

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:

Šepetavc, K., 2016. Optimizacija terestričnih geodetskih mrež namenjenih spremljanju premikov. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Stopar, B.): 104 str.

Datum arhiviranja: 07-07-2016

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:

Šepetavc, K., 2016. Optimizacija terestričnih geodetskih mrež namenjenih spremljanju premikov. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Stopar, B.): 104 pp.

Archiving Date: 07-07-2016

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**PODIPLOMSKI ŠTUDIJ
GEODEZIJE**

Kandidatka:

KARMEN ŠEPETA VC, univ. dipl. inž. geod.

**OPTIMIZACIJA TERESTRIČNIH GEODETSKIH MREŽ
NAMENJENIH SPREMLJANJU PREMİKOV**

Magistrsko delo šte v.: 54/GE

**OPTIMIZATION OF TERRESTRIAL GEODETIC
NETWORKS DESIGNED FOR MONITORING
MOVEMENTS**

Master of Science Thesis No.: 54/GE

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Predsednica komisije:

doc. dr. Mojca Kosmatin Fras

Somentor:

prof. dr. Bojan Stopar

Člana komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Ljubljana, 28. junij 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVE

Spodaj podpisana študentka Karmen Šepetavc, vpisna številka 26602266, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Optimizacija terestričnih geodetskih mrež namenjenih spremljanju premikov

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 pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila 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: _____

Datum: _____

Podpis študentke: _____

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.235(043.2)
Avtor: Karmen Šepetavc
Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor: prof. dr. Bojan Stopar
Naslov: Optimizacija terestričnih geodetskih mrež namenjenih spremljanju premikov
Tip dokumenta: magistrsko delo
Obseg in oprema: 104 str., 25 pregl., 17 sl., 135 en., 6 pril. (86 p.)
Ključne besede: premiki in deformacije, obdelava geodetskih meritev, ocena natančnosti, kvaliteta geodetske mreže, matrika kriterija, optimizacija geodetske mreže

Izвлеček

Problem optimizacije geodetskih mrež se v geodetski znanosti obširneje proučuje zadnjih 40 let. Kljub obsežnim raziskavam in napredku na tem področju še vedno velja, da splošno veljavna in enolična rešitev problema optimizacije ne obstaja, kar potrjuje tudi cela množica postopkov, ki rešujejo problem optimizacije glede na posamezen kriterij ali skupino kriterijev. Ti postopki imajo, glede na izbrane kriterije, že v osnovi vključene določene omejitve, ki preprečujejo univerzalnost rešitve, kljub temu pa dajejo nekatere metode zanesljive in praktično uporabne rezultate. Na izbranih terestričnih mrežah, ki so v Sloveniji vzpostavljene za potrebe kontrolnih merenj, bomo prikazali uporabo optimizacije drugega reda. Meritve v teh mrežah se izvajajo že daljše obdobje, izmere so se začele povprečno več kot 10 let nazaj. Od takrat pa do danes na nobeni od obravnavanih mrež ni bil izveden celovit postopek optimizacije, zato je namen tega dela, preveriti, ali so meritve, ki se izvajajo v okviru posamezne mreže, dejansko potrebne ter kolikšen vpliv imajo posamezne meritve na natančnost določitve koordinat točk. S tem bomo dobili optimalen plan meritev, ki bo izpolnjeval zahteve glede kriterijev natančnosti, ki ga bo mogoče realizirati z razpoložljivo mersko opremo ter čim nižjimi stroški.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 528.235(043.2)
Author: Karmen Šepetavc
Supervisor: Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph. D
Co-supervisor: Prof. Bojan Stopar, Ph. D
Title: Optimization of terrestrial geodetic networks designed for monitoring movements
Document type: M. Sc. Thesis
Notes: 104 p., 25 tab., 17 fig., 135 eq., 6 ann. (86 p.)
Key words: displacements and deformations, processing of geodetic observations, estimation of accuracy, quality of geodetic network, criterion matrix, optimization of geodetic network

Abstract

The problem of optimization of geodetic networks has been extensively examined in geodetic science for the last 40 years. Despite extensive researches and progression at this field of study, it is still considered that general and unique solution of optimization does not exist, which is confirmed by countless procedures that solve the optimization problem depending on one or a group of criteria. These procedures, based on selected criteria, contain certain limitations, that prevent an universal solution, in spite of that, some methods provide reliable and practically useful results. In selected terrestrial networks in Slovenia, which are established for the purposes of control measurements, will be shown the use of the second order optimization. Measurements in these networks have been carrying out for longer period, they started average of more than 10 years ago. Until today, none of these treated networks had been completely optimized, therefore, the purpose of this work is to verify, if the measurements carried out in individual network, are actually needed and what impact the individual measurements have on the accuracy, when determinating the coordinates of points. This will give us an optimal plan of measurements, that will satisfy the requirements of the criteria of accuracy and could be realized with the available measuring equipment as well as lower costs.

ZAHVALA

V življenju se vse zgodi z razlogom in ob svojem času.

*Na tem mestu se zahvaljujem izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču za vsak trenutek,
ki mi ga je kot mentor namenil pri izdelavi magistrskega dela.*

Hvala za pozitivno energijo, dobro voljo in pripravljenost pomagati.

*Iskreno hvala somentorju prof. dr. Bojanu Stoparju za vso pomoč, praktične
nasvete in razumevanje v času izdelave magistrskega dela.*

*Prav tako hvala asist. dr. Oskarju Sterletu za njegov čas in brezpogojno delitev
znanja.*

*Mami in ati, hvala vama za to, da sta me ves čas vzpodbujala, verjela vame in
mi pomagala, da sem uspela končati začeto!*

Hvala, moj dragi Franck, ker mi vsak dan stojiš ob strani. Ta naloga je tudi zate.

Karmen

KAZALO VSEBINE

Izjave	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract	IV
Zahvala	V
1 UVOD	1
1.1 Predmet magistrskega dela	1
1.2 Namen magistrskega dela	1
1.3 Cilji magistrskega dela	1
1.4 Delovne hipoteze	1
1.5 Metode dela	2
1.6 Pregled dosedanjih raziskovanj s področja optimizacije geodetskih mrež	3
1.7 Struktura poglavij	3
2 OBRAVNAVA PREMIKOV IN DEFORMACIJ V GEODEZIJI	5
2.1 Geodetske kontrolne meritve	5
2.1.1 Osnovni deformacijski parametri in modeli	7
2.1.2 Geotehnični monitoring	8
3 KOREKCIJE IN REDUKCIJE MERJENIH KOLIČIN	11
3.1 A priori ocena natančnosti merjenih količin	11
3.2 Obdelava podatkov meritev horizontalnih smeri	12
3.3 Obdelava podatkov meritev dolžin	12
3.3.1 Meteorološki popravki	12
3.3.2 Geometrični popravki	13
3.3.3 Projekcijski popravki	13
4 POGREŠKI PRI MERJENJU	15
4.1 Pogreški pri merjenju horizontalnih smeri	15
4.2 Pogreški pri merjenju dolžin	15
5 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE	19
5.1 Geodetski datum	19
5.1.1 Konvencionalni geodetski datum	20
5.2 Metoda posredne izravnave	21
5.3 Statistični testi	23
5.3.1 Globalni test modela	23
5.3.2 Baardova metoda	24
5.3.3 Tau test	25
6 KVALITETA GEODETSKE MREŽE	27
6.1 Natančnost geodetske mreže	27
6.1.1 Varianco-kovariančna matrika ocenjenih koordinat točk mreže	27
6.1.2 Globalne mere natančnosti	27
6.1.3 Lokalne mere natančnosti	28
6.2 Zanesljivost geodetske mreže	29
6.2.1 Globalne mere zanesljivosti	30

6.2.2	Lokalne mere zanesljivosti	30
6.3	Ekonomičnost geodetske mreže.....	32
6.4	Občutljivost mreže in posameznih meritev	33
7	MATRIKA KRITERIJA.....	35
7.1	Sestava matrike kriterija in korelacijske funkcije	35
7.1.1	Enotska matrika kriterija	36
7.1.2	Diagonalna matrika kriterija	36
7.1.3	Taylor-Karmanova matrika kriterija.....	36
7.1.4	Kaotična matrika kriterija	39
7.2	Datum matrike kriterija	40
7.3	Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija.....	40
7.4	Kriterij natančnosti.....	41
8	OPTIMIZACIJA GEODETSKE MREŽE	43
8.1	Razvrstitev nalog optimizacije	43
8.2	Postopki reševanja problema optimizacije	44
8.2.1	Optimizacija ničelnega reda	45
8.2.2	Optimizacija prvega reda.....	46
8.2.3	Optimizacija drugega reda.....	47
8.2.4	Optimizacija tretjega reda.....	48
8.3	Metode optimizacije.....	49
8.4	Metoda direktne rešitve	53
8.4.1	Khatri-Rao produkt	53
8.5	Vrste meritev v optimizaciji geodetskih mrež	56
8.5.1	Optimizacija dolžin	56
8.5.2	Optimizacija smeri.....	57
9	PRAKTIČNI PRIMERI OPTIMIZACIJE GEODETSKIH MREŽ.....	59
9.1	Opis problema.....	60
9.2	Izračun	60
9.2.1	Uporaba metode direktne rešitve.....	61
9.3	Geodetska mreža Libna	63
9.4	Geodetska mreža Markovci.....	70
9.5	Geodetska mreža Melje	76
9.6	Geodetska mreža Kaste.....	84
9.7	Ugotovitve	93
10	ZAKLJUČEK	95
11	POVZETEK.....	97
12	SUMMARY	99
	VIRI.....	101

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Minimalna zahtevana relativna natančnost geodetskih kontrolnih mrež.....	9
Preglednica 2: Datumski parametri geodetskih mrež	20
Preglednica 3: Minimalno število parametrov za določitev datuma.....	20
Preglednica 4: Datumski parametri vsebovani v geodetskih meritvah	21
Preglednica 5: Kriteriji zanesljivosti geodetske mreže	30
Preglednica 6: Število nadštevilnih meritev v geodetskih mrežah	31
Preglednica 7: Stopnja kontrole meritev v odvisnosti od občutljivosti meritve.....	33
Preglednica 8: Dani in iskani parametri v različnih redih optimizacije	44
Preglednica 9: Enociljni modeli optimizacije	51
Preglednica 10: Približne koordinate točk geodetske mreže Libna.....	64
Preglednica 11: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Libna	66
Preglednica 12: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Libna...	68
Preglednica 13: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Libna.....	69
Preglednica 14: Približne koordinate točk geodetske mreže Markovci	71
Preglednica 15: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Markovci	72
Preglednica 16: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Markovci	74
Preglednica 17: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Markovci	75
Preglednica 18: Približne koordinate točk geodetske mreže Melje	77
Preglednica 19: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Melje.....	79
Preglednica 20: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Melje...	82
Preglednica 21: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Melje	83
Preglednica 22: Približne koordinate točk geodetske mreže Kaste	85
Preglednica 23: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Kaste	87
Preglednica 24: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Kaste ..	90
Preglednica 25: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Kaste	91

KAZALO SLIK

Slika 1: Obremenitev vzorca na DMA (dinamična mehanska analiza) instrumentu	7
Slika 2: Elipsa pogreškov	29
Slika 3: Prečna in vzdolžna variančno-kovariančna funkcija.....	37
Slika 4: Diagram poteka postopka optimizacije ničelnega reda	45
Slika 5: Diagram poteka postopka optimizacije prvega reda	46
Slika 6: Diagram poteka postopka optimizacije drugega reda	47
Slika 7: Diagram postopka večciljne optimizacije geodetske mreže	51
Slika 8: Diagram poteka metode direktne rešitve optimizacije drugega reda	55
Slika 9: Algoritem optimizacije.....	59
Slika 10: Libna - pogled z jugozahoda.....	63
Slika 11: Geodetska mreža Libna	65
Slika 12: Jez Markovci in mala HE Markovci	70
Slika 13: Geodetska mreža Markovci	71
Slika 14: Jez Melje in mala HE Melje	76
Slika 15: Geodetska mreža Melje.....	78
Slika 16: Kašte ob pregradi hidroelektrarne Moste	84
Slika 17: Geodetska mreža Kaste	86

LIST OF TABLES

Table 1: The minimum required relative accuracy of geodetic control networks.....	9
Table 2: Datum parameters of geodetic networks.....	20
Table 3: The minimum number of parameters to determine the datum.....	20
Table 4: Datum parameters contained in the geodetic measurements.....	21
Table 5: Criterias of reliability of geodetic network.....	30
Table 6: The number of redundant measurements in geodetic networks.....	31
Table 7: A level of measurements control depending on the sensitivity of measurement.....	33
Table 8: Given and free parameters in different optimization orders.....	44
Table 9: Single-objective optimization.....	51
Table 10: Approximate coordinates of points of geodetic network Libna.....	64
Table 11: Results of optimization of measurements of geodetic network Libna.....	66
Table 12: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Libna.....	68
Table 13: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Libna.....	69
Table 14: Approximate coordinates of points of geodetic network Markovci.....	71
Table 15: Results of optimization of measurements of geodetic network Markovci.....	72
Table 16: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Markovci.....	74
Table 17: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Markovci.....	75
Table 18: Approximate coordinates of points of geodetic network Melje.....	77
Table 19: Results of optimization of measurements of geodetic network Melje.....	79
Table 20: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Melje.....	82
Table 21: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Melje.....	83
Table 22: Approximate coordinates of points of geodetic network Kaste.....	85
Table 23: Results of optimization of measurements of geodetic network Kaste.....	87
Table 24: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Kaste.....	90
Table 25: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Kaste.....	91

LIST OF FIGURES

Figure 1: Load of pattern on the DMA (Dynamic Mechanical Analysis) instrument.....	7
Figure 2: Error ellipse.....	29
Figure 3: Transverse and longitudinal variance-covariance function	37
Figure 4: Flowchart of zero-order optimization process	45
Figure 5: Flowchart of first-order optimization process	46
Figure 6: Flowchart of second-order optimization process	47
Figure 7: Flowchart of multiobjective optimization process of geodetic network	51
Figure 8: Flowchart of direct solution of second-order optimization process.....	55
Figure 9: Algorithm of optimization	59
Figure 10: Libna – view from southwest	63
Figure 11: Geodetic network Libna	65
Figure 12: Dam Markovci and small hydroelectric power plant Markovci.....	70
Figure 13: Geodetic network Markovci	71
Figure 14: Dam Melje and small hydroelectric power plant Melje	76
Figure 15: Geodetic network Melje.....	78
Figure 16: Baragges by the side of dam of hydroelectric power plant Moste	84
Figure 17: Geodetic network Kaste	86

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PSEVDONVERZIJA MATRIKE	i
PRILOGA B: PODATKI GEODETSKE MREŽE LIBNA	
B-1: MREŽA LIBNA – VHODNI PODATKI	ii
B-2: MREŽA LIBNA – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE.....	iii
B-3: MREŽA LIBNA – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO	viii
B-4: MREŽA LIBNA – REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE	ix
PRILOGA C: PODATKI GEODETSKE MREŽE MARKOVCI	
C-1: MREŽA MARKOVCI – VHODNI PODATKI	xv
C-2: MREŽA MARKOVCI – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE.....	xvi
C-3: MREŽA MARKOVCI – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (3) IN 3. OPTIMIZACIJO.....	xxii
C-4: MREŽA MARKOVCI – REZULTATI IZRAVNAVE (3) IN 3. OPTIMIZACIJE	xxiii
PRILOGA D: PODATKI GEODETSKE MREŽE MELJE	
D-1: MREŽA MELJE – VHODNI PODATKI.....	xxx
D-2: MREŽA MELJE – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE	xxxii
D-3: MREŽA MELJE – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO.....	xliv
D-4: MREŽA MELJE – REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE	xlvi
PRILOGA E: PODATKI GEODETSKE MREŽE KASTE	
E-1: MREŽA KASTE – VHODNI PODATKI.....	liii
E-2: MREŽA KASTE – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE	lv
E-3: MREŽA KASTE – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO.....	lxiv
E-4: MREŽA KASTE – REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE	lxv
PRILOGA F: TESTNE OPTIMIZACIJE	
F-1: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 1. ITERACIJA....	lxxv
F-2: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 2. ITERACIJA...	lxxix
F-3: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 3. ITERACIJA..	lxxxiii

1 UVOD

1.1 Predmet magistrskega dela

V magistrskem delu obravnavamo postopek optimizacije drugega reda in uporabo tega postopka na štirih terestričnih geodetskih mrežah namenjenih spremljanju premikov v Sloveniji. Problem drugega reda optimizacije v geodetskih mrežah je določen kot problem iskanja uteži meritev (načrta meritev) na podlagi dane matrike koeficientov enačb popravkov in zelene variančno-kovariančne matrike (matrike kriterija) koordinat točk v mreži. Kadar govorimo o postopku optimizacije v geodeziji, govorimo tudi o kriterijih natančnosti, zanesljivosti in stroškov. V nalogi smo obravnavali vidik natančnosti geodetske mreže. Vse potrebne informacije v zvezi z geodetskimi mrežami, kot so število in položaji točk, izvedene meritve in natančnost meritev, smo pridobili iz preteklih terminskih izmer, ki so jih izvedli zaposleni na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. V okviru te naloge smo obravnavali postopek optimizacije za:

- geodetsko mrežo Libna v bližini nuklearne elektrarne Krško,
- geodetsko mrežo male hidroelektrarne Markovci na reki Dravi,
- geodetsko mrežo jezu in male hidroelektrarne Melje na reki Dravi in
- geodetsko mrežo Kaste ob pregradi hidroelektrarne Moste.

1.2 Namen magistrskega dela

Glavni namen magistrskega dela je uporaba metode optimizacije drugega reda na konkretnih geodetskih mrežah. Z rezultati optimizacije drugega reda pridobimo optimalni načrt meritev za posamezno geodetsko mrežo, glede na zahtevano natančnost določitve koordinat novih točk. V postopku optimizacije smo uporabili direktno metodo rešitve, s katero smo izračunali optimalne uteži meritev. Izračunane vrednosti so nam dale odgovor na vprašanje, katero meritev v geodetski mreži je priporočljivo izvesti in katera na želeno natančnost določitve ocenjenih koordinat točk nima velikega vpliva.

1.3 Cilji magistrskega dela

Naš cilj je bil izdelati računalniški program, ki bo omogočal rešitev problema optimizacije drugega reda in na podlagi rezultatov optimizacije pridobiti optimalen načrt meritev za realne geodetske mreže.

Glede na to, da obstaja več načinov reševanja optimizacije drugega reda, kot na primer, direktni, kanonski in simpleks način, smo se na podlagi preučene literature, odločili za uporabo direktnega načina izračuna uteži meritev. Prednost uporabe tega načina je v enostavnejših numeričnih operacijah, kot pri ostalih načinih (Schmitt, 1979). Ena večjih praktičnih pomanjkljivosti tega načina pa je ta, da ne moremo kontrolirati elementov vektorja uteži \mathbf{p} . Lahko se namreč zgodi, da zahtevamo (ko postavljamo kriterije kakovosti mreže), da se meritvam dodelijo tako visoke uteži, ki jih v praksi ni mogoče realizirati (Cross, 1985).

1.4 Delovne hipoteze

V magistrskem delu želimo preizkusiti ali so vse meritve, ki se izvajajo v obstoječih geodetskih mrežah, potrebne za optimalni načrt meritev. To delovno hipotezo bomo ugotavljali na geodetskih mrežah z različno geometrijo in številom meritev. Pričakujemo, da bomo s postopkom optimizacije dobili rezultat, ki bo nekatere meritve izločil iz obstoječega načrta meritev. Prav tako pričakujemo, da bomo z izdelanim računalniškim programom in aplikacijo koncepta optimizacije pridobili informacije o pomenu posameznih meritev v geodetski mreži ter izpostavili tiste, ki so ključne za doseg zastavljenih kriterijev in jih je

nujno potrebno realizirati. Praktičen rezultat naloge bo optimalni načrt izvedbe meritev posamezne terminske izmere.

V Sloveniji je vzpostavljenih precej geodetskih mrež, namenjenih spremljanju premikov in deformacij grajenih in naravnih objektov. Z meritvami na teh mrežah spremljamo in ugotavljamo stabilnost hidroelektrarn, mostov, predorov, plazov, odlagališč. Tovrstne geodetske mreže so lahko horizontalne, višinske ali prostorske in so večinoma lokalne geodetske mreže.

Mreža za spremljanje premikov mora biti v vsakem primeru oblikovana tako, da imamo možnost izvajanja dovolj nadštevilnih meritev, če je možno z uporabo različnih merskih tehnik. V fazi načrtovanja geodetske mreže se poleg izbire geometrije geodetske mreže, števila in razporeditve geodetskih točk, metode izmere in izbora instrumentarija, določi tudi načrt izvedbe meritev. V praksi pa se pogosto dogaja, da predvidenega načrta izvedbe meritev ni mogoče realizirati. Tako se pojavlja situacija, ko določenih meritev ni mogoče izvesti, po drugi strani je včasih meritev enostavno preveč. Rezultat optimizacije bo načrt meritev, ki ima ključen pomen za natančnost določitve koordinat točk posamezne geodetske mreže. Pri tem bomo obravnavali optimalno število in vrsto meritev ter optimalne uteži meritev v mreži.

