

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Štefančič, R., 2016. Analiza stabilnosti točk v horizontalni geodetski mreži odlagališča Jazbec. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kogoj, D, somentor Ambrožič, T.): 73 str.

Datum arhiviranja: 08-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Štefančič, R., 2016. Analiza stabilnosti točk v horizontalni geodetski mreži odlagališča Jazbec. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kogoj, D., co-supervisor Ambrožič, T.): 73 pp.

Archiving Date: 08-08-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GEODEZIJA
SMER GEODEZIJA

Kandidat:

ROK ŠTEFANČIČ

**ANALIZA STABILNOSTI TOČK V HORIZONTALNI
GEODETSKI MREŽI ODLAGALIŠČA JAZBEC**

Diplomska naloga št.: 988/G

**STABILITY ANALYSIS OF THE HORIZONTAL
GEODETIC NETWORK AT THE TAILINGS DISPOSAL
SITE JAZBEC**

Graduation thesis No.: 988/G

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Ljubljana,, 26. 07. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Rok Štefančič, vpisna številka 26201603, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Analiza stabilnosti točk v horizontalni geodetski mreži odlagališča Jazbec

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 12.7.2016

Podpis študenta:

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.2/.4:622'17(497.4)(043.2)
- Avtor:** Rok Štefančič
- Mentor:** izr. prof. dr. Dušan Kogoj
- Somentor:** izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
- Naslov:** Analiza stabilnosti točk v horizontalni geodetski mreži odlagališča Jazbec
- Tip dokumenta:** diplomska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 73 str., 34 pregl., 16 sl., 74 en., 5 pril.
- Ključne besede:** deformacijska analiza, metoda Hannover, statistično značilen premik, odlagališče Jazbec

Izvelek

V nalogi je obravnavana horizontalna geodetska mreža za nadzor stabilnosti odlagališča rudarske jalovine Jazbec. Najprej so na kratko predstavljena osnovna načela zasnove mrež in geodetske metode za merjenje premikov in deformacij. Sledi opis postopka deformacijske analize po metodi Hannover. Predstavljen je tudi postopek testiranja značilnosti premikov, v katerem kot testno statistiko uporabimo razmerje med premikom in njegovo natančnostjo. Osrednji del naloge predstavlja izvedba deformacijske analize za osnovne točke v horizontalni mreži Jazbec. Izvedli smo jo na osnovi meritev, opravljenih v sedmih terminskih izmerah. Obravnavali smo pare zaporednih izmer ter pare ničelne in posamezne kasnejše izmere. Ugotovljena je bila nestabilnost osnovnih točk S5 in S4 ter nekateri manjši premiki drugih osnovnih točk. V zadnjem delu naloge so izračunani premiki nestabilnih osnovnih točk in točk na objektu pri različno definiranim geodetskem datumu. Premiki so tudi grafično predstavljeni.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 528.2/.4:622'17(497.4)(043.2)
- Author:** Rok Štefančič
- Supervisor:** Assoc. Prof. Dušan Kogoj, Ph.D.
- Cosupervisor:** Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.
- Title:** Stability Analysis of the Horizontal Geodetic Network at the Tailings Disposal Site Jazbec
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 73 p., 34 tab., 16 fig., 74 eq., 5 ann.
- Keywords:** deformation analysis, Hannover approach, statistically significant displacement

Abstract

In this thesis the horizontal geodetic network, established for deformation monitoring of the tailings disposal site Jazbec, is discussed. In the first section, basic principles of network design and geodetic methods for measurement of displacements and deformations are briefly presented. Afterwards, the procedure of Hannover approach to deformation analysis is described. The procedure for testing point displacement, that use the ratio between the displacement's size and its accuracy as a test statistic, is also explained. In the middle section, the deformation analysis for reference points of the network Jazbec is carried out. The data that is used, was collected in seven epochs. Instability of reference points S5, S4 and some minor statistically significant displacements of some other reference points are identified. In the last section, the displacements of unstable reference and object points are calculated and statistically tested. The displacements are also graphically presented.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Dušanu Kogoju in somentorju izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču za spodbude, strokovne nasvete, ves trud in čas, ki sta mi ga posvetila ob pisanju naloge.

Zahvaljujem se zaposlenim v podjetju Rudnik Žirovski vrh za prijazno pomoč ob ogledu geodetske mreže Jazbec.

Hvala tudi vsem domačim za podporo in razumevanje ob nastajanju naloge.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Tema diplomske naloge.....	1
1.2	Cilj naloge.....	2
2	UGOTAVLJANJE PREMICOV IN DEFORMACIJ.....	3
2.1	Premiki in deformacije.....	3
2.2	Metode merjenja premikov in deformacij.....	3
2.3	Geodetske mreže za merjenje premikov in deformacij.....	4
2.4	Ugotavljanje premikov na osnovi geodetskih meritev.....	5
3	TEORETIČNE OSNOVE ANALIZE STABILNOSTI TOČK V GEODETSKI MREŽI	7
3.1	Deformacijska analiza po metodi Hannover.....	7
3.1.1	Obdelava posameznih terminskih izmer.....	8
3.1.1.1	Odkrivanje grobih pogreškov.....	8
3.1.1.2	Posredna izravnava meritev po metodi najmanjših kvadratov.....	9
3.1.1.3	Eliminacija koordinatnih neznank neidentičnih točk.....	14
3.1.2	Test homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer.....	15
3.1.2.1	Porazdelitev F	16
3.1.3	Globalni test stabilnosti mreže.....	17
3.1.4	Test stabilnosti osnovnih točk.....	18
3.1.5	Identifikacija nestabilnih osnovnih točk.....	20
3.1.6	Preverjanje premikov točk na objektu.....	22
3.1.7	Določitev premikov nestabilnih točk.....	23
3.2	Statistično testiranje premikov (program Premik).....	23
3.2.1	Izračun premika in njegove variance.....	23
3.2.2	Definiranje testne statistike.....	24
3.2.3	Določitev porazdelitvene funkcije testne statistike.....	25
3.2.4	Testiranje značilnosti premikov.....	27
4	GEODETSKA MREŽA ZA NADZOR STABILNOSTI ODLAGALIŠČA JAZBEC..	28
4.1	Vrsta in oblika opazovalne mreže Jazbec.....	28
4.2	Stabilizacija točk horizontalne mreže Jazbec.....	30
4.3	Metoda izmere.....	32
4.4	Instrumentarij.....	32
5	ANALIZA STABILNOSTI OSNOVNIH TOČK V HORIZONTALNI MREŽI JAZBEC PO METODI HANNOVER.....	34
5.1	Obdelava terminskih izmer.....	34

5.1.1	Pregled terminskih izmer	34
5.1.2	Izravnava proste mreže in odkrivanje grobih pogrškov.....	36
5.1.3	Izravnava posameznih terminskih izmer.....	38
5.1.4	Eliminacija popravkov približnih vrednosti koordinatnih neznank neidentičnih točk. 40	
5.1.5	Statistični testi deformacijske analize	40
5.1.5.1	Hipoteze v statističnih testih deformacijske analize po metodi Hannover.....	41
5.1.5.2	Primerjava izmer 2009 in 2009_1	42
5.1.5.3	Primerjava izmer 2009_1 in 2010	43
5.1.5.4	Primerjava izmer 2010 in 2011	45
5.1.5.5	Primerjava izmer 2011 in 2013	46
5.1.5.6	Primerjava izmer 2013 in 2014	47
5.1.5.7	Primerjava izmer 2014 in 2015	48
5.1.5.8	Obravnava rezultatov primerjave zaporednih izmer	50
5.1.5.9	Primerjava izmer 2009 in 2010	52
5.1.5.10	Primerjava izmer 2009 in 2011.....	53
5.1.5.11	Primerjava izmer 2009 in 2013.....	54
5.1.5.12	Primerjava izmer 2009 in 2014.....	56
5.1.5.13	Primerjava izmer 2009 in 2015.....	57
5.1.5.14	Obravnava rezultatov kumulativne primerjave izmer glede na ničelno izmero	59
6	IZRAČUN PREMIKOV NESTABILNIH OSNOVNIH IN DETAJLNIH TOČK.....	62
7	ZAKLJUČEK.....	70
VIRI	72

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Točke horizontalne mreže Jazbec (Kogoj et al., 2009; 11)	30
Preglednica 2: Natančnost uporabljenih preciznih tahimetrov	33
Preglednica 3: Osnovni podatki o terminskih izmerah	34
Preglednica 4: Podatki o meritvah v prvih dveh izmerah po ukinitvi povezav na 4 točke osnovne rudniške mreže	36
Preglednica 5: Morebitni grobi pogreški po danski metodi	36
Preglednica 6: Primerjava vrednosti izravnanih koordinat in položajnih pogreškov v izravnavi brez posameznih izločenih meritev in v izravnavi vseh meritev	37
Preglednica 7: Pregledni podatki o izravnavi terminskih izmer	39
Preglednica 8: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2009_1	43
Preglednica 9: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2009_1	43
Preglednica 10: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009_1 in 2010	44
Preglednica 11: Nestabilni osnovni točki med izmerama 2009_1 in 2010	44
Preglednica 12: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2010 in 2011	45
Preglednica 13: Nestabilni osnovni točki med izmerama 2010 in 2011	46
Preglednica 14: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2011 in 2013	47
Preglednica 15: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2011 in 2013	47
Preglednica 16: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2013 in 2014	48
Preglednica 17: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2013 in 2014	48
Preglednica 18: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2014 in 2015	49
Preglednica 19: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2014 in 2015	49
Preglednica 20: Ugotovitve o stabilnosti točk med posameznimi izmerami	51
Preglednica 21: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2010	53
Preglednica 22: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2010	53
Preglednica 23: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2011	54
Preglednica 24: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2011	54
Preglednica 25: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2013	55
Preglednica 26: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2013	55
Preglednica 27: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2014	56
Preglednica 28: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2014	57
Preglednica 29: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2015	58
Preglednica 30: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2015	58
Preglednica 31: Ugotovitve o stabilnosti točk med posamezno in ničelno izmero	60
Preglednica 32: Število statistično značilnih premikov na točkah 7SJ, S1, S2 in S3 glede na izbor danih točk	65
Preglednica 33: Horizontalni premiki točk v mreži Jazbec pri danih točkah 8PO in S2	66
Preglednica 34: Horizontalni premiki točk v mreži Jazbec pri danih točkah 8PO, 7SJ in S3	68

KAZALO SLIK

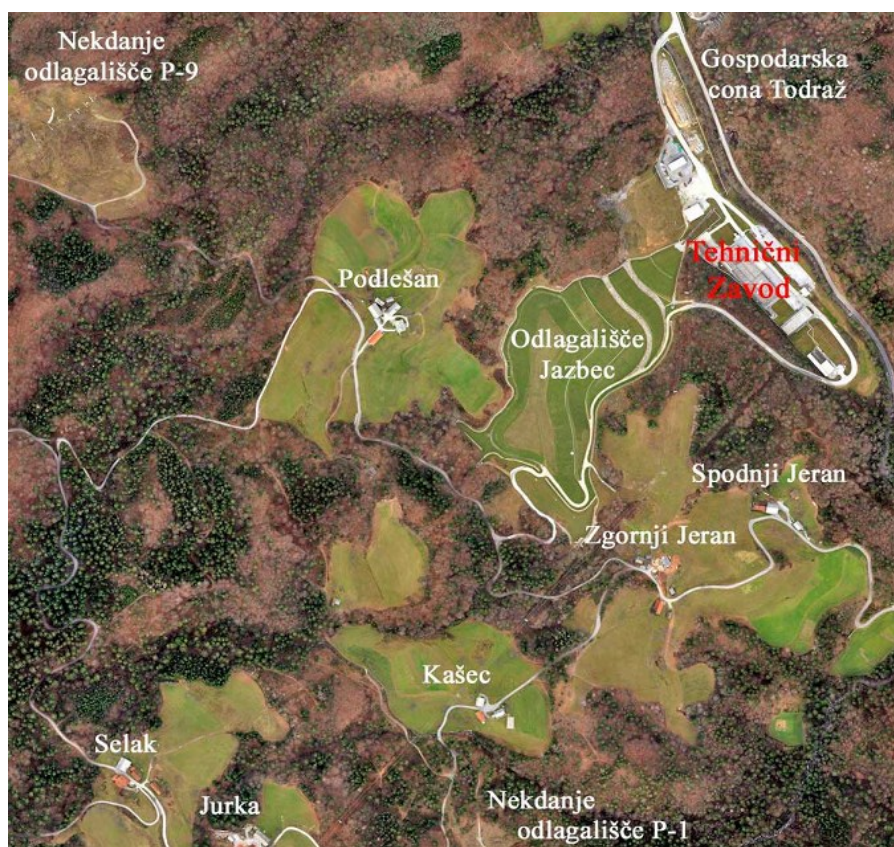
Slika 1: Posnetek odlagališča rudarske jalovine Jazbec in ostalih objektov (Agencija za radioaktivne odpadke, 2016)	1
Slika 2: Graf funkcije gostote verjetnosti porazdelitve F za različne vrednosti prostostnih stopenj.....	17
Slika 3: Spodnji del odlagališča z brežinami (levo), pogled na zgornji plato (desno)	28
Slika 4: Osnovna triangulacijsko–trilateracijska mreža Jazbec.....	29
Slika 5: Stabilizacija opazovalnih stebrov (Kogoj et al., 2009; 14)	31
Slika 6: Stabilizacija talne vezne točke VT1 (Kogoj et al., 2009; 16).....	31
Slika 7: Stabilizacija kontrolnih točk (Kogoj et al., 2009; 15)	31
Slika 8: Prvotna mreža jalovišča Jazbec.....	35
Slika 9: Premiki točk med posameznimi izmerami, določeni s programom DAH.....	50
Slika 10: Premiki točk med posamezno in ničelno izmero, določeni s programom DAH	59
Slika 11: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S3.....	63
Slika 12: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in 7SJ	63
Slika 13: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S2.....	64
Slika 14: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S1.....	64
Slika 15: Premiki točk v mreži, ko so dane točke 8PO, 7SJ in S3	67
Slika 16: Premiki točk v mreži, ko so dane točke 8PO, S2 in S3	67

1 UVOD

1.1 Tema diplomske naloge

V času delovanja rudnika urana Žirovski vrh sta bili poleg manjših začasnih odlagališč jalovine in odpadkov iz predelave uranove rude zasnovani dve veliki odlagališči: Jazbec in Boršt. Ker jalovina in ostanki predelave še vedno vsebujejo nekaj radioaktivnega urana, jih uvrščamo med nizko radioaktivne odpadke. Pri ravnanju z njimi je zato potrebno upoštevati ukrepe za varstvo pred sevanji (Mele, 2003).

Odlagališče rudarske jalovine Jazbec, kratko jalovišče Jazbec, leži v bližini Gorenje vasi, v grapi ob potoku Jazbec. Pred odlaganjem, ki se je začelo leta 1980, so uredili odvodnjavanje izvirov in drenažo za pretok vode po grapi. Po tem je bilo do zaprtja rudnika na površini 4,5 ha odloženega 1,9 milijona ton materiala (predvsem jalovine in rdečega blata v izmeničnih plasteh). Med letoma 2004 in 2008 je bila izvedena sanacija odlagališča. Njeni glavni cilji so bili zmanjšanje naklona brežin, prekritje z 2 m debelim prekrivnim slojem, ureditev odvodnjavanja, preprečitev izhajanja radona, preprečitev izpiranja urana in tudi vzpostavitev pogojev za spremljanje stabilnosti odlagališča (Rudnik urana Žirovski vrh, 2016).



Slika 1: Posnetek odlagališča rudarske jalovine Jazbec in ostalih objektov (Agencija za radioaktivne odpadke, 2016)

Za spremljanje stabilnosti jalovišča je bil pripravljen projekt vzpostavitve geodetske mreže s teoretičnimi izhodišči o obliki mreže, o načinu stabilizacije geodetskih točk in o predvidenih meritvah v njej. Jeseni leta 2008 so bile na podlagi tega projekta stabilizirane točke, ki materializirajo geodetsko mrežo Jazbec. Novo vzpostavljena mreža vključuje tudi točke osnovne geodetske mreže rudnika Žirovski vrh. Sestavljena je iz dveh delov: osnovne triangulacijsko-trilateracijske mreže za spremljanje horizontalnih in vertikalnih premikov točk na brežinah odlagališča in iz dopolnilne nivelmanske mreže za spremljanje poseđanj najvišjega ravninskega predela odlagališča (Kogoj et al., 2009). V tej mreži je bilo do letos (2016) opravljenih 7 (ničelna in 6 sledečih) izmer za spremljanje stabilnosti objekta.

Ker so pričakovane velikosti premikov majhne, je bila s projektom postavljena zahteva po visoki natančnosti določitve položajev točk – II. stopnja natančnosti (Kogoj et al., 2009). Za doseg tega cilja je potrebno izpolniti vrsto pogojev, kot so: optimalna konfiguracija geodetske mreže, ustrezen način stabilizacije osnovnih in kontrolnih točk, izbor ustreznih metod merjenja, uporaba ustreznega instrumentarija, upoštevanje zunanjih vplivov...

Na ta način pridobljene meritve ustrezne natančnosti je v nadaljevanju potrebno obdelati (upoštevati ustrezne popravke) in izravnati v okviru ustreznih funkcionalnih in stohastičnih modelov izravnave. Za odkrivanje in določanje premikov točk sledi postopek statistične analize, ki se imenuje deformacijska analiza.

1.2 Cilj naloge

Opraviti želimo deformacijsko analizo v mreži Jazbec po postopku Hannover za naslednje kombinacije terminskih izmer:

- šest parov zaporednih izmer in
- šest parov ničelne in posamezne kasnejše izmere.

Zanimali nas bodo samo horizontalni premiki točk, zato se bomo osredotočili na dvodimenzionalno (horizontalno) mrežo. Za omenjene pare izmer bomo po predhodni izravnavi posamezne terminske izmere kot proste mreže in po preračunu mreže na identični datum izvedli skupno statistično analizo. Ta se začne s testiranjem homogenosti natančnosti obeh terminskih izmer, sledi globalni test stabilnosti točk med izmerama in nato testiranje stabilnosti osnovnih točk. V naslednjem koraku sledi določitev nestabilnih osnovnih točk in njihova izločitev iz skupine stabilnih točk. Sledi še določitev premikov (sprememb koordinat) nestabilnih osnovnih točk. Poleg razlage teoretičnega ozadja postopka je naš namen tabelarična in grafična predstavitev rezultatov analize ter njihova obravnava.

Po določitvi stabilnih osnovnih točk bomo mrežo izravnali kot vklopljeno na te točke (pri različnih kombinacijah danih točk). Nato bomo izračunali premike nestabilnih osnovnih in detajlnih točk. Rezultate bomo zopet predstavili grafično in v preglednicah.

2 UGOTAVLJANJE PREMIKOV IN DEFORMACIJ

2.1 Premiki in deformacije

Ena od odgovornejših pa tudi zahtevnejših nalog geodezije je prav gotovo spremljanje premikov in deformacij zgrajenih in naravnih objektov. To je nujno predvsem z vidika zagotavljanja varnosti in uporabnosti objektov pa tudi ukrepanja za preprečitev večjih škod. Premiki in deformacije lahko nastanejo na (Savšek et al., 2010):

- zgrajenih objektih večjih razsežnosti (mostovi, vodne pregrade, prometnice) in v njihovi vplivni okolici in
- na naravnih območjih kot posledica delovanja tektonskih sil ali lokalnih premikov zemeljske površine (plazenje, ugrezanje, posedanje).

Povezavo med izrazoma premik in deformacija lahko opredelimo takole: premiki posameznih točk objekta povzročijo spremembo položaja objekta v prostoru, deformacija pa je sprememba oblike telesa zaradi vpliva zunanjih sil.

Deformacije lahko po učinku na objekt delimo na (Savšek Safić, 2002):

- elastične: To so reverzibilne, običajno ciklične spremembe oblike objekta. Po prenehanju delovanja zunanjih sil objekt zavzame prvotno obliko in prostornino. Primer so deformacije jeklenih in armiranobetonskih konstrukcij zaradi različnih obremenitev in vplivov (npr. temperaturnih).
- plastične: Običajno nastajajo postopno in so trajne (ireverzibilne). Objekt trajno spremeni svojo obliko, prostornino in izgled. Pojavljajo se na naravnih objektih (npr. poteh, nasipih) in se kažejo kot posedanje, plazenje...

2.2 Metode merjenja premikov in deformacij

Pri določanju premikov (predvsem geotehničnih) objektov se postopki delijo na dve stopnji natančnosti, ki sta odvisni od velikosti pričakovanih premikov (Savšek et al., 2010):

- I. stopnja natančnosti: premiki velikosti 2 cm – 10 cm,
- II. stopnja natančnosti: premiki velikosti 5 mm – 2 cm.

Glede na uporabljen instrumentarij lahko metode merjenja premikov in deformacij delimo na:

- geodetske merske metode in
- fizikalne merske metode.

Fizikalne merske metode temeljijo na merjenju mehanskih in električnih količin. Uporabljajo se posebni mehanski, elektronski in optični instrumenti kot so npr. inklinometri ali ekstenziometri, ki so vgrajeni v objekt in omogočajo določanje relativnih premikov.

Nas bolj zanimajo geodetske merske metode za ugotavljanje premikov in deformacij. Te so običajno absolutne, kar pomeni, da z njimi določamo premike v nekem koordinatnem sistemu, ki je določen izven obravnavanega objekta in je zato neodvisen od sprememb na njem. Spodnja predstavitev geodetskih metod je povzeta po Savšek et al., 2010.

Geodetske metode lahko najprej razdelimo na postopke kontaktne izmere in postopke brezkontaktne izmere. Med slednje sodijo fotogrametrične metode, lasersko skeniranje in metode daljinskega zaznavanja.

Kontaktne metode se delijo na:

- metode terestrične izmere in
- metode izmere GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem).

Metode terestrične izmere omogočajo:

- določitev vertikalnih premikov: geometrični nivelman in trigonometrično višinomerstvo (slednje le za I. stopnjo natančnosti),
- določitev horizontalnih premikov: triangulacija, trilateracija, kombinirana in poligonometrija (slednja le za I. stopnjo natančnosti).

Metode izmere GNSS omogočajo določitev prostorskih premikov. Za II. stopnjo natančnosti se uporablja le statična metoda, za I. stopnjo pa še hitra statična in kinematična metoda.

2.3 Geodetske mreže za merjenje premikov in deformacij

Pri spremljanju objektov s kontrolnimi meritvami smo primorani v dve vrsti poenostavitvev. Prva, prostorska, pomeni, da objekt predstavimo s končnim številom ustrezno izbranih točk. Tako dobimo geometrijski model objekta, ki mora omogočati spremljanje realne slike dogajanja na njem. Druga pa je poenostavitev v časovnem smislu, kar pomeni, da najpogosteje namesto kontinuiranega spremljanja izvajamo posamezne izmere na vnaprej določene časovne intervale.

Glavni dejavnik, ki ga je potrebno upoštevati pri projektiranju geodetske mreže za ugotavljanje premikov in deformacij, je prav gotovo zahtevana natančnost določitve položaja točk. Ta je odvisna predvsem od pričakovane velikosti premikov, pa tudi od potencialne nevarnosti zaradi pojava deformacij.

Seveda pa je pri projektiranju kontrolne mreže potrebno upoštevati še vrsto drugih med seboj povezanih parametrov, ki so (Ašanin, 1986):

- zahtevana natančnost določitve položaja točk oz. natančnost določitve premikov,
- značilnosti obravnavanega objekta (vrsta, velikost, namen in lokacija),
- predvidena natančnost merjenih količin,
- optimizacija procesa merjenja (ustrezna metoda in instrumentarij),
- položaj značilnih (kontrolnih) točk objekta,
- položaj osnovnih točk,
- način stabilizacije točk,
- občutljivost mreže,
- natančnost in zanesljivost mreže,
- način izravnave mreže,
- testiranje hipotez in podobno.

Za doseg optimalne geometrije mreže, vključno z vrsto in številom predvidenih meritev, si pri projektiranju pomagamo s simulacijo meritev in z na tak način izračunano predhodno oceno natančnosti.

2.4 Ugotavljanje premikov na osnovi geodetskih meritev

Osnova za ugotavljanje premikov objekta je določitev spremembe položajev točk na tem objektu. To pomeni, da primerjamo koordinate točk v najmanj dveh terminskih izmerah. Enostavne ocene o tem, ali gre dejansko za premike ali ne, temeljijo na razmerju med spremembo koordinat točk in natančnostjo določitve te spremembe. Ta ocena je običajno nezanesljiva, zato se v geodeziji poslužujemo statističnih testov, s katerimi ugotavljamo ti. statistično značilnost premikov (Savšek-Safić et al., 2003).

Za pridobitev zanesljivejših informacij o premikih v kompleksnejših geodetskih mrežah so se razvili različni postopki statistične analize rezultatov obdelave geodetskih meritev, ki jih na kratko označujemo z izrazom deformacijska analiza. Čeprav so bile izražene težnje po poenotenju teh postopkov, do tega ni prišlo. Tako so raziskovalni centri, ki so bili vključeni v skupino za poenotenje, pravzaprav razvili svoje metode, ki so po teh centrih tudi dobile ime (Savšek-Safić, 2002):

- metoda Hannover (razvil H. Pelzer),
- metoda Delft (J. van Mierlo in J. J. Kok),
- metoda Fredericton (A. Chrzanovski, Y. Q. Chen in J. Secord),
- metoda Karlsruhe (K. R. Koch, B. Heck, E. Kuntz in B. Meier–Hirmer) in
- metoda München (W. Welsch).

Poleg teh sta na bivšem jugoslovanskem območju svoji metodi razvila avtorja Ašanin in Mihailović.

Vsaka od metod predstavlja nekoliko drugačen pristop k določevanju stabilnih in nestabilnih točk ter premikov (drugačen matematični model, drugačni statistični testi...). Kot zanimivost naj omenimo, da metoda Karlsruhe za razliko od drugih vključuje skupno izravnavo meritev dveh terminskih izmer. Izstopa tudi metoda Mihailovića, ki ne predvideva izravnave proste mreže, pač pa temelji ravno na stabilnosti koordinatnega sistema, ki se določi na osnovi minimalnega števila datumskih parametrov. Metoda poišče najverjetnejšo stabilno točko, glede na katero se izračunajo relativni premiki (Savšek-Safić, 2002).

