

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program geodezija,
Smer Geodezija v inženirstvu

Kandidat:

Ožbolt Harnold

Določevanje premikov pregrade pri Prigorici

Diplomska naloga št.: 305

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Ljubljana, 26. 11. 2009

STRAN ZA POPRAVKE

<u>Stran z napako</u>	<u>Vrstica z napako</u>	<u>Namesto</u>	<u>Naj bo</u>
------------------------------	--------------------------------	-----------------------	----------------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **OŽBOLT HARNOLD** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»**DOLOČEVANJE PREMIKOV PREGRADE PRI PRIGORICI**«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 15.11.2009

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.4:627.8(043.2)
- Avtor:** Ožbolt Harnold
- Mentor:** izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič, univ. dipl. inž. geod., univ. dipl. ing. rud.
- Naslov:** Določevanje premikov pregrade pri Prigorici
- Oprema:** 49 str., 12 preg., 11 slik, 60 enačb, 14 prilog
- Ključne besede:** redukcija dolžin, izravnava opazovanj, analiza premikov, program Premik, deformacijska analiza, metoda Hannover

Izveček

V diplomski nalogi smo predstavili določanje premikov pregrade pri Prigorici. Naše meritve so potekale v petih terminskih izmerah. Naloga obsega izračun vseh kombinacij med terminskimi izmerami. Meritve smo izvajali z instrumentoma Leica TC 1700 za kotne in dolžinske meritve in nivelir Leica - NAK 2 s planparalelno ploščo za vertikalne premike. Pred začetkom same analize premikov smo posamične terminske izmere izravnali po metodi najmanjših kvadrantov. Končana izravnava nam je dala odgovor, ali imamo morebitne grobe pogreške med meritvami oziroma opazovanji, izravnane koordinate ter analizo natančnosti. Da lahko začnemo z analizo premikov, moramo poskrbeti še za identično število točk v vseh terminskih izmerah. Izbira metode za določitev oziroma analizo premikov je odvisna od naloge. Odločili smo se za analizo premikov točk po enostavnem postopku s programom Premik, ter s podrobnejšo deformacijsko analizo po metodi Hannover. Metoda Hannover je postopek, ki odkrije in določi nastale premike z metodami statistične analize. Testiramo homogenost natančnosti terminskih izmer, opravimo globalni test stabilnosti referenčnih točk in določimo ter testiramo morebitne premike na opazovanem objektu. Oba postopka smo podrobneje predstavili v naši nalogi. Za konec smo predstavili rezultate analiz in jih med seboj primerjali.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 528.4:627.8(043.2)
- Author:** Ožbolt Harnold
- Supervisor:** assoc. prof. dr. Tomaž Ambrožič
- Title:** Determination of the displacements of the barrier at Prigorica
- Notes:** 49 p., 12 tab., 11 pic., 60 eq., 14 add.
- Key words:** reduction of the length, offset observation, analysis of movements, program Premik, strain analysis, method of Hannover

Abstract

In the graduation thesis we have presented the determining of the displacements of the barrier at Prigorica. Our calculations were made in five term measurements. The thesis consist of the calculation of all combinations between term measurements. The measurements have been made with instruments Leica TC 1700 for angular and linear measurements and nivelir Leica-NAK 2 with a planparalel plate for vertical movements. Before we began analysing the displacements, individual term measurements have been adjustment by least – squares principle. The final adjustment has given us the answer whether there are any gross errors among the measures or observations, the adjusted coordinates and the accuracy analysis. To begin with the analysis of the displacement, we must first ensure, along with the prior adjustment, that the number of points is identical in all term measurements. The choice of method for determination and analysis of the displacement depends on the assignment. For analysing point displacements we have decided for a simple procedure with program Premik and the method of Hannover for a detailed deformation analysis. The method of Hannover is a procedure that reveals and determines the caused displacements with methods of statistical analysis. We test homogeneity of accuracy of term measurements, we make a global test of reference points stability and determine and test possible displacements on an observed object. Both procedures are presented in detail in the graduation thesis. For conclusion we have presented the results of analysis and compared them with each other.

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorjuizr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču za svetovanje in pomoč pri nastajanju diplomskega dela, ter podjetju ENS d.o.o., kjer so mi omogočili pridobitev podatkov.

Posebej se zahvaljujem družini za vso podporo in razumevanje v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 PREGRADA PRI PRIGORICI	2
2.1 Namen izgradnje pregrade pri Prigorici	2
2.2 Opis pregrade pri Prigorici	3
3 GEODETSKA MREŽA	5
3.1 Opis mreže	5
3.2 Določanje horizontalnih premikov	5
3.3 Določanje vertikalnih premikov	6
3.4 Stabilizacija opazovalnih in kontrolnih točk	7
3.4.1 Stabilizacija referenčnih točk	8
3.4.2 Stabilizacija kontrolnih točk	8
3.5 Stabilizacija reperjev	9
4 METODA IZMERE	11
4.1 Postopek izmere horizontalnih premikov	11
4.1.1 Leica TPS (Wild) - TC 1700	11
4.2 Postopek izmere vertikalnih premikov	13
4.2.1 Nivelir Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo	14
4.2.2 Trigonometrično višinomerstvo	15

5 IZRAVNAVA PODATKOV	16
5.1 Izračun smeri	16
5.2 Redukcija dolžin	16
5.2.1 Meteorološki popravki	16
5.2.2 Geometrični popravki	18
5.2.3 Projekcijski popravki	19
5.3 Izravnava opazovanj	19
5.4 Transformacija izmer v identično število točk	22
6 ANALIZA PREMIKOV S PROGRAMOM PREMIK	25
6.1 Program Premik	25
6.2 Izračun premikov	26
6.3 Analiza in rezultati položajnih premikov	27
6.4 Analiza in rezultati višinskih premikov	29
7 DEFORMACIJSKA ANALIZA PO METODI HANNOVER	32
7.1 Program DAH	33
7.2 Izračun	34
7.2.1 Izravnava opazovanj posameznih izmer z analizo natančnosti	34
7.2.2 Testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh izmerah	35
7.2.3 Globalni test stabilnosti točk mreže v dveh izmerah	37
7.2.4 Testiranje stabilnosti točk mreže	39
7.2.5 Postopek določitve nestabilnih osnovnih točk	40
7.2.6 Testiranje premikov točk na objektu	43
7.3 Analiza rezultatov položajnih premikov	44

7.4 Analiza rezultatov višinskih premikov.....	46
---	-----------

8 ZAKLJUČEK.....	48
-------------------------	-----------

VIRI.....	50
------------------	-----------

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Adaptacija pregrade	4
Preglednica 2: Podrobnejša karakteristika instrumenta.....	12
Preglednica 3: Podrobnejša karakteristika instrumenta.....	14
Preglednica 4: Analiza natančnosti, položajna natančnost točk v izravninah posameznih izmer	21
Preglednica 5: Analiza natančnosti, višinska natančnost točk v izravninah posameznih izmer	22
Preglednica 6: Transformirane koordinate točk	24
Preglednica 7: Analiza premikov kontrolne točke 5	27
Preglednica 8: Analiza premikov kontrolne točke 6	28
Preglednica 9: Analiza premikov kontrolne točke 10	29
Preglednica 10: Analiza višinskih premikov prve in druge terminske izmere.....	30
Preglednica 11: Analiza metode Hannover in primerjava z analizo s programom Premik.....	45
Preglednica 12: Analiza metode Hannover in primerjava z analizo s programom Premik.....	46

KAZALO SLIK

Slika 1: Pregrada pri Prigorici z območjem zadrževanja.....	2
Slika 2: Pregradni tip izpusta vode.	3
Slika 3: Skica opazovalnih stebrov in kontrolnih točk na pregradi	6
Skica 4: Primer niveliranja iz sredine	6
Skica 5: Primer niveliranja iz krajišča.	7
Slika 6: Referenčna točka 6004	8
Slika 7: Kontrolna točka	9
Slika 8: Stabilizacija reperja na opazovalnem stebru 6001.....	10
Slika 9: Leica TPS (Wild) - TC 1700	12
Slika 10: Nivelir Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo.....	14
Slika 11: Skica premikov točk	31

1 UVOD

Na Zemljo delujejo različne sile oziroma vplivi, ki so lahko zunanji ali notranji. Klimatski, hidrološki in geološki vplivi, obremenitve lastne teže objektov, premiki v zemeljski skorji in podobno, so vzroki, zaradi katerih pride do premikov na zemlji, s tem pa tudi neposredno do premikov na objektih, geodetskih točkah itd. . .

Opazovanje in analiza teh premikov sta zahtevnejši opravili v geodeziji, saj zahtevata visoko natančnost meritev, visoko zanesljivost senzorjev, fleksibilnost orodij za izračun in analizo podatkov. Največkrat je potrebna takojšna obdelava oziroma analiza podatkov za pravočasno ukrepanje. Opazovanje objektov je odgovorna naloga, kar pomeni, da te meritve oziroma opazovanja potekajo na zahtevnejših objektih, mostovih, jezovih, pregradah, predorih, v strojništvu, avto-letalski industriji itd. . .

Z opazovanjem premikov se kontrolira stanje in varnost objektov v določenih časovnih intervalih. Primerjajo se podatki oziroma rezultati analize in predvidenih premikov, katere so izračunali oziroma ocenili na osnovi predhodnih raziskav terena in z upoštevanjem vseh morebitnih vplivov. Potrebna so dobra teoretična in praktična strokovna podlaga, poleg tega še dovolj "dobra oziroma optimalna oprema" (terenska in programska) oziroma instrumentarij, s katerimi se izvede in izračuna opazovanja, za kasnejšo analizo in primerjavo.

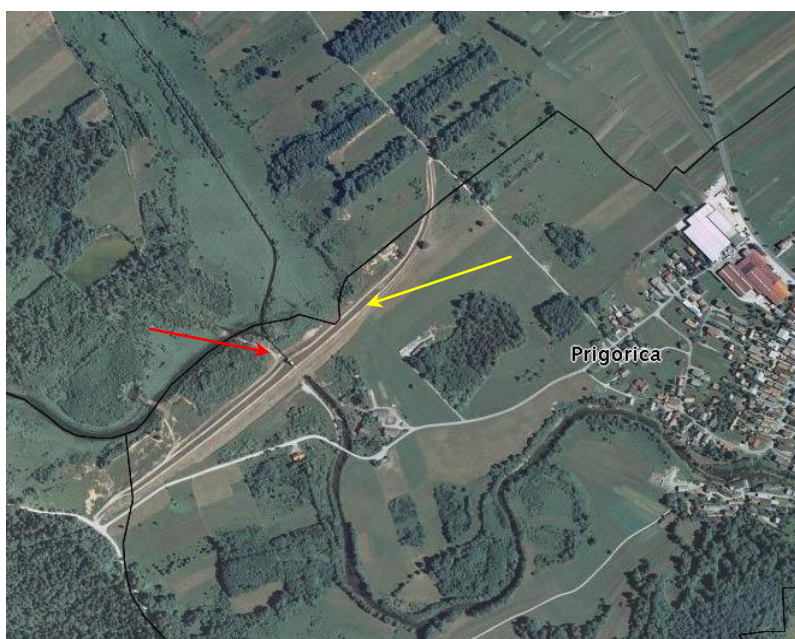
V našem primeru smo določali premike pregrade pri Prigorici. Obdelali smo pet izmer z deformacijsko analizo po postopku Hannover, ter premike analizirali s programom Premik in primerjali rezultate med seboj. Metodo Hannover je razvil H. Pelzer na Geodetskem inštitutu Univerze Hannover v Zvezni republiki Nemčiji (Ambrožič, T., 2001). Analizo premikov s programom Premik pa je podrobno obdelala Simona Savšek – Safič (Savšek – Safič in sod., 2003).

2 PREGRADA PRI PRIGORICI

Naša diplomska naloga predstavlja določanje premikov pregrade pri Prigorici. Kratko predstavitev pregrade, ki služi preprečevanju poplav potoka Ribnica, predstavljamo v nadaljevanju besedila.

2.1 Namen izgradnje pregrade pri Prigorici

Čez Prigorico teče potok Ribnica, ki izvira v Veliki gori in ponikne pri sv. Marjeti. Na tem prostoru pade zelo veliko vode, zato so domačini bili vedno v strahu, da jim bo zalilo njive in polja. Prav tako je večkrat zalilo domove, še posebej tiste bližnje. Leta 1985 so začeli graditi vodni zadrževalnik. Puščici na sliki 1 predstavljata prepust pregrade (rdeče obarvana) in pregrado (rumeno obarvana).



Slika 1: Pregrada pri Prigorici z območjem zadrževanja

<http://www.geopedia.si/> (14.5.2009).

2.2 Opis pregrade pri Prigorici

Postavili so pregradni nasip, dolg 905 m in visok okoli 7 m. Vanj so vgradili 18 tisoč kubičnih metrov dolomitnega materiala. S pregrado so tako odpravili poplave v Prigorici in drugih naseljih do Kočevja. V okviru pregrade so zgradili še odvodni rov, ki naj bi razbremenjeval potok Bistrico in preprečil poplave v Ribnici. Pregrada lahko zadrži okrog 10 milijonov kubičnih metrov vode.



*Slika 2: Pregradni tip izpusta vode, Pomladni utrinki – vodna pregrada,
<http://www.freewebs.com/prigorica/vodovje.htm> (14.5.2009).*

Leta 2001 je jesensko deževje zadrževalnik tako napolnilo, da je voda začela pronicati čez pregrado. Kljub temu, da se je izza pregrade daljše obdobje vršil prekomerni izpust, s čimer se je preobremenilo zemljišča in ogrozilo objekte za pregrado, je nivo vode v pregradi dosegel nivo stoletnih vod. Pokazalo se je, da je pregrada v izredno slabem stanju in da je malo verjetno, da bi zdržala še eno tako deževno obdobje.

Zato so se odločili, da bodo celoten vodni zadrževalnik adaptirali. Nasip so utrdili in namestili dodatne drenažne cevi (Pomladni utrinki – vodna pregrada, <http://www.freewebs.com/prigorica/vodovje.htm> 14.5.2009).

Preglednica 1: Adaptacija pregrade, Slovenski kataster velikih pregrad, pregled osnovnih pojmov v zvezi z velikimi pregradami, http://slocold.ibe.si/S/Kataster/Kat_Prig.html-l2.

Status	Nespremenjena
tip pregrade	Nasuta zemeljska
Lega in tip tesnitve	Glineno jedro
Temeljenje	Skala
Konstruktivna višina [m]	9,8
Maksimalna kota zadrževanja [m]	7,3
Dolžina krone [m]	960
Prostornina pregrade [m³]	95 000
Prostornina zajezitve [m³]	10 230 000
Površina zajezitve [m²]	2 650 000
Namen	Visoko vodni zadrževalnik
Tip preliva	Talni izpust
Opomba	Suhi zadrževalnik

3 GEODETSKA MREŽA

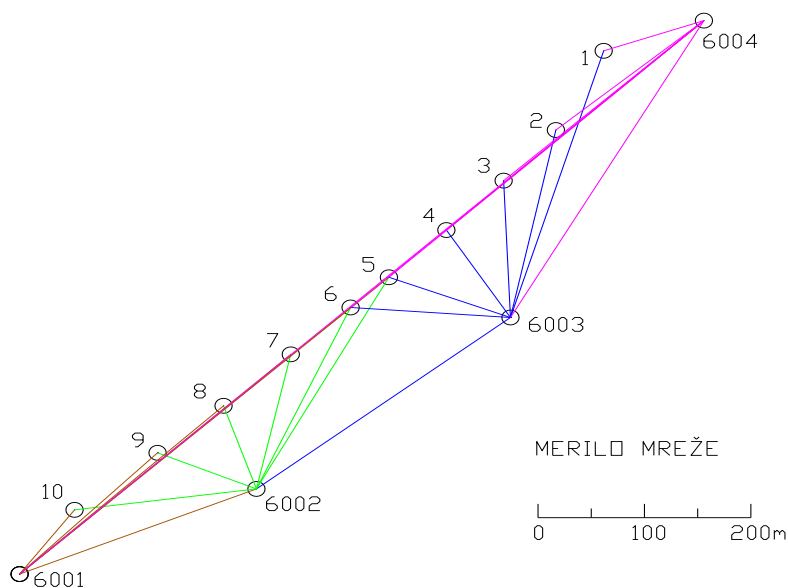
Projektiranje geodetske mreže je ena najpomembnejših faz vzpostavljanja geodetskih mrež. Dober projekt je predpogoj za izpolnitev zahtev investitorja glede kakovosti oblike mreže in natančnosti končnih rezultatov, ter zagotavlja izvedbo del z optimalnimi stroški (Kogoj, in Stopar, 2004).