1.5 Metode dela

Problem optimizacije geodetske mreže razdelimo na štiri rede: ničelni, prvi, drugi in tretji red optimizacije. Optimizacija ničelnega reda določa optimalni datum mreže. Optimizacija prvega reda predpostavlja, da so natančnosti meritev znane in z izbiro položaja novih točk in izbiro meritev dosežemo optimalno geometrijo mreže. Optimizacija drugega reda predpostavlja, da je oblika mreže določena in z izbiro natančnosti meritev dosežemo optimalni plan meritev. Z optimizacijo tretjega reda izboljšamo obstoječo obliko mreže in plan meritev v njej tako, da dosežemo optimalne kriterije.

Optimizacija drugega reda zagotavlja podatek o potrebni natančnosti meritev. Optimizacijo drugega reda delimo v dve skupini. V prvi določamo vrednosti elementov matrike uteži \mathbf{P} , ko imamo podani matriko koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matriko kofaktorjev neznanek $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ oziroma matriko kriterija \mathbf{C}_{Δ} v drugi pa geodetsko mrežo optimiziramo na podlagi skalarnih meril natančnosti tako, da določamo funkcije neznanek, ki jih lahko minimiziramo ali maksimiziramo. V nalogi smo uporabili prvi način.

V praktičnih nalogah in v strokovni literaturi optimizacije geodetskih mrež se pogosto uporablja direktna metoda (direktna aproksimacija inverzne matrike kriterija). Praktično uporabnost rezultatov direktne metode vrednotimo na osnovi tega, kako kakovostno uspemo aproksimirati matriko kriterija. Pri optimizaciji geodetskih mrež je matrika kriterija lahko izbrana kot globalna objektivna funkcija, ki predstavlja vse kriterije natančnosti geodetske mreže. Zahtevana natančnost neke mreže je tako lahko v celoti izračunana v naprej, z definiranjem matrike kriterija, ki optimalno izpolnjuje želeno natančnost geodetske mreže. Idealna geodetska mreža v kateri merimo, naj bi imela homogeno in izotropno variančno-kovariančno matriko. Homogenost pomeni, da je natančnost mreže konstantna v smislu premika, izotropnost pa se nanaša na njeno rotacijsko simetrijo. V takšni geodetski mreži so absolutne elipse zaupanja krožnice enakega polmera. Homogeno in izotropno mrežo predstavlja kovariančna matrika, ki izpolnjuje zahteve glede natančnosti koordinat točk v mreži. Umetno ustvarjeno kovariančno matriko koordinat točk geodetske mreže, ki predstavlja vse kriterije natančnosti geodetske mreže, imenujemo matrika kriterija. Posebna pozornost bo posvečena predvsem Taylor-Karmanovi strukturi matrike kriterija. V praksi je najpomembnejše, da so vsi postopki tehnično pravilno izvedeni in da dosežemo uporabne rezultate, ki smo si jih zadali kot cilj naloge.

1.6 Pregled dosedanjih raziskovanj s področja optimizacije geodetskih mrež

Kadar govorimo o analitičnih metodah optimizacije geodetskih mrež, ki v nasprotju z metodami računalniških simulacij ponujajo posebne postopke za rešitev posameznega problema optimizacije, lahko rečemo, da ti postopki po tem, ko jih enkrat nastavimo, avtomatsko izračunajo mrežo, ki zadosti uporabnikovim zahtevam, glede kvalitete in je v določenem matematičnem smislu optimalna. Iz tega razloga so se z analitičnimi tehnikami optimizacije geodetskih mrež do danes ukvarjali številni. Kot navaja Kuang (1996), je bila ta tematika glavna v doktorski disertaciji Helmerta. Sledili so mu Schreiber, Jung in Wolf. Vsi so poskušali nadomestiti določene objektivne funkcije, ki opisujejo stroške, natančnost ali zanesljivost v projektu, s skalarnimi vrednostmi. Baarda je predlagal povsem drugačen koncept, ki je obravnaval t.i. matriko kriterija, kot najboljšo aproksimacijo dejanske kovariančne matrike ocenjenih parametrov. Grafarend je uvedel Taylor-Karmanovo obliko idealne variančno-kovariančne matrike v dvo in tri-razsežnih geodetskih mrežah, ki je temeljila na teoriji hidrodinamike turbulence. Kasneje sta Schaffrin in Grafarend obravnavala matriko kriterija, ki je bila določena na podlagi generalizirane inverzije idealne variančno-kovariančne matrike azimutov, kotov in dolžin, izdelane v skladu z zahtevami homogenosti in izotropije (Kuang, 1996).

1.7 Struktura poglavij

Magistrsko delo je razdeljeno na enajst poglavij.

Uvodu oziroma prvemu poglavju sledi drugo poglavje, v katerem je podana teorija na temo določanja premikov in deformacij objektov ter kontrolnih meritev.

O obdelavi geodetskih meritev v dvodimenzionalnih geodetskih mrežah, ki obsega korekcije in redukcije merjenih količin, pišemo v tretjem poglavju.

Vpliv pogreškov na meritve v geodetskih mrežah je predstavljen v četrtem poglavju.

Peto poglavje obravnava problematiko izravnave geodetske mreže, in sicer metodo posredne izravnave proste mreže.

Šesto poglavje je sklop najpomembnejših dejavnikov kvalitete geodetske mreže, kot so natančnost, zanesljivost in ekonomičnost.

V sedmem poglavju so predstavljeni različni tipi matrik kriterija. Glavni poudarek je na Taylor-Karmanovi strukturi matrike kriterija in njeni kaotični obliki. V tem poglavju je govora tudi o kvaliteti aproksimacije matrike kriterija ter problemu datuma matrike kriterija.

Osmo poglavje se osredotoča na problem optimizacije geodetskih mrež. Glavni poudarek je na razvrstitvi optimizacije v rede in predstavitvi metod optimizacije. Podrobneje je predstavljena optimizacija drugega reda, ki se pojavlja pri določevanju optimalnih uteži meritev v geodetski mreži.

Praktični primeri optimizacije na realnih geodetskih mrežah, vzpostavljenih v Sloveniji, pridobljeni rezultati in ugotovitve so podani v devetem poglavju.

V desetem poglavju je podan zaključek naloge in ugotovitve glede rezultatov optimizacije geodetskih mrež, v katerih smo določali optimalno število, vrsto meritev ter optimalne uteži meritev v mreži.

Povzetek magistrskega dela je zbran v enajstem poglavju.

2 OBRAVNAVA PREMICOV IN DEFORMACIJ V GEODEZIJI

Geodetska mreža je geometrijska oblika treh ali več terestričnih točk, ki so med seboj povezane z geodetskimi meritvami (smerni, koti, dolžine, GNSS - angl. *Global navigation satellite systems*, ...). Skupna lastnost mrež namenjenih spremljanju dogajanja zaradi vplivov tektonike, seizmičnih vplivov, okolja, vod in ostalega je, da zagotavljajo položajno referenco in s tem uporabno orodje za deformacijski monitoring. Izbira tehnike monitoringa je odvisna predvsem od tipa in jakosti premikov in deformacij, kar pomeni, da moramo poznati namen geodetske mreže. Po navadi so to geodetske mreže, ki vsebujejo poleg geodetskih tudi ne geodetska opazovanja (Kuang, 1996). V nadaljevanju bodo na kratko predstavljena pravila geodetskih kontrolnih meritev.

2.1 Geodetske kontrolne meritve

Edini možni način rešitve naloge določitve premikov geodetskih točk predstavlja večkrat ponovljena geodetska izmera in izračun položajev točk geodetske mreže v istem koordinatnem sistemu. Pogoji, ki ga moramo izpolniti pri praktično vseh postopkih deformacijske analize pa je zagotovitev stabilnega koordinatnega sistema, ki omogoča spremljanje stabilnosti geodetskih točk. Strogo vzeto je določitev položajev točk v istem koordinatnem sistemu težavna, ker se položaji točk na zemeljskem površju stalno spreminjajo. V praksi moramo zato zagotoviti stabilnost določene množice geodetskih točk, ki nam praktično definirajo stabilen koordinatni sistem (Vodopivec et al., 2001).

V času izgradnje velikih gradbenih objektov, predorov, mostov, montaže industrijskih strojev ipd., se je pokazala potreba po vzpostavitvi geodetskih mrež, ki so za razliko od osnovnih morale izpolniti posebne zahteve. Prva zahteva je vsekakor večja natančnost izgradnje objektov, ki je zaradi varčevanja pri porabi materiala – ekonomičnost, znotraj vedno manjših toleranc.

Cilj geodetskih kontrolnih meritev je določitev premikov merskega objekta. Kontrolne meritve vključujejo projektiranje, zakoličevanje, stabilizacijo točk, meritve, obdelavo podatkov in analizo rezultatov ter predstavljajo eno od področij inženirske geodezije. Najpogosteje so merski objekti v inženirski geodeziji grajeni objekti (jezovi, pregrade, industrijske naprave, mostovi in drugi prometni objekti,...) ter naravni objekti kot so plazovi, ledeniki, tektonske plošče.

Osnovna naloga geodetskih kontrolnih meritev je spremljanje izbranih kontrolnih točk objekta, zaradi zaznavanja in poskusa napovedovanja premikov in deformacij. Na osnovi geodetskih kontrolnih meritev lahko opišemo geometrični odnos referenčnih in kontrolnih točk opazovanega objekta glede na izbran koordinatni sistem, v odvisnosti od časa. Spremembe se nanašajo tako na sam objekt kot tudi na odnose z njegovo okolico. Z geodetskimi postopki ugotavljamo stabilnost referenčnih točk in določamo značilne premike kontrolnih točk. Geodetske kontrolne meritve so potrebne vedno, kadar je pomembno poznavanje lastnosti objekta in geometričnih sprememb njegovih kontrolnih točk. Z določitvijo premikov in deformacij pa je pomembna tudi določitev in upoštevanje vzrokov teh sprememb (Bogatin, Kogoj, 2006). Geodetske kontrolne meritve omogočajo:

- izkazovanje funkcionalnosti in stabilnosti objekta, zagotavljanje delovanja brez motenj in okvar,
- ugotavljanje skladnosti zgrajenega objekta s projektno dokumentacijo,
- kontrolo izvajanja del med samo gradnjo objekta,
- pravočasno zaznavanje premikov v prostoru in deformacij na objektu ter s tem pravočasno odstranitev nevarnosti za objekt in njegovo okolico ali zmanjšanje le-teh,
- pojasnjevanje vzrokov poškodb in okvar, možnost napovedovanja domnevnih premikov in deformacij v prihodnosti in odnosov pri določenih obremenitvah,

- kontrolo in preizkus lastnosti materialov in konstrukcij, zaradi izboljšave mehanskih modelov predstavitve objekta in njegovih lastnosti ter procesov,
- kontrolo in preizkus objektov z namenom pravočasnega odkrivanja pomanjkljivosti objekta in saniranja pred večjimi poškodbami; pravočasno definiranje pomanjkljivosti, napak in poškodb pomeni poleg zagotavljanja varnosti tudi bistveno manjše stroške sanacije,
- dognanja, ki so uporabna pri planiranju, kontroli in sanaciji podobnih objektov.

Geodetske kontrolne meritve imajo torej preventivni pomen, predvsem zaradi spremljanja in vzdrževanja grajenih objektov in naprav, kakor tudi naravnih pojavov (Bogatin, Kogoj, 2006). Faze projekta določevanja premikov in deformacij:

- določitev maksimalnega pričakovanega premika,
- določitev oziroma izbor zahtevane natančnosti določitve premikov in deformacij,
- predhodna analiza, planiranje izmere in optimizacija,
- izmera,
- izračun popravkov in redukcij podatkov izmere,
- izravnava mreže,
- testiranje deformacijskega modela,
- interpretacija rezultatov.

Osnovni namen spremljanja premikov in deformacij objektov:

- potrebno je preveriti ali obnašanje opazovanega objekta in njegove okolice sledi predpostavljenemu deformacijskemu modelu, tako da se vse nepredvidene deformacije lahko odkrijejo v zgodnji fazi,
- v primeru nepredvidenih deformacij obstaja možnost, da z analizo odkrijemo vzroke za njihov nastanek, kar je lahko koristno za prihodnje, podobne projekte.

Deformacijska merjenja so lahko:

- lokalna - testiranje deformacij zgrajenih objektov, lokacij rudnikov, naftnih vrtin, raznih objektov v industriji, ...,
- regionalna - meritve deformacij zemeljske skorje v bližini mej tektonskih plošč (opazuje se razpoke med dvema tektonskima ploščama vzdolž razpoke),
- kontinentalna - meritve zemeljske skorje na večjem območju,
- globalna - spremljanje gibanja zemeljskega pola, sprememb rotacij Zemlje, relativnih premikov med tektonskimi ploščami.

Premiki in deformacije nastanejo:

- na zgrajenih objektih: mostovi, brane, nasipi, podzemni prostori, podporni zidovi, visoke zgradbe, ...,
- v okolici zgrajenih objektov: v dolini okoli umetnih akumulacij, v okolici rudnika, v bližini izkoriščanja tal, ...,
- v naravi: plazovi, tektonika ipd.

Glede na posledice delimo deformacije na:

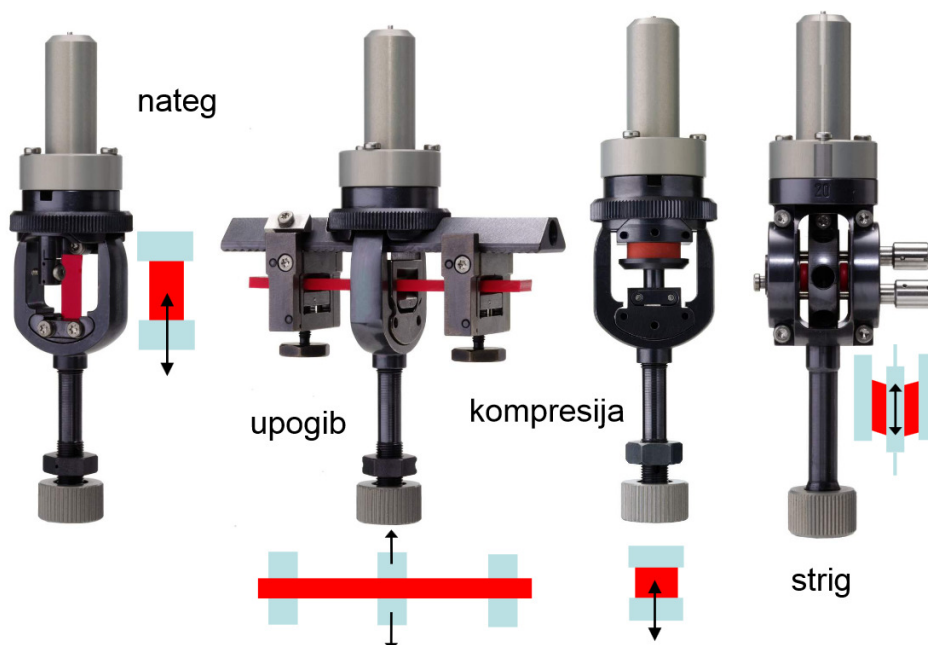
- elastične – povratne (trenutne), pojavljajo se predvsem na kovinskih in armiranobetonskih gradbenih konstrukcijah,
- plastične – nepovratne (trajne), se pojavijo na cestah, nasipih, naravnih objektih.

2.1.1 Osnovni deformacijski parametri in modeli

Eden od osnovnih ciljev pri izvajanju del v geodetskih mrežah, ki so namenjene spremljanju premikov in deformacij, je določevanje deformacijskih parametrov (Koler, 2006/2007):

- translacija celega objekta,
- rotacija celega objekta (ali relativna translacija ali rotacija enega bloka v odnosu na drugega),
- deformacija ali različne komponente rotacije: nateg - relativna sprememba dolžine v določeni smeri, upogib - preoblikovanje, pravokotno na glavno os, kompresija - zasuk okoli glavne osi, strig - premik vzdolž mejne ploskve.

V večini realnih obremenitev objekti niso izpostavljeni idealnim deformacijam, ampak kombinaciji večih.



Slika 1: Obremenitev vzorca na DMA (dinamična mehanska analiza) instrumentu (Mehanske lastnosti polimernih kompozitov URL, 2014)

Figure 1: Load of pattern on the DMA (Dynamic Mechanical Analysis) instrument (Mehanske lastnosti polimernih kompozitov URL, 2014)

Deformacijski parametri se določajo z različnimi metodami (Koler, 2006/2007):

- geodetske metode – vključujejo točke geodetske mreže in geodetski pristop k meritvam, z geodetsko mersko opremo. Premiki določeni na ta način imajo absolutne vrednosti, saj se določajo glede na stabilne točke, ki se nahajajo izven območja deformacij. Geodetske metode vključujejo terestrične, fotogrametrične in satelitske metode ter metode daljinskega zaznavanja.
- fizikalne metode – temeljijo na merjenju mehaničnih ali električnih količin na merilnem mestu, na katerem želimo pridobiti merski podatek. Uporabljajo se za posebne optične, mehanske in hidrostatične naprave: elektronske libele, klinometre, deformetre, tenzometre,... S temi metodami se premiki določajo kot relativna količina, saj se naprava, s katero se meri, nahaja na ali v objektu – v območju podvrženem premikom.

Deformacijske modele obravnavamo kot (Kuang, 1991):

- premik ene točke ali skupine točk objekta (npr. premik bloka A glede na blok B),
- linearno homogeno deformiranje celega objekta in njegova rotacija,
- deformabilno področje z eno razpoko (npr. med blokoma A in B; različne linearne deformacije v vsakem bloku ter odmik objekta A glede na objekt B).

2.1.2 Geotehnični monitoring

Geodetske metode, ki omogočajo določanje premikov in deformacij geotehničnih objektov, kot so prometnice, mostovi, vodne pregrade, strojne konstrukcije, oporne in podporne konstrukcije, vkopi in nasipi ter ugotavljanje premikov zemeljske površine – plazovi, posedanje, ugrezanje zaradi rudarjenja, izsuševanja, črpanja podtalnice so del tehničnega opazovanja. Na podlagi premikov točk izračunane deformacije zgrajenih objektov so informacija o lastnostih konstrukcij in materialov in podatek za analizo varnosti delovanja in uporabe objekta. Pri naravnih objektih pa so izmerjeni premiki informacija o morebitni nevarnosti, ki jo pomenijo za okolico, presojo primernosti njihove ekonomske izrabe ipd. Redno spremljanje objekta omogoča pravočasno ukrepanje, kar poleg varnosti zagotavlja tudi pomemben prihranek finančnih sredstev. Spremljanje premikov geotehničnih objektov je zaradi velikosti objektov in pričakovanih premikov nekoliko specifično. Pričakovana (projektirana) velikost premikov določa potrebno natančnost določitve premikov, velikost objekta pa določa metodo geodetske izmere (Geotehnični monitoring URL, 2012). Glede na velikost pričakovanih premikov razdelimo postopke ugotavljanja premikov geotehničnih objektov v dve stopnji:

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

Geodetska mreža za deformacijsko analizo mora biti projektirana tako, da omogoča določitev premikov z vnaprej zahtevano natančnostjo in zanesljivostjo. Natančnost določitve premikov objektov in tal navadno predpiše naročnik. Od tega je neposredno odvisna metoda izmere, geometrija mreže in natančnost meritev. V terestričnih geodetskih mrežah visoke natančnosti ustrezne merske količine merimo s preciznimi elektronskimi tahimetri. Deklarirani standardni odklon izmerjenih kotov po ISO 17123 naj bo $\sigma_{\alpha} = (1 - 2)''$ (za II. stopnjo natančnosti) in $\sigma_{\alpha} = 3''$ (za I. stopnjo natančnosti), standardni odklon merjenih dolžin pa $\sigma_d \leq (2 \text{ mm}; 2 \text{ ppm})$ (za II. stopnjo natančnosti) in $\sigma_d \leq (3 \text{ mm}; 2 \text{ ppm})$ (za I. stopnjo natančnosti). Poleg tega mora biti instrument preizkušen na pooblaščenem servisu skladno s preizkusno metodo in ustrezati deklarirani točnosti (za II. stopnjo natančnosti) (Koler et al., 2010).

Standardizacija s področja geotehničnega monitoringa:

- Mednarodni standardi ISO 17123: Pododbor SC6 - Geodetski instrumenti, pripravlja standardizacijo s področja geodetskih instrumentov oziroma njihove standardizirane postopke preizkusa.
- Slovenski standard, SIST EN 1997-1, maj 2005, katerega uporaba je v Republiki Sloveniji obvezna od 1.1.2006. V Republiki Sloveniji smo privzeli evropski standard EN 1997-1: 2004, Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules, z dovoljenjem CEN, Rue de Staassart 36, 1050 Bruselj, Belgija (Geotehnični monitoring URL, 2012). Standard predvideva, da je potrebno za zagotovitev varnosti in kakovosti objekta izvajati naslednje dejavnosti: nadzorovati potek in izvedbo gradnje, s tehničnim opazovanjem spremljati obnašanje konstrukcije med gradnjo in po končani gradnji, prav tako mora biti objekt ustrezno vzdrževan.
- FGDC – Federal Geographic Data Committee je organizacija, ustanovljena leta 1990, s sedežem v ZDA, ki se ukvarja z geoprostorskimi podatki, oziroma uzakonitvijo

pravilnikov za potrebe geoprostorskih podatkov. Leta 1998 so napisali pravilnik z imenom Geospatial Positioning Accuracy Standards – part 4, Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management (FGDC, 1998), ki vsebuje standarde za arhitekturo, inženirska dela in upravljanje s prostorom. V okviru navedenega pravilnika je možno najti standarde relativne natančnosti, predpisane za geodetske mreže vzpostavljene za spremljanje premikov in deformacij. Razmerje med standardno deviacijo dolžine in dolžino imenujemo relativna natančnost $\frac{\sigma_d}{d}$. Standardi relativne natančnosti se razlikujejo glede na namen mreže za katerega je mreža vzpostavljena. Preglednica 1 prikazuje minimalno zahtevano relativno natančnost geodetskih kontrolnih mrež, odvisno od vrste inženirskih del, za katere je vzpostavljena.