3 TEORETIČNE OSNOVE ANALIZE STABILNOSTI TOČK V GEODETSKI MREŽI

3.1 Deformacijska analiza po metodi Hannover

Osnovni princip deformacijske analize Hannover je preverjanje skladnosti koordinat točk, izračunanih z izravnavo dveh terminskih izmer v geodetski mreži. Vsaka terminska izmera se izravna neodvisno pod predpostavko, da v meritvah ni prisotnih grobih in sistematičnih pogreškov oz. da so v meritvah vsebovani zgolj slučajni pogreški, ki so normalno porazdeljeni. Izravnavo posamezne izmere se izvede po metodi najmanjši kvadratov ob dodatnem pogoju, da je vsota kvadratov popravkov približnih koordinat točk najmanjša možna (Mihailović, Aleksić, 1994). V izravnavi obeh terminskih izmer uporabimo iste približne koordinate točk. Temeljni pojem te metode je srednje neujemanje, ki je ocena za referenčno varianco in ga uporabimo v statističnih testih o stabilnosti mreže in o stabilnosti posameznih osnovnih točk (Ašanin, 1986). Pred izračunom srednjega neujemanja vektor koordinatnih razlik in pripadajočo matriko kofaktorjev delimo na posamezne dele (podvektorje in podmatrike), da ločimo vpliv posamezne skupine točk na njegovo vrednost.

Dobra lastnost te metode je, da ne zahteva enakega plana meritev v obeh izmerah (nujna nista niti ista vrsta niti enako število meritev). V obeh izmerah lahko nastopajo tudi neidentične točke, ki pa jih moramo pred samo analizo eliminirati (Ašanin, 1986).

Izvedbo deformacijske analize lahko razčlenimo na naslednje korake (Ambrožič, 1996, Mihailović, Aleksić, 2008):

- obdelava posameznih terminskih izmer (odkrivanje grobih pogreškov, izravnavo, preračun vektorja popravkov približnih vrednosti koordinat in pripadajoče matrike kofaktorjev na datum identičnih točk),
- test homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer,
- globalni test stabilnosti mreže,
- test stabilnosti osnovnih točk,
- identifikacija nestabilnih osnovnih točk,
- preverjanje premikov točk na objektu,
- izračun vektorja sprememb koordinat nestabilnih točk (premik točk v smeri koordinatnih osi).

3.1.1 Obdelava posameznih terminskih izmer

3.1.1.1 Odkrivanje grobih pogreškov

Temeljna izhodišča odkrivanja grobih pogreškov med meritvami so povzeta po Grigillo, Stopar, 2003. Preverjanje prisotnosti grobih pogreškov opravimo s pomočjo predhodne analize meritev in na osnovi rezultatov izravnave. S predhodno analizo je mišljeno preverjanje pogojev, ki izhajajo iz geometrijskih ali fizikalnih lastnosti obravnavane mreže oz. meritev v njej. Preverjanje pogojev med meritvami je priporočljivo predvsem zaradi dejstva, da se v postopku izravnave vpliv grobo pogrešene meritve razlije tudi na preostale meritve (predvsem tiste v bližini grobo pogrešene meritve). Zato je iskanje grobih pogreškov po izravnavi težavnejše.

Za iskanje grobih pogreškov na osnovi rezultatov izravnave se je izoblikovalo nekaj sistematičnih pristopov, ki v večini primerov temeljijo na statističnih testih. Te metode so:

- Baardova metoda (»Data Snooping«): Najprej se izvede globalni test modela, sledi preverjanje in morebitno popraviljanje uteži meritev, izračun in testiranje standardiziranih popravkov ter lociranje grobega pogreška z upoštevanjem meril občutljivosti mreže (število nadštevilnosti).
- Popeova metoda (»Data Screening«): Metoda se uporablja, kadar podatki o natančnosti meritev in referenčna varianca a priori niso zanesljivi. Ne izvedemo globalnega testa modela, pri testiranju standardiziranega popravka, ki je izračunan na osnovi referenčne variance a posteriori, upoštevamo pa, da je ta porazdeljen drugače kot pri Baardovi metodi (porazdelitev τ).
- danska metoda: Ker smo to metodo uporabili pri naših izračunih, se nam zdi prav, da jo predstavimo tudi z izrazi. Za razliko od zgoraj naštetih metod ne temelji na statističnem testiranju, pač pa je osnovni princip iterativni preračun uteži meritev kot funkcije popravkov meritev. Za izračun nove uteži meritve na osnovi uteži in popravka v predhodni iteraciji izravnave uporabimo zvezo (Ambrožič, 1996):

$$p_{k+1} = p_k f(v_k), \quad k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

kjer je:

$$f(v_k) = \begin{cases} 1 & \text{za } \frac{|v_k| \sqrt{p_1}}{\hat{\sigma}_0} < c \\ e^{-\left(\frac{|v_k| \sqrt{p_1}}{c \hat{\sigma}_0}\right)} & \text{za } \frac{|v_k| \sqrt{p_1}}{\hat{\sigma}_0} \geq c \end{cases} \quad (2)$$

k je indeks iteracije, c pa konstanta, ki jo izberemo (običajno med 2 in 3). Grobo pogrešene meritve tako dobijo utež blizu ali enako 0. Za takšne meritve imamo dve možnosti: pred ponovno izravnavo jih odstranimo ali pa obdržimo vse meritve z utežmi iz zadnje iteracije določitve uteži.

3.1.1.2 Posredna izravnava meritev po metodi najmanjših kvadratov

Vrednosti neznank v geodetski mreži, ki so najpogosteje koordinate točk, izračunamo na osnovi v njej merjenih količin. V geodetskih mrežah je praviloma število meritev večje od minimalnega potrebnega števila meritev, zato moramo za pridobitev enolične ocene za vse spremenljivke v mreži uporabiti metodo najmanjših kvadratov, ki temelji na zahtevi minimalne vsote kvadratov popravkov meritev.

Dejansko stanje v geodetski mreži predstavimo z matematičnim modelom, ki ga sestavljajo funkcijske in verjetnostne povezave med spremenljivkami, vključenimi v model (Grigillo, Stopar, 2003). Matematični model tako delimo na funkcionalni in stohastični model.

Funkcionalni model vključuje (Savšek-Safić, 2002):

- matematične zveze med meritvami in neznankami,
- določitev datuma mreže.

Stohastični model vključuje predpostavke o statističnih lastnostih spremenljivk, ki so vključene v funkcionalni model. Torej ga predstavljajo kovariančne matrice meritev, popravkov meritev in neznank.

Osnova funkcionalnega modela so enačbe meritev, ki povezujejo posamezno meritev z neznankami v mreži. V primeru 2D triangulacijsko-trilateracijske mreže nastopata naslednji obliki enačb meritev:

- za merjeno dolžino:

$$d_{ij} - \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} = 0, \quad (3)$$

- za merjeno horizontalno smer:

$$r_{ij} - \arctg\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right) + o_i = 0. \quad (4)$$

Z razvojem v Taylorjevo vrsto, opustitvijo členov druge in višjih stopenj ter z uvedbo približnih vrednosti neznank in popravkov približnih vrednosti neznank enačbi (3) in (4) lineariziramo. Če v linearizirani enačbi na levi strani ohranimo samo popravek meritve, preostale člene pa prenesemo na desno stran enačbe, dobimo naslednjo obliko enačb popravkov meritev:

- dolžina:

$$v_{dij} = -\frac{\Delta y_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta y_i - \frac{\Delta x_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta x_i + \frac{\Delta y_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta y_j + \frac{\Delta x_{ij}^0}{d_{ij}^0} \delta x_j + d_{ij}^0 - d_{ij}, \quad (5)$$

- horizontalna smer:

$$v_{rij} = -\frac{\Delta x_{ij}^0}{(d_{ij}^0)^2} \delta y_i + \frac{\Delta y_{ij}^0}{(d_{ij}^0)^2} \delta x_i + \frac{\Delta x_{ij}^0}{(d_{ij}^0)^2} \delta y_j - \frac{\Delta y_{ij}^0}{(d_{ij}^0)^2} \delta x_j - \delta o_i + r_{ij}^0 - r_{ij}, \quad (6)$$

kjer so:

d_{ij} ... merjena dolžina med točko i in j ,

r_{ij} ... merjena horizontalna smer med točko i in j ,

o_i ... orientacijski kot na točki i ,

v_{dij} ... popravek merjene dolžine,

v_{rij} ... popravek merjene horizontalne smeri,

$\delta y_i, \delta x_i, \delta y_j, \delta x_j$... popravki približnih vrednosti koordinat točk,

δo_i ... popravek približne vrednosti orientacijske neznanke,

$\Delta y_{ij}^0 = y_j^0 - y_i^0$... koordinatna razlika, izračunana iz približnih vrednosti koordinat v smeri y ,

$\Delta x_{ij}^0 = x_j^0 - x_i^0$... koordinatna razlika, izračunana iz približnih vrednosti koordinat v smeri x ,

$d_{ij}^0 = \sqrt{(\Delta y_{ij}^0)^2 + (\Delta x_{ij}^0)^2}$... dolžina, izračunana iz približnih vrednosti koordinat točk,

$r_{ij}^0 = \arctg\left(\frac{\Delta y_{ij}^0}{\Delta x_{ij}^0}\right) - o_i^0$... horizontalna smer, izračunana iz približnih vrednosti koordinat točk,

$y_i^0, x_i^0, y_j^0, x_j^0$... približne vrednosti koordinat točke i in j ,

o_i^0 ... približna vrednost orientacijske neznanke.

Če enačbe popravkov zapišemo v matrični obliki, dobimo (Savšek-Safić, 2002):

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{f}, \quad (7)$$

kjer so:

\mathbf{v} ... vektor popravkov meritev,

\mathbf{A} ... matrika koeficientov enačb popravkov,

$\hat{\mathbf{x}}$... vektor popravkov približnih vrednosti neznanek,

$\mathbf{f} = \mathbf{l}_0 - \mathbf{l}$... vektor prostih členov,

\mathbf{l}_0 ... vektor približnih vrednosti meritev, izračunan iz približnih vrednosti koordinat točk,

\mathbf{l} ... vektor meritev.

Tu je potrebno opozoriti na razvrstitev posameznih koordinat v vektorju popravkov približnih vrednosti neznank. Tu in za vse nadaljnje izraze velja, da je ta vektor oblike:

$$\hat{\mathbf{x}} = [\delta y_1 \quad \delta x_1 \quad \delta y_2 \quad \delta x_2 \quad \dots \quad \delta y_m \quad \delta x_m]^T, \quad (8)$$

kjer je m je število vseh novih točk v mreži.

Za deformacijsko analizo moramo pridobiti vektor neznank, ki vsebuje samo koordinatne neznanke, in takšnemu vektorju pripadajočo matriko kofaktorjev neznank. Orientacijske neznanke moramo pred izravnavo izločiti po eni od metod (npr. Gaußov postopek). To storimo tako, da sestavimo reducirane enačbe popravkov in dobimo matriko \mathbf{A} z ustreznimi spremenjenimi koeficienti.

Stohastični model definiramo s kovariančno matriko meritev:

$$\Sigma_{\parallel} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\parallel} = \sigma_0^2 \mathbf{P}_{\parallel}^{-1} \quad (9)$$

kjer so:

Σ_{\parallel} ... kovariančna matrika meritev,

\mathbf{Q}_{\parallel} ... matrika kofaktorjev meritev,

\mathbf{P}_{\parallel} ... matrika uteži meritev,

σ_0^2 ... referenčna varianca a priori.

Po metodi najmanjših kvadratov (ob pogoju $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min$), dobimo normalne enačbe, ki so naslednje oblike:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P}_{\parallel} \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} + \mathbf{A}^T \mathbf{P}_{\parallel} \mathbf{f} = 0 \quad (10)$$

oz. na kratko:

$$\mathbf{N} \hat{\mathbf{x}} + \mathbf{n} = 0, \quad (11)$$

kjer je \mathbf{N} matrika koeficientov normalnih enačb.

Vektor popravkov približnih vrednosti neznank v primeru nesingularne matrike \mathbf{N} izračunamo z navadno inverzijo te matrike:

$$\hat{\mathbf{x}} = -\mathbf{N}^{-1}\mathbf{n}. \quad (12)$$

Vektor popravkov meritev nato izračunamo po enačbi (7), vektor izravnanih vrednosti meritev $\hat{\mathbf{I}}$ pa po zvezi:

$$\hat{\mathbf{I}} = \mathbf{I} + \mathbf{v}. \quad (13)$$

Za matriko kofaktorjev neznank velja:

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{N}^{-1}. \quad (14)$$

V primeru deformacijske analize mrežo izravnamo kot prosto, kar pomeni, da vse točke obravnavamo kot nove. Vse točke so torej podane s približnimi koordinatami, ki v izravnavi (vse) dobijo popravke (Ambrožič, 1996). V prosti mreži tako nimamo določenega geodetskega datuma oz. je ta poddoločen.

Geodetski datum predstavljajo parametri, ki jih potrebujemo za določitev enoličnih položajev točk v geodetski mreži. Čeprav imamo v mreži nadštevilne meritve, so te notranje, kar pomeni, da omogočajo določitev le relativnih (medsebojnih) položajev točk. Za enolično določitev lege, oblike, velikosti in orientacije v 2D mreži potrebujemo 4 datumske parametre, ki definirajo zasuk, premik vzdolž osi y , premik vzdolž osi x in merilo. Če so v mreži merjene tudi dolžine, te določajo merilo mreže in ostanejo nedoločeni le še trije datumski parametri (Marjetič, Stopar, 2007).

Zaradi poddoločenosti geodetskega datuma je matrika normalnih enačb \mathbf{N} singularna, z defektom ranga, ki je enak defektu geodetskega datuma. Sistema normalnih enačb ne moremo rešiti z navadno inverzijo matrike \mathbf{N} , lahko pa ga rešimo na druge načine. Ena od možnosti je razcep matrike \mathbf{N} po singularnih vrednostih (razcep SVD) (Ambrožič, 1996).

Druga možnost je definiranje geodetskega datuma z notranjimi vezmi med neznankami. Predstavitev tega načina je povzeta po Marjetič, Stopar, 2007.

Notranje vezi morajo v 2D mreži zagotoviti:

- da se mreža v povprečju ne premakne,
- da se mreža v povprečju ne zasuka in
- da se velikost merila mreže v povprečju ne spremeni.

Vezne enačbe, ki zagotavljajo izpolnitev naštetih pogojev, matematično lahko izpeljemo iz pogoja, da je vsota kvadratov popravkov približnih koordinat točk najmanjša možna: $\hat{\mathbf{x}}^T \hat{\mathbf{x}} = \min$.

Prvo zahtevo, da se mreža v povprečju ne premakne, lahko zapišemo tudi:

$$\sum_{i=1}^m \delta y_i = 0, \quad \sum_{i=1}^m \delta x_i = 0, \quad (15)$$

m je število vseh točk.

Drugo zahtevo, da se mreža v povprečju ne zasuka, lahko zapišemo:

$$\sum_{i=1}^m (x_i^0 \delta y_i - y_i^0 \delta x_i) = 0. \quad (16)$$

Tretjo zahtevo, da se velikost mreže v povprečju ne spremeni, zapišemo tudi:

$$\sum_{i=1}^m (y_i^0 \delta y_i + x_i^0 \delta x_i) = 0. \quad (17)$$

Enačbe (14), (15) in (16) v matrični obliki zapišemo:

$$\mathbf{H}^T \hat{\mathbf{x}} = 0, \quad (18)$$

kjer je $\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ x_1^0 & -y_1^0 & x_2^0 & -y_2^0 & \dots & x_m^0 & -y_m^0 \\ y_1^0 & x_1^0 & y_2^0 & x_2^0 & \dots & y_m^0 & x_m^0 \end{bmatrix}$ in $\hat{\mathbf{x}}$ vektor popravkov približnih vrednosti samo

koordinatnih neznank.

V primeru kombinirane (triangulacijsko-trilateracijske) mreže imamo merjene dolžine, zato je določeno merilo mreže in četrta vrstica v matriki \mathbf{H}^T odpade. Defekt ranga mreže in matrike \mathbf{N} je v tem primeru enak $d = 3$.

Vektor popravkov približnih vrednosti neznank v primeru definiranja geodetskega datuma z notranjimi vezmi izračunamo, kot je zapisano v enačbi (11), le da matriko \mathbf{N}^{-1} nadomestimo z matriko \mathbf{N}^+ , ki je oblike:

$$\mathbf{N}^+ = (\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H}\mathbf{H}^T \quad (19)$$

Za matriko kofaktorjev neznank sedaj velja:

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{N}^+. \quad (20)$$

3.1.1.3 Eliminacija koordinatnih neznank neidentičnih točk

Za primerjavo dveh terminskih izmer po metodi Hannover moramo v prvem koraku izračunati vektor koordinatnih neznank identičnih točk, njemu pripadajočo matriko kofaktorjev in referenčno varianco a posteriori za vsako od terminskih izmer. Če v obravnavanih izmerah nimamo vključenih le identičnih točk, moramo neidentične izločiti. Pri tem je potrebno upoštevati, da v prosti mreži datum določajo vse v izravnavo vključene točke. Če te niso v obeh izmerah identične, se rezultati izravnave posamezne izmere nanašajo na različna datuma. Zato moramo te rezultate preračunati na mrežo, v kateri datum določajo le identične točke (Ambrožič, 1996).

To lahko storimo na dva načina. Prva možnost je eliminacija koordinatnih neznank neidentičnih točk že med samo izravnavo posamezne terminske izmere. Osnovni princip je razdelitev vektorja koordinatnih neznank na dva dela – na vektor koordinatnih neznank identičnih točk in na vektor koordinatnih neznank neidentičnih točk. Tako dobimo dva podsistema normalnih enačb, ki oba vsebujeta vektor neznank identičnih točk in vektor neznank neidentičnih točk. Če iz enega izrazimo vektor neznank neidentičnih točk in ga vstavimo v drugega, dobimo normalne enačbe za samo identične točke, kar je bil tudi naš namen.

Bolj pogost način je uporaba transformacije S. Oznaka S izhaja iz angleške besede Similarity, kar pomeni, da gre za podobnostno linearno transformacijo. Ta temelji na predpostavki, da se koordinatni sistemi, med katerimi izvajamo transformacijo, zelo malo razlikujejo (Marjetič, Stopar, 2007). Za deformacijsko analizo Hannover moramo rezultate izravnave posamezne terminske izmere preračunati na prosto mrežo, v kateri datum določa k identičnih točk. Potrebujemo torej transformacijsko matriko \mathbf{S}_k , ki poljubno rešitev transformira v rešitev, za katero velja, da je samo za k identičnih točk $\hat{\mathbf{x}}_k^T \hat{\mathbf{x}}_k = \min$. To matriko izračunamo z izrazom (Ašanin, 1986):

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{E}_k \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{E}_k, \quad (21)$$

kjer so:

\mathbf{S}_k ... matrika transformacije S velikosti $2m \times 2m$,

\mathbf{I} ... enotska matrika,

\mathbf{E}_k ... matrika velikosti $2m \times 2m$, ki ima izvendiagonalne člene enake 0, na diagonali pa vrednost 1 na mestih, ki pripadajo koordinatam k identičnih točk (na diagonali je $2k$ enic).

Vektor neznank in matriko kofaktorjev transformiramo:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \mathbf{S}_k \hat{\mathbf{x}}, \quad (22)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_k} = \mathbf{S}_k \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{S}_k^T. \quad (23)$$

3.1.2 Test homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer

Prvi korak v deformacijski analizi Hannover je testiranje homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer. Če pridemo do zaključka, da natančnost obeh izmer ni homogena, nadaljnjih korakov sploh ne izvajamo. Izrazi v nadaljevanju so povzeti po Ambrožič, 2001.

Homogenost natančnosti dveh izmer preizkušamo s testom enakosti referenčnih varianc obeh izmer. Uporabimo naslednjo ničelno in alternativno hipotezo:

$$H_0 : E(\hat{\sigma}_{0_1}^2) = E(\hat{\sigma}_{0_2}^2) = \sigma_0^2 \quad \text{natančnost meritev dveh izmer je homogena,} \quad (24)$$

$$H_1 : E(\hat{\sigma}_{0_1}^2) \neq E(\hat{\sigma}_{0_2}^2) \neq \sigma_0^2 \quad \text{natančnost meritev dveh izmer ni homogena.} \quad (25)$$

Tvorimo testno statistiko:

$$T = \frac{\hat{\sigma}_{0_1}^2}{\hat{\sigma}_{0_2}^2} \text{ za } \hat{\sigma}_{0_1}^2 > \hat{\sigma}_{0_2}^2 \text{ oz. } T = \frac{\hat{\sigma}_{0_2}^2}{\hat{\sigma}_{0_1}^2} \text{ za } \hat{\sigma}_{0_2}^2 > \hat{\sigma}_{0_1}^2, \quad (26)$$

ki je v primeru pravilnosti ničelne hipoteze porazdeljena po porazdelitvi F s f_1 in f_2 prostostnimi stopnjami, kjer je:

$f_i = n_i - u_i + d_i$... število nadštevilnih meritev v posamezni izmeri,

n_i ... število meritev,

u_i ... število koordinatnih neznank,

d_i ... defekt datuma oz. defekt ranga matrike \mathbf{N}_i v posamezni izmeri.

Testno statistiko T primerjamo s kritično vrednostjo pri stopnji značilnosti testa α . Če velja $T \leq F_{f_1, f_2, 1-\alpha/2}$, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Če velja $T > F_{f_1, f_2, 1-\alpha/2}$, potem ničelno hipotezo zavrnemo in sprejmemo alternativno hipotezo. V slednjem primeru s stopnjo značilnosti α trdimo, da natančnost obeh izmer ni homogena.

Na tem mestu velja pripomniti, da običajno za test hipoteze o razmerju med variancama uporabimo dvostranski test (Turk, 2012). Tu pa smo z izrazom (26) dvostranski test prevedli na enostranski test, ki ima po Ašaninu (1986) večjo jakost. Jakost testa je verjetnost, da zavrnemo ničelno hipotezo, ko je ta v resnici napačna.

Če ničelne hipoteze (24) ne zavrnamo, izračunamo novo oceno za referenčno varianco a posteriori (njeno enotno vrednost iz obeh terminskih izmer) z izrazom:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_{11} \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_{12} \mathbf{v}_2}{f_1 + f_2} = \frac{f_1 \hat{\sigma}_{0_1}^2 + f_2 \hat{\sigma}_{0_2}^2}{f}, \quad (27)$$

kjer je $f = f_1 + f_2$ skupno število nadštevilnih meritev v obeh izmerah.

3.1.2.1 Porazdelitev F

V pravkar omenjenem testu in tudi v testih v naslednjih korakih deformacijske analize je v primeru pravilnosti ničelne hipoteze predvidena porazdelitev testne statistike porazdelitev F (Fisher–Snedecorjeva porazdelitev). Zato je primerno, da tu povemo nekaj več o njej.

Pojavlja se v primeru preizkušanja hipotez o razmerju med variancama dveh populacij (Turk, 2012): Recimo, da se dve slučajni spremenljivki X in Y porazdeljujeta normalno z neznanima standardnima deviacijama σ_X in σ_Y . Če iz vzorcev slučajnih spremenljivk X in Y izračunamo vzorčni varianci S_X^2 in S_Y^2 , potem se izraz

$$F = \frac{S_X^2 / \sigma_X^2}{S_Y^2 / \sigma_Y^2} \quad (28)$$

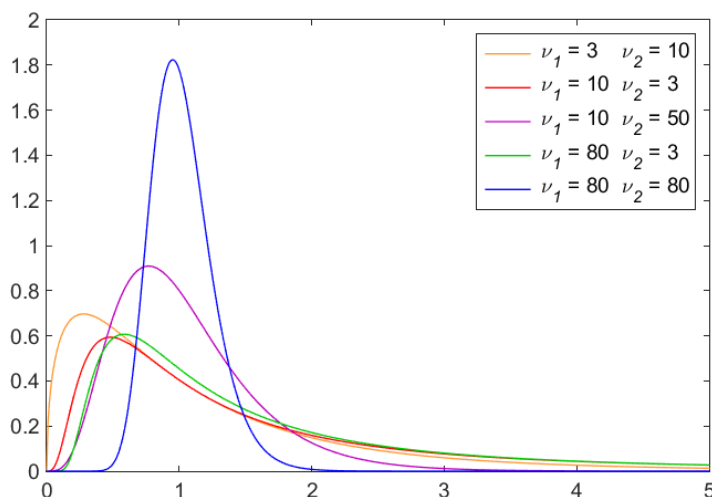
porazdeljuje po porazdelitvi F z ν_X in ν_Y prostostnimi stopnjami. Če vzorčni varianci S_X^2 in S_Y^2 računamo iz vzorcev velikosti n in m , velja: $\nu_X = n - 1$ in $\nu_Y = m - 1$. Ničelna hipoteza je običajno oblike $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2$, zato se tudi testna statistika

$$F = \frac{S_X^2}{S_Y^2} \quad (29)$$

porazdeljuje po porazdelitvi F z ν_X in ν_Y prostostnimi stopnjami.

Naj zgornje trditve in izraze razložimo za primer geodetskih meritev in njihove izravnave po metodi najmanjših kvadratov: Za geodetske meritve predpostavimo, da so normalno porazdeljene. Vzorčna varianca je v primeru izravnave referenčna varianca a posteriori, število prostostnih stopenj pa število nadštevilnih meritev. V testih deformacijske analize Hannover, ki so opisani v nadaljevanju, pa vzorčno varianco predstavlja tudi srednje neujemanje, izračunano za vse ali določeno skupino točk.

Izraza za funkcijo gostote verjetnosti porazdelitve F ne bomo navajali, je pa na sliki 2 prikazan njen graf za različne vrednosti prostostnih stopenj.