3.1 Opis mreže

Po pregledu stanja na pregradi zadrževalnika Prigorica smo pred pričetkom prve meritve ugotovili, da na terenu še vedno obstajajo vsi trije opazovalni stebri (6001, 6002, 6003) in kontrolne točke na pregradi (1 - 10). Za natančnejše opazovanje kontrolnih točk (1 - 5), se je na severovzhodnem delu pregrade postavil še dodaten steber za opazovanje (6004). Vsi skupaj tvorijo geodetsko mrežo za opazovanje horizontalnih in vertikalnih premikov.

3.2 Določanje horizontalnih premikov

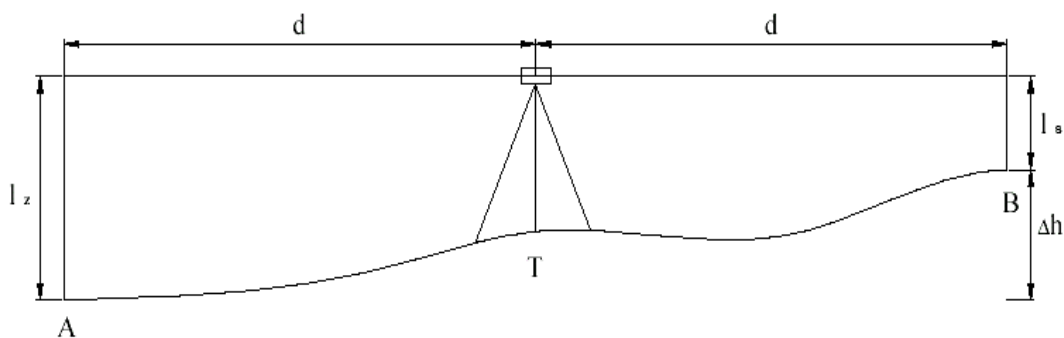
Za določanje horizontalnih premikov smo uporabili referenčne točke 6001, 6002, 6003 in 6004. Opazovali smo smeri in dolžine na referenčne in kontrolne točke (1 – 10) na pregradi. Kotna in dolžinska opazovanja pregrade smo izvajali z instrumentom Leica TPS (Wild) - TC 1700.



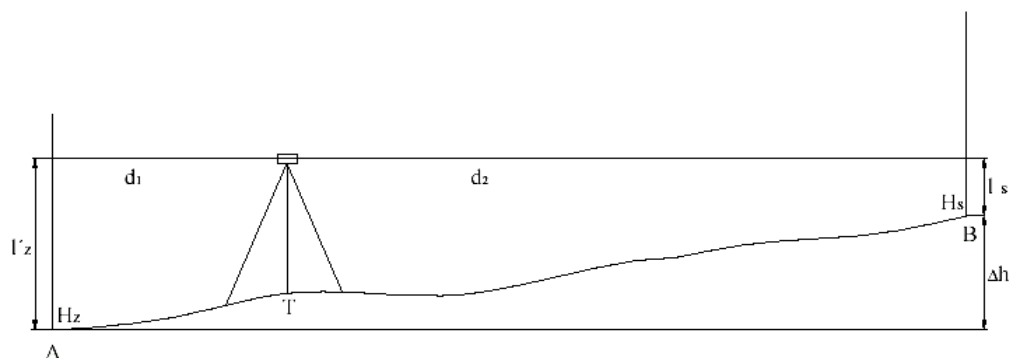
Slika 3: Skica opazovalnih stebrov in kontrolnih točk na pregradi

3.3 Določanje vertikalnih premikov

Vertikalne premike smo določili z geometričnem nivelmanom. Smer nivelmana poteka iz stabiliziranega reperja v betonski steber 6003, preko kontrolnih točk na pregradi, do stabiliziranega reperja v betonski steber 6001. Višinska določitev premikov pregrade smo izvajali z nivelirjem Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo.



Skica 4: Primer niveliranja iz sredine, http://www.geo.ntf.uni-lj.si/mvulic/diplome/GRADUATION_THESIS/Miha_Grudnik_Simultana_izravn_terminskih_i_zmer_niv_mrez_spread.pdf (10.11.2009).



Skica 5: Primer niveliranja iz krajišča, http://www.geo.ntf.uni-lj.si/mvulic/diplome/GRADUATION_THESIS/Miha_Grudnik_Simultana_izravnav_terminskih_izmer_niv_mrez_spread.pdf (10.11.2009).

3.4 Stabilizacija opazovalnih in kontrolnih točk

Optimalna stabilizacija geodetskih točk je pomemben dejavnik pri določanju premikov. Glede na velikost pričakovanih premikov mora biti zagotovljena tudi primerna natančnost stabilizacije. To velja tako za točke, stabilizirane na stabilnem terenu (referenčne točke) kot tudi za točke na objektu (kontrolne točke) oziroma terenu, ki ga opazujemo.

V praksi srečujemo vrsto različnih načinov stabilizacije geodetskih točk, od najenostavnejših načinov pa vse do masivnih temeljev z betonskimi stebri in mehanizmom, ki omogoča prisilno centriranje.

Za vsako stabilizacijo pričakujemo, da lahko zagotovi lastno stabilnost, možnost prisilnega centriranja, da je točka fizično in vizualno čim manj moteča v naravnem okolju ali na objektu in čim manjše stroške gradnje (Kogoj, in Stopar, 2004). Redko so vsi navedeni pogoji izpolnjeni. Običajno se poslužujemo kompromisov, tako da v dani situaciji dosežemo optimalno rešitev.

3.4.1 Stabilizacija referenčnih točk

V našem primeru imamo referenčne točke stabilizirane z betonskimi stebri. Običajno so to okrogli armirani betonski stebri, premera od 30 cm do 40 cm, nadzemne višine od 130 cm do 150 cm. Steber je dodatno zaščiten z betonsko cevjo in vmesnim praznim prostorom, ki ga zapolnjuje temperaturni izolator. To daje veliko temperaturno odpornost, saj predstavlja zaščito pred zunanjimi vplivi, predvsem soncem, ki povzroča velika temperaturna nihanja. Nosilec stebra je masiven kompakten betonski temelj, katerega dimenzije so odvisne od vrste podlage. V gornjo ploskev stebra je vzdian sistem, ki omogoča prisilno centriranje. Običajno je to posebna centrirana kovinska plošča, ki ima vgrajen srčni vijak, na katerega privijemo trinožni podstavek instrumenta izbranega proizvajalca (Ocvirk, 1995). Slika 6 prikazuje stabilizacijo referenčnih točk.



Slika 6: Referenčna točka 6004

3.4.2 Stabilizacija kontrolnih točk

Slika 7 predstavlja stabilizacijo kontrolnih točk na pregradi. Zabetoniran kovinski steber premera ca. 10 cm in visok ca. 0.50 metra. Kovinska plošča na vrhu stebra ima vgrajen srčni vijak, na katerega privijemo prizmo s podnožjem. Prav tako ploščo uporabljamo pri merjenju

višinskih razlik z geometričnem nivelmanom, kjer je vrh kovinske plošče tudi višinska točka. Pri odčitku nivelmansko lato postavimo na vrh stebra oziramo na kovinsko ploščo, katere dimenzije so ca. 12 * 12 cm.



Slika 7: Kontrolna točka, nanj pritrdimo prizmo s podnožjem, ter postavimo nivelmansko lato

3.5 Stabilizacija reperjev

Na referenčnih točkah 6001 in 6003, stabilizirana reperja tvorita primarno višinsko mrežo. To sta vzidana jeklena reperja, stabilizirana na višini ca. 0.5 metra. Stabilizacija je predstavljena na sliki 8.



Slika 8: Stabilizacija reperja na opazovalnem stebru 6001

Višinska kota kontrolnih točk na pregradi, je opisana v poglavju stabilizacija kontrolnih točk ter predstavljena na sliki 7.

4 METODA IZMERE

Pod pojmom klasična terestrična izmera razumemo izmero geodetske mreže, in tudi detajlov, z uporabo klasičnih metod izmere. Triangulacija, trilateracija, trigonometrično višinomerstvo in geometrični nivelman, omogočajo razvijanje mreže, v katerih povezujemo točke s terestričnimi geodetskimi meritvami (Kogoj, in Stopar, 2004).

4.1 Postopek izmere horizontalnih premikov

Horizontalne smeri smo merili po girusni metodi. Sočasno s smermi smo merili še poševne dolžine in zenitne razdalje. Na vseh stojiščih smo opravili dva girusa.

Najprej smo merili iz treh, po postavitvi dodatnega, iz štirih opazovalnih stebrov. Tako smo zagotovili, da imamo vsako kontrolno točko opazovano najmanj iz dveh referenčnih točk. Za kasnejšo izravnavo opazovanj smo tako imeli zadostno število nadštevilnih opazovanj. Zaradi prisilnega centriranja instrumenta in prizme lahko rečemo, da smo eliminirali pogrešek centriranja.

4.1.1 Leica TPS (Wild) - TC 1700

Tahimeter Leica TC 1700 spada v razred instrumentov Leica 1000. Uporabljamo ga lahko pri meritvah, ki zahtevajo visoke natančnosti opazovanj in rezultatov izmere. Teža instrumenta je 6.4 kilograma. Tipkovnica je obojestranska, tip zaslona LCD z osmimi vrsticami in 35 znaki (alfanumerična podpora ASCII in codelista). Velikost notranjega pomnilnika je 3 MB, kar zadošča za 4500 registracij (Leica TPS – System 1000, 2003). Natančnejši in preglednejši opis tega instrumenta je v preglednici 2.



Slika 9: Leica TPS (Wild) - TC 1700, <http://www.geoservis.si/instrumenti/leica/TC1800.htm>
(20.5.2009)

Preglednica 2: Podrobnejša karakteristika instrumenta

	TC 1700
Kotna natančnost	
Natančnost DIN 18723	1.5"
Resolucija prikaza	1"
Območje delovanja kompenzatorja	3' 47"
Dolžinska natančnost	
Standardni način	2 mm; 2 ppm / 3.0 s
Hitri način	3 mm; 2 ppm / 1.5 s
Precizni način	1 mm; 2 ppm / 3.0 s
Resolucija prikaza	1 mm

Daljnogled	
Povečava	30x
Premer objektne leče	42 mm
Najkrajša vidna razdalja	1.7 m
Zorni kot	1° 33' 2.7 m 100 m
Libela	
Občutljivost cevne libele	4' / 2 mm
Lasersko grezilo	
Natančnost centriranja	1 mm / 1.5 m
Premer laserske pike	2.5 mm / 1.5 m

4.2 Postopek izmere vertikalnih premikov

Za določitev vertikalnih premikov smo uporabili eno najnatančnejših geodetskih metod, geometrični nivelman. Nivelirali smo v zaključenem poligonu v obe smeri, kjer smo dvignili oziroma spustili instrument pri niveliranju nazaj. Smer nivelmanskega vlaka poteka od stabiliziranega reperja na točki 6003 do reperja na stebru 6001. Na pregradi imamo deset kontrolnih točk, prek katerih poteka nivelman. Prikazana stabilizacija teh točk in reperjev je na sliki 7 in 8. Glede merila za kontrolo izmere obstaja enačba (Ocvirk, 1995)

$$m = \pm 0.3 * \sqrt{n}, \quad (1)$$

kjer je n število stojišč nivelirja in m pomeni dopustno odstopanje.

4.2.1 Nivelir Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo

V nalogi smo uporabili nivelir, ki zadovoljuje vsem potrebam preciznega niveliranja.



Slika 10: Nivelir Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo,
http://www.gibpro.hr/na2_nak2_en.pdf (20.5.2009)

Pri niveliranju smo uporabljali še nivelmansko lato z rektificirano dozno libelo, ter t. i. podložko oziroma "žaba".

Preglednica 3: Podrobnejša karakteristika instrumenta

	NAK 2
Standardna deviacija kilometra dvojnega nivelmana	do 0.7 mm
Standardna deviacija dvojnega nivelmana pri dolžini 1 km s planparalelno ploščo	0.3 mm
Območje delovanja kompenzatorja	30'
Daljnogled	
Standardna povečava	32x
Premer objektne leče	45 mm
Najkrajša vidna razdalja	1.6 m
Zorni kot	2.2 m 100 m

Multiplikacijski faktor	100
Adicijska konstanata	0
Planparalelna plošča	Obseg; Interval; Ocena
GPM3 s stekleno skalo	10 mm; 0.1 mm; 0.01 mm
GPM6 s kovinskim bobnom	10 mm; 0.2 mm; 0.05 mm

4.2.2 Trigonometrično višinerstvo

Ker podatkov geometričnega nivelmana nismo imela na razpolago, smo uporabili metodo trigonometričnega višinerstva. Pri izračunu višinskih razlik smo uporabili opazovane zenitne razdalje in poševne dolžine. Trigonometrično višinerstvo lahko uporabljamo v inženirski geodeziji, predvsem na strmem in nedostopnem terenu, na primer pri objektih kot so stolpi, dimniki, kjer po natančnosti dosega geometrični nivelman (Zupančič, 1997). Če bi želeli s to metodo doseči zanesljivejše rezultate, bi bilo smotrno meritve ponoviti še v kakem girusu več.

5 IZRAVNAVA PODATKOV

Opazovanja na terenu so terenski podatki, ki jih je potrebno ustrezno obdelati. Pred samo izravnavo, s katero dobimo izravnane koordinate točk, natančnost izravnanih koordinat točk, analizo natančnosti naših opazovanj, moramo urediti dolžine in smeri.

5.1 Izračun smeri

Pred izravnavo nadštevilnih opazovanj moramo izračunati sredine girusov opazovanih smeri. Smeri smo na posameznem stojišču opazovali v dveh girusih. Sredine smeri smo izračunali kot navadne aritmetične sredine smeri.

5.2 Redukcija dolžin

Točke, med katerimi merimo dolžine, so različnih višin. Torej je izmerjena dolžina poševna, ter zaradi vseh meteoroloških, ukrivljenosti Zemlje in drugih vplivov tudi ukrivljena. Za izravnavo podatkov potrebujemo reducirane dolžine na ničelno nivojsko ploskev. Redukcijo dolžine v Gauß-Krügerjevo kartografsko projekcijo nismo izvedli. Redukcije izvedemo z upoštevanjem treh popravkov (Ambrožič, 2004/2005):

- meteorološki popravki,
- geometrično popravki in
- projekcijski popravki.

5.2.1 Meteorološki popravki

Upoštevamo dejansko t , p , e v času meritev oz. računamo popravek hitrosti elektromagnetnega valovanja na osnovi ugotovljenega stanja atmosfere v času meritev. To dosežemo z izračunu dejanskega lomnega količnika:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha * t} * \frac{p}{1013.25} - \frac{4.1 * 10^{-6}}{1 + \alpha * t} * e, \quad (2)$$

kjer je,

n_G ... grupni lomni količnik

p ... zračni tlak [h Pa]

t ... temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

e ... parcialni tlak vodne pare [h Pa]

α ... razteznostni koeficient zraka [$^{\circ}\text{C}^{-1}$].

