,983		
						10.10	11.1	972,442			16:35	00560			22.1	11.3	977,967		
							10.8 10.8 11.1	972,412 972,390 977,303			17:35	00535 00535			22.00	11.40	977,934		
104		10.09	00555			12.8 22.9	13.5 14.2	978,112 977,390											
101		11.06	00555			22.9	13.6	977,303											
		12.11	00535			21.9	12.7	977,264											
						23.47 23.51	13.5 13.5	977,299											

9.10 6.47 6.51 10.36 12. 13.5 16.0 16.1

## PRILOGA B: REPORT DATOTEKA IZ LETA 2011

8. April 2011

-----

At 102

To 104 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0.00000	111.31400	-0.00240	-0.00010
0.00000	111.31405	-0.00350	-0.00005
0.00000	111.31415	-0.00370	0.00005
0.00000	111.31405	-0.00390	-0.00005
0.00000	111.31420	-0.00420	0.00010
0.00000	111.31420	-0.00420	0.00010
0.00000	111.31425	-0.00450	0.00015
0.00000	111.31415	-0.00470	0.00005
0.00000	111.31415	-0.00430	0.00005
0.00000	111.31410	-0.00460	-0.00000
0.00000	111.31400	-0.00460	-0.00010
0.00000	111.31410	-0.00460	-0.00000
0.00000	111.31420	-0.00480	0.00010
0.00000	111.31410	-0.00440	-0.00000
0.00000	111.31405	-0.00470	-0.00005
0.00000	111.31405	-0.00450	-0.00005
0.00000	111.31405	-0.00450	-0.00005
0.00000	111.31400	-0.00440	-0.00010
0.00000	111.31415	-0.00450	0.00005
0.00000	111.31405	-0.00430	-0.00005
0.00000	111.31410	-0.00440	-0.00000
Mean of Sets.			
Horizontal	Vertical	SD. Vert.	Range
0.00000	111.31410	0.00007	0.00025
	SD Dist.		Range
884.01748	0.00018		0.00100

To 103

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
45.38060	0.00160	-0.00054	104.47520	-0.00280	0.00016
45.38130	0.00120	0.00016	104.47490	-0.00320	-0.00014
45.38085	0.00190	-0.00029	104.47510	-0.00380	0.00006
45.38080	0.00180	-0.00034	104.47505	-0.00390	0.00001
45.38120	0.00140	0.00006	104.47480	-0.00460	-0.00024
45.38105	0.00150	-0.00009	104.47495	-0.00470	-0.00009
45.38110	0.00100	-0.00004	104.47500	-0.00440	-0.00004
45.38100	0.00120	-0.00014	104.47485	-0.00490	-0.00019
45.38115	0.00110	0.00001	104.47470	-0.00500	-0.00034
45.38110	0.00020	-0.00004	104.47545	-0.00410	0.00041
45.38060	-0.00020	-0.00054	104.47530	-0.00400	0.00026
45.38135	0.00030	0.00021	104.47500	-0.00480	-0.00004
45.38130	0.00040	0.00016	104.47520	-0.00480	0.00016

45.38135	0.00070	0.00021	104.47510	-0.00460	0.00006
45.38135	0.00070	0.00021	104.47505	-0.00470	0.00001
45.38135	0.00050	0.00021	104.47490	-0.00500	-0.00014
45.38145	0.00030	0.00031	104.47510	-0.00460	0.00006
45.38135	0.00030	0.00021	104.47505	-0.00450	0.00001
45.38130	0.00040	0.00016	104.47510	-0.00440	0.00006
45.38120	0.00020	0.00006	104.47510	-0.00440	0.00006
45.38125	0.00050	0.00011	104.47485	-0.00450	-0.00019

Mean of Sets.

Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
45.38114	0.00025	0.00085	104.47504	0.00017	0.00075
SD Dist.	Range				
1355.07508	0.00016	0.00090			

To 101

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
114.73940	0.00160	-0.00047	108.63730	-0.00240	0.00004
114.73995	0.00090	0.00008	108.63720	-0.00320	-0.00006
114.73975	0.00130	-0.00012	108.63725	-0.00370	-0.00001
114.73975	0.00090	-0.00012	108.63730	-0.00400	0.00004
114.73990	0.00060	0.00003	108.63725	-0.00410	-0.00001
114.73990	0.00080	0.00003	108.63740	-0.00400	0.00014
114.74005	0.00070	0.00018	108.63725	-0.00430	-0.00001
114.73970	0.00080	-0.00017	108.63720	-0.00420	-0.00006
114.73980	0.00040	-0.00007	108.63730	-0.00420	0.00004
114.74000	0.00020	0.00013	108.63730	-0.00420	0.00004
114.73965	0.00070	-0.00022	108.63715	-0.00410	-0.00011
114.74000	0.00020	0.00013	108.63735	-0.00450	0.00009
114.73980	0.00020	-0.00007	108.63725	-0.00450	-0.00001
114.74000	0.00060	0.00013	108.63735	-0.00450	0.00009
114.73985	0.00070	-0.00002	108.63735	-0.00470	0.00009
114.74000	0.00020	0.00013	108.63730	-0.00460	0.00004
114.74005	0.00010	0.00018	108.63725	-0.00470	-0.00001
114.74000	0.00020	0.00013	108.63710	-0.00480	-0.00016
114.74000	0.00040	0.00013	108.63720	-0.00460	-0.00006
114.73985	0.00010	-0.00002	108.63725	-0.00430	-0.00001
114.73990	0.00020	0.00003	108.63720	-0.00440	-0.00006

Mean of Sets.

Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
114.73987	0.00016	0.00065	108.63726	0.00007	0.00030
SD Dist.	Range				
1082.53309	0.00021	0.00080			

At 104

To 103 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0.00000	95.66920	-0.00180	-0.00015
0.00000	95.66970	-0.00140	0.00035
0.00000	95.66960	-0.00140	0.00025
0.00000	95.67005	-0.00210	0.00070

0.00000			95.66935	-0.00210	-0.00000
0.00000			95.66915	-0.00250	-0.00020
0.00000			95.66935	-0.00210	-0.00000
0.00000			95.66950	-0.00200	0.00015
0.00000			95.66880	-0.00280	-0.00055
0.00000			95.66900	-0.00300	-0.00035
0.00000			95.66950	-0.00300	0.00015
0.00000			95.66930	-0.00320	-0.00005
0.00000			95.66915	-0.00310	-0.00020
0.00000			95.66910	-0.00320	-0.00025
0.00000			95.66905	-0.00330	-0.00030
0.00000			95.66935	-0.00330	0.00000
0.00000			95.66915	-0.00310	-0.00020
0.00000			95.66965	-0.00290	0.00030
0.00000			95.66940	-0.00380	0.00005
0.00000			95.66950	-0.00360	0.00015
0.00000			95.66950	-0.00320	0.00015
Mean of Sets.					
Horizontal			Vertical	SD. Vert.	Range
0.00000			95.66935	0.00028	0.00125
	SD Dist.	Range			
899.14858	0.00015	0.00080			
To 102					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
110.87435	0.00090	0.00011	88.69350	-0.00120	0.00015
110.87385	0.00090	-0.00039	88.69335	-0.00150	-0.00000
110.87430	0.00120	0.00006	88.69340	-0.00160	0.00005
110.87430	-0.00000	0.00006	88.69345	-0.00190	0.00010
110.87410	0.00060	-0.00014	88.69340	-0.00240	0.00005
110.87470	0.00040	0.00046	88.69335	-0.00230	-0.00000
110.87455	0.00070	0.00031	88.69335	-0.00250	-0.00000
110.87420	-0.00000	-0.00004	88.69325	-0.00210	-0.00010
110.87405	0.00130	-0.00019	88.69335	-0.00310	-0.00000
110.87390	0.00080	-0.00034	88.69320	-0.00260	-0.00015
110.87400	0.00120	-0.00024	88.69320	-0.00240	-0.00015
110.87395	0.00010	-0.00029	88.69320	-0.00300	-0.00015
110.87465	0.00110	0.00041	88.69320	-0.00300	-0.00015
110.87420	0.00080	-0.00004	88.69330	-0.00260	-0.00005
110.87445	0.00030	0.00021	88.69350	-0.00280	0.00015
110.87445	0.00150	0.00021	88.69330	-0.00280	-0.00005
110.87420	0.00140	-0.00004	88.69340	-0.00300	0.00005
110.87400	0.00020	-0.00024	88.69325	-0.00310	-0.00010
110.87395	0.00070	-0.00029	88.69360	-0.00300	0.00025
110.87455	-0.00030	0.00031	88.69325	-0.00310	-0.00010
110.87430	0.00080	0.00006	88.69360	-0.00300	0.00025
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
110.87424	0.00025	0.00085	88.69335	0.00012	0.00040
	SD Dist.	Range			
884.01736	0.00014	0.00070			

---

At 103

To 102 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0.00000	95.53470	-0.00460	-0.00026
0.00000	95.53460	-0.00540	-0.00036
0.00000	95.53450	-0.00520	-0.00046
0.00000	95.53480	-0.00500	-0.00016
0.00000	95.53490	-0.00560	-0.00006
0.00000	95.53470	-0.00600	-0.00026
0.00000	95.53465	-0.00550	-0.00031
0.00000	95.53495	-0.00570	-0.00001
0.00000	95.53525	-0.00550	0.00029
0.00000	95.53525	-0.00590	0.00029
0.00000	95.53500	-0.00580	0.00004
0.00000	95.53510	-0.00580	0.00014
0.00000	95.53490	-0.00580	-0.00006
0.00000	95.53530	-0.00620	0.00034
0.00000	95.53525	-0.00610	0.00029
0.00000	95.53520	-0.00640	0.00024
0.00000	95.53495	-0.00570	-0.00001
0.00000	95.53515	-0.00570	0.00019
0.00000	95.53495	-0.00570	-0.00001
0.00000	95.53500	-0.00580	0.00004
0.00000	95.53510	-0.00620	0.00014
Mean of Sets.			
Horizontal	Vertical	SD. Vert.	Range
0.00000	95.53496	0.00024	0.00080
	SD Dist.		Range
1355.08540	0.00031		0.00140