Slika 2: Graf funkcije gostote verjetnosti porazdelitve F za različne vrednosti prostostnih stopenj

3.1.3 Globalni test stabilnosti mreže

Ta test se imenuje tudi test skladnosti oz. kongruence mreže. S pojmom skladnosti je mišljena stabilnost točk v mreži, kar pomeni, da testiramo, ali so točke obdržale svoj položaj v obdobju med dvema terminskima izmerama. Če so točke obdržale svoj položaj in so torej stabilne, se morajo njihove koordinate v dveh izmerah ujemati v mejah natančnosti merjenih količin (Mihailović, Aleksić, 2008). Spodnji izrazi so povzeti po Ambrožič, 1996.

Stabilnost točk mreže ugotavljamo s testiranjem naslednje ničelne hipoteze:

$$H_0 : E(\hat{\mathbf{x}}_1) = E(\hat{\mathbf{x}}_2) \text{ oz. } E(\mathbf{d}) = 0 \quad \text{koordinate točk mreže se med izmerama niso spremenile, (30)}$$

proti alternativni hipotezi:

$$H_1 : E(\hat{\mathbf{x}}_1) \neq E(\hat{\mathbf{x}}_2) \text{ oz. } E(\mathbf{d}) \neq 0 \quad \text{koordinate točk mreže so se med izmerama spremenile, (31)}$$

kjer je:

$\hat{\mathbf{x}}_1$... vektor izravnanih koordinat točk predhodne izmere,

$\hat{\mathbf{x}}_2$... vektor izravnanih koordinat točk tekoče izmere,

$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1$... vektor koordinatnih razlik.

Izračunati moramo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik:

$$\mathbf{Q}_{dd} = \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_2} + \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_1}, \quad (32)$$

kjer je:

$\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_1} = (\mathbf{A}_1^T \mathbf{P}_{l_1} \mathbf{A}_1)^+ = \mathbf{N}_1^+ \dots$ psevdoinverzija matrike koeficientov normalnih enačb predhodne izmere,

$\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_2} = (\mathbf{A}_2^T \mathbf{P}_{l_2} \mathbf{A}_2)^+ = \mathbf{N}_2^+ \dots$ psevdoinverzija matrike koeficientov normalnih enačb tekoče izmere.

Na osnovi vektorja koordinatnih razlik in pripadajoče matrike kofaktorjev, izračunamo novo oceno θ^2 za referenčno varianco, ki je neodvisna od referenčne variance a posteriori $\hat{\sigma}_0^2$:

$$\theta^2 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{h}, \quad (33)$$

kjer je:

\mathbf{Q}_{dd}^+ ... psevdoinverzija matrike kofaktorjev koordinatnih razlik,

$h = \text{rang } \mathbf{Q}_{dd} = u - d$.

Ocena θ^2 vsebuje informacijo o premikih točk, zato se imenuje srednje neujemanje. θ^2 primerjamo z referenčno varianco a posteriori $\hat{\sigma}_0^2$, ki smo jo izračunali z izrazom (26). Testna statistika je oblike

$$T = \frac{\theta^2}{\hat{\sigma}_0^2} \quad (34)$$

in je v primeru pravilnosti ničelne hipoteze porazdeljena po porazdelitvi F s h in f prostostnimi stopnjami.

Testno statistiko T primerjamo s kritično vrednostjo pri stopnji značilnosti testa α . Če velja $T \leq F_{h,f,1-\alpha}$, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Če velja $T > F_{h,f,1-\alpha}$, potem ničelno hipotezo zavrnemo in sprejmemo alternativno hipotezo. V tem primeru s stopnjo značilnosti α trdimo, da koordinate točk v obeh izmerah niso skladne oz. da so v mreži tudi nestabilne točke.

3.1.4 Test stabilnosti osnovnih točk

Če s testom (31) ugotovimo, da imamo v mreži nestabilne točke, z nadaljnjim testiranjem preverjamo, če so nestabilne tudi katere od osnovnih točk. Najprej izvedemo (globalni) test stabilnosti osnovnih točk. Osnovna ideja je izračun in testiranje srednjega neujemanja samo za osnovne točke. Zaradi tega točke v mreži razdelimo na skupino osnovnih točk in skupino točk na objektu. (Za točke na objektu včasih

uporabljamo tudi izraza detajlne točke ali kontrolne točke.) Za izračun srednjega neujemanja samo za osnovne točke moramo vektor koordinatnih razlik in matriko kofaktorjev koordinatnih razlik razdeliti na dele, ki vsebujejo informacije samo za osnovne točke in ločeno informacije samo za točke na objektu. Postopek je povzet po Ambrožič, 2001 in Mihailović, Aleksić, 2008.

Postavimo ničelno in alternativno hipotezo:

$$H_0 : E(\mathbf{d}_s) = 0 \quad \text{koordinate osnovnih točk se med izmerama niso spremenile,} \quad (35)$$

$$H_1 : E(\mathbf{d}_s) \neq 0 \quad \text{koordinate osnovnih točk so se med izmerama spremenile.} \quad (36)$$

Vektor koordinatnih razlik razdelimo na dva dela:

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_s \\ \mathbf{d}_o \end{bmatrix}, \quad (37)$$

kjer je \mathbf{d}_s vektor koordinatnih razlik osnovnih točk in \mathbf{d}_o vektor koordinatnih razlik točk na objektu. Ustrezno tej delitvi razdelimo tudi inverzno matriko matrike kofaktorjev koordinatnih razlik (to je matriko uteži) na podmatrike:

$$\mathbf{Q}_{dd}^+ = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{ss} & \mathbf{P}_{so} \\ \mathbf{P}_{os} & \mathbf{P}_{oo} \end{bmatrix}. \quad (38)$$

Kvadratno formo $\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}$, ki nastopa v izrazu (33), lahko razstavimo na dve statistično neodvisni podformi:

$$\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d} = \mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s + \bar{\mathbf{d}}_o^T \mathbf{P}_{oo} \bar{\mathbf{d}}_o, \quad \text{kjer je} \quad (39)$$

$$\bar{\mathbf{d}}_o = \mathbf{d}_o + \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{os} \mathbf{d}_s \quad \text{in} \quad (40)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{ss} = \mathbf{P}_{ss} - \mathbf{P}_{so} \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{os}. \quad (41)$$

Prva podforma $\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s$ se nanaša na neujemanje osnovnih točk, druga $\bar{\mathbf{d}}_o^T \mathbf{P}_{oo} \bar{\mathbf{d}}_o$ pa na neujemanje točk na objektu.

Srednje neujemanje samo za osnovne točke izračunamo analogno izrazu (33):

$$\theta_s^2 = \frac{\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s}{h_s}, \quad (42)$$

kjer je $h_s = \text{rang } \bar{\mathbf{P}}_{ss}$.

Testna statistika

$$T = \frac{\theta_s^2}{\hat{\sigma}_0^2} \quad (43)$$

je v primeru pravilnosti ničelne hipoteze porazdeljena po porazdelitvi F s h_s in f prostostnimi stopnjami.

Testno statistiko T primerjamo s kritično vrednostjo pri stopnji značilnosti testa α . Če velja $T \leq F_{h_s, f, 1-\alpha}$, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Če velja $T > F_{h_s, f, 1-\alpha}$, potem ničelno hipotezo zavrnemo in sprejmemo alternativno hipotezo. V tem primeru s stopnjo značilnosti α trdimo, da koordinate osnovnih točk v dveh izmerah niso skladne oz. da imamo v mreži tudi nestabilne osnovne točke.

3.1.5 Identifikacija nestabilnih osnovnih točk

Če smo v prejšnjem koraku prišli do zaključka, da imamo v mreži nestabilne osnovne točke, je potrebno ugotoviti, katere so te točke. Postopek določitve nestabilnih osnovnih točk je povzet po Ambrožič, 2001.

Najprej vektor koordinatnih razlik osnovnih točk \mathbf{d}_s razdelimo na dva dela:

$$\mathbf{d}_s = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix}, \quad (44)$$

kjer je \mathbf{d}_B vektor koordinatnih razlik osnovne točke, za katero preverjamo, ali se je premaknila, in \mathbf{d}_F vektor preostalih osnovnih točk, ki so pogojno stabilne. Vektor \mathbf{d}_B tako v 2D mreži vsebuje 2 člena (2 koordinati ene točke).

Ustrezno tej delitvi razdelimo tudi matriko $\bar{\mathbf{P}}_{ss}$ iz izraza (41) na podmatrike:

$$\bar{\mathbf{P}}_{ss} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FB} \\ \mathbf{P}_{BF} & \mathbf{P}_{BB} \end{bmatrix}. \quad (45)$$

Kvadratno formo $\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s$, ki nastopa v izrazu (42), lahko podobno kot v izrazu (39) razstavimo na dve statistično neodvisni podformi:

$$\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s = \mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F + \bar{\mathbf{d}}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B, \quad (46)$$

kjer je: $\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F$ in $\bar{\mathbf{P}}_{FF} = \mathbf{P}_{FF} - \mathbf{P}_{FB} \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF}$.

Druga podforma se nanaša na neujemanje osnovne točke, za katero preverjamo, ali se je premaknila, prva pa na neujemanje preostalih pogojno stabilnih osnovnih točk.

Za vsako osnovno točko izračunamo srednje neujemanje:

$$\theta_j^2 = \frac{\bar{\mathbf{d}}_{B_j}^T \mathbf{P}_{BB_j} \bar{\mathbf{d}}_{B_j}}{h_B} \quad (j = 1, 2, \dots, k), \quad (47)$$

kjer je $h_B = \text{rang } \bar{\mathbf{P}}_{BB_j}$ (za 2D mrežo je $h_B = 2$) in k število osnovnih točk.

Za izračun srednjega neujemanja za vsako od k osnovnih točk moramo torej z ustreznim premeščanjem koordinatnih razlik in uteži k -krat pridobiti vektor $\bar{\mathbf{d}}_B$ in matriko \mathbf{P}_{BB} . Za izračun θ_1^2 postaneta koordinatni razliki prve osnovne točke komponenti vektorja \mathbf{d}_B , koordinatne razlike ostalih $(k - 1)$ osnovnih točk pa postanejo komponente vektorja \mathbf{d}_F . Za izračun θ_2^2 postaneta koordinatni razliki druge osnovne točke komponenti vektorja \mathbf{d}_B , koordinatne razlike ostalih osnovnih točk, vključno s prvo, pa postanejo komponente vektorja \mathbf{d}_F . Tako postopamo vse do k -te točke.

V množici k vrednosti za θ_j^2 poiščemo največje ($\theta_{\max}^2 = \max \theta_j^2$), in točko, na katero se θ_{\max}^2 nanaša, izločimo iz skupine stabilnih osnovnih točk in prestavimo v skupino nestabilnih točk oz. točk na objektu.

Nato sledi test ničelne hipoteze, da se koordinate preostalih pogojno stabilnih osnovnih točk niso spremenile. Ničelna in alternativna hipoteza sta smiselno prirejeni hipotezi (35) in (36). Najprej izračunamo »preostalo« srednje neujemanje za $(k - 1)$ preostalih pogojno stabilnih osnovnih točk:

$$\theta_{REST}^2 = \frac{\mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F}{h_F}, \quad (48)$$

kjer je $h_F = \text{rang } \bar{\mathbf{P}}_{FF}$ (za 2D mrežo velja v prvem koraku $h_F = h - 2$).

Testna statistika

$$T = \frac{\theta_{REST}^2}{\hat{\sigma}_0^2} \quad (49)$$

je v primeru pravilnosti ničelne hipoteze porazdeljena po porazdelitvi F s h_F in f prostostnimi stopnjami.

Testno statistiko T primerjamo s kritično vrednostjo pri stopnji značilnosti testa α . Če velja $T \leq F_{h_F, f, 1-\alpha}$, potem ničelne hipoteze, da se koordinate preostalih osnovnih točk niso spremenile, ne moremo zavrniti. Če velja $T > F_{h_F, f, 1-\alpha}$, potem ničelno hipotezo zavrnemo in sprejmemo alternativno hipotezo, da je med preostalimi $(k - 1)$ osnovnimi točkami vsaj še ena nestabilna. V tem primeru postopek, ki ga opisujejo izrazi od (41) do (46), izvedemo še enkrat za preostalimi $(k - 1)$ osnovnih točk in izločimo naslednjo nestabilno osnovno točko. To ponavljamo, vse dokler ni izpolnjen pogoj $T \leq F_{h_F, f, 1-\alpha}$. Takrat so stabilne osnovne točke ločene od preostalih točk mreže.

3.1.6 Preverjanje premikov točk na objektu

Sedaj končno lahko določimo premike točk na objektu. Vektor koordinatnih razlik \mathbf{d} razdelimo na dva dela (Ambrožič, 2001, Ašanin, 1986):

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_O \end{bmatrix}, \quad (50)$$

kjer vektor \mathbf{d}_F vsebuje koordinatne razlike stabilnih (v prejšnjem koraku določenih) osnovnih točk in vektor \mathbf{d}_O koordinatne razlike točk na objektu in nestabilnih osnovnih točk. Razdelimo tudi matriko \mathbf{P}_{dd} :

$$\mathbf{Q}_{dd}^+ = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FO} \\ \mathbf{P}_{OF} & \mathbf{P}_{OO} \end{bmatrix}. \quad (51)$$

Izračunamo srednje neujemanje samo za točke na objektu in nestabilne osnovne točke:

$$\theta_o^2 = \frac{\bar{\mathbf{d}}_O^T \mathbf{P}_{OO} \bar{\mathbf{d}}_O}{h_o}, \text{ kjer je:} \quad (52)$$

$$\bar{\mathbf{d}}_O = \mathbf{d}_O + \mathbf{P}_{OO}^{-1} \mathbf{P}_{OF} \mathbf{d}_F \text{ in} \quad (53)$$

h_o ... število komponent vektorja \mathbf{d}_O .

S testno statistiko $T = \frac{\theta_o^2}{\hat{\sigma}_0^2}$, ki se pod ničelno hipotezo porazdeljuje po porazdelitvi F s h_o in f prostostnimi stopnjami, izvedemo test stabilnosti točk v vektorju \mathbf{d}_O . Hipotezi in odločitev o njih so podobni kot v prejšnjih korakih. V primeru, da imamo v mreži nestabilne točke, je testna statistika večja

od kritične meje ($T > F_{h_o, f, 1-\alpha}$), in ob stopnji značilnosti α sprejmemo alternativno hipotezo, da so se koordinate točk na objektu in nestabilnih osnovnih točk spremenile.

3.1.7 Določitev premikov nestabilnih točk

Informacijo o premikih nestabilnih točk vsebuje vektor $\bar{\mathbf{d}}_o$, ki je izračunan glede na predhodno določene stabilne točke (drugi člen na desni strani izraza (53)). Komponente vektorja $\bar{\mathbf{d}}_o$, ki ga izračunamo z izrazom (53), nam torej služijo kot ocena za velikost premikov nestabilnih točk v smeri koordinatnih osi (Ambrožič, 2001).

3.2 Statistično testiranje premikov (program Premik)

Po spodaj opisanem postopku deluje program Premik (avtorji Tomaž Ambrožič, Goran Turk in Bojan Stopar), ki smo ga v nalogi uporabili za izračun in statistično testiranje premikov (poglavje 6).

3.2.1 Izračun premika in njegove variance

Če govorimo o premikih točk v geodetski mreži, imamo v mislih spremembo položaja teh točk v izbranem koordinatnem sistemu. Premik posamezne točke torej ugotavljamo s primerjavo njenih koordinat, določenih v vsaj dveh različnih trenutkih. Recimo, da obravnavamo točko T v horizontalni mreži med dvema terminskima izmerama. Če je v prvi terminski izmeri točki T določen položaj $T'(y', x')$, v drugi terminski izmeri pa položaj $T''(y'', x'')$, premik te točke izračunamo:

$$d = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} = \sqrt{(y'' - y')^2 + (x'' - x')^2}. \quad (54)$$

Da bi lahko z določeno gotovostjo trdili, da gre pri spremembi položaja točke v resnici za premik, moramo velikost izračunanega premika primerjati z natančnostjo določitve le-tega (Savšek et al., 2006). Za določitev natančnosti premika izhajamo iz kovariančnih matrik koordinat točke T za posamezno terminsko izmero:

$$\Sigma_{T'} = \begin{bmatrix} \sigma_{y'}^2 & \sigma_{y'x'} \\ \sigma_{y'x'} & \sigma_{x'}^2 \end{bmatrix} \text{ za prvo terminsko izmero in} \quad (55)$$

$$\Sigma_{T''} = \begin{bmatrix} \sigma_{y''}^2 & \sigma_{y''x''} \\ \sigma_{y''x''} & \sigma_{x''}^2 \end{bmatrix} \text{ za drugo terminsko izmero.} \quad (56)$$

Ob upoštevanju predpostavke, da sta koordinati točke T , določeni v prvi izmeri, nekorelirani s koordinatama, določenima v drugi izmeri, lahko skupno kovariančno matriko teh koordinat zapišemo v obliki:

$$\mathbf{\Sigma}_{T'T''} = \begin{bmatrix} \sigma_{y'}^2 & \sigma_{y'x'} & 0 & 0 \\ \sigma_{y'x'} & \sigma_{x'}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y''}^2 & \sigma_{y''x''} \\ 0 & 0 & \sigma_{y''x''} & \sigma_{x''}^2 \end{bmatrix}. \quad (57)$$

Po zakonu o prenosu varianc in kovarianc je varianca premika dana z izrazom

$$\sigma_d^2 = \mathbf{J}_d \mathbf{\Sigma}_{T'T''} \mathbf{J}_d^T, \quad (58)$$

kjer je \mathbf{J}_d Jacobijeva matrika, tj. matrika parcialnih odvodov funkcije d iz izraza (54) po spremenljivkah y' , x' , y'' in x'' , izračunana za znane vrednosti teh spremenljivk:

$$\mathbf{J}_d = \begin{bmatrix} \frac{\partial d}{\partial y'} & \frac{\partial d}{\partial x'} & \frac{\partial d}{\partial y''} & \frac{\partial d}{\partial x''} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\Delta y}{d} & -\frac{\Delta x}{d} & \frac{\Delta y}{d} & \frac{\Delta x}{d} \end{bmatrix}. \quad (59)$$

Izraz (58) tako postane oblike:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\Delta y}{d}\right)^2 (\sigma_{y'}^2 + \sigma_{y''}^2) + 2 \frac{\Delta y}{d} \frac{\Delta x}{d} (\sigma_{y'x'} + \sigma_{y''x''}) + \left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2 (\sigma_{x'}^2 + \sigma_{x''}^2). \quad (60)$$

Premik točke T izračunamo torej z izrazom (54), varianco premika te točke pa z izrazom (58).

Celotna izpeljava izračuna premika in njegove variance je povzet po Savšek et al., 2006.

3.2.2 Defininanje testne statistike

Sedaj lahko izračunamo razmerje med velikostjo in natančnostjo (standardnim odklonom) premika in to razmerje uporabimo kot testno statistiko (Savšek et al., 2006):

$$T = \frac{d}{\sigma_d}. \quad (61)$$

Če želimo presoditi, ali je premik statistično značilno večji od natančnosti določitve premika, moramo testno statistiko primerjati s kritično vrednostjo za izbrano stopnjo značilnosti testa α . Za izračun kritične vrednosti pri stopnji značilnosti α , moramo poznati porazdelitveno funkcijo testne statistike. Ker za geodetske meritve predpostavimo, da so normalno porazdeljene, lahko zaključimo, da so normalno

porazdeljene tudi neznanke (koordinate točk), saj so linearne funkcije geodetskih meritev (enačbe meritev so linearizirane). Spremembe koordinat (koordinatne razlike) so izračunane kot razlike dveh normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk in so zato normalno porazdeljene. Premik d pa ni linearna funkcija koordinatnih razlik, zato ni normalno porazdeljen. Porazdelitvene funkcije za testno statistiko v izrazu (61) tako ne znamo določiti analitično, zato si pomagamo s simulacijami (Savšek et al., 2006).

3.2.3 Določitev porazdelitvene funkcije testne statistike

Porazdelitveno funkcijo testne statistike (61) želimo določiti empirično, kar pomeni, da moramo izračunati simulirane vrednosti za d in σ_d . d in σ_d izračunamo z izrazoma (54) in (60). To pomeni, da moramo izračunati simulirane vrednosti za koordinatni razliki Δy in Δx , ki sta odvisni normalno porazdeljeni slučajni spremenljivki. Izračun teh vrednosti izvedemo po spodaj opisanem postopku (Savšek et al., 2006).

Mnogi računalniški programi vključujejo funkcije, imenovane generatorji slučajnih števil, s katerim dobimo vzorec slučajne spremenljivke U , ki je porazdeljena enakomerno na intervalu od 0 do 1. Na ta način lahko dobimo dva vzorca ($u_i, i = 1, \dots, n$) in ($u_{2i}, i = 1, \dots, n$) slučajnih spremenljivk U_1 in U_2 , ki sta neodvisni in porazdeljeni enakomerno od 0 do 1. Nato uporabimo Box–Müllerjevo polarno metodo (Turk, 2012), s katero generiramo vzorec (z_{1i} in z_{2i}) dveh neodvisnih standardizirano normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk Z_1 in Z_2 :

$$z_{1i} = \sqrt{-2 \ln u_i} \sin(2\pi u_{2i}), \quad z_{2i} = \sqrt{-2 \ln u_i} \cos(2\pi u_{2i}). \quad (62)$$

Sedaj moramo iz vzorca dveh neodvisnih standardizirano normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk generirati vzorec Δy_i in Δx_i dveh odvisnih normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk Δy in Δx .

Najprej predpostavimo, da je pričakovana vrednost obeh slučajnih spremenljivk Δy in Δx enaka 0. Sestaviti moramo kovariančno matriko koordinatnih razlik:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta y}^2 & \sigma_{\Delta y \Delta x} \\ \sigma_{\Delta y \Delta x} & \sigma_{\Delta x}^2 \end{bmatrix}, \quad (63)$$

kjer je:

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\sigma_{y'}^2 + \sigma_{y''}^2}, \quad (64)$$

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\sigma_{x'}^2 + \sigma_{x''}^2} \text{ in} \quad (65)$$

$$\sigma_{\Delta y \Delta x} = \sigma_{y'x'} + \sigma_{y''x''}. \quad (66)$$

Za generiranje vzorca Δy_i in Δx_i iz vzorca z_{1i} in z_{2i} uporabimo linearno transformacijo:

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{U}^T \mathbf{z}_i, \quad (67)$$

kjer je:

$$\mathbf{y}_i = [\Delta y_i \quad \Delta x_i]^T,$$

$$\mathbf{z}_i = [z_{1i} \quad z_{2i}]^T \text{ in}$$

$$\mathbf{U}^T = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta y} & 0 \\ \frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y}} & \sigma_{\Delta x} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y} \sigma_{\Delta x}} \right)^2} \end{bmatrix}. \quad (68)$$

\mathbf{U}^T je spodaj trikotna matrika, ki jo dobimo z razcepom kovariančne matrike (63) na produkt dveh trikotnih matrik (razcep Choleskega):

$$\Sigma = \mathbf{U}^T \mathbf{U}. \quad (69)$$

Če upoštevamo izraza (67) in (68), vzorec koordinatnih razlik generiramo z izrazoma:

$$\Delta y_i = z_{1i} \sigma_{\Delta y}, \quad (70)$$

$$\Delta x_i = z_{1i} \frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y}} + z_{2i} \sigma_{\Delta x} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y} \sigma_{\Delta x}} \right)^2}, \quad (71)$$

kjer je $i = 1, \dots, n$ (n je število elementov vzorca oz. število iteracij).

Pri dovolj velikem n dobimo empirično porazdelitveno funkcijo testne statistike (61). Tu velja poudariti, da je ta porazdelitvena funkcija drugačna za vsako točko v vsakem paru izmer. Kritično vrednost pri izbrani stopnji značilnosti α dobimo tako, da simulirane vrednosti za T_i razvrstimo po velikosti in jih glede na to razvrstitev na novo indeksiramo (z indeksom j). Nato poiščemo vrednost testne statistike, za katero je $j = (1 - \alpha)n$. To je iskana kritična vrednost:

$$T_{\text{krit}} = T_{j=(1-\alpha)n}. \quad (72)$$

3.2.4 Testiranje značilnosti premikov

Ničelno in alternativno hipotezo postavimo takole:

$$H_0 : d = 0 \quad \text{točka je bila med izmerama stabilna,} \quad (73)$$

$$H_1 : d \neq 0 \quad \text{točka se je med izmerama premaknila.} \quad (74)$$

Testno statistiko (61) primerjamo s kritično vrednostjo (72). V primeru, da je $T \leq T_{\text{krit}}$, ničelne hipoteze ob stopnji značilnosti α ne moremo zavrniti. Zaključimo, da premik ni statistično značilen. Če pa velja $T > T_{\text{krit}}$, zavrnilo ničelno in sprejmemo alternativno hipotezo, da se je točka med izmerama premaknila. S tveganjem α trdimo, da je premik statistično značilen.

Ker je vrednost testne statistike mnogokrat blizu kritične, si pri odločanju lahko pomagamo z izračunom tveganja (α_{dej}), da pri določeni vrednosti testne statistike storimo napako I. vrste, tj. da zavrnilo ničelno hipotezo, čeprav ta velja (Savšek et al., 2006).

4 GEODETSKA MREŽA ZA NADZOR STABILNOSTI ODLAGALIŠČA JAZBEC

Kot smo že omenili, je pri projektiranju mreže za merjenje premikov potrebno upoštevati in medsebojno uskladiti vrsto dejavnikov, od katerih je odvisna končna realizacija mreže. Najpomembnejše izhodišče je pričakovana velikost premikov na objektu, od katere je odvisna zahtevana natančnost določitve teh premikov. Od te in od velikosti obravnavanega objekta je nadalje odvisna metoda izmere, geometrija mreže in zahtevana natančnost merjenih količin (Koler et al., 2010). Še posebej ko gre za ugotavljanje premikov zemeljske površine, kot je to v našem primeru, je poleg omenjenega pomemben dejavnik konfiguracija obravnavanega območja in njegove okolice (slika 3).



Slika 3: Spodnji del odlagališča z brežinami (levo), pogled na zgornji plato (desno)

Pri načrtovanju geodetske mreže možnost doseganja zahtevane natančnosti določitve premikov preverimo s predhodno oceno natančnosti določitve neznank. Pri tem si pomagamo s simulacijo meritev, izravnavo in analizo rezultatov (Koler et al., 2010). Pri iskanju optimalnih rešitev kot spremenljivki obravnavamo geometrijo mreže in uteži meritev (Savšek-Safić, 2002). K načrtovanju sodi tudi sestava ustreznega plana merjenj, ki poleg tega, da odgovarja na zgoraj naštetih zahteve, predstavlja optimalno rešitev tudi v stroškovnem smislu.