Grupni lomni količnik n_G , je odvisen od efektivne valovne dolžine λ nosilnega valovanja razdaljemera. Opisan je z interpolacijsko enačbo po Cauchyju (Ambrožič 2004/2005):

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

kjer so vrednosti A, B in C empirično določene po Edlenu 1966. Z upoštevanjem dejanskega lomnega količnika torej dobimo:

$$D' = \frac{n_0}{n_D} * D_a, \quad (4)$$

kjer je n_0 referenčni lomni količnik, ki je različen za različne tipe instrumenta in D_a merjena dolžina (popravljen za adicijsko in multiplikacijsko konstanto). Relativna sprememba dolžine se preoblikuje z atmosfersko korekcijo:

$$D' = D_a + k_n. \quad (5)$$

Iz tega sledi:

$$k_n = D' - D_a = \frac{n_0}{n_D} * D_a - D_a = D_a \left(\frac{n_0 - n_D}{n_D} \right), \quad (6)$$

k_n imenujemo prvi popravek hitrosti. Relativna vrednost prvega popravka oziroma ppm popravek hitrosti zapišemo kot:

$$k_{nr} = n_0 - n_D. \quad (7)$$

Popravek lahko izračunamo na osnovi merjenih količin. Z upoštevanjem prvega popravka hitrosti, bo popravljena dolžina:

$$D' = D_a(1 + k_{nr}) = D_a * k_m, \quad (8)$$

kjer je k_m multiplikacijska konstanta prvega popravka hitrosti:

$$k_m = 1 + k_{nr} = \frac{n_0}{n_D}. \quad (9)$$

5.2.2 Geometrični popravki

Popravek zaradi ukrivljenosti merskega žarka je:

$$S_r = D' - k^2 * \left(\frac{D'^3}{24 * R^2} \right), \quad (10)$$

kjer je:

R ... radij Zemlje,

k ... koeficient refrakcije.

Izračun poševne dolžine med točkama na terenu (kamen – kamen):

$$S_k = S_r + \left(\frac{(i-l) * (H_B - H_A)}{S_r} - \frac{(i-l)^2}{2S_r} - \frac{(i+l)}{2R} S_r \right), \quad (11)$$

kjer je:

l ... višina prizme

i ... višina instrumenta

H_A, H_B ... višina točke A in B .

5.2.3 Projekcijski popravki

Imamo dve možnosti, kako izračunamo redukcijo na ničelno nivojsko ploskev. Ena možnost je ko so znane višine točk, drugo možnost pa računamo z enačbo, kjer imamo višino točke in merjeno zenitno razdaljo. Mi smo za redukcijo na ničelno nivojsko ploskev uporabili prvo možnost:

$$S_0 = R \sqrt{\frac{S_k^2 - (H_A - H_B)^2}{(R + H_A) * (R + H_B)}} \quad (12)$$

5.3 Izravnava opazovanj

Ko imamo opazovanja ustrezno obdelana, je potrebno vzpostaviti zvezo med opazovanimi in neznanimi količinami. Te zveze lahko predstavljajo poddoločen ($n < n_0$), določen ($n = n_0$) in predoločen ($n > n_0$) problem (Kogoj, in Stopar, 2004).

· n = število neodvisnih opazovanj

· n_0 = število neodvisnih neznank

Praktično uporabne rezultate izračunamo le na osnovi določenega in predoločenega problema. V primeru nadštevilnih opazovanj, torej predoločenega problema, ga rešimo pod pogojem, da je vsota kvadratov popravkov opazovanj minimalna. Izravnava pod tem pogojem imenujemo izravnava po metodi najmanjših kvadratov (Kogoj, in Stopar, 2004):

$$\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \Rightarrow \min \quad (13)$$

Posredno izravnavo, ki jo v današnjem času izključno uporabljamo, smo po metodi najmanjših kvadratov naredili s programom GEM3, verzija 4.0, december 2007, avtor Tomaž Ambrožič in Goran Turk. Cilj izravnave je izravnavo posameznih terminskih izmer (v našem primeru pet) z analizo natančnosti in odkrivanje morebitnih grobih pogreškov med opazovanji. Če v izmerah nimamo samo identičnih točk, moramo transformirati izravnane koordinate posamezne izmere v datum, ki ga definirajo identične točke. To smo lahko naredili s program GeM, ki omogoča podobnostno transformacijo (transformacija S).

Poleg datoteke z rezultati (ime.gem) program izpiše datoteke za transformacijo S (ime.str), za izračun premikov (ime.koo), za risanje slike mreže (ime.ris), za deformacijsko analizo Hannover (ime.dah), Ašanin (ime.daa) in deformacijsko analizo Delft (ime.dad).

Izhodna datoteka z rezultati (ime.gem) vsebuje:

- Seznam približnih koordinat novih točk
- Pregled opazovanj
- Popravki približnih vrednosti neznank
- Izravnane vrednosti koordinat in analiza natančnosti
- Pregled opazovanih smeri
- Pregled merjenih dolžin

Preglednica 4 prikazuje analizo natančnosti posameznih izmer. Vrednost a – posteriori referenčne standardne deviacije ($\hat{\sigma}_0^2$) se spreminja od 0.841 do 1.189. V prvi in drugi izmeri imamo standardno deviacijo a – posteriori najbližje vrednosti 1. Rezultati kažejo, da imamo vrednosti položajnih pogreškov najmanjše v prvi in drugi izmeri. Ugotovimo lahko, da se v nadaljevanju ti pogreški ne spreminjajo dosti. Lahko rečemo, da je natančnost določitve koordinat novih točk v vseh izmerah relativno enaka. Prav tako smo ugotovili, da med opazovanji ni grobih pogreškov. Grafični prikaz elips pogreškov izravnave imamo predstavljeno v prilogah 1 do 5.

Preglednica 4: Analiza natančnosti, položajna natančnost točk v izravninah posameznih izmer

Analiza natančnosti izravnave					
	1. Izmera	2. Izmera	3. Izmera	4. Izmera	5. Izmera
$\hat{\sigma}_0$	0.84144	1.01523	1.17763	1.18980	1.17920
σ_p max [mm]	1.8	2.7	2.9	2.9	2.9
σ_p min [mm]	0.4	0.9	1.6	1.6	1.8
σ_p sred [mm]	1.0	1.7	2.2	2.3	2.4
Točka	σ_p [mm]				
6001	0.8	1.4	2.0	2.0	2.1
6002	0.4	0.9	1.6	1.8	1.8
6003	0.6	1.2	1.7	1.6	2.2
1	1.8	2.7	2.5	2.5	2.6
2	1.2	2.4	2.5	2.5	2.5
3	1.0	1.8	2.5	2.5	2.5
4	0.9	1.8	2.5	2.5	2.6
5	0.9	1.6	2.0	2.1	2.3
6	0.9	1.5	2.1	2.1	2.3
7	1.0	1.8	2.9	2.9	2.9
8	0.9	1.6	2.4	2.4	2.4
9	0.8	1.3	2.1	2.0	2.0
10	0.8	1.5	2.3	2.3	2.4

- Srednji pogrešek utežne enote a – posteriori referenčna standardna deviacija ... $\hat{\sigma}_0^2$
- Položajni pogrešek položajna standardna deviacija ... $\sigma_p = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
- Največji položajni pogrešek ... σ_p max
- Najmanjši položajni pogrešek ... σ_p min
- Srednji položajni pogrešek ... σ_p sred

Naš primer višinske izravnave temelji na izračunu višinskih razlik z metodo trigonometričnega višinomerstva, torej z merjenjem višinskih kotov in dolžin (slednje smo reducirali na nivojsko ploskev). Rezultati izravnave so pokazali, da imamo v prvi, drugi in tretji terminski izmeri natančnosti izravnanih količin relativno enake. Tako srednji pogrešek utežne enote kot srednji pogreški višin so v prvih treh izravninah podobni – primerljivi.

Grobih pogreškov nismo odkrili. Od prvih treh terminskih izmer se vidno razlikujeta četrta in peta. Po vestnem pregledu opazovanj, vzrokov za manjšo natančnost zadnjih dveh izmer nismo našli.

Preglednica 5: Analiza natančnosti, višinska natančnost točk v izravninah posameznih izmer

Analiza natančnosti izravnave						
	Izmera	1.	2.	3.	4.	5.
	$\hat{\sigma}_0$	0.00014	0.00012	0.00014	0.00055	0.00037
Točka	Približna višina [m]	Srednji pogrešek višine σ_H [mm]				
6001	496.3730	0.8	0.9	1.1	4.4	3.0
6002	486.6750	0.7	0.7	0.9	3.6	2.4
6003	485.9090	0.6	0.7	1.0	3.8	2.6
1	492.8500	2.4	2.1	1.5	5.8	3.9
2	492.7620	1.6	1.8	1.6	6.0	4.1
3	492.8560	1.4	1.3	1.5	5.9	4.0
4	492.8100	1.2	1.1	1.4	5.7	3.8
5	492.8290	1.2	1.0	1.1	4.2	2.8
6	492.7670	1.2	1.0	1.2	4.2	2.8
7	492.8240	1.4	1.3	1.6	6.2	4.2
8	492.8060	1.2	1.1	1.4	5.5	3.7
9	492.8000	1.2	1.1	1.4	5.3	3.6
10	492.8690	1.2	1.1	1.4	5.3	3.6

· Srednji pogrešek utežne enote ... $\hat{\sigma}_0$

5.4 Transformacija izmer v identično število točk

V položajni in višinski izravnavi, smo upoštevali stojišče na točki 6004. Ker v prvi in drugi terminski izmeri te točke še nismo imeli, smo jo izločili oziroma smo za deformacijsko analizo z metodo Hannover in analizo premikov s programom Premik, transformirali 3, 4 in 5 terminsko izmero, da smo imeli identično število točk.

Položajne koordinate točk smo transformirali s programom GeM, kateri omogoča podobnostno transformacijo ali transformacijo S. Rezultate transformacije imamo podane v prilogah 6 in 7.

Za transformacijo izravnanih višinskih koordinat smo uporabili program STR, verzija 2.0, november 1999, avtor Tomaž Ambrožič. S programom smo naredili transformacijo S.

Oblika datoteke s podatki (ime.STR):

** T seznam izravnanih koordinat točk v mreži (izračunani v izravnavi)*

'ime točke' z_koordinata

... ali

'ime točke' y_koordinata x_koordinata

... ali

'ime točke' y_koordinata x_koordinata z_koordinata

...

** P popravki koordinat (izračunani v izravnavi)*

'ime točke' z_popravek

...

** D imena točk ki določajo nov datum*

'Zime_točke'

...

** R defekt ranga matrike normalnih enačb oziroma število stolpcev v matriki L*

**Q elementi matrike kofaktorjev Q (izračunani v izravnavi)*

a11 a12 ...

a21 a22 ...

...

**Konec*

Izhodne datoteke programa so datoteka z rezultati ime.REZ, datoteka za izračun premikov ime.KOO in datoteka za risanje ime.RIS. Datoteka z rezultati vsebuje podatke, ki smo jih podali v vhodni datoteki, izračunano matriko S, izračunane popravke in nove vrednosti koordinat po transformaciji S in izračunano matriko kofaktorje po transformaciji S.

V preglednici 6 imamo predstavljene rezultate podobnostne transformacije, ki smo jo naredili s programom STr.

Preglednica 6: Transformirane koordinate točk

Transformacija S višinskih koordinat točk						
Točka	3 izmera		4 izmera		5 izmera	
	Izravnane koordinate	Transformirane koordinate	Izravnane koordinate	Transformirane koordinate	Izravnane koordinate	Transformirane koordinate
	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]	H [m]
6001	496.3709	496.3709	496.3739	496.3740	496.3741	496.3738
6002	486.6800	486.6800	486.6849	486.6850	486.6805	486.6802
6003	485.9098	485.9098	485.9121	485.9122	485.9123	485.9120
1	492.8519	492.8519	492.8486	492.8487	492.8534	492.8531
2	492.7646	492.7646	492.7617	492.7618	492.7640	492.7637
3	492.8557	492.8557	492.8595	492.8596	492.8573	492.8570
4	492.8118	492.8118	492.8126	492.8127	492.8149	492.8146
5	492.8249	492.8249	492.8268	492.8269	492.8253	492.8250
6	492.7689	492.7689	492.7607	492.7608	492.7612	492.7609
7	492.8242	492.8242	492.8241	492.8242	492.8196	492.8193
8	492.8050	492.8050	492.8023	492.8024	492.8080	492.8077
9	492.7979	492.7979	492.7974	492.7975	492.7976	492.7973
10	492.8642	492.8642	492.8636	492.8637	492.8658	492.8655

6 ANALIZA PREMIKOV S PROGRAMOM PREMIK

Premik objekta v prostoru oziroma glede na okolico lahko določimo z navezavo na geodetsko mrežo točk, ki morajo biti stabilizirane na stabilnem območju. Geodetske točke so med seboj in s kontrolnimi točkami povezane preko direktno oziroma indirektno določenih merskih količin (Kogoj, in Stopar, 2004). Premike smo računali s treh referenčnih točk (meritve so se izvajale s štirih, vendar smo jih morali transformirati v identično število točk). Premike točk lahko ugotavljamo na osnovi primerjave točk dveh terminskih izmer .

6.1 Program Premik

Izračun oziroma določitev premikov smo naredili s programom PREMIK, verzija 2.0, avtor Tomaž Ambrožič, Goran Turk in Bojan Stopar. Za uporabo potrebujemo pripravljene datoteke ime.koo, ime.pre. in datoteko naprava.dat (datoteka s podatki o risalni napravi).

Oblika datoteke s koordinatami točk (ime.koo):

· Število točk za izračun premikov po izravnavi

'ime točke' y_koordinata x_koordinata q_yy q_xx q_yx

... ali

'ime točke' z_koordinata q_hh

Oblika datoteke s seznamom imen datotek s koordinatami točk (ime.pre):

· Naslov slike

· Avtor slike

· Merilo premika

· Ime prve datoteke

· Ime druge datoteke

* Z – začetna vrednost za generator slučajnih spremenljivk

* I – število iteracij za simulacijo porazdelitvene funkcije

* A – stopnja značilnosti testa α

* K – konec

Program naredi datoteko ime.sez, kjer je izpisan seznam opazovanih točk, koordinatne razlike posameznih točk med terminskima izmerama, smerni koti in premiki točk z njihovo natančnostjo določitve. Datoteka z rezultati višinskih premikov vsebuje višinsko razliko med terminskima izmerama, dejanski premik ter testno statistiko pri izbrani stopnji značilnosti testa in njeno kritično vrednost.

6.2 Izračun premikov

V deformacijski analizi posamezno terminsko izmero običajno izravnamo kot prosto mrežo. S tem zagotovimo najboljšo linearno nepristransko oceno neznank ter neodvisnost testnih statistik od izbranega datuma mreže. Po izravnavi najmanj dveh terminskih izmer je mogoče določiti premik d , ter standardno deviacijo premika σ_d (Savšek-Safič, in sod., 2003). Ker sta te dve količini računani pred podrobno deformacijsko analizo, ju je smiselno uporabiti v statističnem testu.

V praksi pri presoji premikov pogosto računamo testno statistiko

$$T = \frac{d}{\sigma_d} \quad (14)$$

in jo primerjamo s kritično vrednostjo glede na izbrano stopnjo značilnosti testa α . Navadno rečejo, da se je točka premaknila, če je premik točke večji od trikratne oz. petkratne vrednosti natančnosti določitve premika točke ali drugače, da je $T > 3$ oz. $T > 5$. Če je testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji značilnosti testa α (v našem primeru 5 %), je tveganje, da je obravnavani premik statistično značilen, preveliko. Če je vrednost večja od kritične, je tveganje manjše. Za našo lažjo odločitev zato izračunamo dejansko tveganje α_T za zavrnitev ničelne hipoteze (Savšek-Safič, in sod., 2003).

Ničelno hipotezo smo postavili tako, da s testno statistiko zavrnemo ali ne zavrnemo hipotezo, da točka miruje oziroma se je primaknila:

- točka miruje; $H_0 : \mathbf{d} = 0$
- točka se je primaknila; $H_a : \mathbf{d} \neq 0$

Če ničelno hipotezo zavrnamo, je premik statistično značilen. Če ničelne hipoteze ne zavrnamo premik ni statistično značilen. Torej z drugimi besedami:

- $\alpha_T < \alpha$: zavrnamo; premik je statistično značilen,
- $\alpha_T > \alpha$: ne zavrnamo; premik ni statistično značilen.

