

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidat:

Matjaž Zemljak

Določitev premikov točk v geodetski mreži po postopku Delft

Diplomska naloga št.: 668

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 1. 2. 2006

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Matjaž Zemljak izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»DOLOČITEV PREMIKOV TOČK V GEODETSKI MREŽI PO POSTOPKU DELFT«.

Ljubljana, 17.01.2006

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.48(043.2)
Avtor:	Matjaž Zemljak
Mentor, somentor:	doc. dr. Tomaž Ambrožič, izr. prof. dr. Dušan Kogoj
Naslov:	Določitev premikov točk v geodetski mreži po postopku Delft
Obseg in oprema:	68 str., 10 pregl., 3 sl., 54 en.
Ključne besede:	deformacijska analiza, transformacija S, postopek Delft, statistično značilni premik, računski primer

Izveček

S postopkom deformacijske analize iz geodetskih opazovanj v dveh ali več terminskih izmerah ugotavljamo, ali se je med terminskimi izmerami spremenil položaj geodetskih točk, s katerimi je predstavljen objekt. Možnosti za analizo ponuja več v ta namen razvitih postopkov. V tej diplomski nalogi je podrobneje predstavljena deformacijska analiza po postopku Delft na praktičnem primeru geodetske mreže Pesje, ki jo je za svoje potrebe vzpostavil Premogovnik Velenje. Značilnost omenjenega postopka je ločena izravnava geodetske mreže v obeh terminskih izmerah, testiranje skladnosti celotne mreže ali posameznega dela v dveh terminskih izmerah, testiranje premikov posameznih osnovnih točk in (ali) točk na objektu in na koncu testiranje modela deformacij. Zaradi lastnosti uporabljenega funkcionalnega modela, je nujna uporaba transformacije S. Na koncu je podana primerjava rezultatov deformacijske analize na istem primeru, izračunane po postopku Hannover in Karlsruhe.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.48(043.2)
Author:	Matjaž Zemljak
Supervisor, cosupervisor:	Assist. Prof. Tomaž Ambrožič, Assoc. Prof. Dušan Kogoj
Title:	Determination of displacement geodetic network points, Delft approach
Notes:	68 p., 10 tab., 3 fig., 54 eq.
Key words:	deformation analysis, S transformation, Delft approach, statistically significant displacement, numerical example

Abstract

In the process of a deformation analysis deduced from the geodetic observation in two or more time epochs, we detect displacement of geodetic points which define an object between two time epochs. We have several options how to analyze various approaches which were developed for this purpose. In this diploma thesis we present the deformation analysis performed in greater detail according to Delft approach for the deformation analysis using as the example the actual geodetic network Pesje which was developed by the Premogovnik Velenje for its own needs. The main characteristic of this process is the independent network adjustment for each time epoch, the testing congruence of the total network or its partial sections in two specific time epochs, the testing of movements of the individual basic points and (or) object points, and finally the testing of the deformation models. Because of the character of the applied functional model it is necessary to use S-transformation. At the conclusion there is a comparison of the results obtained from the Hannover and Karlsruhe approach.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Tomažu Ambrožiču, somentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju in izr. prof. dr. Goranu Turku za pomoč in koristne nasvete ob nastajanju diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi Matjažu Koželju, univ. dipl. inž. rud., in Dragu Potočniku, univ. dipl. inž. rud., iz Jamomerske službe Premogovnika Velenje za posredovanje podatkov o mreži Pesje.

Posebna zahvala gre domačim, ki so mi ves čas študija stali ob strani in me spodbujali.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Opis obravnavane teme.....	1
1.2 Predstavitev ostalih postopkov	4
1.2.1 Postopek Fredericton	4
1.2.2 Postopek Hannover	5
1.2.3 Postopek Karlsruhe	6
1.2.4 Postopek München	6
2 POSTOPEK DELFT	8
2.1 Statistično testiranje hipotez	9
2.1.1 Napaka I. in napaka II. vrste.....	10
2.1.2 Testiranje hipotez s porazdelitveno funkcijo.....	10
2.2 Izravnava geodetske mreže in odkrivanje grobih pogrškov v opazovanjih.....	11
2.3 Transformacija S	14
2.4 Zanesljivost proste mreže	19
2.5 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži.....	22
2.5.1 Testiranje spremembe oblike mreže v dveh terminskih izmerah	23
2.5.2 Testiranje spremembe velikosti mreže v dveh terminskih izmerah	27
2.5.2.1 Spremeni se velikost celotne mreže.....	27
2.5.2.2 Spremeni se velikost dela mreže	28
2.5.3 Testiranje zasuka mreže.....	28
2.6 Testiranje stabilnosti točk v absolutni geodetski mreži	29
2.6.1 Testiranje stabilnosti referenčnih točk.....	29
2.6.2 Meje premikov referenčnih točk.....	32
2.6.3 Testiranje premikov točk na objektu	34
2.7 Testiranje modela deformacij	37
2.8 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži	38

3 RAČUNSKI PRIMER GEODETSKE MREŽE PESJE	41
3.1 Ravninska geodetska mreža Pesje.....	41
3.1.1 Izravnava geodetske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih	42
3.1.2 Zanesljivost proste mreže.....	45
3.1.3 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži.....	45
3.1.4 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži	49
3.2 Višinska geodetska mreža Pesje.....	51
3.2.1 Izravnava višinske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih	52
3.2.2 Zanesljivost proste mreže.....	54
3.2.3 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži.....	55
3.2.4 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži	58
4 PRIMERJAVA REZULTATOV RAVNINSKE IN VIŠINSKE GEODETSKE MREŽE Z REZULTATI DRUGIH POSTOPKOV	60
4.1 Ravninska geodetska mreža Pesje.....	60
4.2 Višinska geodetska mreža Pesje.....	62
5 ZAKLJUČEK.....	64
VIRI.....	66
PRILOGE	68
Priloga A: Izravnava ravninske geodetske mreže Pesje 1. terminske izmere	
Priloga B: Izravnava ravninske geodetske mreže Pesje 2. terminske izmere	
Priloga C: Matrika kofaktorjev koordinatnih razlik ravninske geodetske mreže Pesje	
Priloga D: Izravnava višinske geodetske mreže Pesje 1. terminske izmere	
Priloga E: Izravnava višinske geodetske mreže Pesje 2. terminske izmere	
Priloga F: Matrika kofaktorjev koordinatnih razlik višinske geodetske mreže Pesje	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam približnih koordinat, izravnanih koordinat 1. in 2. terminske izmere in koordinatnih razlik med 2. in 1. terminsko izmero v ravninski mreži Pesje.	43
Preglednica 2: Ostali rezultati izravnave ravninske mreže Pesje.	44
Preglednica 3: Izračunane testne statistike posameznih delov geodetske mreže v iterativnem postopku izločanja nestabilnih točk v ravninski mreži Pesje.	48
Preglednica 4: Rezultati deformacijske analize ravninske mreže Pesje po postopku Delft.	50
Preglednica 5: Seznam približnih višin reperjev, izravnanih višin reperjev 1. in 2. terminske izmere in razlike višin reperjev med 2. in 1. terminsko izmero v višinski mreži Pesje.	52
Preglednica 6: Ostali rezultati izravnave višinske mreže Pesje.	53
Preglednica 7: Izračunane testne statistike posameznih delov višinske mreže v iterativnem postopku izločanja nestabilnih reperjev v višinski mreži Pesje.	57
Preglednica 8: Rezultati deformacijske analize višinske mreže Pesje po postopku Delft.	59
Preglednica 9: Primerjava rezultatov deformacijske analize ravninske mreže Pesje izračunanih po postopku Delft, Karlsruhe in Hannover.	60
Preglednica 10: Primerjava rezultatov deformacijske analize višinske mreže Pesje izračunanih po postopku Delft, Karlsruhe in Hannover.	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Elipse pogreškov določitve položaja točk v triangulacijski, trilateracijski in kombinirani mreži.....	12
Slika 2: Ravninska geodetska mreža Pesje.....	42
Slika 3: Višinska geodetska mreža Pesje.....	51

1 UVOD

1.1 Opis obravnavane teme

V vsakdanji geodetski praksi (pa tudi v življenju nasploh) se srečujemo s številnimi premiki na zemeljski površini, kot tudi na zgrajenih objektih. Premiki nastanejo zaradi različnih vzrokov, ljudem najbolj poznani so potresi, ki nastanejo zaradi premikanja litosferskih plošč kot sestavnih elementov zemeljske skorje. V praksi pa se srečujemo tudi z drugimi tvorci premikov kot so: plazovi, premikanje ledenikov in drugih ledenih gmot, premikanje tal na območjih večje rudarske aktivnosti in nenazadnje pri posedanju, raztezanju, upogibanju in napenjanju zgrajenih objektov v gradbeni dejavnosti. Posledica vsakega premika je deformacija, ki jo želimo čimprej odkriti in če je možno ugotoviti njeno velikost. Zanima nas tudi smer premika, pri hitro premikajočih se objektih pa še hitrost premika. Premiki in deformacije imajo naslednje značilnosti:

- lahko so globalne, regionalne ali lokalne,
- premiki in deformacije so lahko stalne (kontinuirane) ali občasne (nekontinuirane),
- razlikujejo se lahko po hitrosti in velikosti,
- lahko so plastične (objekt po neki periodi spremeni obliko) ali elastične (objekt se po neki periodi vrne v prvotno obliko),
- premiki so lahko prostorski, lahko pa se spremeni samo horizontalna ali samo vertikalna komponenta.

Za odkrivanje in spremljanje premikov in z njimi povezane deformacije, obstajajo različni postopki. Za hitro se spreminjajoče premike so primerni enostavni in hitri postopki, medtem ko pri počasi se premikajočih objektih, v nekem daljšem časovnem intervalu, pomembno vlogo odigrajo precizna geodetska opazovanja. V tem primeru objekt smiselno idealiziramo s primernim številom geodetskih točk, katerim določamo položaje s pomočjo geodetskih opazovanj, ki točke povezujejo v geodetsko mrežo. Pogostost izvajanja meritev je odvisna od

hitrosti in velikosti pričakovanih premikov. Poznamo dve vrsti točk v geodetski mreži (Trunk, 2005).

- Točke, ki ležijo zunaj deformacijskega območja objekta in za katere predpostavljamo, da deformacije na njih nimajo vpliva. Te točke lahko smatramo, kot mirujoče točke in jih imenujemo referenčne, oziroma osnovne točke.
- Druga vrsta so točke, ki so stabilizirane na objektu in nam služijo za določanje relativnih premikov objekta glede na referenčne točke. Te točke imenujemo točke na objektu.

Pred geodetskimi opazovanji je potrebno zagotoviti stabilnost osnovnih točk. To storimo s predhodnimi geološkimi raziskavami in s primerno stabilizacijo točk. Te točke se naj ne bi premikale med spremljanjem premikov, kar naj bi kontrolirali ves čas spremljanja premikov v pripadajočih terminskih izmerah. Prav tako je potrebno zagotoviti primerno stabilizacijo točk na objektu, saj nas zanima samo velikost premika objekta, ne pa tudi drugi vplivi, ki lahko vplivajo na premik točke, kot je neprimerna stabilizacija ali uničenje točke. Ko imamo ustrezno stabilizirane točke celotne geodetske mreže, lahko pričnemo z geodetskimi opazovanji. Koordinate točk v geodetski mreži določamo z merjenimi dolžinami (trilateracija), z opazovanimi smermi (triangulacija) ali pa s kombinacijo opazovanih smeri in merjenjem dolžin, kar nam da navadno najnatančnejše rezultate. Ker je natančnost meritev vertikalne komponente koordinat točk natančnejša od horizontalne komponente, je smiselno višinsko komponento položaja določiti s preciznim nivelmanom, ki sodi v najnatančnejše in najenostavnejše postopke meritev v geodeziji. Najprej opravimo ničelno izmero in ko je z vidika pričakovanih premikov smiselno, še naslednjo terminsko izmero. Terminskih izmer je lahko več, njihovo število in gostota opazovanj pa je odvisna od večih dejavnikov:

- hitrosti in velikosti premikov,
- velikosti in pomembnosti objekta,
- stopnje nevarnosti za kakršnokoli nevarnost.

Ko izvajamo geodetska opazovanja, moramo biti pozorni pri času trajanja meritev. Opazovanja morajo biti opravljena hitro in natančno, saj se lahko pri hitro premikajočih objektih položaji točk, ki ponazarjajo objekt v geodetski mreži, spremenijo pred zaključkom

opazovanj. Tako se spremeni geometrija mreže in nam nadštevila korektna opazovanja ne pokažejo premikov, temveč pri izravnavi velike popravke opazovanj ali celo grobe pogreške v postopku odkrivanja grobih pogreškov.

Posebno pozornost moramo nameniti tudi pogreškom opravljenih geodetskih meritev, kakor tudi izvedenosti merskih vrednosti. Ti pogreški namreč povzročajo navidezne premike, ki so večji od dejanskih. Vzroki za takšne pogreške so lahko (Trunk, 2005):

- neprimerna izbira merske metode in instrumentarija,
- malomarnost opazovalca,
- pogreški instrumenta,
- zunanji vplivi okolja in atmosfere,
- napake v funkcionalnem in stohastičnem modelu in
- drugi.

Glede na razporeditev točk ločimo dva tipa mrež za ugotavljanje premikov in deformacij (Mozetič, 2005, Trunk, 2005).

- Absolutne mreže vsebujejo osnovne točke in točke na objektu. Osnovne točke določajo koordinatni sistem s pomočjo katerega ugotavljamo premike in deformacije na objektu. Pri absolutnih mrežah predpostavljamo, da se osnovne točke med terminskimi izmerami niso premaknile.
- Relativne mreže vsebujejo točke na objektu. V takšnih mrežah je možno ugotavljati samo relativne premike med točkami na objektu.

Tako kot instrumentarij in merske tehnike, se morajo izboljševati tudi tehnike izvedenosti pridobljenih podatkov. Novi postopki izpodrivajo stare, ki so natančnejši in največkrat bolj kompleksni. Zaradi velikega števila postopkov ugotavljanja premikov, ki so se uporabljali v praksi, so v Bonnu leta 1978 na II. kongresu deformacijskih merjenj v sklopu FIG, v okviru 6. komisije ustanovili skupino za poenotenje postopkov. Naloga te skupine je bila preučitev različnih postopkov deformacijske analize, pri čemer so vsi vključeni raziskovalni centri uporabljali iste merske podatke. V začetku je bilo v projekt vključenih pet raziskovalno univerzitetnih centrov (Ninkov, 1985, Savšek Safić, 2002, Trunk, 2005):

- Delft (J. van Mierlo, J. J. Kok) - Računalniški center Geodetskega inštituta Tehnične univerze Delft na Nizozemskem,
- Fredericton (A. Chrzanowski, Y. Q. Chen, J. Secod) - Oddelek za geodezijo Univerze New Brunswick v Kanadi,
- Hannover (H. Pelzer) - Geodetski inštitut Univerze Hannover v Nemčiji,
- Karlsruhe (K. R. Koch, B. Heck, E. Kuntz, B. Meier-Hirmer) - Geodetski inštitut Univerze Karlsruhe v Nemčiji in
- München (W. Welsch) - Inštitut za geodezijo Visoke vojaške šole München v Nemčiji.

Deformacijsko analizo po postopku Hannover je že obdelal doc. dr. Tomaž Ambrožič in za ta postopek izdelal programsko opremo DAH (Ambrožič, 1996). Prav tako je Jože Trunk, univ. dipl. inž. geod. obdelal deformacijsko analizo po postopku Karlsruhe in jo predstavil v svojem diplomskem delu (Trunk, 2005). Tako so ostali še trije, pri nas neobdelani postopki, zato sem se odločil raziskati deformacijsko analizo po postopku Delft, ki bo predstavljena v nadaljevanju diplomskega dela.

1.2 Predstavitev ostalih postopkov

1.2.1 Postopek Fredericton

Postopek Fredericton so razvili A. Chrzanowski, Y. Q. Chen in J. M. Secord na Oddelku za geodezijo na Univerzi New Brunswick, Fredericton v Kanadi. Zasnovan je na splošni teoriji deformacijske analize, oziroma »strain« analizi. Celoten postopek je sestavljen iz šestih korakov (Mihailović, Aleksić, 1994).

- Izravnava deformacijske mreže ločeno za vsako terminsko izmero. Mreža se izravna kot prosta mreža, po metodi najmanjših kvadratov. Po izravnavi se testirajo statistične hipoteze, s katerimi poskušamo ugotoviti prisotnost grobih pogreškov v opazovanjih.
- Analiza trenda s ciljem izbora možnih modelov deformacij.
- Določevanje parametrov deformacijskih modelov.

- Izbor najboljšega deformacijskega modela se izbere glede na:
 - soglasje s trendom,
 - globalni test,
 - značilnosti ocenjenih vrednosti deformacijskih parametrov,
 - primernosti modela in
 - fizično obnašanje deformacij.
- Izračun deformacijskih karakteristik in njihovih natančnosti s parametri najboljšega modela.
- Grafična predstavitev deformacij.

1.2.2 Postopek Hannover

Postopek Hannover nekateri imenujejo tudi Pelzerjeva metoda po avtorju H. Pelzerju, ki jo je razvil na Geodetskem inštitutu Univerze Hannover v Nemčiji (Mihailović, Aleksić, 1994).

Bistvo postopka Hannover je ugotavljanje stabilnosti točk v geodetski mreži, ki jo izračunamo na osnovi srednjega neujemanja med dvema neodvisnima terminskima izmerama. Na podlagi srednjega neujemanja določimo morebitne premike točk mreže. Postopek lahko razdelimo na šest korakov (Ambrožič, 2001):

- izravnava opazovanj posameznih terminskih izmer z analizo natančnosti, odkrivanje morebitnih grobih pogreškov med opazovanji in transformacija izravnanih koordinat posamezne terminske izmere v identičen datum,
- testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh terminskih izmerah,
- globalni test stabilnosti točk mreže v dveh terminskih izmerah,
- testiranje stabilnosti osnovnih točk,
- postopek določitve nestabilnih osnovnih točk in
- testiranje premikov točk na objektu.

1.2.3 Postopek Karlsruhe

Postopek Karlsruhe so razvili K. R. Koch, B. Heck, E. Kuntz in B. Meier-Hirmer na Geodetskem inštitutu Univerze Karlsruhe v Nemčiji. Celotno deformacijsko analizo lahko naredimo v štirih korakih (Mihailović, Aleksić, 1994, Trunk, 2005):

- ločena izravnava opazovanj v posamezni terminski izmeri, z namenom odstranjevanja opazovanj, ki so obremenjena z grobimi pogreški in določanju uteži opazovanjem,
- skupna izravnava predhodne in naslednje terminske izmere, z namenom ugotavljanja naslednjih predpostavk:
 - referenčne točke mirujejo v obeh terminskih izmerah,
 - merilo mreže v obeh terminskih izmerah je enako in
 - natančnost opazovanj v obeh terminskih izmerah je homogena,
- končna izravnava in
- grafična predstavitev rezultatov.

1.2.4 Postopek München

Postopek München nekateri imenujejo tudi metoda Welsch po avtorju W. Welschu, ki jo je razvil na Inštitutu za geodezijo Visoke vojaške šole v Münchnu v Nemčiji. Temelji na analizi geometrije geodetske mreže, ki jo določajo geodetska opazovanja (Mihailović, Aleksić, 1994).

Za analizo imamo na voljo dve možnosti.

- Metoda X temelji na primerjanju koordinat točk geodetske mreže dveh terminskih izmer, v katerih je vpliv geodetskega datuma. Težave vpliva datuma odpravimo s transformacijo S.
- Metoda L se izogiba težavam definiranja geodetskega datuma. Bistvo te metode je primerjava količin, ki so neodvisne od geodetskega datuma (dolžine, smeri, višinske razlike).

Rezultat analize je zaradi izpeljanih funkcij iz linearnih kombinacij izravnanih koordinat enak. Celoten postopek lahko razdelimo na pet korakov:

- izravnava mreže in odkrivanje grobih pogreškov v merjenjih,
- transformacija terminskih izmer v isti datum mreže, če uporabimo metodo X,
- testiranje skladnosti geodetskih mrež,
- testiranje afinitete geodetskih mrež (deformacije) in
- izračun drugih deformacijskih parametrov.

2 POSTOPEK DELFT

Postopek Delft sta razvila J. van Mierlo in J. J. Kok na podlagi metode B W. Baarde na Računalniškem centru Geodetskega inštituta Tehnične univerze Delft v Delftu na Nizozemskem (Heck in sod., 1982).

Bistvo postopka Delft je neodvisna izravnava posameznih terminskih izmer in nato uporaba transformacije S za pretvorbo mrež iz enega datuma v drugega in za pretvorbo regularnih sistemov v singularne ter metode B (Baarda, 1968) za testiranje premikov točk.

Celoten postopek deformacijske analize lahko razdelimo na štiri korake (Heck in sod., 1982):

- izravnava geodetske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih za vsako terminsko izmero posebej,
- testiranje skladnosti celotne mreže ali posameznega njenega dela v dveh terminskih izmerah,
- testiranje premikov posameznih osnovnih točk in (ali) točk na objektu in
- testiranje modela deformacij.

Podatke za obdelavo v tem postopku deformacijske analize pridobimo iz relativnih ali absolutnih deformacijskih meritev v geodetski mreži. Če imamo na voljo samo geodetsko mrežo na objektu, pridobimo relativne deformacijske meritve in lahko ugotavljamo samo relativne spremembe med točkami na objektu. Če imamo poleg točk na objektu na voljo tudi referenčne ali osnovne točke, pridobimo absolutne deformacijske meritve in ugotavljamo premike točk na objektu glede na referenčne točke. Rezultati postopka so neodvisni od izbire koordinatnega sistema.

2.1 Statistično testiranje hipotez

Jasno je, da se srečujemo v vseh postopkih deformacijske analize s testiranjem različnih hipotez, na osnovi sestavljene testne statistike. Trditev, s katero opredelimo lastnosti funkcije gostote verjetnosti, imenujemo statistična hipoteza (Stopar, 2003).

Poznamo dve vrsti hipotez, prva je ničelna hipoteza H_0 , s katero določenim parametrom porazdelitve verjetnosti dodelimo določene predpostavljene vrednosti, druga vrsta hipoteze pa je alternativna hipoteza H_a , ki je nasprotna ničelni hipotezi in kateri dodelimo drugačne vrednosti za parametre porazdelitve. Za vsako ničelno hipotezo lahko sestavimo neskončno nasprotnih alternativnih hipotez.

H_0 predstavlja izhodišče glede na katerega je potrebno določiti odstopanja s statističnimi testi. Testiranje ničelne hipoteze je postopek, ki vodi do statistične določitve veljavnosti te hipoteze. Statistični test izvajamo s pomočjo uporabe testne statistike, ki je slučajna spremenljivka in je funkcija ene ali več slučajnih spremenljivk. Za uporabo testne statistike v statističnem testu pa je potrebno poznati ali določiti porazdelitev verjetnosti testne statistike.

Definitivne odločitve glede ničelne hipoteze ne moremo sprejeti, ker imamo na voljo samo končen vzorec in ne celotne populacije, na katero se testna statistika nanaša. Odločitev, ki jo sprejmemo, je tako možna samo ob določeni stopnji zaupanja. Nižja kot je stopnja zaupanja, manj lahko zaupamo ničelni hipotezi, če je ta stopnja zaupanja dovolj majhna, lahko H_0 tudi zavrremo. Če stopnja zaupanja v H_0 ni dovolj majhna, H_0 ne moremo zavrniti. To ne pomeni, da je H_0 v tem primeru pravilna, ampak da jo na osnovi razpoložljivih podatkov ne moremo zavrniti kot napačno. Kot rezultat statističnega testiranja sta možna dva izida, prva možnost je da, H_0 ne zavrremo, druga možnost pa je, da H_0 zavrremo. Prav tako sta možna dva izida, ki se nanašata na alternativno hipotezo, prva možnost je, da H_a ne zavrremo, druga možnost pa je, da H_a zavrremo.

2.1.1 Napaka I. in napaka II. vrste

Odločitev glede vrednosti testne statistike, ki temelji na statističnem testu in končnem vzorcu, ne more biti popolnoma pravilna v vseh primerih. Vedno je možno, da naredimo napake dveh tipov:

- napaka I. vrste in
- napaka II. vrste.

Napako I. vrste naredimo v primeru, ko zavrremo ničelno hipotezo, ko je le ta pravilna. Verjetnost, da storimo napako I. vrste imenujemo stopnja značilnosti testa in jo označimo z α . Verjetnost, ko ničelne hipoteze ne zavrremo, ko je le ta pravilna (sprejmemo pravilno odločitev), imenujemo stopnja zaupanja in jo označimo $1 - \alpha$.

Napaka II. vrste je definirana kot napaka, ki jo storimo ko H_0 ne zavrremo, ko je ta napačna. V tem primeru je pravilna alternativna hipoteza. Verjetnost, da storimo napako II. vrste, označimo z β . Verjetnost, da zavrremo H_0 , ko je le ta napačna (sprejmemo pravilno odločitev), imenujemo jakost testa in jo označimo $1 - \beta$.

Očitno je, da z izbiro majhne razlike testne statistike v H_0 in H_a ne moremo zmanjšati napake I. in II. vrste hkrati. Zmanjšanje stopnje značilnosti α vodi v povečanje verjetnosti β in obratno. Zato je izbira α stvar subjektivne presoje. V geodeziji običajno uporabljamo vrednosti stopnje značilnosti testa v mejah $0,001 < \alpha < 0,05$. Majhna vrednost α da majhno možnost zavrnitve H_0 , ko je le ta pravilna, če pa je H_0 napačna, je β velika.

2.1.2 Testiranje hipotez s porazdelitveno funkcijo

Ko določimo ničelno hipotezo H_0 , sestavimo testno statistiko T na osnovi podatkov iz opazovanj. Mejno vrednost testne statistike izračunamo na osnovi verjetnostne funkcije ob izbrani stopnji značilnosti testa α . Na voljo imamo različne verjetnostne funkcije, za katero

pa se bomo odločili, je odvisno od statistične značilnosti vzorca. Najbolj znane porazdelitvene funkcije so: normalna porazdelitvena funkcija N , porazdelitev t , porazdelitev τ , porazdelitev F , porazdelitev χ^2 in druge s svojimi lastnostmi. Glede na vrsto testa ločimo enostranski in dvostranski test. Pri enostranskem testu sprejemamo odločitev na osnovi zgornje ali spodnje vrednosti testne statistike, medtem ko pri dvostranskem testu testno statistiko primerjamo s spodnjo in zgornjo vrednostjo intervala zaupanja. Tako glede na sestavljeno ničelno hipotezo, izračunane vrednosti testne statistike in vrednosti porazdelitvene funkcije, zavrremo ali ne zavrremo ničelno hipotezo. V primeru, da se ob izbrani stopnji zaupanja odločimo, da zavrremo ničelno hipotezo, sestavimo alternativno hipotezo, ki je drugačna od H_0 . Alternativnih hipotez je lahko več. Določitev ustrezne H_a pa zahteva dobro poznavanje postopkov pridobivanja podatkov, ki jih testiramo, izkušnje in tudi dobro mero intuicije, ki je geodetu vedno v pomoč.

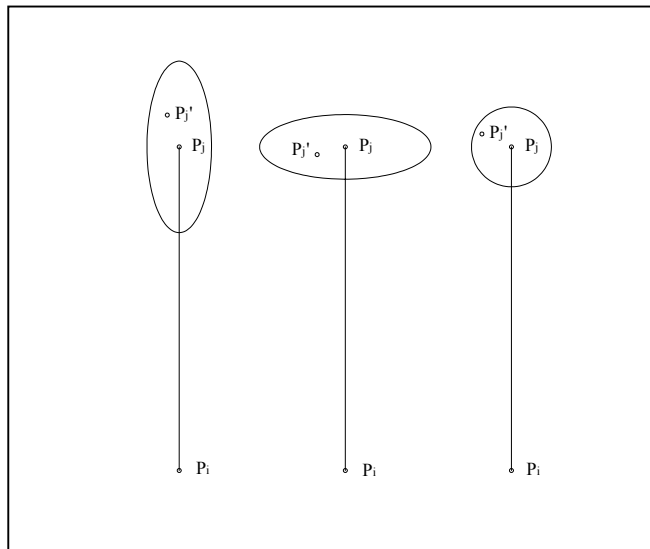
2.2 Izravnava geodetske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih

Tako kot vsepovsod v geodeziji je nujno, da imamo tudi v primeru deformacijske analize točk v geodetski mreži nadštevilna opazovanja. To nam omogoča ugotavljanje skladnosti opazovanj s pogoji, ki jih morajo ta opazovanja izpolniti. Ti pogoji izhajajo iz geometrijskih lastnosti obravnavanega problema. Ker so opazovanja obremenjena le s slučajnimi pogreški, je pričakovana vrednost pravega pogreška, v pogojno enačbo vključenih opazovanj, enaka nič. To dejstvo izkoriščamo pri pripravi statističnih testov za odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih, ki so nezaželeni v postopku izravnave, v interpretaciji rezultatov deformacijske analize pa lahko ob njihovi prisotnosti neupravičeno sklepamo na premike točk v geodetski mreži. Danes ob visoki razvitosti strojne opreme nastaja raznolika programska oprema, z uporabo različnih, dandanes zelo kompleksnih algoritmov, s katerimi učinkovito lociramo in odstranimo grobe pogreške iz opazovanj in šele potem izvedemo postopek izravnave. Najbolj znani postopki določanja grobo pogrešenih opazovanj so (Mozetič, 2005):

- Baardova metoda (»data snooping«),
- Popeova (tau) metoda (»data screening«) in

- danska metoda.

Najprej odstranimo grobo pogrešena opazovanja. Ostane nam še vedno dovolj nadštevilnih opazovanj, da naredimo izravnavo geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov (MNK), ločeno za vsako terminsko izmero. Zelo pomembno je poudariti, da je natančnost opazovanj v vseh terminskih izmerah enaka. Pomembno je tudi razmerje kotnih in dolžinskih opazovanj za optimalno doseganje dobrih rezultatov deformacijske analize. Kotna opazovanja zelo dobro določijo položaj točke v smeri opazovane smeri, medtem ko dolžinske meritve zelo dobro določijo položaj točke pravokotno na opazovano smer. Kombinacija opazovanj nam da optimalne rezultate, vendar včasih ni možno izmeriti vseh smeri in dolžin v geodetski mreži.



Slika 1: Elipse pogreškov določitve položaja točk v triangulacijski, trilateracijski in kombinirani mreži.

Slika 1 predstavlja elipse pogreškov, v praksi uporabljamo 39% ali 95% elipse pogreškov, najverjetnejšega položaja točke P_j v geodetski mreži. To pomeni, da lahko s 39% (95%) verjetnostjo trdimo, da se tudi pravi položaj točke označen z P_j' nahaja znotraj elipse pogreškov. V primeru triangulacijske mreže smo opazovali samo kotna opazovanja, v primeru trilateracijske mreže smo opazovali samo dolžinska opazovanja, v primeru kombinirane mreže pa smo opazovali tako kotna kot tudi dolžinska opazovanja.