4.1 Vrsta in oblika opazovalne mreže Jazbec

Na podlagi naštetih izhodišč je bila na odlagališču Jazbec projektirana in realizirana geodetska mreža, ki jo sestavljata dva dela oz. lahko govorimo kar o dveh dopolnjujočih se mrežah (Kogoj et al., 2009):

- osnovna kombinirana (triangulacijsko–trilateracijska) mreža,
- dopolnilna nivelmanska mreža.

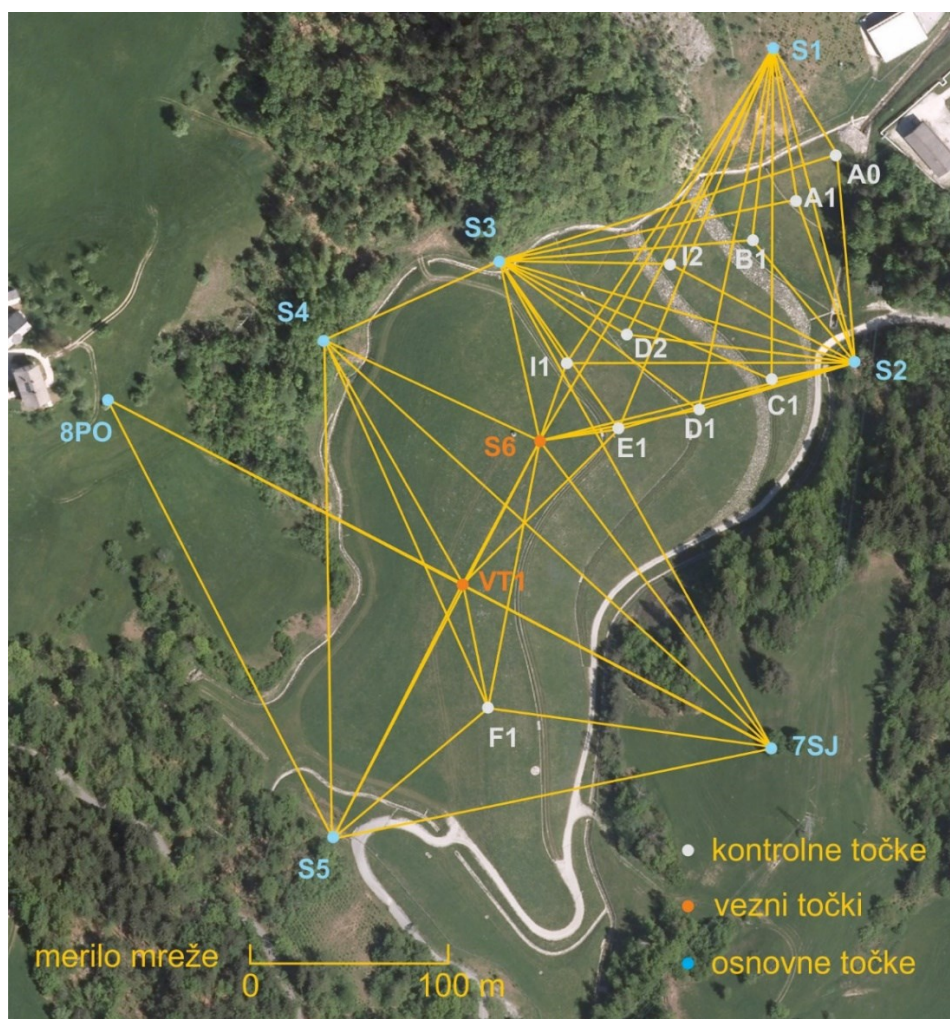
Ta delitev je posledica konfiguracije odlagališča. Osnovna mreža je namenjena spremljanju horizontalnih in vertikalnih premikov točk predvsem v spodnjem strmejšem delu odlagališča. Nivelmanska mreža pa je vzpostavljena na vrhnjem ravninskem delu (platoju) za ugotavljanje posedanja

tega dela odlagališča. Ker smo se v nalogi osredotočili na analizo stabilnosti točk v horizontalnem smislu, nivelmanske mreže ne bomo posebej predstavljali.

Osnovna mreža Jazbec je absolutna mreža, kar pomeni, da je poleg točk na objektu v mrežo vključenih nekaj t. i. osnovnih točk, ki so locirane zunaj objekta (Savšek-Safić, 2002). Te naj bi bile stabilne in naj bi določale lokalni koordinatni sistem. V mrežo vključene točke lahko v grobem razdelimo v tri skupine:

- točke (stare) osnovne rudniške mreže,
- opazovalni stebri ob odlagališču na (domnevno) stabilnem terenu in
- točke na odlagališču (kontrolne točke, vezni točki).

V prvih dveh izmerah (2009 in 2009_1) je bilo v mrežo vključenih 6 točk rudniške mreže, od leta 2010 pa le še 2 točki. Prvotno obliko mreže prikazuje slika 8 v poglavju 5.1.1. Štiri od teh točk so bile opuščene zaradi večje oddaljenosti od odlagališča, kar je povzročalo slabšo natančnost meritev in posledično slabšo kakovost določitve položajev kontrolnih točk (Kogoj et al., 2010). Novo oz. sedanjo obliko mreže prikazuje slika 4, točke, vključene vanjo, pa so predstavljene v preglednici 1. Na slikah 4 in 8 smo kot topografsko podlago uporabili dva ortofota iz zbirke DOF050 (vir: Geodetska uprava RS).



Slika 4: Osnovna triangulacijsko–trilateracijska mreža Jazbec

Preglednica 1: Točke horizontalne mreže Jazbec (Kogoj et al., 2009; 11)

Vrsta točk	Oznake	Število
Osnovne točke		
Točki rudniške mreže	7SJ, 8PO	2
Opazovalni stebri	S1, S2, S3, S4, S5	5
Točke na objektu		
Vezni točki	S6, VT1	2
Kontrolne točke	A0, A1, B1, C1, D1, D2, E1, F1	8
Reperja ob inklinometričnih vrtinah	I1, I2	2
Skupno število		19

Vezni točki sta edini točki na odlagališču, ki služita tudi kot stojišče instrumenta (opazovalni steber S6 in talna točka VT1). Njun namen je zagotoviti optimalnejšo geometrijo mreže.

4.2 Stabilizacija točk horizontalne mreže Jazbec

Opis stabilizacije točk je povzet po Kogoj et al., 2009. Prav tako so risbe v slikah od 3 do 5 prirejene po predlogah iz tega vira.

➤ Točki rudniške mreže

Stabilizirani sta z običajno talno stabilizacijo (betonski kvader s čepom) z enim podzemnim centrom.

➤ Opazovalni stebri

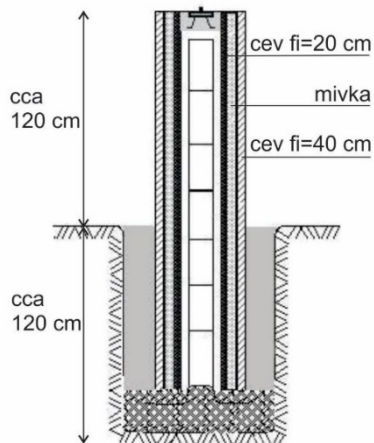
Točke so stabilizirane kot okrogli armirani betonski stebri, ki so temeljeni in visoki okrog 120 cm. Stebri so zaščiteni z betonsko cevjo, med stebrom in cevjo je mivka, ki služi kot izolator. V zgornjo ploskev je vzdana kovinska plošča z vijakom, ki omogoča prisilno centriranje instrumenta ali reflektorja proizvajalca Leica Geosystems. Izvedbo stabilizacije prikazuje slika 5.

➤ Vezna točka VT1

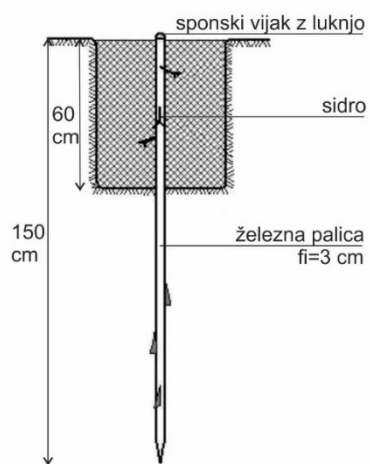
Stabilizirana je z železno palico, ki je zabita v tla in utrjena z betonskim vencem. Vrh palice sega približno 3 cm nad teren. Točko določa luknja na sponskem vijaku, ki je pritrjen na vrh palice. Izvedbo prikazuje slika 6.

➤ Kontrolne točke (podobno tudi reperja ob inklinometričnih vrtinah)

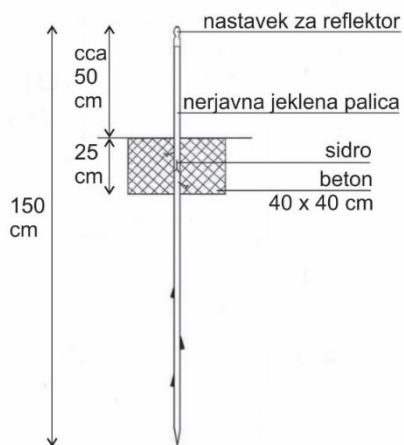
Stabilizirane so z nerjavno jekleno palico, ki je zabita v zemljino in utrjena z betonskim vencem. Sega približno pol metra nad teren in ima na vrhu nastavek za reflektor. Izvedbo prikazuje slika 7.



Slika 5: Stabilizacija opazovalnih stebrov (Kogoj et al., 2009; 14)



Slika 6: Stabilizacija talne vezne točke VT1 (Kogoj et al., 2009; 16)



Slika 7: Stabilizacija kontrolnih točk (Kogoj et al., 2009; 15)

4.3 Metoda izmere

S projektom je bila za določitev horizontalnih položajev točk predvidena natančnost med 0,8 do 1,0 mm (Žibert, 2009). Ob upoštevanju predvidene natančnosti, dimenzije mreže, konfiguracije odlagališča, poraščenosti okolice in razpoložljivega instrumentarija je bila izbrana klasična terestrična metoda izmere, to je kombinacija triangulacije in trilateracije (Kogoj et al., 2009). Uporabljena je bila torej kombinacija kotnih in dolžinskih meritev, kar pomeni prednost zaradi večjega števila nadštevilnih meritev in medsebojnega dopolnjevanja obeh vrst meritev v smislu homogene natančnosti položajev točk mreže.

Meritve so bile opravljene po naslednjem planu:

- Horizontalni koti so bili merjeni z vseh osnovnih točk (2 točki rudniške mreže, opazovalni stebri od S1 do S5) in obeh veznih točk (S6 in VT1) po girusni metodi v sedmih girusih.
- Poševne dolžine so bile merjene obojestransko med točkama rudniške mreže, opazovalnimi stebri in talno vezno točko ter enostransko proti kontrolnim točkam in proti reperjema ob inklinometričnih vrtinah.
- Zenitne razdalje za redukcijo poševnih dolžin so bile prav tako merjene obojestransko med točkama rudniške mreže, opazovalnimi stebri in talno vezno točko ter enostransko proti kontrolnim točkam in reperjema (v sedmih ponovitvah).

Registracija vseh treh merjenih količin je izvedena sočasno. Naj samo omenimo, da merjene dolžine in zenitne razdalje služijo tudi za izračun višinskih razlik med točkami po metodi trigonometričnega višinomerstva.

Posamezne povezave so opazovane glede na vidnost med točkami. Meritve do kontrolnih točk so enostranske, zato so te opazovane z vsaj dveh stojišč (večina je s treh). Število merjenih smeri in dolžin po terminskih izmerah smo zbrali v preglednicah 1 in 2 v poglavju 5.1.1. Število merjenih smeri je v vseh izmerah zelo podobno. Večja razlika med številom merjenih dolžin med prvimi štirimi izmerami in naslednjimi tremi pa je posledica tega, da so v zadnjih treh izmerah obojestransko merjene dolžine vključene v izravnavo ločeno.

4.4 Instrumentarij

V ničelni izmeri (2009) je bil uporabljen precizni elektronski tahimeter Leica Geosystems TCRP1201+ R1000, v vseh naslednjih pa tahimeter Leica Geosystems TS30 R1000. Oba omogočata avtomatsko viziranje in sta primerna za najnatančnejše merjenje kotov in dolžin. Natančnost (standardni odklon) merjenja kotov in dolžin, ki se določa po standardiziranem postopku, je za omenjena instrumenta predstavljena v preglednici 2.

Preglednica 2: Natančnost uporabljenih preciznih tahimetrov

Instrument	Leica Geosystems TCRP1201+ R1000	Leica Geosystems TS30 R1000
Natančnost merjenja kotov	1"	0,5"
Natančnost merjenja dolžin	1 mm ; 1,5 ppm	0,6 mm ; 1 ppm

Instrumenta sta bila redno preizkušena na pooblaščenem servisu in sta ustrezala deklarirani točnosti. Za signalizacijo točk so bili uporabljeni originalni reflektorji Leica Geosystems z določenimi adicijskimi konstantami.

Za izračun meteoroloških popravkov so bili na stojiščih instrumenta merjeni suha in mokra temperatura ter zračni tlak z naslednjimi priborom:

- precizni aspiracijski psihrometer,
- digitalni barometer.

5 ANALIZA STABILNOSTI OSNOVNIH TOČK V HORIZONTALNI MREŽI JAZBEC PO METODI HANNOVER

Podatke o meritvah smo prevzeli od UL FGG, Katedra za geodezijo. Podatki so bili predhodno že obdelani in so sledeče oblike:

- reducirane horizontalne smeri,
- reducirane dolžine (že upoštevani meteorološki, geometrični in projekcijski popravki).

Tu velja posebej omeniti, da so dolžine reducirane na nivo 430 m, ker so na tem nivoju računane koordinate točk stare rudniške mreže (Kogoj et al., 2009).

Za izravnavo meritev in deformacijsko analizo smo uporabili naslednja programa:

- GeM3 ver. 4.0, avtorja Tomaž Ambrožič in Goran Turk,
- DAH ver. 2.0, avtor Tomaž Ambrožič.

5.1 Obdelava terminskih izmer

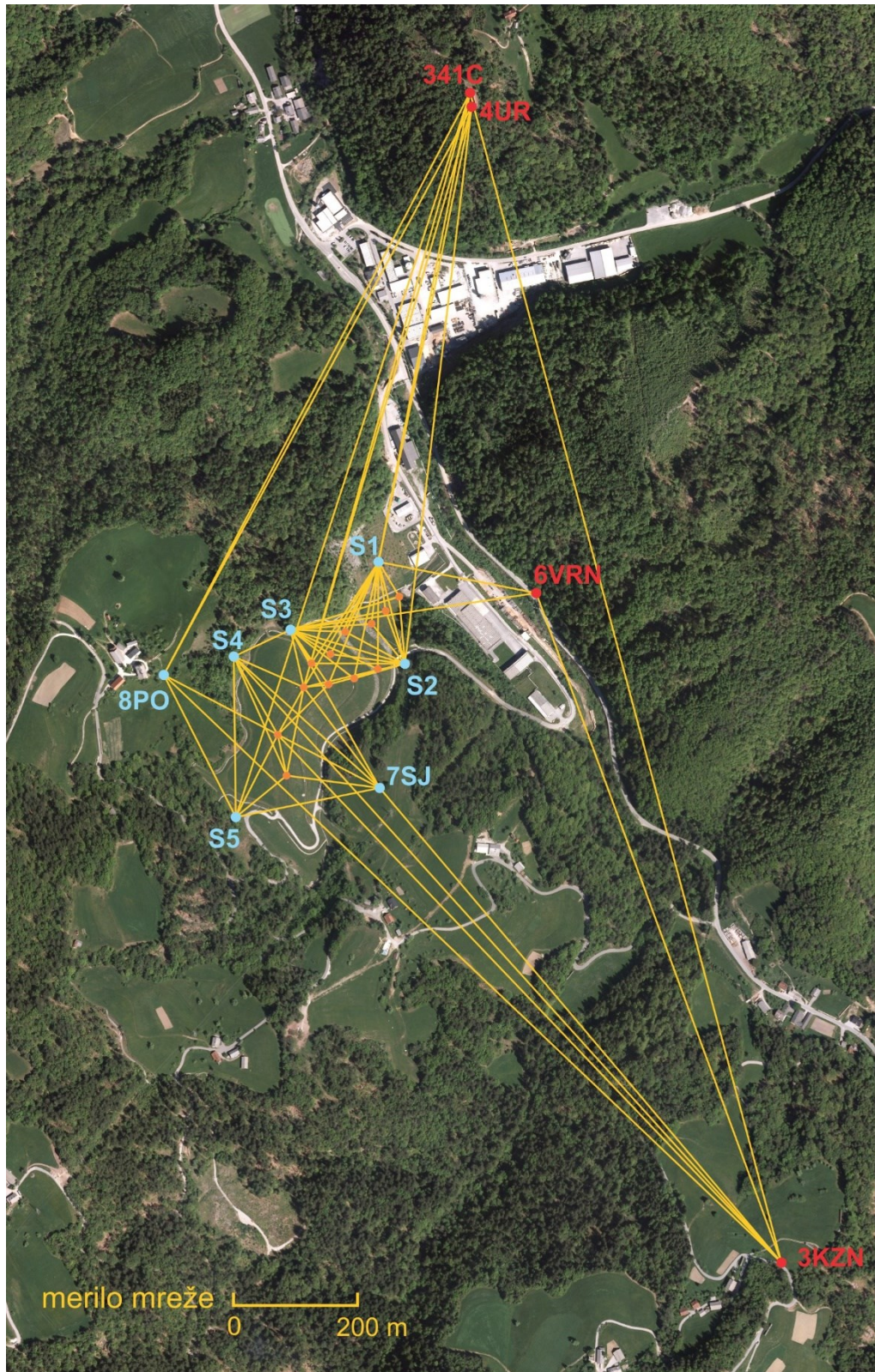
5.1.1 Pregled terminskih izmer

Prvo leto po sanaciji jalovišča sta bili izvedeni dve izmeri (spomladi in jeseni), nato pa vsako naslednje leto po ena izmera. Izjema je le leto 2012, ko izmera ni bila izvedena.

Preglednica 3: Osnovni podatki o terminskih izmerah

Izmera	Čas	Inštrument	Št. meritev	Št. smeri	Št. dolžin
2009	april	Leica TCRP1201+ R1000	167	102	65
2009_1	oktober	Leica TS30 R1000	160	98	62
2010	oktober	Leica TS30 R1000	127	74	53
2011	maj	Leica TS30 R1000	123	73	50
2013	maj	Leica TS30 R1000	144	72	72
2014	maj	Leica TS30 R1000	146	73	73
2015	maj	Leica TS30 R1000	142	71	71

V prvih dveh izmerah je bilo v mrežo vključenih 23 točk, od leta 2010 pa samo še 19. Tega leta so bile ukinjene povezave na točke: 3KZN, 6VRN, 341C, 4UR. To so točke osnovne rudniške mreže, ki so od jalovišča precej oddaljene (na sliki 8 so označene rdeče). Odločitev o ukinitvi teh povezav je bila sprejeta ob predpostavki, da sta preostali dve točki rudniške mreže 7SJ in 8PO stabilni (Kogoj et al., 2010). Tako spremenjena mreža jalovišča Jazbec naj bi predstavljala zadostno oz. celo primernejšo osnovo za ugotavljanje premikov kontrolnih točk. V nadaljnjih izmerah ni prišlo do sprememb v mreži.



Slika 8: Prvotna mreža jalovišča Jazbec

Da bi dosegli neposredno primerljivost rezultatov posameznih izmer, smo morali predhodni dve izmeri preračunati brez povezav do ukinjenih točk. S tem smo dosegli, da v izmerah nimamo neidentičnih točk, kar metoda Hannover tudi izrecno zahteva. Za izločitev teh točk je sicer v modelu te deformacijske

analize predvidena metoda transformacije S, vendar se nam je ponovna izravnava brez teh točk zdela prav tako sprejemljiva rešitev.

Preglednica 4: Podatki o meritvah v prvih dveh izmerah po ukinitvi povezav na 4 točke osnovne rudniške mreže

Izmera	Št. meritev	Št. smeri	Št. dolžin
2009	131	75	56
2009_1	128	74	54

5.1.2 Izravnava proste mreže in odkrivanje grobih pogreškov

Za izvedbo deformacijske analize je potrebno v izravnavi posameznih izmer uporabiti enake približne koordinate točk. Ker se izvede izravnava proste mreže in pričakujemo relativno velike premike, smo nove približne koordinate vseh točk izračunali kot povprečje izravnanih koordinat ničelne (2009) in zadnje (2015) izmere. Kot vhodni podatek za ti dve izravnavi smo privzeli približne koordinate iz poročila o ničelni meritvi v mreži (Kogoj et al., 2009). To smo storili, da bi se izognili morebitnim napakam zaradi linearizacije enačb popravkov.

Ob izravnavi smo izvedli tudi postopek odkrivanja grobih pogreškov med meritvami, ki je vključen v program GeM3, to je danska metoda. Uporabili smo konstanto $c = 3$. Pričakovali smo, da grobih pogreškov med meritvami ni, vendar je program identificiral nekaj meritev z izstopajočimi popravki.

Preglednica 5: Morebitni grobi pogreški po danski metodi

Izmera	Meritev
2009	smer S4 – VT1, smer VT1 – S4, smer S2 – A0
2009_1	–
2010	–
2011	–
2013	smer 7SJ – S4
2014	dolžina S6 – S1
2015	–

Velikost popravkov v preglednici 3 zbranih smeri je okrog 0,0010 gonov, velikost popravka dolžine pa 2,6 mm. Da bi lahko sprejeli odločitev o izločitvi posameznih problematičnih meritev, jih je potrebno ustrezno obravnavati.

➤ Izmera 2009

Najprej smo ugotovili, da so vrednosti normaliziranih popravkov vseh treh smeri blizu mejne vrednosti (le malo večje od nje) ob stopnji značilnosti $\alpha = 0,001$. To nas je napeljevalo k temu, da bi meritve obdržali. Nato smo postopno izločevali meritve iz izravnave in opazovali spreminjanje izravnanih vrednosti koordinat in natančnosti določitve le-teh. To smo predstavili v preglednici 6. Pomen posameznih količin, predstavljenih v njej, je:

Δy ... razlika med vrednostjo y koordinate v izravnavi brez izločene meritve in v izravnavi vseh meritev,

Δx ... razlika med vrednostjo x koordinate v izravnavi brez izločene meritve in v izravnavi vseh meritev,

σ_p ... položajni pogrešek.

Preglednica 6: Primerjava vrednosti izravnanih koordinat in položajnih pogreškov v izravnavi brez posameznih izločenih meritev in v izravnavi vseh meritev

	Vse meritve	Brez smeri S4 – VT1			Brez smeri VT1 – S4			Brez smeri S2 – A0		
	σ_p [m]	Δy [m]	Δx [m]	σ_p [m]	Δy [m]	Δx [m]	σ_p [m]	Δy [m]	Δx [m]	σ_p [m]
7SJ	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004
8PO	0,0007	0,0001	0,0002	0,0006	-0,0003	-0,0004	0,0007	0,0000	0,0001	0,0006
S1	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	0,0004	0,0000	-0,0001	0,0004
S2	0,0003	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	-0,0001	0,0003	0,0002	-0,0002	0,0003
S3	0,0003	-0,0001	0,0000	0,0003	0,0000	0,0001	0,0003	0,0000	0,0000	0,0003
S4	0,0004	-0,0002	0,0000	0,0003	0,0003	0,0002	0,0004	0,0000	0,0000	0,0003
S5	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004	0,0001	-0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004
S6	0,0002	0,0000	-0,0001	0,0002	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0002
VT1	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	-0,0002	-0,0002	0,0003	0,0001	0,0000	0,0003
A0	0,0005	0,0000	-0,0001	0,0005	0,0001	-0,0001	0,0005	-0,0007	0,0001	0,0005
A1	0,0005	-0,0001	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0005	0,0001	0,0000	0,0005
B1	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0001	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	0,0004
C1	0,0005	0,0000	-0,0001	0,0005	0,0000	-0,0001	0,0005	0,0001	-0,0001	0,0005
D1	0,0005	-0,0001	-0,0001	0,0004	-0,0001	0,0000	0,0004	0,0000	-0,0001	0,0004
D2	0,0005	0,0000	-0,0001	0,0005	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0005
E1	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004	-0,0002	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004
F1	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004
I1	0,0004	0,0000	-0,0001	0,0003	0,0000	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0003
I2	0,0005	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0001	0,0005	0,0001	0,0001	0,0005

Iz preglednice je razvidno, da je na vrednosti izravnanih koordinat najbolj vplivala izločitev smeri VT1 – S4. Povzročila je sicer spremembo kar 21 od 38 koordinat, vendar so razlike majhne. Največja razlika ene izmed koordinat je v tem primeru 0,4 mm. Po velikosti največjo spremembo koordinate je povzročila izločitev smeri S2 – A0 in to 0,7 mm (y koordinata točke A0). Ta vrednost se nam zdi že kar pomembno visoka, vendar je razumljiva zaradi manjšega števila nadštevilnih meritev, ki vključujejo to točko. Upoštevajoč povedano, smo sprejeli odločitev, da vse tri obravnavane meritve obdržimo v obdelavi.

➤ Izmera 2013

Prišli smo do enakih ugotovitev kot v primeru izmere 2009. Obravnavano smer smo zato obdržali.

➤ Izmera 2014

Obravnavali smo dolžino S6 – S1. Popravek te dolžine znaša 2,6 mm in je kar 3–krat večji od naslednjega največjega popravka dolžin. Standardiziran popravek je že znatno večji od mejne vrednosti (več kot 5). Nadštevilnost meritve je nad povprečnim številom nadštevilnosti, zato lahko sklepamo, da ima velik popravek meritve zares vzrok prav v vrednosti te meritve. Odločili smo se, da to dolžino pred ponovno izravnavo izločimo.