6.3 Analiza in rezultati položajnih premikov

V naslednjih preglednicah imamo predstavljene relativne in kumulativne premike med terminskimi izmerami. Za primer smo vzeli točke, na katerih smo zaznali statistično značilne premike. Podrobnejši rezultati naše analize premikov s programom Premik so v prilogi 8 do 12.

Preglednica 7: Analiza premikov kontrolne točke 5

Točka	5		Relativni premik			Kumulativni premik		
	Koordinate		Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika	Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika
	y[m]	x[m]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]
avg. 04	479921.4090	63232.9972						
			3.9	15	1.0	*		
feb. 05	479921.4090	63233.0009						
			4.2	222	1.5	1.9	291	1.7
avg. 05	479921.4065	63232.9976						
			1.8	344	2.0	3.3	316	1.9
						3.6	247	1.8
avg. 06	479921.4059	63232.9987						
						5.6	305	2.0
			2.4	289	2.5	5.6	264	2.0
						3.8	312	2.4
avg. 07	479921.4033	63232.9989						

Statistično značilen premik na točki 5 (preglednica 7, priloga 8) smo zaznali med terminskima izmerama ena in dva. Kritična vrednost testne statistike pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5\%$, zanaša $T_{krit} = 2.3315$. Vrednost testne statistike znaša $T = 3.7510$, dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze pa $\alpha_T = 0.04\%$. Torej lahko ugotovimo, da je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze minimalno.

Podobno vrednosti smo dobili v primerih med terminskima izmerama 2 – 3, 1 – 5 in 2 – 5. Tu z nekaj tveganja ne zavrnemo hipoteze, program nam določi, da je premik premajhen $d < 3\sigma_d$.

Preglednica 8: Analiza premikov kontrolne točke 6

Točka	6		Relativni premik			Kumulativni premik		
	Koordinate		Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika	Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika
	y[m]	x[m]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]
avg. 04	479885.3911	63199.7641						
			0.1	225	1.1			
feb. 05	479885.3907	63199.7645						
			2.4	322	1.9	2.4	318	1.7
avg. 05	479885.3889	63199.7656						
			2.1	357	1.9	4.3	336	1.6
						4.3	338	1.8
avg. 06	479885.3887	63199.7672						
						6.2	343	1.8
			2.0	357	2.0	6.2	344	1.9
						4.1	357	2.0
avg. 07	479885.3882	63199.7686						

Statistično značilen premik za točko 6 (preglednica 8, priloga 9 in 11) zaznamo v primeru terminskih izmer 1 – 5 in 2 – 5. Vrednost dejanskega tveganja znaša $\alpha_T = 0.22\%$ in 0.49% , torej lahko z minimalnim tveganjem zavrnemo ničelno hipotezo. V primeru 1 – 4 in 2 – 4 imamo vrednost dejanskega tveganja manjše od naše stopnje izbranosti testa, vendar je premik premajhen, da lahko rečemo, da je statistično značilen. Premik v drugih primerih analize ni statistično značilen.

Preglednica 9 in priloga 11 prikazujeta rezultate točke 10. Statistično značilen premik smo zaznali v primeru druge in pete terminske izmere. Vrednost testne statistike znaša $T = 3.0230$, njena kritična vrednost pri naši izbrani stopnji značilnosti testa $T_{krit} = 2.2167$. Pri dejanskem tveganju, ki znaša $\alpha_T = 0.45\%$, lahko z minimalnim tveganjem zavrremo ničelno hipotezo.

V ostalih primerih med terminskima izmera, premik ni statistično značilen.

Preglednica 9: Analiza premikov kontrolne točke 10

Točka	10		Relativni premik			Kumulativni premik			
	Koordinate		Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika	Premik	Sm. Kot premika	Natanč. premika	
	y[m]	x[m]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]	d[mm]	v[°]	σ_d [mm]	
avg. 04	479625.8092	62979.7475							
			2.5	355	1.2				
feb. 05	479625.8092	62979.7486							
			1.9	164	1.5	0.8	23	2.0	
avg. 05	479625.8091	62979.7476							
			1.3	222	2.9	0.7	243	2.1	
						2.8	188	2.1	
avg. 06	479625.8077	62979.7465							
						4.0	196	2.0	
			3.5	188	2.5	6.4	188	2.1	*
						4.7	197	2.6	
avg. 07	479625.8066	62979.7427							

Grafični prikaz premikov točk imamo predstavljeno na sliki 11.

6.4 Analiza in rezultati višinskih premikov

Pred analizo premikov moremo poudariti, da imamo višinske razlike računane na podlagi opazovanj višinskih kotov in dolžin, torej po metodi trigonometričnega višinomerstva. Že v poglavju izravnave smo navedli, da nam merjene višinske razlike z geometričnem nivelmanom niso bile na razpolago.

Za primer obdelave in izračuna oziroma določitve premikov in analize smo višinske premike določili na prvi način, torej s trigonometričnim višinomerstvom.

Računana kritična vrednost testne statistike pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5 \%$, znaša $T_{krit} = 1.960$. Da lahko rečemo, da je premik statistično značilen, moramo računati dejansko tveganje α_T za zavrnitev oziroma za ne zavrnitev ničelne hipoteze (Savšek-Safić, in sod., 2003).

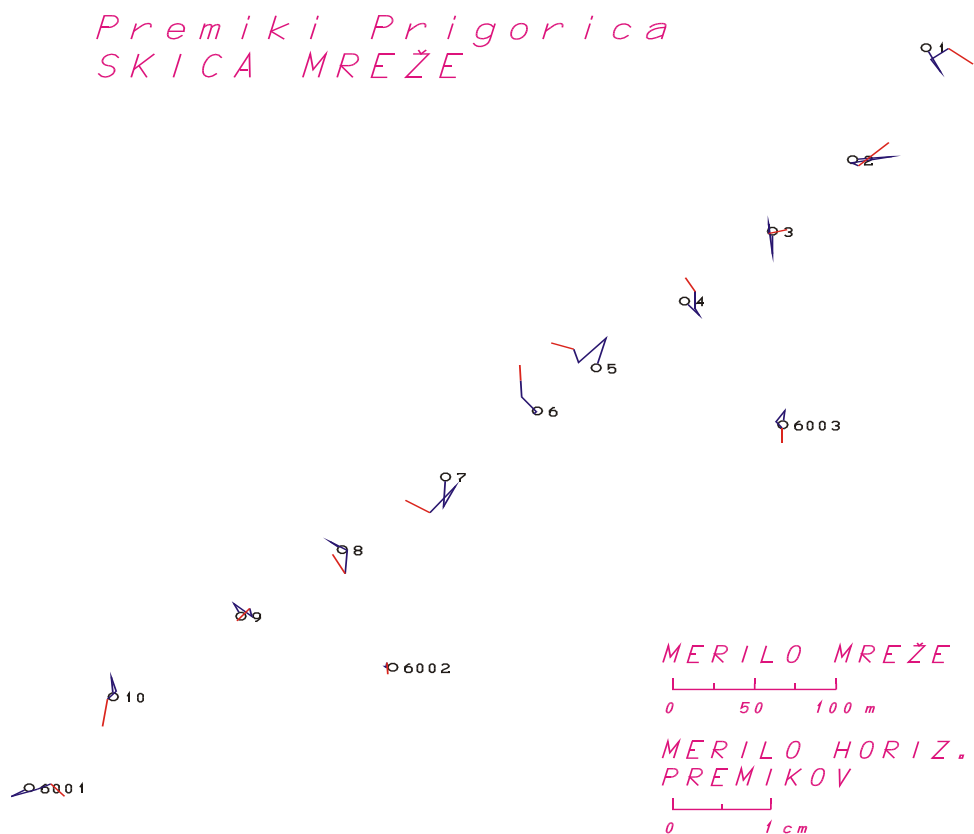
V našem primeru smo premike zaznali, ko smo obravnavali prvo in drugo terminsko izmero. Za ostale primere lahko brez tveganja ne zavrnemo ničelne hipoteze in rečemo, da se točke niso premaknile.

Preglednica 10: Analiza višinskih premikov prve in druge terminske izmere

Točka	H [m]	dh [mm]	σ_d [mm]	T	T_{krit}	α_T %	$3^* \sigma_d$
6001	496.373	-1.7	1.2	-1.4496	1.9600	14.72	
6002	485.909	-2.6	0.9	3.5470	1.9600	0.04	*
6003	486.675	3.2	1.0	-2.5730	1.9600	1.01	
1	492.850	-5.6	3.1	-1.7985	1.9600	7.21	
2	492.762	-2.8	2.4	-1.1499	1.9600	25.02	
3	492.856	-3.2	1.9	-1.6882	1.9600	9.14	
4	492.810	-3.3	1.6	-2.0349	1.9600	4.19	
5	492.829	-2.5	1.5	-1.6542	1.9600	9.81	
6	492.767	0.3	1.5	0.2213	1.9600	82.48	
7	492.824	8.3	1.9	4.3376	1.9600	0.00	*
8	492.806	2.7	1.6	1.6630	1.9600	9.63	
9	492.800	9.5	1.6	5.9844	1.9600	0.00	*
10	492.869	-2.1	1.6	-1.3329	1.9600	18.26	

Rdeče obarvane točke v preglednici 10 so statistično značilni premiki. Brez tveganja lahko zavrnemo ničelno hipotezo ter rečemo, da so se točke premaknile. V primeru točke 6003 in 4 je vrednost dejanskega tveganja za zavrnitev hipoteze manjše od naše izbrane stopnje značilnosti testa α .

Program nam izračuna, da so premiki na vseh drugih točkah premajhni, $d < 3^* \sigma_d$, torej niso statistično značilni.



Slika 11: Skica premikov točk

7 DEFORMACIJSKA ANALIZA PO METODI HANNOVER

Deformacijska analiza je postopek, ki na osnovi geodetskih opazovanj odkrije in določi nastale prostorske premike med dvema terminskima izmerama z metodami statistične analize. Postopek Hannover je razvil H. Pelzer na Geodetskem inštitutu Univerze Hannover v Zvezni republiki Nemčiji (Ambrožič, 2001).

Bistvo metode Hannover je globalni test kongruence ali skladnosti rezultatov izravnave obravnavanih terminskih izmer geodetske mreže. Izračunati moramo srednje neujemanje dveh terminskih izmer, na podlagi katerega ugotovimo morebitne premike točk mreže.

Dve značilni predpostavki metode Hannover (Mozetič, Kogoj, in Ambrožič, 2006):

- statistično enaka a posteriori referenčna varianca v obeh obravnavanih terminskih izmerah,
- v obeh terminskih izmerah se uporabljajo enake približne koordinate točk.

Prednosti deformacijske analize po metodi Hannover so (Kolar, 2004):

- ni potreben enak plan opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno opraviti iste vrste opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno imeti enakega števila opazovanj v obeh izmerah,
- ni potrebno imeti geodetske mreže identične oblike v obeh izmerah, vendar moramo koordinatne neznanke ne identičnih točk pred inverzijo ustrezno odstraniti in
- ni potrebno opraviti stroge analize, če ugotovimo, da je premik točke petkrat večji od pripadajočega standardnega odstopanja.

Poznamo tudi dve omejitvi tega postopka oziroma metode (Kolar, 2004):

- v obeh izmerah moramo imeti statistično enaki a posteriori referenčni varianci enote uteži,
- v obeh izmerah moramo imeti iste približne koordinate točk.

7.1 Program DAH

Izračun smo naredili s programom DAH, verzija 2.0, junij 1997, avtor Tomaž Ambrožič. Preden smo zagnali program, smo naredili datoteko s skupnimi podatki za deformacijsko analizo in datoteke s podatki o posamezni terminski izmeri.

Oblika datoteke s skupnimi podatki za deformacijsko analizo (ime.def):

- * P - ime datoteke s podatki predhodne terminske izmere
- * T - Ime datoteke s podatki tekoče terminske izmere
- * D - dimenzija mreže (vrednost 2 pri analizi položajnih premikov in vrednost 1 pri analizi višinskih premikov)
- * A - stopnja značilnosti testa α
- * O - začetno število osnovnih točk
- * K - Konec

S programom Gem3, smo dobili vhodno datoteko za program DAH. Med posameznimi terminskimi izmerami nismo imeli identičnega števila osnovnih točk. To smo naredili s programom Str, verzija 2.0, nov. 99, avtor Tomaž Ambrožič. Po transformaciji S (podobnostna transformacija) položajnih in višinskih podatkov smo imeli urejene vhodne datoteke s podatki o posameznih terminskih izmerah.

Oblika datoteke s podatki o posamezni terminski izmeri (ime.dah):

- * F – število nadštevilnih merjenj
 - * T – izravnane koordinate točk
- 'ime točke' z_koordinata*
... *ali*
'ime točke' y_koordinata x_koordinata
- * M – a posteriori srednji pogrešek utežne enote
 - * R – defekt datuma
 - * Q – matrika kofaktorjev koordinatnih neznank
 - * K - konec

7.2 Izračun

Postopek lahko razdelimo na šest korakov (Ambrožič, 2001):

- izravnava opazovanj posameznih terminskih izmer,
- testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh izmerah,
- globalni test skladnosti mreže dveh izmer,
- testiranje stabilnosti točk mreže,
- postopek določitve nestabilnih osnovnih točk in
- testiranje premikov točk na objektu.

7.2.1 Izravnava opazovanj posameznih izmer z analizo natančnosti, odkrivanje morebitnih grobih pogreškov med opazovanji in transformacija izravnanih koordinat posamezne izmere v identičen geodetski datum

Opazovanja v posamezni izmeri izravnamo v prosti mreži. To pomeni, da mora poleg minimalne vsote kvadratov popravkov opazovanj

$$\mathbf{v}_i^T \mathbf{P}_{u_i} \mathbf{v}_i = \min, \quad (15)$$

minimalna tudi vsota kvadratov popravkov približnih vrednosti neznank

$$\hat{\mathbf{X}}_i^T \hat{\mathbf{X}}_i = \min. \quad (16)$$

Indeks i označuje posamezno izmero. Rezultat prvega koraka sta ocenjena vektorja koordinatnih neznank identičnih točk \hat{X}_i in a posteriori referenčna varianca enote uteži $\hat{\sigma}_{0_i}^2$ za posamezno izmero.

7.2.2 Testiranje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh izmerah

Na osnovi rezultatov prvega koraka izračunamo a posteriori referenčni varianci enote uteži. Ugotavljanje homogenosti natančnosti opazovanj v dveh izmerah naredimo s testiranjem naslednje hipoteze (Ambrožič, 2001):

$$H_0: \quad E(\hat{\sigma}_{0_1}^2) = E(\hat{\sigma}_{0_2}^2) = \sigma_0^2 \text{ homogenost natančnosti opazovanj v dveh izmerah in} \quad (17)$$

$$H_1: \quad E(\hat{\sigma}_{0_1}^2) \neq E(\hat{\sigma}_{0_2}^2) \neq \sigma_0^2 \text{ nehomogenost natančnosti opazovanj v dveh izmerah.} \quad (18)$$

Tvorimo testno statistiko

$$T = \frac{\hat{\sigma}_{0_1}^2}{\hat{\sigma}_{0_2}^2} \text{ za } \hat{\sigma}_{0_1}^2 > \hat{\sigma}_{0_2}^2 \text{ oz.} \quad (19)$$

$$T = \frac{\hat{\sigma}_{0_2}^2}{\hat{\sigma}_{0_1}^2} \text{ za } \hat{\sigma}_{0_2}^2 > \hat{\sigma}_{0_1}^2 \quad (20)$$

ki se porazdeljuje po porazdelitvi F s f_1 in f_2 prostostnimi stopnjami, kjer je:

$f_i = n_i - r_i$... število nadštevilnih opazovanj v posamezni izmeri,

n_i ... število opazovanj v posamezni izmeri,

$r_i = \text{rang } \mathbf{A}_i = u_i - d_i$,

u_i ... število koordinatnih neznank (orientacijske neznanke smo odstranili z redukcijo enačb popravkov) v posamezni izmeri,

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

Če je testna statistika manjša ali enaka kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T \leq F_{f_1, f_2, 1-\alpha/2}, \quad (21)$$

potem ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, ki pravi, da sta natančnosti opazovanj v dveh izmerah homogeni (H_0).