Ko smo iz opazovanj pridobili ustrezne podatke, naredimo posredno izravnavo po MNK. Geodetsko mrežo izravnamo kot prosto mrežo z minimalno sledjo matrike kofaktorjev koordinat točk. To pomeni, da mora biti poleg minimalne vsote popravkov opazovanj $\mathbf{v}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{v}_k = \min$, minimalna tudi vsota kvadratov popravkov približnih vrednosti neznank $\hat{\mathbf{x}}_k^T \hat{\mathbf{x}}_k = \min$ (Ambrožič, 2001). Indeks k označuje terminsko izmero. Enačbe popravkov imajo naslednjo obliko (Stopar, 2003):

$$\mathbf{v}_k + \mathbf{B}\Delta = \mathbf{f}_k \quad k = 1, \dots, t \quad \dots (1)$$

kjer je:

\mathbf{v}_k ... vektor popravkov opazovanj

\mathbf{B} ... matrika koeficientov enačb popravkov

Δ ... vektor neznank (koordinat točk)

\mathbf{f}_i ... vektor odstopanj

t ... število terminskih izmer

Rešitev pridobimo z reševanjem sistema normalnih enačb:

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \quad \dots \text{matrika normalnih enačb} \quad \dots (2)$$

$$\Delta = (\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{f} \quad \dots \text{vektor popravkov neznank (koordinat točk)}$$

kjer je:

σ_0^2 ... ocenjena referenčna varianca a-priori pred izravnavo

Σ_{\parallel} ... variančno-kovariančna matrika opazovanj s podatki o natančnosti opazovanj

$\mathbf{P} = \sigma_0^2 \Sigma_{\parallel}^{-1}$... matrika uteži

\mathbf{x}^0 ... vektor približnih vrednosti neznank, izračunan iz opazovanj

$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}^0 + \Delta$... vektor izravnanih vrednosti neznank

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n - u + d} \quad \dots \text{referenčna varianca a-posteriori}$$

n ... število opazovanj

u ... število neznank

d ... defekt datuma

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H}\mathbf{H}^T \quad \dots \text{matrika kofaktorjev neznank} \quad \dots (3)$$

V našem primeru vsebuje vektor neznank samo koordinate točk geodetske mreže, zato je matrika kofaktorjev neznank enaka matriki kofaktorjev koordinat točk: $\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}} = \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$.

Rezultat izravnave posamezne terminske izmere je vektor izravnanih koordinat $\hat{\mathbf{x}}$, njemu pripadajoča matrika kofaktorjev $\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}$ in a-posteriori referenčna varianca utežne enote $\hat{\sigma}_0^2$.

2.3 Transformacija S

Pri izravnavi geodetskih mrež definiramo referenčni koordinatni sistem oziroma datum mreže na podlagi danih koordinat posameznih točk. Izbira datuma je odvisna od stanja točk v mreži, to je predvsem od stabilnosti točk in natančnosti njihovih koordinat. Lahko se zgodi, da se točka, ki definira geodetski datum premakne, ali je uničena in je v nadaljnjih izmerah ne moremo več uporabiti kot datumsko točko. V tem primeru pride do spremembe datuma mreže in ne moremo primerjati rezultatov ponovne izmere. Da težavo rešimo, imamo na voljo dve možnosti. Prva je, da ponovimo izravnavo geodetske mreže z novim datumom, druga rešitev pa je, da rezultate iz prvega datuma transformiramo v nov datum z uporabo transformacije S. Izraz izhaja iz angleške besede »Similarity«, kar pomeni podobnostna linearna transformacija. Pri tej transformaciji se ohranja geometrija in oblika mreže (Marjetič, 2005).

Kot smo že omenili, pri deformacijski analizi po postopku Delft izravnavo geodetsko mrežo kot prosto mrežo. Opazovanja ne podajajo potrebnih informacij o koordinatnem sistemu oziroma datumu geodetske mreže, v katerem bodo predstavljeni položaji točk. Za definiranje koordinatnega sistema, je potrebno imeti na voljo določeno število datumskih parametrov, ki jih zagotovimo z ustreznim številom danih količin v izravnavi. Rešitev po MNK na osnovi minimalnega števila znanih datumskih parametrov, vodi v reševanje regularnega sistema normalnih enačb v postopku izravnave. Če ne zagotovimo potrebnega števila parametrov za definiranje datuma, ne privzamemo nobene količine kot dane, pride do singularnega sistema

normalnih enačb. Iskanje rešitve singularnega sistema normalnih enačb lahko izvedemo na dva načina (Marjetič, 2005).

- Prvi način je določitev minimalnega števila vezi oziroma definiranje potrebnega števila datumskih parametrov za definicijo koordinatnega sistema. Tako dobimo regularni sistem normalnih enačb, kar omogoča enolično določitev neznank, v našem primeru koordinat točk.
- Drugi način je, da rešimo singularen sistem normalnih enačb. Ta rešitev ni enolična in je pristranska ocena. Nato to rešitev transformiramo v enolično rešitev z uporabo transformacije S .

Matrika koeficientov neznank B in matrika normalnih enačb N sta singularni in imata defekt ranga enak defektu datuma obravnavane geodetske mreže. Ko govorimo o matriki N , iste lastnosti veljajo tudi za matriko B , ker napenjata isti prostor.

Ker je matrika N singularna, velja da je $\det(N) = 0$, kar pomeni, da inverzna matrika ne izpolni pogoja za navadno inverzijo:

$$NN^{-1} = I \quad \dots (4)$$

Matrika N pa izpolnjuje pogoje generalizirane inverzije, ki jo označimo z N^- :

$$NN^-N = N \quad \dots (5)$$

Zato lahko zapišemo splošno rešitev za Δ :

$$\Delta = N^-t \quad \dots (6)$$

Dejstvo je, da N^- ni enolično določena, oziroma obstaja neskončno matrik N , ki izpolnjujejo pogoj (5). Tako dobimo pristransko rešitev za Δ . Da bi transformirali pristransko rešitev za Δ v enolično rešitev, moramo poiskati primeren operator S , ki bo izpolnil pogoj (Van Mierlo, 1978, Marjetič, 2005):

$$S = SN^-N = SB^-B \quad \dots (7)$$

Operator \mathbf{S} transformira pristransko rešitev v nepristransko koordinatno rešitev, definirano z izbrano translacijo, orientacijo in merilom, in ga imenujemo matrika transformacije \mathbf{S} .

Ena od možnosti za iskanje enolične rešitve, je tudi uporaba psevdoinverzije:

$$\Delta_m = \mathbf{N}^+ \mathbf{t} \quad \dots (8)$$

Psevdoinverzija določi tisto rešitev normalnih enačb, ki minimizira evklidsko ali drugo normo vektorja $\Delta \rightarrow \Delta^T \Delta = \min$. To je rešitev proste mreže Δ_m , ki jo lahko pridobimo tudi z neenolično definirane pristranske rešitve z uporabo ustrezne transformacijske matrike \mathbf{S}_m , ki je podana z izrazom (Van Mierlo, 1978, Marjetič, 2005):

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_m &= \mathbf{B}^+ \mathbf{B} \\ \Delta_m &= \mathbf{S}_m \Delta = \mathbf{B}^+ \mathbf{B} \Delta = \mathbf{B}^+ \mathbf{I} \\ \Delta_m &= \mathbf{N}^+ \mathbf{t} \quad \dots (9) \end{aligned}$$

Naš cilj ni iskanje enolične rešitve preko psevdoinverzije matrike \mathbf{S}_m , temveč pokazati, da je možno transformirati pristransko rešitev v nepristransko s pomočjo matrike \mathbf{S}_m . To lahko razložimo na geometrijski način (Marjetič, 2005). Če predstavlja \mathbf{H} nulti prostor matrike \mathbf{N} , je nulti prostor d dimenzionalen (d - defekt datuma matrike \mathbf{N}). Ker je $\mathbf{N} = \mathbf{B}^+ \mathbf{P} \mathbf{B}$, obstajata zvezi $\mathbf{B} \mathbf{H} = 0$ in $\mathbf{N} \mathbf{H} = 0$. Matrika \mathbf{H} vsebuje podatke o translaciji, rotaciji in merilu mreže. Torej je matrika \mathbf{S}_m linearni operator ali projektor, ki projektira vektor Δ iz nultega prostora matrike \mathbf{B} v prostor, ki ga napenjajo stolpci matrike \mathbf{B} . Ker je prostor, ki ga napenjajo stolpci matrike $\mathbf{I} - \mathbf{B}^+ \mathbf{B}$ enak kot nulti prostor matrike \mathbf{B} , oziroma ker sta prostora, ki ga napenjajo stolpci matrike \mathbf{H} in $\mathbf{H} \mathbf{H}^+$ enaka, potem sta enaka tudi prostora $\mathbf{I} - \mathbf{B}^+ \mathbf{B}$ in $\mathbf{H} \mathbf{H}^+$. Zato lahko zapišemo transformacijsko matriko \mathbf{S}_m v obliki:

$$\mathbf{S}_m = \mathbf{I} - \mathbf{H} \mathbf{H}^+ \quad \dots (10)$$

Enačba (10) predstavlja eno od možnosti za izračun matrike S_m . Ker je $H^+ = (H^T H)^{-1} H^T$, lahko zapišemo:

$$S_m = I - H(H^T H)^{-1} H^T \quad \dots (11)$$

Matrika S_m je singularna in ima enak defekt ranga kot matrika N ali B in je enak defektu datuma mreže. Izraz (11) torej predstavlja transformacijsko matriko S_m , ki transformira pristransko, neenolično rešitev v nepristransko, enolično rešitev.

Transformacijo rešitve Δ iz enega v drugi enolično definiran datum izvedemo:

$$\Delta_i = S_i \Delta_j \quad \dots (12)$$

kjer je:

Δ_i ... vektor neznank v datumu i

S_i ... matrika transformacije S , ki transformira poljubno rešitev v datum i

Δ_j ... vektor neznank v datumu j

Matriko S_i izračunamo po naslednji enačbi (Van Mierlo, 1978):

$$S_i = I - H(H^T E_i H)^{-1} H^T E_i \quad \dots (13)$$

Transformacijska matrika S_i za ravninske mreže:

S_i ... matrika transformacije S dimenzije $2m \times 2m$ (singularna, kvadratna, z defektom ranga d , ki je enak defektu datuma)

E_i ... matrika dimenzije $2m \times 2m$

H ... matrika geodetskega datuma, definirana z minimalnim številom notranjih vezi

m ... število točk v ravninski mreži

Če bi radi transformirali poljubno rešitev, v rešitev definirano z datumom, ki ga določata koordinati točk P_2 in P_3 , ima $\mathbf{E}_{P_2P_3}$ naslednjo obliko:

$$\mathbf{E}_{P_2P_3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{2m \times 2m}$$

Matrika geodetskega datuma, definirana z minimalnim številom notranjih vezi za ravninske mreže, ima naslednjo obliko:

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & 1 \\ x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \\ y_1^0 & x_1^0 & y_2^0 & x_2^0 & \dots & \dots & y_m^0 & x_m^0 \end{bmatrix}_{4 \times 2m}$$

Matriko \mathbf{H}^T sestavimo glede na tip opazovanj, ki smo jih pridobili v ravninski geodetski mreži. Prvi dve vrstici podajata zahtevo glede premika mreže, tretja vrstica podaja zahtevo glede zasuka mreže, četrta vrstica pa podaja zahtevo glede merila mreže. Če katerega od datumskih parametrov zagotovimo z opazovanji, izbrišemo odgovarjajočo vrstico v matriki \mathbf{H}^T . Če smo opazovali dolžine, odstranimo četrto vrstico, če smo opazovali azimute odstranimo tretjo vrstico, če pa smo opazovali katerokoli koordinato, pa odstranimo prvo ali drugo vrstico.

Transformacijska matrika \mathbf{S}_m za višinske mreže:

\mathbf{S}_i ... matrika transformacije S dimenzije $m \times m$

\mathbf{E}_i ... matrika dimenzije $m \times m$

\mathbf{H} ... matrika geodetskega datuma, definirana z minimalnim številom notranjih vezi

m ... število točk v višinski mreži

Če bi radi transformirali poljubno rešitev, v rešitev definirano z datumom, ki ga določa višina točke P_2 , ima \mathbf{E}_{P_2} naslednjo obliko:

$$\mathbf{E}_{P_2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{m \times m}$$

Matrika geodetskega datuma, definirana z minimalnim številom notranjih vezi za višinske mreže, ima naslednjo obliko:

$$\mathbf{H}^T = [1 \quad 1 \quad \dots \quad 1]_{1 \times m}$$

Seveda nas na koncu zanima tudi ocena o natančnosti transformiranih neznank. Po zakonu o prenosu varianc in kovarianc, lahko matriko kofaktorjev za transformirane neznanke zapišemo:

$$\mathbf{Q}_{\Delta_i \Delta_i} = \mathbf{S}_i \mathbf{Q}_{\Delta_j \Delta_j} \mathbf{S}_i^T \quad \dots (14)$$

Ker je \mathbf{S}_i singularna, ne moremo izračunati njene inverzne vrednosti \mathbf{S}_i^{-1} , temveč si pri obratnih pretvorbah pomagamo z njeno psevdoinverzijo \mathbf{S}_i^+ .

2.4 Zanesljivost proste mreže

V primeru geodetskih deformacijskih meritev uporabljamo proste mreže. Čeprav so meritve opravljene skrbno, odstranjeni pa so tudi grobi pogreški, se slučajnim pogreškom ne moremo izogniti. Neodkrite napake v opazovanjih lahko vodijo do napačnih zaključkov deformacijske analize, pogrešek se v postopku izravnave razlije po mreži tako, da je vsota popravkov opazovanj minimalna. Zaradi tega lahko pogrešek kaže na morebitno deformacijo neke tretje točke, ki je v splošnem stabilna. V ta namen uporabimo metodo B za odkrivanje pogrešenih opazovanj. Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo (Van Mierlo, 1978):

Ničelna hipoteza H_0 : v opazovanjih ni prisotnih napak.

Alternativna hipoteza H_a : v opazovanjih so prisotne napake.

Sestavimo testno statistiko T_1 :

$$T_1 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{f \sigma_0^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad \dots (15)$$

kjer je:

$f = n - u + d$... število prostostnih stopenj (število nadštevilnih opazovanj)

n ... število opazovanj

u ... število neznank

d ... defekt mreže

σ_0^2 ... a-priori vrednost variance, ki jo smiselno izberemo pred izravnavo

$\hat{\sigma}_0^2$... a-posteriori vrednost variance, ki je rezultat izravnave

Testna statistika se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F , z f prostostnimi stopnjami. Če je testna statistika manjša ali enaka kot je kritična vrednost pri izbrani stopnji zaupanja $1 - \alpha$: $T_1 \leq F_{1-\alpha; f, \infty}$, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da v opazovanjih ni prisotnih pogreškov.

Če je testna statistika T_1 večja od kritične vrednosti ob izbrani stopnji zaupanja, potem ničelno hipotezo zavrnemo in trdimo, da so v opazovanjih prisotni pogreški. Sestavimo n alternativnih hipotez:

H_{a_i} : napaka v vektorju $\nabla_0 \mathbf{l}_i$ ustreza opazovanju v vektorju \mathbf{l}_i .

Sedaj izračunamo novo testno statistiko:

$$w_i = \frac{\varepsilon_i}{\sigma_0 \sqrt{(\mathbf{P} \mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P})_{ii}}} \quad i = 1, \dots, n \quad \dots (16)$$

kjer je:

$$\varepsilon_i = \mathbf{P} \mathbf{v}_i$$

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{Q} - \mathbf{B} \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{B}^T$$

V primeru, da so opazovanja nekorelirana, lahko testno statistiko w_i poenostavimo:

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}} \quad \dots (17)$$

kjer je w_i enak kvocientu med popravkom posameznega opazovanja v_i in pripadajočo standardno deviacijo σ_{v_i} . V tem primeru se testna statistika w_i porazdeljuje po centralni porazdelitvi F , s kritično vrednostjo $F_{1-\alpha_0;1,\infty}$. Če je $|w_i| > \sqrt{F_{1-\alpha_0;1,\infty}}$, preverimo prisotnost pogoškov v opazovanjih \mathbf{I}_i .

Izračunamo vektor napak $\nabla_0 \mathbf{I}_i$ za določitev modela napak. Vrednost modela napake z jakostjo testa β ($\beta = 0.80$) nas vodi v zavrnitev posamezne alternativne hipoteze testne statistike w_i na osnovi testa F , s kritično vrednostjo $F_{1-\alpha_0;1,\infty}$.

$$\beta = \mathbf{P} \left[|w_i| > \sqrt{F_{1-\alpha_0;1,\infty}} \quad \parallel \quad H_{a_i} \right] \quad \dots (18)$$

z modelom napak $\nabla_0 \mathbf{I}_i$ za vsako opazovanje \mathbf{I}_i , ki ima alternativno hipotezo H_{a_i} .

Prisotnost neodkritih napak v koordinatah mreže, je tako imenovana zunanja zanesljivost mreže in jo izračunamo:

$$\tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{S} \nabla_{i,0} \hat{\mathbf{x}} \quad \dots (19)$$

$$\nabla_{i,0} \hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \nabla_0 \mathbf{I}_i \quad i = 1, \dots, n$$

Zunanja zanesljivost je deformacija mreže z modelom napak velikosti $\nabla_0 \mathbf{I}_i$, ki jih nismo odkrili s postopkom testiranja. Vektor $\tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}}$ je odvisen od izbrane transformacijske matrike

\mathbf{S} ali definicije koordinatnega sistema. Dolžina vektorja $\tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}}$ je neodvisna od uporabljene transformacijske matrike \mathbf{S} . V splošnem ta trditev velja za kvadrat dolžine vektorja $\bar{\lambda}_{i,0}$:

$$\bar{\lambda}_{i,0} = \frac{1}{\sigma_0^2} (\tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}}^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}^+ \tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}}) \quad \dots (20)$$

$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{S}\mathbf{N}^-\mathbf{S}^T$ in $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}^+$ je psevdoinverzija matrike kofaktorjev neznank, v našem primeru koordinat točk mreže $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}$. Iz rešitve normalnih enačb $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{N}^+ \mathbf{t}$ dobimo:

$$\bar{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{N}^+ \tilde{\nabla}_{i,0} \mathbf{t} \quad \dots (21)$$

Ker je $\mathbf{N}^+ = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}$ dobimo za $\tilde{\lambda}_{i,0}$ izraz:

$$\tilde{\lambda}_{i,0} = \tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}}^T \mathbf{N} \tilde{\nabla}_{i,0} \hat{\mathbf{x}} \quad \dots (22)$$

Za vsak $\nabla_0 \mathbf{I}_i$ izračunamo vrednost $\tilde{\lambda}_{i,0}$. Količino $\tilde{\lambda}_{i,0}$ lahko imamo za mero zunanje zanesljivosti proste mreže. Zahteva za načrtovanje mreže naj bo:

$$\tilde{\lambda}_{i,0} \sim \text{konstantna}$$

2.5 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži

Relativne geodetske mreže so pomembne za pridobitev informacij o možnih premikih točk na objektu na osnovi relativnih odnosov točk v mreži. V iz vrednotenju deformacijskih meritev se nam postavi vprašanje, kako naj ostane oblika mreže, ki jo sestavljajo točke na objektu nespremenjena. Če dokažemo nespremenjeno obliko objekta, moramo v nadaljevanju s testiranjem preveriti spremembo velikosti in zasuka objekta. Geodetsko mrežo izravnamo kot prosto mrežo.

2.5.1 Testiranje spremembe oblike mreže v dveh terminskih izmerah

Prvo terminsko izmero v trenutku t_1 označimo s $k = 1$ in drugo terminsko izmero v trenutku t_2 s $k = 2$. Statistično analizo spremembe oblike mreže naredimo s testiranjem ničelne hipoteze (Van Mierlo, 1978):

Ničelna hipoteza $H_0: \mathbf{d} = \mathbf{0}$; koordinate vseh točk v mreži se niso spremenile.

Alternativna hipoteza $H_a: \mathbf{d} \neq \mathbf{0} = \nabla \mathbf{d}$; koordinate točk so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

Sestavimo testno statistiko za testiranje ničelne hipoteze:

$$T_2 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{f \sigma_0^2} \quad \dots (23)$$

kjer je:

$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1$... vektor koordinatnih razlik med prvo in drugo terminsko izmero

$\hat{\mathbf{x}}_1$... vektor izravnanih koordinat prve terminske izmere v času t_1

$\hat{\mathbf{x}}_2$... vektor izravnanih koordinat druge terminske izmere v času t_2

$f = 2m - d$... za ravninske mreže

$f = m - d$... za višinske mreže

m ... število točk, ki so vključene v geodetsko mrežo

d ... defekt datuma ali defekt mreže

$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2}$... matrika kofaktorjev koordinatnih razlik

V primeru ravninske mreže je defekt datuma 4, če imamo prosto triangulacijsko mrežo. Če v tej mreži opazujemo dolžine, imamo s tem definirano merilo in je defekt datuma 3. Če imamo dano katerokoli koordinato točke, se defekt datuma zmanjša še za 1 ali 2. V primeru višinske mreže je defekt datuma 1.

Testna statistika T_2 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f prostostnimi stopnjami. Če je $T_2 \leq F_{1-\alpha;f,\infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da se koordinate točk v mreži niso statistično značilno spremenile. Če je $T_2 > F_{1-\alpha;f,\infty}$, zavrnemo ničelno hipotezo in trdimo, da je mreža spremenila svojo obliko v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da so se spremenile koordinate točk v mreži med obema terminskima izmerama. Možno je tudi, da se je spremenila samo oblika dela mreže. Z nadaljnjimi testiranjmi poskušamo določiti del mreže, ki ni spremenil svoje oblike. Vektor \mathbf{d} in njemu pripadajočo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik \mathbf{Q}_{dd} razdelimo na dva dela. Prvi del vektorja točk dela mreže je \mathbf{d}_F , ki ni spremenil svoje oblike, drugi del vektorja točk mreže je \mathbf{d}_B in je spremenil svojo obliko:

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} \quad \dots (24)$$

Prav tako razdelimo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik pripadajočih točk:

$$\mathbf{Q}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} \end{bmatrix} \quad \dots (25)$$

\mathbf{Q}_{FF} je matrika kofaktorjev koordinatnih razlik točk dela mreže, ki naj bi imel nespremenjeno obliko, to pomeni, da se koordinate teh točk med obema terminskima izmerama niso statistično značilno spremenile. Matrika \mathbf{Q}_{FF} je regularna. Tako moramo samo potrditi nespremenjeno obliko tega dela mreže, defekt ranga \mathbf{Q}_{FF} pa mora biti d . Tudi celotna matrika \mathbf{Q}_{dd} ima defekt ranga d .

Naj bo:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FB} \\ \mathbf{P}_{BF} & \mathbf{P}_{BB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} \end{bmatrix}^+ \quad \dots (26)$$

Če tvorimo kvadratno formo

$$\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} = \mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} \quad \dots (27)$$

z izrazoma (24) in (26) in upoštevamo $\mathbf{P}_{BF}^T = \mathbf{P}_{FB}$, dobimo:

$$\mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} = \mathbf{d}_F^T \mathbf{P}_{FF} \mathbf{d}_F + 2\mathbf{d}_F^T \mathbf{P}_{FB} \mathbf{d}_B + \mathbf{d}_B^T \mathbf{P}_{BB} \mathbf{d}_B \quad \dots (28)$$

Kvadratno formo (27) lahko razcepimo na dva statistično neodvisna dela (Ambrožič, 2001):

$$\mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} = \mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F + \bar{\mathbf{d}}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B \quad \dots (29)$$

kjer je:

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{FF} = \mathbf{P}_{FF} - \mathbf{P}_{FB} \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF}$$

Matrike $\mathbf{Q}_{FF}^+ = \mathbf{Q}_{FF}^{-1} = \mathbf{P}_{FF}$, kot tudi \mathbf{Q}_{FF} so regularne, matrika \mathbf{Q}_{FF} pa mora biti singularna. Le v tem primeru je vektor koordinatnih razlik neodvisen od izbire koordinatnega sistema. Regularno matriko \mathbf{Q}_{FF} transformiramo v singularno z minimalno sledjo in defektom ranga d , z uporabo transformacije \mathbf{S} :

$$\tilde{\mathbf{Q}}_{dd} = \mathbf{S}_F \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} \end{bmatrix} \mathbf{S}_F^T = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_{FF} & \tilde{\mathbf{Q}}_{FB} \\ \tilde{\mathbf{Q}}_{BF} & \tilde{\mathbf{Q}}_{BB} \end{bmatrix} \quad \dots (30)$$

kjer je:

$$\mathbf{S}_F = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \quad \dots \text{transformacijska matrika } \mathbf{S}_F$$

$$\mathbf{E}_F = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{FF} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad \dots \text{enotska matrika}$$

$$\mathbf{H} \quad \dots \text{datumska matrika (glej poglavje 2.3)}$$

Prav tako moramo pretvoriti tudi vektor koordinatnih razlik \mathbf{d} :

$$\tilde{\mathbf{d}} = \mathbf{S}_F \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{d}}_F \\ \tilde{\mathbf{d}}_B \end{bmatrix} \quad \dots (31)$$

Sedaj sestavimo novo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza H_0 : del mreže točk, vključenih v vektor \mathbf{d}_F , ni spremenil svoje oblike.

Alternativna hipoteza H_a : del mreže, vključenih v vektor \mathbf{d}_F , je spremenil svojo obliko.

Sestavimo testno statistiko za testiranje ničelne hipoteze:

$$T_3 = \frac{\tilde{\mathbf{d}}_F^T \tilde{\mathbf{Q}}_{FF}^+ \tilde{\mathbf{d}}_F}{f_F \sigma_0^2} \quad \dots (32)$$

kjer je:

$f_F = 2m_F - d$... za ravninske mreže

$f_F = m_F - d$... za višinske mreže

m_F ... število točk dela mreže, ki ni spremenil svoje oblike

d ... defekt datuma ali defekt mreže

Testna statistika T_3 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f_F prostostnimi stopnjami. Če je $T_3 \leq F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da se koordinate točk dela mreže, ki ni spremenil svoje oblike niso statistično značilno spremenile. Če je $T_3 > F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, zavrnemo ničelno hipotezo in trdimo, da je del mreže spremenil svojo obliko v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da so se spremenile koordinate vsaj ene točke, ki nastopa v vektorju \mathbf{d}_F . Testiranje ponavljamo z izločanjem točk iz vektorja \mathbf{d}_F tako dolgo, dokler ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Testno statistiko za testiranje oblike dela mreže lahko sestavimo le za tri in več točk.

V primeru, da je število točk mreže v terminski izmeri t_1 različno kot v terminski izmeri t_2 , iz izravnave odstranimo opazovanja, ki povezujejo točke, ki jih ni v eni od terminskih izmer.

Če ugotovimo, da celotna mreža ali njen del ni spremenila svoje oblike, nadaljujemo s testiranjem spremembe velikosti mreže ali njenega dela.

2.5.2 Testiranje spremembe velikosti mreže v dveh terminskih izmerah

Če po testiranju oblike mreže ali njenega dela ne ugotovimo statistično značilne spremembe oblike celotne mreže ali njenega dela, moramo preveriti ali se je spremenila velikost celotne mreže ali njenega dela.

2.5.2.1 Spremeni se velikost celotne mreže

Najprej pogledjmo primer, ko je oblika celotne mreže nespremenjena. Velikost mreže izrazimo v poljubni dolžinski enoti. Če za dolžinska opazovanja uporabljamo iste razdaljemere, lahko predpostavljamo, da je merilo ves čas enako, zato lahko uporabljamo dolžinska opazovanja za določanje spremembe v velikosti mreže.

Faktor merila μ lahko izračunamo v postopku izravnave proste mreže, vendar nezaželene neznanke v postopku izravnave eliminiramo. Rezultat izravnave bi tako lahko bil tudi faktor merila (μ_1 in μ_2) v posamezni terminski izmeri t_1 in t_2 . Predpostavimo, da je faktor merila dolžinskih meritev v posamezni terminski izmeri konstanten, zato uporabimo faktor merila za testiranje ničelne hipoteze, ki se glasi:

Ničelna hipoteza $H_0: \mu_2 - \mu_1 = 0$; faktor merila se med terminskima izmerama ni spremenil.

Alternativna hipoteza $H_a: \mu_2 - \mu_1 \neq 0$; faktor merila se je med terminskima izmerama spremenil.

Če ničelno hipotezo zavrnamo pomeni, da se je med terminskima izmerama spremenila velikost mreže, obenem pa se njena oblika ni spremenila.

Ničelno hipotezo lahko testiramo tudi s pomočjo samih dolžinskih opazovanj, ki smo jih v postopku izravnave izravnali:

Ničelna hipoteza $H_0: (s_{i,j})_{t_2} - (s_{i,j})_{t_1} = 0$; dolžina med točkama P_i in P_j se med terminskima izmerama ni spremenila.

Alternativna hipoteza $H_a: (s_{i,j})_{t_2} - (s_{i,j})_{t_1} \neq 0$; dolžina med točkama P_i in P_j se je med terminskima izmerama spremenila.

$s_{i,j}$ je izračunana dolžina med točkama P_i in P_j iz njunih koordinat ali pa je $s_{i,j}$ izravnano dolžinsko opazovanje. Problemu izbire točk P_i in P_j se izognemo, če za testiranje ničelne hipoteze uporabimo faktor merila namesto dolžine med točkama.

2.5.2.2 Spremeni se velikost dela mreže

Sedaj pogledjmo primer, ko ima samo del mreže nespremenjeno obliko. Če želimo ponovno uporabiti faktor merila za testiranje ničelne hipoteze H_0 : velikost dela mreže je nespremenjena, moramo vedeti, da je faktor merila odvisen od izbire koordinatnega sistema. Obliko dela mreže testiramo z uporabo izravnanih koordinat, katerih matrika kofaktorjev je singularna. Faktor merila je odvisen od tega koordinatnega sistema, tako ga lahko uporabimo za testiranje ničelne hipoteze H_0 : del mreže ni spremenil svoje velikosti.

Možno je testirati ničelno hipotezo $(s_{i,j})_{t_2} - (s_{i,j})_{t_1} = 0$, vendar morata biti točki P_i in P_j v delu mreže, ki ga testiramo. Če za izračun dolžin uporabimo koordinati točk P_i in P_j , potem imamo isti koordinatni sistem, kot smo ga omenili pri faktorju merila. Kot lahko vidimo, v primeru absolutnih deformacijskih meritev ni nujno, da je faktor merila v obeh terminskih izmerah enak in konstanten. Termin konstanten se nanaša relativno na pričakovane spremembe v velikosti objekta.

2.5.3 Testiranje zasuka mreže

Če bi imeli na voljo instrument, s katerim bi dovolj natančno izmerili smerni kot, potem bi lahko testirali zasuk mreže na enak način, kot smo testirali spremembo velikosti mreže, s to razliko, da namesto faktorja merila uporabimo orientacijo. Predpostavimo, da je orientacija α smernih kotov opazovanih smeri enaka in konstantna v obeh terminskih izmerah, potem se

ničelna hipoteza H_0 glasi: $o_1 - o_2 = 0$; med dvema terminskima izmerama se orientacija ni spremenila.