To 104

Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
43.74450	0.00020	-0.00030	104.33760	-0.00460	-0.00035
43.74495	-0.00070	0.00015	104.33780	-0.00440	-0.00015
43.74475	-0.00010	-0.00005	104.33740	-0.00580	-0.00055
43.74495	-0.00050	0.00015	104.33785	-0.00610	-0.00010
43.74490	-0.00080	0.00010	104.33770	-0.00560	-0.00025
43.74465	-0.00090	-0.00015	104.33810	-0.00520	0.00015
43.74430	-0.00060	-0.00050	104.33805	-0.00590	0.00010
43.74490	-0.00040	0.00010	104.33825	-0.00530	0.00030
43.74485	-0.00030	0.00005	104.33790	-0.00500	-0.00005
43.74495	-0.00150	0.00015	104.33810	-0.00520	0.00015
43.74480	-0.00020	-0.00000	104.33780	-0.00600	-0.00015
43.74485	-0.00070	0.00005	104.33795	-0.00550	0.00000
43.74485	-0.00110	0.00005	104.33765	-0.00590	-0.00030
43.74500	0.00000	0.00020	104.33845	-0.00510	0.00050
43.74510	-0.00120	0.00030	104.33835	-0.00630	0.00040
43.74480	-0.00080	-0.00000	104.33790	-0.00480	-0.00005
43.74440	-0.00020	-0.00040	104.33805	-0.00570	0.00010
43.74495	-0.00050	0.00015	104.33785	-0.00650	-0.00010
43.74480	-0.00180	-0.00000	104.33780	-0.00560	-0.00015
43.74475	-0.00130	-0.00005	104.33835	-0.00530	0.00040

43.74490	0.00000	0.00010	104.33805	-0.00530	0.00010
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
43.74480	0.00020	0.00080	104.33795	0.00027	0.00105
	SD Dist.	Range			
899.15575	0.00039	0.00240			
To 101					
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual
346.63485	-0.00030	-0.00006	102.55735	-0.00450	0.00014
346.63520	-0.00080	0.00029	102.55690	-0.00480	-0.00031
346.63465	-0.00030	-0.00026	102.55720	-0.00480	-0.00001
346.63460	-0.00020	-0.00031	102.55690	-0.00520	-0.00031
346.63470	-0.00040	-0.00021	102.55720	-0.00460	-0.00001
346.63515	-0.00030	0.00024	102.55715	-0.00490	-0.00006
346.63490	0.00020	-0.00001	102.55830	-0.00540	0.00109
346.63475	-0.00050	-0.00016	102.55690	-0.00540	-0.00031
346.63510	-0.00060	0.00019	102.55705	-0.00570	-0.00016
346.63450	-0.00200	-0.00041	102.55760	-0.00480	0.00039
346.63490	-0.00100	-0.00001	102.55745	-0.00470	0.00024
346.63455	-0.00030	-0.00036	102.55730	-0.00620	0.00009
346.63555	-0.00110	0.00064	102.55700	-0.00520	-0.00021
346.63475	-0.00070	-0.00016	102.55715	-0.00550	-0.00006
346.63550	-0.00040	0.00059	102.55695	-0.00490	-0.00026
346.63530	-0.00140	0.00039	102.55710	-0.00520	-0.00011
346.63495	-0.00030	0.00004	102.55710	-0.00540	-0.00011
346.63470	0.00020	-0.00021	102.55730	-0.00560	0.00009
346.63485	-0.00110	-0.00006	102.55695	-0.00510	-0.00026
346.63465	-0.00030	-0.00026	102.55740	-0.00580	0.00019
346.63495	-0.00090	0.00004	102.55710	-0.00480	-0.00011
Mean of Sets.					
Horizontal	SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
346.63491	0.00030	0.00105	102.55721	0.00032	0.00140
	SD Dist.	Range			
1279.79376	0.00039	0.00160			

-----

At 101  
 To 102 (Backsight reduced to zero)

Horizontal	Vertical	Face Diff.	Residual
0.00000	91.37200	-0.00200	0.00008
0.00000	91.37185	-0.00210	-0.00007
0.00000	91.37175	-0.00190	-0.00017
0.00000	91.37205	-0.00210	0.00013
0.00000	91.37165	-0.00210	-0.00027
0.00000	91.37175	-0.00250	-0.00017
0.00000	91.37175	-0.00210	-0.00017
0.00000	91.37195	-0.00210	0.00003
0.00000	91.37185	-0.00230	-0.00007
0.00000	91.37175	-0.00310	-0.00017
0.00000	91.37200	-0.00280	0.00008