Če je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T > F_{f_1, f_2, 1-\alpha/2}, \quad (22)$$

potem zavrnemo ničelno hipotezo (H_0), kar pomeni, da natančnosti opazovanj nista homogeni.

Če ne zavrnemo ničelne hipoteze, potem izračunamo boljšo oceno za referenčno varianco a posteriori enote uteži po naslednji enačbi:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v_1^T P_{u_1} v_1 + v_2^T P_{u_2} v_2}{f_1 + f_2} = \frac{f_1 \hat{\sigma}_{0_1}^2 + f_2 \hat{\sigma}_{0_2}^2}{f} \quad (23)$$

$$f = f_1 + f_2 \dots \text{skupno število nadštevilnih opazovanj v obeh izmerah.} \quad (24)$$

Če ničelno hipotezo zavrnemo, se ocena a posteriori referenčne variance enote uteži ne izračuna in deformacijska analiza se zaključí oziroma prekine.

7.2.3 Globalni test stabilnosti točk mreže v dveh izmerah

Točke, ki niso spremenile svojega položaja v časovnem intervalu med izmerama pravimo, da so stabilne točke. V tem koraku lahko rečemo, da testiramo skladnosti geodetskih mrež. To naredimo s testiranjem naslednjih hipotez (Ambrožič, 2001):

$$H_0: E(\hat{\mathbf{X}}_1) = E(\hat{\mathbf{X}}_2) \text{ koordinate točk med dvema izmerama se niso spremenile} \quad (25)$$

$$H_1: E(\hat{\mathbf{X}}_1) \neq E(\hat{\mathbf{X}}_2) \text{ koordinate točk med dvema izmerama so se spremenile} \quad (26)$$

oziroma

$$H_0: E(\mathbf{d}) = 0 \quad (27)$$

$$H_1: E(\mathbf{d}) \neq 0, \quad (28)$$

kjer je:

$\hat{\mathbf{X}}_i$... vektor ocenjenih koordinat posamezne izmere in

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

Oceno za a priori referenčno varianco σ_0^2 , ki jo označimo θ^2 in jo imenujemo srednje neujemanje, lahko izračunamo iz vektorja koordinatnih razlik in pripadajoče matrike kofaktorjev \mathbf{Q}_{dd} . θ^2 je neodvisna od $\hat{\sigma}_0^2$, ki jo izračunamo v prejšnjem koraku, dobimo z naslednjo enačbo:

$$\theta^2 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{h}, \quad (29)$$

kjer je:

Q_{dd}^+ ... psevdoinverzija matrike kofaktorjev koordinatnih razlik in

$h = \text{rang } Q_{dd} = \text{rang } (Q_{\hat{x}_1\hat{x}_1} + Q_{\hat{x}_2\hat{x}_2}) = \text{rang } Q_{\hat{x}_1\hat{x}_1} = \text{rang } Q_{\hat{x}_2\hat{x}_2} = u - d = r$, saj imamo

identično obliko mreže v obeh izmerah.

Tvorimo testno statistiko

$$T = \frac{\theta^2}{\hat{\sigma}_0^2}. \quad (30)$$

Če je testna statistika manjša ali enaka kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T \leq F_{h,f,1-\alpha}, \quad (31)$$

potem ne moremo zavrniti ničelne hipoteze, ki pravi, da se koordinate med dvema izmerama niso spremenile.

Če je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T > F_{h,f,1-\alpha}, \quad (32)$$

potem zavrnemo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so v mreži tudi nestabilne točke. Premike ne moremo razločiti kot slučajna odstopanja zaradi pogreškov opazovanj, ampak kažejo na to, da imamo opraviti s statistično značilnimi premiki točk dela mreže ali cele mreže.

7.2.4 Testiranje stabilnosti točk mreže

Če zavrnemo ničelno hipotezo (glej 7.2.3) pomeni, da imamo v mreži tudi nestabilne točke. Določimo jih, da razdelimo vektor koordinatnih razlik \mathbf{d} na dva dela: na vektor koordinatnih razlik osnovnih točk \mathbf{d}_s in vektor koordinatnih razlik točk na objektu \mathbf{d}_o (Ambrožič, 2001):

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_s \\ \mathbf{d}_o \end{bmatrix}. \quad (33)$$

Na enak način razdelimo pripadajočo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik:

$$\mathbf{Q}_{dd}^+ = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{ss} & \mathbf{P}_{so} \\ \mathbf{P}_{so} & \mathbf{P}_{oo} \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Tvorimo kvadratno formo $\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}$, ki jo razdelimo na dva statistično neodvisna dela:

$$\mathbf{d}^T \mathbf{P}_{dd} \mathbf{d} = \mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s + \bar{\mathbf{d}}_o^T \mathbf{P}_{oo} \bar{\mathbf{d}}_o, \text{ kjer je:} \quad (35)$$

$$\bar{\mathbf{d}}_o = \mathbf{d}_o + \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{os} \mathbf{d}_s \text{ in} \quad (36)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{ss} = \mathbf{P}_{ss} - \mathbf{P}_{so} \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{os}. \quad (37)$$

Razdeljena kvadratna forma je sestavljena iz dveh delov. Prvi predstavlja neujemanje osnovnih točk, drugi neujemanje točk na objektu. Srednje neujemanje osnovnih točk računamo po enačbi:

$$\theta_s^2 = \frac{\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s}{h_s}, \text{ kjer je:} \quad (38)$$

$$h_s = \text{rang } \bar{\mathbf{P}}_{ss}. \quad (39)$$

Tvorimo testno statistiko

$$T = \frac{\theta_s^2}{\hat{\sigma}_0^2}, \quad (40)$$

ki se porazdeljuje po porazdelitvi F s h_s in f prostostnimi stopnjami.

Če je testna statistika manjša ali enaka kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α :

$$T \leq F_{h_s, f, 1-\alpha}, \quad (41)$$

potem ne moremo zavrniti ničelno hipotezo (glej poglavje 7.2.3), ki pravi, da se koordinate osnovnih točk med dvema izmerama niso spremenile.

Če je testna statistika večja kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α :

$$T > F_{h_s, f, 1-\alpha}, \quad (42)$$

potem zavrnemo ničelno hipotezo, kar pomeni, da so se koordinate osnovnih točk spremenile.

7.2.5 Postopek določitve nestabilnih osnovnih točk

V prejšnjem koraku smo ugotovili, če so se katere osnovne točke spremenile. V tem koraku jih določimo tako, da vektor koordinatnih točk \mathbf{d}_s , razdelimo na dva dela (Ambrožič, 2001):

$$\mathbf{d}_s = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_F \\ \mathbf{d}_B \end{bmatrix}, \text{ kjer je:} \quad (43)$$

\mathbf{d}_F ... vektor koordinatnih razlik osnovnih točk, za katere predpostavimo, da so stabilne, in

\mathbf{d}_B ... vektor koordinatnih razlik osnovne točke, za katero preverjamo, ali se je spremenila.

Enako razdelimo pripadajočo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik osnovnih točk:

$$\bar{\mathbf{P}}_{ss} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{FB} \\ \mathbf{P}_{FB} & \mathbf{P}_{BB} \end{bmatrix}. \quad (44)$$

Tvorimo kvadratno formo $\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s$ in jo razcepimo na dva statistično neodvisna dela, podobno kot v prejšnjem koraku:

$$\mathbf{d}_s^T \bar{\mathbf{P}}_{ss} \mathbf{d}_s = \mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F + \bar{\mathbf{d}}_B^T \mathbf{P}_{BB} \bar{\mathbf{d}}_B, \quad (45)$$

kjer je:

$$\bar{\mathbf{d}}_B = \mathbf{d}_B + \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF} \mathbf{d}_F \text{ in} \quad (46)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{FF} = \mathbf{P}_{FF} - \mathbf{P}_{FB} \mathbf{P}_{BB}^{-1} \mathbf{P}_{BF}. \quad (47)$$

Srednje neujemanje izračunamo za vsako osnovno točko, za katero preverjamo, ali se je premaknila z naslednjo enačbo:

$$\theta_j^2 = \frac{\bar{\mathbf{d}}_{B_j}^T \mathbf{P}_{BB_j} \bar{\mathbf{d}}_{B_j}}{h_{B_j}} \quad (j = 1, 2, \dots, k), \text{ kjer je:} \quad (48)$$

$$h_{B_j} = \text{rang } \mathbf{P}_{BB_j} = m,$$

m ... število koordinate točke j (za enorazsežne mreže je $m = 1$, za dvorazsežno mrežo je $m = 2$) in

k ... število osnovnih točk, za katere smo predpostavili, da so se spremenile oz. premaknile.

Določitev nestabilnih točk opravimo po naslednjem postopku:

- V prvem izračunu θ_1^2 postavimo koordinatni razliki prve osnovne točke, za katero preverjamo, ali se je premaknila, v vektor \mathbf{d}_B . Koordinatne razlike vseh drugih točk $k - 1$ osnovnih točk postavimo v vektor \mathbf{d}_F .
- Izračun srednjega neujemanja θ_j^2 ponovimo še $k - 1$ krat.
- Poiščemo največje srednje neujemanje $\theta_{\max}^2 = \max \theta_j^2 (j = 1, 2, \dots, k)$ in za točko, na katero se to ujemanje nanaša, privzamemo, da je nestabilna. To točko prestavimo iz seznama osnovnih točk, za katere smo predpostavili, da so stabilne, v seznam nestabilnih točk oz. točk na objektu.
- Izračunamo še srednje neujemanje z naslednjo enačbo:

$$\theta_{\text{Rest}}^2 = \frac{\mathbf{d}_F^T \bar{\mathbf{P}}_{FF} \mathbf{d}_F}{h_F}, \text{ kjer je:} \quad (49)$$

$$h_F = \text{rang } \bar{\mathbf{P}}_{FF} = h - m. \quad (50)$$

- Tvorimo testno statistiko

$$T = \frac{\theta_{\text{Rest}}^2}{\hat{\sigma}_0^2}, \quad (51)$$

ki se porazdeljuje po porazdelitvi F s h_F in f prostostnimi stopnjami.

- Če je testna statistika manjša ali enaka kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T \leq F_{h_f, f, 1-\alpha}, \quad (52)$$

potem ne moremo zavriniti ničelne hipoteze (glej 7.2.3), ki pravi, da se koordinate vseh ostalih $k - 1$ osnovnih točk med dvema izmerama niso spremenile. Postopek določitve nestabilnih točk prekinemo.

· Če je testna statistika večja kot kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T > F_{h_s, f, 1-\alpha}, \quad (53)$$

potem zavrnemo ničelno hipotezo, kar pomeni, da je med $k - 1$ osnovnimi točkami, za katere smo predpostavili, da so stabilne, vsaj še ena nestabilna. Postopek določitve moremo torej še najmanj enkrat ponoviti.

7.2.6 Testiranje premikov točk na objektu

Testiranje premikov točk na objektu opravimo tako, da vektor koordinatnih razlik \mathbf{d} , razdelimo na dva dela. Prvi del je vektor koordinatnih razlik osnovnih točk \mathbf{d}_f , ki smo jih v prejšnjem koraku določili za stabilne. Drugi del je vektor koordinatnih razlik osnovnih točk \mathbf{d}_o , ki smo jih v prejšnjem koraku določili kot nestabilne (Ambrožič, 2001):

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_f \\ \mathbf{d}_o \end{bmatrix}. \quad (54)$$

Na enak način razdelimo pripadajočo matriko kofaktorjev koordinatnih razlik:

$$\mathbf{Q}_{dd}^{-1} = \mathbf{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{FF} & \mathbf{P}_{OF} \\ \mathbf{P}_{OF} & \mathbf{P}_{OO} \end{bmatrix}. \quad (55)$$

Srednje neujemanje samo za točke na objektu izračunamo z naslednjo enačbo:

$$\theta_o^2 = \frac{\bar{\mathbf{d}}_o^T \mathbf{P}_{oo} \bar{\mathbf{d}}_o}{h_o}, \text{ kjer je:} \quad (56)$$

$$\bar{\mathbf{d}}_o = \mathbf{d}_o + \mathbf{P}_{oo}^{-1} \mathbf{P}_{of} \mathbf{d}_f \text{ in} \quad (57)$$

$$h_o = \text{rang } \mathbf{P}_{oo} \dots \text{ število elementov vektorja } \mathbf{d}_o. \quad (58)$$

Tvorimo testno statistiko

$$T = \frac{\theta_o^2}{\hat{\sigma}_o^2}, \quad (59)$$

ki se porazdeljuje po porazdelitvi F s h_f in f prostostnimi stopnjami.

Testna statistika bi morala biti vedno večja od kritične vrednosti značilnosti testa, saj testiramo nestabilne točke. Če je torej statistika večja kot kritična pri izbrani stopnji značilnosti testa α

$$T > F_{h_o, f, 1-\alpha}, \quad (60)$$

potem zavrnilo ničelno hipotezo (glej 7.2.3), kar pomeni, da so se koordinate nestabilnih točk in točk na objektu med dvema izmerama spremenile.

7.3 Analiza rezultatov položajnih premikov

Deformacijska analiza pokaže, da so se točke med terminskima izmerama 1 – 2, 1 – 5 in 2 – 5 premaknile oziroma točke so nestabilne. V preglednici 11 te točke označujemo v rdeči barvi. V ostalih primerih ni bilo statistično značilnih premikov, ker je testna statistika manjša ali enaka kot je kritična vrednost pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5 \%$.

V tem primeru nismo mogli zavrniti ničelne hipoteze, kar pomeni, da se koordinate točk med dvema terminskima izmerama niso spremenile. Prav tako v slednjih kombinacijah določanja premikov med dvema izmerama ni bilo odkritih relativnih in kumulativnih premikov po metodi določevanja premikov s programom Premik. V preglednico smo dodali rezultate določanja premikov med dvema izmerama s programom Premik, ki so obarvani v modri barvi.

Statistično značilne premike smo zaznali na referenčni točki 6003 in kontrolni točki 5. Primerjava obeh analiz pokaže, da v primeru izmer 1 – 2 po metodi Hannover imamo nestabilno točko 6003, analiza s programom Premik pa jo določi kot stabilno točko. Podobno imamo za točko 5, ki je v slednji metodi določena kot nestabilna, z metodo Hannover pa stabilna. Obe metodi določita premik točke 6003 v primeru druge in pete terminske izmere.

Preglednica 11: Analiza metode Hannover in primerjava z analizo s programom Premik

Točka	Hannover			Premik	Hannover			Premik	Hannover			Premik
	Izmera 1 – 2				Izmera 1 – 5				Izmera 2 – 5			
	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	St.	St.	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	St.	St.	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	St.	St.
6001	-0.70	-2.10	da	da	3.60	-1.10	da	da	4.30	1.00	da	ne
6002	0.30	-0.30	da	da	-0.50	-0.90	da	da	-0.80	-0.60	da	da
6003	0.30	-1.30	ne	da	4.80	-2.10	ne	da	4.50	-0.80	ne	ne
1	2.40	1.70	da	da	3.70	2.20	da	da	1.30	0.50	da	da
2	-0.60	-2.00	da	da	1.50	0.20	da	da	2.10	2.20	da	da
3	0.30	-0.40	da	da	0.10	3.00	da	da	-0.20	3.40	da	da
4	0.00	3.70	da	da	-4.60	3.20	da	da	-1.40	5.50	da	da
5	-0.40	0.40	da	ne	-1.80	5.90	da	da	-3.50	1.80	ne	da
6	-0.60	-4.80	da	da	-4.10	-3.00	da	ne	-0.70	-1.00	da	ne
7	-0.30	0.40	da	da	-1.00	-0.60	da	da	0.10	-1.40	da	da
8	-0.50	0.80	da	da	-0.40	-0.60	da	da	-1.10	-4.90	da	da
9	0.00	1.10	da	da	-1.10	-3.80	da	da	1.10	-7.25	da	da
10	-0.13	2.37	da	da	1.85	-3.34	da	da	-4.11	-4.11	da	ne

St. ... stabilna točka

7.4 Analiza rezultatov višinskih premikov

Podobno kot v poglavju 6.4, kjer smo delali analizo višinskih razlik s program Premik, smo tudi v analizi po metodi Hannover višinske razlike izračunali s trigonometričnim višinomerstvom.