5.1.3 Izravnavna posameznih terminskih izmer

Pri določitvi uteži smo upoštevali naslednje predpostavke:

- Vse kotne meritve posamezne izmere so opravljene z enako natančnostjo.
- Merjene dolžine so kratke, zato pri oceni natančnosti dolžin zanemarimo vpliv pogreškov, ki so odvisni od velikosti dolžine. Tako imajo vse dolžine v izravnavi posamezne izmere enako utež. Dvostranske dolžine imajo seveda dvakrat večjo utež od enostranskih.
- Oceno natančnosti skupine kotnih in skupine dolžinskih meritev, ki služita za določitev uteži, smo določili na podlagi več iteracij izravnavne (z a posteriori oceno uteži).

Vhodni podatki za izravnavo posamezne terminske izmere kot proste mreže so:

- reducirane horizontalne smeri,
- reducirane dolžine,
- približne koordinate osnovnih in kontrolnih točk,
- podatki, potrebni za izračun uteži (a priori standardni odklon smeri, a priori standardni odklon dolžin, razmerje uteži med posameznimi merjenji).

Način določitve približnih koordinat točk je opisan zgoraj. Pomembno je, da so približne koordinate v izravnavah vseh izmer iste. Preglednica s približnimi koordinatami točk v prosti mreži je podana v prilogi (Priloga A).

Rezultati izravnave proste mreže za izmero 2009 in izmero 2009_1 so priloženi v prilogi (Prilogi B in C).

V preglednici 7 so zbrani podatki o posameznih terminskih izmerah. Vključuje tudi podatke o natančnosti določitve položajev točk v izravnavi proste mreže. Oznake pomenijo:

σ_s ... a priori standardni odklon smeri,

σ_d ... a priori standardni odklon dolžin,

$\hat{\sigma}_0$... a posteriori referenčni standardni odklon,

$\hat{\sigma}_s$... a posteriori standardni odklon smeri,

$\hat{\sigma}_d$... a posteriori standardni odklon dolžin,

$\sigma_{P_{MIN}}$... najmanjši položajni pogrešek,

$\sigma_{P_{SR}}$... srednji položajni pogrešek,

$\sigma_{P_{MAX}}$... največji položajni pogrešek.

Preglednica 7: Pregledni podatki o izravnavi terminskih izmer

	2009	2009_1	2010	2011	2013	2014	2015
Št. točk	19	19	19	19	19	19	19
Št. meritev	131	128	127	123	144	145	142
Št. smeri	75	74	74	73	72	73	71
Št. dolžin	56	54	53	50	72	72	71
Št. nadšt. mer.	87	84	83	79	100	101	98
σ_s ["]	1,00	0,50	0,70	0,60	0,70	0,50	0,70
σ_d [mm]	0,70	0,50	0,90	0,80	0,50	0,50	0,50
$\hat{\sigma}_0$	1,04	1,03	1,01	1,02	1,01	0,95	1,01
$\hat{\sigma}_s$ ["]	1,04	0,52	0,71	0,61	0,71	0,47	0,71
$\hat{\sigma}_d$ [mm]	0,73	0,52	0,91	0,82	0,50	0,47	0,51
$\sigma_{P_{MIN}}$ [m]	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002
$\sigma_{P_{SR}}$ [m]	0,0005	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
$\sigma_{P_{MAX}}$ [m]	0,0007	0,0004	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0005

Deformacijska analiza po metodi Hannover zahteva, da imamo v obeh terminskih izmerah statistično enak referenčni standardni odklon a posteriori. Vrednosti v zgornjih preglednicah nakazujejo, da je v našem primeru res tako. Natančnost določitve položaja točk je izredno visoka, kar je glede na uporabljen instrumentarij in metode dela tudi pričakovano. Rezultati izravnave tako predstavljajo zelo dobro izhodišče za nadaljnjo analizo.

5.1.4 Eliminacija popravkov približnih vrednosti koordinatnih neznank neidentičnih točk

V našem primeru ta transformacija ni potrebna, ker smo problem neidentičnih točk rešili z izločitvijo meritev na te točke. To smo lahko storili, ker so se te točke pojavile samo v prvih dveh izmerah in kasneje ni bilo več sprememb geodetskega datuma.

5.1.5 Statistični testi deformacijske analize

Za izvedbo tega dela deformacijske analize smo uporabili že omenjeni program DAH.

Večji del vhodnih podatkov za ta program pripravi že program GeM3 in sicer so to za posamezno terminsko izmero naslednji podatki (povzeto po Ambrožič, 1996):

- število nadštevilnih meritev,
- defekt datuma,
- izravnane koordinate,
- matrika kofaktorjev koordinatnih neznank,
- a posteriori referenčni standardni odklon.

Za primerjavo dveh terminskih izmer tako rabimo navedene podatke za obe izmeri. Ti so zbrani ločeno v dveh datotekah. Program DAH potrebuje še tretjo vhodno datoteko, ki vsebuje (povzeto po Ambrožič, 1996):

- imeni datotek s podatki obeh izmer, ki jih želimo primerjati,
- podatek o dimenziji mreže,
- izbrana stopnja značilnosti testa,
- število osnovnih točk.

Najprej smo izvedli 6 analiz parov zaporednih terminskih izmer. Kot osnovne točke smo določili 7 točk, ki se nahajajo izven jalovišča: 7SJ, 8PO, S1, S2, S3, S4, S5. Vsa statistična testiranja so bila opravljena ob stopnji značilnosti $\alpha = 0,05$. Kritične vrednosti za posamezne testne statistike, ki so navedene v nadaljevanju, smo izračunali v programu Excel.

5.1.5.1 Hipoteze v statističnih testih deformacijske analize po metodi Hannover

Čeprav so statistični testi, ki so uporabljeni v analizi, podrobneje predstavljeni v poglavju, ki razlaga teorijo te metode, se nam zdi primerno, da pred nadaljevanjem strnjeno podamo, katere so hipoteze, ki jih testiramo v posameznem koraku analize.

- Test homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer:

Ničelna hipoteza H_0 : Natančnost meritev dveh terminskih izmer ni nehomogena.

Alternativna hipoteza H_1 : Natančnost meritev dveh terminskih izmer je nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

Ničelna hipoteza H_0 : Koordinate točk se med dvema terminskima izmerama niso spremenile.

Alternativna hipoteza H_1 : Koordinate točk so se med terminskima izmerama spremenile.

- Test stabilnosti osnovnih točk med izmerama:

Ničelna hipoteza H_0 : Koordinate osnovnih točk se med dvema terminskima izmerama niso spremenile.

Alternativna hipoteza H_1 : Koordinate osnovnih točk so se med terminskima izmerama spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Ničelna hipoteza H_0 : Koordinate preostalih osnovnih točk (vseh, razen predhodno identificiranih kot nestabilnih) se med dvema terminskima izmerama niso spremenile.

Alternativna hipoteza H_1 : Koordinate preostalih osnovnih točk so se med terminskima izmerama spremenile.

Glede na vrednost testne statistike T in meje kritičnega območja sta v vseh naštetih statističnih testih možna dva sklepa (Turk, 2012):

- ničelne hipoteze ne moremo zavrniti ali
- ničelno hipotezo zavrnemo in sprejmemo alternativno hipotezo.

5.1.5.2 Primerjava izmer 2009 in 2009_1

Izhodni podatki programa DAH za primerjavo teh dveh izmer so dodani v prilogi (Priloga D).

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,02 < F_{87,84,0.975} = 1,53$$

Ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da natančnost izmer 2009 in 2009_1 ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 238,95 > F_{35,171,0.95} = 1,49$$

Zavrnilo ničelno hipotezo, da se koordinate točk med obema izmerama niso spremenile, in sprejmemo alternativno hipotezo, da so se koordinate točk mreže med izmerama spremenile. Testna statistika je bistveno večja od kritične vrednosti, zato je tveganje, da smo storili napako, izredno majhno (praktično nič).

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 370,88 > F_{11,171,0.95} = 1,85$$

Zavrnilo ničelno hipotezo, da se koordinate osnovnih točk med izmerama niso spremenile. Z drugimi besedami: z majhno stopnjo tveganja trdimo, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile (sprejmemo alternativno hipotezo).

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Za vsako od osnovnih točk izračunamo srednje neujemanje θ_j^2 , prestavimo točko z največjim neujemanjem iz seznama stabilnih v seznam nestabilnih in tvorimo testno statistiko T . Če je testna statistika manjša od kritične vrednosti $F_{h_F,171,0.95}$, ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da se koordinate preostalih osnovnih točk niso spremenile. V nasprotnem primeru sklepamo, da je med preostalimi osnovnimi točkami vsaj še ena nestabilna, zato postopek ponovimo. Identifikacija nestabilnih osnovnih točk torej poteka iterativno.

Preglednica 8: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2009_1

Točka	θ_j^2			
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
7SJ	282,8	78,8	36,6	
8PO	211,4	2,0	8,3	0,9
S1	84,6	24,5	24,7	20,8
S2	2,0	5,0	7,7	8,9
S3	1,0	18,7	11,2	11,3
S4	416,6	90,9		
S5	2041,0			
T	31,20	15,94	8,67	1,56
h_F	9	7	5	3
$F_{h_F, 171, 0,95}$	1,93	2,06	2,27	2,66

Kot je razvidno iz preglednice 8, je program kot nestabilne med izmerama 2009 in 2009_1 določil naslednje osnovne točke: S5, S4, 7SJ in S1. Program DAH premik vsake od točk v smeri koordinatnih osi izračuna kot vrednost ustreznega elementa vektorja neujemanja samo za točke na objektu. Kot rezultat poda vrednosti Δy in Δx . Sami smo nato izračunali še dejansko velikost in smerni kot premika.

Preglednica 9: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2009_1

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	9,4	17,1	19,5	29
S4	1,8	-2,1	2,8	139
7SJ	-1,3	2,1	2,5	328
S1	-0,7	-1,8	1,9	201

Izrazito izstopa točka S5. Ta je edina od osnovnih točk stabilizirana nad vrhom jalovišča, kot kaže na relativno nestabilnem terenu.

5.1.5.3 Primerjava izmer 2009_1 in 2010

➤ Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,03 < F_{84,83,0,975} = 1,54$$

Ne moremo zavriniti ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

➤ Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 392,17 > F_{35,167,0.95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

➤ Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 104,86 > F_{11,167,0.95} = 1,85$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

➤ Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 10: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009_1 in 2010

Točka	θ_j^2	
	1. iteracija	2. iteracija
7SJ	74,4	2,9
8PO	83,5	5,1
S1	3,6	11,5
S2	1,2	3,6
S3	7,7	0,2
S4	75,4	2,0
S5	585,2	
T	3,93	1,91
h_F	9	7
$F_{h_F,167,0.95}$	1,94	2,06

Program je kot nestabilni med izmerama 2009_1 in 2010 določil dve osnovni točki: S5 in S1. Po velikosti še vedno izstopa točka S5, čeprav je njen premik skoraj dvakrat manjši od tistega v prejšnji primerjavi.

Preglednica 11: Nestabilni osnovni točki med izmerama 2009_1 in 2010

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	3,1	10,9	11,3	16
S1	1,8	0,5	1,9	74

5.1.5.4 Primerjava izmer 2010 in 2011

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,01 < F_{79,83,0,975} = 1,55$$

Ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 33,70 > F_{35,162,0,95} = 1,50$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 2,72 > F_{11,162,0,95} = 1,85$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 12: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2010 in 2011

Točka	θ_j^2	
	1. iteracija	2. iteracija
7SJ	1,0	0,9
8PO	2,7	2,7
S1	2,9	1,4
S2	5,7	
S3	1,2	0,3
S4	4,9	4,0
S5	3,6	4,3
T	2,06	1,46
h_F	9	7
$F_{h_F,162,0,95}$	1,94	2,07

Program je kot nestabilni med izmerama 2010 in 2011 določil dve osnovni točki: S2 in S5.

Preglednica 13: Nestabilni osnovni točki med izmerama 2010 in 2011

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S2	-1,2	0,0	1,2	270
S5	-0,6	1,0	1,2	329

Testni statistiki za oba testa stabilnosti sta v tem primeru bistveno manjši kot v prejšnjih dveh. Še posebej vrednost statistike za test stabilnosti osnovnih točk je precej blizu kritični vrednosti, zato je primer statistično mnogo bolj občutljiv. Ugotovljena sta samo dva premika, pa še ta sta majhna. To kaže na to, da so se razmere v mreži najbrž ustalile.

5.1.5.5 Primerjava izmer 2011 in 2013

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,02 < F_{79,100,0.975} = 1,51$$

Ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 1274,88 > F_{35,179,0.95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med obema izmerama spremenile. Testna statistika je zelo velika, kar kaže na to, da so se v mreži najbrž dogodili številni in/ali večji premiki. To je posledica dejstva, da obravnavamo izmeri, med katerima je bil časovni interval dvakrat daljši od prejšnjih. Če pogledamo izhodno datoteko programa DAH, je razvidno, da sta ugotovljena večja premika za kontrolni točki D2 in I1. Premika obeh sta nekaj nad 4 cm.

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 283,84 > F_{11,179,0.95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 14: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2011 in 2013

Točka	θ_j^2			
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
7SJ	293,0	24,0	1,4	3,6
8PO	159,0	18,6	5,1	
S1	2,0	3,2	2,1	2,2
S2	8,2	0,1	2,2	1,5
S3	22,0	34,7	2,0	3,3
S4	300,8	124,9		
S5	1468,4			
T	29,43	3,13	2,38	1,66
h_F	9	7	5	3
$F_{h_F,179,0.95}$	1,93	2,06	2,26	2,66

Program je kot nestabilne med izmerama 2011 in 2013 določil štiri osnovne točke: S5, S4, 8PO in 7SJ.

Preglednica 15: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2011 in 2013

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	7,6	14,1	16,0	28
S4	1,9	-2,8	3,4	146
8PO	-2,0	1,0	2,2	297
7SJ	-1,6	-1,1	1,9	235

5.1.5.6 Primerjava izmer 2013 in 2014

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,13 < F_{100,101,0.975} = 1,48$$

Ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 378,28 > F_{35,201,0.95} = 1,48$$

Zavrnamo ničelno hipotezo, da se koordinate točk med obema izmerama niso spremenile.

➤ Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 16,56 > F_{11,201,0,95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo, da se koordinate osnovnih točk med izmerama niso spremenile.

➤ Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 16: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2013 in 2014

Točka	θ_j^2		
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija
7SJ	4,4	0,9	0,3
8PO	5,3	2,8	2,2
S1	5,8	3,6	3,2
S2	6,2	6,9	5,6
S3	2,7	6,7	2,7
S4	28,2	11,5	
S5	65,0		
T	5,19	3,24	2,19
h_F	9	7	5
$F_{h_F,201,0,95}$	1,93	2,06	2,26

Program je kot nestabilne med izmerama 2013 in 2014 določil tri osnovne točke: S5, S4 in S2.

Preglednica 17: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2013 in 2014

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	1,0	2,4	2,6	23
S4	0,5	-0,9	1,0	151
S2	-0,7	0,3	0,8	293

5.1.5.7 Primerjava izmer 2014 in 2015

➤ Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,14 < F_{98,101,0,975} = 1,48$$

Ne moremo zavrnuti ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 1523,47 > F_{35,199,0.95} = 1,48$$

Zavrnamo ničelno hipotezo, da se koordinate točk med obema izmerama niso spremenile. Testna statistika je zopet zelo velika. Ker pa to ne velja za statistiko za test stabilnosti osnovnih točk, je razlog najbrž v kateri izmed kontrolnih točk. Res je iz izhodne datoteke razvidno, da je določen premik točke D1 v velikosti okrog 5 cm.

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 23,77 > F_{11,199,0.95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo, da se koordinate osnovnih točk med izmerama niso spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 18: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2014 in 2015

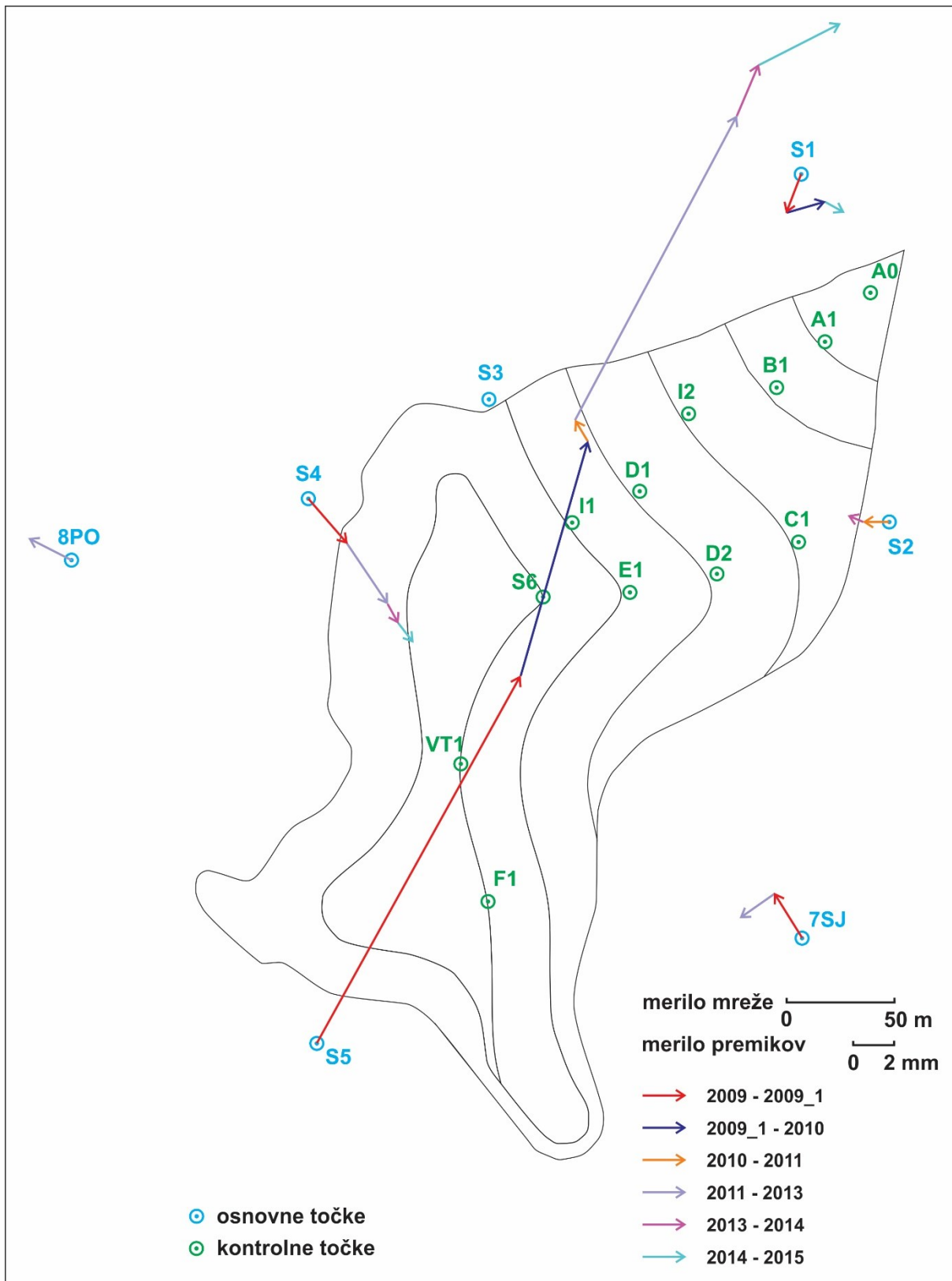
Točka	θ_j^2		
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija
7SJ	37,9	1,0	2,5
8PO	4,1	4,7	2,0
S1	5,9	4,4	3,5
S2	1,3	2,3	2,6
S3	3,7	4,1	1,0
S4	15,2	11,6	
S5	106,9		
T	4,42	2,23	1,66
h_F	9	7	5
$F_{h_F,199,0.95}$	1,93	2,06	2,26

Program je kot nestabilne med izmerama 2014 in 2015 določil tri osnovne točke: S5, S4 in S1.

Preglednica 19: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2014 in 2015

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	3,8	1,9	4,2	63
S4	0,7	-0,9	1,1	142
S1	0,9	-0,5	1,0	119

5.1.5.8 Obravnava rezultatov primerjave zaporednih izmer



Slika 9: Premiki točk med posameznimi izmerami, določeni s programom DAH

Preglednica 20: Ugotovitve o stabilnosti točk med posameznimi izmerami

	2009 – 2009_1		2009_1 – 2010		2010 – 2011		2011 – 2013		2013 – 2014		2014 – 2015	
	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]
7SJ	2,5	328					1,9	235				
8PO							2,2	297				
S1	1,9	201	1,9	74							1,0	119
S2					1,2	270			0,8	293		
S3												
S4	2,8	139					3,4	146	1,0	151	1,1	142
S5	19,5	29	11,3	16	1,2	329	16,0	28	2,6	23	4,2	63

V preglednici 20 so zbrani rezultati šestih primerjav zaporednih izmer. Točkam, za katere je bil v deformacijski analizi ugotovljen premik, je pripisana velikost premika in smerni kot le–tega. Prazne celice v preglednici torej pripadajo točkam, za katere je bila v posamezni primerjavi ugotovljena stabilnost.

Rezultati so predstavljeni tudi grafično na sliki 9. Na njej so izrisani premiki osnovnih točk med posameznimi izmerami.

Najbolj očitna je nestabilnost točke S5. Kot smo že omenili, je stabilizirana nad vrhom, torej izven samega odlagališča. Steber stoji na klančini neposredno ob robu jalovišča, zato bi njen premik lahko bil posledica neutrjenosti terena zaradi sanacijskih del. Smer premika se ujema s padnico terena na tem delu. Na začetku je premik te točke znašal 19,5 mm, v naslednjem intervalu pa 11,3 mm. Sledil je manjši premik (1,2 mm). Glede na to, da so se vrednosti premikov postopno zmanjševale, bi lahko sklepali, da se je točka »umirila«. Zavedati se moramo, da so bile točke stabilizirane takoj po sanaciji jalovišča. Vendar je bil nato zopet zaznan večji premik (16,0 mm), kar pa je tudi posledica dejstva, da je bil časovni interval med izmerama več kot dvakrat daljši kot med prejšnjimi izmerami. Od leta 2013 lahko spet govorimo o manjših premikih (2,6 in 4,2 mm).

Premiki ostalih osnovnih točk so bistveno manjši. Zaradi stalnosti smeri ugotovljenih premikov, deloma pa tudi zaradi števila in velikosti le–teh, se nam zdi zanimiva tudi točka S4. Točka je stabilizirana na robu gozda zahodno od odlagališča na precej strmem predelu. Tudi zanjo lahko rečemo, da je ugotovljeno njeno premikanje približno v smeri padnice.

Premiki ostalih osnovnih točk ne presegajo bistveno velikostnega razreda 2 mm in na pogled ne kažejo nekih posebnih zakonitosti. Če bi rezultate analize interpretirali povsem »dobesedno«, bi zaključili, da se je točka S3 izkazala za najbolj stabilno od vseh osnovnih točk. Edino ta točka je bila v vseh

primerjavah identificirana kot stabilna. Stabilizirana je sicer na nagnjenem terenu vendar na skalnati podlagi. Glede te točke se analiza lepo ujema s pričakovanim in tudi dejanskim stanjem v naravi.

Najbolj presenečajo ugotovljen premik točke 8PO in ugotovljena premika točke 7SJ. Ker gre za točki stare rudniške mreže, ki sta stabilizirani daleč od jalovišča, nismo pričakovali, da bo analiza zaznala premike. Zanimivo je, da je za obe točki program identificiral premik v primerjavi izmer 2011 in 2013. Tu je obravnavan bistveno daljši časovni interval. Glede na visoko vrednost testne statistike za globalni test stabilnosti točk lahko sklepamo, da je predvsem med kontrolnimi točkami prišlo do relativno večjih premikov. Izhodni rezultati programa DAH to potrjujejo, saj sta zaznana premika točk D2 in I1 v velikosti nekaj nad 4 cm. Morda je vpliv premikov teh kontrolnih točk pokvaril dejansko sliko dogajanja na osnovnih točkah. Če je temu res tako, je razlog že v samih rezultatih izravnave. Primerjavo izmer 2011 in 2013 smo namreč izvedli tudi za primer, ko vse točke obravnavamo kot osnovne, torej ugotavljamo stabilnost vseh (tudi kontrolnih) točk. Rezultati, ki se nanašajo samo na osnovne točke, so identični kot v našem prvotnem primeru. Res pa je, da sta bila premika točk 8PO in 7SJ identificirana v zaključnih iteracijah določitve. Takrat so vrednosti za srednje neujemanje obravnavanih točk že relativno podobne. Tudi testna statistika za ustavitve iteracij je takrat že blizu kritične vrednosti.

5.1.5.9 Primerjava izmer 2009 in 2010

V nadaljevanju bomo izvedli primerjavo vsake posamezne kasnejše izmere z ničelno izmero 2009, seveda z izjemo izmere 2009_1, ker smo to že opravili zgoraj. Obravnavali bomo torej analize parov kumulativnih terminskih izmer glede na ničelno izmero 2009. Tudi v teh analizah so bila vsa statistična testiranja opravljena ob stopnji značilnosti $\alpha = 0,05$.

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,05 < F_{87,83,0,975} = 1,54$$

Ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 483,83 > F_{35,170,0,95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejememo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 570,00 > F_{11,170,0,95} = 1,85$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejememo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 21: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2010

Točka	θ_j^2				
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija	5. iteracija
7SJ	340,0	51,5	19,2		
8PO	381,5	4,7	11,9	4,0	2,8
S1	39,4	8,1	6,3	7,3	
S2	4,8	6,3	6,1	7,1	4,5
S3	8,7	13,2	5,0	1,2	1,8
S4	509,6	65,5			
S5	3220,2				
T	20,45	8,61	4,79	3,40	1,72
h_F	9	7	5	3	1
$F_{h_F,170,0,95}$	1,94	2,06	2,27	2,66	3,90

Preglednica 22: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2010

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	10,6	27,9	29,8	21
S4	1,0	-2,1	2,3	155
7SJ	-3,3	0,7	3,4	282
S1	1,2	-2,2	2,5	151
S2	-1,2	-1,1	1,6	227

5.1.5.10 Primerjava izmer 2009 in 2011

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,04 < F_{87,79,0,975} = 1,55$$

Ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 692,26 > F_{35,166,0,95} = 1,49$$

Zavrնemo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

➤ Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 691,91 > F_{11,166,0,95} = 1,85$$

Zavrնemo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

➤ Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 23: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2011

Točka	θ_j^2			
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
7SJ	428,9	82,5	29,2	
8PO	522,6	7,9	24,5	6,3
S1	25,3	9,6	6,2	8,4
S2	19,1	24,8	19,2	23,6
S3	6,6	18,8	17,7	5,5
S4	683,5	105,2		
S5	3884,3			
T	33,86	15,28	10,42	2,60
h_F	9	7	5	3
$F_{h_F,166,0,95}$	1,94	2,07	2,27	2,66

Preglednica 24: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2011

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	10,9	28,9	30,9	21
S4	1,6	-2,6	3,1	148
7SJ	-3,1	1,2	3,3	291
S2	-2,0	0,6	2,1	287

5.1.5.11 Primerjava izmer 2009 in 2013

➤ Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,07 < F_{87,100,0,975} = 1,50$$

Ne moremo zavriniti ničelne hipoteze, da natančnost izmer ni nehomogena.