0.00000			91.37175	-0.00250	-0.00017	
0.00000			91.37205	-0.00250	0.00013	
0.00000			91.37215	-0.00270	0.00023	
0.00000			91.37195	-0.00270	0.00003	
0.00000			91.37210	-0.00280	0.00018	
0.00000			91.37215	-0.00290	0.00023	
0.00000			91.37185	-0.00270	-0.00007	
0.00000			91.37215	-0.00250	0.00023	
0.00000			91.37200	-0.00300	0.00008	
0.00000			91.37190	-0.00240	-0.00002	
Mean of Sets.						
Horizontal			Vertical	SD. Vert.	Range	
0.00000			91.37192	0.00015	0.00050	
	SD Dist.	Range				
1082.53297	0.00014	0.00070				
To 103						
Horizontal	Split	Residual	Vertical	Face Diff.	Residual	
77.27555	0.00050	-0.00056	97.45435	-0.00250	-0.00009	
77.27615	-0.00110	0.00004	97.45400	-0.00160	-0.00044	
77.27570	-0.00060	-0.00041	97.45440	-0.00200	-0.00004	
77.27610	-0.00060	-0.00001	97.45450	-0.00200	0.00006	
77.27625	-0.00070	0.00014	97.45460	-0.00180	0.00016	
77.27570	-0.00060	-0.00041	97.45455	-0.00170	0.00011	
77.27620	0.00040	0.00009	97.45445	-0.00270	0.00001	
77.27600	-0.00020	-0.00011	97.45460	-0.00220	0.00016	
77.27590	0.00020	-0.00021	97.45420	-0.00200	-0.00024	
77.27595	-0.00010	-0.00016	97.45450	-0.00220	0.00006	
77.27605	-0.00030	-0.00006	97.45430	-0.00260	-0.00014	
77.27645	-0.00070	0.00034	97.45425	-0.00230	-0.00019	
77.27635	-0.00070	0.00024	97.45425	-0.00350	-0.00019	
77.27600	-0.00020	-0.00011	97.45435	-0.00270	-0.00009	
77.27645	0.00030	0.00034	97.45480	-0.00280	0.00036	
77.27680	-0.00040	0.00069	97.45450	-0.00300	0.00006	
77.27620	-0.00080	0.00009	97.45460	-0.00280	0.00016	
77.27630	-0.00040	0.00019	97.45435	-0.00290	-0.00009	
77.27620	-0.00000	0.00009	97.45475	-0.00270	0.00031	
77.27600	-0.00000	-0.00011	97.45470	-0.00300	0.00026	
77.27600	-0.00080	-0.00011	97.45425	-0.00310	-0.00019	
Mean of Sets.						
Horizontal		SD Dir.	Range	Vertical	SD. Vert.	Range
77.27611		0.00028	0.00125	97.45444	0.00020	0.00080
		SD Dist.	Range			
1279.78348		0.00015	0.00080			

## PRILOGA C: MERITVE IN NATANČNOSTI MERITEV V LETU 2011

**Preglednica C.1:** Meritve in natančnosti meritev v letu 2011

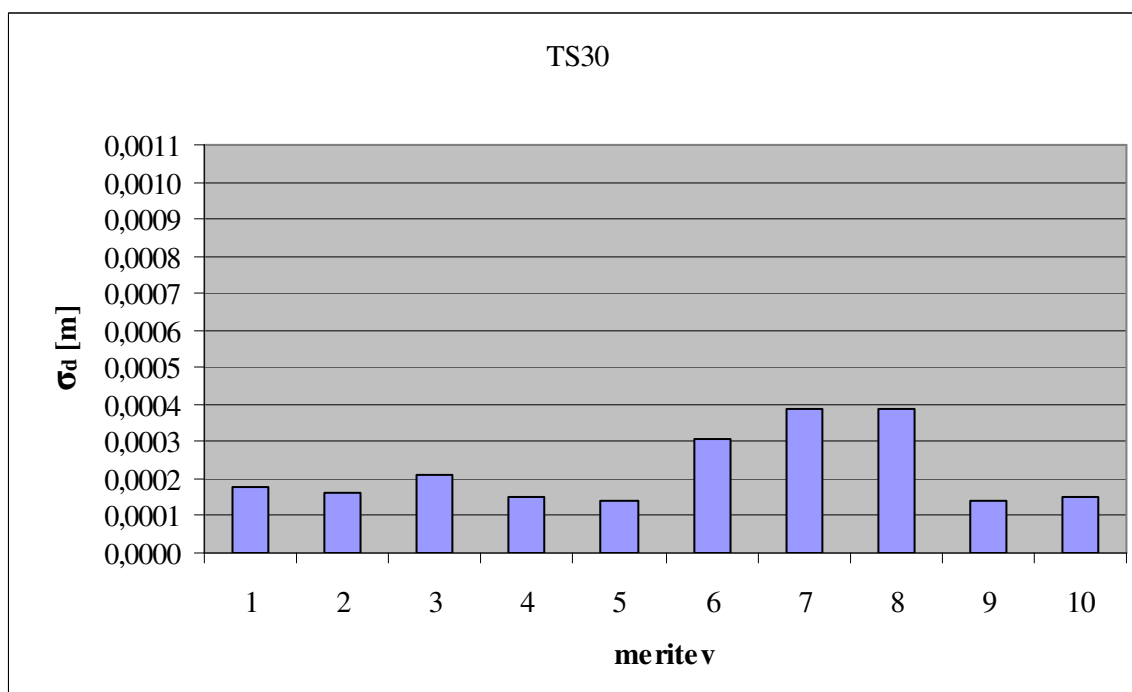
**Grafikon C.1:** Natančnost merjenih dolžin v letu 2011