Preglednica 1: Minimalna zahtevana relativna natančnost geodetskih kontrolnih mrež (FGDC, 1998)
Table 1: The minimum required relative accuracy of geodetic control networks (FGDC, 1998)

Vrsta inženirskih del	Rel. nat. ($\frac{\sigma_d}{d}$)
Izgradnja manjših cest, objektov, parkov	1:2500 – 1:5000
Izgradnja avtocest, raznih vodov, zgradb, malih mostov, predorov	1:5000 – 1:10000
Izgradnja srednje velikih mostov in predorov, bran	1:10000 – 1:50000
Izgradnja velikih mostov in predorov	1:50000 – 1:100000

3 KOREKCIJE IN REDUKCIJE MERJENIH KOLIČIN

Za zagotovitev metričnih podatkov visoke natančnosti in zanesljivosti (najverjetnejše vrednosti koordinat točk v mreži in morebitne premike teh točk), ki so uporabni za številne geoznanosti, moramo geodeti poleg kvalitetno opravljenih geodetskih meritev izvesti tudi ustrezno analizo geodetske mreže, ki jo tvorijo sledeči postopki (Paar, 2006):

- analiza natančnosti merjenih količin – a priori,
- korekcije in redukcije merjenih količin,
- odkrivanje in odstranitev grobih pogreškov,
- odkrivanje in odstranitev sistematičnih pogreškov (testiranje izpolnjevanje določenih pogojev – npr. zapiranje figur, horizonta, ...),
- izravnava geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov,
- odkrivanje in odstranitev grobih pogreškov (tistih, ki imajo manjše vrednosti pa niso bili odkriti pred izravnavo) s statističnim testiranjem ocenjenih popravkov meritev,
- analiza natančnosti dobljenih rezultatov – a posteriori.

V tem poglavju bodo na kratko predstavljeni postopki korekcije in redukcije meritev.

3.1 A priori ocena natančnosti merjenih količin

Po opravljeni izmeri geodetske mreže se pristopi k analizi natančnosti dobljenih rezultatov meritev, izračuna se dosežena natančnost merjenja. Za oceno natančnosti merjenja a priori obstaja nekaj metod, a najpogosteje se uporablja metoda ocene variance iz pravih pogreškov in metoda ocene iz odstopanja ponovljenih meritev (Kuang, 1996).

- **Metoda ocene varianc iz pravih pogreškov**

S preizkusom izpolnjevanja nekaterih pogojev je mogoče narediti oceno natančnosti izvedenih meritev. Na primer, uporabimo lahko oceno variance kotnih merjenj v trikotniku. Razlika vsote merjenih kotov po teoretičnem izračunu predstavlja pravi pogrešek merjenega trikotnika:

$$w_i = (\beta_{i1} + \beta_{i2} + \beta_{i3}) - 180^\circ. \quad (3.1)$$

V primeru, da so neodvisni koti merjeni z enako natančnostjo, se varianca merjenega kota izračuna (Kuang, 1996):

$$\sigma_\beta^2 = \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{3n}, \quad (3.2)$$

kjer je n skupno število neodvisno merjenih trikotnikov v mreži. Ta izraz je poznan kot Ferrerova formula.

- **Ocena variance iz izračunanih popravkov meritev**

V primeru geodetskih meritev nikoli ni poznana prava vrednost merjene količine l_i , ampak se računa njena ocena \bar{l} . Izračun variance niza ponovljenih merjenj iste količine se izračuna po enačbi (Kuang, 1996)

$$\sigma_l^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(l_i - \bar{l})^2}{n - 1}, \quad (3.3)$$

kjer je :

l_i ... vrednost posamezne meritve,

\bar{l} ... najboljša ocena vrednosti merjene količine (aritmetična sredina),

n ... število meritev.

Če je standardna deviacija σ_l večja od dovoljene za to vrsto meritev, potem obstaja verjetnost prisotnosti grobih ali sistematičnih pogreškov v meritvah.

3.2 Obdelava podatkov meritev horizontalnih smeri

Horizontale smeri merimo po girusni metodi predvsem v lokalnih geodetskih mrežah, kjer se zahteva visoka natančnost meritev. Kotne meritve so nujne v poligonskih mrežah, pri polarni detajlni topografski ali katastrski izmeri, v številnih primerih inženirske geodezije pri gradnji objektov, merjenju premikov tal in objektov ter v primeru mrež, ki vsebujejo nedostopne točke (točke na pregradah, 3D industrijski merski sistemi, ...). Obdelava merjenih horizontalnih smeri je potrebna, da merske vrednosti pretvorimo v obliko primerno za izravnavo. Specifičnost meritev v določenih primerih (ekscentrična stojišča in signali) zahteva dodatne meritve elementov ekscentricitete in redukcijo merskih vrednosti.

Na osnovi nadštevilnih meritev izračunamo najverjetnejše merske vrednosti. V praksi se pojavljajo različni primeri, od enostavnega računanja aritmetičnih sredin, spojitve skupin meritev, do stojiščne izravnave. Definitivne vrednosti merjenih smeri, določene ob upoštevanju vseh meritev (izločeni so sistematični in grobi pogreški), so vhodni podatek v izravnavi. Kadar merimo horizontalne smeri na zemeljski površini, mora biti instrument horizontiran oziroma vertikalna os instrumenta mora sovpadati s smerjo navpičnice (vertikale) na geoid. Glede na to, da navpičnica ne sovpada z normalo, je potrebno izmerjene vrednosti smeri na zemeljski površini reducirati na smer normale. Pri redukciji merjenih smeri upoštevamo vpliv odklona navpičnice z dvema popravkoma, ki ju skupaj imenujemo popravek zaradi odklona navpičnice in dejansko predstavljata razširjeno Laplacejevo enačbo za popravek astronomskega azimuta. Označimo ju s c_1 in c_2 (Kuang, 1996):

$$c_1 = -\eta_i \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.4)$$

$$c_2 = -(\xi_i \sin A_{ij} - \eta_i \cos A_{ij}) \operatorname{ctg} z_{ij}, \quad (3.5)$$

kjer je:

η_i ... komponenta odklona navpičnice točke i v smeri 1. vertikala,

ξ_i ... komponenta odklona navpičnice točke i v smeri meridijana,

z_{ij} ... zenitna razdalja, merjena na točki i proti točki j ,

A_{ij} ... astronomski azimut.

3.3 Obdelava podatkov meritev dolžin

Obdelava podatkov meritev dolžin je potrebna, ker vrednost dolžine, ki jo prikaže elektronski razdaljemer, ni takoj uporabna za nadaljnja računanja. Na terenu izmerimo dejansko dolžino med dvema točkama. Ta dolžina je največkrat poševna, zaradi vplivov atmosfere tudi ukrivljena. Ker je dolžina merjena na neki nadmorski višini, še ni uporabna za računanja na izbrani ploskvi (referenčni elipsoid ali referenčna kroglja).

3.3.1 Meteorološki popravki

Vrednost, ki jo prikaže instrument, moramo reducirati s pomočjo meteoroloških parametrov, ki jih izmerimo in nekaj konstant, ki jih potrebujemo za redukcijo. Ločimo prvi popravek hitrosti (upoštevanje dejanske hitrosti svetlobe zaradi drugačnih optičnih lastnosti dejanske atmosfere od referenčne), ki ga moramo vedno upoštevati in drugi popravek hitrosti

(upoštevanje ukrivljenosti merskega žarka), katerega velikost je majhna tudi pri daljših dolžinah (Kogoj, Stopar, 2011). Pretvorba vrednosti merjene dolžine D_a iz dejanskih v referenčne pogoje atmosfere se izvede (Kogoj, 2005):

- prvi popravek hitrosti

$$D' = \frac{n_0}{n_D} D_a, \quad (3.6)$$

- drugi popravek hitrosti

$$D = D' - (k - k^2) \frac{D_a^2}{12R^2}, \quad (3.7)$$

kjer je:

n_0 ... nominalni lomni količnik,

n_D ... dejanski lomni količnik,

D' ... dolžina, popravljena za prvi popravek hitrosti,

k ... koeficient refrakcije,

R ... srednji radij Zemlje.

3.3.2 Geometrični popravki

Geometrične popravke upoštevamo zaradi oblike refrakcijske krivulje, s katero opišemo pot žarka ter zaradi horizontalnih in vertikalnih ekscentricitet razdaljemera in reflektorja. Rezultat je poševna dolžina na nivoju točk (dolžina kamen – kamen). Te redukcije zahtevajo dodatne dane oziroma merjene količine, vezane na izbrano referenčno ploskev (Kogoj, 2005):

- redukcija zaradi ukrivljenosti merskega žarka

$$S_r = D - k^2 \frac{D^3}{24R^2}, \quad (3.8)$$

- redukcija na nivoju točk

$$S_p = S_r - (l - i) \cos z_r + \frac{[(l - i) \sin z_r]^2}{2S_r}, \quad (3.9)$$

- redukcija kamen – kamen

$$S_K = S_p - \frac{iS_p}{R}, \quad S_K = S_r + \frac{(i - l)(H_B - H_A)}{S_r} - \frac{(i - l)^2}{2S_r} - \frac{(i - l)}{2R} S_r, \quad (3.10), (3.11)$$

kjer je:

D ... dolžina popravljena za prvi in drugi popravek hitrosti,

z_r ... merjena zenitna razdalja,

i ... višina instrumenta,

l ... višina signala.

3.3.3 Projekcijski popravki

Izračun in upoštevanje projekcijskih popravkov pomeni prehod iz prostorske poševne dolžine med točkama na dolžino sfernega loka na nivoju referenčnega horizonta (referenčne ploskve) ter nato v izbrano projekcijsko ravnino.

Način redukcije je odvisen od razpoložljivih ali dodatno merjenih vrednosti.

Kadar obravnavamo lokalno mrežo in relativne spremembe na lokalnem območju ter imamo opravka s klasičnimi terestričnimi meritvami, je lahko uporabljena vrednost polmera zemeljske krogle, na kateri računamo, približna, vendar v vseh izmerah enaka. Poševno dolžino na nivoju točk preračunamo na horizontalno dolžino v izbrani projekcijski ravnini na sledeč način (Kogoj, 2005):

- horizontalna dolžina

$$S_m = S_K \sin(z' + \varepsilon), \quad \varepsilon = \frac{S_K}{2R} (k - \sin z'), \quad (3.12)$$

- referenčni horizont (ničelna nivojska ploskev - NNP) – tetiva

$$S_0 = S_m \left(\frac{R}{R + H_m} \right), \quad S_0 = R \sqrt{\frac{S_K^2 - (H_A - H_B)^2}{(R + H_A)(R + H_B)}}, \quad (3.13), (3.14)$$

- referenčna ploskev

$$S = 2R \arcsin \left(\frac{S_0}{2R} \right), \quad (3.15)$$

- redukcija v modulirano Gauß-Krügerjevo ravnino

$$S_{GKM} = S \left(1 + \frac{\overline{y_m^2}}{2R^2} - 0,0001 \right). \quad (3.16)$$

kjer je:

z' ... opazovana zenitna razdalja,

H_A, H_B ... višine krajnih točk,

$H_m = \frac{H_A + H_B}{2}$... srednja nadmorska višina,

H_A ... nadmorska višina točke na stojišču instrumenta,

H_B ... nadmorska višina točke na stojišču reflektorja.

4 POGREŠKI PRI MERJENJU

Po korekcijah in redukcijah merjenih količin se poskuša odkriti ter odstraniti grobe in sistematične pogreške. Pogreške glede na izvor delimo na notranje in zunanje (Kuang, 1996). Notranji pogreški se nanašajo na instrumentarij (posledica konstrukcijske nepopolnosti instrumenta in pribora, s katerim merimo) in pogreške operaterja, medtem ko se zunanji nanašajo na nepredvidljive in nenadzorovane vplive okolice. Pogreše glede na način nastanka, velikost in predznak, delimo na grobe, sistematične in slučajne. Grobe pogreške moramo nujno izločiti. Sistematične pogreške poizkušamo zmanjšati oziroma jih odstraniti z uporabo kalibrirane merske opreme, z izbiro primerne metode dela (girusna metoda, niveliranje iz sredine, merjenje ob različnem času, ...), z izmero dodatnih meritev pogojev okolja in upoštevanjem njihovih vplivov (temperatura, zračni tlak, delni tlak vodne pare, težni pospešek). V magistrskem delu obravnavamo izključno metode terestrične izmere dvodimenzionalnih mrež, zato bodo v nadaljevanju predstavljeni pogreški, ki nastanejo pri teh meritvah.

4.1 Pogreški pri merjenju horizontalnih smeri

Poleg meritev opravljenih v geodetski mreži so pomemben podatek tudi standardne deviacije teh meritev, ki pa so odvisne od večih pogreškov, ki so navedeni v nadaljevanju tega poglavja. Varianca srednje vrednosti horizontalnega kota izračunanega s pomočjo n horizontalnih kotov se izračuna (Kuang, 1996):

$$\sigma_d^2 = \frac{\sigma_p^2 + \sigma_r^2}{2n} + \sigma_v^2 \operatorname{ctg}^2 Z + (\rho'')^2 \frac{2\sigma_c^2}{s^2} + \left(\frac{s}{2R}\right)^2 \sigma_{k_h}^2, \quad (4.1)$$

kjer je:

- σ_p ... pogrešek viziranja,
- σ_r ... pogrešek čitanja,
- σ_v ... pogrešek horizontiranja,
- σ_c ... pogrešek centriranja instrumenta in vizirane točke,
- σ_{k_h} ... pogrešek določitve koeficienta refrakcije,
- s ... dolžina vizurne linije,
- Z ... zenitna razdalja vizurne linije,
- k_h ... koeficient refrakcije,
- R ... srednji radij Zemlje.

4.2 Pogreški pri merjenju dolžin

Na izmerjeno dolžino vplivajo predvsem pogreški okolja in pogreški instrumentarija.

- **Vpliv atmosfere**

Atmosfera vpliva na rezultat izmerjene dolžine na dva načina in sicer (Kogoj, 2005):

- vpliv lomnega količina n na hitrost širjenja valovanja in zato posredno na modulacijsko valovno dolžino λ_M ,
- vpliv refrakcije na geometrično obliko poti svetlobnega žarka.

Valovne dolžine nosilnega valovanja ležijo v spektru elektromagnetnega valovanja v območju vidne svetlobe in infrardeče svetlobe. Lomni količnik n je odvisen od valovne dolžine valovanja in optične gostote določene na osnovi meteoroloških parametrov.

Razdaljemer računa dolžino ob predpostavki, da v atmosferi veljajo izbrani referenčni pogoji (različni predvsem glede na proizvajalca). Z merjenjem meteoroloških parametrov določimo dejansko stanje atmosfere. Upoštevamo spremembo hitrosti razširjanja elektromagnetnega valovanja zaradi spremenjene optične gostote zraka. Sprememba dolžine za srednje pogoje v atmosferi (elektro-optični razdaljemer, p , t v [°C], e v [torr]) (Kogoj, Stopar, 2011):

$$dD = -Ddn = (-0,3dp + 1,0dt + 0,04de)10^{-6}. \quad (4.2)$$

Merjenje meteoroloških parametrov obsega merjenje temperature zraka t , zračnega tlaka p in delnega tlaka vodne pare e . Temperaturo merimo s termometri (klasični in digitalni), za katere sta definirana sistematična pogreška, stanje in hod termometra. Običajno merimo temperaturo na obeh krajiščih merjene dolžine. Zračni tlak je posledica teže zraka. Spreminja se z višino in zaradi vremenskih vplivov. Odvisen je od temperature in vlažnosti zraka ter geografske širine. Merimo ga z barometri (kovinski, digitalni). Uporaba teh instrumentov je enostavna, problem je njihova natančnost, ki jo preverjamo s komparacijo. Tako kot za termometer, tudi za barometer poznamo sistematični pogrešek stanja in hoda barometra. Zadošča merjenje v eni krajni točki. Zrak vsebuje določeno količino vodne pare, ki povzroča dodatni tlak. Celotni zračni tlak je vsota delnih tlakov suhega zraka in vodne pare. Relativno vlažnost določamo s higrometri, katerih slabost je da se dolgo umirjajo. Natančneje pa lahko vlažnost zraka določimo s pomočjo psihrometrov.

Pri merjenju dolžin z elektronskimi razdaljemerji obravnavamo poleg vpliva atmosfere še en bistven sistematičen vpliv – instrumentalne pogreške, ki se pojavljajo zaradi nepopolnosti konstrukcije instrumenta (Kogoj, Stopar, 2011).

• Pogrešek modulacijske frekvence

Pri moduliranju nosilnega valovanja z modulacijsko frekvenco f_M je valovna dolžina merskega vala določena na osnovi poznane hitrosti svetlobe c (c_0) in lomnega količnika sredstva, skozi katerega se širi n (n_0):

$$\lambda_M = \frac{c}{f_M} = \frac{c_0}{n_0 f_M}. \quad (4.3)$$

Sprememba merske frekvence pomeni spremembo merila (Kogoj, Vodopivec, 2003):

$$d\lambda_M = -\frac{c_0}{n f_M^2} df_M, \quad d\lambda_M = -\frac{\lambda_M}{f_M} df_M. \quad (4.4), (4.5)$$

Osnovna enačba za izračun dolžine po faznem načinu, kjer se dolžina določi na osnovi velikosti valovne dolžine merskega vala λ_M in števila merskih valov N ter ostanka $\Delta\lambda_M$ (dela valovne dolžine):

$$D = N \frac{\lambda_M}{2} + \frac{\Delta\lambda_M}{2}. \quad (4.6)$$

Spremembo dolžine izračunamo kot:

$$dD = \frac{1}{2} N d\lambda_M \approx \frac{D}{\lambda_M} d\lambda_M, \quad (4.7)$$

torej velja

$$\frac{dD}{D} = \frac{d\lambda_M}{\lambda_M} = -\frac{df_M}{f_M}. \quad (4.8)$$

Relativna sprememba dolžine $\frac{dD}{D}$ je enaka relativni spremembi merske frekvence, vendar je nasprotnega predznaka. Vzroki za pogrešek merske frekvence so temperaturna odvisnost frekvenčnega izvora, staranje kristala, zagonski efekt. Povečanje frekvence pomeni zmanjšanje modulacijske valovne dolžine. Izmerjena dolžina bo prekratka. Sprememba merske frekvence vpliva na spremembo dolžine enako kot sprememba lomnega količnika. Velikost spremembe dolžine raste sorazmerno z naraščanjem dolžine. Odločilna za to je najmanjša oziroma osnovna modulacijska frekvenca, ki določa fino merilo (Paar, 2006).

- **Pogrešek adicijske konstante**

Pri vsakem elektronskem razdaljemeru je vrednost dolžine določena z razliko med zunanjo in notranjo mersko potjo. Tak način določitve vrednosti dolžine omogoča izločitev tistih pogreškov, ki pri merskem postopku na obe poti vplivajo na enak način (Kogoj, 2005).

Popravek ničelne točke k_a (adicijska konstanta) je vsota dveh ekscentricitet in ga lahko določamo s primerjavo z znano dolžino (Kogoj, Vodopivec, 2003):

$$k_a = K_L + K_R, \quad (4.9)$$

$$D = M - R + K_L + K_R = D' \cdot k_a, \quad (4.10)$$

kjer je:

- k_a ... popravek ničelne točke, ki zajema vse modelne popravke za sistematične pogreške (atmosfera, frekvenca, ciklični pogreški),
- K_L ... ekscentriciteta referenčnega signala – ekscentriciteta razdaljemera,
- K_R ... ekscentriciteta merskega signala – ekscentriciteta razdaljemera,
- M ... zunanja merska pot,
- R ... notranja merska pot.

Spreminjanje geometričnih ekscentričnosti K_L in K_R pomeni spremembo vrednosti adicijske konstante v primeru kratko časovne fazne neenakosti med merskim signalom in referenčnim signalom, vpliva fazne neenakosti v odvisnosti od dolžine ter odstopanja v modelu za korekcijo cikličnih pogreškov. Zaradi teh vzrokov adicijske konstante ne moremo obravnavati kot konstante. Poleg tega, da je adicijska konstanta odvisna od oddaljenosti, je spremenljiva tudi v času. Končno vrednost dolžinskega popravka zato v splošnem izračunamo glede na velikost merjene dolžine. Govorimo o popravku ničelne točke. Popravek določimo eksperimentalno. Natančnost določanja tega popravka je pomembna pri določanju končne natančnosti merjene dolžine, zato naj bo pogrešek določitve čim manjši (Kogoj, 2005).