➤ Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 2758,88 > F_{35,187,0.95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

➤ Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 2168,23 > F_{11,187,0.95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

➤ Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 25: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2013

Točka	θ_j^2			
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
7SJ	1655,9	192,8	39,8	
8PO	1385,7	4,8	23,4	0,3
S1	105,9	18,8	10,2	11,7
S2	65,1	29,4	20,3	21,5
S3	47,7	44,9	24,3	9,4
S4	2745,7	445,7		
S5	12007,9			
T	107,99	17,53	9,39	1,99
h_F	9	7	5	3
$F_{h_F,187,0.95}$	1,93	2,06	2,26	2,65

Preglednica 26: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2013

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	20,2	42,4	47,0	25
S4	3,9	-6,0	7,2	147
7SJ	-3,1	0,5	3,1	279
S2	-1,4	1,0	1,7	306

5.1.5.12 Primerjava izmer 2009 in 2014

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,21 < F_{87,101,0.975} = 1,50$$

Vrednost testne statistike je sicer največja izmed vseh primerov testiranja homogenosti natančnosti izmer, vendar še vedno relativno daleč od kritične vrednosti. Zato ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, da natančnost izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 4148,33 > F_{35,188,0.95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile.

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 2712,07 > F_{11,188,0.95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile.

- Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

Preglednica 27: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2014

Točka	θ_j^2			
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija
7SJ	1815,4	228,8	37,4	40,8
8PO	1576,7	11,5	28,9	27,4
S1	134,3	29,4	16,1	0,7
S2	80,8	63,3	44,0	
S3	30,5	95,1	31,5	6,1
S4	3209,8	616,8		
S5	14005,3			
T	158,69	25,31	17,60	1,73
h_F	9	7	5	3
$F_{h_F,188,0.95}$	1,93	2,06	2,26	2,65

Preglednica 28: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2014

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	21,5	44,8	49,7	26
S4	4,4	-6,9	8,2	147
S2	-2,0	1,4	2,4	305
7SJ	-2,8	0,9	2,9	288

5.1.5.13 Primerjava izmer 2009 in 2015

- Test homogenosti natančnosti obeh izmer:

$$T = 1,06 < F_{87,98,0,975} = 1,50$$

Ne moremo zavrnila ničelne hipoteze, da natančnost obeh izmer ni nehomogena.

- Globalni test stabilnosti točk mreže med izmerama:

$$T = 4983,21 > F_{35,185,0,95} = 1,49$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate točk med izmerama spremenile. Vrednost testne statistike je najvišja od vseh globalnih testov stabilnosti točk mreže. To je razumljivo, saj gre za primerjavo izmer, med katerima je bil časovni interval najdaljši. Če pogledamo vse analize izmer glede na ničelno, je lepo viden vzorec postopnega višanja vrednosti te testne statistike. To je seveda pričakovano. Nekoliko izstopa le visok skok te statistike med analizama 2009 – 2011 in 2009 – 2013, ki pa je predvsem posledica dogajanja med kontrolnimi točkami (že zgoraj omenjena večja premika točk D2 in I1, pa tudi preostalih kontrolnih točk).

- Test stabilnosti osnovnih točk:

$$T = 2733,72 > F_{11,185,0,95} = 1,84$$

Zavrnamo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da so se koordinate osnovnih točk med izmerama spremenile. Tudi v primeru testa stabilnosti osnovnih točk pogled na vse kumulativne primerjave pokaže postopno višanje vrednosti testne statistike.

➤ Identifikacija nestabilnih osnovnih točk:

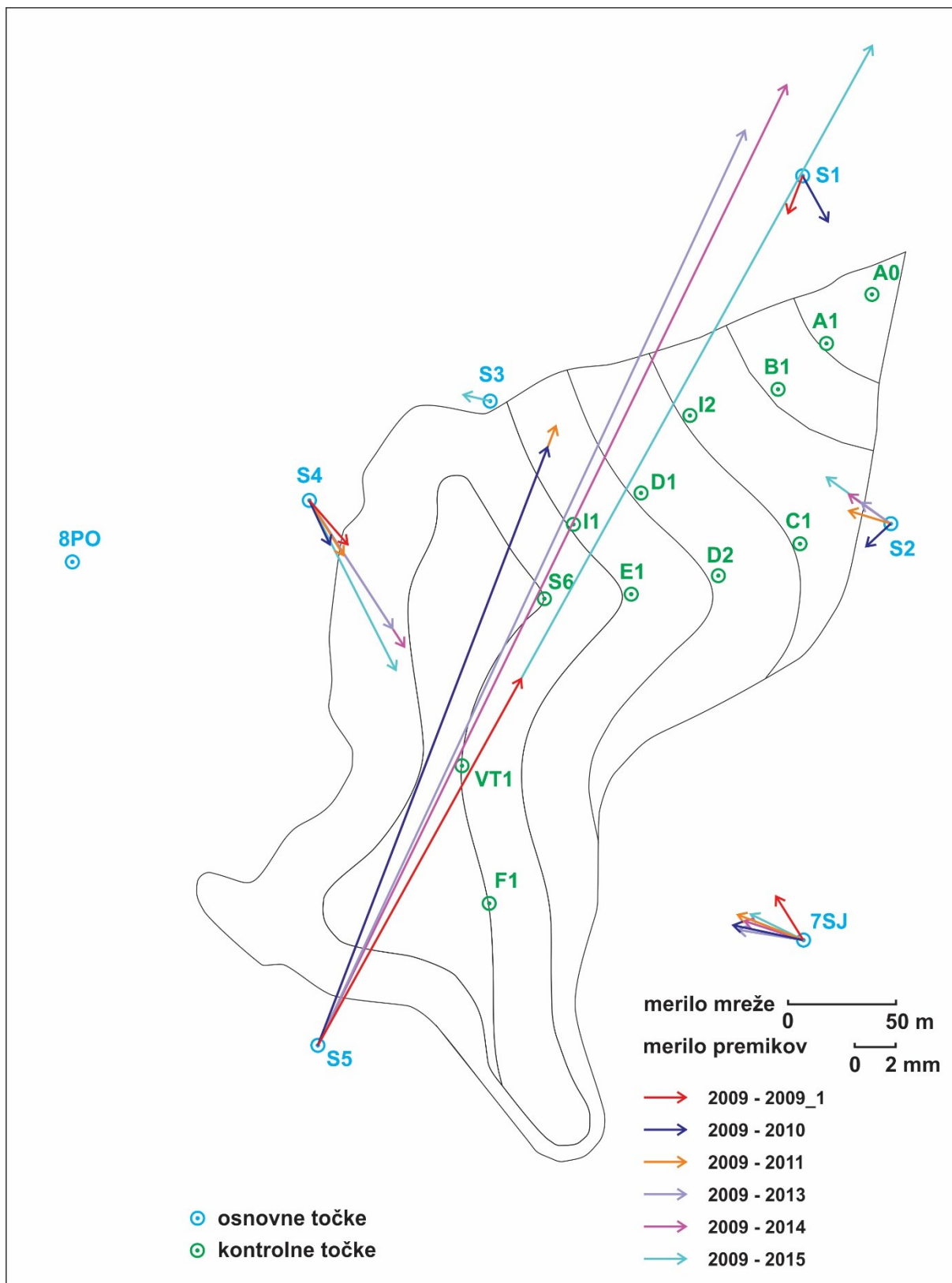
Preglednica 29: Iterativna določitev nestabilnih osnovnih točk med izmerama 2009 in 2015

Točka	θ_j^2				
	1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija	5. iteracija
7SJ	2112,5	148,7	21,6	22,9	
8PO	1496,2	23,1	20,8	19,7	3,4
S1	208,4	44,6	28,2	2,0	4,2
S2	106,0	74,6	56,6		
S3	47,5	89,0	23,6	2,5	5,5
S4	3432,3	609,4			
S5	15146,4				
T	146,47	23,06	10,79	3,47	0,02
h_F	9	7	5	3	1
$F_{h_F,185,0.95}$	1,93	2,06	2,26	2,65	3,89

Preglednica 30: Nestabilne osnovne točke med izmerama 2009 in 2015

Točka	Δy [mm]	Δx [mm]	Premik [mm]	ν [°]
S5	25,4	46,7	53,2	29
S4	4,1	-7,9	8,9	153
S2	-3,0	2,2	3,7	306
7SJ	-2,5	1,2	2,8	296
S3	-1,3	0,3	1,3	283

5.1.5.14 Obravnava rezultatov kumulativne primerjave izmer glede na ničelno izmero



Slika 10: Premiki točk med posamezno in ničelno izmero, določeni s programom DAH

Preglednica 31: Ugotovitve o stabilnosti točk med posamezno in ničelno izmero

	2009 – 2009_1		2009 – 2010		2009 – 2011		2009 – 2013		2009 – 2014		2009 – 2015	
	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]	Premik [mm]	ν [°]
7SJ	2,5	328	3,4	282	3,3	291	3,1	279	2,9	288	2,8	296
8PO												
S1	1,9	201	2,5	151								
S2			1,6	227	2,1	287	1,7	306	2,4	305	3,7	306
S3											1,3	283
S4	2,8	139	2,3	155	3,1	148	7,2	147	8,2	147	8,9	153
S5	19,5	29	29,8	21	30,9	21	47,0	25	49,7	26	53,2	29

Primerjava izmer z ničelno izmero v večini primerov lepo pokaže seštevanje premikov nekaterih osnovnih točk (preglednica 31). Ker gre za kumulativno primerjavo, se v rezultatih posredno pokažejo tudi manjši premiki, ki v primerjavi zaporednih izmer niso ugotovljeni kot statistično značilni. To je sploh lepo razvidno, če primerjamo preglednici 20 in 31.

Za točki S5 in S4, za kateri smo že pri obravnavi zaporednih izmer ugotovili stalnost smeri premikov, kumulativna primerjava dejansko samo potrjuje ugotovitve, ki smo jih podali takrat. Za točko S5 tako lahko z veliko zanesljivostjo potrdimo njeno nestabilnost skozi celotno obravnavano obdobje. Podobno velja tudi za točko S4, čeprav so njeni premiki bistveno manjši. Kljub temu lahko za obe omenjeni točki rečemo, da njuni premiki bistveno odstopajo od premikov ostalih osnovnih točk. Za takšne točke pa je identifikacija s postopkom deformacijske analize razumljivo zelo zanesljiva, rekli bi lahko kar nesporna.

Zanimivo je, da je v vseh kumulativnih primerjavah zaznan premik točke 7SJ. V obravnavi rezultatov primerjav zaporednih izmer smo zapisali, da gre pri zaznanih dveh premikih te točke verjetno bolj za posledico dogajanj v celotni mreži. Ker gre za točko osnovne rudniške mreže, kjer se centriranje izvaja z optičnim grezenjem, bi bila možna razlaga tudi nenatančnost pri centriranju instrumenta. Glede na rezultate kumulativnih primerjav smo domnevali, da bi, kar se tiče te točke, lahko bila problematična ničelna izmera (2009). Zato smo izvedli analizo tudi za kumulativne primerjave glede na izmero 2009_1. Rezultati niso potrdili omenjene domneve, na točki 7SJ so bili prav tako zaznani premiki (podobne velikosti kot v primerjavah z ničelno izmero).

Morda ob analizi rezultatov velja omeniti opozorilo o možnih napakah v sklepanju glede metode Hannover, ki sta ga izrazila avtorja Mihailović in Aleksić (1994). Opozarjata namreč, da vektor koordinatnih razlik med dvema terminskima izmerama, ki sta izravnani kot prosti mreži (ob pogojih $\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \min$ in $\hat{\mathbf{x}}^T \hat{\mathbf{x}} = \min$), ne vsebuje samo informacije o premikih nestabilnih točk in o pogreških meritev. V njem je vsebovana tudi informacija o razliki koordinat težišča mreže in o premiku koordinatnega sistema. Zato naj bi bila identifikacija nestabilnih točk in določitev premikov le-teh z

metodo Hannover povsem pravilna le v posebnem primeru, ko je vsota premikov (sprememb koordinat) vseh točk enaka nič. Da bi se izognili napakam pri določitvi stabilnih in nestabilnih točk, je bila razvita nova metoda deformacijske analize, imenovana metoda Mihailović, ki temelji na stabilnosti koordinatnega sistema (predhodni identifikaciji stabilnih točk).

6 IZRAČUN PREMIKOV NESTABILNIH OSNOVNIH IN DETAJLNIH TOČK

Deformacijska analiza omogoča, da raziščemo stabilnost mreže brez vnaprejšnjih predpostavk o stabilnosti posameznih točk v njej. Ko gre za novo stabilizirano mrežo, je to tudi najbolj korekten pristop k problemu. V našem primeru sicer ne gre povsem za tak primer, saj sta v mrežo vključeni tudi dve stari točki rudniške mreže, za kateri lahko upravičeno predpostavljamo, da sta stabilni.

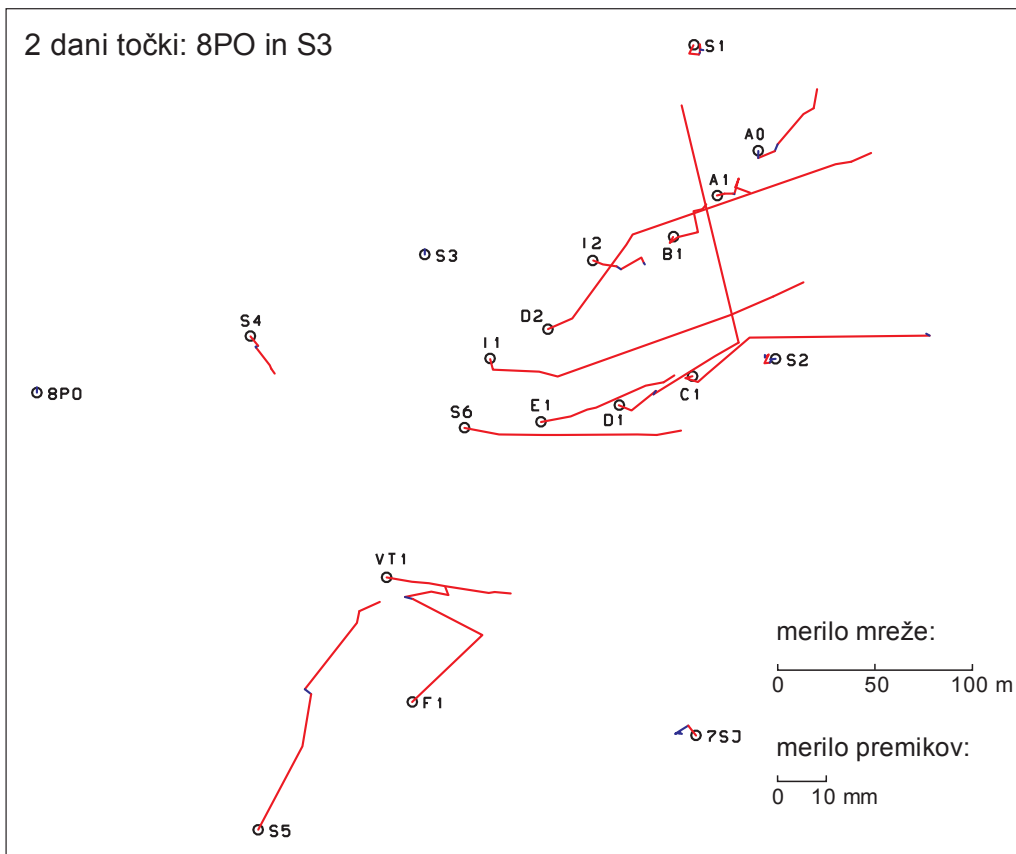
Za določitev premikov oz. sprememb koordinat posameznih točk v mreži moramo izračunati koordinate teh točk v predhodno definiranem koordinatnem sistemu. Ker želimo spremljati premike točk med več zaporednimi izmerami, moramo za definiranje koordinatnega sistema v vsaki od izmer uporabiti isti geodetski datum. Ker tega v praksi določimo z danimi količinami, to pomeni, da moramo v izravninah vseh izmer uporabiti enake dane koordinate izbranih (istih) točk. Seveda morajo biti te točke stabilne. V primeru 2D mreže, v kateri so merjene tudi dolžine, potrebujemo za definiranje geodetskega datuma še minimalno 3 datumske parametre. V praksi mnogokrat uporabimo dane koordinate dveh točk, čeprav je s tem geodetski datum že predoločen. Dane količine v tem primeru že vplivajo na relativne položaje točk oz. na notranjo geometrijo mreže.

Da bi lahko zaključili, ali gre v posameznem primeru spremembe položaja točke v resnici za premik, moramo poznati tudi natančnost ocene tega premika. Nato lahko s statističnim testom ugotovimo, ali gre za statistično značilen premik (Savšek-Safić et al., 2003).

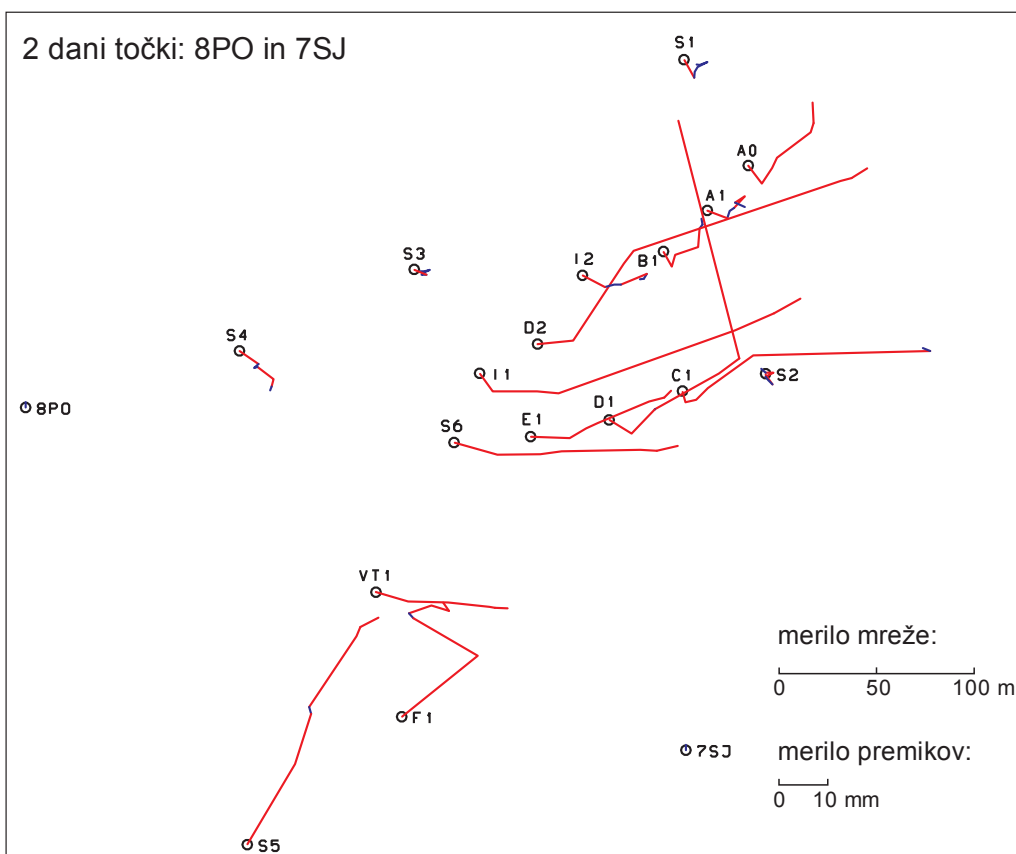
Za določitev premikov je potrebno najprej posamezne terminske izmere izravnati kot vpeto mrežo na izbrane dane točke. Pri izračunu uteži smo uporabili enake a priori standardne odklone smeri in dolžin kot v primeru prostih mrež. Za koordinate danih točk smo vzeli njihove izravnane koordinate iz izravnave proste mreže ničelne izmere. Glede na rezultate deformacijske analize, se zdi najbolj upravičeno, da za dani točki vzamemo točki 8PO in S3. Pri tem je potrebno poudariti, da njun položaj glede na celotno mrežo in tudi njun medsebojni položaj ni optimalen, saj sta točki na isti strani mreže (odlagališča) in med njima ni neposredne povezave (vidnosti). Zato smo najprej izrisali premike vseh točk v mreži za ta primer, nato pa napravili izrise še za nekaj drugih kombinacij danih točk. Tako smo izrisali še tri primere, v katerih je ena od danih točk vselej točka 8PO, druga pa ena od pogojno stabilnih osnovnih točk (7SJ, S2 in S1). Več izrisov smo napravili, da bi s sklepanjem na podlagi slik ugotovili, ali bi lahko našli optimalnejši izbor točk, ki bi določale geodetski datum. Zanimalo nas je predvsem, kakšni premiki so v posameznem primeru ugotovljeni na preostalih pogojno stabilnih osnovnih točkah.

Za izračun in izris premikov smo uporabili program Premik ver. 2.0 (avtorji Tomaž Ambrožič, Goran Turk in Bojan Stopar). Teoretične osnove za izračun v tem programu so predstavljene v poglavju 3.2.

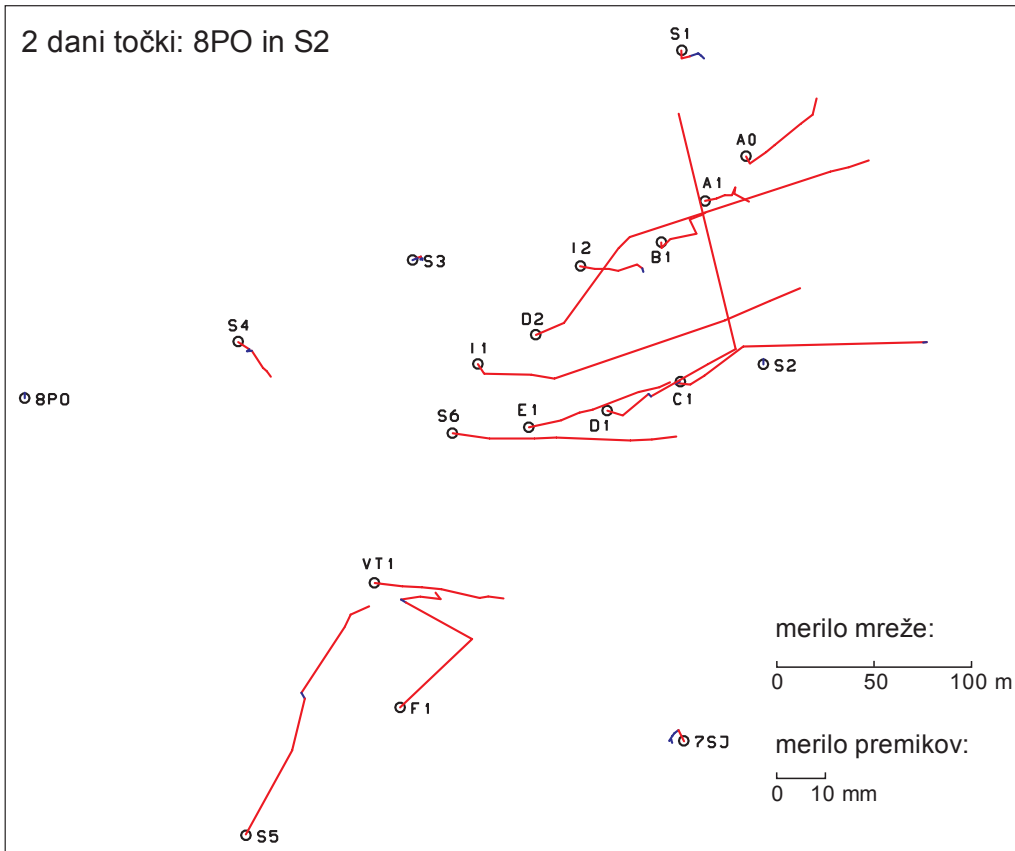
Statistično značilni premiki (pri stopnji značilnosti testa $\alpha = 0,05$) so na slikah izrisani v rdeči barvi, preostale spremembe položaja (statistično neznačilne) pa modre barve.