2.6 Testiranje stabilnosti točk v absolutni geodetski mreži

Pri analizi deformacijskih meritev v absolutni geodetski mreži imamo dve skupini točk: referenčne ali osnovne točke, ki naj bi bile ves čas stabilne in čim bližje objektu in točke na objektu. Koordinate teh točk razdelimo v dva vektorja $\hat{\mathbf{x}}_F$ in $\hat{\mathbf{x}}_B$. Ločeno testiramo stabilnost referenčnih točk in točk na objektu, s statističnimi testi za obliko, velikost, zasuk in premik objekta.

2.6.1 Testiranje stabilnosti referenčnih točk

Stabilnost referenčnih točk testiramo z ničelno hipotezo:

Ničelna hipoteza $H_0: \mathbf{d}_F = \mathbf{0}$; koordinate vseh referenčnih točk se med dvema terminskima izmerama niso spremenile.

Alternativna hipoteza $H_a: \mathbf{d}_F \neq \mathbf{0}$; koordinate vsaj ene referenčne točke so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

kjer je:

$\mathbf{d}_F = \hat{\mathbf{x}}_{F_2} - \hat{\mathbf{x}}_{F_1}$... vektor koordinatnih razlik referenčnih točk

$\hat{\mathbf{x}}_{F_1}$... vektor izravnanih koordinat referenčnih točk prve terminske izmere

$\hat{\mathbf{x}}_{F_2}$... vektor izravnanih koordinat referenčnih točk druge terminske izmere

Za testiranje ničelne hipoteze sestavimo testno statistiko:

$$T_4 = \frac{\mathbf{d}_F^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ \mathbf{d}_F}{f_F \sigma_0^2} \quad \dots (33)$$

kjer je:

$$\mathbf{Q}_{d_F} = \mathbf{Q}_{FF_1} + \mathbf{Q}_{FF_2}$$

$$f_F = 2m_F - d \quad \dots \text{ za ravninske mreže}$$

$$f_F = m_F - d \quad \dots \text{ za višinske mreže}$$

$$m_F \quad \dots \text{ število referenčnih točk}$$

$$d \quad \dots \text{ defekt datuma ali defekt mreže}$$

Matrika kofaktorjev \mathbf{Q}_{FF} je singularna z defektom ranga d . Transformacijo S potrebujemo v primeru, ko je \mathbf{Q}_{FF} regularna.

Testna statistika T_4 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F , z f_F prostostnimi stopnjami. Če je $T_4 \leq F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da so referenčne točke stabilne med dvema terminskima izmerama. Če je $T_4 > F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, zavrnemo ničelno hipotezo in nadaljujemo z lociranjem nestabilnih referenčnih točk. Predpostavimo, da je samo ena izmed referenčnih točk nestabilna. Označimo jo P_j in njeno stabilnost testiramo z alternativno hipotezo H_{a_j} :

Alternativna hipoteza H_{a_j} : $\mathbf{d}_F = [\nabla \mathbf{d}]_j$; koordinate točke P_j so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

kjer je:

$$[\nabla \mathbf{d}]_j^T = [0 \quad 0 \quad \dots \quad \nabla \mathbf{d}_j \quad \dots \quad 0 \quad 0]^T \quad \dots (34)$$

$\nabla \mathbf{d}$... vektor sprememb koordinatnih razlik referenčnih točk

Za ravninske mreže dobimo:

$$[\nabla \mathbf{d}]_j^T = [0 \quad 0 \quad \dots \quad \nabla y_j \quad \nabla x_j \quad \dots \quad 0 \quad 0]^T \quad \dots (35)$$

Kvocien vrednosti $\frac{\nabla y_j}{\nabla x_j}$ poda smer vektorja premika točke P_j , velikosti premika te točke pa ne poznamo. Zato določimo premik točke P_j v različnih smereh, na primer v smeri + osi x in + osi y , v smeri simetrale + osi x in – osi y ter ostalih smereh. Za zadnjo navedeno smer zapišemo vektor $[\nabla \mathbf{d}]_j^T$ v obliki:

$$[\nabla \mathbf{d}]_j^T = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1 \ -1 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0]^T \nabla \quad \dots (36)$$

kjer je ∇ neznani skalar.

Enačbo (35) zapišemo v obliki:

$$[\nabla \mathbf{d}]_j = (\mathbf{c})_j \nabla \quad \dots (37)$$

Vektor $(\mathbf{c})_j$ določa smer premika referenčne točke P_j , skalarja ∇ pa ne poznamo, zato ne poznamo velikosti premika.

Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo za vsako referenčno točko:

Ničelna hipoteza H_0 : referenčna točka P_j je stabilna v smeri vektorja $(\mathbf{c})_j$.

Alternativna hipoteza H_a : referenčna točka P_j ni stabilna v smeri vektorja $(\mathbf{c})_j$.

Za vsako referenčno točko tvorimo testno statistiko w_j :

$$w_j = \frac{(\mathbf{c})_j^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ \mathbf{d}_F}{\sigma_0 \sqrt{(\mathbf{c})_j^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ (\mathbf{c})_j}} \quad \dots (38)$$

j ... število referenčnih točk

Za vsako referenčno točko P_j lahko izračunamo več testnih statistik w_j za različne smeri premika $(\mathbf{c})_j$.

Testna statistika w_j se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F . Če je $|w_j| \leq \sqrt{F_{1-\alpha_0;1,\infty}}$ ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da je točka P_j stabilna v smeri vektorja $(\mathbf{c})_j$. Ker smo predpostavili, da se spremeni položaj samo ene referenčne točke, uporabimo enodimenzionalni test, ki ga opravimo pri stopnji značilnosti testa α_0 . Enodimenzionalni in f_F -dimenzionalni test sta povezana preko parametra necentralnosti λ_0 , ki je pri obeh testih enak. To simbolično zapišemo v eksplicitni obliki z naslednjo enačbo:

$$\lambda_0 = \lambda(\alpha_0, \beta_0, f_F) = \lambda(\alpha_0, \beta_0, 1)$$

Če je testna statistika $|w_j| > \sqrt{F_{1-\alpha_0;1,\infty}}$, potem se testna statistika porazdeljuje po necentralni porazdelitvi F , s parametrom necentralnosti λ_0 . Največja vrednost w_j kaže na možen premik P_j v smeri vektorja $(\mathbf{c})_j$ ali njeni bližini, zato to točko izločimo iz vektorja referenčnih točk. Testiranje iterativno ponavljamo brez točke P_j toliko časa, da ničelne hipoteze ne moremo zavrniti za vse referenčne točke.

Še enkrat moramo omeniti, da mora biti matrika kofaktorjev koordinatnih razlik \mathbf{Q}_{d_F} singularna. Če bi pri reševanju problema odpravili singularnost z definicijo koordinatnega sistema, bi za izračun testne statistike uporabili enačbi (33) in (38), vendar bi bilo testiranje s testno statistiko (38) veliko bolj zapleteno. Če pa pri reševanju uporabimo transformacijo S , bo imela matrika \mathbf{Q}_{d_F} minimalno sled in lahko uporabljamo vse prej navedene enačbe.

2.6.2 Meje premikov referenčnih točk

Za vsako testno statistiko w_j , lahko dodatno izračunamo še odgovarjajočo mejo za premik točke P_j v smeri $(\mathbf{c})_j$. Sestavimo alternativno hipotezo:

Alternativna hipoteza H_a : $\mathbf{d}_F \neq 0$; koordinate vsaj ene referenčne točke so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

Za izhodišče vzamemo testno statistiko (33):

$$T_4 = \frac{\mathbf{d}_F^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ \mathbf{d}_F}{f_F \sigma_0^2} \quad \dots (33)$$

ki se porazdeljuje po necentralni porazdelitvi F , s parametrom necentralnosti λ_j :

$$\lambda_j = \frac{1}{\sigma_0^2} [\nabla \mathbf{d}]_j^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ [\nabla \mathbf{d}]_j \quad \dots (39)$$

λ_0 za mejo premikov določimo analogno (39) kot:

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sigma_0^2} [\nabla_0 \mathbf{d}]_j^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ [\nabla_0 \mathbf{d}]_j \quad \dots (40)$$

Za ravninsko mrežo ima izraz (40) naslednjo obliko:

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sigma_0^2} \begin{bmatrix} \nabla_0 y_j \\ \nabla_0 x_j \end{bmatrix}^T \mathbf{P}_{jj} \begin{bmatrix} \nabla_0 y_j \\ \nabla_0 x_j \end{bmatrix} \quad \dots (41)$$

\mathbf{P}_{jj} je podmatrika matrike $\mathbf{Q}_{d_F}^+$ dimenzije 2×2 za odgovarjajočo referenčno točko P_j . Enačba (41) je enačba elipse v kartezičnih koordinatah. Velika os elipse kaže v smeri premika točke P_j , velikost premika pa ponazarja velikost velike polosi. Elipso določimo z verjetnostjo jakosti testa β_0 , ki je navadno 80%.

S temi elipsami lahko grafično predstavimo stabilnost referenčnih točk. Izračun elips je pomemben zato, ker jih lahko izračunamo že med načrtovanjem mreže.

Meja za premik točke je povezana s testno statistiko w_j in smerjo največjega premika posamezne točke. Izračunamo jo po enačbi:

$$(\nabla_0 \mathbf{d})_j = \sigma_0 \sqrt{\frac{\lambda_0}{(\mathbf{c})_j^T \mathbf{Q}_{d_F}^+ (\mathbf{c})_j}}$$

Po opravljeni statistični analizi stabilnosti referenčnih točk, nadaljujemo s testiranjem premikov točk na objektu relativno glede na referenčne točke.

2.6.3 Testiranje premikov točk na objektu

Statistično analizo stabilnosti točk na objektu relativno glede na referenčne točke naredimo s testiranjem naslednje ničelne hipoteze:

Ničelna hipoteza $H_0: \bar{\mathbf{d}}_B = 0$; koordinate točk na objektu relativno na referenčne točke se med dvema terminskima izmerama niso spremenile.

Alternativna hipoteza $H_a: \bar{\mathbf{d}}_B \neq 0$; koordinate točk na objektu relativno na referenčne točke so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

Za testiranje ničelne hipoteze sestavimo testno statistiko T_5 :

$$T_5 = \frac{\bar{\mathbf{d}}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B}{f_B \sigma_0^2} \quad \dots (42)$$

kjer je:

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F$$

$$f_B = 2m_B \quad \dots \text{ za ravninske mreže}$$

$$f_B = m_B \quad \dots \text{ za višinske mreže}$$

$$m_B \quad \dots \text{ število točk na objektu}$$

Testna statistika T_5 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F ob izbrani stopnji zaupanja testa $1 - \alpha$ in f_B prostostnimi stopnjami. Če je $T_5 \leq F_{1-\alpha; f_B, \infty}$ trdimo, da se koordinate točk na objektu relativno na referenčne točke, niso spremenile med dvema terminskima izmerama. Če je $T_5 > F_{1-\alpha; f_B, \infty}$ potem trdimo, da so se koordinate točk na objektu spremenile relativno na referenčne točke med dvema terminskima izmerama.

S tem testom ne dobimo nobene informacije o obliki in velikosti objekta, niti o vrsti premika (zasuk, translacija). Da bi dobili informacije o spremembi oblike objekta med dvema terminskima izmerama, moramo regularno matriko kofaktorjev $\widehat{\mathbf{Q}}_{BB}$ transformirati s transformacijo \mathbf{S} v singularno matriko z minimalno sledjo in defektom ranga d . Transformirati moramo tudi vektor koordinatnih razlik točk na objektu med dvema terminskima izmerama:

$$\widehat{\mathbf{Q}}_{BB} = \mathbf{S}_B \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{S}_B^T = \mathbf{S}_B \widetilde{\mathbf{Q}}_{BB} \mathbf{S}_B^T \quad \dots (43)$$

$$\widehat{\mathbf{d}}_B = \mathbf{S}_B \bar{\mathbf{d}}_B \quad \dots (44)$$

kjer je:

$$\mathbf{S}_B = \mathbf{E}_{BB} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}$$

Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo za testiranje oblike objekta med dvema terminskima izmerama:

Ničelna hipoteza H_0 : oblika mreže, ki je idealizirana s točkami na objektu, ni spremenila svoje oblike.

Alternativna hipoteza H_a : oblika mreže, ki je idealizirana s točkami na objektu, je spremenila svojo obliko.

Za testiranje ničelne hipoteze sestavimo testno statistiko:

$$T_6 = \frac{\widehat{\mathbf{d}}_B^T \widehat{\mathbf{Q}}_{BB}^+ \widehat{\mathbf{d}}_B}{\widehat{f}_B \sigma_0^2} \quad \dots (45)$$

kjer je:

$$\widehat{f}_B = 2m_B - d \quad \dots \text{ za ravninske mreže}$$

$$\widehat{f}_B = m_B - d \quad \dots \text{ za višinske mreže}$$

m_B ... število točk na objektu

d ... defekt datuma ali defekt mreže

Testna statistika T_6 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F ob izbrani stopnji zaupanja testa $1-\alpha$ in \hat{f}_B prostostnimi stopnjami. Če je $T_6 \leq F_{1-\alpha; \hat{f}_B, \infty}$ trdimo, da se oblika mreže, predstavljena s točkami na objektu, ni statistično značilno spremenila med dvema terminskima izmerama. Če je $T_6 > F_{1-\alpha; \hat{f}_B, \infty}$ potem trdimo, da se je oblika mreže, predstavljena s točkami na objektu, statistično značilno spremenila med dvema terminskima izmerama.

Nadaljnja analiza je nujna v primeru, ko oblika objekta ali njegovega dela ni značilno spremenjena. V tem primeru moramo testirati spremembo velikosti objekta. s_{ij} je dolžina med dvema točkama P_i in P_j na objektu, izračunana iz njihovih izravnanih koordinat. Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza $H_0: (s_{i,j})_{t_2} - (s_{i,j})_{t_1} = 0$; velikost objekta se med dvema terminskima izmerama ni spremenila.

Alternativna hipoteza $H_a: (s_{i,j})_{t_2} - (s_{i,j})_{t_1} \neq 0$: velikost objekta se je med dvema terminskima izmerama spremenila.

Če zavrnemo ničelno hipotezo, pomeni da je objekt spremenil svojo velikost med dvema terminskima izmerama.

Po testiranju velikosti objekta sledi testiranje zasuka objekta. Za testiranje potrebujemo izračunan smerni kot ene izmed smeri med dvema točkama P_i in P_j na objektu. Smerni kot v_{ij} izračunamo iz izravnanih koordinat. Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza $H_0: (v_{i,j})_{t_2} - (v_{i,j})_{t_1} = 0$; objekt se med dvema terminskima izmerama ni zasukal.

Alternativna hipoteza $H_a: (v_{i,j})_{t_2} - (v_{i,j})_{t_1} \neq 0$: objekt se je med dvema terminskima izmerama zasukal.

Če zavrnemo ničelno hipotezo pomeni, da se je objekt med dvema terminskima izmerama zasukal okoli osi, ki je pravokotna na ravnino xy .

Vrstni red testiranja hipotez je očiten. Najprej moramo testirati stabilnost referenčnih točk, nato testiramo še spremembo oblike objekta in na koncu še spremembo velikosti in zasuka objekta. Testiranje spremembe velikosti in zasuka objekta je smiselno, če se ni statistično značilno spremenila oblika objekta.

2.7 Testiranje modela deformacij

Včasih je deformacijski model znan in za testiranje tega modela uporabimo deformacijska merjenja. Uporabimo lahko metodo B testiranja, če je deformacijski vektor znan v obliki:

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{c}_B \nabla \quad \dots (46)$$

kjer je \mathbf{c}_B znan vektor in ∇ neznan skalar.

Sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza $H_0: \bar{\mathbf{d}}_B = 0$; deformacijski model sprejmemo.

Alternativna hipoteza $H_a: \bar{\mathbf{d}}_B \neq 0$; deformacijskega modela ne sprejmemo.

Za testiranje ničelne hipoteze sestavimo testno statistiko:

$$\omega_B = \frac{\mathbf{c}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B}{\sigma_0 \sqrt{\mathbf{c}_B^T \mathbf{P}_{BB} \mathbf{c}_B}} \quad \dots (47)$$

Testna statistika ω_B se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F ob izbrani stopnji zaupanja testa $1 - \alpha_0$. Če je $|\omega_B| > \sqrt{F_{1-\alpha_0;1,\infty}}$, potem sprejmemo deformacijski model (46). Če je deformacijski model pravilen, izračunamo meje skalarja ∇ , z jakostjo testa β_0 , ki je navadno 80%:

$$\nabla_0 = \frac{1}{\sigma_0} \sqrt{\frac{\lambda_0}{\mathbf{c}_B^T \mathbf{P}_{BB} \mathbf{c}_B}} \quad \dots (48)$$

λ_{0j} izračunamo po enačbi (40), za ravninske mreže (41).

Mejo odgovarjajočega deformacijskega vektorja lahko zapišemo v končni obliki:

$$\nabla_0 \bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{c}_B \nabla_0 \quad \dots (49)$$

V nekaterih primerih enostranski test ω_B zadostuje, če poznamo smer premika, ki podaja znan deformacijski model in je včasih boljši od dvostranskega.

Napake pri testiranju so možne. Možne so tudi napake prvega in drugega tipa pri testiranju testnih statistik. Odločitev ali se je določena referenčna točka ali točka na objektu premaknila, pa je v veliki meri odvisna od uspešno odkritih napakah v opazovanjih.

2.8 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži

Do sedaj smo s testiranjem določili stabilne oziroma nestabilne točke, o velikosti in smeri premikov pa nismo povedali veliko. Ker smo v postopku izravnave posamezne terminske izmere geodetsko mrežo izravnavali kot prosto mrežo, so dobile koordinatne popravke tudi točke, ki smo jih v postopku deformacijske analize določili kot stabilne. Če bi izračunali izravnavo vpete mreže na točke, ki smo jih v postopku izravnave določili kot stabilne, bi se popravki opazovanj iz ali na dane točke prelili v koordinatne popravke novih točk, v tem primeru nestabilnih, medtem ko dane stabilne točke ne bi dobile koordinatnih popravkov. Z uporabo transformacije S, pa bi v primeru predoločenega datuma (število danih količin je večje od defekta datuma) pridobili rešitev za vektor neznank, ki minimizira drugo normo za vektor neznank, ki pripada danim koordinatnim komponentam (Marjetič, 2005):

$$\|\Delta_{m_F}\| = \Delta_{m_F}^T \Delta_{m_F} = \min \quad \dots (50)$$

m_F ... število danih količin

Za izračun velikosti in smeri premikov točk imamo na voljo več možnosti, vse pa izhajajo iz ideje, da z uporabo transformacije S pridobimo rešitev za koordinatne razlike posamezne

točke med dvema terminskima izmerama v datumu, ki ga definirajo stabilne točke. Stabilne točke v tem primeru pridobijo minimalne popravke, ki izpolnjujejo pogoj (50), njihova razlika pa predstavlja premike stabilnih točk med obema terminskima izmerama. Nestabilne točke pridobijo večje koordinatne popravke, katerih razlika predstavlja dejanski premik nestabilne točke v smeri posamezne koordinatne osi. S tem je vpliv opazovanj iz stabilnih točk in na stabilne točke porazdeljen med vse točke v mreži in ne samo na nestabilne točke, kot bi bilo v primeru, če bi izravnali vpeto geodetsko mrežo, katere koordinatni sistem bi določale stabilne točke.

Postopek izračuna premikov točk je sledeč. Po definiciji transformacije S lahko transformiramo v poljuben datum samo koordinatne popravke približnih vrednosti neznank, ki smo jih pridobili v postopku izravnave za posamezno terminsko izmero (Δ_1 in Δ_2) in njim pripadajočo matriko kofaktorjev $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}$:

$$\mathbf{d}_p = \mathbf{x}^0 + \mathbf{S}_F \Delta_2 - (\mathbf{x}^0 + \mathbf{S}_F \Delta_1) = \mathbf{S}_F (\Delta_2 - \Delta_1) = \tilde{\Delta}_2 - \tilde{\Delta}_1 = \tilde{\mathbf{d}}_F = \mathbf{S}_F \mathbf{d} \quad \dots (51)$$

kjer je:

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{x}^0 + \Delta_1$$

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{x}^0 + \Delta_2$$

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{x}^0 + \Delta_2 - (\mathbf{x}^0 + \Delta_1) = \Delta_2 - \Delta_1$$

\mathbf{x}^0 ... vektor približnih koordinat vseh točk v geodetski mreži

Δ_1 ... vektor koordinatnih popravkov v prvi terminski izmeri

Δ_2 ... vektor koordinatnih popravkov v drugi terminski izmeri

$\hat{\mathbf{x}}_1$... vektor izravnanih koordinat prve terminske izmere

$\hat{\mathbf{x}}_2$... vektor izravnanih koordinat druge terminske izmere

\mathbf{d} ... vektor koordinatnih razlik med obema terminskima izmerama

\mathbf{S}_F ... transformacijska matrika \mathbf{S}_F , v kateri določajo datum mreže stabilne točke

\mathbf{d}_p ... vektor premikov točk v mreži med dvema terminskima izmerama

Vektor \mathbf{d}_p predstavlja razliko transformiranih koordinatnih razlik s transformacijo S v izbran datum stabilnih točk v geodetski mreži in ima naslednjo obliko:

$$\mathbf{d}_p = [\Delta\tilde{y}_1 \quad \Delta\tilde{x}_1 \quad \Delta\tilde{y}_2 \quad \Delta\tilde{x}_2 \quad \dots \quad \Delta\tilde{y}_m \quad \Delta\tilde{x}_m]^T \quad \dots (52)$$

kjer je:

m ... število vseh točk v geodetski mreži

$\Delta\tilde{y}_m$... premik m -te točke v smeri y -osi

$\Delta\tilde{x}_m$... premik m -te točke v smeri x -osi

Velikost premika posamezne točke izračunamo kot:

$$d_m = \sqrt{\Delta\tilde{y}_m^2 + \Delta\tilde{x}_m^2} \quad \dots (53)$$

Smer premika posamezne točke izračunamo kot:

$$v_m = \arctan\left(\frac{\Delta\tilde{y}_m}{\Delta\tilde{x}_m}\right) \quad \dots (54)$$

Pri izračunu smeri moramo biti pozorni še na kvadrant, v katerem pride do premika posamezne točke.

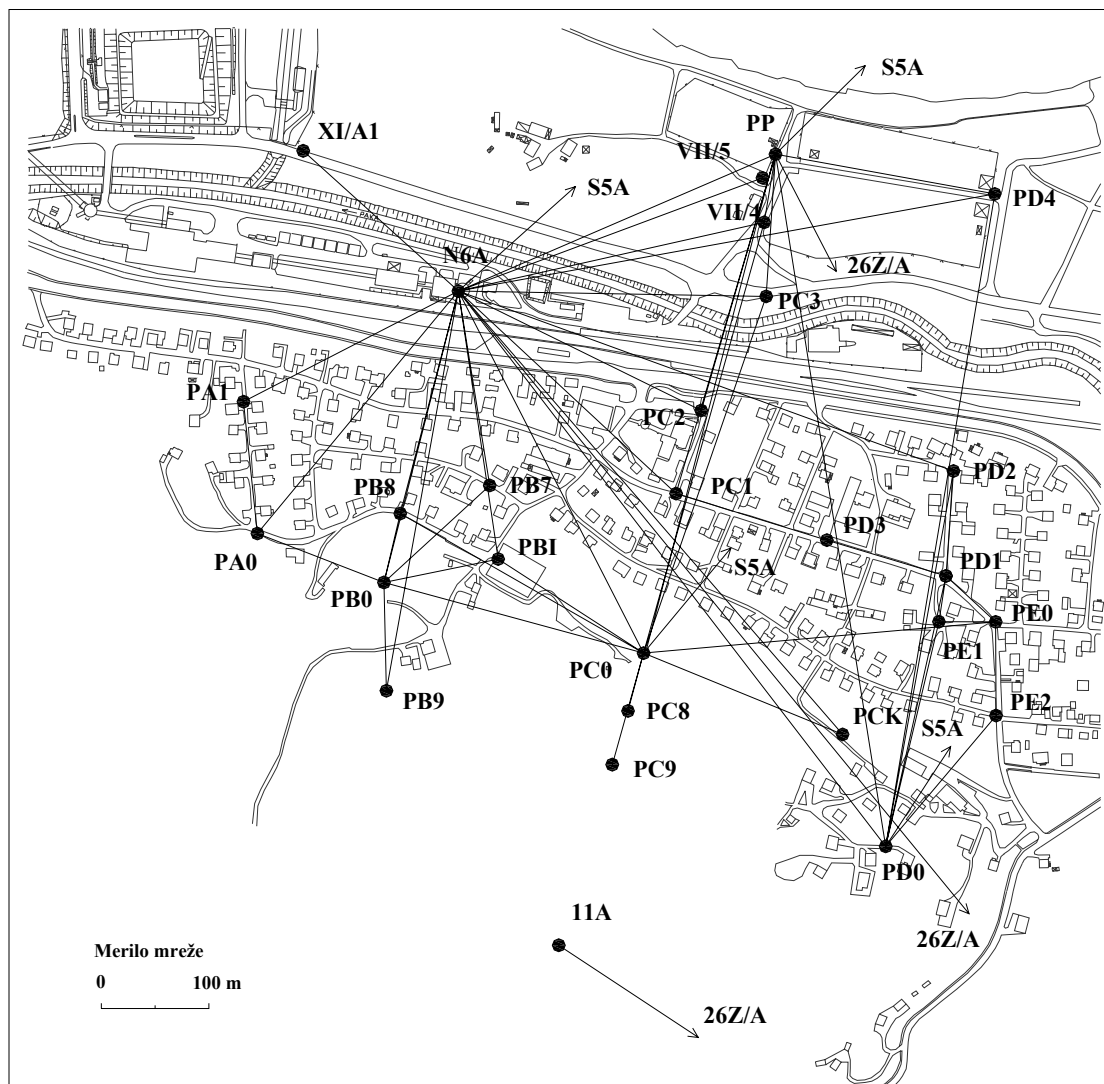
3 RAČUNSKI PRIMER GEODETSKE MREŽE PESJE

Uporabnost deformacijske analize po postopku Delft želimo prikazati tudi na praktičnem primeru geodetske mreže Pesje, ki jo je za svoje potrebe razvil Premogovnik Velenje, na območju povečane rudarske aktivnosti. Ravninska in višinska geodetska mreža je obravnavana ločeno, čeprav je večina točk skupnih. Za preizkus postopka deformacijske analize Delft smo dobili podatke dveh terminskih izmer. Prva se je izvajala oktobra 2000, naslednja pa aprila 2001.

3.1 Ravninska geodetska mreža Pesje

Ravninska geodetska mreža Pesje je sestavljena iz tridesetih točk, ki so razporejene po območju pričakovanih premikov. To so naslednje točke: 26Z/A, 11A, N6A, S5A, PP, VII/5, VII/4, PD4, PC3, PBI, PB0, PB8, PA1, XI/A1, PB7, PB9, PA0, PCK, PC0, PD2, PC2, PC1, PD0, PC8, PC9, PD1, PE1, PE2, PD3, PE0. O referenčnih točkah nimamo nobenega podatka, zato to mrežo obravnavamo kot relativno geodetsko mrežo, v kateri so bile opazovane smeri in dolžine, tako da je to kombinirana relativna geodetska mreža z defektom datuma tri.

Razporeditev točk po premikajočem se območju in geometrijo opazovanj smeri in dolžin v ravninski geodetski mreži Pesje, si lahko ogledamo na sliki 2.



Slika 2: Ravninska geodetska mreža Pesje.

3.1.1 Izravnava geodetske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih

Opazovane smeri in dolžine obeh terminskih izmer je potrebno predhodno ločeno pregledati ali vsebujejo grobe pogreške. V našem primeru ta korak izpustimo, ker smo predpostavili, da v opazovanjih ni prisotnih grobih pogreškov, saj so se uporabljeni podatki v preteklosti večkrat uporabili v izravnava za najrazličnejše nadaljnje analize. Sledila je ločena izravnava geodetske mreže obeh terminskih izmer s programom GeM3 (Ambrožič, Turk, 1996). Mrežo izravnamo kot prosto mrežo, kar pomeni, da v postopku izravnave vse točke dobijo popravke. Vsota kvadratov popravkov neznank je v tem primeru minimalna ($\hat{\mathbf{x}}_k^T \hat{\mathbf{x}}_k = \min$). V postopku

izravnave smo eliminirali orientacijske neznanke, tako so v vektorju neznank le koordinate točk, temu primerno obliko pa ima tudi matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}$. Pomembnejše rezultate izravnave obeh terminskih izmer si lahko ogledamo v preglednici 1 in preglednici 2, ostale podrobnosti so v prilogi A in prilogi B.

Preglednica 1: Seznam približnih koordinat, izravnanih koordinat 1. in 2. terminske izmere in koordinatnih razlik med 2. in 1. terminsko izmero v ravninski mreži Pesje.

Točka	Približne koordinate		1. terminska izmera		2. terminska izmera		d_y [mm]	d_x [mm]	d [mm]
	y^0 [m]	x^0 [m]	y_1 [m]	x_1 [m]	y_2 [m]	x_2 [m]			
26Z/A	7509,3070	134867,6830	7509,2923	134867,6781	7509,2996	134867,6781	7,3	0,0	7,3
11A	6624,4810	135449,8040	6624,4727	135449,8073	6624,4786	135449,8054	5,9	-1,9	6,2
N6A	6531,0300	136056,5000	6531,0269	136056,4995	6531,0215	136056,5023	-5,4	2,8	6,1
S5A	8280,7000	137612,7500	8280,6999	137612,7562	8280,6996	137612,7478	-0,3	-8,4	8,4
PP	6826,1700	136183,4200	6826,1755	136183,4216	6826,1707	136183,4233	-4,8	1,7	5,1
VII/5	6814,0100	136161,4900	6814,0122	136161,4891	6814,0100	136161,4927	-2,2	3,6	4,2
VII/4	6815,5700	136120,2200	6815,5756	136120,2260	6815,5724	136120,2266	-3,2	0,6	3,3
PD4	7030,1700	136146,5700	7030,1666	136146,5692	7030,1636	136146,5703	-3,0	1,1	3,2
PC3	6817,4800	136051,5100	6817,4789	136051,5194	6817,4782	136051,5227	-0,7	3,3	3,4
PBI	6568,1300	135808,0200	6568,1221	135808,0143	6568,1273	135808,0149	5,2	0,6	5,2
PB0	6461,8100	135786,3000	6461,8100	135786,2956	6461,8081	135786,2906	-1,9	-5,0	5,3
PB8	6476,9700	135850,2100	6476,9721	135850,2114	6476,9702	135850,2092	-1,9	-2,2	2,9
PA1	6331,1500	135953,9100	6331,1495	135953,9128	6331,1481	135953,9163	-1,4	3,5	3,8
XI/A1	6386,6200	136186,5500	6386,6149	136186,5527	6386,6075	136186,5693	-7,4	16,6	18,2
PB7	6560,2500	135876,2300	6560,2523	135876,2303	6560,2511	135876,2289	-1,2	-1,4	1,8
PB9	6464,0500	135685,8700	6464,0514	135685,8721	6464,0521	135685,8721	0,7	0,0	0,7
PA0	6344,0300	135831,7000	6344,0288	135831,6932	6344,0293	135831,6964	0,5	3,2	3,2
PCK	6888,5800	135645,3600	6888,5845	135645,3583	6888,5833	135645,3533	-1,2	-5,0	5,1
PC0	6703,4100	135720,7700	6703,4173	135720,7729	6703,4250	135720,7744	7,7	1,5	7,8
PD2	6991,7600	135889,6200	6991,7625	135889,6180	6991,7605	135889,6203	-2,0	2,3	3,0
PC2	6757,0000	135945,8100	6757,0056	135945,8039	6757,0044	135945,8010	-1,2	-2,9	3,1
PC1	6733,6200	135868,7500	6733,6221	135868,7554	6733,6205	135868,7516	-1,6	-3,8	4,1
PD0	6928,7100	135541,5300	6928,7094	135541,5315	6928,7132	135541,5308	3,8	-0,7	3,9
PC8	6688,9000	135667,1700	6688,9089	135667,1757	6688,9089	135667,1747	0,0	-1,0	1,0
PC9	6674,2600	135617,4000	6674,2516	135617,3547	6674,2534	135617,3553	1,8	0,6	1,9
PD1	6984,8000	135792,3200	6984,8026	135792,3235	6984,8037	135792,3238	1,1	0,3	1,1
PE1	6978,2000	135749,8400	6978,2020	135749,8457	6978,2032	135749,8472	1,2	1,5	1,9
PE2	7031,3300	135662,8300	7031,3294	135662,8393	7031,3339	135662,8382	4,5	-1,1	4,6
PD3	6873,9800	135825,4700	6873,9793	135825,4749	6873,9789	135825,4755	-0,4	0,6	0,7
PE0	7031,0300	135749,7500	7031,0309	135749,7546	7031,0314	135749,7442	0,5	-10,4	10,4

Preglednica 1 prikazuje približne koordinate točk kot vhodni podatek za izravnavo, izravnane koordinate 1. terminske izmere, izravnane koordinate 2. terminske izmere in koordinatne razlike, ki jih izračunamo kot razliko izravnanih koordinat 2. in 1. terminske izmere.