**Grafikon C.2:** Natančnost merjenih zenitnih razdalj v letu 2011

**Grafikon C.3:** Natančnost opazovanih horizontalnih smeri v letu 2011

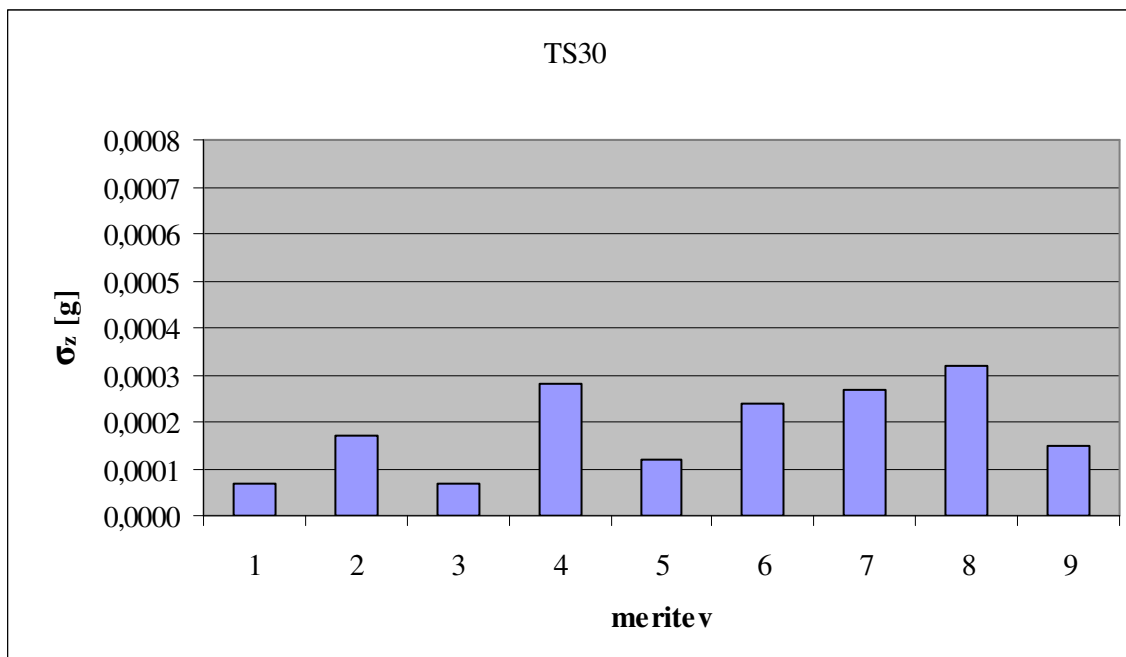
**Preglednica C.1:** Meritve in natančnosti meritev v letu 2011

Stojišče	Vizura	d [m]	z [g]	Hz [g]	$\sigma_d$ [m]	$\sigma_z$ [g]	$\sigma_{Hz}$ [g]
102	104	884,01748	111,3141	0,00000	0,00018	0,00007	0,00000
102	103	1355,07508	104,4750	45,38114	0,00016	0,00017	0,00025
102	101	1082,53309	108,6373	114,73987	0,00021	0,00007	0,00016
104	103	899,14858	95,6694	0,00000	0,00015	0,00028	0,00000
104	102	884,01736	88,6934	110,87424	0,00014	0,00012	0,00025
103	102	1355,08540	95,5350	0,00000	0,00031	0,00024	0,00000
103	104	899,15575	104,3380	43,74480	0,00039	0,00027	0,00020
103	101	1279,79376	102,5572	346,63491	0,00039	0,00032	0,00030
101	102	1082,53297	91,3719	0,00000	0,00014	0,00015	0,00000
101	103	1279,78348	97,4544	77,27611	0,00015	0,00020	0,00028

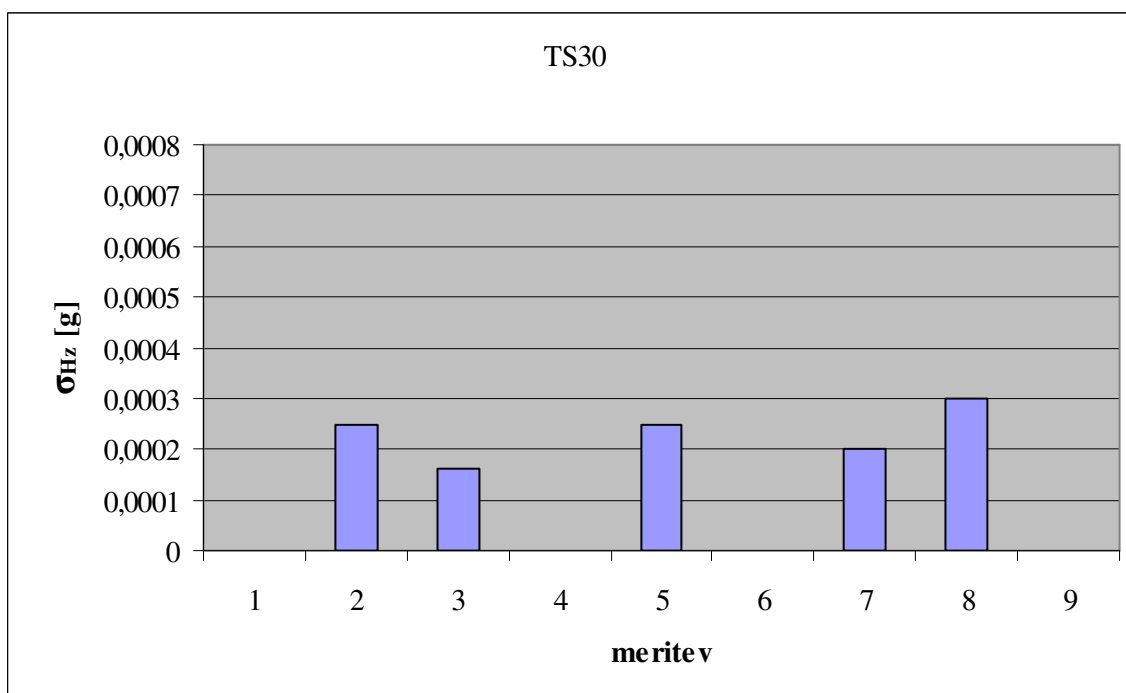


**Grafikon C.1:** Natančnost merjenih dolžin v letu 2011





**Grafikon C.2:** Natančnost merjenih zenitnih razdalj v letu 2011



**Grafikon C.3:** Natančnost opazovanih horizontalnih smeri v letu 2011

## PRILOGA D: REDUKCIJA DOLŽINE 101-102 IZMERJENE V LETU 2011

Izračun dolžine merjene z elektrooptičnim razdaljemerom  
 Leica Geosystems TS30 z vsemi potrebnimi redukcijami