Deformacijsko analizo smo lahko naredili v primerih terminskih izmer 1 – 2, 1 – 3, 2 – 3 in 4 – 5. V ostalih primerih smo s testiranjem homogenosti natančnosti dveh terminskih izmer ugotovili, da je testna statistika večja od kritične vrednosti pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5 \%$. To je pomenilo, da smo zavrnilni ničelno hipotezo, natančnost dveh terminskih izmer ni homogena. Deformacijsko analizo smo zato prekinili oziroma končali.

Preglednica 12: Analiza metode Hannover in primerjava z analizo s programom Premik

Točka	Hannover		Premik		Hannover		Hannover		Hannover
	Izmera 1 – 2				Izmera 1 – 3		Izmera 2 – 3		Izmera 4 – 5
	σ_z [mm]	St.	σ_z [mm]	St.	σ_z [mm]	St.	σ_z [mm]	St.	St.
6001	-1.7	da	-1.7	da	2.3	da	4.0	da	da
6002	4.0	ne	3.2	ne	3.1	ne	2.2	da	da
6003	-2.6	da	-2.6	da	0.3	da	2.9	da	da
1	-5.6	da	-5.6	da	-8.8	da	-3.2	da	da
2	-2.7	da	-2.8	da	-1.2	da	1.5	da	da
3	-3.2	da	-3.2	da	-4.0	da	-0.8	da	da
4	-3.4	da	-3.3	da	-1.5	da	1.9	da	da
5	-2.5	da	-2.5	da	-5.8	ne	-5.3	ne	da
6	0.4	da	0.3	da	1.7	da	1.3	da	da
7	9.3	ne	8.3	ne	3.3	da	-7.7	ne	da
8	2.7	da	2.7	da	2.8	da	0.1	da	da
9	10.6	ne	9.5	ne	3.4	da	-8.9	ne	da
10	-2.1	da	-2.1	da	1.3	da	3.4	da	da

St. ... stabilna točka

Rezultati analize nam pokažejo, da statistično značilne premike zaznamo na točkah 6002, 5, 7 in 9. Za primerjavo smo vključili primer analize s programom Premik med izmerama ena in dva (preglednica 12). Vidimo, da smo med tema izmerama zaznali premike na istih točkah. Zaključili bi lahko, da se s temi točkami nekaj dogaja.

8 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo določali položajne in višinske premike pregrade Prigorica. Za določitev premikov smo izbrali dve metodi, analizo s programom Premik in deformacijsko analizo po metodi Hannover.

Opazovanja smo izvajali z instrumentoma Leica TPS (Wild) - TC 1700 za položajne meritve in nivelir Leica (Wild) - NAK 2 s planparalelno ploščo za vertikalne premike. Oba spadata v razred preciznejših geodetskih instrumentov. Na kratko omenimo, da nismo imeli na razpolago podatkov geometričnega nivelmana in smo premike določali na osnovi izračuna višinskih razlik po metodi trigonometričnega višinomerstva. Da bi s to metodo zanesljiveje določili premike, bi bilo smotrno naša opazovanja izvesti še v kakem girusu več. V naši obdelavi smo ugotovili, da imamo različna opazovanja. To pomeni, da smo v prvi terminski izmeri z vseh referenčnih točk opazovali smeri in dolžine na vse točke. V nadaljnjih izmerah se dolžine med referenčnimi točkami ni opazovalo, le smeri. Ker določamo višinske premike z metodo trigonometričnega višinomerstva, bi bilo dobro, da bi opazovali tako dolžine kot tudi zenitne razdalje med referenčni točkami.

Naša naloga obsega izračun nekaterih kombinacij premikov med terminskimi izmerami. Torej prva in tekoča, tekoča in zadnja terminska izmera in med tekočo in ostalimi izmerami. V našem primeru nam bi zadostovalo analiziranje tekoče in zadnje terminske izmere, ter tekoče in prve izmere. Slednje izračune bi lahko analizirali na dve leti, seveda če ne bi prišlo do večjih ugotovitev v relativnih primerih. Kot smo v nalogi ugotovili, premiki niso veliki oziroma so relativno majhni.

Izbira metode za določitev oziroma analizo premikov je odvisna od naloge. V našem primeru smo se odločili za testno statistiko pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5\%$, s programom Premik. Statistično značilne premike smo zaznali na točkah 5, 6 in 10.

Predpostavljamo, da so naše referenčne točke mirujoče, torej za premike na 6001 in 6003 lahko rečemo, da smo jih statistično zaznali, ampak lahko brez tveganja ne zavrnemo ničelne hipoteze, torej predpostavljamo, da so mirujoče.

Točke se niso spremenile, sploh če upoštevamo, da smo jih določili v kumulativnem primeru med terminskima izmerama dva in pet. Poleg tega jih v ostalih primerih med izmerama nismo zaznali in vrednosti so relativno majhne, gibljejo se $1.0 \leq d \leq 4.3$ mm. Za naš primer določanja premikov pregrade bi s to metodo analize zadovoljili potrebe naročnikov.

Za lažjo predstavo končnih rezultatov smo se odločili še za podrobnejšo deformacijsko analizo po metodi Hannover. Kot s prejšnjo metodo, smo statistično značilne premike zaznali v enakih primerih med terminskima izmerama. Pri isti izbiri stopnje značilnosti testa $\alpha = 5\%$ smo premik zaznali na točki 6003 in 5. Drugih statistično značilnih premikov nismo zaznali oziroma smo ugotovili, da se točke niso spremenile.

Poznamo dve omejitvi tega postopka oziroma metode. V obeh izmerah moramo imeti statistično enaki referenčni varianci enote uteži $\hat{\sigma}_0^2$. V prvem koraku te metode izvedemo testiranje homogene natančnosti in ugotovimo ali je natančnost dveh terminskih izmer homogena. V našem primeru višinskih premikov nismo imeli homogenih posameznih izmer, zato se je deformacijska analiza prekinila. Tako smo s to metodo lahko analizirali le par primerov. Dodatna omejitev te metode je, da moramo imeti iste približne koordinate točk v obeh izmerah.

Odgovor, s katero metodo je v našem primeru primernejše določati premike, bi lahko dobili z izračunom s še eno deformacijsko metodo. Poznamo metodo Karlsruhe, Delft, Ašanin in druge.

Prilogi 13 (položajni premiki) in 14 (višinski premiki) primerjata naše rezultate določitve premikov in rezultate izračuna naročnika. Vrednosti izračunanih premikov se ne razlikujejo veliko, tako da lahko rečemo, da je metoda določanja premikov dobra.

VIRI

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

Ambrožič, T. 2004/2005. Zapiski predavanj iz predmeta Geodezija II. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 119 str.

Ambrožič, T., Turk, G. 1997. Navodila za uporabo programa GeM3 ver. 3.1, mar. 1997. Interna izdaja.

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

Ambrožič, T. 1999. Navodila za uporabo programa STr ver. 2.0, nov. 1999. Interna izdaja.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar B. 2002 Navodila za uporabo programa Premik ver. 2.0, feb. 2002. Interna izdaja.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar B. 2007 Navodila za uporabo programa PremikWin1 ver. 1.0, okt. 2007. Interna izdaja.

Ambrožič, T. 1996. Navodila za uporabo programa DAH ver. 1.0, jun. 1996. Interna izdaja.

Kogoj, D., Stopar, B. 2004. Geodetska izmera, matična sekcija geodetov, strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 6 str.

Kolar, M. 2004. Določitev premikov točk mikromreže Boršt z metodo deformacijske analize Hannover. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 15 str.

Leica NA2-NAK2. 1999. User manual. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.

Leica TPS – System 1000. 2003. User manual, version 2.3, english. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.

Mozetič, B., Kogoj, D., Ambrožič, T. 2006. Uporabnost izbranih metod deformacijske analize na praktičnih primerih geodetskih mrež. Geodetski vestnik 50, 4: 620-631.

Ocvirk, M. 1995, Določitev horizontalnih in vertikalnih premikov pregrade "za Travnikom". Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 24 str.

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

Zupančič, P. 1997. Geodezija 4. Ljubljana, Zavod Republike Slovenije za šolstvo: 124.

Elektronski viri

Geopedia - interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije. <http://www.geopedia.si/> (14.5.2009).

Prigorica, vodovje. <http://www.freewebs.com/prigorica/vodovje.htm> (15.5.2009).

Pomladni utrinki - vodna pregrada. www.rtv slo.si/slike/photo/38815 (15.5.2009).

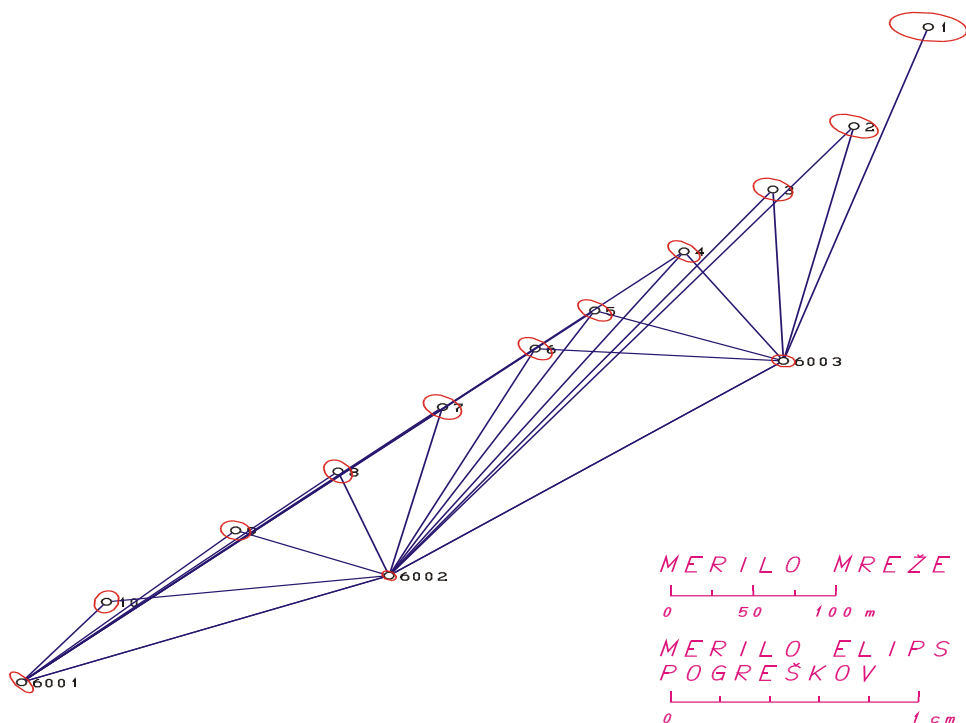
Savšek-Safić, S. 2004. Testiranje premikov točk v geodetski mreži s simulacijami. www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Savsek.pdf (2.2.2009).

Slovenski kataster velikih pregrad, pregled osnovnih pojmov v zvezi z velikimi pregradami, http://slocold.ibe.si/S/Kataster/Kat_Prig.html-l2 (13.5.2009).

PRILOGE

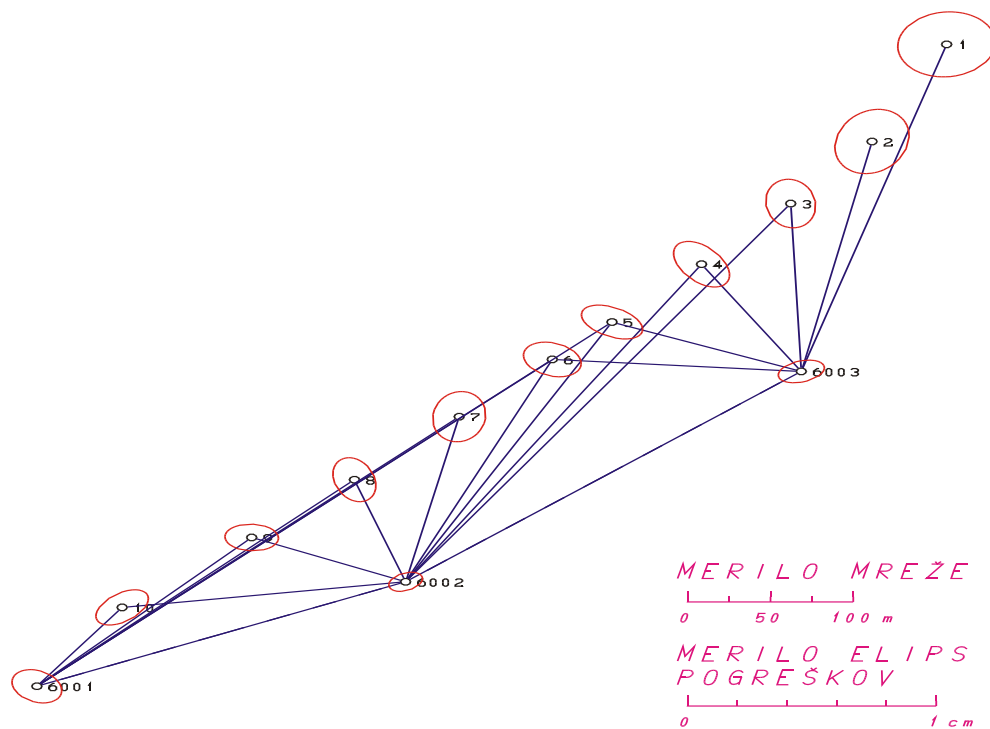
PRILOGA 1: ANALIZA NATAČNOSTI IZRAVNAVE IN ELIPSE POGREŠKOV 1 TERMINSKE IZMERE

Točka	Y [m]	X [m]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_p [mm]	a [mm]	b [mm]	θ
6001	479574.3758	62909.7791	0.5	0.6	0.8	0.7	0.3	145.
6002	479796.9118	63002.4769	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	133.
6003	480035.5988	63189.1212	0.5	0.4	0.6	0.5	0.3	107.
1	480123.2525	63479.3841	1.6	0.8	1.8	1.6	0.8	101.
2	480078.2700	63393.2026	1.0	0.7	1.2	1.0	0.6	115.
3	480029.2310	63338.1249	0.8	0.7	1.0	0.8	0.6	119.
4	479975.3965	63284.3368	0.6	0.6	0.9	0.8	0.5	132.
5	479921.4090	63232.9972	0.7	0.6	0.9	0.8	0.5	130.
6	479885.3911	63199.7641	0.7	0.6	0.9	0.8	0.5	132.
7	479829.2042	63148.9968	0.8	0.7	1.0	0.9	0.6	129.
8	479766.0082	63093.0440	0.6	0.7	0.9	0.7	0.5	148.
9	479704.0007	63041.7844	0.6	0.6	0.8	0.6	0.5	122.
10	479625.8092	62979.7475	0.5	0.6	0.8	0.6	0.5	17.