Preglednica 2: Ostali rezultati izravnave ravninske mreže Pesje.

	1. terminska izmera	2. terminska izmera
σ_{d_k}	0,84 mm	0,82 mm
σ_{s_k}	2,1"	2,6"
Ω_k	109,8869	108,3532
$\hat{\sigma}_{0_k}$	1,0379	1,0307
n_k	170	170
u_k	71	71
d_k	3	3
r_k	102	102

kjer je:

- $k = 1, \dots, t$... terminska izmera
- t ... število terminskih izmer
- σ_{d_k} ... a-priori standardni odklon enote uteži za dolžine
- σ_{s_k} ... a-priori standardni odklon enote uteži za smeri
- $\Omega_k = \mathbf{v}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{v}_k$... vsota kvadratov popravkov opazovanj
- $\hat{\sigma}_{0_k}$... a-posteriori standardni odklon enote uteži
- n_k ... število opazovanj
- u_k ... število neznank
- d_k ... defekt mreže
- $r_k = n_k - u_k + d_k$... število nadštevilnih opazovanj

Matriko kofaktorjev koordinatnih razlik \mathbf{Q}_{dd} med obema izmerama podajamo v prilogi C.

3.1.2 Zanesljivost proste mreže

Ker pred izravnavo nismo preverili prisotnosti grobih pogreškov v opazovanjih, naredimo v naslednjem koraku globalni test modela, za vsako terminsko izmero posebej. Za vsako terminsko izmero sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza H_0 : v opazovanjih ni prisotnih napak.

Alternativna hipoteza H_a : v opazovanjih so prisotne napake.

Sestavimo testno statistiko T_1 (glej enačbo (15)):

$$T_{1_k} = \frac{\mathbf{v}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{v}_k}{f \sigma_0^2}$$

Izračunana testna statistika za prvo terminsko izmero:

$$T_{1_1} = 1,0773$$

Izračunana testna statistika za drugo terminsko izmero:

$$T_{1_2} = 1,0623$$

Testna statistika T_1 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f prostostnimi stopnjami. V našem primeru je $f = 102$ (število nadštevilnih opazovanj). Kritična vrednost pri izbrani stopnji zaupanja $1 - \alpha$, v našem primeru vzamemo 5% stopnjo tveganja ($\alpha = 5\%$), znaša $F_{0,95;102,\infty} = 1,2409$. Ker je v obeh primerih izračunana testna statistika manjša od kritične vrednosti $F_{1-\alpha;f,\infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da v opazovanjih ni prisotnih pogreškov in lahko nadaljujemo deformacijsko analizo.

3.1.3 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži

Sledi testiranje oblike mreže. Naša geodetska mreža vsebuje samo točke na objektu, zato je to relativna geodetska mreža, v kateri lahko ugotavljamo samo relativne premike med točkami

na objektu. Statistično analizo spremembe oblike mreže naredimo s testiranjem ničelne hipoteze:

Ničelna hipoteza $H_0: \mathbf{d} = \mathbf{0}$; koordinate vseh točk v mreži se niso spremenile.

Alternativna hipoteza $H_a: \mathbf{d} \neq \mathbf{0} = \nabla \mathbf{d}$; koordinate točk so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

Sestavimo testno statistiko T_2 , s katero testiramo skladnost obeh terminskih izmer (glej enačbo (23)):

$$T_2 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{f \sigma_0^2} = 18,3457$$

Testna statistika T_2 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f prostostnimi stopnjami. $f = 2m - d$, m je število točk v mreži in d defekt mreže, torej je $f = 57$. Kritična vrednost pri izbrani stopnji zaupanja $1 - \alpha$, v našem primeru vzamemo 5% stopnjo tveganja ($\alpha = 5\%$), je $F_{0,95;57,\infty} = 1,3267$. V našem primeru je $T_2 > F_{1-\alpha;f,\infty}$, zato zavrnemo ničelno hipotezo in trdimo, da je mreža spremenila svojo obliko v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da se je po prvi terminski izmeri premaknila vsaj ena točka v mreži. Z nadaljnji testiranjimi poskušamo določiti del mreže, ki ni spremenil svoje oblike. Vektor \mathbf{d} in njemu pripadajočo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik razdelimo na dva dela. Prvi del vektorja točk dela mreže je \mathbf{d}_F , ki ni spremenil svoje oblike, drugi del vektorja točk dela mreže je \mathbf{d}_B in je spremenil svojo obliko. Podobno razdelimo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik

pripadajočih točk: $\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix}$ in $\mathbf{Q}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} \end{bmatrix}$

Regularno matriko \mathbf{Q}_{FF} in \mathbf{d}_F transformiramo v singularno z minimalno sledjo in defektom ranga tri, z uporabo transformacije S (glej enačbo (30) in (31)). Uporaba transformacije S je smiselna, ker predpostavimo, da del mreže, ki vsebuje točke \mathbf{d}_F ni spremenil oblike, torej so te točke stabilne in jih lahko vzamemo kot točke, ki definirajo koordinatni sistem.

Sedaj sestavimo novo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza H_0 : del mreže točk, vključenih v vektor \mathbf{d}_F ni spremenil svoje oblike.

Alternativna hipoteza H_a : del mreže, vključenih v vektor \mathbf{d}_F je spremenil svojo obliko.

Sestavimo testno statistiko T_3 (glej enačbo (32)):

$$T_3 = \frac{\tilde{\mathbf{d}}_F^T \tilde{\mathbf{Q}}_{FF}^+ \tilde{\mathbf{d}}_F}{f_F \sigma_0^2}$$

Testna statistika T_3 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f_F prostostnimi stopnjami.

$f_F = 2m_F - d$, m_F je število točk v mreži, ki niso spremenile položaja, torej so stabilne. Če je $T_3 \leq F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da se koordinate točk dela mreže, ki ni spremenil svoje oblike niso statistično značilno spremenile. Če je $T_3 > F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, zavrnemo ničelno hipotezo in trdimo, da je del mreže spremenil svojo obliko v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da so se spremenile koordinate vsaj ene točke, ki nastopa v vektorju \mathbf{d}_F . Testiranje ponavljamo z izločanjem točk iz vektorja \mathbf{d}_F tako dolgo, dokler ničelne hipoteze ne moremo zavrniti.

Postopek izločanja točk je sledeč. V prvi iteraciji izločamo po eno točko iz vektorja \mathbf{d}_F , ki vsebuje vse točke v relativni mreži in izračunamo pripadajočo testno statistiko. V našem primeru ima geodetska mreža trideset točk, torej izračunamo trideset testnih statistik T_3 v prvi iteraciji. Najmanjša izračunana testna statistika T_3 za posamezno izločeno točko nam pove, da je bil test za testiranje H_0 najboljši in kvadratna forma $\tilde{\mathbf{d}}_F^T \tilde{\mathbf{Q}}_{dd}^+ \tilde{\mathbf{d}}_F$ v tej iteraciji najmanjša. To pomeni, da je pripadajoča izločena točka nestabilna in jo izločimo iz vektorja \mathbf{d}_F in matrike \mathbf{Q}_{FF} . Naslednjo iteracijo naredimo brez izločene točke v prvi iteraciji in še brez ene točke. Ponovno poiščemo najmanjšo testno statistiko T_3 in označimo pripadajočo točko kot nestabilno. Postopek iterativno ponavljamo toliko časa, da ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da so točke, ki so ostale v vektorju \mathbf{d}_F stabilne, izločene točke pa nestabilne. Rezultate izločanja točk in pripadajočih testnih statistik T_3 vidimo v preglednici 3.

Preglednica 3: Izračunane testne statistike T_3 posameznih delov geodetske mreže v iterativnem postopku izločanja nestabilnih točk v ravninski mreži Pesje.

Izločena	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija	5. iteracija	6. iteracija	7. iteracija	8. iteracija	9. iteracija	10. iteracija	11. iteracija	12. iteracija	13. iteracija
točka	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A	26Z/A
T_3	18,7062	11,6269	8,1171	6,3221	5,1845	3,1297	2,6017	2,4504	2,2672	2,1097	1,8946	1,6860	1,5529
točka	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A	11A
T_3	18,8937	11,8025	8,2659	6,4578	5,2581	3,3176	2,8019	2,5674	2,3570	2,2085	2,0115	1,8085	1,6837
točka	N6A	N6A	N6A	N6A									
T_3	17,3039	10,1363	6,6968	5,0437									
točka	S5A	S5A	S5A	S5A	S5A	S5A	S5A						
T_3	18,5830	11,4686	8,0331	6,2058	4,9769	2,9661	2,4211						
točka	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP					
T_3	18,7597	11,6441	8,0868	6,2723	5,0005	2,9482	2,4274	2,2435					
točka	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5
T_3	18,8448	11,7306	8,2139	6,4035	5,2477	3,2180	2,7007	2,5447	2,3297	2,1799	1,9825	1,7730	1,6496
točka	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4
T_3	18,8411	11,7257	8,2162	6,4066	5,2347	3,2135	2,9305	2,5463	2,2595	2,1265	1,9475	1,6665	1,5590
točka	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4
T_3	18,8573	11,7438	8,2281	6,4184	5,2418	3,2198	2,7066	2,5569	2,3366	2,1943	2,0046	1,7963	1,6699
točka	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	
T_3	18,8150	11,6971	8,0759	6,2676	5,1492	3,3858	2,6055	2,4535	2,0973	1,9267	1,7082		
točka	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI							
T_3	18,4256	11,2853	7,1533	5,7565	4,6307	2,6005							
točka	PB0	PB0	PB0										
T_3	16,6682	9,4823	6,2048										
točka	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8
T_3	18,8245	11,7084	8,2329	6,0301	4,8630	3,0120	2,6456	2,3451	2,1103	2,0685	1,9246	1,7282	1,5881
točka	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1		
T_3	18,8778	11,7648	8,2493	6,4208	5,2416	3,2031	2,9265	2,5367	2,3212	1,9055			
točka	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1								
T_3	17,9333	11,2751	7,2372	5,3854	3,0968								
točka	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7
T_3	18,7482	11,6314	8,1101	6,2664	5,2185	3,2213	2,7174	2,5628	2,3507	2,2086	2,0127	1,8099	1,6856
točka	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9
T_3	18,6696	11,5488	8,0184	6,4533	5,2577	3,2272	2,6759	2,5253	2,3135	2,1315	1,9109	1,6922	1,5682
točka	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0				
T_3	18,4169	11,2865	7,7629	6,2865	5,0866	3,0249	2,4483	2,3054	2,0971				
točka	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK
T_3	18,5195	11,3672	8,0407	6,2332	5,1452	3,1482	2,6175	2,4626	2,2540	2,0999	1,9004	1,7039	1,5670
točka	PC0	PC0											
T_3	14,9471	7,9543											
točka	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2
T_3	18,7886	11,7305	8,2110	6,4006	5,1472	3,0930	2,5742	2,4111	2,1872	2,0344	1,8340	1,6205	1,4760
točka	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2
T_3	18,7553	11,6382	8,1148	6,3007	5,2184	3,2173	2,7023	2,5505	2,3474	2,1957	1,9952	1,7894	1,5416
točka	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	
T_3	18,4988	11,4147	7,8834	6,0597	4,9939	2,9933	2,4719	2,3054	2,1145	1,9625	1,7620	1,5847	
točka	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0
T_3	18,6317	11,5822	8,0528	6,2361	5,1577	3,1706	2,6542	2,4918	2,2982	2,1495	1,9545	1,7572	1,6211
točka	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8
T_3	17,4236	10,2046	8,2215	6,3935	5,2096	3,1877	2,6972	2,5341	2,3287	2,1827	1,9848	1,8017	1,6732
točka	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9	PC9
T_3	18,6909	11,5514	8,2422	6,4377	5,2305	3,2015	2,6781	2,5286	2,2995	2,1448	1,9458	1,7013	1,5802
točka	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1
T_3	18,0868	11,6950	8,1481	6,3368	5,1334	3,1043	2,5802	2,4231	2,2055	2,0481	1,8435	1,6293	1,5052
točka	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1
T_3	17,9480	11,6185	8,1254	6,3110	5,1030	3,0714	2,5543	2,3928	2,1726	2,0147	1,8064	1,5903	1,4559
točka	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2
T_3	17,2691	11,6688	8,1196	6,3065	5,1039	3,0743	2,5487	2,3884	2,1697	2,0103	1,8037	1,5886	1,4491
točka	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3
T_3	18,8764	11,7210	8,2081	6,3975	5,1936	3,1673	2,6520	2,4954	2,2753	2,1243	1,9252	1,7171	1,6105
točka	PE0												
T_3	11,9784												
m_F	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
f_F	55	53	51	49	47	45	43	41	39	37	35	33	31
$F_{[p; n; f; \infty]}$	1,3329	1,3395	1,3465	1,3539	1,3617	1,3701	1,3792	1,3888	1,3993	1,4106	1,4229	1,4364	1,4511

S postopnim izločanjem posamezne točke iz dela mreže, ki naj bi bil domnevno stabilen, zmanjšujemo vrednost testne statistike T_3 . Ko je izračunana testna statistika manjša od kritične vrednosti pripadajoče porazdelitvene funkcije, ustavimo postopek testiranja in z določenim tveganjem trdimo, da pripadajoč del mreže med dvema terminskima izmerama ni spremenil svoje oblike.

Če pogledamo v preglednico 3, vidimo da smo v prvi iteraciji izločili točko PE0, v drugi iteraciji točko PC0, v naslednji iteraciji PB0, nato pa še N6A, XI/A1, PBI, S5A, PP, PA0, PA1, PC3, PC1 in v zadnji iteraciji točko PE2. Sedaj je testna statistika T_3 manjša od kritične vrednosti porazdelitvene funkcije pri stopnji zaupanja 95% in 31 prostostnih stopnjah in trdimo, da ima del mreže, ki ne vsebuje izločenih točk, nespremenjeno obliko v času med obema terminskima izmerama, torej so te točke stabilne.

V iteracijah 10, 11 in 12 je bila matrika $\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H}$ v enačbi za transformacijo S (enačba (13)) skoraj singularna, njena determinanta je bila reda velikosti 10^{-17} , zato je bila matrika $\mathbf{S}_F = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_F$ slabo definirana. Posledično je bila slaba tudi rešitev testne statistike $T_3 = \frac{\tilde{\mathbf{d}}_F^T \tilde{\mathbf{Q}}_{FF}^+ \tilde{\mathbf{d}}_F}{f_F \sigma_0^2}$. Težavo odpravimo z računanjem psevdoinverzije matrike $\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H}$,

saj je ta rešitev transformacijske matrike \mathbf{S}_F mnogo bolj stabilna:

$$\mathbf{S}_F = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H})^+ \mathbf{H}^T \mathbf{E}_F.$$

Vrednosti testnih statistik so se minimalno spremenile od 10. iteracije naprej, naredili pa smo eno iteracijo več in tako dobili še dodatno nestabilno točko.

3.1.4 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži

V prejšnjem koraku smo iz geodetske mreže izločili vse nestabilne točke. Sedaj vemo, katere točke so stabilne in lahko izračunamo velikosti in smeri premikov vseh točk geodetske mreže med obema terminskima izmerama, z uporabo transformacije S, v kateri definirajo

koordinatni sistem stabilne točke, po enačbah (51), (53) in (54). Rezultati celotne deformacijske analize so zbrani v preglednici 4.

Preglednica 4: Rezultati deformacijske analize ravninske mreže Pesje po postopku Delft.

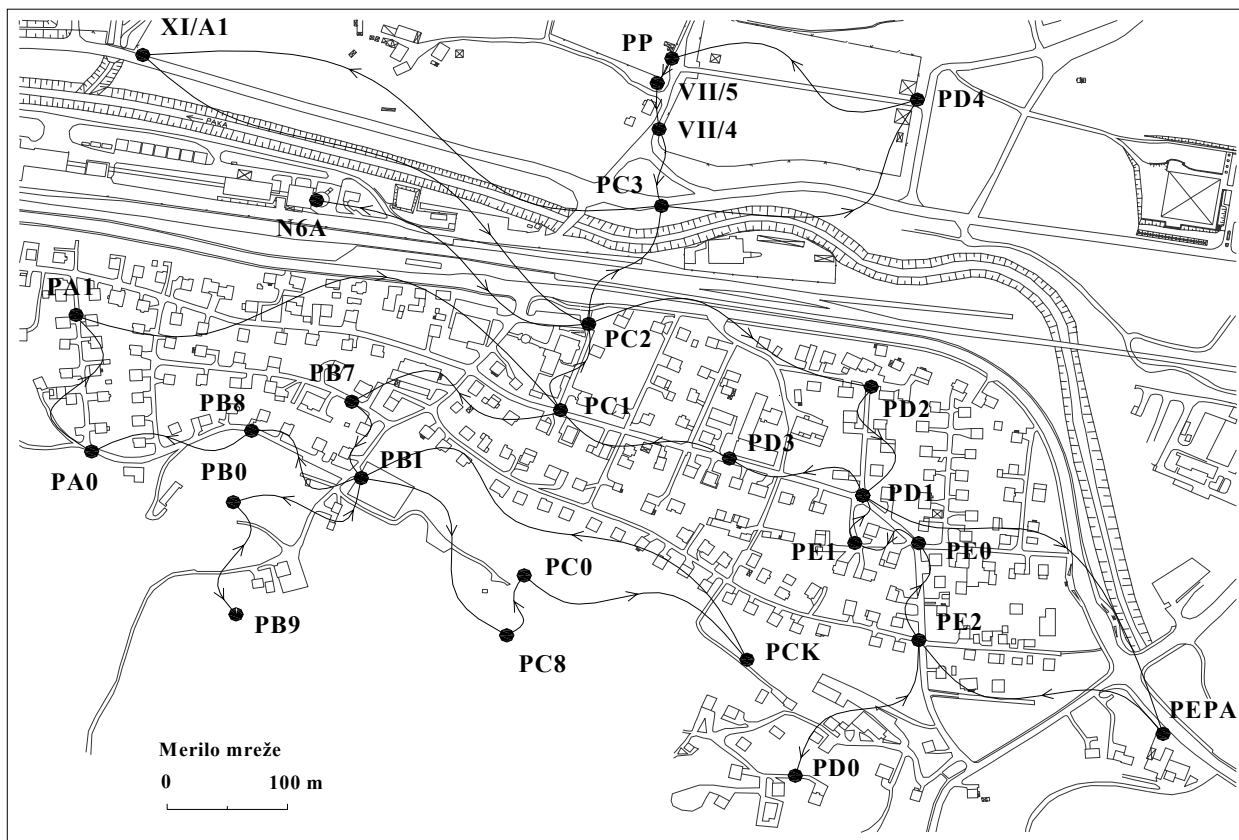
PD4	$y_2 - y_1$	$x_2 - x_1$	d [mm]	Deformacijska analiza po postopku Delft				
	d_y [mm]	d_x [mm]		d_y [mm]	d_x [mm]	d [mm]	ν [°]	Stabilnost
26Z/A	7,3	0,0	7,3	1,5	-4,0	4,2	159	da
11A	5,9	-1,9	6,2	3,7	-0,4	3,7	96	da
N6A	-5,4	2,8	6,1	-3,9	4,9	6,2	322	ne
S5A	-0,3	-8,4	8,4	10,9	-17,1	20,3	148	ne
PP	-4,8	1,7	5,1	-2,5	2,0	3,2	309	ne
VII/5	-2,2	3,6	4,2	0,0	3,9	3,9	0	da
VII/4	-3,2	0,6	3,3	-1,3	0,9	1,6	306	da
PD4	-3,0	1,1	3,2	-0,9	0,1	0,9	277	da
PC3	-0,7	3,3	3,4	0,8	3,6	3,7	13	ne
PBI	5,2	0,6	5,2	5,2	2,5	5,8	65	ne
PB0	-1,9	-5,0	5,3	-2,0	-2,5	3,2	219	ne
PB8	-1,9	-2,2	2,9	-1,6	0,2	1,7	278	da
PA1	-1,4	3,5	3,8	-0,5	6,8	6,8	356	ne
XI/A1	-7,4	16,6	18,2	-5,1	19,6	20,2	346	ne
PB7	-1,2	-1,4	1,8	-0,8	0,5	0,9	304	da
PB9	0,7	0,0	0,7	0,0	2,5	2,5	179	da
PA0	0,5	3,2	3,2	0,7	6,4	6,5	6	ne
PCK	-1,2	-5,0	5,1	-2,2	-5,1	5,6	203	da
PC0	7,7	1,5	7,8	7,2	2,5	7,6	71	ne
PD2	-2,0	2,3	3,0	-1,5	1,5	2,1	316	da
PC2	-1,2	-2,9	3,1	-0,3	-2,2	2,2	189	da
PC1	-1,6	-3,8	4,1	-1,2	-3,0	3,2	202	ne
PD0	3,8	-0,7	3,9	2,2	-1,1	2,4	116	da
PC8	0,0	-1,0	1,0	-0,9	0,1	0,9	278	da
PC9	1,8	0,6	1,9	0,6	1,8	1,9	19	da
PD1	1,1	0,3	1,1	1,0	-0,4	1,1	112	da
PE1	1,2	1,5	1,9	0,8	0,8	1,2	45	da
PE2	4,5	-1,1	4,6	3,6	-2,1	4,2	120	ne
PD3	-0,4	0,6	0,7	-0,3	0,6	0,6	333	da
PE0	0,5	-10,4	10,4	0,1	-11,4	11,4	179	ne

V preglednici 4 lahko vidimo razliko med koordinatnimi razlikami izravnanih koordinat posamezne terminske izmere in rezultati deformacijske analize po postopku Delft. Po primerjavi prikazanih količin lahko zaključimo, da je deformacijski postopek učinkovito

odkril nekatere točke, ki so se v času med obema terminskima izmerama premaknile. Posebno sumljive so nam lahko točke 26Z/A, 11A in PCK, ki imajo dokaj velike koordinatne razlike, vendar pa jih postopek deformacijske analize Delft določi kot stabilne zaradi geometrije mreže in razporeditve opazovanj po geodetski mreži.

3.2 Višinska geodetska mreža Pesje

Višinska geodetska mreža Pesje je sestavljena iz sedemindvajsetih reperjev, ki so razporejeni po območju pričakovanih premikov. To so naslednji reperji: PEPA, PE2, PE0, PE1, PD1, PD3, PC1, PC2, PD2, PB7, PBI, PB8, PA0, PA1, PC3, PD4, PP, VII/5, VII/4, N6A, XI/A1, PB0, PB9, PC0, PC8, PCK in PD0. O referenčnih reperjih nimamo nobenega podatka, zato tudi to mrežo obravnavamo kot relativno prosto višinsko mrežo, z defektom datuma ena, v kateri so bile opazovane višinske razlike med posameznimi reperji.



Slika 3: Višinska geodetska mreža Pesje.

3.2.1 Izravnava višinske mreže in odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih

Iz opazovanih višin je najprej potrebno odstraniti grobo pogrešena opazovanja. Tudi v tem primeru ta korak izpustimo, ker smo predpostavili, da v opazovanjih ni prisotnih grobih pogreškov, saj so se uporabljeni podatki v preteklosti večkrat uporabili v izravnava za najrazličnejše nadaljnje analize. Sledila je ločena izravnava višinske mreže obeh terminskih izmer s programom ViM (Ambrožič, Turk, 2004). Mrežo izravnamo kot prosto mrežo, kar pomeni, da v postopku izravnave višine vseh reperjev dobijo popravke. Vsota kvadratov popravkov neznank je v tem primeru minimalna ($\hat{\mathbf{x}}_k^T \hat{\mathbf{x}}_k = \min$). V vektorju neznank so višine reperjev, temu primerno obliko pa ima tudi matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}$. Pomembnejše rezultate izravnave obeh terminskih izmer si lahko ogledamo v preglednici 5 in preglednici 6, ostale podrobnosti so v prilogi D in prilogi E.

Preglednica 5: Seznam približnih višin reperjev, izravnanih višin reperjev 1. in 2. terminske izmere in razlike višin reperjev med 2. in 1. terminsko izmero v višinski mreži Pesje.

	približne višine	1. terminska izmera	2. terminska izmera	$H_2 - H_1$
Reper	H^0 [m]	H_1 [m]	H_2 [m]	d [mm]
PEPA	377,0810	377,0765	377,0799	3,4
PE2	376,6505	376,6469	376,6496	2,7
PE0	375,8939	375,8909	375,8935	2,6
PE1	375,4299	375,4268	375,4295	2,7
PD1	375,1191	375,1161	375,1188	2,7
PD3	374,3131	374,3100	374,3131	3,1
PC1	375,2049	375,2021	375,2052	3,1
PC2	372,1628	372,1588	372,1631	4,3
PD2	373,4581	373,4546	373,4583	3,7
PB7	381,3952	381,3943	381,3951	0,8
PBI	388,2950	388,2963	388,2950	-1,3
PB8	388,8681	388,8704	388,8679	-2,5
PA0	389,7873	389,7912	389,7869	-4,3
PA1	381,1868	381,1856	381,1862	0,6
PC3	370,2727	370,2687	370,2722	3,5
PD4	371,9737	371,9718	371,9735	1,7
PP	372,3395	372,3390	372,3396	0,6
VII/5	370,8789	370,8766	370,8790	2,4
VII/4	369,2418	369,2390	369,2420	3,0
N6A	405,6835	405,6803	405,6832	2,9

XI/A1	368,2391	368,2410	368,2402	-0,8
PB0	407,6004	407,6057	407,6006	-5,1
PB9	419,1987	419,2099	419,1988	-11,1
PC0	402,5240	402,5309	402,5244	-6,5
PC8	403,3949	403,3999	403,3955	-4,4
PCK	390,8900	390,8918	390,8908	-1,0
PD0	413,7910	413,7986	413,7920	-6,6

Preglednica 5 prikazuje približne višine reperjev kot vhodni podatek za izravnavo, izravnane višine 1. terminske izmere, izravnane višine 2. terminske izmere in višinske razlike, ki jih izračunamo kot razliko izravnanih višin 2. in 1. terminske izmere.

Preglednica 6: Ostali rezultati izravnave višinske mreže Pesje.

	1. terminska izmera	2. terminska izmera
σ_0	0,001 m	0,001 m
Ω_k	0,0000126174	0,0000154764
$\hat{\sigma}_{0_k}$	0,00112 m	0,00119 m
n_k	36	37
u_k	27	27
d_k	1	1
r_k	10	11

kjer je:

$k = 1, \dots, t$... terminska izmera

t ... število terminskih izmer

σ_0 ... a-priori standardni odklon enote uteži za višinske razlike

$\Omega_k = \mathbf{v}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{v}_k$... vsota kvadratov popravkov opazovanj

$\hat{\sigma}_{0_k}$... a-posteriori standardni odklon enote uteži

n_k ... število opazovanj

u_k ... število neznank

d_k ... defekt mreže

$r_k = n_k - u_k + d_k$... število nadštevilnih opazovanj

Matriko kofaktorjev koordinatnih razlik \mathbf{Q}_{dd} med obema izmerama podajamo v prilogi F.

3.2.2 Zanesljivost proste mreže

Ker pred izravnavo nismo preverili prisotnosti grobih pogreškov v opazovanjih, naredimo v naslednjem koraku globalni test modela, za vsako terminsko izmero posebej. Za vsako terminsko izmero sestavimo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza H_0 : v opazovanjih ni prisotnih napak.

Alternativna hipoteza H_a : v opazovanjih so prisotne napake.

Sestavimo testno statistiko T_1 (glej enačbo (15)):

$$T_{1_k} = \frac{\hat{\sigma}_{0_k}^2}{\sigma_0^2}$$

Izračunana testna statistika za prvo terminsko izmero:

$$T_{1_1} = 1,2544$$

Izračunana testna statistika za drugo terminsko izmero:

$$T_{1_2} = 1,4161$$

Testna statistika T_1 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f prostostnimi stopnjami. V našem primeru je $f = 10$ (število nadštevilnih meritev) za 1. terminsko izmero in $f = 11$ za 2. terminsko izmero. Kritična vrednost pri izbrani stopnji zaupanja $1 - \alpha$, v našem primeru vzamemo 5% stopnjo tveganja ($\alpha = 5\%$), znaša $F_{0,95;10,\infty} = 1,8307$ za 1. terminsko izmero in $F_{0,95;11,\infty} = 1,7886$ za 2. terminsko izmero. Ker je v obeh primerih izračunana testna statistika manjša od kritične vrednosti $F_{1-\alpha;f,\infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in trdimo, da v opazovanjih ni prisotnih pogreškov in lahko nadaljujemo deformacijsko analizo.

3.2.3 Testiranje stabilnosti točk v relativni geodetski mreži

Sledi testiranje oblike mreže. Naša višinska mreža vsebuje samo reperje na objektu, zato je to relativna višinska mreža, v kateri lahko ugotavljamo samo relativne premike med reperji na objektu. Statistično analizo spremembe oblike mreže naredimo s testiranjem ničelne hipoteze: Ničelna hipoteza $H_0: \mathbf{d} = \mathbf{0}$; višine vseh reperjev v mreži se niso spremenile.

Alternativna hipoteza $H_a: \mathbf{d} \neq \mathbf{0} = \nabla \mathbf{d}$; višine reperjev so se med dvema terminskima izmerama spremenile.