Podatki		
O instrumentu	O meritvah	O točkah
$\lambda$ [μm] = 0,658	$t$ suha [°] = 23,17	H101 [m] = 9,84
$n_0$ = 1,00028630	$t$ mokra [°] = 13,5	H102 [m] = 156,19
$k_a$ [m] = 0	$p$ [hPa] = 977,299	H103 [m] = 61,11
$k_m$ [m] = 1	$p_{sr}$ [hPa] = 969,0934417	H104 [m] = 0,00
	$e$ [torr] = 6,937029446	
$\alpha$ = 7,5	$i_{101}$ [m] = 0,2406	
$\beta$ = 237,5	$i_{102}$ [m] = 0,2404	
$\gamma$ = 0,66077	$Do'$ [m] = 1082,53297	
$K$ = 0,5	$z'$ [gon] = 91,37192	
$Em$ = 11,5919488	$z'$ [°] = 82,234728	
	$z'$ [rad] = 1,4352668	
	$R$ [m] = 6378411	
	$k$ = 0,13	

### 1.) Meteorološki popravki

A = 287,6155
B = 1,62887
C = 0,01360

$$\alpha = 0,003661$$

(nG-1) = 0,00029926
nD = 1,00026358

Grupni lomni količnik  
 Dejanski lomni količnik

Redukcija za  $k_a$  in  $k_m$

Da [m] = 1082,532970
D' [m] = 1082,557558
D [m] = 1082,557558

Prvi popravek hitrosti  
 Drugi popravek hitrosti

Redukcija zaradi ukrivljenosti merskega žarka

Sr [m] = 1082,557558
----------------------

### 2.) Geometrični popravki

Redukcija na nivo točk

Sp [m] = 1082,557585
----------------------

Redukcija "kamen-kamen"

Sk [m] = 1082,557545
----------------------

### 3.) Projekcijski popravki

$\epsilon$ = -7,30509E-05
Sm [m] = 1072,6197152

Horizontirana dolžina

Redukcija na nivo točke 104

Hm [m] = 83,02
<b>So [m] = 1072,605755</b>

## PRILOGA E: REZULTATI IZRAVNAVE KOMBINIRANE PROSTE MREŽE V LETU 2011

Izravnava ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM4. ver.4.0. oktober 2005

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk & Zvonimir Jamšek

Datum : 9.8.2011

Čas : 20:55

Ime datoteke s podatki:	GAM2011.pod
Ime datoteke za rezultate:	GAM2011.gem
Ime datoteke za risanje slike mreže:	GAM2011.ris
Ime datoteke za izračun premikov:	GAM2011.koo
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike:	GAM2011.s11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover):	GAM2011.dah
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin):	GAM2011.daa

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

=====

Točka	Y (m)	X (m)
103	10000.0000	10000.0000
104	10861.5382	9749.9573
101N	10411.7991	11210.6808
102	11242.5877	10532.2244

vseh novih točk je : 4

Pregled opazovanih smeri

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (gradi)	w (")	Utež	Gr
1	102	104	0 0 0.0	0.000	1.00	1
2	102	103	45 38 11.4	0.000	1.00	1
3	102	101N	114 73 98.7	0.000	1.00	1
4	104	103	0 0 0.0	0.000	1.00	1
5	104	102	110 87 42.4	0.000	1.00	1
6	103	102	0 0 0.0	0.000	1.00	1
7	103	104	43 74 48.0	0.000	1.00	1
8	103	101N	346 63 49.1	0.000	1.00	1
9	101N	102	0 0 0.0	0.000	1.00	1
10	101N	103	77 27 61.1	0.000	1.00	1

### Pregled opazovanih dolžin

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Dolžina	Du	Utež
11	102	104	870.1099	0.0000	1.00
12	102	103	1351.7428	0.0000	1.00
13	102	101N	1072.6049	0.0000	1.00
14	104	103	897.0796	0.0000	1.00
15	103	101N	1278.7758	0.0000	1.00

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0.40 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0.400 mm.

Število enačb popravkov je	15
- Število enačb popravkov za smeri je	10
- Število enačb popravkov za dolžine je	5
Število neznank je	12
- Število koordinatnih neznank je	8
- Število orientacijskih neznank je	4
Defekt mreže je	3
Število nadštevilnih opazovanj je	6

### POPRAVKI približnih vrednosti

=====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy	Dx	Do
	(m)	(m)	(")
103	0.0100	0.0085	0.1
104	0.0015	0.0144	-0.8
101N	0.0023	-0.0133	0.7
102	-0.0138	-0.0096	0.6

### IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y	X	My	Mx	Mp	a	b	Theta
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(st.)
103	10000.0100	10000.0085	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	38
104	10861.5397	9749.9717	0.0002	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002	159
101N	10411.8014	11210.6675	0.0002	0.0003	0.0004	0.0003	0.0002	166
102	11242.5739	10532.2148	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	92

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.02404.