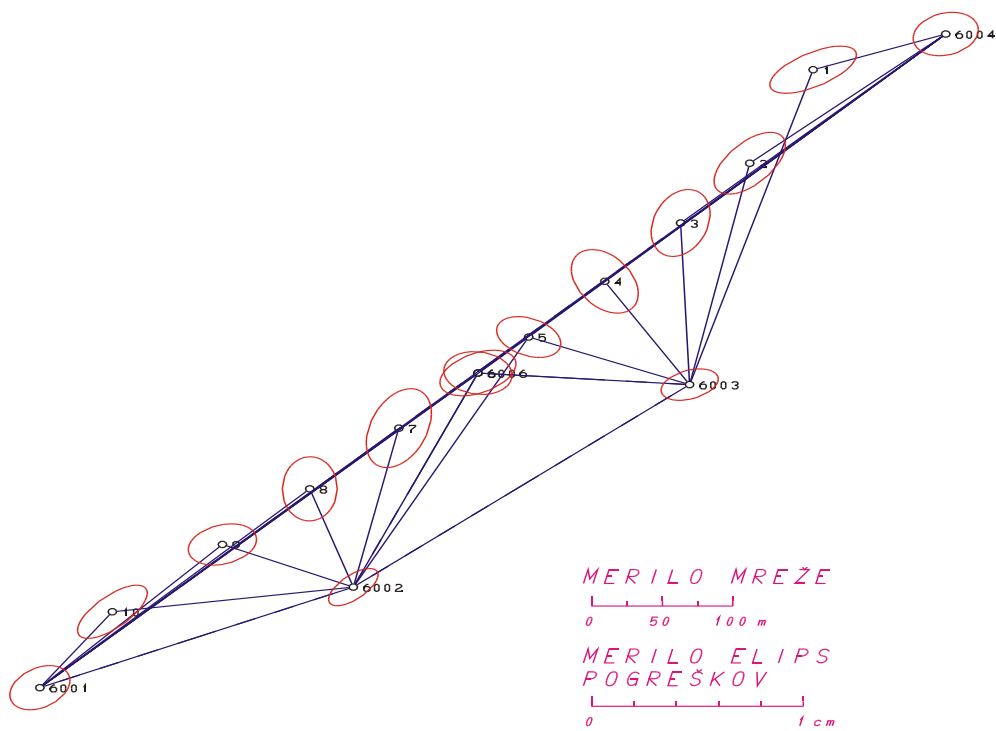
PRILOGA 2: ANALIZA NATAČNOSTI IZRAVNAVE IN ELIPSE POGREŠKOV 2 TERMINSKE IZMERE

Točka	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_p [mm]	a [mm]	b [mm]	θ
6001	479574.3751	62909.7770	1.0	1.0	1.4	1.1	0.9	133.
6002	479796.9121	63002.4766	0.7	0.6	0.9	0.7	0.5	59.
6003	480035.5986	63189.1242	0.9	0.7	1.2	1.0	0.6	68.
1	480123.2528	63479.3828	2.0	1.9	2.7	2.0	1.9	54.
2	480078.2724	63393.2043	1.5	1.9	2.4	1.9	1.4	18.
3	480029.2304	63338.1229	1.0	1.4	1.8	1.4	1.0	173.
4	479975.3968	63284.3364	1.1	1.3	1.8	1.5	0.9	146.
5	479921.4090	63233.0009	1.2	1.0	1.6	1.4	0.8	122.
6	479885.3907	63199.7645	1.2	1.0	1.5	1.2	0.9	121.
7	479829.2036	63148.9920	1.1	1.5	1.8	1.5	1.1	7.
8	479766.0079	63093.0444	0.9	1.3	1.6	1.3	0.8	164.
9	479704.0002	63041.7852	1.1	0.8	1.3	1.1	0.8	94.
10	479625.8092	62979.7486	1.1	1.0	1.5	1.3	0.8	46.



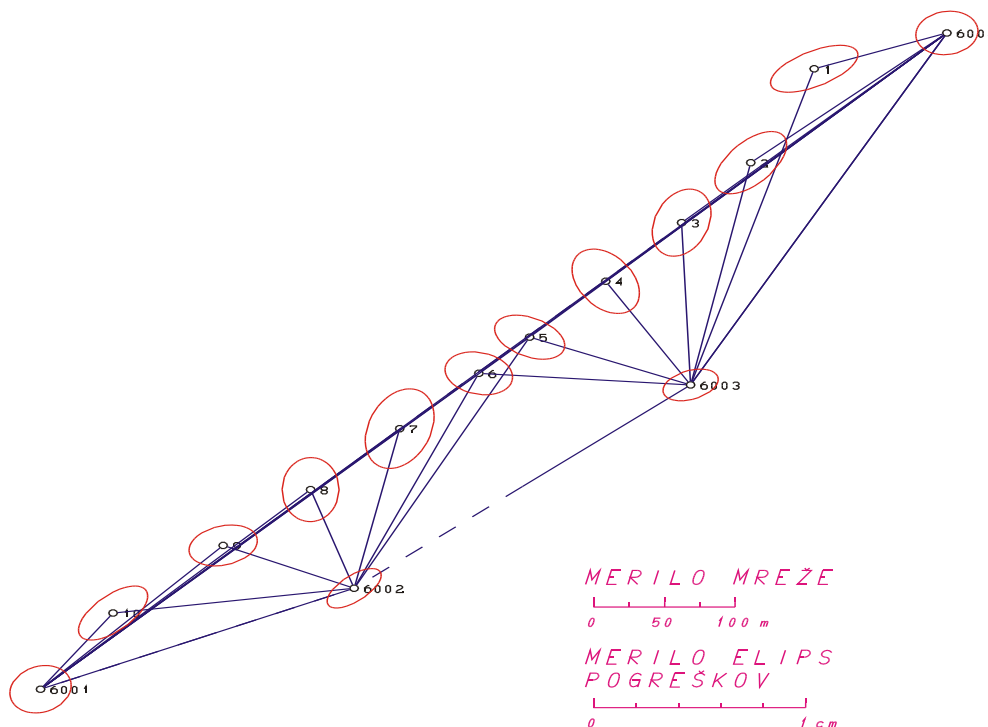
PRILOGA 3: ANALIZA NATAČNOSTI IZRAVNAVE IN ELIPSE POGREŠKOV 3 TERMINSKE IZMERE

Točka	Y [m]	X [m]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_p [mm]	a [mm]	b [mm]	θ
6001	479574.3763	62909.7782	1.4	1.4	2.0	1.6	1.1	49.
6002	479796.9107	63002.4765	1.2	1.1	1.6	1.5	0.7	46.
6003	480035.5975	63189.1215	1.3	1.0	1.7	1.4	0.9	67.
1	480123.2521	63479.3826	2.0	1.4	2.5	2.3	1.0	60.
2	480078.2691	63393.2021	1.7	1.9	2.5	2.3	1.1	39.
3	480029.2299	63338.1256	1.4	2.1	2.5	2.1	1.3	17.
4	479975.3969	63284.3356	1.6	2.0	2.5	2.1	1.4	150.
5	479921.4065	63232.9976	1.5	1.3	2.0	1.6	1.1	120.
6	479885.3889	63199.7656	1.6	1.3	2.1	1.6	1.3	104.
7	479829.2047	63148.9952	1.5	2.4	2.9	2.5	1.4	19.
8	479766.0082	63093.0435	1.3	2.0	2.4	2.0	1.3	1.
9	479704.0013	63041.7840	1.6	1.3	2.1	1.7	1.2	67.
10	479625.8091	62979.7476	1.6	1.6	2.3	2.1	0.9	45.



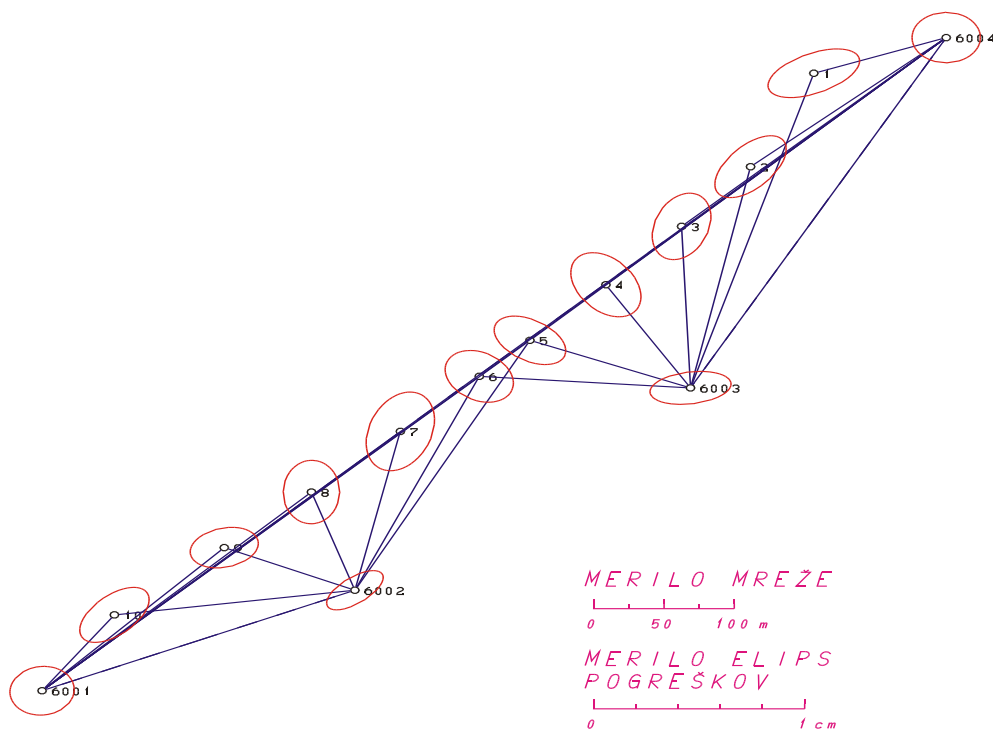
PRILOGA 4: ANALIZA NATAČNOSTI IZRAVNAVE IN ELIPSE POGREŠKOV 4 TERMINSKKE IZMERE

Točka	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_p [mm]	a [mm]	b [mm]	θ
6001	479574.3771	62909.7789	1.4	1.4	2.0	1.6	1.3	45.
6002	479796.9103	63002.4767	1.3	1.2	1.8	1.6	0.7	48.
6003	480035.5979	63189.1199	1.3	1.0	1.6	1.4	0.9	65.
1	480123.2541	63479.3830	2.1	1.4	2.5	2.3	1.0	61.
2	480078.2699	63393.2009	1.7	1.9	2.5	2.3	1.2	39.
3	480029.2299	63338.1237	1.4	2.1	2.5	2.1	1.3	17.
4	479975.3969	63284.3371	1.6	2.0	2.5	2.1	1.4	150.
5	479921.4059	63232.9987	1.7	1.4	2.1	1.8	1.2	121.
6	479885.3887	63199.7672	1.6	1.3	2.1	1.6	1.3	111.
7	479829.2018	63148.9913	1.6	2.4	2.9	2.5	1.5	18.
8	479766.0077	63093.0401	1.3	2.0	2.4	2.0	1.3	1.
9	479704.0007	63041.7846	1.6	1.3	2.0	1.7	1.2	69.
10	479625.8077	62979.7465	1.6	1.7	2.3	2.1	1.0	44.



PRILOGA 5: ANALIZA NATAČNOSTI IZRAVNAVE IN ELIPSE POGREŠKOV 5 TERMINSKE IZMERE

Točka	Y [m]	X [m]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_p [mm]	a [mm]	b [mm]	θ
6001	479574.3778	62909.7771	1.5	1.5	2.1	1.5	1.5	53.
6002	479796.9098	63002.4747	1.3	1.2	1.8	1.6	0.8	50.
6003	480035.5975	63189.1172	1.9	1.0	2.2	19	1.0	81.
1	480123.2566	63479.3802	2.2	1.5	2.6	2.4	1.2	63.
2	480078.2729	63393.2030	1.7	1.9	2.5	2.3	1.2	39.
3	480029.2316	63338.1235	1.4	2.0	2.5	2.1	1.3	18.
4	479975.3956	63284.3382	1.7	2.0	2.6	2.2	1.4	147.
5	479921.4033	63232.9989	1.7	1.5	2.3	1.9	1.2	127.
6	479885.3882	63199.7686	1.6	1.6	2.3	1.8	1.4	133.
7	479829.1989	63148.9924	1.6	2.4	2.9	2.5	1.5	17.
8	479766.0059	63093.0421	1.3	1.9	2.4	1.9	1.3	1.
9	479703.9989	63041.7827	1.6	1.3	2.0	1.7	1.2	71.
10	479625.8066	62979.7427	1.6	1.7	2.4	2.1	1.1	44.



PRILOGA 6: REZULTATI TRANSFORMACIJE S POLOŽAJNIH KOORDINAT TOČK

3 Terminska izmera				
Točka	Izravnane koordinate		Transformirane koordinate	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
6001	479574.3763	62909.7782	479574.3766	62909.7789
6002	479796.9107	63002.4765	479796.9111	63002.4769
6003	480035.5975	63189.1215	480035.5981	63189.1216
1	480123.2521	63479.3826	480123.2530	63479.3826
2	480078.2691	63393.2021	480078.2699	63393.2022
3	480029.2299	63338.1256	480029.2306	63338.1258
4	479975.3969	63284.3356	479975.3976	63284.3358
5	479921.4065	63232.9976	479921.4072	63232.9979
6	479885.3889	63199.7656	479885.3895	63199.7659
7	479829.2047	63148.9952	479829.2052	63148.9956
8	479766.0082	63093.0435	479766.0087	63093.0439
9	479704.0013	63041.7840	479704.0018	63041.7844
10	479625.8091	62979.7476	479625.8095	62979.7482

4 Terminska izmera				
Točka	Izravnane koordinate		Transformirane koordinate	
	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
6001	479574.3771	62909.7789	479574.3780	62909.7796
6002	479796.9103	63002.4767	479796.9112	63002.4775
6003	480035.5979	63189.1199	480035.5987	63189.1208
1	480123.2541	63479.3830	480123.2548	63479.3840
2	480078.2699	63393.2009	480078.2706	63393.2018
3	480029.2299	63338.1237	480029.2306	63338.1246
4	479975.3969	63284.3371	479975.3976	63284.3380
5	479921.4059	63232.9987	479921.4067	63232.9996
6	479885.3887	63199.7672	479885.3894	63199.7680
7	479829.2018	63148.9913	479829.2026	63148.9922
8	479766.0077	63093.0401	479766.0085	63093.0409
9	479704.0007	63041.7846	479704.0016	63041.7854
10	479625.8077	62979.7465	479625.8086	62979.7472

PRILOGA 7: REZULTATI TRANSFORMACIJE S POLOŽAJNIH KOORDINAT TOČK

5 Termiska izmera				
	Izravnane koordinate		Transformirane koordinate	
Točka	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]
6001	479574.3778	62909.7771	479574.3794	62909.7780
6002	479796.9098	63002.4747	479796.9113	63002.4760
6003	480035.5975	63189.1172	480035.5987	63189.1189
1	480123.2566	63479.3802	480123.2573	63479.3820
2	480078.2729	63393.2030	480078.2737	63393.2048
3	480029.2316	63338.1235	480029.2325	63338.1251
4	479975.3956	63284.3382	479975.3966	63284.3398
5	479921.4033	63232.9989	479921.4044	63233.0004
6	479885.3882	63199.7686	479885.3893	63199.7700
7	479829.1989	63148.9924	479829.2001	63148.9938
8	479766.0059	63093.0421	479766.0072	63093.0434
9	479703.9989	63041.7827	479704.0003	63041.7838
10	479625.8066	62979.7427	479625.8081	62979.7437

**PRILOGA 8: RELATIVNI PREMIK MED IZMERAMA 1 – 2 IN KUMULATIVNI
 PREMIK MED IZMERAMA 1 – 3**

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	3* σ_d
6001	-1.8	-1.1	2.1	239	1.1	1.9306	2.4269	15.24	
6002	-0.8	0.1	0.8	277	0.8	1.0291	2.3573	56.44	
6003	0.2	1.8	1.8	6	0.9	2.1072	2.3661	9.33	
1	1.5	-3.1	3.4	154	2.3	1.4741	2.4328	33.27	
2	4.0	0.4	4.0	84	1.8	2.2568	2.3588	6.46	
3	0.0	-2.9	2.9	180	1.8	1.5901	2.3549	25.52	
4	1.5	-1.8	2.3	140	1.8	1.3080	2.2814	36.87	
5	1.0	3.8	3.9	15	1.0	3.7510	2.3315	0.04	*
6	-0.1	-0.1	0.1	225	1.1	0.239	2.4077	99.24	
7	-0.2	-3.8	3.8	183	1.9	2.0539	2.3596	10.50	
8	-1.2	1.0	1.6	310	1.4	1.1250	2.3350	49.78	
9	-0.7	1.6	1.7	336	1.0	1.7039	2.3991	22.19	
10	-0.2	2.5	2.5	355	1.2	2.0808	2.2856	8.27	