Sestavimo testno statistiko T_2 , s katero testiramo skladnost obeh terminskih izmer (glej enačbo (23)):

$$T_2 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{f \sigma_0^2} = 36,8636$$

Testna statistika T_2 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f prostostnimi stopnjami. $f = m - d$, m je število reperjev v mreži in d defekt mreže, torej je $f = 26$. Kritična vrednost pri izbrani stopnji zaupanja $1 - \alpha$, v našem primeru vzamemo 5% stopnjo tveganja ($\alpha = 5\%$), je $F_{0,95;26,\infty} = 1,4953$. V tem primeru je $T_2 > F_{1-\alpha;f,\infty}$, zato zavrnilo ničelno hipotezo in trdimo, da so se spremenile višine v višinski mreži v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da se je po prvi terminski izmeri premaknil vsaj en reper v mreži. Z nadaljnjimi testiranjmi poskušamo določiti del mreže, ki ni spremenil svojih višin reperjev. Vektor \mathbf{d} in njemu pripadajočo matriko kofaktorjev višin reperjev razdelimo na dva dela. Prvi del vektorja reperjev dela mreže je \mathbf{d}_F , tej reperji niso spremenili svojih višin, drugi del vektorja reperjev dela mreže je \mathbf{d}_B in so spremenili svoje višine. Podobno razdelimo matriko kofaktorjev višin pripadajočih reperjev:

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix} \text{ in } \mathbf{Q}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{FF} & \mathbf{Q}_{FB} \\ \mathbf{Q}_{BF} & \mathbf{Q}_{BB} \end{bmatrix}$$

Regularno matriko \mathbf{Q}_{FF} in \mathbf{d}_F transformiramo v singularno z minimalno sledjo in defektom ranga ena, z uporabo transformacije S (glej enačbo (30) in (31)).

Sedaj sestavimo novo ničelno in alternativno hipotezo:

Ničelna hipoteza H_0 : del mreže reperjev, vključenih v vektor \mathbf{d}_F ni spremenil svojih višin.

Alternativna hipoteza H_a : del mreže reperjev, vključenih v vektor \mathbf{d}_F je spremenil svoje višine.

Sestavimo testno statistiko T_3 (glej enačbo (32)):

$$T_3 = \frac{\tilde{\mathbf{d}}_F^T \tilde{\mathbf{Q}}_{FF}^+ \tilde{\mathbf{d}}_F}{f_F \sigma_0^2}$$

Testna statistika T_3 se porazdeljuje po centralni porazdelitvi F z f_F prostostnimi stopnjami. $f_F = m_F - d$, m_F je število reperjev v mreži, ki niso spremenili svojih višin, torej so stabilni. Če je $T_3 \leq F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, ničelne hipoteze ne moremo zavrni in trdimo, da se višine reperjev dela mreže niso statistično značilno spremenile. Če je $T_3 > F_{1-\alpha; f_F, \infty}$, zavrnemo ničelno hipotezo in trdimo, da so se spremenile višine reperjev v delu mreže v času med obema terminskima izmerama. To pomeni, da se je spremenila višina vsaj enega reperja, ki nastopa v vektorju \mathbf{d}_F . Testiranje ponavljamo z izločanjem reperjev iz vektorja \mathbf{d}_F tako dolgo, dokler ničelne hipoteze ne moremo zavrni.

Postopek izločanja reperjev je isti kot je opisan v primeru ravninske geodetske mreže v poglavju 3.1.3. Rezultati izločanja posameznih reperjev iz dela mreže in pripadajočih testnih statistik T_3 so zbrani v preglednici 7.

Preglednica 7: Izračunane testne statistike T_3 posameznih delov višinske mreže v iterativnem postopku izločanja nestabilnih reperjev v višinski mreži Pesje.

Izločen	1. it.	2. it.	3. it.	4. it.	5. it.	6. it.	7. it.	8. it.	9. it.	10. it.	11. it.	12. it.	13. it.	14. it.	15. it.
reper	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA	PEPA
T_3	38,3018	27,5476	19,6277	16,5044	13,9312	11,3939	9,3327	7,8423	6,3633	5,5317	4,1163	3,4859	3,2198	2,6952	1,9028
reper	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2	PE2
T_3	36,7954	25,9784	19,6826	16,5618	13,9913	11,4581	9,4002	7,9134	6,4386	5,6117	4,2005	3,5761	3,3118	2,7893	1,9992
reper	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0	PE0
T_3	38,3318	27,5789	19,6743	16,5530	13,9821	11,4500	9,3916	7,9038	6,4285	5,6009	4,1877	3,5625	3,2963	2,774	1,9852
reper	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1
T_3	38,3364	27,5837	19,6818	16,5608	13,9903	11,4590	9,4012	7,9138	6,4390	5,6121	4,1992	3,5748	3,3085	2,7865	1,9982
reper	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1	PD1
T_3	38,2308	27,4737	19,6052	16,4803	13,9059	11,3760	9,3138	7,8201	6,3398	5,5066	4,0814	3,4485	3,1582	2,6131	1,7995
reper	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3	PD3
T_3	38,3154	27,5617	19,6655	16,5436	13,9723	11,4411	9,3823	7,8936	6,4176	5,5894	4,1741	3,5477	3,2768	2,7503	1,9571
reper	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
T_3	38,3326	27,5797	19,6783	16,5572	13,9865	11,4551	9,3970	7,9094	6,4344	5,6148	4,1939	3,2217	2,9259	2,6874	1,9894
reper	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2	PC2
T_3	37,7595	26,9827	19,0609	15,9115	13,3101	10,7458	8,6504	7,1210	5,6811	4,8069	3,3394				
reper	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2	PD2
T_3	38,2481	27,4917	19,5855	16,4601	13,8848	11,3482	9,2845	7,7906	6,3086	5,4736	4,0515	3,2112	2,9168	2,3621	1,5351
reper	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7	PB7
T_3	38,1834	27,4243	19,5038	16,3742	13,7948	11,2517	9,1830	7,684	6,1957	5,3534	3,9604	3,3187	2,5754		
reper	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI	PBI
T_3	36,3373	26,5071	18,2568	15,0699	13,8736	11,4485	9,3901	7,6836	6,1953	3,9395					
reper	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8	PB8
T_3	38,3340	27,5812	19,6792	15,6692	13,0562	10,4776	8,3681	6,8234	5,2845						
reper	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0	PA0
T_3	34,8237	23,9246	15,8427												
reper	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1	PA1
T_3	36,1431	25,2989	17,2819	16,4153	13,8379	11,2987	9,2324	7,7357	6,2504	5,6140	4,003	3,3644	2,9801	1,8352	
reper	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3	PC3
T_3	38,0626	27,2985	19,3843	16,2497	13,6644	11,1168	9,0449	7,5377	6,3443	5,5114	4,0918	3,1111	2,8085	2,2444	1,4065
reper	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4	PD4
T_3	38,3274	27,5743	19,6721	16,5506	13,9796	11,4478	9,1272	7,6246	6,1328	5,2868	3,8522	3,2030	2,9081	2,3526	1,5249
reper	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
T_3	36,3158	25,4789	17,4855	14,2647	11,5849	8,9333									
reper	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5	VII/5
T_3	37,8390	27,0656	19,1413	15,9957	13,3983	10,8374	9,1924	7,6934	6,2056	5,3642	3,9347	3,2915	3,0033	2,4558	1,6374
reper	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4	VII/4
T_3	38,2779	27,5228	19,6183	16,4944	13,9208	11,386	9,3136	7,8213	6,3411	5,5081	4,0883	3,456	3,1805	2,6478	1,8468
reper	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A	N6A
T_3	38,3379	27,5853	19,6835	16,5626	13,9922	11,4610	9,4032	7,9160	6,3062	5,4710	4,0487	3,5377	3,2686	2,7433	1,9511
reper	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1	XI/A1
T_3	37,0187	26,2111	18,2496	15,0635	12,4217	9,8119	7,6674	6,0837							
reper	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0	PB0
T_3	37,1037	24,6462	16,6167	13,3564											
reper	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9	PB9
T_3	26,4820														
reper	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0	PC0
T_3	34,8923	23,9960	16,8774	13,6257	10,9154										
reper	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8	PC8
T_3	38,2869	27,5321	19,6837	16,5628	13,9923	9,6525	7,4995								
reper	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK	PCK
T_3	36,0298	25,1810	19,6837	15,8864	13,2838	10,9816	8,8987	7,9002	6,4247	5,5971	3,7350	3,0753			
reper	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0	PD0
T_3	29,9651	18,8636													
m_F	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
f_F	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
$F_{[1-\alpha; f_F; m_F]}$	1,5061	1,5173	1,5292	1,5420	1,5557	1,5705	1,5865	1,6039	1,6228	1,6435	1,6664	1,6918	1,7202	1,7522	1,7886

S postopnim izločanjem posameznega reperja iz dela mreže, ki naj bi bil domnevno stabilen, zmanjšujemo vrednost testne statistike T_3 . Ko je izračunana testna statistika manjša od kritične vrednosti pripadajoče porazdelitvene funkcije, ustavimo postopek testiranja in z določenim tveganjem trdimo, da pripadajoči reperji dela mreže med dvema terminskima izmerama niso spremenili svojih višin.

Če pogledamo v preglednico 7, vidimo da smo v prvi iteraciji izločili reper PB9, v drugi iteraciji reper PD0, v naslednji iteraciji PA0, nato pa še PB0, PC0, PP, PC8, XI/A1, PB8, PBI, PC2, PCK, PB7, PA1 in v zadnji iteraciji reper PC3. Sedaj je testna statistika T_3 manjša od kritične vrednosti porazdelitvene funkcije pri stopnji zaupanja 95% in 11 prostostnih stopnjah. Trdimo da ima del mreže, ki ne vsebuje izločenih reperjev, nespremenjene višine reperjev v času med obema terminskima izmerama, torej so ti reperji stabilni.

Tudi v tem primeru je bila matrika $\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H}$ v enačbi za transformacijo S (enačba (13)) skoraj singularna, zato je bila matrika $\mathbf{S}_F = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_F$ slabo definirana. Posledično je bila slaba tudi rešitev testne statistike T_3 . Težavo odpravimo z računanjem psevdoinverzije matrike $\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H}$, saj je ta rešitev transformacijske matrike \mathbf{S}_F mnogo bolj stabilna:

$$\mathbf{S}_F = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_F \mathbf{H})^+ \mathbf{H}^T \mathbf{E}_F.$$

3.2.4 Izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži

V prejšnjem koraku smo iz višinske mreže izločili vse nestabilne reperje. Sedaj vemo, kateri reperji so stabilni in lahko izračunamo velikosti in smeri premikov vseh reperjev višinske mreže med obema terminskima izmerama, z uporabo transformacije S, v kateri definirajo koordinatni sistem stabilni reperji, po enačbah (51), (53) in (54). Rezultati celotne deformacijske analize višinske mreže Pesje so zbrani v preglednici 8.

Preglednica 8: Rezultati deformacijske analize višinske mreže Pesje po postopku Delft.

	$H_2 - H_1$	Delft	
	d [mm]	d_p [mm]	stabilnost
PEPA	3,4	0,6	da
PE2	2,7	-0,1	da
PE0	2,6	-0,2	da
PE1	2,7	-0,1	da
PD1	2,7	-0,1	da
PD3	3,1	0,3	da
PC1	3,1	0,3	da
PC2	4,3	1,5	ne
PD2	3,7	0,9	da
PB7	0,8	-2,0	ne
PBI	-1,3	-4,1	ne
PB8	-2,5	-5,3	ne
PA0	-4,3	-7,1	ne
PA1	0,6	-2,2	ne
PC3	3,5	0,7	ne
PD4	1,7	-1,1	da
PP	0,6	-2,2	ne
VII/5	2,4	-0,4	da
VII/4	3,0	0,2	da
N6A	2,9	0,1	da
XI/A1	-0,8	-3,6	ne
PB0	-5,1	-7,9	ne
PB9	-11,1	-13,9	ne
PC0	-6,5	-9,3	ne
PC8	-4,4	-7,2	ne
PCK	-1,0	-3,8	ne
PD0	-6,6	-9,4	ne

V preglednici 8 lahko vidimo razliko med razlikami izravnanih višin reperjev posamezne terminske izmere in rezultati deformacijske analize po postopku Delft. Deformacijska analiza je učinkovito odkrila vse reperje, ki imajo med obema terminskima izmerama velike razlike višin, kot nestabilni reperji pa so označeni tudi nekateri reperji, ki imajo majhne višinske razlike med obema terminskima izmerama. To so reperji PB7, PA1, PP in XI/A1. Razlog za njihovo nestabilnost lahko poiščemo v manjši natančnosti niveliranih višinskih razlik v primeru reperja PP, dolgih višinskih vlakih v primeru XI/A1 in PA1 ter nestabilnih sosednjih reperjev v primeru PB7. Očitno ima tudi v primeru višinskih mrež geometrija mreže velik vpliv na pridobljene rezultate.

4 PRIMERJAVA REZULTATOV RAVNINSKE IN VIŠINSKE GEODETSKE MREŽE Z REZULTATI DRUGIH POSTOPKOV

Kot smo omenili, sta pri nas že raziskana in podrobneje obdelana dva postopka deformacijske analize in sicer postopek Hannover (Ambrožič, 1996) in postopek Karlsruhe (Trunk, 2005). Primer ravninske geodetske mreže z istimi podatki je bil obravnavan že v preteklosti (Trunk, 2005), zato lahko primerjamo rezultate, ki smo jih pridobili v tej diplomski nalogi.

4.1 Ravninska geodetska mreža Pesje

Preglednica 9: Primerjava rezultatov deformacijske analize ravninske mreže Pesje izračunanih po postopku Delft, Karlsruhe in Hannover.

Točka	Delft					Karlsruhe				Hannover			
	d_y [mm]	d_x [mm]	d [mm]	ν [°]	Stabilnost	d_y [mm]	d_x [mm]	d [mm]	Stabilnost	d_y [mm]	d_x [mm]	d [mm]	Stabilnost
26Z/A	1,5	-4,0	4,2	159	da	-	-	-	da	7,3	0,0	7,3	da
11A	3,7	-0,4	3,7	96	da	-	-	-	da	5,9	-1,9	6,2	da
N6A	-3,9	4,9	6,2	322	ne	4,8	4,0	6,2	ne	-3,8	4,6	5,9	ne
S5A	10,9	-17,1	20,3	148	ne	6,7	-13,9	15,4	ne	7,8	-14,2	16,2	ne
PP	-2,5	2,0	3,2	309	ne	-2,2	1,2	2,5	ne	-1,7	1,6	2,3	ne
VII/5	0,0	3,9	3,9	0	da	-	-	-	da	-2,2	3,6	4,2	da
VII/4	-1,3	0,9	1,6	306	da	-	-	-	da	-3,2	0,6	3,3	da
PD4	-0,9	0,1	0,9	277	da	-	-	-	da	-3,0	1,1	3,2	da
PC3	0,8	3,6	3,7	13	ne	-	-	-	da	-0,7	3,3	3,4	da
PBI	5,2	2,5	5,8	65	ne	6,2	2,5	6,7	ne	5,8	1,9	6,1	ne
PB0	-2,0	-2,5	3,2	219	ne	-1,1	-4,0	4,1	ne	-0,5	-3,3	3,4	ne
PB8	-1,6	0,2	1,7	278	da	-	-	-	da	-1,9	-2,2	2,9	da
PA1	-0,5	6,8	6,8	356	ne	-	-	-	da	-0,2	6,1	6,1	da
XI/A1	-5,1	19,6	20,2	346	ne	-6,7	17,9	19,1	ne	-5,3	19,4	20,1	ne
PB7	-0,8	0,5	0,9	304	da	-	-	-	da	-1,2	-1,4	1,8	da
PB9	0,0	2,5	2,5	179	da	-	-	-	da	0,7	0,0	0,7	da
PA0	0,7	6,4	6,5	6	ne	-	-	-	da	1,1	5,8	5,9	ne
PCK	-2,2	-5,1	5,6	203	da	-	-	-	da	-1,2	-5,0	5,1	da
PC0	7,2	2,5	7,6	71	ne	7,6	1,9	7,8	ne	5,3	2,2	5,7	ne
PD2	-1,5	-1,5	2,1	316	da	-	-	-	da	-2,0	2,3	3,0	da
PC2	-0,3	-2,2	2,2	189	da	-	-	-	da	-1,2	-2,9	3,1	da

PC1	-1,2	-3,0	3,2	202	ne	-0,9	-2,0	2,2	ne	-1,6	-3,8	4,1	da
PD0	2,2	-1,1	2,4	116	da	-	-	-	da	3,8	-0,7	3,9	da
PC8	-0,9	0,1	0,9	278	da	-	-	-	da	0,0	-1,0	1,0	da
PC9	0,6	1,8	1,9	19	da	-	-	-	da	1,8	0,6	1,9	da
PD1	1,0	-0,4	1,1	112	da	0,8	-0,9	1,2	ne	1,1	0,3	1,1	da
PE1	0,8	0,8	1,2	45	da	-	-	-	da	-3,3	0,9	3,5	ne
PE2	3,6	-2,1	4,2	120	ne	-	-	-	da	4,5	-1,1	4,6	da
PD3	-0,3	0,6	0,6	333	da	-	-	-	da	-0,4	0,6	0,7	da
PE0	0,1	-11,4	11,4	179	ne	-0,7	-11,7	11,7	ne	5,6	-11,0	12,3	ne

Kot lahko vidimo, so na prvi pogled rezultati vseh treh postopkov zelo podobni, če pa preglednico 9 pogledamo bolj podrobno, opazimo določene razlike. V vseh treh postopkih so točke N6A, S5A, PP, PB1, PB0, XI/A1, PC0 in PE0 označene kot nestabilne. Točki PA1 in PA0 sta označeni kot nestabilni v primeru deformacijske analize po postopku Delft in Hannover, točka PC1 pa je označena kot nestabilna v deformacijski analizi Delft in Karlsruhe. V postopku deformacijske analize Delft označimo kot nestabilno točko še PC3 in PE2, medtem ko je v postopku Hannover nestabilna točka PE1, v postopku Karlsruhe pa PD1. Velikost premikov posameznih točk je približno enaka, podatkov za smeri premikov pa za deformacijsko analizo po postopku Karlsruhe in Hannover nimamo.

Najbolj nasprotujoče rezultate vseh treh postopkov dobimo pri točkah PD1, PE1 in PE2, saj za vsako od teh točk en postopek označi omenjeno točko kot nestabilno, ostala dva postopka pa kot stabilno točko. Res je, da so omenjene tri točke sosede, nimamo pa vseh možnih opazovanih smeri in dolžin med temi točkami. Zato lahko sklepamo, da je vsak deformacijski postopek občutljivejši na določeno geometrijo geodetske mreže, v kateri lažje zazna premik oziroma potrди stabilnost posamezne točke.

4.2 Višinska geodetska mreža Pesje

Preglednica 10: Primerjava rezultatov deformacijske analize višinske mreže Pesje izračunanih po postopku Delft, Karlsruhe in Hannover.

	$H_2 - H_1$	Delft		Karlsruhe		Hannover	
	d [mm]	d_p [mm]	stabilnost	d_p [mm]	stabilnost	d_p [mm]	stabilnost
PEPA	3,4	0,6	da	-	-	3,4	da
PE2	2,7	-0,1	da	-	-	2,7	da
PE0	2,6	-0,2	da	-	-	2,6	da
PE1	2,7	-0,1	da	-	-	2,7	da
PD1	2,7	-0,1	da	-	-	2,7	da
PD3	3,1	0,3	da	-	-	3,1	da
PC1	3,1	0,3	da	-	-	3,1	da
PC2	4,3	1,5	ne	-	-	1,0	ne
PD2	3,7	0,9	da	-	-	3,7	da
PB7	0,8	-2,0	ne	-	-	-1,6	ne
PBI	-1,3	-4,1	ne	-	-	-3,4	ne
PB8	-2,5	-5,3	ne	-	-	-4,2	ne
PA0	-4,3	-7,1	ne	-	-	-5,4	ne
PA1	0,6	-2,2	ne	-	-	0,6	da
PC3	3,5	0,7	ne	-	-	3,5	da
PD4	1,7	-1,1	da	-	-	1,7	da
PP	0,6	-2,2	ne	-	-	-1,7	ne
VII/5	2,4	-0,4	da	-	-	2,4	da
VII/4	3,0	0,2	da	-	-	3,0	da
N6A	2,9	0,1	da	-	-	2,9	da
XI/A1	-0,8	-3,6	ne	-	-	-4,1	ne
PB0	-5,1	-7,9	ne	-	-	-7,2	ne
PB9	-11,1	-13,9	ne	-	-	-13,2	ne
PC0	-6,5	-9,3	ne	-	-	-8,6	ne
PC8	-4,4	-7,2	ne	-	-	-6,5	ne
PCK	-1,0	-3,8	ne	-	-	-3,2	ne
PD0	-6,6	-9,4	ne	-	-	-9,2	ne

V primeru deformacijske analize po postopku Karlsruhe ne moremo določiti stabilnosti reperjev v višinski mreži Pesje. Razlog je način določanja stabilnosti reperjev v višinski mreži kjer izločamo posamezen reper iz izravnave. Zaradi tega lahko postane mreža neskljenjena, določeni reperji v njej so slepi, tako nastane defekt konfiguracije mreže, zato je ni mogoče izravnati, posledično pa ne moremo nadaljevati deformacijske analize po postopku Karlsruhe.

Tako lahko primerjamo samo rezultate deformacijske analize po postopku Delft in Hannover. Rezultati iteracijskega postopka izločanja nestabilnih reperjev so do trinajste iteracije enaki, enak je tudi vrstni red izločenih nestabilnih reperjev. Tu se je izločanje nestabilnih reperjev v primeru deformacijske analize po postopku Hannover ustavil, medtem ko v primeru deformacijske analize po postopku Delft naredimo še dve iteraciji in s tem izločimo še dva nestabilna reperja in sicer PA1 in PC3.

Velikosti nestabilnih reperjev so v obeh primerih enake, rezultati se med seboj ne razlikujejo več kot za 1 mm, razen v primeru reperja PA0, ko je razlika ugotovljenega premika 1,7 mm. Velikosti premikov so različni tudi v primeru reperjev PA1 in PC3, ki smo jih izločili v izračunih deformacijske analize Delft, ne pa tudi v deformacijski analizi Hannover. Različne so seveda velikosti in smeri premikov stabilnih reperjev. Enako velja tudi za smeri premikov posameznih reperjev. Iz rezultatov je tudi razvidno, da nastali premik ni vedno posledica posedanja reperja, ampak je tudi možen premik zaradi povišanja višine reperja med dvema terminskima izmerama, kot je v primeru reperjev PC2 in PC3, ki sta nestabilna. Enaka smer domnevnega premika se pojavi tudi pri nekaterih drugih reperjih, ki so označeni kot stabilni, la da v tem primeru ne moremo govoriti o premiku reperja, ampak o porazdelitvi popravkov opazovanj na višine vseh reperjev, ki so vključeni v višinsko mrežo.

V deformacijski analizi po postopku Delft dobijo stabilne točke v primeru ravninske mreže in reperji v primeru višinske mreže minimalne popravke razlik koordinat oziroma višin med obema terminskima izmerama, ker definirajo te točke oziroma reperji koordinatni sistem. Te koordinatne razlike so zelo majhne tako, da jih ne moremo obravnavati kot premiki. V primeru deformacijske analize Hannover, so premiki točk oziroma reperjev enaki kot koordinatne razlike med obema terminskima izmerama in so v nekaterih primerih dokaj veliki in bi jih lahko neuk uporabnik rezultatov deformacijske analize uvrstil v dejanske premike stabilnih točk in reperjev. V primeru deformacijske analize Karlsruhe ne pridobimo nobene informacije o premiku stabilnih točk.

5 ZAKLJUČEK

V geodetski praksi se večkrat srečamo z geodetsko mrežo, ki v nekem časovnem intervalu spremeni svojo obliko in s tem položaj določenih točk v mreži. Na voljo imamo opazovanja iz dveh terminskih izmer, vendar na osnovi izravnanih koordinat ne moremo zagotovo trditi, ali se je določena točka premaknila, ali pa je mogoče stabilna. Nastali problem je reševalo veliko geodetov in nastala je množica postopkov, s katerimi so določali stabilnost točk v geodetski mreži. Rezultati posamezne analize pa so se seveda razlikovali. Tako je v stroki nastajala zmeda, posameznik pa ni vedel, kateri postopek deformacijske analize je najboljši in po katerem postopku naj učinkovito odkrije nestabilne točke v geodetski mreži. Iz tega razloga so v Bonnu leta 1978 na II. kongresu deformacijskih merjenj v sklopu FIG, v okviru 6. komisije, ustanovili skupino za poenotenje postopkov in rezultat je bil pet opisanih postopkov s svojimi prednostmi in slabostmi. Tako si je geodet glede na obliko mreže in lastnosti posameznega postopka izbral najprimernejši postopek deformacijske analize in z njim določil nestabilne točke v geodetski mreži.

V tej diplomski nalogi je podrobneje opisan postopek deformacijske analize po postopku Delft. Glavne značilnosti tega postopka so odkrivanje grobih pogreškov v opazovanjih in ločena izravnava posameznih terminskih izmer, testiranje skladnosti celotne mreže ali posameznega dela mreže, testiranje premikov posameznih referenčnih točk in (ali) točk na objektu, na koncu pa še testiranje modela deformacij in izračun velikosti in smeri premikov točk v geodetski mreži. Izračunan je tudi praktični primer ravninske in višinske geodetske mreže Pesje, ki jo je za svoje potrebe razvil Premogovnik Velenje, na področju povečane rudarske aktivnosti. Na koncu smo naredili še primerjavo rezultatov izračunanih po postopku deformacijske analize Delft, Karlsruhe in Hannover. Rezultati teh treh postopkov niso povsem enaki, so pa dokaj podobni, kar pomeni, da je posamezen postopek deformacijske analize občutljivejši na določeno geometrijo geodetske mreže in razporeditvijo opazovanj v njej.

V primeru ravninske mreže Pesje največ nestabilnih točk odkrije deformacijska analiza po postopku Delft, nestabilnih je 13 od skupno 30 točk. Postopek deformacijske analize Hannover odkrije 11 nestabilnih točk v ravninski mreži, medtem ko je postopek Karlsruhe v

isti mreži odkril 10 nestabilnih točk. Podobno je v primeru višinske geodetske mreže Pesje. Deformacijska analiza po postopku Delft odkrije 15 nestabilnih od skupno 27 reperjev, postopek Hannover pa 13 nestabilnih reperjev. Deformacijske analize po postopku Karlsruhe v primeru višinske geodetske mreže Pesje ni mogoče narediti zaradi lastnosti matematičnega modela samega postopka in konfiguracije mreže. V fazi odkrivanja nestabilnih točk iz mreže izločamo posamezno točko in tako mrežo ponovno izravnamo. Pri tem lahko dobimo slepo točko v mreži in nastane defekt konfiguracije mreže. Take geodetske mreže ne moremo izravnati, zato tudi ne moremo nadaljevati deformacijske analize po postopku Karlsruhe.

Glede na to, da smo v tej diplomski nalogi obravnavali samo en primer geodetske mreže in rezultate primerjali še z dvema postopkoma deformacijske analize, ne moremo sklepati, kateri od teh postopkov je najboljši in kateri najslabši. Prav gotovo pa je, da ima postopek Karlsruhe omejitve konfiguracije geodetske mreže, kar pomeni, da moramo zagotoviti dovolj opazovanj med posameznimi točkami. Pravo uporabnost posameznega postopka bi dobili, če bi med seboj primerjali rezultate deformacijske analize po vseh petih postopkih, večih geodetskih mrež z različnimi geometrijskimi lastnostmi. V tem primeru bi odkrili prednosti in pomanjkljivosti posameznega postopka in bi, glede na obliko mreže in razporeditvijo opazovanj v njej, izbrali najprimernejši postopek deformacijske analize, s katerim bi učinkovito odkrili tiste prave nestabilne točke v geodetski mreži.

VIRI

Ambrožič, T. 1996. Ocena stabilnosti točk v geodetski mreži. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Ambrožič, T., Turk, G. 1996. Navodila za uporabo programa RaM ver. 3.2, avg. 96 in GeM3 ver. 3.1, mar. 97. Interna izdaja.

Ambrožič, T. 2001. Deformacijska analiza po postopku Hannover. Geodetski vestnik, 45/1&2.

Ambrožič, T., Turk, G. 2004. Navodila za uporabo programa ViM ver.4.1, nov.04. Interna izdaja.

Ambrožič, T. 2004. Deformacijska analiza po postopku Karlsruhe. Geodetski vestnik, 48/3.

Ašanin, S. 1986. Prilog obradi i analizi geodetskih merenja za odredjivanje pomeranja i deformacija objekta i tla, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Gradjevinski fakultet, Institut za geodeziju, Beograd.

Baarda, W. 1968. A testing procedure for use in geodetic networks. Netherlands Geodetic Commission, New series, Volume 2, Number 5, Delft.

Baarda, W. 1972. Specifications for fundamental Networks in Geometric Geodesy. A personal report on activities in Special Study Group No. 1.14 – Travaux de l'AIG 24, Paris.

Caspary, W. F. 1988. Concepts of Network and Deformation Analysis. Kensington: The University of New South-Wales, School of Surveying.

Heck, B., Kok, J. J., Welsch, W., M., Baumer, R., Chrzanowski, A., Chen, Y. Q., Secord, J. M. 1982. Report of the FIG-Working Group on the Analysis of Deformation Measurements,

3rd International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Budapest, 25.-27. August, Vol. 3, 373-414.

Marjetič, A. 2005. 3D geodetske mreže, S-transformacija na primeru lokalne geodetske mreže. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Mihailović, K., Aleksić, I. R. 1994. Deformaciona analiza geodetskih mreža, Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za geodeziju.

Mozetič, B. 2005. Uporabnost izbranih metod deformacijske analize na praktičnih primerih geodetskih mrež. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Ninkov, T. 1985. Deformaciona analiza i njena praktična primena. Geodetski list, 7-9

Savšek Safić, S. 2002. Ugotavljanje premikov z metodami deformacijske analize.
<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Savsek2002.pdf> (29.07.2005)

Savšek Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik, 47/1&2.

Stopar, B. 2003. Zapiski iz predavanj Izravnalni račun I in II ter Višja geodezija II. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Trunk, J. 2005. Določitev premikov točk v geodetski mreži po metodi Karlsruhe. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG .

Van Mierlo, J. 1978. A testing procedure for analyzing geodetic deformation measurements, 2nd FIG Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn.