- **Skupna natančnost faznih elektro-optičnih razdaljemerov**

Dolžina merjena s faznim razdaljemerom je (Kogoj, 2005):

$$D = NU + R + k_a, \quad (4.11)$$

$$U = \frac{c_0}{2nf_M}. \quad (4.12)$$

Enačbo (4.11) diferenciramo po vseh spremenljivkah in predpostavimo, da je $n \approx 1$. (Kogoj, 2005):

$$\sigma_D = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{f_M}}{f_M} D\right)^2 + (\sigma_n D)^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{k_a}^2}. \quad (4.13)$$

Natančnost razdaljemerov je podana z dvema parametroma $\sigma_{[mm]}$ in $\sigma_{[ppm]}$. Parametra sta osnovna bistvena podatka o natančnosti instrumenta in sta sestavni del tehničnih podatkov instrumenta. Vrednosti $\sigma_{[mm]}$ in $\sigma_{[ppm]}$ opisujeta delna standardna odklona merjenja dolžin. Skupni standardni odklon po zakonu o prenosu varianc in kovarianc izračunamo po enačbi (Kogoj, 2005):

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_{[mm]}^2 + (\sigma_{[ppm]} D)^2}. \quad (4.14)$$

kjer so v $\sigma_{[mm]}$ pogreški predelani v standardni odklon, neodvisni od velikosti dolžine in zajemajo ločljivost merjenja faze, nehomogenost faze, ciklični pogrešek faze in pogrešek adicijske konstante. V skupino $\sigma_{[ppm]}$ pa uvrščamo pogreške odvisne od velikosti dolžine. V povezavi z modulacijsko frekvenco so to zagonski efekt, stabilnost frekvence, temperaturna odvisnost, odvisnost od napetosti in staranje kristala. (Kogoj, Vodopivec, 2003). Pri krajših dolžinah je bistven konstanti del pogreška, pri daljših pa je lahko vpliv začetnega pogreška tudi zanemarljiv (Kogoj, 2005).

5 IZRAVNAVA GEODETSKE MREŽE

Po opravljenih redukcijah merjenih količin in odstranitvi sistematičnih in grobih pogreškov pristopimo k izravnavi geodetske mreže. Izravnavo izvedemo po metodi najmanjših kvadratov. Tako dobimo najboljšo oceno iskanih količin (neznank) – koordinat točk geodetske mreže, merjenih količin in pripadajočo oceno natančnosti.

5.1 Geodetski datum

Geodetski datum je definiran kot najmanjše število danih količin za določitev koordinat točk v koordinatnem sistemu. Problem geodetskega datuma izhaja iz dejstva, da so običajne geodetske meritve, kot so dolžine, horizontalne smeri, horizontalni koti, zenitne razdalje, višinske razlike, bazni vektorji, notranje meritve oziroma notranje količine v matematičnem modelu določitev koordinat točk v koordinatnem sistemu. Notranje meritve omogočajo določitev relativnih koordinat točk, ne pa tudi koordinat v koordinatnem sistemu. Koordinate točk v koordinatnem sistemu so zunanje meritve oziroma zunanje količine v matematičnem modelu. Zunanje meritve lahko dobimo z merjenjem ali pa jih privzamemo. Zunanje meritve vsebujejo poleg informacij, ki jih vsebujejo notranje meritve, tudi lastnosti privzetega koordinatnega sistema. Na osnovi klasičnih geodetskih meritev ne moremo določiti koordinat točk, ne da bi privzeli določeno število zunanjih parametrov (parametrov geodetskega datuma), ki jih glede na tip notranjih meritev potrebujemo (Stopar, 2006/2007b).

V povezavi z geodetskim datumom se pojavi problem predoločenosti geodetskega datuma, kar pomeni, da je geodetski datum določen z več danimi količinami, kot bi bilo nujno potrebno. V tem primeru je določitev koordinat novih točk obremenjena (poleg nepravilnosti zunanjih količin) z nepravilnostmi notranjih količin, ki vsebujejo zunanje količine (nepravilne koordinate danih točk vplivajo na nepravilne relativne koordinate točk). Matematično pomeni potreba po definiranju geodetskega datuma zagotovitev ustreznega števila zunanjih količin za določitev koordinat novih točk v koordinatnem sistemu, ki jih kljub nadštevilnosti, notranje meritve ne vsebujejo. Matematični model je lahko brez geodetskega datuma hkrati predoločen (nadštevilne meritve) in poddoločen (zaradi nedefiniranja geodetskega datuma) (Stopar, 2006/2007b).

V geodeziji izvajamo meritve, ki vsebujejo različne informacije o geodetskem datumu. Horizontalne smeri in koti ne vsebujejo datumskih informacij, izmerjene dolžine zagotavljajo merilo (Stopar, Koler, Kuhar, 2009).

- **Definiranje datumskih parametrov geodetske mreže**

Skupno število defekta datuma za določeno vrsto mreže je enako številu parametrov datuma. Pomemben pogoj pri definiranju datuma geodetske mreže je ta, da se ne sme vplivati na geometrijo mreže, t.j. relativni položaj točk mora biti vzpostavljen izključno z meritvami. Iz tega razloga je potrebno vedeti, katere količine so odvisne in katere neodvisne od izbire datuma. Količine, ki so neodvisne od izbire datuma, so meritve – relativne količine, medtem ko so neznanke in njihova pripadajoča ocena natančnosti odvisne od izbire datuma - absolutne količine (Caspary, 1987).

V preglednici 2 so prikazani parametri za različne vrste geodetskih mrež (Kuang, 1996).

Preglednica 2: Datumski parametri geodetskih mrež (Kuang, 1996)

Table 2: Datum parameters of geodetic networks (Kuang, 1996)

Vrsta mreže		Datumski parametri		Skupno število
Tri-dimenzionalna mreža (brez dolžin)		3 premiki	t_x = premik vzdolž x osi t_y = premik vzdolž y osi t_z = premik vzdolž z osi	7
		3 zasuki	ω_x = zasuk okoli x osi ω_y = zasuk okoli y osi ω_z = zasuk okoli z osi	
		1 merilo	s = merilo	
Položajna mreža	triangulacijska mreža	2 premika	t_x = premik vzdolž x osi t_y = premik vzdolž y osi	4
		1 zasuk	ω_z = zasuk okoli z osi	
		1 merilo	s = merilo	
	trilateracijska mreža	2 premika	t_x = premik vzdolž x osi t_y = premik vzdolž y osi	3
		1 zasuk	ω_z = zasuk okoli z osi	
Višinska mreža		1 premik	t_z = premik vzdolž z osi	1

5.1.1 Konvencionalni geodetski datum

Definiranje datuma samostojne geodetske mreže, ki služi kot osnova za visoko natančna inženirska dela, ne sme deformirati mreže, to pomeni, da ne smemo uporabiti več datumskih parametrov, kot jih je nujno potrebnih. Definicijo datuma definiramo z minimalnim številom vezi. V preglednici 3 so podani primeri, kako lahko pri izravnavi definiramo datum ob minimalnem številu datumskih parametrov (Paar, 2006).

Preglednica 3: Minimalno število parametrov za določitev datuma

Table 3: The minimum number of parameters to determine the datum

Tip mreže	Minimalno število datumskih parametrov mreže
1D (H)	H točke je dana
2D (y, x) (z dolžinami)	y in x točke sta dana azimut proti drugi točki je dan
2D (y, x) (brez dolžin)	y in x dveh točk sta dana
3D (y, x, H) (z dolžinami)	y, x, H ene so dani smer in zenitna razdalja proti drugi točki sta dani zenitna razdalja proti tretji točki je dana
3D (y, x, H) (brez dolžin)	y, x, H dveh točk so dani

V preglednici 4 so podani datumski parametri vsebovani v geodetskih meritvah.

Preglednica 4: Datumski parametri vsebovani v geodetskih meritvah (Kuang, 1996)
Table 4: Datum parameters contained in the geodetic measurements (Kuang, 1996)

Meritev	Datumski parametri						
	Premik			Zasuk			Merilo
	t_x	t_y	t_z	ω_x	ω_y	ω_z	s
Dolžine	-	-	-	-	-	-	+
Horizontalne smeri / koti	-	-	-	-	-	-	-
Azimut	-	-	-	-	-	+	-
Zenitne razdalje	-	-	-	+	+	-	-
Astronomski položaji	+	+	-	-	-	+	+
Položaji GNSS	+	+	+	+	+	+	+
3D položajne razlike z GNSS ali INS	-	-	-	+	+	+	+
2D položajne razlike	-	-	-	-	-	+	+
Višinske razlike	-	-	-	+	+	+	+

V postopku izravnave mreže je možno fiksirati minimalno število koordinat točk mreže, ki se obravnavajo tako, da ne dobijo popravkov. Te koordinate imenujemo parametri datuma, točke imenujemo datumске točke, geodetske mreže, pri katerih je definiran datum z danimi točkami pa imenujemo vpete mreže (Paar, 2006).

5.2 Metoda posredne izravnave

Posredno izravnano uporabljamo, ko iskanih količin (neznank) ni možno neposredno izmeriti, ampak se določijo s pomočjo drugih izmerjenih količin, s katerimi so funkcijsko povezane. Z izravnavo se določi najboljša ocena u neznankam Δ_j ($j = 1, 2, \dots, u$) z n meritvami ($i = 1, 2, \dots, n$), ki imajo a priori poznane uteži p_i ($i = 1, 2, \dots, n$) in na koncu se poda še ocena natančnosti merjenih in iskanih količin. Izravnava je mogoča samo takrat, ko je $n > u$ (Paar, 2006). Gauß-Markov model je linearen matematični model, ki ga sestavljajo funkcijske in stohastične povezave spremenljivk, vključenih v model. Enačbe Gauß-Markovega modela lahko zapišemo (Kuang, 1996):

$$E(\mathbf{l}) = -\mathbf{B}\Delta \text{ ali } \mathbf{v} + \mathbf{B}\Delta = \mathbf{f}, \quad (5.1), (5.2)$$

$$D(\mathbf{l}) = \sigma_0^2 \mathbf{P}^{-1}. \quad (5.3)$$

V primeru, da so prisotne datumске vezi pa model zapišemo kot:

$$\mathbf{H}^T \Delta = 0, \quad (5.4)$$

kjer je:

- $E(\cdot)$... pričakovana vrednost,
- \mathbf{l} ... vektor meritev,
- \mathbf{B} ... matrika koeficientov enačb popravkov,
- Δ ... vektor neznank,
- \mathbf{v} ... vektor popravkov meritev,
- \mathbf{f} ... vektor odstopanj,

$D(\cdot)$... disperzija slučajnega vektorja,
 σ_0^2 ... a priori referenčna varianca,
 \mathbf{P} ... matrika uteži vektorja meritev,
 \mathbf{H} ... datumska matrika.

Če želimo rešiti predoločen sistem $\mathbf{v} + \mathbf{B}\Delta = \mathbf{f}$ po metodi najmanjših kvadratov, moramo izpolniti dva pogoja $\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = \text{minimum}$ in $\mathbf{H}^T \Delta = 0$. Rešitev sistema je sledeča (Kuang, 1996):

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B}, \quad (5.5)$$

$$\Delta = -(\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{f}, \quad (5.6)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{I} - \mathbf{B}(\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}, \quad (5.7)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{R} \mathbf{f}, \quad (5.8)$$

$$\hat{\mathbf{I}} = \mathbf{I} + \mathbf{v}, \quad (5.9)$$

kjer je:

\mathbf{N} ... matrika koeficientov normalnih enačb,

\mathbf{R} ... matrika nadštevilnosti,

$\hat{\mathbf{I}}$... vektor izravnanih meritev.

A posteriori referenčno varianco izračunamo:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n - u} = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{r}, \quad (5.10)$$

kjer je:

n ... število meritev,

u ... minimalno število meritev, potrebnih za enolično rešitev problema,

r ... število nadštevilnih meritev oziroma število prostostnih stopenj v matematičnem modelu.

V matematičnem modelu nastopajo še sledeče količine (Kuang, 1996):

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{N} (\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1}, \quad (5.11)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{B} (\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T, \quad (5.12)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{I}}\hat{\mathbf{I}}} = \mathbf{B} (\mathbf{N} + \mathbf{H} \mathbf{H}^T)^{-1} \mathbf{B}^T, \quad (5.13)$$

kjer je:

$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$... matrika kofaktorjev neznank,

$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}$... matrika kofaktorjev popravkov meritev,

$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{I}}\hat{\mathbf{I}}}$... matrika kofaktorjev izravnanih meritev,

\mathbf{H} ... datumska matrika proste mreže.

Pripadajoče kovariančne matrike dobimo, če matrike kofaktorjev pomnožimo z a priori referenčno varianco:

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}, \quad (5.14)$$

$$\Sigma_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}, \quad (5.15)$$

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{I}}\hat{\mathbf{I}}} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{I}}\hat{\mathbf{I}}}. \quad (5.16)$$

Iz zgornjih enačb vidimo, da na natančnost vplivajo sledeči faktorji:

- a priori referenčna varianca σ_0^2 , na katero vpliva izbor instrumentarija in metoda izmere, zunanji vplivi merjenja, sposobnost operaterja, ponavljanje meritev,
- matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} , ki je odvisna od geometrije mreže in vrste meritev,
- matrika uteži \mathbf{P} , ki vsebuje a priori uteži meritev, ki so določene na podlagi vrste meritev in njihove natančnosti,
- izbor datumskih parametrov.

5.3 Statistični testi

Pred izravnavo, vendar po sami izmeri, se grobi pogreški srednje velikih vrednosti odkrivajo z metodami zapiranja figur, iz razlik obojestranskih merenj ipd. – torej s kontrolami. Kljub temu se lahko zgodi, da v modelu ostanejo grobi pogreški manjših vrednosti, ki lahko vplivajo na rezultate. Da bi odkrili meritve, ki vsebujejo te pogreške, je potrebno uporabiti statistične teste. V nadaljevanju sta predstavljena dva takšna testa (Paar, 2006).

5.3.1 Globalni test modela

Testna statistika (Stopar, 2006/2007a):

$$Y = r \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (5.17)$$

se porazdeljuje po χ^2 porazdelitvi. Testna statistika Y je odvisna od prostostnih stopenj $r = n - n_0$. Pri testiranju a posteriori referenčne variance si postavimo ničelno in alternativni hipotezi:

$$\begin{array}{ll} H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 & \dots \text{matematični in stohastični model sta pravilna} \\ H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 & \dots \text{meritvam so dodeljene nepravilne uteži} \\ H_2: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 & \dots \text{med meritvami so prisotni grobi pogreški} \end{array}$$

- H_0 : matematični in stohastični model sta pravilna

Interval zaupanja, v katerem naj bi se nahajala vrednost testne statistike Y , ima meji:

$$\chi_{1-\frac{\alpha}{2},r}^2 < Y < \chi_{\frac{\alpha}{2},r}^2 \text{ oz. } \frac{\chi_{1-\frac{\alpha}{2},r}^2}{r} < \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} < \frac{\chi_{\frac{\alpha}{2},r}^2}{r}. \quad (5.18), (5.19)$$

- H_1 : meritvam so dodeljene nepravilne uteži

Tokrat sestavimo testno statistiko, ki se porazdeljuje po normalni porazdelitvi (Stopar, 2006/2007a):

$$Y = \mathbf{v}^T \boldsymbol{\Sigma}_{\Pi}^{-1} \mathbf{v}. \quad (5.20)$$

Razvidno je, da je testna statistika neodvisna od izbire a priori referenčne variance, lahko pa na podlagi a priori in a posteriori referenčne variance sklepamo o utežeh oziroma o natančnosti meritev:

- Če velja $\hat{\sigma}_0^2 \ll \sigma_0^2$, potem smo podcenili izbrano natančnost meritev glede na dejansko natančnost meritev, kar vodi v premajhno vrednost testne statistike glede na spodnjo mejno vrednost intervala zaupanja (meritve so bolj natančne, kot smo jih določili v variančno-kovariančni matriki meritev).

- Če velja $\hat{\sigma}_0^2 \gg \sigma_0^2$, potem smo precenili izbrano natančnost meritev glede na dejansko natančnost meritev, kar vodi v preveliko vrednost testne statistike glede na gornjo mejno vrednost intervala zaupanja (natančnosti meritev so določene preveč optimistično).
- Če velja $Y = N_{\frac{\alpha}{2}}(0,1)$, potem lahko s stopnjo značilnosti α trdimo, da so uteži napačne in določimo novo variančno-kovariančno matriko $\tilde{\Sigma}_{11} = \hat{\sigma}_0^2 \times \Sigma_{11}$.
 - H_2 : med meritvami so prisotni grobi pogreški

Ko prvi dve možnosti izključimo, preverimo še tretjo, če so v izravnavi prisotni grobi pogreški. Ugotavljamo jih z Baardovo metodo (Stopar, 2006/2007a) ali Tau testom.

5.3.2 Baardova metoda

Baardova metoda nam pokaže prisotnost grobih pogreškov med meritvami. Baardova metoda ali metoda data snooping temelji na predpostavki, da so natančnosti meritev točno določene, kar pomeni, da je variančno-kovariančna matrika znana. Za vsako merjenje (predpostavka, da imamo na voljo nekorelirana merjenja) posebej računamo testno statistiko ω_i po enačbi:

$$\omega_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}} = \frac{v_i}{\sigma_0 \sqrt{q_{vv_i}}} \quad (5.21)$$

Testna statistika ω_i se porazdeljuje po normalni porazdelitvi. Hipoteza je sprejeta, ko velja:

$$|\omega_i| < N_{\frac{\alpha}{2}}(0,1), \quad (5.22)$$

to je, s stopnjo značilnosti α lahko trdimo, da je meritev grobo pogrešena. Zgodi se, da nam metoda nakaže na več grobo pogrešenih meritev. Če je tako, stopnjo značilnosti zmanjšamo na npr. 0,001 (sicer je to pretirano, vendar vseeno). Še vedno pa se lahko zgodi, da metoda odkrije več grobo pogrešenih meritev. Razlog je v porazdelitvi grobega pogreška na ostale popravke meritev. Popravek i -te meritve je namreč linearna kombinacija vseh meritev:

$$v_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} l_j. \quad (5.23)$$

Če je npr. meritev l_2 grobo pogrešena, se bo ta grobi pogrešek porazdelil tudi na popravek i -te meritve, kako pa se bo porazdelil, je odvisno od velikosti člena r_{i2} .

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{i1} & \vdots & \cdots & r_{in} \\ & r_{i2} & & \\ & \vdots & & \\ & \vdots & & \end{bmatrix}, \mathbf{l} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix}. \quad (5.24)$$

Za odkrivanje grobih pogreškov je dobro, če je število nadštevilnosti r_{ij} blizu 1 (takrat bo popravek meritve velik). V praksi grobo pogrešene meritve izločimo, preostale meritve pa ponovno izravnamo. S pomočjo popravkov meritev in števila nadštevilnosti pa lahko ocenimo velikosti grobih pogreškov med meritvami:

$$\text{velikost grobega pogreška}_i = -\frac{v_i}{r_{ii}}. \quad (5.25)$$

5.3.3 Tau test

V primeru, ko a priori referenčne variance σ_0^2 ne poznamo zanesljivo, moramo namesto nje uporabiti a posteriori referenčno varianco $\hat{\sigma}_0^2$. V tem primeru globalnega testa modela ne izvajamo, postopek data snooping pa modificiramo z uporabo nove testne statistike τ_i (Kuang, 1996):

$$\tau_i = \frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}} = - \frac{v_i}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{vv_i}}}, \quad (5.26)$$

ki se pod ničelno hipotezo ($H_0: \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} = 1$) porazdeljuje po τ porazdelitvi z r prostostnimi stopnjami:

$$\tau_i | H_0 \in \tau(r). \quad (5.27)$$

Ob dani stopnji značilnosti testa $\alpha_0 \approx 1 - \sqrt[n]{1 - \alpha}$ bo τ_i označen kot prevelik popravek, če velja:

$$|\tau_i| < \frac{\tau_{\alpha_0}}{2}, \quad (5.28)$$

kjer je kritična vrednost

$$\frac{\tau_{\alpha_0}}{2}(r) = \frac{\sqrt{r} t_{\frac{\alpha_0}{2}}(r-1)}{\sqrt{r-1 + t_{\frac{\alpha_0}{2}}^2(r-1)}}. \quad (5.29)$$

Težava pri uporabi τ -testa je v tem, da je a posteriori referenčna varianca $\hat{\sigma}_0^2$ obremenjena s prisotnostjo grobih pogreškov med meritvami. Večji kot so grobi pogreški, večja bo vrednost variance in s tem manjša vrednost testne statistike τ -testa, dana z:

$$\tau_i = \frac{v_i}{\hat{\sigma}_{v_i}} = - \frac{v_i}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{vv_i}}}. \quad (5.30)$$

To pa pomeni, da ostanejo ob uporabi τ -testa nekateri grobi pogreški neodkriti, še posebno, če so po velikosti majhni. Ko so določeni popravki označeni kot preveliki, je postopek lociranja in odstranjevanja grobih pogreškov enak kot pri tehniki data snooping (Stopar, 2007/2007a).

6 KVALITETA GEODETSKE MREŽE

Kriterija za oceno kvalitete geodetske kontrolne mreže sta natančnost in zanesljivost, ki ju je potrebno ekonomično realizirati.

6.1 Natančnost geodetske mreže

Mero uspešnosti projektiranja in kvaliteto izvedbe geodetske mreže predstavlja kriterij natančnosti. Obstajajo različne mere za oceno natančnosti geodetske mreže, katera izmed njih se uporabi, pa je odvisno od namena, za katerega je mreža vzpostavljena. Mere za oceno natančnosti geodetske mreže se lahko izrazijo na tri načine (Paar, 2006):

- variančno-kovariančna matrika,
- globalne mere natančnosti,
- lokalne mere natančnosti.

Na natančnost geodetske mreže vplivajo geometrija, natančnost merjenih količin (metoda izmere, vrsta merjenih količin, instrumentarij), okolje (vremenski pogoji, teren), sposobnost operaterja, način obdelave podatkov (metoda izravnave, kvaliteta danih količin). Količine, ki služijo kot mera za določevanje lokalne in globalne natančnosti geodetske mreže, so odvisne od izbora koordinatnega sistema. Da se izognemo vplivu pogreška danih količin, se geodetska mreža izravnava z minimalnim številom danih količin ali kot prosta mreža.