[pvv] = 6.2919559594

[xx] vseh neznank = 1.3751123532

[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0008454624

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m\_arit/ je 0.00018.

srednji pogrešek smeri /m0\*m0\_smeri/ je 0.4096 sekund.

srednji pogrešek dolžin /m0\*m0\_dolžin/ je 0.4096 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp\_max/ je 0.0004 metrov.  
 Najmanjši položajni pogrešek /Mp\_min/ je 0.0003 metrov.  
 Srednji položajni pogrešek /Mp\_sred/ je 0.0004 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz nezaokroženih koordinat.  
 Smeri in smerni koti so izpisani v gradih.

Nova točka: 102 Y = 11242.5739 X = 10532.2148  
 Orientacijski kot = 228 85 66.0

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
104	1	1.00	0 0 0.0	228 85 66.0	228 85 65.8	-0.2	870.110
103	1	1.00	45 38 11.4	274 23 77.4	274 23 76.9	-0.5	1351.743
101N	1	1.00	114 73 98.7	343 59 64.7	343 59 65.4	0.7	1072.605

Nova točka: 104 Y = 10861.5397 X = 9749.9717  
 Orientacijski kot = 317 98 22.9

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
103	1	1.00	0 0 0.0	317 98 22.9	317 98 22.3	-0.6	897.080
102	1	1.00	110 87 42.4	28 85 65.3	28 85 65.8	0.6	870.110

Nova točka: 103 Y = 10000.0100 X = 10000.0085  
 Orientacijski kot = 74 23 75.3

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
102	1	1.00	0 0 0.0	74 23 75.3	74 23 76.9	1.6	1351.743
104	1	1.00	43 74 48.0	117 98 23.3	117 98 22.3	-0.9	897.080
101N	1	1.00	346 63 49.1	20 87 24.4	20 87 23.7	-0.7	1278.776

Nova točka: 101N Y = 10411.8014 X = 11210.6675  
 Orientacijski kot = 143 59 64.0

Vizura	Gr	Utež	Opazov.smer	Orient.smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
102	1	1.00	0 0 0.0	143 59 64.0	143 59 65.4	1.4	1072.605
103	1	1.00	77 27 61.1	220 87 25.1	220 87 23.7	-1.4	1278.776

PREGLED merjenih DOLŽIN

=====

Dolžine so izračunane iz nezaokroženih koordinat  
 Multiplikacijska konstanta ni bila izračunana (= 1).  
 Adicijska konstanta ni bila izračunana (= 0 metra).

Od točke	Do točke	Utež dolž	Merjena dolžina	Modulirana 'Mer.*Mk+Ak	Definitivna Proj.-Du	Popravek Mod.dolž.	Projekcij. iz koo.
102	104	1.000	870.1099	870.1099	870.1100	0.0001	870.1100
102	103	1.000	1351.7428	1351.7428	1351.7429	0.0000	1351.7429
102	101N	1.000	1072.6049	1072.6049	1072.6048	-0.0001	1072.6048
104	103	1.000	897.0796	897.0796	897.0796	0.0001	897.0796
103	101N	1.000	1278.7758	1278.7758	1278.7757	-0.0001	1278.7757

## PRILOGA F: REZULTATI IZRAČUNOV PREMIKOV IN NATANČNOSTI PREMIKOV TOČK V KOMBINIRANI PROSTI MREŽI V LETU 2011

PREMIKI in natančnosti premikov točk

Program: PREMIK, ver.2.0

Copyright (C) Tomaž Ambrožič, Goran Turk & Bojan Stopar

Ime datoteke z imeni datotek: g.pre

Ime datoteke za rezultate: g.sez

Datum: 25-AUG-11

Čas: 09:34:48

kombinirana mreza - prosta mreza

1 ... GAM1979.koo  
2 ... GAM1983.koo  
3 ... GAM1987.koo  
4 ... GAM1991.koo  
5 ... GAM1995.koo  
6 ... GAM2011.koo

\* ... v datoteki sta koordinati točke podani

- ... v datoteki ni koordinat te točke

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
103	*	*	*	*	*	*	*																							
104	*	*	*	*	*	*	*																							
101S	*	*	-	-	-	-																								
102	*	*	*	*	*	*	*																							
101N	-	*	*	*	*	*	*																							

Koordinatne razlike, smerni koti premikov in premiki posameznih točk.

Število iteracij za izračun porazdelitvene funkcije je 9999.

Stopnja značilnosti testa alfa je 0.050 (= 5.00%).