PRILOGE

PRILOGA A: IZRAVNAVA RAVNINSKE GEODETSKE MREŽE PESJE 1. TERMSKE IZMERE

Izravnavna ravninske GEodetske Mreže
Program: GEM3, ver.3.2, avg. 97
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: pesje0.pod
Ime datoteke za rezultate: pesje0.gem
Ime datoteke za S-transformacijo: pesje0.str
Ime datoteke za risanje slike mreže: pesje0.ris
Ime datoteke za izračun premikov: pesje0.koo
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike: pesje0.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover): pesje0.dah
Ime datoteke za ProTra: pesje0.ptr
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin): pesje0.daa

Datum: 29-NOV-05
Čas: 10:58:07

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk
=====

Točka	Y (m)	X (m)
26Z/A	7509.3070	134867.6830
11A	6624.4810	135449.8040
N6A	6531.0300	136056.5000
S5A	8280.7000	137612.7500
PP	6826.1700	136183.4200
VII/5	6814.0100	136161.4900
VII/4	6815.5700	136120.2200
PD4	7030.1700	136146.5700
PC3	6817.4800	136051.5100
PBI	6568.1300	135808.0200
PB0	6461.8100	135786.3000
PB8	6476.9700	135850.2100
PA1	6331.1500	135953.9100
XI/A1	6386.6200	136186.5500
PB7	6560.2500	135876.2300
PB9	6464.0500	135685.8700
PA0	6344.0300	135831.7000
PCK	6888.5800	135645.3600
PC0	6703.4100	135720.7700
PD2	6991.7600	135889.6200
PC2	6757.0000	135945.8100
PC1	6733.6200	135868.7500
PD0	6928.7100	135541.5300
PC8	6688.9000	135667.1700
PC9	6674.2600	135617.4000
PD1	6984.8000	135792.3200
PE1	6978.2000	135749.8400
PE2	7031.3300	135662.8300
PD3	6873.9800	135825.4700
PE0	7031.0300	135749.7500

Vseh točk je 30.

Pregled OPAZOVANJ
=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (stopinje)	W (")	Utež	Dolžina (m)	Du (m)	Utež	Gr
1	PA0	N6A	0 0 0.0	0.004	1.00	292.4138	0.0001	0.34	1
2	PA0	PB0	71 19 28.1	-0.001	1.00	126.2276	0.0001	0.79	1
3	PA0	PA1	314 13 49.7	0.002	1.00	122.8962	0.0001	0.81	1

Zemljak, M. 2006, Določitev premikov točk v geodetski mreži po postopku Delft.
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, geodetska smer.

4	PB0	N6A	0	0	0.0	0.004	1.00	278.9295	0.0001	0.36	1
5	PB0	PB9	164	21	11.9	-0.002	1.00	100.4486	0.0001	1.00	1
6	PB0	PA0	276	42	39.1	0.001	1.00	126.2269	0.0001	0.79	1
7	PB0	PBI	64	5	6.8	0.000	1.00	108.5047	0.0001	0.92	1
8	PB0	PC0	90	48	17.7	-0.001	1.00	250.3358	0.0001	0.40	1
9	PB0	PB8	358	58	38.7	0.001	1.00	65.6899	0.0000	1.52	1
10	PC0	N6A	0	0	0.0	0.006	1.00	377.4029	0.0002	0.26	1
11	PC0	PB8	326	55	56.1	0.002	1.00	260.8297	0.0001	0.38	1
12	PC0	PBI	329	59	47.7	0.001	1.00	160.9804	0.0001	0.62	1
13	PC0	S5A	66	59	49.8	0.035	1.00	2463.2106	0.0017	0.04	1
14	PC0	PE0	112	7	35.7	0.001	1.00	328.8910	0.0002	0.30	1
15	PC0	PCK	139	20	25.9	-0.001	1.00	199.9357	0.0001	0.50	1
16	PC0	PB0	312	21	14.2	0.001	1.00	250.3359	0.0001	0.40	1
17	PC0	PC8	222	19	37.5	-0.001	1.00	55.5261	0.0000	1.80	1
18	PC0	PC9	222	55	47.5	-0.002	1.00	107.4520	0.0001	0.93	1
19	PC0	PP	42	2	24.4	0.008	1.00	478.6582	0.0003	0.21	1
20	PC0	VII/4	42	51	48.7	0.007	1.00	414.9012	0.0002	0.24	1
21	PC0	PC3	46	12	28.7	0.006	1.00	349.8618	0.0002	0.29	1
22	PP	N6A	0	0	0.0	-0.002	1.00	321.2815	0.0002	0.31	1
23	PP	PC3	297	2	29.5	-0.002	1.00	132.1886	0.0001	0.76	1
24	PP	VII/4	302	47	25.3	-0.001	1.00	64.0784	0.0000	1.56	1
25	PP	PC0	308	7	48.6	-0.008	1.00	478.6585	0.0003	0.21	1
26	PP	PC9	308	17	32.1	-0.010	1.00	586.0997	0.0003	0.17	1
27	PP	S5A	158	46	9.2	0.027	1.00	2039.2727	0.0014	0.05	1
28	PP	PD4	213	30	30.4	-0.001	1.00	207.2930	0.0001	0.48	1
29	PP	PD0	284	11	37.0	-0.011	1.00	650.0267	0.0004	0.15	1
30	PP	PC1	309	39	35.8	-0.005	1.00	327.9955	0.0002	0.30	1
31	PP	26Z/A	265	49	50.0	-0.024	1.00	1482.5062	0.0009	0.07	1
32	PP	PC2	309	29	56.2	-0.004	1.00	247.4808	0.0001	0.40	1
33	PC1	N6A	0	0	0.0	0.003	1.00	276.2111	0.0002	0.36	1
34	PC1	PP	63	34	7.8	0.005	1.00	327.9966	0.0002	0.30	1
35	PC1	PC2	64	3	38.1	0.001	1.00	80.5184	0.0000	1.24	1
36	PC1	PD1	154	6	10.6	-0.001	1.00	262.5511	0.0002	0.38	1
37	PC1	PD3	154	18	57.6	-0.001	1.00	146.8786	0.0001	0.68	1
38	PD1	PC1	0	0	0.0	0.001	1.00	262.5518	0.0002	0.38	1
39	PD1	PD2	77	9	58.7	0.002	1.00	97.5430	0.0001	1.03	1
40	PD1	PD3	359	43	44.1	0.001	1.00	115.6754	0.0001	0.86	1
41	PD1	PE0	205	42	56.7	-0.001	1.00	62.8423	0.0000	1.59	1
42	PD1	PE1	261	54	25.7	-0.001	1.00	42.9871	0.0000	2.33	1
43	PD1	PD0	265	40	57.5	-0.004	1.00	256.9892	0.0002	0.39	1
44	PE0	PC0	0	0	0.0	-0.001	1.00	328.8928	0.0002	0.30	1
45	PE0	PE1	5	9	12.1	0.000	1.00	52.8297	0.0000	1.89	1
46	PE0	PD1	47	41	41.1	0.001	1.00	62.8421	0.0000	1.59	1
47	PE0	PE2	274	51	29.6	-0.002	1.00	86.9158	0.0001	1.15	1
48	PD0	N6A	0	0	0.0	0.009	1.00	650.6489	0.0004	0.15	1
49	PD0	PD2	47	56	38.7	0.006	1.00	353.7517	0.0002	0.28	1
50	PD0	PD1	50	17	2.5	0.004	1.00	256.9891	0.0002	0.39	1
51	PD0	PE1	51	2	29.4	0.004	1.00	214.1127	0.0001	0.47	1
52	PD0	PE2	77	54	22.4	0.002	1.00	158.8914	0.0001	0.63	1
53	PD0	PP	28	36	3.5	0.011	1.00	650.0265	0.0004	0.15	1
54	PD0	PD4	47	11	46.4	0.011	1.00	613.4812	0.0004	0.16	1
55	PD0	S5A	70	48	41.0	0.039	1.00	2473.4253	0.0018	0.04	1
56	N6A	PP	0	0	0.0	0.002	1.00	321.2805	0.0002	0.31	1
57	N6A	PBI	104	46	38.8	-0.004	1.00	251.2376	0.0001	0.40	1
58	N6A	PB8	127	57	13.1	-0.003	1.00	213.2531	0.0001	0.47	1
59	N6A	PA1	176	6	1.6	-0.002	1.00	224.6666	0.0001	0.45	1
60	N6A	PB7	104	3	38.4	-0.003	1.00	182.6227	0.0001	0.55	1
61	N6A	PB9	123	30	45.4	-0.006	1.00	376.6293	0.0002	0.27	1
62	N6A	PB0	127	38	19.0	-0.004	1.00	278.9274	0.0001	0.36	1
63	N6A	PA0	153	1	26.2	-0.004	1.00	292.4151	0.0001	0.34	1
64	N6A	PC3	24	15	55.2	0.000	1.00	286.4959	0.0002	0.35	1
65	N6A	PCK	72	15	25.0	-0.007	1.00	544.8703	0.0003	0.18	1
66	N6A	XI/A1	245	16	29.0	0.002	1.00	194.3415	0.0001	0.51	1
67	N6A	VII/5	2	54	51.1	0.002	1.00	301.8335	0.0002	0.33	1

68	N6A	VII/4	10	38	46.4	0.001	1.00	291.5960	0.0002	0.34	1
69	N6A	PC1	66	5	25.0	-0.003	1.00	276.2102	0.0002	0.36	1
70	N6A	PC0	86	5	24.6	-0.006	1.00	377.3994	0.0002	0.26	1
71	N6A	PD4	13	2	25.0	0.002	1.00	507.2008	0.0003	0.20	1
72	N6A	PD2	43	10	47.5	-0.003	1.00	490.0297	0.0003	0.20	1
73	N6A	PC2	49	21	58.5	-0.002	1.00	251.6354	0.0001	0.40	1
74	N6A	PD0	75	35	31.3	-0.009	1.00	650.6473	0.0004	0.15	1
75	N6A	26Z/A	73	49	6.8	-0.021	1.00	1539.5773	0.0009	0.06	1
76	N6A	S5A	341	37	8.7	0.028	1.00	2341.6392	0.0016	0.04	1
77	26Z/A	11A	0	0	0.0	0.011	1.00	1059.1406	0.0007	0.09	1
78	26Z/A	N6A	17	12	29.3	0.022	1.00	1539.5770	0.0009	0.06	1
79	26Z/A	PP	29	13	16.3	0.024	1.00	1482.5058	0.0009	0.07	1
80	26Z/A	S5A	72	21	17.8	0.054	1.00	2851.4039	0.0022	0.04	1
81	S5A	N6A	0	0	0.0	-0.031	1.00	2341.6414	0.0016	0.04	1
82	S5A	26Z/A	327	20	49.1	-0.056	1.00	2851.4101	0.0022	0.04	1
83	S5A	PD0	344	47	6.4	-0.041	1.00	2473.4269	0.0018	0.04	1
84	S5A	PC0	351	28	3.0	-0.037	1.00	2463.2146	0.0017	0.04	1
85	S5A	PP	357	9	4.6	-0.028	1.00	2039.2726	0.0014	0.05	1

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 2.10 sekund.
 Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0.840 mm.
 Redukcija na ravnino se računa z elipsoida z Bessel-ovimi dimenzijami.

Število enačb popravkov je 170.
 - Število enačb popravkov za smeri je 85.
 - Število enačb popravkov za dolžine je 85.
 Število neznank je 60.
 - Število koordinatnih neznank je 60.
 Defekt mreže je 3.
 Število nadštevilnih opazovanj je 102.

POPRAVKI približnih vrednosti
 =====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
26Z/A	-0.0147	-0.0049	0.0
11A	-0.0083	0.0033	
N6A	-0.0031	-0.0005	0.0
S5A	-0.0001	0.0062	0.0
PP	0.0055	0.0016	0.0
VII/5	0.0022	-0.0009	
VII/4	0.0056	0.0060	
PD4	-0.0034	-0.0008	
PC3	-0.0011	0.0094	
PBI	-0.0079	-0.0057	
PB0	0.0000	-0.0044	0.0
PB8	0.0021	0.0014	
PA1	-0.0005	0.0028	
XI/A1	-0.0051	0.0027	
PB7	0.0023	0.0003	
PB9	0.0014	0.0021	
PA0	-0.0012	-0.0068	0.0
PCK	0.0045	-0.0017	
PC0	0.0073	0.0029	0.0
PD2	0.0025	-0.0020	
PC2	0.0056	-0.0061	
PC1	0.0021	0.0054	0.0
PD0	-0.0006	0.0015	0.0
PC8	0.0089	0.0057	
PC9	-0.0084	-0.0453	
PD1	0.0026	0.0035	0.0
PE1	0.0020	0.0057	
PE2	-0.0006	0.0093	
PD3	-0.0007	0.0049	
PE0	0.0009	0.0046	0.0

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
26Z/A	7509.2923	134867.6781	0.0032	0.0020	0.0038	0.0034	0.0016	65.
11A	6624.4727	135449.8073	0.0075	0.0107	0.0130	0.0126	0.0035	33.
N6A	6531.0269	136056.4995	0.0007	0.0007	0.0010	0.0009	0.0005	45.
S5A	8280.6999	137612.7562	0.0024	0.0020	0.0031	0.0027	0.0014	127.
PP	6826.1755	136183.4216	0.0011	0.0008	0.0013	0.0011	0.0007	110.
VII/5	6814.0122	136161.4891	0.0020	0.0031	0.0037	0.0033	0.0017	157.
VII/4	6815.5756	136120.2260	0.0011	0.0009	0.0014	0.0011	0.0009	118.
PD4	7030.1666	136146.5692	0.0014	0.0017	0.0022	0.0018	0.0013	158.
PC3	6817.4789	136051.5194	0.0012	0.0011	0.0016	0.0012	0.0010	118.
PBI	6568.1221	135808.0143	0.0009	0.0010	0.0010	0.0014	0.0010	31.
PB0	6461.8100	135786.2956	0.0008	0.0010	0.0013	0.0010	0.0008	159.
PB8	6476.9721	135850.2114	0.0009	0.0010	0.0014	0.0010	0.0009	10.
PA1	6331.1495	135953.9128	0.0012	0.0016	0.0020	0.0016	0.0012	10.
XI/A1	6386.6149	136186.5527	0.0019	0.0020	0.0027	0.0024	0.0013	43.
PB7	6560.2523	135876.2303	0.0020	0.0013	0.0024	0.0020	0.0013	78.
PB9	6464.0514	135685.8721	0.0016	0.0012	0.0019	0.0016	0.0011	109.
PA0	6344.0288	135831.6932	0.0009	0.0014	0.0017	0.0014	0.0008	169.
PCK	6888.5845	135645.3583	0.0016	0.0019	0.0025	0.0022	0.0012	36.
PC0	6703.4173	135720.7729	0.0008	0.0007	0.0011	0.0008	0.0006	63.
PD2	6991.7625	135889.6180	0.0012	0.0013	0.0018	0.0013	0.0012	1.
PC2	6757.0056	135945.8039	0.0010	0.0009	0.0013	0.0010	0.0009	50.
PC1	6733.6221	135868.7554	0.0008	0.0008	0.0011	0.0009	0.0007	42.
PD0	6928.7094	135541.5315	0.0016	0.0010	0.0019	0.0016	0.0009	72.
PC8	6688.9089	135667.1757	0.0011	0.0009	0.0014	0.0011	0.0009	73.
PC9	6674.2516	135617.3547	0.0015	0.0010	0.0018	0.0015	0.0010	95.
PD1	6984.8026	135792.3235	0.0008	0.0011	0.0014	0.0012	0.0007	19.
PE1	6978.2020	135749.8457	0.0009	0.0011	0.0014	0.0012	0.0007	28.
PE2	7031.3294	135662.8393	0.0013	0.0014	0.0019	0.0016	0.0010	40.
PD3	6873.9793	135825.4749	0.0010	0.0013	0.0017	0.0014	0.0009	26.
PE0	7031.0309	135749.7546	0.0008	0.0013	0.0015	0.0014	0.0007	20.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.03794.

[pvv] = 109.8869046997

[xx] vseh neznank = 0.0034243285

[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0034243285

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00014.

Srednji pogrešek smeri /m0*smeri/ je 2.1797 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0*dol'in/ je 0.8719 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0130 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0010 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0031 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

Smerni koti in dolžine so izračunani iz zaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v stopinjah.

Nova točka: PA0		Y =	6344.0288	X =	135831.6932	Orientacijski kot = 39 45 15.0		
Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
N6A	1	1.00	0 0 0.0	39 45 15.0	39 45 15.6	0.5	292.414	
PB0	1	1.00	71 19 28.1	111 4 43.1	111 4 43.2	0.1	126.227	
PA1	1	1.00	314 13 49.7	353 59 4.7	353 59 4.1	-0.6	122.896	
Nova točka: PB0		Y =	6461.8100	X =	135786.2956	Orientacijski kot = 14 22 5.3		
Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina	
N6A	1	1.00	0 0 0.0	14 22 5.3	14 22 5.6	0.4	278.929	
PB9	1	1.00	164 21 11.9	178 43 17.2	178 43 17.0	-0.1	100.449	
PA0	1	1.00	276 42 39.1	291 4 44.4	291 4 43.2	-1.2	126.227	
PBI	1	1.00	64 5 6.8	78 27 12.1	78 27 13.7	1.7	108.508	
PC0	1	1.00	90 48 17.7	105 10 23.0	105 10 24.1	1.2	250.334	

PB8 1 1.00 358 58 38.7 13 20 44.0 13 20 42.1 -1.9 65.690

Nova točka: PC0 Y = 6703.4173 X = 135720.7729
 Orientacijski kot = 332 49 10.3

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	332 49 10.3	332 49 12.7	2.5	377.400
PB8	1	1.00	326 55 56.1	299 45 6.4	299 45 9.9	3.5	260.829
PBI	1	1.00	329 59 47.7	302 48 58.0	302 48 53.4	-4.6	160.984
S5A	1	1.00	66 59 49.8	39 49 0.1	39 49 0.6	0.5	2463.214
PE0	1	1.00	112 7 35.7	84 56 46.0	84 56 40.6	-5.4	328.893
PCK	1	1.00	139 20 25.9	112 9 36.2	112 9 36.0	-0.2	199.936
PB0	1	1.00	312 21 14.2	285 10 24.5	285 10 24.1	-0.3	250.334
PC8	1	1.00	222 19 37.5	195 8 47.8	195 8 47.7	-0.1	55.526
PC9	1	1.00	222 55 47.5	195 44 57.8	195 44 57.7	-0.1	107.452
PP	1	1.00	42 2 24.4	14 51 34.7	14 51 37.1	2.5	478.658
VII/4	1	1.00	42 51 48.7	15 40 59.0	15 41 1.2	2.2	414.900
PC3	1	1.00	46 12 28.7	19 1 39.0	19 1 38.4	-0.6	349.862

Nova točka: PP Y = 6826.1755 X = 136183.4216
 Orientacijski kot = 246 43 51.7

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	246 43 51.7	246 43 51.4	-0.3	321.282
PC3	1	1.00	297 2 29.5	183 46 21.2	183 46 19.8	-1.4	132.189
VII/4	1	1.00	302 47 25.3	189 31 17.0	189 31 18.0	1.0	64.078
PC0	1	1.00	308 7 48.6	194 51 40.3	194 51 37.1	-3.2	478.658
PC9	1	1.00	308 17 32.1	195 1 23.8	195 1 23.9	0.1	586.099
S5A	1	1.00	158 46 9.2	45 30 0.9	45 30 1.7	0.7	2039.274
PD4	1	1.00	213 30 30.4	100 14 22.1	100 14 25.5	3.4	207.293
PD0	1	1.00	284 11 37.0	170 55 28.7	170 55 27.8	-0.9	650.028
PC1	1	1.00	309 39 35.8	196 23 27.5	196 23 25.1	-2.4	327.995
26Z/A	1	1.00	265 49 50.0	152 33 41.7	152 33 44.1	2.4	1482.508
PC2	1	1.00	309 29 56.2	196 13 47.9	196 13 48.5	0.6	247.481

Nova točka: PC1 Y = 6733.6221 X = 135868.7554
 Orientacijski kot = 312 49 17.6

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	312 49 17.6	312 49 16.1	-1.5	276.211
PP	1	1.00	63 34 7.8	16 23 25.4	16 23 25.1	-0.3	327.995
PC2	1	1.00	64 3 38.1	16 52 55.7	16 52 57.2	1.5	80.519
PD1	1	1.00	154 6 10.6	106 55 28.2	106 55 28.3	0.1	262.552
PD3	1	1.00	154 18 57.6	107 8 15.2	107 8 15.5	0.3	146.879

Nova točka: PD1 Y = 6984.8026 X = 135792.3235
 Orientacijski kot = 286 55 29.7

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
PC1	1	1.00	0 0 0.0	286 55 29.7	286 55 28.3	-1.4	262.552
PD2	1	1.00	77 9 58.7	4 5 28.4	4 5 29.9	1.5	97.543
PD3	1	1.00	359 43 44.1	286 39 13.8	286 39 14.0	0.2	115.675
PE0	1	1.00	205 42 56.7	132 38 26.4	132 38 24.5	-1.9	62.842
PE1	1	1.00	261 54 25.7	188 49 55.4	188 49 57.1	1.7	42.988
PD0	1	1.00	265 40 57.5	192 36 27.2	192 36 27.1	-0.1	256.988

Nova točka: PE0 Y = 7031.0309 X = 135749.7546
 Orientacijski kot = 264 56 42.4

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
PC0	1	1.00	0 0 0.0	264 56 42.4	264 56 40.6	-1.8	328.893
PE1	1	1.00	5 9 12.1	270 5 54.5	270 5 55.7	1.2	52.829
PD1	1	1.00	47 41 41.1	312 38 23.5	312 38 24.5	1.0	62.842
PE2	1	1.00	274 51 29.6	179 48 12.0	179 48 11.6	-0.4	86.916

Nova točka: PD0 Y = 6928.7094 X = 135541.5315
 Orientacijski kot = 322 19 23.7

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	322 19 23.7	322 19 22.8	-0.9	650.648
PD2	1	1.00	47 56 38.7	10 16 2.4	10 16 2.4	0.1	353.751
PD1	1	1.00	50 17 2.5	12 36 26.2	12 36 27.1	0.9	256.988
PE1	1	1.00	51 2 29.4	13 21 53.1	13 21 53.6	0.6	214.113
PE2	1	1.00	77 54 22.4	40 13 46.1	40 13 46.1	0.0	158.891
PP	1	1.00	28 36 3.5	350 55 27.2	350 55 27.8	0.7	650.028
PD4	1	1.00	47 11 46.4	9 31 10.1	9 31 9.2	-0.9	613.485
S5A	1	1.00	70 48 41.0	33 8 4.7	33 8 4.1	-0.5	2473.429

Zemljak, M. 2006, Določitev premikov točk v geodetski mreži po postopku Delft.
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, geodetska smer.

Nova točka: N6A Y = 6531.0269 X = 136056.4995
 Orientacijski kot = 66 43 50.1

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
PP	1	1.00	0 0 0.0	66 43 50.1	66 43 51.4	1.3	321.282
PBI	1	1.00	104 46 38.8	171 30 28.9	171 30 33.4	4.5	251.239
PB8	1	1.00	127 57 13.1	194 41 3.2	194 41 0.2	-3.0	213.253
PA1	1	1.00	176 6 1.6	242 49 51.7	242 49 51.3	-0.4	224.666
PB7	1	1.00	104 3 38.4	170 47 28.5	170 47 28.6	0.1	182.623
PB9	1	1.00	123 30 45.4	190 14 35.5	190 14 35.8	0.3	376.630
PB0	1	1.00	127 38 19.0	194 22 9.1	194 22 5.6	-3.5	278.929
PA0	1	1.00	153 1 26.2	219 45 16.3	219 45 15.5	-0.8	292.414
PC3	1	1.00	24 15 55.2	90 59 45.3	90 59 45.6	0.3	286.495
PCK	1	1.00	72 15 25.0	138 59 15.1	138 59 14.9	-0.3	544.871
XI/A1	1	1.00	245 16 29.0	312 0 19.1	312 0 19.0	-0.1	194.342
VII/5	1	1.00	2 54 51.1	69 38 41.2	69 38 41.2	0.0	301.834
VII/4	1	1.00	10 38 46.4	77 22 36.5	77 22 35.6	-1.0	291.597
PC1	1	1.00	66 5 25.0	132 49 15.1	132 49 16.1	1.0	276.211
PC0	1	1.00	86 5 24.6	152 49 14.7	152 49 12.7	-2.0	377.400
PD4	1	1.00	13 2 25.0	79 46 15.1	79 46 15.8	0.7	507.201
PD2	1	1.00	43 10 47.5	109 54 37.6	109 54 38.6	1.0	490.027
PC2	1	1.00	49 21 58.5	116 5 48.6	116 5 52.5	3.9	251.634
PD0	1	1.00	75 35 31.3	142 19 21.4	142 19 22.8	1.4	650.648
26Z/A	1	1.00	73 49 6.8	140 32 56.9	140 32 58.1	1.2	1539.578
S5A	1	1.00	341 37 8.7	48 20 58.8	48 20 54.0	-4.8	2341.643

Nova točka: 26Z/A Y = 7509.2923 X = 134867.6781
 Orientacijski kot = 303 20 28.4

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
11A	1	1.00	0 0 0.0	303 20 28.4	303 20 28.4	0.0	1059.141
N6A	1	1.00	17 12 29.3	320 32 57.7	320 32 58.2	0.5	1539.578
PP	1	1.00	29 13 16.3	332 33 44.7	332 33 44.1	-0.5	1482.508
S5A	1	1.00	72 21 17.8	15 41 46.2	15 41 46.2	0.0	2851.407

Nova točka: S5A Y = 8280.6999 X = 137612.7562
 Orientacijski kot = 228 20 56.6

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	228 20 56.6	228 20 53.9	-2.7	2341.643
26Z/A	1	1.00	327 20 49.1	195 41 45.7	195 41 46.1	0.4	2851.407
PD0	1	1.00	344 47 6.4	213 8 3.0	213 8 4.0	1.0	2473.429
PC0	1	1.00	351 28 3.0	219 48 59.6	219 49 0.5	0.9	2463.214
PP	1	1.00	357 9 4.6	225 30 1.2	225 30 1.6	0.4	2039.274

PREGLED merjenih DOLŽIN

=====

Dolžine so izračunane iz zaokroženih 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.
PA0	N6A	0.34	292.4138	292.4138	292.4142	0.0004	292.4144
PA0	PB0	0.79	126.2276	126.2276	126.2273	-0.0003	126.2274
PA0	PA1	0.81	122.8962	122.8962	122.8963	0.0001	122.8963
PB0	N6A	0.36	278.9295	278.9295	278.9284	-0.0011	278.9285
PB0	PB9	1.00	100.4486	100.4486	100.4485	-0.0001	100.4485
PB0	PA0	0.79	126.2269	126.2269	126.2273	0.0004	126.2274
PB0	PBI	0.92	108.5047	108.5047	108.5078	0.0031	108.5079
PB0	PC0	0.40	250.3358	250.3358	250.3343	-0.0015	250.3344
PB0	PB8	1.52	65.6899	65.6899	65.6895	-0.0004	65.6896
PC0	N6A	0.26	377.4029	377.4029	377.3998	-0.0031	377.4001
PC0	PB8	0.38	260.8297	260.8297	260.8288	-0.0009	260.8290
PC0	PBI	0.62	160.9804	160.9804	160.9839	0.0035	160.9840
PC0	S5A	0.04	2463.2106	2463.2106	2463.2119	0.0013	2463.2136
PC0	PE0	0.30	328.8910	328.8910	328.8928	0.0018	328.8930
PC0	PCK	0.50	199.9357	199.9357	199.9355	-0.0002	199.9356
PC0	PB0	0.40	250.3359	250.3359	250.3343	-0.0016	250.3344
PC0	PC8	1.80	55.5261	55.5261	55.5261	0.0000	55.5262
PC0	PC9	0.93	107.4520	107.4520	107.4521	0.0001	107.4521

PC0	PP	0.21	478.6582	478.6582	478.6576	-0.0006	478.6579
PC0	VII/4	0.24	414.9012	414.9012	414.9001	-0.0011	414.9003
PC0	PC3	0.29	349.8618	349.8618	349.8616	-0.0002	349.8618
PP	N6A	0.31	321.2815	321.2815	321.2815	0.0000	321.2817
PP	PC3	0.76	132.1886	132.1886	132.1885	-0.0001	132.1886
PP	VII/4	1.56	64.0784	64.0784	64.0784	0.0000	64.0784
PP	PC0	0.21	478.6585	478.6585	478.6576	-0.0009	478.6579
PP	PC9	0.17	586.0997	586.0997	586.0992	-0.0005	586.0995
PP	S5A	0.05	2039.2727	2039.2727	2039.2726	-0.0001	2039.2740
PP	PD4	0.48	207.2930	207.2930	207.2931	0.0001	207.2932
PP	PD0	0.15	650.0267	650.0267	650.0274	0.0007	650.0278
PP	PC1	0.30	327.9955	327.9955	327.9952	-0.0003	327.9953
PP	26Z/A	0.07	1482.5062	1482.5062	1482.5069	0.0007	1482.5078
PP	PC2	0.40	247.4808	247.4808	247.4805	-0.0003	247.4806
PC1	N6A	0.36	276.2111	276.2111	276.2111	0.0000	276.2113
PC1	PP	0.30	327.9966	327.9966	327.9952	-0.0014	327.9953
PC1	PC2	1.24	80.5184	80.5184	80.5186	0.0002	80.5187
PC1	PD1	0.38	262.5511	262.5511	262.5517	0.0006	262.5519
PC1	PD3	0.68	146.8786	146.8786	146.8786	0.0000	146.8787
PD1	PC1	0.38	262.5518	262.5518	262.5517	-0.0001	262.5519
PD1	PD2	1.03	97.5430	97.5430	97.5431	0.0001	97.5431
PD1	PD3	0.86	115.6754	115.6754	115.6754	0.0000	115.6755
PD1	PE0	1.59	62.8423	62.8423	62.8424	0.0001	62.8424
PD1	PE1	2.33	42.9871	42.9871	42.9875	0.0004	42.9876
PD1	PD0	0.39	256.9892	256.9892	256.9883	-0.0009	256.9885
PE0	PC0	0.30	328.8928	328.8928	328.8928	0.0000	328.8930
PE0	PE1	1.89	52.8297	52.8297	52.8289	-0.0008	52.8290
PE0	PD1	1.59	62.8421	62.8421	62.8424	0.0003	62.8424
PE0	PE2	1.15	86.9158	86.9158	86.9158	0.0000	86.9158
PD0	N6A	0.15	650.6489	650.6489	650.6481	-0.0008	650.6485
PD0	PD2	0.28	353.7517	353.7517	353.7510	-0.0007	353.7512
PD0	PD1	0.39	256.9891	256.9891	256.9883	-0.0008	256.9885
PD0	PE1	0.47	214.1127	214.1127	214.1127	0.0000	214.1129
PD0	PE2	0.63	158.8914	158.8914	158.8912	-0.0002	158.8913
PD0	PP	0.15	650.0265	650.0265	650.0274	0.0009	650.0278
PD0	PD4	0.16	613.4812	613.4812	613.4849	0.0037	613.4853
PD0	S5A	0.04	2473.4253	2473.4253	2473.4270	0.0017	2473.4288
N6A	PP	0.31	321.2805	321.2805	321.2815	0.0010	321.2817
N6A	PBI	0.40	251.2376	251.2376	251.2387	0.0011	251.2388
N6A	PB8	0.47	213.2531	213.2531	213.2526	-0.0005	213.2527
N6A	PA1	0.45	224.6666	224.6666	224.6663	-0.0003	224.6664
N6A	PB7	0.55	182.6227	182.6227	182.6228	0.0001	182.6229
N6A	PB9	0.27	376.6293	376.6293	376.6301	0.0008	376.6303
N6A	PB0	0.36	278.9274	278.9274	278.9284	0.0010	278.9285
N6A	PA0	0.34	292.4151	292.4151	292.4142	-0.0009	292.4144
N6A	PC3	0.35	286.4959	286.4959	286.4951	-0.0008	286.4953
N6A	PCK	0.18	544.8703	544.8703	544.8708	0.0005	544.8711
N6A	XI/A1	0.51	194.3415	194.3415	194.3415	0.0000	194.3416
N6A	VII/5	0.33	301.8335	301.8335	301.8334	-0.0001	301.8336
N6A	VII/4	0.34	291.5960	291.5960	291.5972	0.0012	291.5974
N6A	PC1	0.36	276.2102	276.2102	276.2111	0.0009	276.2113
N6A	PC0	0.26	377.3994	377.3994	377.3998	0.0004	377.4001
N6A	PD4	0.20	507.2008	507.2008	507.2008	0.0000	507.2011
N6A	PD2	0.20	490.0297	490.0297	490.0270	-0.0027	490.0273
N6A	PC2	0.40	251.6354	251.6354	251.6343	-0.0011	251.6344
N6A	PD0	0.15	650.6473	650.6473	650.6481	0.0008	650.6485
N6A	26Z/A	0.06	1539.5773	1539.5773	1539.5768	-0.0005	1539.5777
N6A	S5A	0.04	2341.6392	2341.6392	2341.6411	0.0019	2341.6427
26Z/A	11A	0.09	1059.1406	1059.1406	1059.1406	0.0000	1059.1412
26Z/A	N6A	0.06	1539.5770	1539.5770	1539.5768	-0.0002	1539.5777
26Z/A	PP	0.07	1482.5058	1482.5058	1482.5069	0.0011	1482.5078
26Z/A	S5A	0.04	2851.4039	2851.4039	2851.4051	0.0012	2851.4073
S5A	N6A	0.04	2341.6414	2341.6414	2341.6411	-0.0003	2341.6427
S5A	26Z/A	0.04	2851.4101	2851.4101	2851.4051	-0.0050	2851.4073
S5A	PD0	0.04	2473.4269	2473.4269	2473.4270	0.0001	2473.4288
S5A	PC0	0.04	2463.2146	2463.2146	2463.2119	-0.0027	2463.2136
S5A	PP	0.05	2039.2726	2039.2726	2039.2726	0.0000	2039.2740

PRILOGA B: IZRAVNAVA RAVNINSKE GEODETSKE MREŽE PESJE 2. TERMSKE IZMERE

Izravnavna ravninske GEodetske Mreže
Program: GEM3, ver.3.2, avg. 97
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: pesjel.pod
Ime datoteke za rezultate: pesjel.gem
Ime datoteke za S-transformacijo: pesjel.str
Ime datoteke za risanje slike mreže: pesjel.ris
Ime datoteke za izračun premikov: pesjel.koo
Ime datoteke za izpis kovariančne matrike: pesjel.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover): pesjel.dah
Ime datoteke za ProTra: pesjel.ptr
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin): pesjel.daa

Datum: 29-NOV-05
Čas: 10:59:05

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih točk

```
=====
```

Točka	Y (m)	X (m)
26Z/A	7509.3070	134867.6830
11A	6624.4810	135449.8040
N6A	6531.0300	136056.5000
S5A	8280.7000	137612.7500
PP	6826.1700	136183.4200
VII/5	6814.0100	136161.4900
VII/4	6815.5700	136120.2200
PD4	7030.1700	136146.5700
PC3	6817.4800	136051.5100
PBI	6568.1300	135808.0200
PB0	6461.8100	135786.3000
PB8	6476.9700	135850.2100
PA1	6331.1500	135953.9100
XI/A1	6386.6200	136186.5500
PB7	6560.2500	135876.2300
PB9	6464.0500	135685.8700
PA0	6344.0300	135831.7000
PCK	6888.5800	135645.3600
PC0	6703.4100	135720.7700
PD2	6991.7600	135889.6200
PC2	6757.0000	135945.8100
PC1	6733.6200	135868.7500
PD0	6928.7100	135541.5300
PC8	6688.9000	135667.1700
PC9	6674.2600	135617.4000
PD1	6984.8000	135792.3200
PE1	6978.2000	135749.8400
PE2	7031.3300	135662.8300
PD3	6873.9800	135825.4700
PE0	7031.0300	135749.7500

Vseh točk je 30.