6.1.1 Variančno-kovariančna matrika ocenjenih koordinat točk mreže

Variančno-kovariančna matrika ocenjenih koordinat točk mreže $\Sigma_{\Delta\Delta}$ vsebuje podatke o natančnosti posamezne mreže. Če globalni test modela ni zavržen, v izračunu kovariančne matrike uporabimo a priori referenčno varianco, sicer pa a posteriori referenčno varianco.

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \sigma_0^2 Q_{\Delta\Delta}. \quad (6.1)$$

6.1.2 Globalne mere natančnosti

Globalne mere natančnosti se nanašajo na kvaliteto geodetske mreže kot celote.

- **Rang kovariančne matrike ocenjenih koordinat točk mreže**

Rang h kovariančne matrike ocenjenih koordinat točk $\Sigma_{\Delta\Delta}$ je enak številu linearno neodvisnih vektorjev v tej isti matriki. Podan je z izrazom (Stopar, 2006/2007a):

$$h = u - d, \quad (6.2)$$

kjer je:

u ... število neznank,

d ... število datumskih parametrov, ki manjkajo za enolično določitev datuma (defekt ranga).

- **Lastne vrednosti in lastni vektorji kovariančne matrike**

Iz izraza $\det(\Sigma_{\Delta\Delta} - \lambda \cdot \mathbf{I}) = 0$ dobimo h neničelnih lastnih vrednosti λ_i in h pripadajočih lastnih vektorjev x_i .

- **Srednja in generalizirana varianca ter srednji pogrešek položajev točk mreže**

$$\text{Srednja varianca: } \bar{\sigma}_{\Delta\Delta}^2 = \frac{1}{h} \cdot \text{sled}(\Sigma_{\Delta\Delta}) \quad (6.3)$$

$$\text{Generalizirana varianca: } \bar{\sigma}_{\Delta\Delta}^2 = \sqrt{\det(\Sigma_{\Delta\Delta})} \quad (6.4)$$

$$\text{Srednji pogrešek položajev točk 2D mreže: } \sigma_P = \bar{\sigma}_{\Delta\Delta} \cdot \sqrt{2} \quad (6.5)$$

- **Stopnja homogenosti mreže**

Homogenost mreže definiramo s kvocientom maksimalne λ_{\max} in minimalne λ_{\min} lastne vrednosti kovariančne matrike ocenjenih koordinat točk mreže $\Sigma_{\Delta\Delta}$. Slabost se pojavlja v dejstvu, da je maksimalna lastna vrednost lahko znatno večja od ostalih vrednosti. V kolikor je razlika med maksimalno in minimalno lastno vrednostjo majhna, nam to pove, da je dosežena homogenost geodetske mreže. Želja je, da je homogenost mreže enaka vrednosti ena (Stopar, 2006/2007a):

$$\text{Homogenost} = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}. \quad (6.6)$$

6.1.3 Lokalne mere natančnosti

Lokalne mere natančnosti govorijo o natančnosti vsake posamezne točke geodetske mreže. Matrika kofaktorjev ocenjenih koordinat točk mreže $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ se za dvodimenzionalno geodetsko mrežo razdeli v podmatrike dimenzije $[2 \times 2]$. Vsaka podmatrika se nanaša na eno točko geodetske mreže (Paar, 2006):

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta_i} = \begin{bmatrix} q_{\hat{x}\hat{x}_i} & q_{\hat{x}\hat{y}_i} \\ q_{\hat{y}\hat{x}_i} & q_{\hat{y}\hat{y}_i} \end{bmatrix}. \quad (6.7)$$

Lokalna mera natančnosti posamezne točke se lahko izrazi preko:

- standardne deviacije koordinat točke:

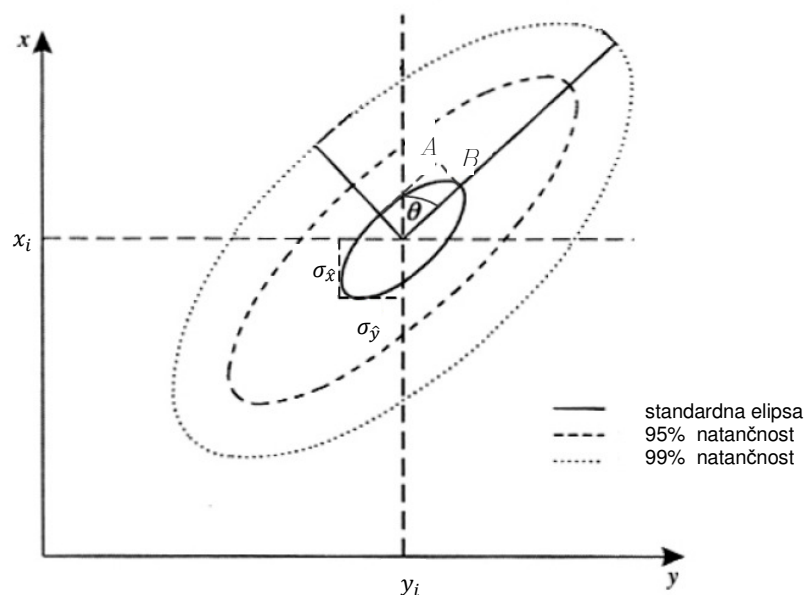
$$\sigma_{\hat{x}_i} = \sigma_0 \sqrt{q_{\hat{x}\hat{x}_i}}, \quad \sigma_{\hat{y}_i} = \sigma_0 \sqrt{q_{\hat{y}\hat{y}_i}}, \quad (6.8), (6.9)$$

kjer so q_{xx} diagonalni elementi matrike kofaktorjev ocenjenih koordinat točk mreže $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ ali preko

- srednjega standardnega odstopanja položaja točke:

$$\sigma_{p_i} = \sqrt{\frac{\sigma_{\hat{x}_i}^2 + \sigma_{\hat{y}_i}^2}{2}}. \quad (6.10)$$

Izraza (6.8) in (6.9) dajeta oceno natančnosti položaja točke v smeri x in y osi. Lahko pa informacijo o natančnosti položaja točke izrazimo z elipso pogreškov.



Slika 2: Elipsa pogreškov
Figure 2: Error ellipse

Elementi elipse pogreškov:

$$A^2 = \frac{\sigma_0^2}{2} (q_{\hat{x}\hat{x}_i} + q_{\hat{y}\hat{y}_i} + k) = \sigma_0^2 \lambda_1, \quad (6.11)$$

$$B^2 = \frac{\sigma_0^2}{2} (q_{\hat{x}\hat{x}_i} + q_{\hat{y}\hat{y}_i} + k) = \sigma_0^2 \lambda_2, \quad (6.12)$$

$$k = \sqrt{(q_{\hat{x}\hat{x}_i} - q_{\hat{y}\hat{y}_i} + 4q_{\hat{x}\hat{y}_i}^2)}, \quad (6.13)$$

$$\operatorname{tg} 2\phi = \frac{2q_{\hat{x}\hat{y}_i}}{q_{\hat{x}\hat{x}_i} - q_{\hat{y}\hat{y}_i}}, \quad (6.14)$$

kjer so:

A, B ... velika in mala polos elipse pogreškov,

ϕ ... kot nagiba velike osi elipse pogreškov,

$q_{\hat{x}\hat{x}_i}, q_{\hat{y}\hat{y}_i}, q_{\hat{x}\hat{y}_i}, q_{\hat{y}\hat{x}_i}$... element podmatrike kofaktorjev ocenjenih koordinat točk mreže,

λ_1, λ_2 ... lastna vrednost matrike kofaktorjev ocenjenih koordinat točk mreže.

Lokalne mere natančnosti so odvisne od izbire referenčnega koordinatnega sistema in ne upoštevajo korelacije med točkami znotraj geodetske mreže. Za oceno kvalitete mreže zato raje uporabljamo globalne mere natančnosti, ki so izražene s pomočjo količin, ki se izračunajo iz lastnih vrednosti variančno-kovariančne matrike ocenjenih koordinat točk mreže $\Sigma_{\Delta\Delta}$.

6.2 Zanesljivost geodetske mreže

Koncept zanesljivosti geodetske mreže sega v leto 1968 in se nanaša na možnost odkrivanja in odstranjevanja grobih pogreškov iz meritev. Ločimo notranjo in zunanjo zanesljivost mreže. Notranja zanesljivost se nanaša na sposobnost matematičnega modela, da ob statističnem testiranju hipotez, do določene stopnje zaupanja in določene jakosti testa, odkrije grobe pogreške. Zunanja zanesljivost se nanaša na vpliv neodkritih grobih pogreškov na neznanke ali funkcije le-teh. Osnovni izvor informacij o zanesljivosti mreže po izravnavi je matrika kofaktorjev popravkov meritev $Q_{\hat{v}\hat{v}}$ (Paar, 2006).

6.2.1 Globalne mere zanesljivosti

- **Globalne mere zunanje zanesljivosti**

Kljub vsem modernim in sofisticiranim postopkom ne bomo nikoli popolnoma prepričani, da smo odkrili vse grobe in sistematične pogreške v geodetski mreži. Prav tako je potrebno računati na določene majhne neodkrite pogreške, ki so locirani v bližini mejnih vrednosti. Zaradi tega je potrebno v analizi modela zbrati vse informacije o vplivih teh pogreškov na ocenjene parametre.

Datumsko neodvisen kriterij zanesljivosti se lahko določi iz spodnje enačbe (Ninkov, 1989):

$$\Delta l^T \Delta l \lambda_{\max} \geq \Delta l^T \mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P} \Delta l, \quad (6.15)$$

kjer je λ_{\max} maksimalna lastna vrednost matričnega produkta $\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}$. Manjši kot je λ_{\max} , manjši je tudi maksimalen možen vpliv neodkritega pogreška Δl na ocenjene parametre, s tem pa je model tudi zanesljivejši in robustnejši $\lambda_{\max}(\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}) = \text{minimalna}$. Dodatna merjenja ne spremenijo vrednosti λ_{\max} ali sled($\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}$), temveč povečajo skupno število nadštevilnih meritev r . Preglednica 5 prikazuje mere in kriterije notranje in zunanje zanesljivosti geodetske mreže.

Preglednica 5: Kriteriji zanesljivosti geodetske mreže
Table 5: Criterias of reliability of geodetic network

Mere	Notranja zanesljivost	Zunanja zanesljivost
Globalna	$\lambda_{\max}(\mathbf{PQ}_{\text{vv}} \mathbf{P}) = \text{maksimalna}$ $\text{sled}(\mathbf{PQ}_{\text{vv}} \mathbf{P}) = \text{maksimalna}$	$\lambda_{\max}(\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}) = \text{minimalna}$ $\text{sled}(\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}) = \text{minimalna}$
Lokalna	$r_i = p_i q_{v_i v_i} = \text{maksimalna}$	$p_i^2 b_i^T \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} b_i = \text{minimalna}$
Povprečna lokalna = globalna	$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} = \text{maksimalna}$	$\frac{1}{n} \text{sled}(\mathbf{PQ}_{\text{ij}} \mathbf{P}) = \text{minimalna}$

- **Globalne mere notranje zanesljivosti**

Globalni meri notranje zanesljivosti sta maksimalna lastna vrednost λ_{\max} in sled matričnega produkta $\mathbf{PQ}_{\text{vv}} \mathbf{P}$, za katero želimo, da je maksimalna (Paar, 2006):

$$\text{sled}(\mathbf{PQ}_{\text{vv}} \mathbf{P}) = \lambda_{\max} \text{sled}(\mathbf{Q}_{\text{vv}} \mathbf{P}) = \lambda_{\max} r = \text{maksimalna}, \quad (6.16)$$

saj so v tem primeru ustvarjeni najboljši pogoji za odkrivanje grobih pogreškov. Dodatna merjenja povečajo število nadštevilnih meritev r , kar vpliva na povečanje verjetnosti odkrivanja pogreškov v modelu.

6.2.2 Lokalne mere zanesljivosti

- **Lokalne mere notranje zanesljivosti**

Lokalna zanesljivost je tesno povezana z možnostjo odkrivanja grobih pogreškov. Večja kot je možnost odkrivanja grobih pogreškov, večja je stopnja notranje zanesljivosti modela. Razmerje med grobim pogreškom Δl_i in spremembo popravka meritve l_i je (Ninkov, 1989):

$$\Delta v_i = -q_{v_i v_i} p_i \Delta l_i = -r_i \Delta l_i, \quad (6.17)$$

kjer je:

p_i ... a priori utež meritve l_i ,
 $q_{v_i v_i}$... i -ti diagonalni element matrike \mathbf{Q}_{vv} ,
 Δl_i ... grobi pogrešek v meritvi l_i .

V primeru, da je popravek Δv_i večji, je večja verjetnost določitve pogrešene meritve. Za dan pogrešek Δl_i je vrednost popravka Δv_i meritve l_i enaka izrazu:

$$r_i = q_{v_i v_i} p_i, \quad (6.18)$$

kjer r_i predstavlja število nadštevilnih meritev in del i -te meritve v skupnem številu nadštevilnih merjen r :

$$\text{sled}(\mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P}) = \sum_{i=1}^n r_i = r. \quad (6.19)$$

Vrednost r_i se računa za vsako meritev pred samo izvedbo merjenja na terenu, zato da bi se izločile slabe točke projektirane mreže v pogledu zanesljivosti. Na ta način se lahko ti deli mreže okrepijo z dodatnimi meritvami. Vsota vseh r_i predstavlja število prostostnih stopenj cele geodetske mreže. Število nadštevilnih meritev r_i se uporablja kot lokalna mera notranje zanesljivosti določene meritve (Paar, 2006):

$$r_i = 1 - q_{l_i l_i} p_i = 1 - \frac{p_i}{p_{l_i}}. \quad (6.20)$$

Glede na to, da je a posteriori utež i -te meritve p_{l_i} večja ali enaka a priori uteži p_i , se število nadštevilnih meritev r_i giblje v razponu $0 \leq r_i \leq 1$. Spodnja meja je dosežena, ko je $p_{l_i} = p_i$. V tem primeru pripadajoča meritev l_i ni kontrolirana z drugimi meritvami. Zgornja meja je dosežena v primeru, ko je $p_{l_i} = \infty$, kar pomeni, da je varianca izravnane meritve enaka nič in model odlično kontrolira meritev l_i .

Preglednica 6: Število nadštevilnih meritev v geodetskih mrežah (Ninkov, 1989)

Table 6: The number of redundant measurements in geodetic networks (Ninkov, 1989)

Tipične geodetske mreže	Povprečno število nadštevilnih meritev
Poligonske mreže	$r_i = 0,1 - 0,2$
Trilateracijske mreže	$r_i = 0,3 - 0,6$
Kombinirane mreže	$r_i = 0,5 - 0,8$
Nivelmanske mreže	$r_i = 0,2 - 0,5$

Minimalno število nadštevilnih meritev bi naj bilo približno 0,3. Dobro projektirana mreža, iz vidika lokalne notranje zanesljivosti je tista, ki izpolnjuje kriterij:

$$r_i = q_{v_i v_i} p_i = \text{maksimalna}. \quad (6.21)$$

Povprečno število nadštevilnih meritev je enako:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad (6.22)$$

in predstavlja primerno mero notranje zanesljivosti v primeru, da so števila r_i enakomerno razporejena po geodetski mreži. Te mere so neodvisne od datuma geodetske mreže in so zato zelo primerne za praktično uporabo.

• Lokalne mere zunanje zanesljivosti

Lokalne mere zunanje zanesljivosti prikazujejo vpliv grobo pogrešene meritve na ocenjene parametre (Ninkov, 1989):

$$\Delta \hat{x}_i = \mathbf{N}^{-1} b_i p_i \Delta l_i, \quad (6.23)$$

kjer je b_i i -ti stolpec matrike \mathbf{B}^T . Vsi ocenjeni parametri vsebujejo vpliv grobo pogrešene meritve Δl_i . V praksi so parametri, ki se pojavljajo v i -ti enačbi meritve z vektorjem koeficientov b_i , obremenjeni z vplivom grobega pogreška ostalih meritev, zato lahko vpliv enega grobega pogreška označimo kot lokalni.

Glede na to, da grobega pogreška Δl_i ni možno kontrolirati, se zahteva zanesljivost izraza kot:

$$p_i^2 b_i^T \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} b_i = p_i(1 - r_i) = \text{minimalna}, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (6.24)$$

Zgornji izraz lahko uporabljamo za vse meritve. Pravzaprav lahko v fazi projektiranja oblike geodetske mreže s pomočjo uporabe zgornjega izraza preverimo zanesljivost, dokler so izboljšave in popravki še mogoči. Srednja vrednost lokalne mere zunanje zanesljivosti bi morala biti minimalna, izračuna pa se lahko iz vsote posameznih vrednosti, po naslednjem izrazu:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i^2 b_i^T \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} b_i = \frac{1}{n} \text{sled}(\mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{N}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}) = \frac{1}{n} \text{sled}(\mathbf{P} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}} \mathbf{P}) = \text{minimalna}. \quad (6.25)$$

Večjo notranjo zanesljivost imajo geodetske mreže, ki lažje omogočajo odkrivanje grobih pogreškov, večjo zunanjo zanesljivost pa geodetske mreže, pri katerih imajo neodkriti grobi pogreški manjši vpliv na neznane količine. Pri obeh merilih zanesljivosti imajo ključno vlogo geometrija, datum in vrsta meritev v geodetski mreži. Najboljša geometrija geodetske mreže je tista, pri kateri je λ_{\max} čim manjša.

6.3 Ekonomičnost geodetske mreže

Natančnost in ekonomičnost geodetske mreže je na pogled težko uskladiti. V geodeziji se ta dva kriterija usklajujeta na sledeči način: merimo tako natančno, kot je možno, ampak ne natančneje, kot je potrebno. Geodetsko mrežo je možno optimizirati v smislu natančnosti in zanesljivosti. Izmed različnih variant, ki izhajajo iz postopka optimizacije, se izbere tista, ki v največji meri omogoča doseganje zahtevane natančnosti z minimalnimi stroški. Stroške lahko delimo na stroške planiranja, merjenja in obdelave. Optimalni projekt geodetske mreže zahteva (Paar, 2006):

- mrežo projektirano tako, da je možno doseči zahtevano natančnost iskanih parametrov,
- zanesljivo mrežo (omogočeno je odkrivanje grobih pogreškov in vpliv neodkritih pogreškov na nepoznane količine mora biti minimalen),
- občutljivo mrežo in
- izvedbo mreže z omejenimi stroški.

6.4 Občutljivost mreže in posameznih meritev

Občutljivost mreže namenjene spremljanju premikov je definirana kot sposobnost mreže, da zazna prisotnost grobo pogrešenih meritev, jih odkrije in omogoči njihovo izločitev. Občutljivost je funkcija geometrije mreže in natančnosti merjenja v mreži. Od tod sledi, da je občutljivost mreže odvisna od matrike koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} , a priori variance enote uteži σ_0^2 in matrike kofaktorjev meritev \mathbf{Q}_{11} . Vse te količine poznamo po pripravi terenskih del, izboru instrumentarija, ampak že pred pričetkom terenskih meritev. Zaradi tega je običajno, da v praksi izračunamo parametre občutljivosti pred terenskimi meritvami, s čimer zagotovimo kvaliteto mreže in zadovoljimo pogoje natančnosti. Bolj kot je geodetska mreža geometrijsko močna in čvrsta in čim kvalitetnejše so meritve v njej, tem lažje je ugotoviti grobe pogreške in jih izločiti iz modela izravnave (Frankič, 2007).

Mera za občutljivost posamezne meritve f_i je neodvisna od datuma mreže. Poleg tega vrednost f_i ni odvisna, ne od merjene vrednosti niti od njenega popravka, ampak izključno od geometrije mreže. Občutljivost posamezne meritve predstavlja vpliv te meritve na neznanke (koordinate točk mreže), tesno pa je povezan tudi z zanesljivostjo posamezne meritve, oziroma verjetnostjo odkrivanja grobo pogrešenih meritev. Izračun vrednosti f_i omogoča odkrivanje območja slabe zanesljivosti mreže, kar se lahko popravi v postopku optimizacije z dodatnimi meritvami in spremembo uteži. Večja kot je vrednost f_i , večja je verjetnost odkrivanja grobo pogrešenih meritev – takšna meritev ima velik Δv_i . Koeficient f_i prav tako omogoča oceno, v kolikšni meri je geometrija mreže sposobna pokazati vpliv grobih pogreškov na rezultat merjenja. Večja vrednost koeficienta f_i omogoča boljšo kontrolo meritve l_i . Ob njegovi večji vrednosti se lažje ugotovi grobi pogrešek, ki bi imel velik vpliv na neznanke. Koeficient f_i je vezan izključno na geometrijo mreže in definira kakšen odstotek grobega pogreška meritve l_i , bo vključen v popravku v_i po izravnavi (Paar, 2006).