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	3* σ_d
6001	0.8	-0.2	0.8	104	1.4	0.6057	2.4210	83.05	
6002	-0.7	0.0	0.7	270	1.2	0.5974	2.2592	80.67	
6003	-0.7	0.4	0.8	300	1.2	0.6938	2.3069	75.98	
1	0.5	-1.5	1.6	162	1.7	0.9410	2.3235	61.02	
2	-0.1	-0.4	0.4	194	2.2	0.1848	2.3390	98.20	
3	-0.4	0.9	1.0	336	1.9	0.5141	2.3630	86.95	
4	1.1	-1.0	1.5	132	2.1	0.6987	2.3643	76.89	
5	-1.8	0.7	1.9	291	1.7	1.1046	2.3759	52.23	
6	-1.6	1.8	2.4	318	1.7	1.4122	2.4098	35.73	
7	1.0	-1.2	1.6	140	1.9	0.8063	2.3228	69.61	
8	0.5	-0.1	0.5	101	1.4	0.3537	2.3572	93.55	
9	1.1	0.0	1.1	90	1.7	0.6567	2.3920	79.83	
10	0.3	0.7	0.8	23	2.0	0.3765	2.1954	91.27	

PRILOGA 9: KUMULATIVNI PREMIK MED IZMERAMA 1 – 4 IN 1 – 5

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v [°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3^* \sigma_d$
6001	2.2	0.5	2.3	77	1.5	1.5198	2.4337	31.03	
6002	-0.6	0.6	0.8	315	0.8	1.0509	2.2423	50.98	
6003	-0.1	-0.4	0.4	194	1.2	0.3486	2.3206	93.53	
1	2.3	-0.1	2.3	92	2.6	0.8795	2.3294	65.07	
2	0.6	-0.8	1.0	143	1.6	0.6156	2.3497	81.45	
3	-0.4	-0.3	0.5	233	2.0	0.2474	2.3684	96.85	
4	1.1	1.2	1.6	43	1.6	1.0370	2.3630	56.07	
5	-2.3	2.4	3.3	316	1.9	1.7783	2.3527	18.09	
6	-1.7	3.9	4.3	336	1.6	2.6453	2.4020	2.63	
7	-1.6	-4.6	4.9	199	2.6	1.9070	2.3484	14.03	
8	0.3	-3.1	3.1	174	2.1	1.5185	2.3656	29.15	
9	0.9	1.0	1.3	42	1.6	0.8338	2.3923	69.46	
10	-0.6	-0.3	0.7	243	2.1	0.3272	2.2195	93.56	

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v [°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3^* \sigma_d$
6001	3.6	-1.1	3.8	107	1.5	2.5482	2.4383	3.80	
6002	-0.5	-0.9	1.0	209	1.5	0.6809	2.2404	75.14	
6003	-0.1	-2.3	2.3	182	1.1	2.0653	2.2204	7.48	
1	4.8	-2.1	5.2	114	2.5	2.0674	2.3471	9.82	
2	3.7	2.2	4.3	59	2.3	1.8488	2.3642	16.27	
3	1.5	0.2	1.5	82	1.7	0.8965	2.3677	65.04	
4	0.1	3.0	3.0	2	2.0	1.5012	2.3659	29.79	
5	-4.6	3.2	5.6	305	2.0	2.8213	2.3433	1.30	
6	-1.8	5.9	6.2	343	1.8	3.4485	2.4045	0.22	*
7	-4.1	-3.0	5.1	234	2.2	2.2710	2.3483	6.08	
8	-1.0	-0.6	1.2	239	1.6	0.7450	2.3670	74.28	
9	-0.4	-0.6	0.7	214	1.5	0.4666	2.3941	89.41	
10	-1.1	-3.8	4.0	196	2.0	2.0124	2.2472	8.93	

**PRILOGA 10: RELATIVNI PREMİK MED IZMERAMA 2 – 3 IN KUMULATIVNI
 PREMİK MED IZMERAMA 2 – 4**

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik a [mm]	Smerni kot v [°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3^* \sigma_d$
6001	2.6	0.9	2.8	71	1.8	1.5251	2.4148	30.22	
6002	0.1	-0.1	0.1	135	0.9	0.1622	2.2513	98.46	
6003	-0.9	-1.4	1.7	213	1.7	1.0075	2.2937	55.72	
1	-1.0	1.6	1.9	328	2.3	0.8138	2.3619	70.04	
2	-4.1	-0.8	4.2	259	2.5	1.6647	2.2836	20.30	
3	-0.4	3.8	3.8	354	2.6	1.4620	2.3114	29.97	
4	-0.4	0.8	0.9	333	2.6	0.3416	2.3365	93.90	
5	-2.8	-3.1	4.2	222	1.5	2.8073	2.3707	1.49	
6	-1.5	1.9	2.4	322	1.9	1.3008	2.4165	41.90	
7	1.2	2.6	2.9	25	3.0	0.9608	2.2680	58.13	
8	1.7	-1.1	2.0	123	1.9	1.0689	2.3364	53.25	
9	1.8	-1.6	2.4	132	1.6	1.5160	2.3773	29.53	
10	0.5	-1.8	1.9	164	1.5	1.2303	2.1768	36.74	

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik a [mm]	Smerni kot v [°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3^* \sigma_d$
6001	4.0	1.6	4.3	68	1.8	2.3769	2.4285	5.66	
6002	0.2	0.5	0.5	22	1.6	0.3334	2.2392	93.49	
6003	-0.3	-2.2	2.2	188	1.3	1.6681	2.3040	20.72	
1	0.8	3.0	3.1	15	3.0	1.0271	2.3740	57.16	
2	-3.4	-1.2	3.6	251	2.7	1.3272	2.2930	36.29	
3	-0.4	2.6	2.6	351	2.6	1.0166	2.3166	55.98	
4	-0.4	3.0	3.0	352	2.5	1.2013	2.3363	44.92	
5	-3.3	-1.4	3.6	247	1.8	2.0195	2.3531	11.06	
6	-1.6	4.0	4.3	338	1.8	2.4439	2.4119	4.63	
7	-1.4	-0.8	1.6	240	2.5	0.6460	2.2963	78.71	
8	1.5	-4.1	4.4	160	2.3	1.8654	2.3454	15.21	
9	1.6	-0.6	1.7	111	1.8	0.9503	2.3784	62.01	
10	-0.4	-2.8	2.8	188	2.1	1.3492	2.1948	30.99	

**PRILOGA 11: KUMULATIVNI PREMİK MED IZMERAMA 2 – 5 IN RELATIVNI
 PREMİK MED IZMERAMA 3 – 4**

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	3* σ_d
6001	5.4	0.0	5.4	90	1.8	3.0463	2.4346	0.93	*
6002	0.3	-1.0	1.0	163	1.1	0.9616	2.2376	56.52	
6003	-0.3	-4.1	4.1	184	1.3	3.0891	2.2395	0.38	*
1	3.3	1.0	3.4	73	3.2	1.0914	2.3974	53.74	
2	-0.3	1.8	1.8	351	2.9	0.6391	2.3043	79.21	
3	1.5	3.1	3.4	26	2.6	1.3065	2.3160	38.25	
4	-1.4	4.8	5.0	344	2.6	1.9352	2.3383	12.93	
5	-5.6	-0.6	5.6	264	2.0	2.8292	2.3470	1.30	
6	-1.7	6.0	6.2	344	1.9	3.2294	2.4199	0.49	*
7	-3.9	0.8	4.0	282	1.8	2.2288	2.2964	5.95	
8	0.2	-1.6	1.6	173	2.4	0.6797	2.3463	77.69	
9	0.3	-2.2	2.2	172	1.4	1.5698	2.3791	27.07	
10	-0.9	-6.3	6.4	188	2.1	3.0230	2.2167	0.45	*

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik d [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	3* σ_d
6001	1.4	0.7	1.6	63	2.1	0.7449	2.3957	74.87	
6002	0.1	0.6	0.6	9	1.8	0.3472	2.2162	92.77	
6003	0.6	-0.8	1.0	143	1.2	0.8372	2.2819	66.37	
1	1.8	1.4	2.3	52	3.3	0.6963	2.2660	74.91	
2	0.7	-0.4	0.8	120	1.8	0.4545	2.2472	88.32	
3	0.0	-1.2	1.2	180	2.9	0.4157	2.3083	90.82	
4	0.0	2.2	2.2	0	2.7	0.8051	2.3653	70.62	
5	-0.5	1.7	1.8	344	2.0	0.8739	2.3737	66.55	
6	-0.1	2.1	2.1	357	1.9	1.1271	2.4111	51.96	
7	-2.6	-3.4	4.3	217	3.3	1.2806	2.2854	38.78	
8	-0.2	-3.0	3.0	184	2.7	1.1061	2.3496	51.36	
9	-0.2	1.0	1.0	349	1.6	0.6259	2.3733	81.17	
10	-0.9	-1.0	1.3	222	2.9	0.4649	2.1636	86.24	

**PRILOGA 12: KUMULATIVNI PREMİK MED IZMERAMA 3 – 5 IN RELATIVNI
 PREMİK MED IZMERAMA 4 – 5**

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik a [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3*\sigma_d$
6001	2.8	-0.9	2.9	108	1.8	1.6217	2.4080	25.73	
6002	0.2	-0.9	0.9	167	1.4	0.6818	2.2153	74.32	
6003	0.6	-2.7	2.8	167	1.3	2.1624	2.2346	6.04	
1	4.3	-0.6	4.3	98	2.9	1.4718	2.3041	29.15	
2	3.8	2.6	4.6	56	3.2	1.4557	2.2611	28.51	
3	1.9	-0.7	2.0	110	1.8	1.1186	2.3074	49.18	
4	-1.0	4.0	4.1	346	2.9	1.4442	2.3678	32.66	
5	-2.8	2.5	3.8	312	2.4	1.5727	2.3684	26.64	
6	-0.2	4.1	4.1	357	2.0	2.0056	2.4194	13.03	
7	-5.1	-1.8	5.4	251	2.6	2.0627	2.2852	8.78	
8	-1.5	-0.5	1.6	252	1.9	0.8296	2.3505	68.80	
9	-1.5	-0.6	1.6	248	2.3	0.7096	2.3747	76.51	
10	-1.4	-4.5	4.7	197	2.6	1.7960	2.1813	12.69	

Točka	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	Dejanski premik a [mm]	Smerni kot v[°]	σ_d [mm]	T	T_krit	α_T %	$3*\sigma_d$
6001	1.4	-1.6	2.1	139	1.8	1.1964	2.1718	48.09	
6002	0.1	-1.5	1.5	176	1.6	0.9512	1.9701	56.10	
6003	0.0	-1.9	1.9	180	1.4	1.3361	2.0071	33.80	
1	2.5	-2.0	3.2	129	2.3	1.3752	2.0715	34.38	
2	3.1	3.0	4.3	46	3.2	1.3325	2.0322	35.19	
3	1.9	0.5	2.0	75	2.3	0.8612	2.0744	65.77	
4	-1.0	1.8	2.1	331	2.9	0.7081	2.1220	76.40	
5	-2.3	0.8	2.4	289	2.5	0.9828	2.1122	59.29	
6	-0.1	2.0	2.0	357	2.0	0.9838	2.1703	60.97	
7	-2.5	1.6	3.0	303	2.2	1.3283	2.0692	36.67	
8	-1.3	2.5	2.8	333	2.6	1.0889	2.1155	52.60	
9	-1.3	-1.6	2.1	219	2.1	0.9715	2.1293	60.63	
10	-0.5	-3.5	3.5	188	2.5	1.4376	1.9576	26.64	

**PRILOGA 13: PRIMERJAVA REZULTATOV (TEKOČA IN ZADNJA TERMISKA
 IZMERA)**

Metoda	Hannover		Premik		Izračun naročnika		Premik		Izračun naročnika		Premik		Izračun naročnika		Premik		Izračun naročnika	
	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]	σ_Y [mm]	σ_X [mm]
6001	-0.21	-2.40	-1.8	-1.1			2.6	0.9			1.4	0.7			1.4	-1.6		
6002	0.44	-0.51	-0.8	0.1			0.1	-0.1			0.1	0.6			0.1	-1.5		
6003	-0.13	2.37	0.2	1.8			-0.9	-1.4			0.6	-0.8			0.0	-1.9		
1	1.66	-4.65	1.5	-3.1	2.0	-3.0	-1.0	1.6	2.0	-3.0	1.8	1.4	-1.0	-4.0	2.5	-2.0	1.0	-6.0
2	3.79	-1.38	4.0	0.4	0.0	-1.0	-4.1	-0.8	0.0	-1.0	0.7	-0.4	-6.0	-3.0	3.1	3.0	0.0	-3.0
3	0.09	-3.80	0.0	-2.9	2.0	-3.0	-0.4	3.8	2.0	-3.0	0.0	-1.2	-6.0	-2.0	1.9	0.5	-3.0	-4.0
4	0.46	-2.25	1.5	-1.8	0.0	1.0	-0.4	0.8	0.0	1.0	0.0	2.2	-6.0	-1.0	-1.0	1.8	-7.0	0.0
5	0.73	2.14	1.0	3.8	1.0	2.0	-2.8	-3.1	1.0	2.0	-0.5	1.7	-6.0	-4.0	-2.3	0.8	-6.0	0.0
6	0.38	-1.09	-0.1	-0.1	1.0	0.0	-1.5	1.9	1.0	0.0	-0.1	2.1	-5.0	3.0	-0.1	2.0	-3.0	1.0
7	-0.08	-4.17	-0.2	-3.8	-1.0	-2.0	1.2	2.6	-1.0	-2.0	-2.6	-3.4	-1.0	0.0	-2.5	1.6	-4.0	1.0
8	-0.27	0.91	-1.2	1.0	0.0	2.0	1.7	-1.1	0.0	2.0	-0.2	-3.0	-1.0	-4.0	-1.3	2.5	-1.0	4.0
9	-0.13	1.30	-0.7	1.6	0.0	2.0	1.8	-1.6	0.0	2.0	-0.2	1.0	0.0	-1.0	-1.3	-1.6	-1.0	2.0
10	0.46	2.25	-0.2	2.5	-2.0	2.0	0.5	-1.8	-2.0	2.0	-0.9	-1.0	1.0	3.0	-0.5	-3.5	0.0	0.0

PRILOGA 14: PRIMERJAVA REZULTATOV (TEKOČA IN ZADNJA TERMISKA IZMERA)

Metoda	Hannover	Premik	Geom. nivel.	Hannover	Premik	Geom. nivel.	Premik	Geom. nivel.	Premik	Geom. nivel.
	Trig. višino.			Trig. višino.			Trig. višino.		Trig. višino.	
Točka	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]	σ_z [mm]
6001	-1.7	-1.7		4.0	4.0		3.1		-0.2	
6002	4.0	-2.6		2.2	2.3		2.4		-0.2	
6003	-2.6	3.2		2.9	2.9		5.0		-4.9	
1	-5.6	-5.6	1.0	-3.2	-3.2	1.0	-3.2	0.0	4.3	2.0
2	-2.7	-2.8	-1.0	1.5	1.5	-1.0	-2.8	2.0	1.8	2.0
3	-3.2	-3.2	-1.0	-0.8	-0.7	-1.0	3.9	3.0	-2.7	1.0
4	-3.4	-3.3	0.0	1.9	1.9	0.0	0.9	2.0	1.8	10
5	-2.5	-2.5	-1.0	-5.3	-2.6	-1.0	2.0	3.0	-1.9	0.0
6	0.4	0.3	-1.0	1.3	1.4	-1.0	-8.1	1.0	0.1	-1.0
7	9.3	8.3	1.0	-7.7	-4.9	1.0	0.0	1.0	-4.9	-1.0
8	2.7	2.7	0.0	0.1	0.1	0.0	-2.6	1.0	5.2	-1.0
9	10.6	9.5	2.0	-8.9	-6.1	2.0	-0.4	-3.0	-0.3	0.0
10	-2.1	-2.1	-1.0	3.4	3.4	-1.0	-0.5	0.0	1.8	0.0