Pregled OPAZOVANJ

=====

Štev.	Stojišče	Vizura	Opazov. smer (stopinje)	W (")	Utež	Dolžina (m)	Du (m)	Utež	Gr
1	PA0	N6A	0 0 0.0	0.004	1.00	292.4114	0.0001	0.34	1
2	PA0	PB0	71 19 45.0	-0.001	1.00	126.2283	0.0001	0.79	1
3	PA0	PA1	314 13 48.3	0.002	1.00	122.8969	0.0001	0.81	1

4	PB0	N6A	0	0	0.0	0.004	1.00	278.9361	0.0001	0.36	1
5	PB0	PB7	33	13	3.5	0.001	1.00	133.3420	0.0001	0.75	1
6	PB0	PC0	90	48	13.8	-0.001	1.00	250.3423	0.0001	0.40	1
7	PB0	PB9	164	21	8.6	-0.002	1.00	100.4437	0.0001	1.00	1
8	PB0	PA0	276	42	54.3	0.001	1.00	126.2283	0.0001	0.79	1
9	PB0	PBI	64	5	4.9	0.000	1.00	108.5162	0.0001	0.92	1
10	PB0	PB8	358	58	35.3	0.001	1.00	65.6921	0.0000	1.52	1
11	PC0	N6A	0	0	0.0	0.006	1.00	377.4065	0.0002	0.26	1
12	PC0	PB8	326	55	54.7	0.002	1.00	260.8332	0.0001	0.38	1
13	PC0	PBI	329	59	41.5	0.001	1.00	160.9859	0.0001	0.62	1
14	PC0	S5A	66	59	52.7	0.035	1.00	2463.2012	0.0017	0.04	1
15	PC0	PE0	112	7	38.7	0.001	1.00	328.8829	0.0002	0.30	1
16	PC0	PCK	139	20	36.4	-0.001	1.00	199.9293	0.0001	0.50	1
17	PC0	PB0	312	21	6.5	0.001	1.00	250.3420	0.0001	0.40	1
18	PC0	PP	42	2	25.2	0.008	1.00	478.6554	0.0003	0.21	1
19	PC0	VII/4	42	51	47.3	0.007	1.00	414.8973	0.0002	0.24	1
20	PC0	PC3	46	12	25.6	0.006	1.00	349.8594	0.0002	0.29	1
21	PC0	PC8	222	20	4.5	-0.001	1.00	55.5305	0.0000	1.80	1
22	PC0	PC9	222	55	59.3	-0.002	1.00	107.4546	0.0001	0.93	1
23	PP	N6A	0	0	0.0	-0.002	1.00	321.2799	0.0002	0.31	1
24	PP	PC3	297	2	21.2	-0.002	1.00	132.1861	0.0001	0.76	1
25	PP	VII/4	302	47	20.4	-0.001	1.00	64.0795	0.0000	1.56	1
26	PP	PC9	308	17	31.3	-0.010	1.00	586.0982	0.0003	0.17	1
27	PP	S5A	158	46	8.2	0.027	1.00	2039.2614	0.0014	0.05	1
28	PP	PD4	213	30	34.9	-0.001	1.00	207.2952	0.0001	0.48	1
29	PP	PD0	284	11	32.3	-0.011	1.00	650.0333	0.0004	0.15	1
30	PP	PC1	309	39	27.5	-0.005	1.00	327.9975	0.0002	0.30	1
31	PP	26Z/A	265	49	50.1	-0.024	1.00	1482.5158	0.0009	0.07	1
32	PP	PC0	308	7	41.4	-0.008	1.00	478.6553	0.0003	0.21	1
33	PP	PC2	309	29	52.9	-0.004	1.00	247.4832	0.0001	0.40	1
34	PC1	N6A	0	0	0.0	0.003	1.00	276.2178	0.0002	0.36	1
35	PC1	PP	63	33	58.4	0.005	1.00	327.9989	0.0002	0.30	1
36	PC1	PC2	64	3	29.3	0.001	1.00	80.5194	0.0000	1.24	1
37	PC1	PD1	154	5	47.1	-0.001	1.00	262.5532	0.0002	0.38	1
38	PC1	PD3	154	18	38.8	-0.001	1.00	146.8784	0.0001	0.68	1
39	PD1	PC1	0	0	0.0	0.001	1.00	262.5532	0.0002	0.38	1
40	PD1	PD2	77	9	49.4	0.002	1.00	97.5451	0.0001	1.03	1
41	PD1	PD3	359	43	40.6	0.001	1.00	115.6770	0.0001	0.86	1
42	PD1	PE0	205	43	20.3	-0.001	1.00	62.8490	0.0000	1.59	1
43	PD1	PE1	261	54	25.5	-0.001	1.00	42.9863	0.0000	2.33	1
44	PD1	PD0	265	40	53.9	-0.004	1.00	256.9889	0.0002	0.39	1
45	PE0	PC0	0	0	0.0	-0.001	1.00	328.8833	0.0002	0.30	1
46	PE0	PE1	5	9	53.4	0.000	1.00	52.8286	0.0000	1.89	1
47	PE0	PD1	47	42	0.6	0.001	1.00	62.8490	0.0000	1.59	1
48	PE0	PE2	274	51	12.9	-0.002	1.00	86.9062	0.0001	1.15	1
49	PD0	N6A	0	0	0.0	0.009	1.00	650.6554	0.0004	0.15	1
50	PD0	PD2	47	56	40.5	0.006	1.00	353.7528	0.0002	0.28	1
51	PD0	PD1	50	17	7.1	0.004	1.00	256.9892	0.0002	0.39	1
52	PD0	PE1	51	2	31.9	0.004	1.00	214.1141	0.0001	0.47	1
53	PD0	PE2	77	54	29.7	0.002	1.00	158.8909	0.0001	0.63	1
54	PD0	PD4	47	11	47.2	0.011	1.00	613.4864	0.0004	0.16	1
55	PD0	S5A	70	48	43.6	0.039	1.00	2473.4220	0.0018	0.04	1
56	N6A	PP	0	0	0.0	0.002	1.00	321.2825	0.0002	0.31	1
57	N6A	VII/5	2	54	49.4	0.002	1.00	301.8367	0.0002	0.33	1
58	N6A	VII/4	10	38	42.5	0.001	1.00	291.5993	0.0002	0.34	1
59	N6A	PD4	13	2	24.2	0.002	1.00	507.2026	0.0003	0.20	1
60	N6A	PC3	24	15	53.8	0.000	1.00	286.4999	0.0002	0.35	1
61	N6A	PBI	104	46	33.7	-0.004	1.00	251.2418	0.0001	0.40	1
62	N6A	PB8	127	57	4.8	-0.003	1.00	213.2553	0.0001	0.47	1
63	N6A	PA1	176	5	56.2	-0.002	1.00	224.6625	0.0001	0.45	1
64	N6A	XI/A1	245	16	36.4	0.002	1.00	194.3522	0.0001	0.51	1
65	N6A	PB7	104	3	36.6	-0.003	1.00	182.6279	0.0001	0.55	1
66	N6A	PB9	123	30	41.0	-0.006	1.00	376.6312	0.0002	0.27	1
67	N6A	PB0	127	38	10.4	-0.004	1.00	278.9340	0.0001	0.36	1

68	N6A	PA0	153	1	17.6	-0.004	1.00	292.4082	0.0001	0.34	1
69	N6A	PCK	72	15	23.5	-0.007	1.00	544.8805	0.0003	0.18	1
70	N6A	PC0	86	5	14.2	-0.006	1.00	377.4074	0.0002	0.26	1
71	N6A	PD2	43	10	48.3	-0.003	1.00	490.0330	0.0003	0.20	1
72	N6A	PC2	49	22	2.2	-0.002	1.00	251.6411	0.0001	0.40	1
73	N6A	PC1	66	5	22.0	-0.003	1.00	276.2193	0.0002	0.36	1
74	N6A	26Z/A	73	49	5.4	-0.021	1.00	1539.5883	0.0009	0.06	1
75	N6A	PD0	75	35	32.0	-0.009	1.00	650.6572	0.0004	0.15	1
76	N6A	S5A	341	37	2.3	0.028	1.00	2341.6402	0.0016	0.04	1
77	26Z/A	11A	0	0	0.0	0.011	1.00	1059.1407	0.0007	0.09	1
78	26Z/A	N6A	17	12	30.8	0.022	1.00	1539.5831	0.0009	0.06	1
79	26Z/A	PP	29	13	16.4	0.024	1.00	1482.5151	0.0009	0.07	1
80	26Z/A	S5A	72	21	14.8	0.054	1.00	2851.3961	0.0022	0.04	1
81	S5A	N6A	0	0	0.0	-0.031	1.00	2341.6384	0.0016	0.04	1
82	S5A	26Z/A	327	20	47.8	-0.056	1.00	2851.3915	0.0022	0.04	1
83	S5A	PD0	344	47	7.5	-0.041	1.00	2473.4075	0.0018	0.04	1
84	S5A	PC0	351	28	5.1	-0.037	1.00	2463.2113	0.0017	0.04	1
85	S5A	PP	357	9	6.4	-0.028	1.00	2039.2687	0.0014	0.05	1

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 2.63 sekund.
 Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0.820 mm.
 Redukcija na ravnino se računa z elipsoida z Bessel-ovimi dimenzijami.

Število enačb popravkov je 170.
 - Število enačb popravkov za smeri je 85.
 - Število enačb popravkov za dolžine je 85.
 Število neznank je 60.
 - Število koordinatnih neznank je 60.
 Defekt mreže je 3.
 Število nadštevilnih opazovanj je 102.

POPRAVKI približnih vrednosti
 =====

Izravnava je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
26Z/A	-0.0074	-0.0049	0.0
11A	-0.0024	0.0014	
N6A	-0.0085	0.0023	0.0
S5A	-0.0004	-0.0022	0.0
PP	0.0007	0.0033	0.0
VII/5	0.0000	0.0027	
VII/4	0.0024	0.0066	
PD4	-0.0064	0.0003	
PC3	-0.0018	0.0127	
PBI	-0.0027	-0.0051	
PB0	-0.0019	-0.0094	0.0
PB8	0.0002	-0.0008	
PA1	-0.0019	0.0063	
XI/A1	-0.0125	0.0193	
PB7	0.0011	-0.0011	
PB9	0.0021	0.0021	
PA0	-0.0007	-0.0036	0.0
PCK	0.0033	-0.0067	
PC0	0.0150	0.0044	0.0
PD2	0.0005	0.0003	
PC2	0.0044	-0.0090	
PC1	0.0005	0.0016	0.0
PD0	0.0032	0.0008	0.0
PC8	0.0089	0.0047	
PC9	-0.0066	-0.0447	
PD1	0.0037	0.0038	0.0
PE1	0.0032	0.0072	
PE2	0.0039	0.0082	
PD3	-0.0011	0.0055	
PE0	0.0014	-0.0058	0.0

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)	
26Z/A	7509.2996	134867.6781	0.0032	0.0020	0.0038	0.0035	0.0016	65.	
11A	6624.4786	135449.8054	0.0090	0.0132	0.0160	0.0156	0.0034	33.	
N6A	6531.0215	136056.5023	0.0008	0.0008	0.0011	0.0010	0.0005	44.	
S5A	8280.6996	137612.7478	0.0024	0.0021	0.0032	0.0029	0.0014	128.	
PP	6826.1707	136183.4233	0.0012	0.0009	0.0015	0.0012	0.0008	112.	
VII/5	6814.0100	136161.4927	0.0022	0.0038	0.0044	0.0040	0.0017	158.	
VII/4	6815.5724	136120.2266	0.0012	0.0010	0.0016	0.0013	0.0009	118.	
PD4	7030.1636	136146.5703	0.0014	0.0019	0.0024	0.0020	0.0013	161.	
PC3	6817.4782	136051.5227	0.0013	0.0011	0.0017	0.0013	0.0011	116.	
PBI	6568.1273	135808.0149	0.0010	0.0010	0.0011	0.0015	0.0012	0.0009	29.
PB0	6461.8081	135786.2906	0.0009	0.0011	0.0014	0.0011	0.0008	162.	
PB8	6476.9702	135850.2092	0.0010	0.0011	0.0015	0.0011	0.0010	13.	
PA1	6331.1481	135953.9163	0.0013	0.0017	0.0021	0.0017	0.0012	9.	
XI/A1	6386.6075	136186.5693	0.0022	0.0023	0.0031	0.0029	0.0012	43.	
PB7	6560.2511	135876.2289	0.0013	0.0011	0.0017	0.0013	0.0011	99.	
PB9	6464.0521	135685.8721	0.0018	0.0012	0.0022	0.0018	0.0012	105.	
PA0	6344.0293	135831.6964	0.0009	0.0015	0.0018	0.0016	0.0009	171.	
PCK	6888.5833	135645.3533	0.0017	0.0022	0.0028	0.0026	0.0011	34.	
PC0	6703.4250	135720.7744	0.0009	0.0008	0.0011	0.0009	0.0007	56.	
PD2	6991.7605	135889.6203	0.0013	0.0014	0.0019	0.0014	0.0013	10.	
PC2	6757.0044	135945.8010	0.0011	0.0010	0.0015	0.0011	0.0009	55.	
PC1	6733.6205	135868.7516	0.0009	0.0009	0.0012	0.0010	0.0007	41.	
PD0	6928.7132	135541.5308	0.0017	0.0011	0.0020	0.0018	0.0010	71.	
PC8	6688.9089	135667.1747	0.0012	0.0010	0.0016	0.0012	0.0010	78.	
PC9	6674.2534	135617.3553	0.0017	0.0011	0.0021	0.0018	0.0011	97.	
PD1	6984.8037	135792.3238	0.0008	0.0012	0.0015	0.0013	0.0007	19.	
PE1	6978.2032	135749.8472	0.0009	0.0013	0.0016	0.0014	0.0008	26.	
PE2	7031.3339	135662.8382	0.0014	0.0015	0.0021	0.0018	0.0012	41.	
PD3	6873.9789	135825.4755	0.0011	0.0016	0.0019	0.0017	0.0009	24.	
PE0	7031.0314	135749.7442	0.0009	0.0014	0.0017	0.0015	0.0007	19.	

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.03067.

[pvv] = 108.3531570282

[xx] vseh neznank = 0.0039624111

[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0039624111

Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00013.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 2.7107 sekund.

Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dol'in/ je 0.8452 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0160 metrov.

Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0011 metrov.

Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0036 metrov.

PREGLED opazovanih SMERI

=====

Smerni koti in dolžine so izračunani iz zaokroženih koordinat.

Smeri in smerni koti so izpisani v stopinjah.

Nova točka: PA0		Y =	6344.0293	X =	135831.6964	Orientacijski kot = 39 45 12.4	
Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	39 45 12.4	39 45 12.5	0.1	292.410
PB0	1	1.00	71 19 45.0	111 4 57.4	111 4 57.1	-0.3	126.228
PA1	1	1.00	314 13 48.3	353 59 0.7	353 59 1.0	0.2	122.897
Nova točka: PB0		Y =	6461.8081	X =	135786.2906	Orientacijski kot = 14 22 2.7	
Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	14 22 2.7	14 22 1.7	-1.0	278.935
PB7	1	1.00	33 13 3.5	47 35 6.2	47 35 5.8	-0.4	133.341
PC0	1	1.00	90 48 13.8	105 10 16.5	105 10 16.9	0.4	250.342
PB9	1	1.00	164 21 8.6	178 43 11.3	178 43 11.5	0.2	100.444
PA0	1	1.00	276 42 54.3	291 4 57.0	291 4 57.1	0.1	126.228

Nova točka: N6A Y = 6531.0215 X = 136056.5023
 Orientacijski kot = 66 43 52.1

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
PP	1	1.00	0 0 0.0	66 43 52.1	66 43 52.2	0.1	321.282
VII/5	1	1.00	2 54 49.4	69 38 41.5	69 38 41.5	0.0	301.837
VII/4	1	1.00	10 38 42.5	77 22 34.6	77 22 37.4	2.8	291.599
PD4	1	1.00	13 2 24.2	79 46 16.3	79 46 16.7	0.4	507.203
PC3	1	1.00	24 15 53.8	90 59 45.9	90 59 45.2	-0.7	286.500
PBI	1	1.00	104 46 33.7	171 30 25.8	171 30 25.1	-0.7	251.243
PB8	1	1.00	127 57 4.8	194 40 56.9	194 40 55.7	-1.1	213.257
PA1	1	1.00	176 5 56.2	242 49 48.3	242 49 50.2	1.9	224.663
XI/A1	1	1.00	245 16 36.4	312 0 28.5	312 0 28.4	-0.1	194.352
PB7	1	1.00	104 3 36.6	170 47 28.7	170 47 24.7	-4.0	182.628
PB9	1	1.00	123 30 41.0	190 14 33.1	190 14 32.3	-0.8	376.632
PB0	1	1.00	127 38 10.4	194 22 2.5	194 22 1.7	-0.8	278.935
PA0	1	1.00	153 1 17.6	219 45 9.7	219 45 12.5	2.8	292.410
PCK	1	1.00	72 15 23.5	138 59 15.6	138 59 15.6	0.0	544.880
PC0	1	1.00	86 5 14.2	152 49 6.3	152 49 6.7	0.4	377.407
PD2	1	1.00	43 10 48.3	109 54 40.4	109 54 38.3	-2.1	490.031
PC2	1	1.00	49 22 2.2	116 5 54.3	116 5 55.2	0.9	251.641
PC1	1	1.00	66 5 22.0	132 49 14.1	132 49 17.8	3.7	276.219
26Z/A	1	1.00	73 49 5.4	140 32 57.5	140 32 57.1	-0.4	1539.588
PD0	1	1.00	75 35 32.0	142 19 24.1	142 19 21.1	-3.0	650.657
S5A	1	1.00	341 37 2.3	48 20 54.4	48 20 55.0	0.6	2341.639

Nova točka: 26Z/A Y = 7509.2996 X = 134867.6781
 Orientacijski kot = 303 20 27.9

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
11A	1	1.00	0 0 0.0	303 20 27.9	303 20 27.9	0.0	1059.141
N6A	1	1.00	17 12 30.8	320 32 58.7	320 32 57.1	-1.6	1539.588
PP	1	1.00	29 13 16.4	332 33 44.3	332 33 42.7	-1.5	1482.515
S5A	1	1.00	72 21 14.8	15 41 42.7	15 41 45.8	3.1	2851.397

Nova točka: S5A Y = 8280.6996 X = 137612.7478
 Orientacijski kot = 228 20 56.2

Vizura	Gr	Utež	Opazov. smer	Orient. smer	Def. sm. kot	Popravek	Dolžina
N6A	1	1.00	0 0 0.0	228 20 56.2	228 20 55.0	-1.3	2341.639
26Z/A	1	1.00	327 20 47.8	195 41 44.0	195 41 45.7	1.7	2851.397
PD0	1	1.00	344 47 7.5	213 8 3.7	213 8 4.1	0.4	2473.420
PC0	1	1.00	351 28 5.1	219 49 1.3	219 49 0.6	-0.8	2463.201
PP	1	1.00	357 9 6.4	225 30 2.6	225 30 2.6	0.0	2039.270

PREGLED merjenih DOLŽIN
 =====

Dolžine so izračunane iz zaokroženih 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.
PA0	N6A	0.34	292.4114	292.4114	292.4101	-0.0013	292.4103
PA0	PB0	0.79	126.2283	126.2283	126.2280	-0.0003	126.2281
PA0	PA1	0.81	122.8969	122.8969	122.8968	-0.0001	122.8968
PB0	N6A	0.36	278.9361	278.9361	278.9351	-0.0010	278.9352
PB0	PB7	0.75	133.3420	133.3420	133.3413	-0.0007	133.3414
PB0	PC0	0.40	250.3423	250.3423	250.3418	-0.0005	250.3420
PB0	PB9	1.00	100.4437	100.4437	100.4435	-0.0002	100.4436
PB0	PA0	0.79	126.2283	126.2283	126.2280	-0.0003	126.2281
PB0	PBI	0.92	108.5162	108.5162	108.5159	-0.0003	108.5160
PB0	PB8	1.52	65.6921	65.6921	65.6923	0.0002	65.6923
PC0	N6A	0.26	377.4065	377.4065	377.4070	0.0005	377.4072
PC0	PB8	0.38	260.8332	260.8332	260.8353	0.0021	260.8355
PC0	PBI	0.62	160.9859	160.9859	160.9855	-0.0004	160.9856
PC0	S5A	0.04	2463.2012	2463.2012	2463.1991	-0.0021	2463.2009
PC0	PE0	0.30	328.8829	328.8829	328.8846	0.0017	328.8848
PC0	PCK	0.50	199.9293	199.9293	199.9297	0.0004	199.9298
PC0	PB0	0.40	250.3420	250.3420	250.3418	-0.0002	250.3420
PC0	PP	0.21	478.6554	478.6554	478.6546	-0.0008	478.6549

Zemljak, M. 2006, Določitev premikov točk v geodetski mreži po postopku Delft.
 Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, geodetska smer.

PC0	VII/4	0.24	414.8973	414.8973	414.8963	-0.0010	414.8965
PC0	PC3	0.29	349.8594	349.8594	349.8606	0.0012	349.8608
PC0	PC8	1.80	55.5305	55.5305	55.5305	0.0000	55.5306
PC0	PC9	0.93	107.4546	107.4546	107.4545	-0.0001	107.4546
PP	N6A	0.31	321.2799	321.2799	321.2816	0.0017	321.2818
PP	PC3	0.76	132.1861	132.1861	132.1866	0.0005	132.1867
PP	VII/4	1.56	64.0795	64.0795	64.0792	-0.0003	64.0792
PP	PC9	0.17	586.0982	586.0982	586.0985	0.0003	586.0988
PP	S5A	0.05	2039.2614	2039.2614	2039.2687	0.0073	2039.2702
PP	PD4	0.48	207.2952	207.2952	207.2949	-0.0003	207.2951
PP	PD0	0.15	650.0333	650.0333	650.0311	-0.0022	650.0315
PP	PC1	0.30	327.9975	327.9975	327.9995	0.0020	327.9997
PP	26Z/A	0.07	1482.5158	1482.5158	1482.5140	-0.0018	1482.5149
PP	PC0	0.21	478.6553	478.6553	478.6546	-0.0007	478.6549
PP	PC2	0.40	247.4832	247.4832	247.4839	0.0007	247.4840
PC1	N6A	0.36	276.2178	276.2178	276.2184	0.0006	276.2185
PC1	PP	0.30	327.9989	327.9989	327.9995	0.0006	327.9997
PC1	PC2	1.24	80.5194	80.5194	80.5196	0.0002	80.5197
PC1	PD1	0.38	262.5532	262.5532	262.5531	-0.0001	262.5532
PC1	PD3	0.68	146.8784	146.8784	146.8784	0.0000	146.8785
PD1	PC1	0.38	262.5532	262.5532	262.5531	-0.0001	262.5532
PD1	PD2	1.03	97.5451	97.5451	97.5448	-0.0003	97.5449
PD1	PD3	0.86	115.6770	115.6770	115.6769	-0.0001	115.6770
PD1	PE0	1.59	62.8490	62.8490	62.8492	0.0002	62.8492
PD1	PE1	2.33	42.9863	42.9863	42.9863	0.0000	42.9864
PD1	PD0	0.39	256.9889	256.9889	256.9887	-0.0002	256.9889
PE0	PC0	0.30	328.8833	328.8833	328.8846	0.0013	328.8848
PE0	PE1	1.89	52.8286	52.8286	52.8283	-0.0003	52.8283
PE0	PD1	1.59	62.8490	62.8490	62.8492	0.0002	62.8492
PE0	PE2	1.15	86.9062	86.9062	86.9065	0.0003	86.9065
PD0	N6A	0.15	650.6554	650.6554	650.6565	0.0011	650.6568
PD0	PD2	0.28	353.7528	353.7528	353.7529	0.0001	353.7531
PD0	PD1	0.39	256.9892	256.9892	256.9887	-0.0005	256.9889
PD0	PE1	0.47	214.1141	214.1141	214.1143	0.0002	214.1144
PD0	PE2	0.63	158.8909	158.8909	158.8914	0.0005	158.8915
PD0	PD4	0.16	613.4864	613.4864	613.4856	-0.0008	613.4859
PD0	S5A	0.04	2473.4220	2473.4220	2473.4183	-0.0037	2473.4201
N6A	PP	0.31	321.2825	321.2825	321.2816	-0.0009	321.2818
N6A	VII/5	0.33	301.8367	301.8367	301.8367	0.0000	301.8368
N6A	VII/4	0.34	291.5993	291.5993	291.5989	-0.0004	291.5990
N6A	PD4	0.20	507.2026	507.2026	507.2029	0.0003	507.2032
N6A	PC3	0.35	286.4999	286.4999	286.4998	-0.0001	286.5000
N6A	PBI	0.40	251.2418	251.2418	251.2424	0.0006	251.2426
N6A	PB8	0.47	213.2553	213.2553	213.2565	0.0012	213.2566
N6A	PA1	0.45	224.6625	224.6625	224.6624	-0.0001	224.6626
N6A	XI/A1	0.51	194.3522	194.3522	194.3522	0.0000	194.3523
N6A	PB7	0.55	182.6279	182.6279	182.6276	-0.0003	182.6277
N6A	PB9	0.27	376.6312	376.6312	376.6318	0.0006	376.6320
N6A	PB0	0.36	278.9340	278.9340	278.9351	0.0011	278.9352
N6A	PA0	0.34	292.4082	292.4082	292.4101	0.0019	292.4103
N6A	PCK	0.18	544.8805	544.8805	544.8794	-0.0011	544.8797
N6A	PC0	0.26	377.4074	377.4074	377.4070	-0.0004	377.4072
N6A	PD2	0.20	490.0330	490.0330	490.0304	-0.0026	490.0306
N6A	PC2	0.40	251.6411	251.6411	251.6406	-0.0005	251.6407
N6A	PC1	0.36	276.2193	276.2193	276.2184	-0.0009	276.2185
N6A	26Z/A	0.06	1539.5883	1539.5883	1539.5870	-0.0013	1539.5879
N6A	PD0	0.15	650.6572	650.6572	650.6565	-0.0007	650.6568
N6A	S5A	0.04	2341.6402	2341.6402	2341.6375	-0.0027	2341.6391
26Z/A	11A	0.09	1059.1407	1059.1407	1059.1407	0.0000	1059.1413
26Z/A	N6A	0.06	1539.5831	1539.5831	1539.5870	0.0039	1539.5879
26Z/A	PP	0.07	1482.5151	1482.5151	1482.5140	-0.0011	1482.5149
26Z/A	S5A	0.04	2851.3961	2851.3961	2851.3949	-0.0012	2851.3971
S5A	N6A	0.04	2341.6384	2341.6384	2341.6375	-0.0009	2341.6391
S5A	26Z/A	0.04	2851.3915	2851.3915	2851.3949	0.0034	2851.3971
S5A	PD0	0.04	2473.4075	2473.4075	2473.4183	0.0108	2473.4201
S5A	PC0	0.04	2463.2113	2463.2113	2463.1991	-0.0122	2463.2009
S5A	PP	0.05	2039.2687	2039.2687	2039.2687	0.0000	2039.2702

PRILOGA C: MATRIKA KOFAKTORJEV KOORDINATNIH RAZLIK RAVNINSKE GEODETSKE MREŽE PESJE

$Q_{ij} = 10E - 5$

1,920498	0,679004	0,668206	-1,019517	0,065722	0,159008	0,426330	-0,151754	0,149554	-0,065543	0,142210	-0,050398	0,116387	-0,059891	0,124924	-0,202555	0,066370	-0,060846	-0,174807	0,137625	-0,196348	0,236610	-0,135647	0,221547	-0,038599	0,363845	0,178294	0,296044	-0,099271	0,140768	-0,300122	0,236029	-0,155532	0,350532	-0,317904	-0,142816	-0,238522	0,039649	-0,099296	-0,188189	-0,031642	-0,015952	-0,103424	0,004568	-0,329259	-0,135757	-0,286365	0,052390	-0,338380	0,065787	-0,175714	-0,181168	-0,209026	-0,175358	-0,273114	-0,210441	-0,150123	-0,107771	-0,209846	-0,215240
----------	----------	----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

PRILOGA D: IZRAVNAVA VIŠINSKE GEODETSKE MREŽE

PESJE 1. TERMINSKE IZMERE

Izravnava Višinske geodetske Mreže
Program: VIM, ver.4.1, nov. 04
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: pesje0.pod
Ime datoteke za rezultate: pesje0.rez
Ime datoteke za deformacijsko analizo: pesje0.def
Ime datoteke za S-transformacijo: pesje0.str

Datum: 9.12.2005
Čas: 17:12:34

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Nadm.viš.	Opomba
PEPA	377.0810	Novi reper
PE2	376.6505	Novi reper
PE0	375.8939	Novi reper
PE1	375.4299	Novi reper
PD1	375.1191	Novi reper
PD3	374.3131	Novi reper
PC1	375.2049	Novi reper
PC2	372.1628	Novi reper
PD2	373.4581	Novi reper
PB7	381.3952	Novi reper
PBI	388.2950	Novi reper
PB8	388.8681	Novi reper
PA0	389.7873	Novi reper
PA1	381.1868	Novi reper
PC3	370.2727	Novi reper
PD4	371.9737	Novi reper
PP	372.3395	Novi reper
VII/5	370.8789	Novi reper
VII/4	369.2418	Novi reper
N6A	405.6835	Novi reper
XI/A1	368.2391	Novi reper
PB0	407.6004	Novi reper
PB9	419.1987	Novi reper
PC0	402.5240	Novi reper
PC8	403.3949	Novi reper
PCK	390.8900	Novi reper
PD0	413.7910	Novi reper

Število vseh reperjev = 27
Število danih reperjev = 0
Število novih reperjev = 27

Defekt mreže = 1

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
PEPA	PE2	-0.4296	381.0000
PE2	PE0	-0.7560	87.0000
PE0	PE1	-0.4641	53.0000
PE1	PD1	-0.3107	44.0000
PD1	PD3	-0.8061	79.0000
PD3	PC1	0.8921	136.0000
PC1	PC2	-3.0433	90.0000

PC2	PD2	1.2958	263.0000
PD2	PD1	1.6615	98.0000
PD1	PEPA	1.9604	681.0000
PC1	PB7	6.1924	209.0000
PB7	PBI	6.9020	88.0000
PBI	PB8	0.5742	110.0000
PB8	PA0	0.9210	143.0000
PA0	PA1	-8.6055	117.0000
PA1	PC1	-5.9831	460.0000
PBI	PC8	15.1038	208.0000
PC8	PC0	-0.8690	52.0000
PC0	PCK	-11.6389	230.0000
PCK	PBI	-2.5953	405.0000
PC2	PC3	-1.8901	133.0000
PC3	PD4	1.7030	302.0000
PD4	PP	0.3671	262.0000
PP	VII/5	-1.4624	44.0000
VII/5	VII/4	-1.6376	35.0000
VII/5	PC3	-0.6080	107.0000
PC3	XI/A1	-2.0275	468.0000
XI/A1	PC2	3.9181	541.0000
PE2	PD0	37.1516	378.0000
PD0	PE2	-37.1518	388.0000
PBI	PB0	19.3085	171.0000
PB0	PBI	-19.3103	172.0000
PB0	PB9	11.6039	126.0000
PB9	PB0	-11.6045	129.0000
PC2	N6A	33.5214	275.0000
N6A	PC2	-33.5216	273.0000

Število opazovanj = 36

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.04 %.

ENAAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
		a1	a2	f	
1 PEPA	PE2	1.	-1.	0.0009	2.6247
2 PE2	PE0	1.	-1.	0.0006	11.4943
3 PE0	PE1	1.	-1.	-0.0001	18.8679
4 PE1	PD1	1.	-1.	0.0001	22.7273
5 PD1	PD3	1.	-1.	-0.0001	12.6582
6 PD3	PC1	-1.	1.	-0.0003	7.3529
7 PC1	PC2	1.	-1.	-0.0012	11.1111
8 PC2	PD2	-1.	1.	-0.0005	3.8023
9 PD2	PD1	-1.	1.	-0.0005	10.2041
10 PD1	PEPA	-1.	1.	0.0015	1.4684
11 PC1	PB7	-1.	1.	-0.0021	4.7847
12 PB7	PBI	-1.	1.	-0.0022	11.3636
13 PBI	PB8	-1.	1.	-0.0011	9.0909
14 PB8	PA0	-1.	1.	-0.0018	6.9930
15 PA0	PA1	1.	-1.	-0.0050	8.5470
16 PA1	PC1	1.	-1.	-0.0012	2.1739
17 PBI	PC8	-1.	1.	-0.0039	4.8077
18 PC8	PC0	1.	-1.	0.0019	19.2308
19 PC0	PCK	1.	-1.	-0.0049	4.3478
20 PCK	PBI	1.	-1.	-0.0003	2.4691
21 PC2	PC3	1.	-1.	0.0000	7.5188
22 PC3	PD4	-1.	1.	-0.0020	3.3113
23 PD4	PP	-1.	1.	-0.0013	3.8168
24 PP	VII/5	1.	-1.	-0.0018	22.7273
25 VII/5	VII/4	1.	-1.	-0.0005	28.5714
26 VII/5	PC3	1.	-1.	-0.0018	9.3458
27 PC3	XI/A1	1.	-1.	0.0061	2.1368
28 XI/A1	PC2	-1.	1.	0.0056	1.8484
29 PE2	PD0	-1.	1.	-0.0111	2.6455
30 PD0	PE2	1.	-1.	-0.0113	2.5773

31	PBI	PB0	-1.	1.	-0.0031	5.8480
32	PB0	PBI	1.	-1.	-0.0049	5.8140
33	PB0	PB9	-1.	1.	-0.0056	7.9365
34	PB9	PB0	1.	-1.	-0.0062	7.7519
35	PC2	N6A	-1.	1.	-0.0007	3.6364
36	N6A	PC2	1.	-1.	-0.0009	3.6630

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. op.	Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika
1	PEPA	PE2	-0.4296	0.0000	-0.4296
2	PE2	PE0	-0.7560	0.0000	-0.7560
3	PE0	PE1	-0.4641	0.0000	-0.4641
4	PE1	PD1	-0.3107	0.0000	-0.3107
5	PD1	PD3	-0.8061	0.0000	-0.8061
6	PD3	PC1	0.8921	0.0000	0.8921
7	PC1	PC2	-3.0433	0.0000	-3.0433
8	PC2	PD2	1.2958	0.0000	1.2958
9	PD2	PD1	1.6615	0.0000	1.6615
10	PD1	PEPA	1.9604	0.0000	1.9604
11	PC1	PB7	6.1924	-0.0002	6.1922
12	PB7	PBI	6.9020	-0.0001	6.9019
13	PBI	PB8	0.5742	-0.0001	0.5741
14	PB8	PA0	0.9210	-0.0001	0.9209
15	PA0	PA1	-8.6055	-0.0001	-8.6056
16	PA1	PC1	-5.9831	-0.0004	-5.9835
17	PBI	PC8	15.1038	-0.0001	15.1037
18	PC8	PC0	-0.8690	0.0000	-0.8690
19	PC0	PCK	-11.6389	-0.0002	-11.6391
20	PCK	PBI	-2.5953	-0.0003	-2.5956
21	PC2	PC3	-1.8901	-0.0001	-1.8902
22	PC3	PD4	1.7030	0.0001	1.7031
23	PD4	PP	0.3671	0.0001	0.3672
24	PP	VII/5	-1.4624	0.0000	-1.4624
25	VII/5	VII/4	-1.6376	0.0000	-1.6376
26	VII/4	PC3	-0.6080	0.0000	-0.6080
27	PC3	XI/A1	-2.0275	-0.0002	-2.0277
28	XI/A1	PC2	3.9181	-0.0002	3.9179
29	PE2	PD0	37.1516	0.0001	37.1517
30	PD0	PE2	-37.1518	0.0001	-37.1517
31	PBI	PB0	19.3085	0.0009	19.3094
32	PB0	PBI	-19.3103	0.0009	-19.3094
33	PB0	PB9	11.6039	0.0003	11.6042
34	PB9	PB0	-11.6045	0.0003	-11.6042
35	PC2	N6A	33.5214	0.0001	33.5215
36	N6A	PC2	-33.5216	0.0001	-33.5215

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.00112$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
PEPA	377.0810	-0.0045	377.0765	0.0007
PE2	376.6505	-0.0036	376.6469	0.0005
PE0	375.8939	-0.0030	375.8909	0.0005
PE1	375.4299	-0.0031	375.4268	0.0004
PD1	375.1191	-0.0030	375.1161	0.0004
PD3	374.3131	-0.0031	374.3100	0.0004
PC1	375.2049	-0.0028	375.2021	0.0003
PC2	372.1628	-0.0040	372.1588	0.0003
PD2	373.4581	-0.0035	373.4546	0.0004
PB7	381.3952	-0.0009	381.3943	0.0004
PBI	388.2950	0.0013	388.2963	0.0004
PB8	388.8681	0.0023	388.8704	0.0005

PA0	389.7873	0.0039	389.7912	0.0005
PA1	381.1868	-0.0012	381.1856	0.0005
PC3	370.2727	-0.0040	370.2687	0.0004
PD4	371.9737	-0.0019	371.9718	0.0006
PP	372.3395	-0.0005	372.3390	0.0005
VII/5	370.8789	-0.0023	370.8766	0.0005
VII/4	369.2418	-0.0028	369.2390	0.0006
N6A	405.6835	-0.0032	405.6803	0.0005
XI/A1	368.2391	0.0019	368.2410	0.0006
PB0	407.6004	0.0053	407.6057	0.0005
PB9	419.1987	0.0112	419.2099	0.0006
PC0	402.5240	0.0069	402.5309	0.0006
PC8	403.3949	0.0050	403.3999	0.0006
PCK	390.8900	0.0018	390.8918	0.0006
PD0	413.7910	0.0076	413.7986	0.0007

PRILOGA E: IZRAVNAVA VIŠINSKE GEODETSKE MREŽE

PESJE 2. TERMINSKE IZMERE

Izravnavna Višinske geodetske Mreže
Program: VIM, ver.4.1, nov. 04
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: pesjel.pod
Ime datoteke za rezultate: pesjel.rez
Ime datoteke za deformacijsko analizo: pesjel.def
Ime datoteke za S-transformacijo: pesjel.str

Datum: 9.12.2005
Čas: 17:13:45

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Nadm.viš.	Opomba
PEPA	377.0810	Novi reper
PE2	376.6505	Novi reper
PE0	375.8939	Novi reper
PE1	375.4299	Novi reper
PD1	375.1191	Novi reper
PD3	374.3131	Novi reper
PC1	375.2049	Novi reper
PC2	372.1628	Novi reper
PD2	373.4581	Novi reper
PB7	381.3952	Novi reper
PBI	388.2950	Novi reper
PB8	388.8681	Novi reper
PA0	389.7873	Novi reper
PA1	381.1868	Novi reper
PC3	370.2727	Novi reper
PD4	371.9737	Novi reper
PP	372.3395	Novi reper
VII/5	370.8789	Novi reper
VII/4	369.2418	Novi reper
N6A	405.6835	Novi reper
XI/A1	368.2391	Novi reper
PB0	407.6004	Novi reper
PB9	419.1987	Novi reper
PC0	402.5240	Novi reper
PC8	403.3949	Novi reper
PCK	390.8900	Novi reper
PD0	413.7910	Novi reper

Število vseh reperjev = 27
Število danih reperjev = 0
Število novih reperjev = 27

Defekt mreže = 1

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
PEPA	PE2	-0.4305	376.0000
PE2	PE0	-0.7566	87.0000
PE0	PE1	-0.4640	53.0000
PE1	PD1	-0.3108	45.0000
PD1	PD3	-0.8060	116.0000
PD3	PC1	0.8918	147.0000
PC1	PC2	-3.0421	81.0000

PC2	PD2	1.2953	267.0000
PD2	PD1	1.6605	98.0000
PD1	PE0	0.7748	63.0000
PE0	PE2	0.7560	87.0000
PE2	PEPA	0.4300	378.0000
PC1	PB7	6.1896	200.0000
PB7	PBI	6.8998	99.0000
PBI	PB8	0.5731	111.0000
PB8	PA0	0.9192	141.0000
PA0	PA1	-8.6005	137.0000
PA1	PC1	-5.9802	471.0000
PC2	PC3	-1.8909	198.0000
PC3	PD4	1.7010	293.0000
PD4	PP	0.3658	277.0000
PP	VII/5	-1.4606	22.0000
VII/5	VII/4	-1.6371	50.0000
VII/4	PC3	1.0301	62.0000
PC3	PC2	1.8910	230.0000
PC3	N6A	35.4105	341.0000
N6A	XI/A1	-37.4439	624.0000
XI/A1	PC3	2.0312	456.0000
PBI	PB0	19.3057	174.0000
PB0	PB9	11.5983	127.0000
PB9	PBI	-30.9036	249.0000
PBI	PC0	14.2293	189.0000
PC0	PC8	0.8709	230.0000
PC8	PCK	-12.5049	308.0000
PCK	PD0	22.9010	217.0000
PD0	PE2	-37.1426	348.0000
PE2	PBI	11.6466	556.0000

Število opazovanj = 37

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.04 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
		a1	a2	f	
1 PEPA	PE2	1.	-1.	0.0000	2.6596
2 PE2	PE0	1.	-1.	0.0000	11.4943
3 PE0	PE1	1.	-1.	0.0000	18.8679
4 PE1	PD1	1.	-1.	0.0000	22.2222
5 PD1	PD3	1.	-1.	0.0000	8.6207
6 PD3	PC1	-1.	1.	0.0000	6.8027
7 PC1	PC2	1.	-1.	0.0000	12.3457
8 PC2	PD2	-1.	1.	0.0000	3.7453
9 PD2	PD1	-1.	1.	0.0005	10.2041
10 PD1	PE0	-1.	1.	0.0000	15.8730
11 PE0	PE2	-1.	1.	0.0006	11.4943
12 PE2	PEPA	-1.	1.	0.0005	2.6455
13 PC1	PB7	-1.	1.	0.0007	5.0000
14 PB7	PBI	-1.	1.	0.0000	10.1010
15 PBI	PB8	-1.	1.	0.0000	9.0090
16 PB8	PA0	-1.	1.	0.0000	7.0922
17 PA0	PA1	1.	-1.	0.0000	7.2993
18 PA1	PC1	1.	-1.	0.0017	2.1231
19 PC2	PC3	1.	-1.	-0.0008	5.0505
20 PC3	PD4	-1.	1.	0.0000	3.4130
21 PD4	PP	-1.	1.	0.0000	3.6101
22 PP	VII/5	1.	-1.	0.0000	45.4545
23 VII/5	VII/4	1.	-1.	0.0000	20.0000
24 VII/4	PC3	-1.	1.	0.0008	16.1290
25 PC3	PC2	-1.	1.	-0.0009	4.3478
26 PC3	N6A	-1.	1.	0.0003	2.9326
27 N6A	XI/A1	1.	-1.	0.0005	1.6026
28 XI/A1	PC3	-1.	1.	0.0024	2.1930
29 PBI	PB0	-1.	1.	-0.0003	5.7471

30	PB0	PB9	-1.	1.	0.0000	7.8740
31	PB9	PBI	1.	-1.	0.0001	4.0161
32	PBI	PC0	-1.	1.	-0.0003	5.2910
33	PC0	PC8	-1.	1.	0.0000	4.3478
34	PC8	PCK	1.	-1.	0.0000	3.2468
35	PCK	PD0	-1.	1.	0.0000	4.6083
36	PD0	PE2	1.	-1.	-0.0021	2.8736
37	PE2	PBI	-1.	1.	-0.0021	1.7986

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Popravek viš.razlike	Definitivna viš.razlika	
1	PEPA	PE2	-0.4305	0.0002	-0.4303
2	PE2	PE0	-0.7566	0.0004	-0.7562
3	PE0	PE1	-0.4640	0.0001	-0.4639
4	PE1	PD1	-0.3108	0.0001	-0.3107
5	PD1	PD3	-0.8060	0.0003	-0.8057
6	PD3	PC1	0.8918	0.0004	0.8922
7	PC1	PC2	-3.0421	0.0000	-3.0421
8	PC2	PD2	1.2953	-0.0001	1.2952
9	PD2	PD1	1.6605	0.0000	1.6605
10	PD1	PE0	0.7748	-0.0001	0.7747
11	PE0	PE2	0.7560	0.0002	0.7562
12	PE2	PEPA	0.4300	0.0003	0.4303
13	PC1	PB7	6.1896	0.0003	6.1899
14	PB7	PBI	6.8998	0.0001	6.8999
15	PBI	PB8	0.5731	-0.0002	0.5729
16	PB8	PA0	0.9192	-0.0002	0.9190
17	PA0	PA1	-8.6005	-0.0002	-8.6007
18	PA1	PC1	-5.9802	-0.0008	-5.9810
19	PC2	PC3	-1.8909	0.0000	-1.8909
20	PC3	PD4	1.7010	0.0003	1.7013
21	PD4	PP	0.3658	0.0003	0.3661
22	PP	VII/5	-1.4606	0.0000	-1.4606
23	VII/5	VII/4	-1.6371	0.0001	-1.6370
24	VII/4	PC3	1.0301	0.0001	1.0302
25	PC3	PC2	1.8910	-0.0001	1.8909
26	PC3	N6A	35.4105	0.0005	35.4110
27	N6A	XI/A1	-37.4439	0.0010	-37.4429
28	XI/A1	PC3	2.0312	0.0007	2.0319
29	PBI	PB0	19.3057	-0.0001	19.3056
30	PB0	PB9	11.5983	-0.0001	11.5982
31	PB9	PBI	-30.9036	-0.0002	-30.9038
32	PBI	PC0	14.2293	0.0001	14.2294
33	PC0	PC8	0.8709	0.0002	0.8711
34	PC8	PCK	-12.5049	0.0002	-12.5047
35	PCK	PD0	22.9010	0.0002	22.9012
36	PD0	PE2	-37.1426	0.0002	-37.1424
37	PE2	PBI	11.6466	-0.0012	11.6454

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.00119$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

Reper	Približna višina	Popravek višine	Definitivna višina	Sred.pog. višine
PEPA	377.0810	-0.0011	377.0799	0.0006
PE2	376.6505	-0.0009	376.6496	0.0004
PE0	375.8939	-0.0004	375.8935	0.0004
PE1	375.4299	-0.0004	375.4295	0.0004
PD1	375.1191	-0.0003	375.1188	0.0003
PD3	374.3131	0.0000	374.3131	0.0004
PC1	375.2049	0.0003	375.2052	0.0003
PC2	372.1628	0.0003	372.1631	0.0003
PD2	373.4581	0.0002	373.4583	0.0004

PB7	381.3952	-0.0001	381.3951	0.0004
PBI	388.2950	0.0000	388.2950	0.0004
PB8	388.8681	-0.0002	388.8679	0.0005
PA0	389.7873	-0.0004	389.7869	0.0005
PA1	381.1868	-0.0006	381.1862	0.0006
PC3	370.2727	-0.0005	370.2722	0.0004
PD4	371.9737	-0.0002	371.9735	0.0006
PP	372.3395	0.0001	372.3396	0.0005
VII/5	370.8789	0.0001	370.8790	0.0005
VII/4	369.2418	0.0002	369.2420	0.0005
N6A	405.6835	-0.0003	405.6832	0.0007
XI/A1	368.2391	0.0011	368.2402	0.0008
PB0	407.6004	0.0002	407.6006	0.0005
PB9	419.1987	0.0001	419.1988	0.0005
PC0	402.5240	0.0004	402.5244	0.0005
PC8	403.3949	0.0006	403.3955	0.0006
PCK	390.8900	0.0008	390.8908	0.0007
PD0	413.7910	0.0010	413.7920	0.0006

PRILOGA F: MATRIKA KOFAKTORJEV KOORDINATNIH RAZLIK VIŠINSKE GEODETSKE MREŽE PESJE

Qdd=	0,649096	0,261292	0,195428	0,160824	0,135170	0,068653	-0,022192	-0,034242	0,084088	-0,079630	-0,097247	-0,104675	-0,103567	-0,094065	-0,085923	-0,109177	-0,110250	-0,107967	-0,105599	-0,080554	-0,099563	-0,110922	-0,113924	-0,113565	-0,102844	-0,080669	0,202023
	0,261292	0,326485	0,234018	0,183208	0,144100	0,077582	-0,013263	-0,025313	0,093018	-0,070700	-0,088318	-0,095746	-0,094638	-0,085136	-0,076993	-0,100247	-0,101321	-0,099037	-0,096669	-0,071624	-0,090633	-0,101993	-0,104995	-0,104635	-0,093915	-0,071740	0,267215
	0,195428	0,234018	0,263771	0,208209	0,165135	0,094918	-0,000616	-0,011143	0,112210	-0,065579	-0,086921	-0,092897	-0,089945	-0,078650	-0,062823	-0,086077	-0,087151	-0,084867	-0,082499	-0,057454	-0,076463	-0,100596	-0,103598	-0,106122	-0,098911	-0,081434	0,180058
	0,160824	0,183208	0,208209	0,238444	0,178259	0,106277	0,008508	-0,001292	0,124455	-0,060042	-0,083161	-0,088444	-0,084613	-0,072464	-0,052972	-0,076226	-0,077300	-0,075016	-0,072648	-0,047603	-0,066613	-0,096836	-0,099838	-0,103736	-0,098198	-0,082962	0,131779
	0,135170	0,144100	0,165135	0,178259	0,192582	0,119102	0,019435	0,010252	0,138032	-0,052161	-0,076787	-0,081484	-0,076905	-0,064031	-0,041429	-0,064683	-0,065756	-0,063473	-0,061105	-0,036060	-0,055069	-0,090462	-0,093465	-0,098530	-0,094412	-0,081078	0,094820
	0,068653	0,077582	0,094918	0,106277	0,119102	0,206066	0,058350	0,027794	0,089118	-0,025869	-0,056744	-0,059004	-0,051332	-0,035451	-0,023886	-0,047140	-0,048213	-0,045930	-0,043562	-0,018517	-0,037526	-0,070419	-0,073421	-0,083323	-0,085091	-0,079640	0,037208
	-0,022192	-0,013263	-0,000616	0,008508	0,019435	0,058350	0,125417	0,062928	0,025863	0,025201	-0,013592	-0,012766	-0,001172	0,018518	0,011247	-0,012006	-0,013080	-0,010797	-0,008429	0,016616	-0,002393	-0,027267	-0,030269	-0,046301	-0,055528	-0,060065	-0,042351
	-0,034242	-0,025313	-0,011143	-0,001292	0,010252	0,027794	0,062928	0,148970	0,042392	-0,032091	-0,068311	-0,068488	-0,058168	-0,039716	0,097289	0,074035	0,072962	0,075245	0,077613	0,102658	0,083649	-0,081986	-0,084988	-0,099028	-0,105832	-0,107123	-0,058068
	0,084088	0,093018	0,112210	0,124455	0,138032	0,089118	0,025863	0,042392	0,249974	-0,052022	-0,079761	-0,083244	-0,077124	-0,062752	-0,009288	-0,032542	-0,033615	-0,031332	-0,028964	-0,003919	-0,022928	-0,093436	-0,096438	-0,103913	-0,102727	-0,093320	0,048174
	-0,079630	-0,070700	-0,065579	-0,060042	-0,052161	-0,025869	0,025201	-0,032091	-0,052022	0,235041	0,150137	0,116363	0,083399	0,063865	-0,083771	-0,107025	-0,108099	-0,105815	-0,103447	-0,078402	-0,097411	0,136462	0,133460	0,107591	0,086393	0,065826	-0,081676
	-0,097247	-0,088318	-0,086921	-0,083161	-0,076787	-0,056744	-0,013592	-0,068311	-0,079761	0,150137	0,230615	0,181223	0,128163	0,090818	-0,119991	-0,143245	-0,144319	-0,142035	-0,139667	-0,114622	-0,133631	0,216940	0,213938	0,183200	0,156076	0,127574	-0,090328
	-0,104675	-0,095746	-0,092897	-0,088444	-0,081484	-0,059004	-0,012766	-0,068488	-0,083244	0,116363	0,181223	0,330507	0,248773	0,185707	-0,120168	-0,143422	-0,144495	-0,142212	-0,139844	-0,114799	-0,133808	0,167548	0,164545	0,135706	0,110892	0,085483	-0,101251
	-0,103567	-0,094638	-0,089945	-0,084613	-0,076905	-0,051332	-0,001172	-0,058168	-0,077124	0,083399	0,128163	0,248773	0,414197	0,318120	-0,109849	-0,133102	-0,134176	-0,131893	-0,129525	-0,104480	-0,123489	0,114488	0,111486	0,085057	0,063178	0,041698	-0,104583
	-0,094065	-0,085136	-0,078650	-0,072464	-0,064031	-0,035451	0,018518	-0,039716	-0,062752	0,063865	0,090818	0,185707	0,318120	0,446246	-0,091396	-0,114650	-0,115723	-0,113440	-0,111072	-0,086027	-0,105036	0,077143	0,074140	0,050055	0,031026	0,013364	-0,099394
	-0,085923	-0,076993	-0,062823	-0,052972	-0,041429	-0,023886	0,011247	0,097289	-0,009288	-0,083771	-0,119991	-0,120168	-0,109849	-0,091396	0,269521	0,246267	0,245194	0,247477	0,249845	0,157380	0,201377	-0,133666	-0,136669	-0,150709	-0,157512	-0,158803	-0,109749
	-0,109177	-0,100247	-0,086077	-0,076226	-0,064683	-0,047140	-0,012006	0,074035	-0,032542	-0,107025	-0,143245	-0,143422	-0,133102	-0,114650	0,246267	0,568511	0,341489	0,316031	0,297590	0,134126	0,178123	-0,156920	-0,159922	-0,173963	-0,180766	-0,182057	-0,133003
	-0,110250	-0,101321	-0,087151	-0,077300	-0,065756	-0,048213	-0,013080	0,072962	-0,033615	-0,108099	-0,144319	-0,144495	-0,134176	-0,115723	0,245194	0,341489	0,448471	0,398234	0,360119	0,133052	0,177049	-0,157994	-0,160996	-0,175036	-0,181839	-0,183131	-0,134076
	-0,107967	-0,099037	-0,084867	-0,075016	-0,063473	-0,045930	-0,010797	0,075245	-0,031332	-0,105815	-0,142035	-0,142212	-0,131893	-0,113440	0,247477	0,316031	0,398234	0,410603	0,370925	0,135336	0,179333	-0,155710	-0,158713	-0,172753	-0,179556	-0,180847	-0,131793
	-0,105599	-0,096669	-0,082499	-0,072648	-0,061105	-0,043562	-0,008429	0,077613	-0,028964	-0,103447	-0,139667	-0,139844	-0,129525	-0,111072	0,249845	0,297590	0,360119	0,370925	0,412696	0,137704	0,181701	-0,153342	-0,156345	-0,170385	-0,177188	-0,178479	-0,129425
	-0,080554	-0,071624	-0,057454	-0,047603	-0,036060	-0,018517	0,016616	0,102658	-0,003919	-0,078402	-0,114622	-0,114799	-0,104480	-0,086027	0,157380	0,134126	0,133052	0,135336	0,137704	0,558916	0,253167	-0,128297	-0,131300	-0,145340	-0,152143	-0,153434	-0,104380
	-0,099563	-0,090633	-0,076463	-0,066613	-0,055069	-0,037526	-0,002393	0,083649	-0,022928	-0,097411	-0,133631	-0,133808	-0,123489	-0,105036	0,201377	0,178123	0,177049	0,179333	0,181701	0,253167	0,719112	-0,147306	-0,150309	-0,164349	-0,171152	-0,172443	-0,123389
	-0,110922	-0,101993	-0,100596	-0,096836	-0,090462	-0,070419	-0,027267	-0,081986	-0,093436	0,136462	0,216940	0,167548	0,114488	0,077143	-0,133666	-0,156920	-0,157994	-0,155710	-0,153342	-0,128297	-0,147306	0,407967	0,364786	0,169525	0,142401	0,113899	-0,104003
	-0,113924	-0,104995	-0,103598	-0,099838	-0,093465	-0,073421	-0,030269	-0,084988	-0,096438	0,133460	0,213938	0,164545	0,111486	0,074140	-0,136669	-0,159922	-0,160996	-0,158713	-0,156345	-0,131300	-0,150309	0,364786	0,483022	0,166523	0,139399	0,110897	-0,107005
	-0,113565	-0,104635	-0,106122	-0,103736	-0,098530	-0,083323	-0,046301	-0,099028	-0,103913	0,107591	0,183200	0,135706	0,085057	0,050055	-0,150709	-0,173963	-0,175036	-0,172753	-0,170385	-0,145340	-0,164349	0,169525	0,166523	0,486155	0,394029	0,297962	-0,064115
	-0,102844	-0,093915	-0,098911	-0,098198	-0,094412	-0,085091	-0,055528	-0,105832	-0,102727	0,086393	0,156076	0,110892	0,063178	0,031026	-0,157512	-0,180766	-0,181839	-0,179556	-0,177188	-0,152143	-0,171152	0,142401	0,139399	0,394029	0,546673	0,369183	-0,001637
	-0,080669	-0,071740	-0,081434	-0,082962	-0,081078	-0,079640	-0,060065	-0,107123	-0,093320	0,065826	0,127574	0,085483	0,041698	0,013364	-0,158803	-0,182057	-0,183131	-0,180847	-0,178479	-0,153434	-0,172443	0,113899	0,110897	0,297962	0,369183	0,631495	0,089848
	0,202023	0,267215	0,180058	0,131779	0,094820	0,037208	-0,042351	-0,058068	0,048174	-0,081676	-0,090328	-0,101251	-0,104583	-0,099394	-0,109749	-0,133003	-0,134076	-0,131793	-0,129425	-0,104380	-0,123389	-0,104003	-0,107005	-0,064115	-0,001637	0,089848	0,669102