Preglednica 7: Stopnja kontrole meritev v odvisnosti od občutljivosti meritve (Ninkov, 1989)

Table 7: A level of measurements control depending on the sensitivity of measurement (Ninkov, 1989)

Vrednost f_i	Možnost kontrole
$0 < f_i \leq 0,01$	ni kontrole
$0,01 < f_i \leq 0,1$	slaba kontrola
$0,1 < f_i \leq 0,3$	dobra kontrola
$0,3 < f_i \leq 1,0$	odlična kontrola

7 MATRIKA KRITERIJA

V tem poglavju podajamo teorijo v zvezi z matriko kriterija, ki jo sestavimo v postopku optimizacije geodetske mreže. Kriteriji podani v določeni nalogi niso nikoli absolutni, odvisni so od dogovora med izvajalcem (geodetom) in uporabnikom (naročnikom) (Baarda, 1979, cit. po Baarda, 1968a). Morajo pa biti kriteriji zasnovani tako, da lahko načrt geodetske mreže temelji na njih. Poiskati je potrebno takšno matematično formulacijo matrike kriterija, pri kateri je mogoče izbirati vrednosti parametrov, dejanska izbira pa je stvar dogovora. Kljub temu optimizacija geodetske mreže ostaja problem, saj je praktično nemogoče oceniti ekonomske posledice izbire vrednosti parametrov (Baarda, 1979).

Z razvojem na področju optimizacije geodetskih mrež so uspešno potekale tudi raziskave glede matrike kriterija, in sicer kot alternativna oblika skalarnim funkcijam natančnosti geodetske mreže. Skoraj vse metode optimizacije drugega reda namreč zahtevajo, da se kriteriji natančnosti predstavijo v obliki matrike kriterija (Cross, 1985). Prednost matrike kriterija je, da je neodvisna od plana meritev (Schmitt, 1985a).

S tem, ko podamo matriko kriterija C_{Δ} , lahko načrtujemo teoretično optimalen plan meritev, po možnosti z upoštevanjem situacije terena. To imenujemo optimizacija drugega reda. Pri matriki kriterija ni bistven samo stohastičen vidik, temveč v določenih primerih, ko želimo izotropno geodetsko mrežo, predvsem vidik izotropije. To pomeni, da so funkcije, ki sestavljajo matriko C_{Δ} , odvisne zgolj in samo od razdalje med dvema točkama. S tem pa dosežemo, da je matrika C_{Δ} in hkrati geodetska mreža "enako dobra v vseh smereh" (Baarda, 1979).

Zahtevana natančnost neke mreže v celoti je lahko torej izračunana vnaprej, z definiranjem umetne variančno-kovariančne matrike neznanek C_{Δ} , z idealno strukturo, ki optimalno izpolnjuje željeno natančnost geodetske mreže. Za državno geodetsko mrežo, kamor uvrščamo mreže za splošne namene, sta to vedno homogenost in izotropnost, geodetske mreže za posebne namene pa lahko vzpostavljamo tudi ob drugačnih zahtevah. Matriko kriterija se vedno poskuša oblikovati tako, da se v konceptu optimizacije približa, kolikor je to mogoče, dejanski kovariančni matriki. Kot matriko kriterija lahko uporabimo katerokoli pozitivno definitno matriko. Strukturo matrike kriterija za geodetske mreže za splošne namene sta proučevala prof. Grafarend in prof. Baarda v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja. Rezultati matrike kriterija homogeno izotropne mreže so bili podani v obliki splošne Taylor-Karmanove strukture matrike kriterija ali njene kaotične strukture. Za državno geodetsko mrežo mora takšna matrika kriterija izpolnjevati sledeče zahteve (Seemkoeei, 1998):

- vse točke imajo standardne elipse pogreškov z enakimi radiji, relativne standardne elipse pogreškov morajo biti krožnice ($A = B$),
- relativna natančnost med dvema sosednjima točkama mora biti enaka v vseh smereh (med x in y koordinatami ni nobene korelacije),
- relativna natančnost med dvema sosednjima točkama je določena s kovariančno funkcijo, ki je odvisna od oddaljenosti med tema točkama,
- matrika kriterija mora biti definirana v istem koordinatnem sistemu kot variančno-kovariančna matrika obravnavane mreže.

7.1 Sestava matrike kriterija in korelacijske funkcije

V zvezi z optimizacijo geodetskih mrež je matrika kriterija lahko izbrana kot globalna objektivna funkcija, ki predstavlja vse kriterije natančnosti geodetske mreže. Pojasnimo, zakaj imenujemo matriko kriterija idealna matrika:

- oblika in vrednosti parametrov kovariančne funkcije, ki tvorijo matriko kriterija, so izbrane v skladu z namenom kateremu bo služila oziroma že služi geodetska mreža,
- matriko kriterija lahko uporabimo kot nadomestno matriko za variančno-kovariančno matriko mreže, ko naknadno dodajamo druge mreže.

7.1.1 Enotska matrika kriterija

Najosnovnejša oblika matrike kriterija ima enice po diagonali, izven diagonalni elementi pa so ničle. To pomeni, da so elipse pogreškov vseh točk krogi z radijem enakim enoti, korelacije med točkami pa niso dovoljene (Stopar, 1995):

$$\mathbf{C}_{\Delta} = \mathbf{I}. \quad (7.1)$$

Vendar je jasno, da taka oblika matrike kriterija ne ustreza realnosti, ker zanemarija vedno prisotno korelacijo med koordinatami točk (Stopar, 1995).

7.1.2 Diagonalna matrika kriterija

Kot grobi približek, ki pa je lahko samo ilustracija primera homogeno izotropne strukture geodetske mreže, lahko uporabimo matriko kriterija oblike:

$$\mathbf{C}_{\Delta} = \sigma^2 \mathbf{I}, \quad (7.2)$$

kjer je σ^2 varianca vseh koordinat točk v mreži. Takšna oblika matrike kriterija sicer popolnoma izpolnjuje zahtevo o homogeno izotropni strukturi mreže, vendar ne ustreza realnosti, ker zanemarija vedno prisotno korelacijo med koordinatami točk (Stopar, 1995).

7.1.3 Taylor-Karmanova matrika kriterija

Splošni izraz za variančno-kovariančno matriko med dvema točkama P_i in P_j v ravnini, s Taylor-Karmanovo obliko matrike kriterija, je sledeč (Teke, Yalçınkaya, Konak, 2008):

$$\mathbf{C}_{\Delta_{ij}} = \begin{bmatrix} \varphi_m(s) & 0 \\ 0 & \varphi_m(s) \end{bmatrix} + [\varphi_l(s) - \varphi_m(s)] \begin{bmatrix} \frac{(x_j - x_i)^2}{s^2} & \frac{(x_j - x_i)(y_j - y_i)}{s^2} \\ \frac{(x_j - x_i)(y_j - y_i)}{s^2} & \frac{(y_j - y_i)^2}{s^2} \end{bmatrix}. \quad (7.3)$$

Dolžino med točkama P_i in P_j izračunamo:

$$s = |r_j - r_i| = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}, \quad (7.4)$$

kjer sta r_i in r_j vektorja točk i in j .

Taylor-Karmanova oblika matrike kriterija je lahko ustvarjena, ko kriterij natančnosti mreže zahteva homogene in izotropne pogoje. Taylor-Karmanova oblika matrike kriterija mora zagotavljati izotropne in homogene absolutne elipse pogreškov. Vz dolžne in prečne korelacijske funkcije, ki so elementi matrike kriterija s Taylor-Karmanovo strukturo, se lahko oblikujejo z modificiranimi Besslovimi funkcijami drugega reda. Modificirane Besslove funkcije drugega reda so:

$$K_n(s) = \frac{\sqrt{\pi}}{\left(n - \frac{1}{2}\right)!} \left(\frac{1}{2}s\right)^n \int_1^\infty e^{-sx} (x^2 - 1)^{n-\frac{1}{2}} dx \quad (7.5)$$

in se po navadi uporabljajo za reševanje optimizacije kot korelacijske funkcije, kjer je n stopnja funkcije.

V primeru, da izberemo vrednosti $n = 0$ in $n = 1$, izgledajo grafi ničelne in prve stopnje modificiranih Besslovih funkcij drugega reda tako, kot prikazuje slika 3, kar zapišemo z matematičnim izrazom:

$$\varphi_m(s) = \frac{4d^2}{s} - 2K_0\left(\frac{s}{d}\right) - \frac{4d}{s}K_1\left(\frac{s}{d}\right), \quad (7.6)$$

$$\varphi_l(s) = -\frac{4d^2}{s} + 2K_0\left(\frac{s}{d}\right) + \frac{4d}{s}K_1\left(\frac{s}{d}\right) + \frac{2s}{d}K_1\left(\frac{s}{d}\right), \quad (7.7)$$

kjer je:

$\varphi_m(s)$... prečna korelacijska funkcija,

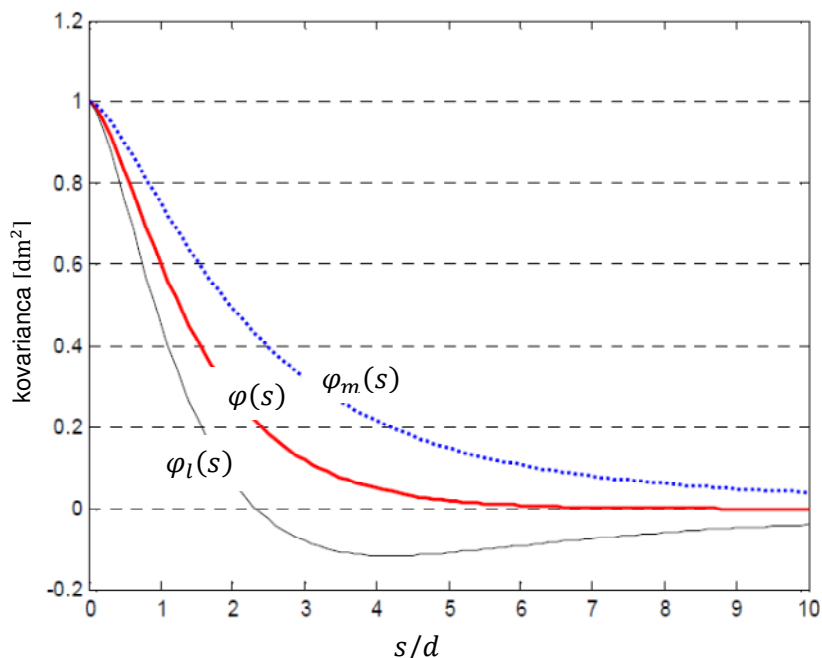
$\varphi_l(s)$... vzdolžna korelacijska funkcija,

s ... dolžina med točkama $P_i(x_i, y_i)$ in $P_j(x_j, y_j)$ v mreži,

d ... karakteristična razdalja mreže,

$K_0\left(\frac{s}{d}\right)$... ničelna stopnja modificirane Besslove funkcije drugega reda,

$K_1\left(\frac{s}{d}\right)$... prva stopnja modificirane Besslove funkcije drugega reda.



Slika 3: Prečna in vzdolžna variančno-kovariančna funkcija (Bae, 2005)
Figure 3: Transverse and longitudinal variance-covariance function (Bae, 2005)

Izbira vrednosti karakteristične razdalje mreže d še vedno ostaja problem. Na primer po Schmittu bi naj bila karakteristična razdalja izbrana tako, da bi bila krajša kot je najkrajša oddaljenost med dvema točkama v mreži, medtem ko Wimmer priporoča karakteristično

razdaljo, ki naj bo krajša od $\frac{1}{10}$ najdaljše dolžine v mreži (Teke, Yalçinkaya, Konak, 2008). Glede na to, da je izbira vrednosti karakteristične razdalje poljubna (znotraj priporočenih meja), gre za edino količino, ki vpliva na vrednost prečne $\varphi_m(s)$ in vzdolžne $\varphi_l(s)$ korelacijske funkcije, s tem pa tudi na vrednost elementov matrike kriterija \mathbf{C}_Δ .

Da bi vzpostavili popolno izotropno strukturo Taylor-Karmanove matrike kriterija, lahko korelacijsko funkcijo dobimo z aritmetično sredino prečne $\varphi_m(s)$ in vzdolžne $\varphi_l(s)$ korelacijske funkcije:

$$\varphi(s) = \frac{\varphi_m(s) + \varphi_l(s)}{2} = \frac{s}{d} K_1\left(\frac{s}{d}\right). \quad (7.8)$$

Vrednosti korelacijskih funkcij naraščajo in konvergirajo proti 0, ko oddaljenost med dvema točkama narašča. V slučaju, ko točki P_i in P_j sovpadata, za prečno in vzdolžno korelacijsko funkcijo velja, da imata enaki vrednosti (Bae, 2005):

$$\varphi_m(0) = \varphi_l(0) = \sigma^2, \quad (7.9)$$

kjer je σ^2 pričakovana oziroma zelena varianca ocenjenih koordinat mreže.

Ponovno zapišimo izraz za podmatriko variančno-kovariančne matrike, med točkama P_i in P_j , znotraj Taylor-Karmanove strukturirane matrike kriterija geodetske mreže:

$$\mathbf{C}_{\Delta ij} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{ii} & \mathbf{C}_{ij} \\ \mathbf{C}_{ji} & \mathbf{C}_{jj} \end{bmatrix}, \quad (7.10)$$

kar zapišemo kot:

$$\mathbf{C}_{ij} = \begin{bmatrix} \varphi_m(s) + (\varphi_l(s) - \varphi_m(s)) \frac{(x_j - x_i)^2}{s^2} & (\varphi_l(s) - \varphi_m(s)) \frac{(x_j - x_i)(y_j - y_i)}{s^2} \\ (\varphi_l(s) - \varphi_m(s)) \frac{(x_j - x_i)(y_j - y_i)}{s^2} & \varphi_m(s) + (\varphi_l(s) - \varphi_m(s)) \frac{(y_j - y_i)^2}{s^2} \end{bmatrix}, \quad (7.11)$$

$$\mathbf{C}_{ii} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7.12)$$

za kar velja enakost $\mathbf{C}_{ij} = \mathbf{C}_{ji}$ in $\mathbf{C}_{ii} = \mathbf{C}_{jj}$.

Če torej zahtevamo, da zelena natančnost σ^2 zagotovi homogenost in izotropnost za vse točke v mreži, se popolna izotropija Taylor-Karmanove strukture matrike kriterija za dvodimenzionalno mrežo med dvema točkama končno zapiše v sledeči obliki:

$$\mathbf{C}_\Delta = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{s}{d} K_1\left(\frac{s}{d}\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{s}{d} K_1\left(\frac{s}{d}\right) \\ \frac{s}{d} K_1\left(\frac{s}{d}\right) & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{s}{d} K_1\left(\frac{s}{d}\right) & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7.13)$$

7.1.4 Kaotična matrika kriterija

Baarda (1979) predlaga za praktično uporabo poseben primer Taylor-Karmanove strukture, poimenovane kaotična struktura. Glede poimenovanja je Baarda predlagal, da bi bilo boljše kot kaotična struktura, uporabljati besedno zvezo normalna struktura, glede na analogijo normalne porazdelitve verjetnostne teorije. V tem primeru (Seemkooei, 2008):

- imajo vse točke mreže enake elipse pogreškov, ki so krogi z enakim radijem d ,
- so relativne elipse pogreškov med točkama P_i in P_j krogi, z radijem $c^2 l_{ij}$,
- koordinati točke x_i in y_i med seboj nista korelirani.

Podmatrika takšne matrike kriterija za točki P_i in P_j v ravnini, je podana s strani prof. Baarde kot:

$$\mathbf{C}_{\Delta_{ij}} = \mathbf{C}_{\Delta} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ x_j \\ y_j \end{pmatrix} \begin{bmatrix} d^2 & 0 & d^2 - d_{ij}^2 & 0 \\ 0 & d^2 & 0 & d^2 - d_{ij}^2 \\ d^2 - d_{ij}^2 & 0 & d^2 & 0 \\ 0 & d^2 - d_{ij}^2 & 0 & d^2 \end{bmatrix}, \quad (7.14)$$

kjer je d^2 konstanta, $d_{ij}^2 = f(s)$ pa pozitivna, monotona, ne naraščajoča funkcija oddaljenosti s med dvema točkama. Vrednosti d^2 in d_{ij}^2 morata biti izbrani tako, da je $\mathbf{C}_{\Delta_{ij}}$ pozitivno definitna. Variance in kovariance vseh tipov koordinatnih razlik niso odvisne od d^2 . Na primer, če izločimo x_k in y_k iz vseh ostalih x_i in y_i , bo nova koordinatna spremenljivka dobljena tako, da kovariančna matrika ne bo več vsebovala d^2 , kot sledi:

$$\sigma_{(x_i-x_j)}^2 = \sigma_{x_i}^2 + \sigma_{x_j}^2 - 2\sigma_{x_i x_j} = d^2 + d^2 - 2(d^2 - d_{ij}^2) = 2d_{ij}^2, \quad (7.15)$$

$$\sigma_{(y_i-y_j)}^2 = \sigma_{y_i}^2 + \sigma_{y_j}^2 - 2\sigma_{y_i y_j} = d^2 + d^2 - 2(d^2 - d_{ij}^2) = 2d_{ij}^2, \quad (7.16)$$

$$\sigma_{(x_i-x_j)(y_i-y_j)} = \sigma_{x_i y_i} + \sigma_{x_j y_j} - \sigma_{x_i y_j} - \sigma_{x_j y_i} = 0. \quad (7.17)$$

Torej konstanta d^2 nima nobenega vpliva v formulaciji matrike kriterija. Pomembna je samo funkcija d_{ij}^2 . Imenujemo jo izbirna funkcija, saj jo lahko poljubno izberemo, da določimo kriterij. Baarda predlaga izbirno funkcijo v obliki (Seemkooei, 1998):

$$d_{ij}^2 = cs, \quad (7.18)$$

kjer je c pozitivna konstanta, ki podaja kovariančne odnose v mreži in je odvisna od vrste (reda) mreže, tipa terena, s pa je oddaljenost med točkama. Pri določanju vrednosti faktorja c je dobro vedeti, da je dosegljiva natančnost točk v mreži približno izražena z izrazom $\sqrt{2cs}$ (Stopar, 1995). V praktičnih aplikacijah se je linearna funkcija cs izkazala kot sprejemljiva poenostavitev razdelitve pogreškov za večino geodetskih aplikacij (Seemkooei, 1998). Končni zapis matrike kriterija s kaotično strukturo lahko zato predstavimo kot:

$$\mathbf{C}_{\Delta} = \begin{bmatrix} d^2 & 0 & d^2 - cs & 0 \\ 0 & d^2 & 0 & d^2 - cs \\ d^2 - cs & 0 & d^2 & 0 \\ 0 & d^2 - cs & 0 & d^2 \end{bmatrix}. \quad (7.19)$$

7.2 Datum matrike kriterija

V osnovi bi naj bila matrika kriterija, kot matrika drugega reda optimizacije, ustvarjena tako, da je neodvisna od kateregakoli linearnega modela, ki povezuje parametre in meritve. Da lahko primerjamo matriko kriterija z datumsko odvisno variančno-kovariančno matriko ocenjenih koordinat, ki je sestavljena ob upoštevanju plana meritev, mora biti matrika kriterija transformirana v isti datum mreže kot variančno-kovariančna matrika ocenjenih koordinat. Ta transformacija je lahko izvedena s podobnostno transformacijo, ki jo imenujemo tudi transformacija S :

$$\mathbf{S} = \mathbf{I} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T, \quad (7.20)$$

$$\mathbf{C}_\Delta^S = \mathbf{S}\mathbf{C}_\Delta\mathbf{S}^T, \quad (7.21)$$

kjer je:

\mathbf{C}_Δ ... matrika kriterija pred transformacijo,

\mathbf{C}_Δ^S ... matrika kriterija po transformaciji,

\mathbf{I} ... enotska matrika $[u \times u]$,

\mathbf{H} ... datumsko matrika proste mreže (matrika notranjih vezi).

Če je matrika kriterija uporabljena v procesu optimizacije, je kot že rečeno najboljše aproksimirana z dejansko variančno-kovariančno matriko ocenjenih koordinat. Objektivna funkcija je lahko definirana kot:

$$\|\Sigma_{\Delta\Delta} - \mathbf{C}_\Delta^S\| \rightarrow \text{minimalno}, \quad (7.22)$$

kjer $\|\cdot\|$ predstavlja normo matrike (Bae, 2005).

7.3 Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija

Kvaliteto aproksimacije izrazimo z razliko med matriko \mathbf{C} , ki je izračunana z matriko uteži pred optimizacijo in kontrolno matriko kriterija \mathbf{C}_Δ , ki je izračunana z utežmi po optimizaciji (Teke, Yalçinkaya, Konak, 2008):

$$\mathbf{K} = \mathbf{C} - \mathbf{C}_\Delta = (\mathbf{B}^T\mathbf{P}_0\mathbf{B})^+ - (\mathbf{B}^T\mathbf{P}\mathbf{B})^+, \quad (7.23)$$

kjer je:

\mathbf{P}_0 ... matrika uteži pred optimizacijo,

\mathbf{P} ... matrika z optimiziranimi utežmi.

Iz matrike \mathbf{K} se izračuna vektor $\mathbf{k} = \text{vec}(\mathbf{K})$. Globalna mera za kvaliteto optimizacije (globalni test):

$$K_{\text{aprok}} = \mathbf{k}^T\mathbf{k}. \quad (7.24)$$

Dodatna globalna mera za kvaliteto aproksimacije v optimizaciji je največja lastna vrednost matrike \mathbf{F} , ki se izračuna kot:

$$\mathbf{F} = (\mathbf{B}^T\mathbf{P}\mathbf{B})^+\mathbf{C}_\Delta^+. \quad (7.25)$$

Največja lastna vrednost matrike \mathbf{F} se mora približati vrednosti 1, potem ko smo odstranili meritve, ki imajo negativne uteži (Bae, 2005).