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 2.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	-0.0024	0.0000	270.	0.0024	0.0021	1.1512	2.1273	37.84	
104	0.0025	-0.0025	135.	0.0035	0.0036	0.9851	2.0715	45.16	
101S	0.0020	0.0010	63.	0.0022	0.0006	3.6287	2.2926	0.07	*
102	-0.0017	0.0020	320.	0.0026	0.0009	2.9110	2.3363	1.04	

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 3.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0085	0.0041	64.	0.0094	0.0009	10.5384	2.1097	0.00	*
104	-0.0045	0.0092	334.	0.0102	0.0023	4.4449	2.0314	0.00	*
102	-0.0075	-0.0013	260.	0.0076	0.0009	8.4305	2.2785	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 4.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0075	0.0053	55.	0.0092	0.0007	13.5692	2.0707	0.00	*
104	-0.0013	0.0099	353.	0.0100	0.0018	5.5609	2.0207	0.00	*
102	-0.0099	-0.0032	252.	0.0104	0.0009	12.1721	2.2306	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 5.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0080	0.0061	53.	0.0101	0.0006	16.3351	2.0560	0.00	*
104	-0.0009	0.0075	353.	0.0076	0.0018	4.2116	2.0153	0.00	*
102	-0.0098	-0.0032	252.	0.0103	0.0008	12.1912	2.1676	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0102	0.0081	52.	0.0130	0.0006	23.2375	2.0425	0.00	*
104	0.0008	0.0091	5.	0.0091	0.0014	6.7568	2.0089	0.00	*
102	-0.0145	-0.0054	250.	0.0155	0.0008	19.1222	2.1421	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 2 in 3.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0109	0.0041	69.	0.0116	0.0014	8.1711	2.2157	0.00	*
104	-0.0070	0.0117	329.	0.0136	0.0024	5.5935	2.1843	0.00	*
102	-0.0058	-0.0033	240.	0.0067	0.0011	6.2222	2.4245	0.00	*
101N	0.0026	-0.0131	169.	0.0134	0.0010	13.3451	2.3393	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 2 in 4.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0099	0.0053	62.	0.0112	0.0013	8.8307	2.2052	0.00	*
104	-0.0038	0.0124	343.	0.0130	0.0022	6.0048	2.1755	0.00	*
102	-0.0082	-0.0052	238.	0.0097	0.0010	9.3470	2.4161	0.00	*
101N	0.0029	-0.0132	168.	0.0135	0.0010	14.2184	2.3311	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 2 in 5.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0104	0.0061	60.	0.0121	0.0012	9.8903	2.2036	0.00	*
104	-0.0034	0.0100	341.	0.0106	0.0022	4.7694	2.1713	0.00	*
102	-0.0081	-0.0052	237.	0.0096	0.0010	9.3711	2.4083	0.00	*
101N	0.0018	-0.0115	171.	0.0116	0.0009	12.6985	2.3221	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 2 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0126	0.0081	57.	0.0150	0.0012	12.9022	2.1933	0.00	*
104	-0.0017	0.0116	352.	0.0117	0.0019	6.0440	2.1662	0.00	*
102	-0.0128	-0.0074	240.	0.0148	0.0010	14.6547	2.4082	0.00	*
101N	0.0026	-0.0129	169.	0.0132	0.0009	14.8452	2.3133	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 3 in 4.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	-0.0010	0.0012	320.	0.0016	0.0005	2.9286	2.4525	1.46	
104	0.0032	0.0007	78.	0.0033	0.0005	6.0005	2.4335	0.00	*
102	-0.0024	-0.0019	232.	0.0031	0.0006	5.4628	2.4537	0.00	*
101N	0.0003	-0.0001	108.	0.0003	0.0006	0.5384	2.3865	85.67	

Izračun med datotekama (dobama) 3 in 5.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	-0.0005	0.0020	346.	0.0021	0.0005	4.0919	2.4501	0.02	*
104	0.0036	-0.0017	115.	0.0040	0.0006	6.4418	2.3857	0.00	*
102	-0.0023	-0.0019	230.	0.0030	0.0005	5.5834	2.4460	0.00	*
101N	-0.0008	0.0016	333.	0.0018	0.0007	2.5831	2.3734	2.93	

Izračun med datotekama (dobama) 3 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0017	0.0040	23.	0.0043	0.0005	8.7331	2.4518	0.00	*
104	0.0053	-0.0001	91.	0.0053	0.0005	10.7967	2.4104	0.00	*
102	-0.0070	-0.0041	240.	0.0081	0.0005	16.2190	2.4509	0.00	*
101N	0.0000	0.0002	0.	0.0002	0.0006	0.3191	2.3791	95.15	

Izračun med datotekama (dobama) 4 in 5.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0005	0.0008	32.	0.0009	0.0005	1.9702	2.4465	14.84	
104	0.0004	-0.0024	171.	0.0024	0.0007	3.6859	2.3647	0.07	*
102	0.0001	0.0000	90.	0.0001	0.0005	0.1998	2.4420	98.24	
101N	-0.0011	0.0017	327.	0.0020	0.0006	3.3728	2.3715	0.22	*

Izračun med datotekama (dobama) 4 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0027	0.0028	44.	0.0039	0.0004	8.9696	2.4505	0.00	*
104	0.0021	-0.0008	111.	0.0022	0.0005	4.7549	2.3917	0.00	*
102	-0.0046	-0.0022	244.	0.0051	0.0004	11.7455	2.4465	0.00	*
101N	-0.0003	0.0003	315.	0.0004	0.0005	0.8230	2.3807	69.67	

Izračun med datotekama (dobama) 5 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
103	0.0022	0.0020	48.	0.0030	0.0004	7.4864	2.4360	0.00	*
104	0.0017	0.0016	47.	0.0023	0.0004	6.0397	2.2686	0.00	*
102	-0.0047	-0.0022	245.	0.0052	0.0004	12.5758	2.4089	0.00	*
101N	0.0008	-0.0014	150.	0.0016	0.0005	3.1819	2.3450	0.45	*