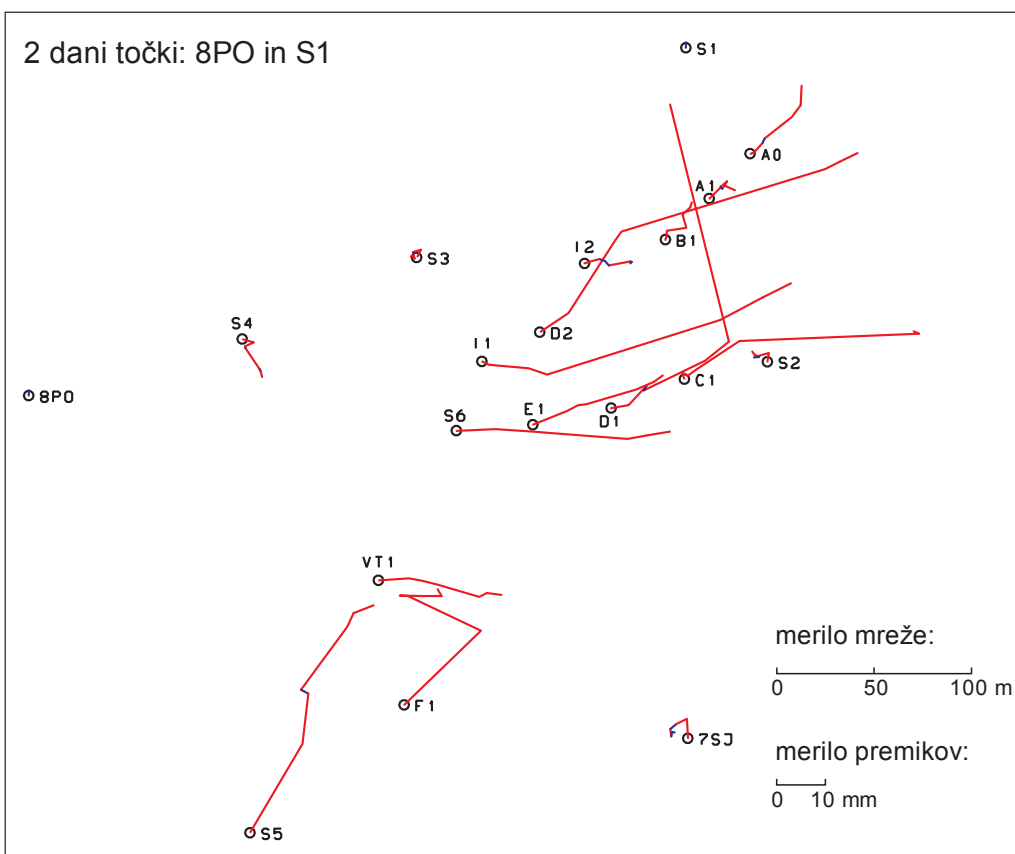
Slika 11: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S3



Slika 12: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in 7SJ



Slika 13: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S2



Slika 14: Premiki točk v mreži, ko sta dani točki 8PO in S1

Statistično testiranje premikov smo torej izvedli pri stopnji značilnosti testa $\alpha = 0,05$. Kritična vrednost za simulirano porazdelitveno funkcijo za posamezne točke se v obravnavani mreži pri tej stopnji značilnosti giblje med 2,1 in 2,5.

Če obravnavamo slike od 11 do 14, najprej lahko ugotovimo, da je velika večina premikov točk na objektu statistično značilnih. V grobem lahko rečemo tudi, da so ti premiki v različnih kombinacijah danih točk zelo podobni, kar smo tudi pričakovali.

Ker smo pri izboru danih točk dali prednost točkama 8PO in S3, malo podrobneje pogledajmo sliko 11. Na točkah F1 in C1 lahko opazimo premika težko razločljive smeri. Podobno velja za točke B1, C1 in A1. Na B1 in C1 lahko med ničelno in prvo izmero vidimo statistično značilna premika v nasprotni smeri, kot je smer padnice. V resnici gre za majhna premika (1,5 in 1,6 mm) in sta oba manjša od $3\sigma_d$, torej mejna primera. Statistično značilen premik v nasprotni smeri, kot je smer padnice, je zaznan še na točki A1 med izmerama 2013 in 2014. Tudi v tem primeru gre za manjši »premik« (1,9 mm).

Na vseh treh slikah, kjer med danima točkama ni točke 7SJ, je na tej točki opaziti statistično značilen premik (2,5 mm ali več) med ničelno in prvo izmero (2009 – 2009_1). Ta problem smo opazili že v deformacijski analizi. Ko je točka 7SJ privzeta kot dana (slika 12), se premik v nasprotni smeri pokaže na točkah S3 in S1. Točka 7SJ se torej v ničelni izmeri (2009) zdi nekoliko problematična, čeprav v obdelavi podatkov te izmere nismo zaznali grobih pogoškov. Na sliki 12 je sicer statistično značilnih premikov na točkah S1, S2 in S3 malo.

Kot pomoč pri razmisleku o izboru danih točk, smo v preglednici 32 zbrali število statistično značilnih premikov na točkah 7SJ, S1, S2 in S3 glede na izbor danih točk.

Preglednica 32: Število statistično značilnih premikov na točkah 7SJ, S1, S2 in S3 glede na izbor danih točk

Dani točki	Št. vseh spr. položaja	Št. stat. znač. premikov na pos. točki				Vsota vseh stat. znač. premikov
		S3	7SJ	S2	S1	
8PO in S3	$3 \cdot 6 = 18$	/	1	4	4	9
8PO in 7SJ	$3 \cdot 6 = 18$	1	/	3	1	5
8PO in S2	$3 \cdot 6 = 18$	1	1	/	2	4
8PO in S1	$3 \cdot 6 = 18$	4	3	5	/	12

Če pogledamo preglednico 32, vidimo, da se naša prva izbira danih točk (8PO in S3) po tem kriteriju ni izkazala za najboljšo. Bolj ugodni sta kombinaciji točke 8PO s točko 7SJ ali S2, kar lahko utemeljimo s tem, da sta od točke 8PO bolj oddaljeni, ležita na nasprotni strani odlagališča in tako zagotavljata optimalnejšo »pokritost« mreže. Med točkama 7SJ in S2 bi dali prednost točki S2 in rezultate za ta primer prikazali v preglednici 33. V njej so torej zbrane številske vrednosti, ki ustrezajo sliki 13. Čeprav

točki 8PO in S2 med seboj nista vidni, se zdita primeren izbor, ker prva leži ob zgornjem delu odlagališča, druga pa ob spodnjem, kjer se odlagališče strmo spušča. Izhodna datoteka programa Premik za ta primer je priložena v prilogi E.

Statistično značilni premiki so v preglednici 33 označeni z obarvanim poljem. Oznake v njej pomenijo naslednje:

d ... premik točke, izračunan iz Δy in Δx ,

σ_d ... standardni odklon premika,

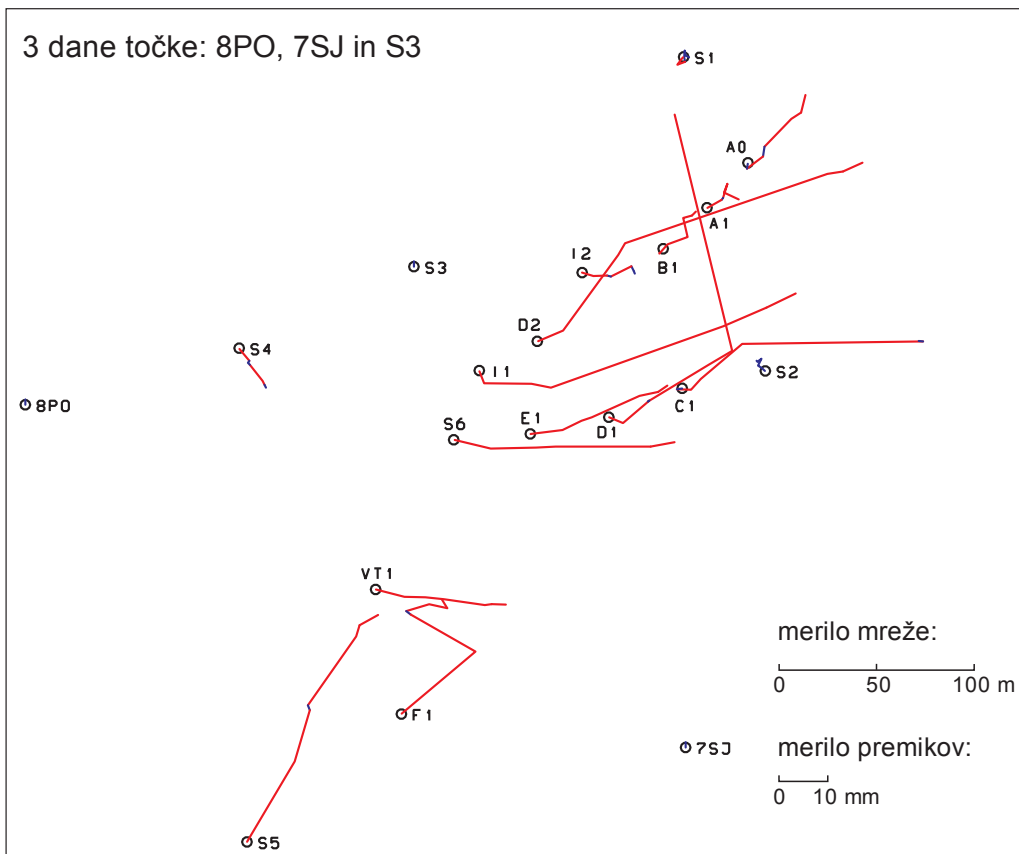
ν ... smerni kot premika.

Preglednica 33: Horizontalni premiki točk v mreži Jazbec pri danih točkah 8PO in S2

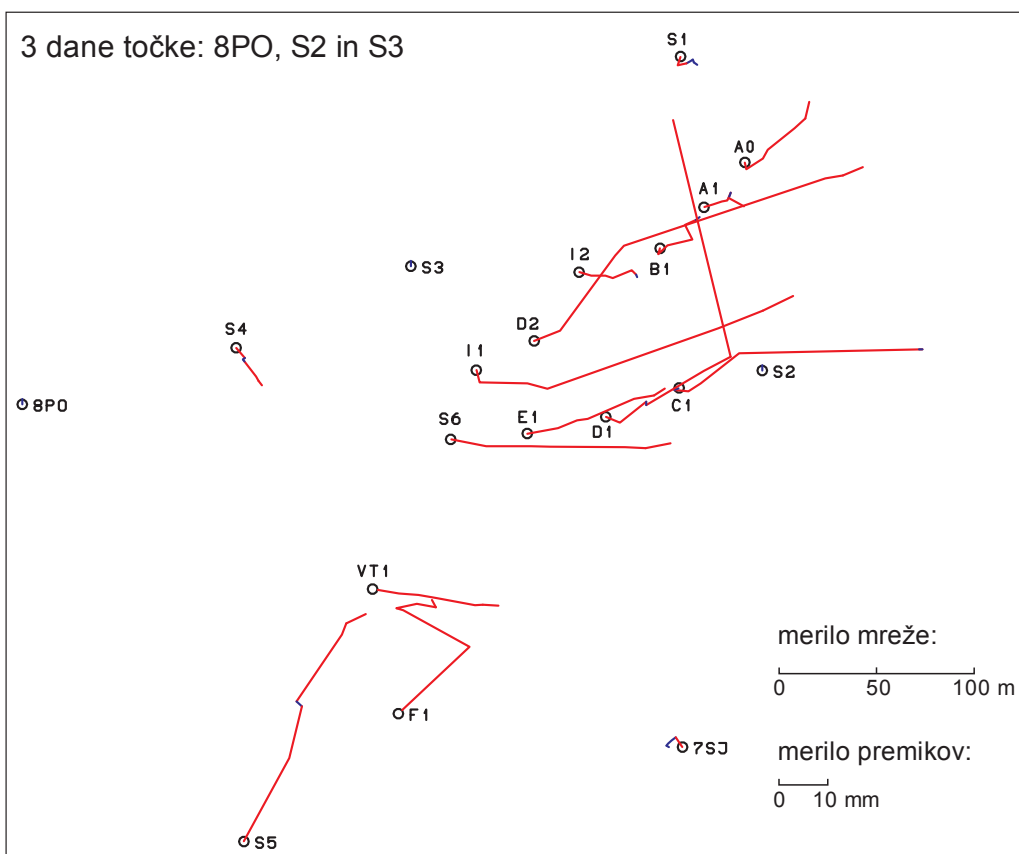
	2009 – 2009_1			2009_1 – 2010			2010 – 2011			2011 – 2013			2013 – 2014			2014 – 2015		
	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]	d [mm]	σ_p [mm]	ν [°]
8PO	dana točka																	
S2	dana točka																	
7SJ	2,5	0,5	333	1,0	0,7	233	0,6	0,8	219	1,3	0,7	212	0,5	0,6	53	0,7	0,5	164
S1	1,7	0,4	183	1,7	0,6	77	1,6	0,7	72	0,2	0,6	63	0,8	0,5	130	0,8	0,5	135
S3	0,9	0,4	69	0,2	0,3	270	1,2	0,5	70	0,6	0,5	189	0,4	0,4	63	0,3	0,4	180
S4	2,8	0,4	125	0,6	0,5	231	1,0	0,5	84	4,2	0,5	147	1,1	0,3	131	1,4	0,4	144
S5	19,8	0,5	29	10,9	0,5	14	1,4	0,7	330	16,2	0,5	33	2,8	0,4	26	4,2	0,5	66
S6	7,7	0,3	98	9,2	0,3	90	4,5	0,4	87	15,2	0,3	92	4,5	0,2	87	5,0	0,3	83
VT1	5,7	0,3	97	4,0	0,4	93	4,0	0,5	96	8,1	0,4	103	1,8	0,3	81	3,1	0,3	97
A0	1,7	0,6	152	4,0	0,5	55	2,2	0,6	51	7,0	0,5	51	3,1	0,4	53	3,4	0,6	14
A1	2,4	0,4	78	1,8	0,4	68	1,5	0,5	90	1,7	0,5	24	1,3	0,5	189	3,4	0,5	118
B1	1,2	0,5	180	2,5	0,4	45	5,5	0,6	78	3,2	0,7	334	2,5	0,4	69	1,0	0,4	61
C1	0,9	0,5	249	2,8	0,5	96	3,4	0,6	58	10,0	0,5	53	37,7	0,5	89	0,7	0,5	262
D1	3,4	0,4	107	6,9	0,5	50	0,7	0,5	135	13,4	0,5	61	6,5	0,4	61	49,6	0,4	346
D2	6,3	0,5	68	19,0	0,4	36	3,3	0,6	45	43,3	0,6	72	3,9	0,4	77	4,3	0,5	71
E1	6,7	0,4	78	4,1	0,4	67	2,8	0,5	77	10,1	0,4	69	4,4	0,3	77	2,4	0,4	66
F1	20,4	0,6	47	15,5	0,5	299	1,2	0,6	301	3,9	0,5	81	4,2	0,4	97	1,6	0,4	322
I1	2,4	0,4	147	9,6	0,3	91	4,9	0,4	99	37,0	0,4	71	10,1	0,3	67	6,7	0,4	67
I2	3,0	0,5	102	2,9	0,5	90	1,9	0,6	102	4,1	0,5	72	1,4	0,4	126	0,7	0,4	164

Če primerjamo velikost in smerni kot premikov za točki S4 in S5 v preglednici 33 in v preglednici 20, kjer so zbrani podatki o premikih osnovnih točk med posameznimi izmerami, kot smo jih določili z deformacijsko analizo, lahko ugotovimo, da so si vrednosti zelo podobne oz. se v pretežnem delu ujemajo.

Izračun in izris premikov smo napravili še za primer 3 danih točk. Glede na ugotovitve v preglednici 32 smo se odločili za dve različni kombinaciji danih točk: v prvem primeru so dane točke 8PO, 7SJ in S3, v drugem pa 8PO, S2 in S3.



Slika 15: Premiki točk v mreži, ko so dane točke 8PO, 7SJ in S3



Slika 16: Premiki točk v mreži, ko so dane točke 8PO, S2 in S3

Za primer, ko so dane točke 8PO, 7SJ in S3, smo rezultate predstavili tudi v preglednici 34. Pomen oznak in obarvanosti polj je enak kot pri preglednici 33.

Preglednica 34: Horizontalni premiki točk v mreži Jazbec pri danih točkah 8PO, 7SJ in S3

	2009 – 2009_1			2009_1 – 2010			2010 – 2011			2011 – 2013			2013 – 2014			2014 – 2015		
	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]	<i>d</i> [mm]	σ_p [mm]	<i>v</i> [°]
8PO	dana točka																	
7SJ	dana točka																	
S3	dana točka																	
S1	2,1	0,4	219	1,7	0,7	69	0,9	0,8	347	1,4	0,6	4	1,0	0,6	169	0,8	0,7	120
S2	0,5	0,4	307	0,3	0,5	315	1,1	0,5	304	1,6	0,7	27	1,0	0,5	233	0,3	0,4	315
S4	3,3	0,3	141	0,5	0,5	217	0,6	0,4	135	4,2	0,4	142	0,9	0,3	153	0,7	0,3	153
S5	19,2	0,4	31	10,9	0,5	16	1,1	0,6	338	17,2	0,5	35	2,4	0,4	17	4,3	0,4	61
S6	7,8	0,3	103	9,3	0,3	89	4,0	0,3	87	15,6	0,3	90	3,9	0,3	90	5,0	0,3	80
VT1	6,1	0,3	104	4,3	0,4	91	3,8	0,4	96	8,5	0,4	98	1,4	0,4	82	2,9	0,3	92
A0	1,2	0,8	189	4,1	0,6	53	2,0	1,0	9	7,9	0,7	44	2,4	0,5	57	3,7	0,7	14
A1	1,6	0,5	63	1,8	0,5	61	0,5	0,7	37	3,0	0,8	17	1,9	0,7	201	3,3	0,6	115
B1	1,3	0,5	219	2,5	0,5	42	4,4	0,7	70	4,0	0,9	347	1,9	0,5	74	1,1	0,5	45
C1	1,1	0,7	260	2,9	0,7	92	3,0	0,8	42	11,1	0,8	50	37,1	0,6	89	0,9	0,6	276
D1	3,1	0,5	112	7,1	0,6	50	0,4	0,7	236	14,5	0,7	59	5,7	0,6	59	49,8	0,4	346
D2	5,7	0,5	67	19,2	0,4	36	2,8	0,5	30	43,9	0,7	71	3,2	0,6	81	4,4	0,5	66
E1	6,6	0,5	83	4,3	0,5	64	2,2	0,6	72	10,7	0,5	66	3,9	0,5	78	2,3	0,4	56
F1	19,9	0,5	50	15,3	0,5	300	1,1	0,6	308	4,9	0,5	73	3,8	0,4	102	2,1	0,4	329
I1	2,8	0,4	159	9,7	0,3	91	4,1	0,3	101	37,6	0,4	70	9,6	0,3	67	6,7	0,3	64
I2	2,4	0,6	107	2,8	0,7	88	0,8	0,7	104	4,7	0,6	63	1,1	0,5	153	0,5	0,5	158

Če primerjamo preglednici 33 in 34, bi lahko na hitro zaključili, da se izračunani premiki točk pri različnem geodetskem datumu kar precej razlikujejo. Vendar je to samo prvi vtis. Če primerjamo premike, ki so po velikosti znatno večji od njihovega standardnega odklona, lahko ugotovimo, da razlike med vrednostmi niso zelo velike. Pri teh premikih je zaznati tudi precejšnje ujemanje smernih kotov, kar je razumljivo.

Razlike med vrednostmi v obeh preglednicah so posledice dejstva, da so vrednosti izračunanih premikov pogojene z geodetskim datumom. Če torej spremljamo premike v mreži med več zaporednimi terminskimi izmerami, se morajo rezultati izravnave posamezne izmere nanašati na isti geodetski datum. V vseh izravnava moramo imeti enake dane koordinate istih točk, ki morajo zato biti stabilne. V nalogi smo različne kombinacije teh danih točk uporabili zgolj zato, ker smo v deformacijski analizi za nekatere osnovne točke identificirali majhne (mejne) premike in smo ugotavljali, kakšen je njihov vpliv na rezultate. Sicer se zdi v primeru, da najprej opravimo deformacijsko analizo in določimo stabilne osnovne točke za celotno obdobje, nepotrebno, da bi v izračunih uporabili več kot dve dani točki. Že z dvema danima točkama je v primeru mreže, v kateri so merjene tudi dolžine, datum minimalno

predoločen, a seveda manj kot v primeru več danih točk. Predoločen geodetski datum pa vpliva na relativne položaje točk v posamezni izmeri in lahko »kvari« kakovostne meritve.

7 ZAKLJUČEK

Z vprašanjem stabilnosti točk se v geodeziji pogosto srečujemo. Najbolj neposredno se ta problem izpostavi v primeru geodetskih mrež, ki so vzpostavljene prav za ugotavljanje deformacij objekta oz. premikov posameznih točk na njem. Običajno takšno mrežo vzpostavimo na zgrajenih in naravnih objektih, kjer se pričakuje delovanje večjih sil in napetosti, ki bi lahko vodile do škodljivih posledic za ljudi in okolje.

V nalogi smo obravnavali geodetsko mrežo za nadzor stabilnosti na odlagališču rudarske jalovine Jazbec, ki je občutljiv objekt zaradi narave in količine odloženega materiala. Opazovalna mreža Jazbec je zasnovana kot absolutna mreža s točkami zunaj odlagališča, ki naj bi bile stabilne, in s kontrolnimi točkami na samem odlagališču, ki služijo spremljanju njegove stabilnosti. Obe vrsti točk (tako osnovne kot kontrolne) so v tej mreži (sicer z nekaj izjemami) stabilizirane tako, da omogočajo prisilno centriranje instrumenta in reflektorjev. V mreži je bilo do vključno leta 2015 opravljenih sedem terminskih izmer. V nalogi smo opravili deformacijsko analizo za vse pare zaporednih in vse pare ničelne in posamezne kasnejše izmere. Uporabili smo metodo deformacijske analize Hannover in se osredotočili na osnovne točke.

Pomembna pozitivna lastnost omenjene metode je, da v terminskih izmerah ne potrebujemo nujno enakega plana meritev. Izhodišče za deformacijsko analizo so izravnane koordinate točk in pripadajoča matrika kofaktorjev za posamezno izmero. Mrežo izravnamo kot prosto in tako dobimo omenjene količine, ki so neodvisne od geodetskega datuma in omogočajo korektno nadaljnjo statistično obdelavo. Metoda predvideva, da v izravnavi vsake od izmer uporabimo iste približne koordinate točk.

Rezultati izravnave posameznih izmer kažejo, da je bila v vseh primerih dosežena želena natančnost določitve položaja točk pod 1 mm. Prvi pogoj za izvedbo deformacijske analize po metodi Hannover je homogena (statistično enaka) natančnost obeh izmer, med katerima ugotavljamo premike točk. Temu pogoju ni težko zadostiti in tudi v vseh primerjavah izmer v naši nalogi je bil dosežen. Po testu homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer sledijo statistični testi za ločitev stabilnih osnovnih točk od preostalih nestabilnih točk v mreži. V teh testih je v testno statistiko vključeno t. i. srednje neujemanje, ki ga izračunamo iz vektorja koordinatnih razlik in matrike uteži za obravnavano skupino točk ali posamezno točko. V končnem koraku metode Hannover dobimo za vse točke tudi ocenjeni komponenti premika v smeri koordinatnih osi.

V primeru obravnavane mreže so bili zaradi visoke natančnosti določitve položajev točk s statističnimi testi ugotovljeni tudi zelo majhni premiki (tudi manj kot 1 mm). Tako s primerjavo zaporednih izmer kot tudi s kumulativno primerjavo izmer glede na ničelno je bila nesporno ugotovljena nestabilnost opazovalnih stebrov S5 in S4. V obdobju od leta 2009 do leta 2015 se je točka S5 premaknila za približno 53 mm, točka S4 pa za 9 mm. Smer premikov obeh točk je stalna in se ujema s smerjo padnice terena,

kjer sta stabilizirani. Zanimivo je, da le za steber S3 v primerjavi zaporednih izmer ni bil v nobenem primeru ugotovljen statistično značilen premik. To se lepo ujema z dejstvom, da je točka stabilizirana na skalnati podlagi. Za preostala dva stebra – osnovni točki S1 in S2 so bili ugotovljeni manjši premiki (do 2 mm) med nekaterimi zaporednimi izmerami, za steber S1 predvsem na začetku obravnavanega obdobja (med prvimi tremi izmerami). Presenetljivo so bili statistično značilni premiki identificirani tudi za točki stare rudniške mreže (7SJ in 8PO). Za točko 8PO sicer le enkrat, za točko 7SJ pa se je za problematičnega izkazal položaj, določen v izravnavi meritev ničelne izmere. Glede na vrsto teh točk domnevamo, da bi lahko bil možen vzrok v stabilizaciji teh točk, ki je klasična talna in torej ne omogoča prisilnega centriranja.

Če povzamemo: strogo vzeto se nobena od točk v statistični analizi ni izkazala za stabilno v vseh obravnavanih primerjavah izmer, kar bi bila optimalna situacija. Kljub temu lahko brez večjega tveganja točki 8PO in S3 štejemo za stabilni za celotno obravnavano obdobje. Tudi točke 7SJ, S1 in S2 z manjšimi pridržki oz. previdnostjo glede interpretacije tega zaključka označimo za stabilne.

Pokazalo se je, da tudi rezultati deformacijske analize ne prinašajo »avtomatičnih« odgovorov, ampak so kljub kompleksnejšemu pristopu zgolj pomoč (sicer velika) geodetu pri njegovih odločitvah. Tu je potrebno dodati, da so statistične analize že v sami osnovi relativne v smislu izbora testnih postopkov, predpostavljenih porazdelitev in predvsem stopnje značilnosti testov (Ambrožič, 1996).

V zadnjem delu naloge smo določili premike točk na osnovi rezultatov izravnave vklopljene mreže. Glede na zgoraj opisane rezultate deformacijske analize smo v izračunu uporabili več različnih kombinacij danih točk. Statistično značilnost premikov smo ugotavljali s primerjavo razmerja med premikom in natančnostjo njegove določitve s porazdelitveno funkcijo, ki smo jo izračunali na podlagi simulacije porazdelitvene funkcije. Izračunani premiki se v različicah vklopljenih mrež bistveno ne razlikujejo. To potrjuje zgoraj zapisano trditev, da bi lahko kot osnovne točke uporabili vse omenjene, seveda z izjemo točk S5 in S4.

VIRI

Agencija za radioaktivne odpadke. 2016.

<http://www.arao.si/nase-dejavnosti/priprave-na-prevzem-dolgorocnega-nadzora-nad-odlagalisci-jalovine> (Pridobljeno 2. 5. 2016.)

Ambrožič, T. 1996. Ocena stabilnosti točk v geodetski mreži. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Ambrožič): 76 str.

Ambrožič, T. 2001. Deformacijska analiza po postopku Hannover. Geodetski vestnik 45, 1–2: 38–53.

Ašanin, S. 1986. Prilog obradi i analizi geodetskih merjenja za određivanje pomeranja i deformacija objekta i tla. Doktorska disertacija. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Gradjevinski fakultet, Institut za geodeziju: 151 str.