7.4 Kriterij natančnosti

Pogoj maksimalne natančnosti in minimalnih stroškov lahko združimo v objektivno ciljno funkcijo:

$$Z = R_T \cdot T + R_S \cdot S, \quad (7.26)$$

kjer T predstavlja kriterij natančnosti, S stroške, R_T in R_S pa sta standardna faktorja, s katerima ustrezno uravnavamo obe strani. Izraz za natančnost T temelji na variančno kovariančni matriki koordinat točk, izrazimo ga lahko z lastnimi vrednostmi (Schmitt, 1985a).

Na splošno je optimalen kriterij natančnosti določen z natančnostjo meritev, ki se uporabljajo za določitev neznank v geodetski mreži. Popolna informacija o natančnosti geodetske mreže je podana v variančno-kovariančni matriki neznank. Namen kateremu služi mreža je tisti, ki odloča o določitvi zahtevane natančnosti (Kuang, 1996). Na primer:

- V primeru državne geodetske mreže so zahtevani določeni koncepti idealne mreže. Ti idealni kriteriji natančnosti lahko temeljijo na teoretičnih rezultatih, na homogeni in izotropni mreži (Taylor-Karmanova struktura) ali so določeni na podlagi empiričnih študij z realnimi mrežami.
- Če definiramo geodetsko mrežo za zakoličevanje inženirskih objektov, za kontroliranje izkopa predora, spremljanje premikov v bližini in na energetskih objektih, veljajo posebne zahteve. Natančnost določene funkcije se nanaša na točno določene točke ali skupino točk, ki morajo zadostiti določenim, predhodno nastavljenim vrednostim. V primeru, da pa želimo, da specifična mreža, ki jo obravnavamo, izpolnjuje zahteve mreže za splošne namene, uporabimo za postopek optimizacije enake kriterije, kot veljajo za splošen namen mreže (npr. če zahtevamo, da želena natančnost zagotovi homogenost in izotropnost za vse točke v mreži). Temu primerno tvorimo tudi ustrezno matriko kriterija.

Poleg matrike kriterija, kot ene izmed globalnih mer natančnosti, poznamo pri optimizaciji projekta geodetske mreže še preostale kriterije natančnosti. Zaradi širokega spektra možnosti uporabe in zahtev po natančnosti je težko nedvoumno definirati skupna merila natančnosti. Običajno se definirana merila delijo na lokalna, nanašajo se na posamezne točke mreže in globalna, ki se nanašajo na kvaliteto mreže kot celote. Tako lokalni kot globalni kriteriji natančnosti izhajajo iz variančno-kovariančne matrike neznank (Ninkov, 1989).

Katerikoli kriterij natančnosti (matrika kriterija ali skalarna funkcija) mora zadovoljiti želje uporabnikov mreže (investitor želi določeno natančnost) (Kuang, 1996).

8 OPTIMIZACIJA GEODETSKE MREŽE

Erik W. Grafarend (1985) v uvodu zbirke strokovnih člankov z naslovom *Optimization and Design of Geodetic Networks* uporabi slavne besede Gottfrieda Wilhelma Leibniza, "The aim of princes and philosophers is to improve.", kar v prevodu pomeni: "Cilj princev in filozofov je napredovati.". G. W. Leibniz, ustanovitelj matematične teorije maksimuma, minimuma in optimuma je izpeljal pojem optimizacija iz latinske besede *optimus*, ki pomeni bolj ali manj najboljši. Optimalno načrtovanje geodetskih mrež je zagotovo primerno in praktično geodetsko orodje.

Optimizacija pomeni minimiziranje ali maksimiziranje objektivne ciljne funkcije, ki predstavlja določen kriterij kvalitete mreže. V fazi načrtovanja ali optimizacije obstoječe mreže se je potrebno odločiti glede tipa meritev, najprimernejšega instrumentarija in ostalega, kar vpliva na oceno najverjetnejših vrednosti parametrov in doseg želenih kriterijev.

Postopek optimizacije nam da rešitev optimalne mreže, z drugimi besedami, poišče niz meritev, ki zadovoljijo postavljene zahteve, z minimalnimi stroški. Na področju kriterija natančnosti je bil storjen velik napredek, s tem pa se je razjasnilo tudi, da na zahtevano natančnost mreže vplivata dva ključna dejavnika, to sta namen mreže in metoda optimizacije (Cross, 1985).

Optimizacija geodetske mreže je sestavni del večine projektov geodetskega inženiringa. Napredek pri načrtovanju optimalnih mrež se je pojavil z uvedbo homogene in izotropne matrike kriterija (Grafarend in Schaffrin, 1979; Schaffrin, 1985). Metoda z uporabo matrike kriterija temelji na geometriji točk v mreži. Od tod sledi, da na končno mrežo vplivajo zgolj in samo geometrijski odnosi med točkami. Matriko kriterija lahko opišemo s Taylor-Karmanovo strukturo, ki je definirana z variančno-kovariančno matriko med dvema točkama (Bae, Kwon, Hong, 2011).

Za postopek optimizacije mreže, namenjene spremljanju premikov, je potrebno poznati namen mreže, kateremu bo služila. Gre za vprašanje, kateri deformacijski parametri se določajo, ob predpostavki, da je deformacijski model znan. Ob načrtovanju geodetske mreže deformacijski model po navadi ni popolnoma določen. Od tod sledi, da konstrukcija deformacijskega modela načeloma temelji na študiji fizičnih lastnosti objekta (deterministično modeliranje) (Kuang, 1996). Nato moramo definirati stroške izvedbe in kriterije kvalitete mreže, kamor uvrščamo natančnost, zanesljivost in občutljivost mreže.

Izračuni optimizacije se začnejo z osnovnim projektom, določenim s približnimi koordinatami točk in geodetskimi meritvami s pripadajočimi približnimi utežmi. Vključimo lahko vse možne meritve, uteži so lahko poljubne. V mreži z začetnimi položaji točk in privzetimi približnimi utežmi meritev, iščemo optimalne spremembe koordinat točk in optimalne spremembe uteži. Postopek izvajamo z optimizacijskim modelom iterativno ali brez ponavljanja, z direktno metodo. Vse meritve, ki dobijo negativno vrednost uteži, izključimo iz začetnega projekta. Za meritve, ki dobijo smiselne optimalne uteži, lahko izberemo instrument, s katerim bomo merili. Izberemo ga torej glede na zahtevano natančnost, izračunano iz optimalnih uteži.

8.1 Razvrstitev nalog optimizacije

Optimizacija geodetskih mrež je v strokovni literaturi razvrščena v različne rede. Delitev na rede je izvedena glede na dane (konstantne) in iskane (proste) parametre Gauß-Markovega modela. Delitev optimizacije (Teke, Yalçınkaya, Konak, 2008):

- optimizacija ničelnega reda,
- optimizacija prvega reda,
- optimizacija drugega reda in

- optimizacija tretjega reda.

Optimizacija ničelnega reda (angl. *zero-order design*) določi optimalen referenčni koordinatni sistem. Pomembnejša je optimizacija prvega reda (angl. *first-order design*), ki določi optimalno obliko mreže, optimizacija drugega reda (angl. *second-order design*), ki določi optimalno porazdelitev uteži meritev v mreži in optimizacija tretjega reda (angl. *third-order design*), ki z dodajanjem meritev izboljša obstoječo mrežo. Kadar hkrati rešujemo prvi in drugi red optimizacije, govorimo o kombinirani optimizaciji (angl. *combined design*) (Schmitt, 1979).

8.2 Postopki reševanja problema optimizacije

Problem optimizacije meritev v geodeziji praviloma naslonimo na posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Posredna izravnavo je primerna zato, ker kot rezultat rešitve problema izravnave pridobimo vektor neznank ter matriko kofaktorjev neznank. Matriko kofaktorjev neznank pri posredni izravnavi izračunamo z izrazom (Mozetič, Stopar, 2008):

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B})^{-1} \quad (8.1)$$

B ... matrika koeficientov enačb popravkov,

P ... matrika uteži meritev,

Q_{ΔΔ} ... matrika kofaktorjev neznank.

Tip inverzije v zgornji enačbi je odvisen od izbranega datuma geodetske mreže (Stopar, 1995), za vpete mreže uporabimo $(\)^{-1}$, za proste pa $(\)^{+}$ (Schmitt, 1985a). Opisno razvrstitev optimizacije iz poglavja (8.1) zapišemo z danimi in iskani parametri, kot je navedeno v preglednici 8.

Preglednica 8: Dani in iskani parametri v različnih redih optimizacije (Schmitt, 1985a)

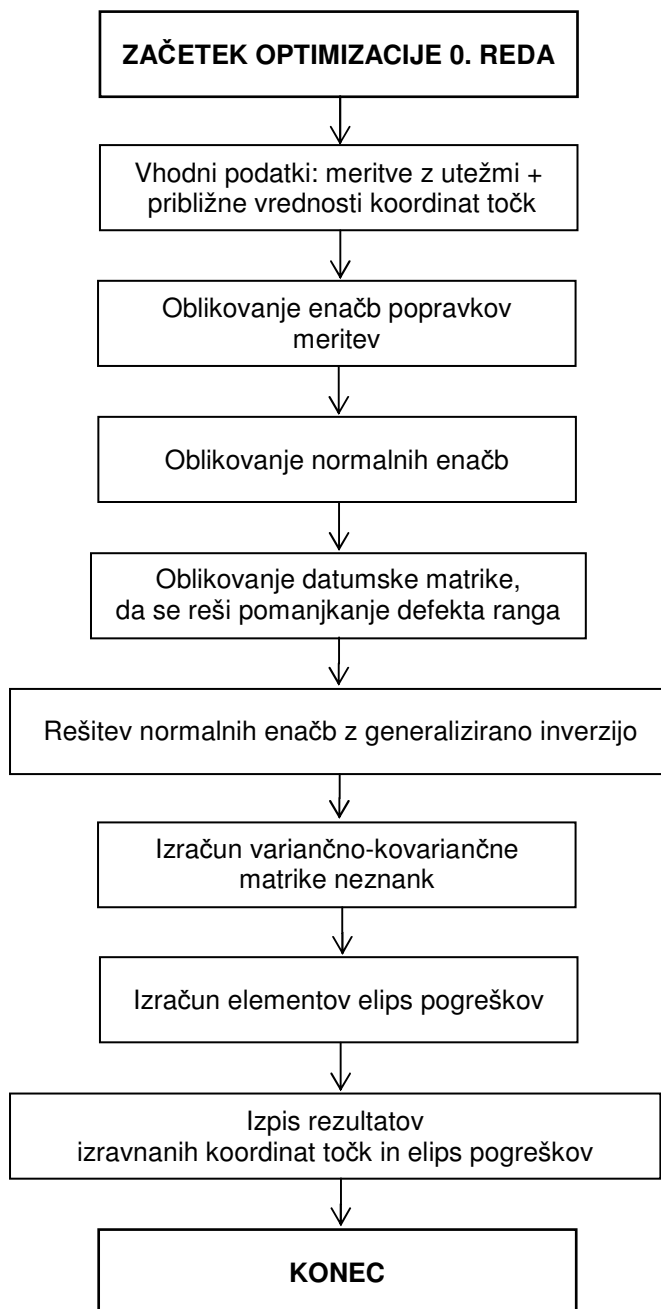
Table 8: Given and free parameters in different optimization orders (Schmitt, 1985a)

Optimizacija	Dani parametri	Iskani parametri
0. red	B, P	$\Delta, \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$
1. red	P, Q_{ΔΔ}	B
2. red	B, Q_{ΔΔ}	P
3. red (1. + 2. red)	Q_{ΔΔ}	B, P (delno)

Prvi red optimizacije omogoča izpolnitev zahtev glede zanesljivosti, saj lahko meritve iz načrta meritev izbiramo z vidika medsebojnega nadziranja. Drugi red optimizacije zahteva zlasti optimizacijo natančnosti meritev v mreži, z uravnoteženjem natančnosti načrtovanih meritev. Zmanjšanje stroškov, v primerjavi z drugimi cilji, je mogoče razumeti kot problem, ki je odvisen od rezultatov prvega in drugega reda optimizacije (Schmitt, 1985a).

8.2.1 Optimizacija ničelnega reda

Projekt ničelnega reda predstavlja izbor optimalnega koordinatnega sistema za dane koordinate novih točk in za dano matriko uteži meritev. Najpogosteje se pod optimalno rešitvijo razume izravnava proste geodetske mreže s pomočjo generalizirane inverzije, oziroma z njeno posebno obliko, psevdoinverzijo.



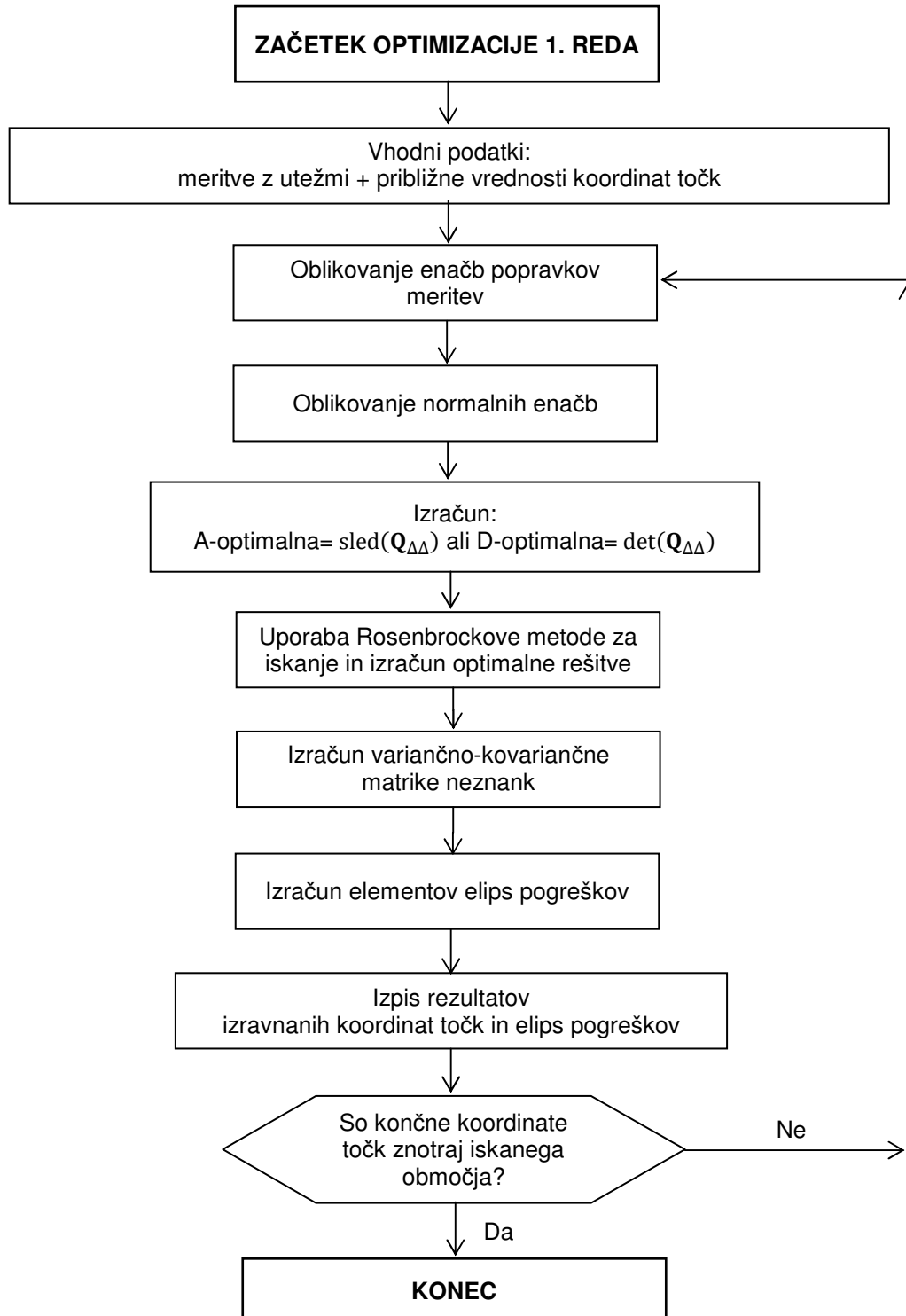
Slika 4: Diagram poteka postopka optimizacije ničelnega reda (Al zubaidy, Mahdi, Hanooka, 2012)

Figure 4: Flowchart of zero-order optimization process (Al zubaidy, Mahdi, Hanooka, 2012)

V optimizaciji ničelnega reda razpolagamo z danimi približnimi koordinatami točk in meritvami s pripadajočimi utežmi. Na podlagi teh podatkov sestavimo matriki \mathbf{B} in \mathbf{P} , iz katerih izračunamo matriko kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ in vektor neznank Δ ter variančno kovariančno matriko neznank, iz katere izračunamo elemente elips pogreškov.

8.2.2 Optimizacija prvega reda

Če imamo dane vse možne meritve z oceno natančnosti, se problem optimizacije prvega reda nanaša na določevanje optimalnih položajev točk mreže.



Slika 5: Diagram poteka postopka optimizacije prvega reda (Al zubaidy, Mahdi, Hanooka, 2012)

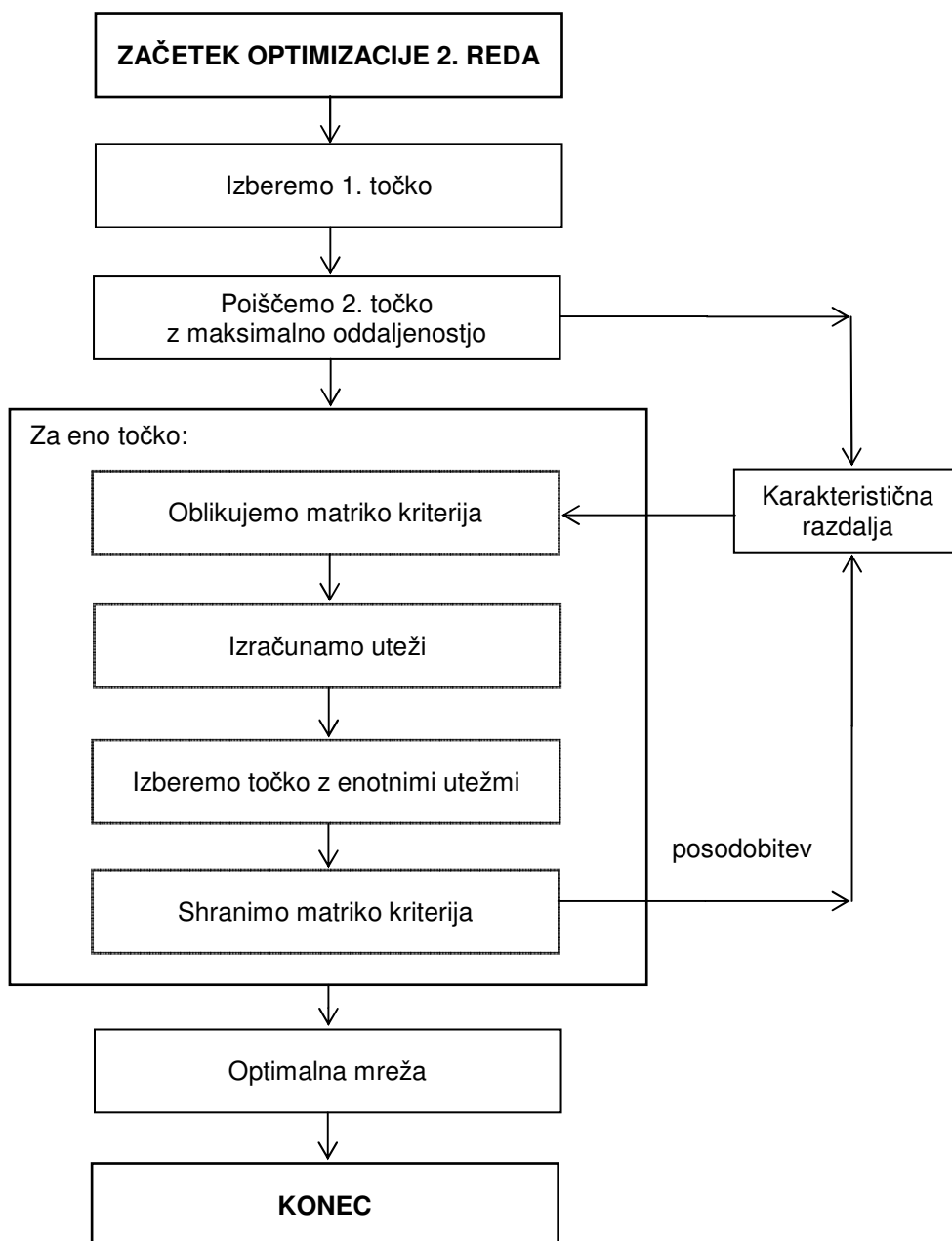
Figure 5: Flowchart of first-order optimization process (Al zubaidy, Mahdi, Hanooka, 2012)

Optimizacija prvega reda poteka na podlagi vhodnih podatkov, ki so dani v matriki \mathbf{P} in $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$. Optimalno geometrijo mreže izračunamo z iskanjem optimalnih položajev novih točk in izbiro

meritev, kar določamo v matriki koeficientov enačb popravkov **B**. Ko pridobimo izravnane koordinate točk, morajo biti le-te znotraj predhodno določenega območja, sicer moramo postopek ponoviti in ponovno oblikovati enačbe popravkov meritev. Rezultat optimizacije prvega reda je optimalna oblika mreže.