Kogoj, D., Marjetič, A., Ambrožič, T., Stegenšek, B., Trlep, D. 2009. Geodetske meritve stabilnosti odlagališča rudniške jalovine Jazbec. Ničelna meritev – april 2009. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo: 65 str.

Kogoj, D., Marjetič, A., Stegenšek, B., Trlep, D. 2010. Geodetske meritve stabilnosti odlagališča rudniške jalovine Jazbec. II. meritev – oktober 2010. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geodezijo: 70 str.

Koler, B., Savšek, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. 2010. Realizacija geodezije v geotehniki. Geodetski vestnik 54, 3: 450–468.

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

Mele, I. 2003. Dolgo zapiranje Rudnika urana Žirovski vrh. Posavski obzornik 7, 70: 27.

Mihailović, K., Aleksić, I. R. 1994. Deformaciona analiza geodetskih mreža. Beograd, Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za geodeziju: 237 str.

Mihailović, K., Aleksić, I. R. 2008. Koncepti mreža u geodetskom premeru. Beograd, Geokarta: 725 str.

Rudnik urana Žirovski vrh. 2016.

<http://www.rudnik-zv.si/odlagalisca-jalovine-jazbec> (Pridobljeno 1. 4. 2016.)

Savšek-Safić, S. 2002. Optimalna metoda določanja stabilnih točk v deformacijski analizi. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Savšek-Safić): 211 str.

Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik 47, 1–2: 7–17.

Savšek, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2006. Determination of point displacements in the geodetic network. Journal of Surveying Engineering – ASCE 132, 2: 58–63.

DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9453(2006)132:2(58)

Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., Stopar, B. 2010. Geodezija v geotehniki. Geodetski vestnik 54, 1: 31–45.

Turk, G. 2012. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 264 str.

Žibert, K. 2009. Ničelna izmera geodetske mreže jalovišča Jazbec rudnika Žirovski vrh. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Žibert): 74 str.

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PRIBLIŽNE KOORDINATE TOČK V MREŽI

PRILOGA B: REZULTATI IZRAVNAVE IZMERE 2009 (PROSTA MREŽA) – DEL IZHODNE
DATOTEKE PROGRAMA GeM3

PRILOGA C: REZULTATI IZRAVNAVE IZMERE 2009_1 (PROSTA MREŽA) – DEL IZHODNE
DATOTEKE PROGRAMA GeM3

PRILOGA D: PRIMERJAVA IZMER 2009 IN 2009_1 – IZHODNI PODATKI PROGRAMA DAH

PRILOGA E: IZRAČUN PREMIKOV OB DANIH TOČKAH 8PO IN S2 – IZHODNA DATOTEKA
PROGRAMA Premik

PRILOGA A: PRIBLIŽNE KOORDINATE TOČK V MREŽI

	y (m)	x (m)
7SJ	5439,6545	4260,5389
8PO	5101,0938	4436,0682
S1	5438,6585	4614,2697
S2	5480,5164	4453,4022
S3	5300,3325	4506,8219
S4	5210,7449	4465,0673
S5	5214,7586	4212,1768
S6	5320,7808	4418,1387
VT1	5280,7323	4341,4820
A0	5471,6423	4560,0545
A1	5450,6290	4537,0503
B1	5428,1615	4515,9965
C1	5437,9203	4444,5192
D1	5400,2714	4429,7260
D2	5363,6286	4468,5806
E1	5360,0383	4421,1796
F1	5293,9407	4277,6758
I1	5333,9118	4453,6114
I2	5386,6169	4503,7933

PRILOGA B: REZULTATI IZRAVNAVE IZMERE 2009 (PROSTA MREŽA) – DEL IZHODNE
DATOTEKE PROGRAMA GeM3

Izravnava ravninske GEodetske Mreže
Program: GEM3, ver.4.0, dec. 07
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Datum: 13-APR-16
Čas: 07:57:06

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 1.00 sekund.
Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0.700 mm.

Število enačb popravkov je 131.
- Število enačb popravkov za smeri je 75.
- Število enačb popravkov za dolžine je 56.
Število neznank je 38.
- Število koordinatnih neznank je 38.
Defekt mreže je 3.
Število nadštevilnih opazovanj je 87.

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
7SJ	5439.6658	4260.5445	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0002	27.
8PO	5101.1027	4436.0726	0.0005	0.0005	0.0007	0.0006	0.0003	45.
S1	5438.6665	4614.2761	0.0004	0.0002	0.0005	0.0004	0.0002	104.
S2	5480.5269	4453.4076	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	31.
S3	5300.3419	4506.8273	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	21.
S4	5210.7518	4465.0763	0.0003	0.0002	0.0004	0.0003	0.0002	60.
S5	5214.7562	4212.1585	0.0003	0.0002	0.0004	0.0003	0.0002	78.
S6	5320.7681	4418.1445	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	148.
VT1	5280.7291	4341.4888	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	28.
A0	5471.6453	4560.0542	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0003	153.
A1	5450.6349	4537.0559	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0003	168.
B1	5428.1674	4515.9990	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0003	156.
C1	5437.9058	4444.5206	0.0004	0.0003	0.0005	0.0005	0.0002	76.
D1	5400.2746	4429.7010	0.0004	0.0003	0.0005	0.0004	0.0003	87.
D2	5363.6049	4468.5681	0.0004	0.0003	0.0005	0.0004	0.0003	119.
E1	5360.0341	4421.1803	0.0003	0.0002	0.0004	0.0003	0.0002	98.
F1	5293.9471	4277.6694	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	21.
I1	5333.8890	4453.6091	0.0002	0.0003	0.0004	0.0003	0.0002	180.
I2	5386.6210	4503.7993	0.0004	0.0003	0.0005	0.0004	0.0003	94.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.04172.
[pvv] = 94.4103867794
[xx] vseh neznank = 0.0037042453
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0037042453
Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00008.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 1.0417 sekund.
Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dol'in/ je 0.7292 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0007 metrov.
Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0002 metrov.
Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0005 metrov.

PRILOGA C: REZULTATI IZRAVNAVE IZMERE 2009_1 (PROSTA MREŽA) – DEL IZHODNE
DATOTEKE PROGRAMA GeM3

Izravnava ravninske GEodetske Mreže
Program: GEM3, ver.4.0, dec. 07
Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Datum: 13-APR-16
Čas: 07:59:44

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 0.50 sekund.
Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 0.500 mm.

Število enačb popravkov je 128.
- Število enačb popravkov za smeri je 74.
- Število enačb popravkov za dolžine je 54.
Število neznank je 38.
- Število koordinatnih neznank je 38.
Defekt mreže je 3.
Število nadštevilnih opazovanj je 84.

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
7SJ	5439.6609	4260.5450	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	23.
8PO	5101.0997	4436.0722	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002	46.
S1	5438.6638	4614.2727	0.0002	0.0001	0.0003	0.0002	0.0001	105.
S2	5480.5237	4453.4057	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	27.
S3	5300.3396	4506.8264	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	20.
S4	5210.7509	4465.0737	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	61.
S5	5214.7618	4212.1750	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	60.
S6	5320.7724	4418.1421	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	178.
VT1	5280.7313	4341.4870	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	24.
A0	5471.6433	4560.0509	0.0002	0.0003	0.0004	0.0003	0.0002	151.
A1	5450.6342	4537.0547	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	169.
B1	5428.1644	4515.9962	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	156.
C1	5437.9018	4444.5186	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	0.0001	78.
D1	5400.2745	4429.6984	0.0002	0.0001	0.0003	0.0002	0.0001	86.
D2	5363.6074	4468.5690	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	117.
E1	5360.0374	4421.1802	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	94.
F1	5293.9582	4277.6822	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	2.
I1	5333.8870	4453.6056	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	3.
I2	5386.6208	4503.7972	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	93.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 1.03125.
[pvv] = 89.3317295845
[xx] vseh neznank = 0.0032889701
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0032889701
Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00006.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 0.5156 sekund.
Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dol'in/ je 0.5156 milimetrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.0004 metrov.
Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.0001 metrov.
Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.0003 metrov.

PRILOGA D: PRIMERJAVA IZMER 2009 IN 2009_1 – IZHODNI PODATKI PROGRAMA DAH

```
#####  
# Program D A H : SPLOŠNI podatki #  
#####
```

Deformacijska Analiza po postopku Hannover
Program: DAH, ver.2.0, jun. 97
Copyright (C) Tomaž Ambrožič

Datum: 01-JUN-16
Čas: 22:51:31

Seznam podanih OSNOVNIH točk

=====

Točka
7SJ
8PO
S1
S2
S3
S4
S5

Vseh točk je 7.

Podana STOPNJA ZNAČILNOSTI testa /alfa/ je 0.050.

```
#####  
# Program D A H : IZHODNI podatki #  
#####
```

Testiranje HOMOGENE natančnosti dveh terminskih izmer
=====

Izračunana testna statistika = 1.020.
Število prostostnih stopenj je: $f_1 = 87$, $f_2 = 84$.

Ker je testna statistika manjša ali enaka, kot je kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 0.050$, ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, kar pomeni, da natančnost dveh terminskih izmer NI NEHOMOGENA.

GLOBALNI test stabilnosti točk mreže med dvema terminskima izmerama
=====

Izračunana testna statistika = 238.953.
Število prostostnih stopenj je: $h = 35$, $f = 171$.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 0.050$, zavrnemo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate točk med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Testiranje stabilnosti OSNOVNIH točk
=====

Izračunana testna statistika = 370.879.
Število prostostnih stopenj je: $h_s = 11$, $f = 171$.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 0.050$, zavrnemo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate osnovnih točk med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Identifikacija nestabilnih OSNOVNIH točk

Rezultat 1. iteracije identifikacije nestabilnih osnovnih točk:

Točka	Theta**2	Opomba	d_B /Y/ (mm)	d_B /X/ (mm)
7SJ	0.2828E+03		-7.92	-5.17
8PO	0.2114E+03		-5.21	-12.41
S1	0.8462E+02		-2.21	-3.13
S2	0.1990E+01		-0.50	-0.47
S3	0.9640E+00		-0.32	-0.13
S4	0.4166E+03		-1.02	-8.09
S5	0.2041E+04	max. <-- izločena!	9.34	17.78

Izračunana testna statistika = 31.194.
Število prostostnih stopenj je: hF = 9, f = 171.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa alfa = 0.050, zavrnamo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate "ostalnih" osnovnih točk med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Rezultat 2. iteracije identifikacije nestabilnih osnovnih točk:

Točka	Theta**2	Opomba	d_B /Y/ (mm)	d_B /X/ (mm)
7SJ	0.7880E+02		-2.17	2.69
8PO	0.1991E+01		1.09	0.56
S1	0.2448E+02		-0.56	-1.89
S2	0.4973E+01		-0.22	0.92
S3	0.1874E+02		0.72	1.42
S4	0.9090E+02	max. <-- izločena!	2.41	-2.55

Izračunana testna statistika = 15.937.
Število prostostnih stopenj je: hF = 7, f = 171.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa alfa = 0.050, zavrnamo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate "ostalnih" osnovnih točk med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Rezultat 3. iteracije identifikacije nestabilnih osnovnih točk:

Točka	Theta**2	Opomba	d_B /Y/ (mm)	d_B /X/ (mm)
7SJ	0.3664E+02	max. <-- izločena!	-0.70	2.76
8PO	0.8331E+01		1.11	-1.35
S1	0.2472E+02		-0.92	-1.80
S2	0.7716E+01		0.26	1.36
S3	0.1115E+02		1.21	0.04

Izračunana testna statistika = 8.673.
Število prostostnih stopenj je: hF = 5, f = 171.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa alfa = 0.050, zavrnamo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate "ostalnih" osnovnih točk med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Rezultat 4. iteracije identifikacije nestabilnih osnovnih točk:

Točka	Theta**2	Opomba	d_B /Y/ (mm)	d_B /X/ (mm)
8PO	0.9479E+00		0.15	-1.22
S1	0.2078E+02	max. <-- izločena!	-0.65	-1.76
S2	0.8851E+01		0.03	1.44
S3	0.1129E+02		0.92	1.29

Izračunana testna statistika = 1.563.
Število prostostnih stopenj je: hF = 3, f = 171.

Ker je testna statistika manjša ali enaka, kot je kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa alfa = 0.050, ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, kar pomeni, da se koordinate "ostalnih" osnovnih točk med dvema terminskima izmerama NISO spremenile.

Testiranje PREMIKOV točk na objektu

=====

Točka	dY (mm)	dX (mm)	Stabilna
8PO	-3.00	-0.40	da
S2	-3.20	-1.90	da
S3	-2.30	-0.90	da
S6	7.26	-1.39	ne
VT1	5.50	-0.92	ne
A0	0.30	-1.41	ne
A1	1.79	0.58	ne
B1	-0.40	-1.13	ne
C1	-1.01	-0.41	ne
D1	2.93	-1.22	ne
D2	5.30	2.08	ne
E1	6.32	1.10	ne
F1	14.67	13.72	ne
I1	0.77	-2.49	ne
I2	2.43	-0.71	ne
S5	9.41	17.12	ne
S4	1.78	-2.09	ne
7SJ	-1.27	2.08	ne
S1	-0.65	-1.76	ne

Izračunana testna statistika = 261.208.

Število prostostnih stopenj je: $h_0 = 32$, $f = 171$.

Ker je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 0.050$, zavrnilo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate točk na objektu med dvema terminskima izmerama SPREMENILE.

Deformacijska analiza je končana!

PRILOGA E: IZRAČUN PREMIKOV OB DANIH TOČKAH 8PO IN S2 – IZHODNA DATOTEKA

PROGRAMA Premik

PREMIKI in natančnosti premikov točk
 Program: PREMIK, ver.2.0
 Copyright (C) Tomaž Ambrožič, Goran Turk & Bojan Stopar

Ime datoteke z imeni datotek: jazbec.pre
 Ime datoteke za rezultate: jazbec.sez

Datum: 05/31/16
 Čas: 11:53:29

Mreža Jazbec

1 ... 1.koo
 2 ... 2.koo
 3 ... 3.koo
 4 ... 4.koo
 5 ... 5.koo
 6 ... 6.koo
 7 ... 7.koo

* ... v datoteki sta koordinati točke podani
 - ... v datoteki ni koordinat te točke

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8PO	*	*	*	*	*	*	*			
S2	*	*	*	*	*	*	*			
7SJ	*	*	*	*	*	*	*			
S1	*	*	*	*	*	*	*			
S3	*	*	*	*	*	*	*			
S4	*	*	*	*	*	*	*			
S5	*	*	*	*	*	*	*			
S6	*	*	*	*	*	*	*			
VT1	*	*	*	*	*	*	*			
A0	*	*	*	*	*	*	*			
A1	*	*	*	*	*	*	*			
B1	*	*	*	*	*	*	*			
C1	*	*	*	*	*	*	*			
D1	*	*	*	*	*	*	*			
D2	*	*	*	*	*	*	*			
E1	*	*	*	*	*	*	*			
F1	*	*	*	*	*	*	*			
I1	*	*	*	*	*	*	*			
I2	*	*	*	*	*	*	*			

Koordinatne razlike, smerni koti premikov in premiki posameznih točk.
 Število iteracij za izračun porazdelitvene funkcije je 99999.
 Stopnja značilnosti testa alfa je 0.050 (= 5.00%).

Izračun med datotekama (dobama) 1 in 2.									
Točka	dy	dx	Sm. kot	Premik	m_premik	T	T_krit	alfa_dej	3*m_prem.
	(m)	(m)	(stop.)	(m)	(m)			‰	
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	-0.0011	0.0022	333.	0.0025	0.0005	5.2614	2.2181	0.00	*
S1	-0.0001	-0.0017	183.	0.0017	0.0004	4.8015	2.2667	0.00	*
S3	0.0008	0.0003	69.	0.0009	0.0004	2.1506	2.2533	6.49	
S4	0.0023	-0.0016	125.	0.0028	0.0004	7.4206	2.3533	0.00	*
S5	0.0095	0.0174	29.	0.0198	0.0005	39.3470	2.3982	0.00	*
S6	0.0076	-0.0011	98.	0.0077	0.0003	28.8777	2.3182	0.00	*
VT1	0.0057	-0.0007	97.	0.0057	0.0003	16.4318	2.3763	0.00	*
A0	0.0008	-0.0015	152.	0.0017	0.0006	2.7896	2.4045	1.78	
A1	0.0023	0.0005	78.	0.0024	0.0004	5.3242	2.4132	0.00	*
B1	0.0000	-0.0012	180.	0.0012	0.0005	2.4489	2.4329	4.81	
C1	-0.0008	-0.0003	249.	0.0009	0.0005	1.5712	2.2251	21.94	
D1	0.0032	-0.0010	107.	0.0034	0.0004	7.4721	2.4298	0.00	*
D2	0.0058	0.0024	68.	0.0063	0.0005	12.8734	2.4307	0.00	*
E1	0.0066	0.0014	78.	0.0067	0.0004	16.3778	2.4379	0.00	*
F1	0.0148	0.0140	47.	0.0204	0.0006	35.8045	2.4225	0.00	*
I1	0.0013	-0.0020	147.	0.0024	0.0004	5.4145	2.2759	0.00	*
I2	0.0029	-0.0006	102.	0.0030	0.0005	5.9870	2.4285	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 2 in 3.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	-0.0008	-0.0006	233.	0.0010	0.0007	1.4970	2.3658	30.10	
S1	0.0017	0.0004	77.	0.0017	0.0006	2.9771	2.3487	0.83	
S3	-0.0002	0.0000	270.	0.0002	0.0003	0.5843	2.3281	82.86	
S4	-0.0005	-0.0004	231.	0.0006	0.0005	1.2833	2.3992	42.60	
S5	0.0026	0.0106	14.	0.0109	0.0005	22.6085	2.3923	0.00	*
S6	0.0092	0.0000	90.	0.0092	0.0003	30.2011	2.3856	0.00	*
VT1	0.0040	-0.0002	93.	0.0040	0.0004	9.8800	2.4347	0.00	*
A0	0.0033	0.0023	55.	0.0040	0.0005	8.5543	2.3252	0.00	*
A1	0.0017	0.0007	68.	0.0018	0.0004	4.5511	2.3627	0.00	*
B1	0.0018	0.0018	45.	0.0025	0.0004	6.2697	2.4150	0.00	*
C1	0.0028	-0.0003	96.	0.0028	0.0005	5.3142	2.1500	0.00	*
D1	0.0053	0.0044	50.	0.0069	0.0005	14.4118	2.3982	0.00	*
D2	0.0112	0.0153	36.	0.0190	0.0004	42.3892	2.4141	0.00	*
E1	0.0038	0.0016	67.	0.0041	0.0004	9.8105	2.4391	0.00	*
F1	-0.0136	0.0075	299.	0.0155	0.0005	28.5162	2.4382	0.00	*
I1	0.0096	-0.0002	91.	0.0096	0.0003	30.6552	2.3103	0.00	*
I2	0.0029	0.0000	90.	0.0029	0.0005	5.8162	2.4233	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 3 in 4.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	-0.0004	-0.0005	219.	0.0006	0.0008	0.8101	2.3783	70.87	
S1	0.0015	0.0005	72.	0.0016	0.0007	2.2978	2.3699	5.95	
S3	0.0011	0.0004	70.	0.0012	0.0005	2.4148	2.3451	4.23	
S4	0.0010	0.0001	84.	0.0010	0.0005	1.9207	2.4071	14.91	
S5	-0.0007	0.0012	330.	0.0014	0.0007	2.0868	2.3894	10.22	
S6	0.0045	0.0002	87.	0.0045	0.0004	11.9981	2.3975	0.00	*
VT1	0.0040	-0.0004	96.	0.0040	0.0005	8.2257	2.4377	0.00	*
A0	0.0017	0.0014	51.	0.0022	0.0006	3.8909	2.3278	0.03	*
A1	0.0015	0.0000	90.	0.0015	0.0005	3.1982	2.3527	0.40	*
B1	0.0054	0.0011	78.	0.0055	0.0006	9.3537	2.3245	0.00	*
C1	0.0029	0.0018	58.	0.0034	0.0006	5.3739	2.1356	0.00	*
D1	0.0005	-0.0005	135.	0.0007	0.0005	1.4849	2.3874	31.49	
D2	0.0023	0.0023	45.	0.0033	0.0006	5.8609	2.3508	0.00	*
E1	0.0027	0.0006	77.	0.0028	0.0005	5.5039	2.4364	0.00	*
F1	-0.0010	0.0006	301.	0.0012	0.0006	1.8709	2.4403	17.13	
I1	0.0048	-0.0008	99.	0.0049	0.0004	13.1462	2.3242	0.00	*
I2	0.0019	-0.0004	102.	0.0019	0.0006	3.3342	2.4208	0.33	*

Izračun med datotekama (dobama) 4 in 5.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	-0.0007	-0.0011	212.	0.0013	0.0007	1.8437	2.3292	15.31	
S1	0.0002	0.0001	63.	0.0002	0.0006	0.3632	2.3332	92.98	
S3	-0.0001	-0.0006	189.	0.0006	0.0005	1.2491	2.3243	41.99	
S4	0.0023	-0.0035	147.	0.0042	0.0005	8.7011	2.3972	0.00	*
S5	0.0089	0.0135	33.	0.0162	0.0005	30.8973	2.3962	0.00	*
S6	0.0152	-0.0006	92.	0.0152	0.0003	50.0028	2.3699	0.00	*
VT1	0.0079	-0.0018	103.	0.0081	0.0004	20.9637	2.4159	0.00	*
A0	0.0054	0.0044	51.	0.0070	0.0005	13.6738	2.3462	0.00	*
A1	0.0007	0.0016	24.	0.0017	0.0005	3.2376	2.3824	0.39	*
B1	-0.0014	0.0029	334.	0.0032	0.0007	4.6154	2.3184	0.00	*
C1	0.0080	0.0060	53.	0.0100	0.0005	18.8937	2.1746	0.00	*
D1	0.0117	0.0066	61.	0.0134	0.0005	27.0232	2.4140	0.00	*
D2	0.0412	0.0134	72.	0.0433	0.0006	72.7541	2.3558	0.00	*
E1	0.0094	0.0036	69.	0.0101	0.0004	23.3897	2.4405	0.00	*
F1	0.0039	0.0006	81.	0.0039	0.0005	7.4188	2.4223	0.00	*
I1	0.0350	0.0119	71.	0.0370	0.0004	98.0071	2.3065	0.00	*
I2	0.0039	0.0013	72.	0.0041	0.0005	7.8896	2.4270	0.00	*

Izračun med datotekama (dobama) 5 in 6.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	0.0004	0.0003	53.	0.0005	0.0006	0.8473	2.2253	64.27	
S1	0.0006	-0.0005	130.	0.0008	0.0005	1.6829	2.2727	19.11	
S3	0.0004	0.0002	63.	0.0004	0.0004	1.2648	2.2721	39.25	
S4	0.0008	-0.0007	131.	0.0011	0.0003	3.1857	2.3644	0.44	*
S5	0.0012	0.0025	26.	0.0028	0.0004	6.6512	2.3950	0.00	*
S6	0.0045	0.0002	87.	0.0045	0.0002	18.9829	2.3223	0.00	*
VT1	0.0018	0.0003	81.	0.0018	0.0003	5.5723	2.3639	0.00	*
A0	0.0025	0.0019	53.	0.0031	0.0004	7.3367	2.3546	0.00	*
A1	-0.0002	-0.0013	189.	0.0013	0.0005	2.8502	2.4060	1.51	
B1	0.0023	0.0009	69.	0.0025	0.0004	6.7445	2.4305	0.00	*
C1	0.0377	0.0009	89.	0.0377	0.0005	83.0802	2.2108	0.00	*
D1	0.0057	0.0031	61.	0.0065	0.0004	16.0064	2.4286	0.00	*
D2	0.0038	0.0009	77.	0.0039	0.0004	9.3434	2.4294	0.00	*
E1	0.0043	0.0010	77.	0.0044	0.0003	12.6619	2.4379	0.00	*
F1	0.0042	-0.0005	97.	0.0042	0.0004	10.7122	2.3882	0.00	*
I1	0.0093	0.0040	67.	0.0101	0.0003	31.1650	2.2790	0.00	*
I2	0.0011	-0.0008	126.	0.0014	0.0004	3.4448	2.4287	0.24	*

Izračun med datotekama (dobama) 6 in 7.

Točka	dy (m)	dx (m)	Sm. kot (stop.)	Premik (m)	m_premik (m)	T	T_krit	alfa_dej %	3*m_prem.
8PO	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
S2	0.0000	0.0000	0.	0.0000					
7SJ	0.0002	-0.0007	164.	0.0007	0.0005	1.3874	2.2308	30.84	
S1	0.0006	-0.0006	135.	0.0008	0.0005	1.7709	2.2877	16.48	
S3	0.0000	-0.0003	180.	0.0003	0.0004	0.6861	2.2694	76.02	
S4	0.0008	-0.0011	144.	0.0014	0.0004	3.2650	2.3714	0.35	*
S5	0.0038	0.0017	66.	0.0042	0.0005	7.6420	2.3965	0.00	*
S6	0.0050	0.0006	83.	0.0050	0.0003	18.3911	2.3218	0.00	*
VT1	0.0031	-0.0004	97.	0.0031	0.0003	9.4146	2.3647	0.00	*
A0	0.0008	0.0033	14.	0.0034	0.0006	5.6761	2.3525	0.00	*
A1	0.0030	-0.0016	118.	0.0034	0.0005	7.5251	2.4054	0.00	*
B1	0.0009	0.0005	61.	0.0010	0.0004	2.4718	2.4299	4.52	
C1	-0.0007	-0.0001	262.	0.0007	0.0005	1.3631	2.2151	31.50	
D1	-0.0117	0.0482	346.	0.0496	0.0004	*****	2.4275	0.00	*
D2	0.0041	0.0014	71.	0.0043	0.0005	9.3015	2.4301	0.00	*
E1	0.0022	0.0010	66.	0.0024	0.0004	6.0720	2.4388	0.00	*
F1	-0.0010	0.0013	322.	0.0016	0.0004	3.7935	2.3879	0.05	*
I1	0.0062	0.0026	67.	0.0067	0.0004	18.4138	2.2791	0.00	*
I2	0.0002	-0.0007	164.	0.0007	0.0004	1.6568	2.4294	24.74	