8.2.3 Optimizacija drugega reda

Problem optimizacije drugega reda je v geodetskih mrežah označen kot problem iskanja optimalnih uteži meritev, glede na dano razporeditev točk v geodetski mreži in izbrano natančnost določitve koordinat teh točk. Na podlagi izračunanih optimiziranih uteži se odločimo za ustrezno instrumentalno opremo, s katero bomo v geodetski mreži izvajali meritve.



Slika 6: Diagram poteka postopka optimizacije drugega reda (Bae, Kwon, Hong, 2011)
Figure 6: Flowchart of second-order optimization process (Bae, Kwon, Hong, 2011)

Optimizacija drugega reda določi optimalen načrt meritev, če poznamo začetni načrt meritev in določimo želene natančnosti določitve novih točk. Iz približnih vrednosti koordinat točk izračunamo razdalje med vsemi možnimi pari točk in izberemo primerno karakteristično razdaljo mreže. Tvorimo matriko kriterija in na podlagi nje in dane matrike koeficientov enačb popravkov izračunamo matriko uteži, ki vsebuje uteži vseh meritev, ki so bile merjene v začetnem načrtu geodetske mreže. Na podlagi izločitve opazovanj z negativnimi utežmi pridobimo optimalen načrt meritev oziroma optimalno mrežo v smislu načrta meritev.

Optimizacijo drugega reda delimo v dve skupini:

- V prvi skupini geodetsko mrežo optimiziramo na podlagi skalarnih meril natančnosti tako, da določamo funkcije neznank, ki jih lahko minimiziramo ali maksimiziramo. Govorimo zlasti o metodah linearnega in nelinearnega programiranja (Stopar, 1995).
- V drugi skupini določamo vrednosti elementov matrike uteži \mathbf{P} , ko imamo dani matriko koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in variančno-kovariančno matriko neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ oziroma matriko kriterija. Metod optimizacije drugega reda na osnovi matrike kriterija je več, z enimi izračunamo polno, z drugimi pa diagonalno matriko uteži (Kuang, 1996).

Rezultati metode direktne rešitve so odvisni od tega, kako kakovostno uspemo aproksimirati matriko kriterija. Zahtevana natančnost neke mreže je tako lahko v celoti izračunana v naprej, glede na definirano matriko kriterija, ki optimalno izpolnjuje želeno natančnost koordinat točk geodetske mreže (Teke, Yalçinkaya, Konak, 2008).

Schmitt (1985b, cit. po Schmitt 1981) je predlagal, da se optimizacija drugega reda uporablja v treh korakih:

- Začetnemu načrtu meritev, ki vključuje vse možne meritve, izračunamo uteži meritev.
- Zmanjšamo načrt meritev na podlagi kriterijev natančnosti, zanesljivosti ali stroškov:
 - izločimo tiste meritve, ki imajo negativne uteži (če upoštevamo kriterij natančnosti),
 - izločimo tiste meritve, ki imajo majhno število nadštevilnosti in so posledično nezanesljive (če upoštevamo kriterij zanesljivosti),
 - izločimo tiste meritve, ki zahtevajo visoke stroške izvedbe (če upoštevamo kriterij stroškov).
- Zmanjšan načrt meritev ponovno optimiziramo. Postopek ponavljamo, dokler nismo zadovoljni z načrtom meritev, glede na zastavljene kriterije.

Glavni poudarek te naloge je optimizacija drugega reda, ki smo jo uporabili na obstoječih dvodimenzionalnih kontrolnih mrežah, v smislu kriterija natančnosti z metodo direktne rešitve.

8.2.4 Optimizacija tretjega reda

Projekt tretjega reda lahko definiramo kot proces zgotovitve ali razredčitve obstoječih mrež, z dodajanjem novih točk, dodatnih meritev ali obojim. V splošnem ta postopek razumemo kot kombinacijo optimizacije prvega in drugega reda. V skladu s klasifikacijo osnovnih parametrov postopka izravnave po metodi najmanjših kvadratov, pri optimizaciji tretjega reda izhajamo iz dane matrike kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ in delno proste matrike koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matrike uteži \mathbf{P} . Za reševanje problema optimizacije tretjega reda je razvitih relativno malo metod, večina od njih pa temelji na simulacijskem postopku (Ninkov, 1989).

8.3 Metode optimizacije

Poseben problem, s katerim se metode optimizacije ukvarjajo in ga rešujejo, je izbira primernih meril kakovosti geodetske mreže, na osnovi katerih lahko dobimo vpogled v uspešnost optimizacije. Merilo natančnosti se najpogosteje pojavlja kot mera uspešnosti načrtovanja geodetske mreže. Zelo pogosto se kot kriterij kvalitete geodetske mreže pojavlja tudi kriterij zanesljivosti dobljenih rezultatov. Kriterij ekonomičnosti del v geodetski mreži se kot kriterij kvalitete geodetske mreže v literaturi zelo redko pojavlja, saj je nasprotujoč kriteriju natančnosti in kriteriju zanesljivosti, najverjetneje, na žalost, zaradi zelo nizkih cen geodetskih storitev.

Prej omenjeni kriteriji se lahko izrazijo s pomočjo različnih parametrov geodetskih mrež. Največjo praktično vrednost imajo invariantni (neodvisni) kriteriji, ki so povezani z datumom geodetske mreže. Eden takšnih, pogosto uporabljen, je izražen s pomočjo lastnih vrednosti matrike kofaktorjev neznanih parametrov $Q_{\Delta\Delta}$. Matrika $Q_{\Delta\Delta}$ predstavlja izčrpen vir informacij kvalitete geodetske mreže. Pri reševanju optimizacije z uporabo metode direktne rešitve se začne z a priori definirano matriko kriterija, ki izpolnjuje v naprej definirano kvaliteto mreže. V tem primeru se po navadi z izračuni doseže zelena kvaliteta mreže, vendar se v praksi pogosto pojavljajo problemi povezani z nezmožnostjo izvedbe načrta merjenja.

Največje število geodetov, ki so delali študije na področju optimizacije, se je ukvarjalo z razvojem metod za določanje optimalnih uteži načrtovanih meritev, tako da bi mreža izpolnjevala v naprej definirane kriterije (standardna deviacija koordinat točk mreže, skupni strošek dela in sredstev, itd.) (Ninkov, 1989). Metode optimizacije geodetskih mrež so bile najprej enostavne, skoraj primitivne, z odkritji kompleksnih matematičnih operacij in razvojem računalništva pa so postale bolj dodelane in so omogočale hitrejši izračun zanesljivih rezultatov. Razvrstitev metod optimizacije geodetskih mrež:

- metoda s poskušanjem,
- analitične metode:
 - simpleks metoda,
 - linearno programiranje,
 - nelinearno programiranje,
- aproksimacijske metode:
 - direktna aproksimacija matrike kriterija,
 - iterativna aproksimacija matrike kriterija,
 - metoda direktne rešitve,
- nove metode.

Med prvimi je bila razvita **metoda s poskušanjem**. Lahko bi rekli, da gre za enostavno metodo, primerno za optimizacijo prvega, drugega in tretjega reda. Metodo s poskušanjem (angl. *trial and error*) imenujemo tudi "računalniška simulacija". Pri tej metodi je rešitev problema največkrat izračunana na podlagi podanih zahtev glede natančnosti, zanesljivosti in stroškov. V primeru, da kateremu od teh kriterijev ni zadoščeno, se postavi nova zahteva (običajno z minimalno spremembo prvotne zahteve) in se opravi ponovni izračun, z novimi kriteriji. Postopek se ponavlja dokler ni dosežena optimalna mreža. Zahteve po navadi poda izkušen geodet, ki ima izkušnje s področja načrtovanja mrež (Cross, 1985). Ta metoda se uporablja že okoli 40 let. Njena glavna prednost je, da lahko izbiramo poljubne kriterije natančnosti in zanesljivosti, da pridemo do optimalne mreže. Prav tako ni nujno, da te kriterije oblikujemo v strogo matematično formulacijo, kar je nepogrešljivo, ko uporabljamo izključno analitične rešitve.

Bistvo **analitičnih metod** je zahtevanje a priori variance in kovariance v obliki matrike kriterija. Matrika kriterija lahko vsebuje kriterije glede natančnosti, zanesljivosti in ekonomičnosti geodetske mreže. V nasprotju z metodo s poskušanjem nudijo analitične

metode posebne algoritme za rešitev posameznega problema, ki ne vsebujejo človekovega posredovanja. Izraz analitičen način se uporablja za opis metode, ki reši konkreten problem mreže z uporabo posebnih matematičnih korakov. V bistvu takšen algoritem avtomatsko proizvede mrežo, ki zadovolji kriterije, ki jih je podal uporabnik in predstavlja optimum v matematičnem smislu. Nekateri geodeti so skušali razviti analitične algoritme za reševanje prvega reda optimizacije (npr. Koch). Največji napredek do danes pa je bil storjen na področju reševanja problema optimizacije drugega reda. V tem smislu je Baarda predlagal matriko kriterija, ki se najbolj približa dejanski variančno-kovariančni matriki ocenjenih parametrov. Na kratko predstavimo tri glavne kategorije analitičnih metod:

- Simpleks metoda ali metoda najmanjših zaporednih kvadratov je procedura, ki se giblje od ene do druge ekstremne točke k boljšemu cilju (Seemkooei, 1998). S to metodo ugotavljamo ali je izvedljivo območje prazno in ali je optimalna rešitev neomejena. V praksi metoda šteje zgolj majhna območja ekstremnih točk v izvedljivem območju. V večini praktičnih problemov so spremenljivke po navadi omejene.
- Eden od načinov, kako se izogniti negativnim utežem, je, da uporabimo linearno programiranje (angl. *linear programming*). Izraz linearno programiranje se uporablja za opis področja matematike, ki se ukvarja s problemi, ki vključujejo optimizacijo linearnih funkcij (Seemkooei, 1998). Z uporabo te metode skušamo najti takšno rešitev za \mathbf{p} v enačbi $(\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T)\mathbf{p} = \mathbf{q}$, da bo mreža imela variančno-kovariančno matriko ocenjenih parametrov, ki bo v določenem smislu boljša kot matrika kriterija. Mreža je prisiljena k izpolnjevanju kriterijev iz projekta, če so v variančno-kovariančni matriki zahtevane manjše variance, kot tiste v matriki kriterija in obratno.
- V matematičnem smislu je nelinearno programiranje (angl. *non-linear programming*) proces reševanja problema optimizacije, definirane s sistemom enakosti in neenakosti, t.i. vezi in niza neznanih realnih spremenljivk, skupaj z objektivno funkcijo, ki se minimizira ali maksimizira. Pri tem pa so nekatere vezi ali ciljna funkcija nelinearne (https://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear_programming).

Rešitve optimizacije drugega reda, ki omogočajo najboljšo aproksimacijo matrike kriterija lahko združimo v tri osnovne **aproksimacijske metode**:

- Direktna aproksimacija matrike kriterija je ena od metod, ki ni izvedljiva s praktičnimi meritvami in je neuporabna za realne probleme optimizacije.
- Iterativna aproksimacija matrike kriterija je bila raziskovana s strani Wimmerja, ki je predlagal metodo z izboljšanjem osnovnega matematičnega izreka optimizacije drugega reda tako, da bi preprečil invertiranje matrike kriterija (Seemkooei, 1998).
- Metoda direktne rešitve bo podrobno predstavljena v poglavju (8.4).

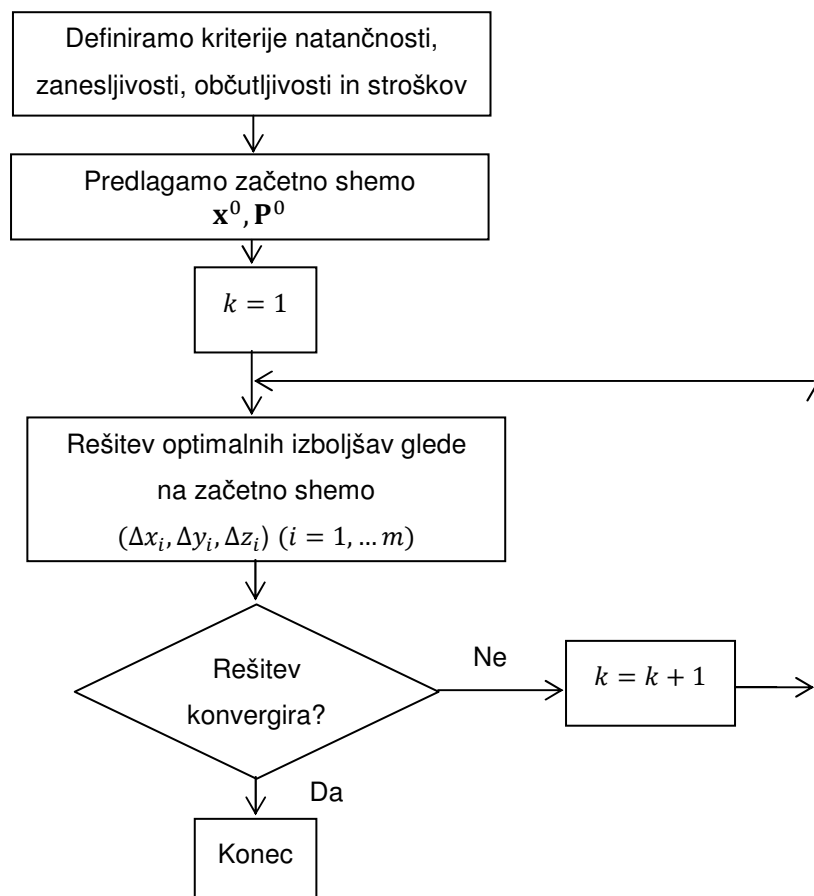
V zadnji skupini metod optimizacije so t.i. **nove metode**. Na kvaliteto geodetske mreže vplivamo s kriteriji natančnosti, zanesljivosti in stroškov. Mreže so lahko projektirane kot zelo natančne, hkrati pa niso zanesljive in obratno. Ker gre za različne kriterije, v splošnem mreža, ki zadovoljuje največjo natančnost in visoko zanesljivost hkrati, nujno ne obstaja oziroma je ni možno izvesti s količino sredstev, ki jih imamo na razpolago. Na razpolago imamo dva pristopa:

- Enociljni model optimizacije (angl. *single-objective optimization*) stremi k optimizaciji zgolj enega kriterija kvalitete mreže. V preglednici 9 so podani najpogostejši primeri tega koncepta (Kuang, 1991).

Preglednica 9: Enociljni modeli optimizacije (Kuang, 1991)
Table 9: Single-objective optimization (Kuang, 1991)

1. primer	$\alpha_N \rightarrow \infty \Rightarrow$ natančnost = maksimalna
	zanesljivost \leq konstantna, stroški \leq konstantni Natančnost je optimizirana, medtem ko moramo nadzirati zanesljivost in stroške.
2. primer	$\alpha_Z \rightarrow \infty \Rightarrow$ zanesljivost = maksimalna
	natančnost \leq konstantna, stroški \leq konstantni Zanesljivost je optimizirana, medtem ko moramo nadzirati natančnost in stroške.
3. primer	$\alpha_S \rightarrow \infty \Rightarrow$ stroški = minimalni
	natančnost \geq konstantna, zanesljivost \geq konstantna Stroški so optimizirani, medtem ko moramo nadzirati natančnost in zanesljivost.

- Večciljni model optimizacije (angl. *multi-objective optimization*) se nanaša na rešitev več ciljev problema optimizacije in je vzpostavljen na konceptu idealne točke (angl. *ideal point*), kjer le-ta predstavlja:
 - optimalni kriterij natančnosti,
 - optimalni kriterij zanesljivosti,
 - optimalni kriterij stroškov.



Slika 7: Diagram postopka večciljne optimizacije geodetske mreže (Kuang, 1996)
Figure 7: Flowchart of multiobjective optimization process of geodetic network (Kuang, 1996)

Ta model skuša minimizirati razlike med natančnostjo, zanesljivostjo in stroški ob upoštevanju fizičnih in drugih omejitev pri izdelavi ali spremembi projekta geodetske mreže.

Mreža mora biti torej projektirana tako, da ima dobro natančnost (lahko dosežemo zahtevano natančnost koordinat točk), visoko zanesljivost (je robustna glede na grobe pogoške v meritvah) in nizke stroške izvedbe. Od tod sledi ciljna funkcija, ki ob primerni izbiri uteži koeficientov $\alpha_N, \alpha_Z, \alpha_S$ združuje cilje večciljne optimizacije:

$$\alpha_N (\text{NATANČNOST}) + \alpha_Z (\text{ZANESLJIVOST}) + \alpha_S^{-1} (\text{STROŠKI}) = \text{maksimalno}$$

Če pustimo enemu od koeficientov, da gre v neskončnost, dobimo nekaj ekstremnih primerov ciljne funkcije, ki vodijo v enociljno optimizacijo (Kuang, 1996).

8.4 Metoda direktne rešitve

Z metodo direktne rešitve, ki jo imenujemo tudi direktna aproksimacija inverzne matrike kriterija, skušamo v najboljši meri aproksimirati inverzno matriko kriterija. Celoten praktičen del magistrskega dela temelji na uporabi te metode optimizacije, zato jo bomo predstavili podrobneje. Osnovna enačba drugega reda optimizacije, s katero vzpostavimo povezavo med normalnimi enačbami in matriko kriterija, je (Ninkov, 1989):

$$\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} = \mathbf{C}_{\Delta}^+, \quad (8.2)$$

kjer je:

\mathbf{B} ... matrika koeficientov enačb popravkov [$n \times u$],

\mathbf{P} ... matrika uteži meritev [$n \times n$],

\mathbf{C}_{Δ} ... matrika kriterija [$u \times u$],

$^+$... simbol psevdoinverzije.

Linearni sistem enačbe direktne aproksimacije inverzne matrike kriterija zapišemo:

$$(\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T) \mathbf{p} = \mathbf{q}, \quad (8.3)$$

kjer je:

$\mathbf{p} = \text{vecd}(\mathbf{P})$... vektor uteži meritev [$n \times 1$], $\mathbf{p}^T = (p_1, p_2, \dots, p_n)$,

$\mathbf{q} = \text{vech}(\mathbf{C}_{\Delta}^+)$... vektorizirana matrika kriterija $\left[\frac{u(u+1)}{2} \times 1 \right]$, $\mathbf{q}^T = (q_{11} \dots q_{1u}, q_{22} \dots q_{2u}, \dots, q_{uu})$,

\odot ... simbol Khatri-Rao produkta,

n ... število meritev,

u ... število neznank.

Rešitev gornje enačbe v splošnem zapišemo:

$$\mathbf{p} = (\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T)^+ \mathbf{q}. \quad (8.4)$$

Pomembno je poudariti, da v praksi uteži ne izračunamo kar direktno po tej enačbi, ampak moramo pred tem uporabiti določene računske operacije.

8.4.1 Khatri-Rao produkt

V postopku optimizacije moramo izračunati Khatri-Rao produkt matrik koeficientov enačb popravkov \mathbf{U} , kar storimo na sledeč način:

$$\mathbf{U} = (\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T), \quad (8.5)$$

kjer je:

\mathbf{U} ... Khatri-Rao produkt matrik koeficientov enačb popravkov [$u^2 \times n$].

Izkaže se, da v Khatri-Rao produktu $(\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T)$ v enačbi (8.5) nastopajo produkti, ki odgovarjajo simetričnim elementom v inverzni matriki kriterija, zato moramo iz matrike \mathbf{U} izločiti $\frac{u(u-1)}{2}$ ustreznih vrstic, ki odgovarjajo simetričnim elementom v inverzni matriki kriterija dvakrat. Rešitev sistema ostane enaka. Tako nam v reducirani matriki \mathbf{U}_r ostane $\frac{u(u+1)}{2}$ vrstic. Velikost reducirane matrike \mathbf{U}_r znaša torej $\left[\frac{u(u+1)}{2} \times n \right]$.

Sistem linearnih enačb po izločitvi ustreznih vrstic lahko zapišemo sedaj kot:

$$(\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T) \mathbf{p} = \mathbf{U}_r \mathbf{p} = \mathbf{q}. \quad (8.6)$$

Pripravili smo si vse količine za izračun uteži meritev. Rešiti je potrebno sistem, ki nima enolične rešitve in ga zapišemo sledeče:

$$\mathbf{U}_r \mathbf{p} = \mathbf{q}. \quad (8.7)$$

V splošnem nastopajo trije slučajji oziroma načini rešitve. Predhodno izračunamo rang reducirane matrike $\text{rang}(\mathbf{U}_r) = s$ in se odločimo kako bomo rešili sistem linearnih enačb.

- 1) **S katerokoli metodo reševanja sistemov linearnih enačb** lahko sistem linearnih enačb rešimo, ko velja $s = u$:

$$\mathbf{p} = \mathbf{U}_r^{-1} \mathbf{q}. \quad (8.8)$$

- 2) **Po metodi najmanjših kvadratov** dobimo primerno rešitev z rešitvijo sistema linearnih enačb, ko imamo sistem linearnih enačb, v katerem je število enačb večje od števila neznank. Sistem je nezdružljiv oziroma predoločen, ker velja $s > u$:

$$\mathbf{p} = \mathbf{U}_r^T \mathbf{U}_r (\mathbf{U}_r^T \mathbf{U}_r \mathbf{U}_r^T \mathbf{U}_r)^{-1} \mathbf{U}_r^T \mathbf{q} \text{ oziroma } \mathbf{p} = \mathbf{U}_r^+ \mathbf{U}_r^T \mathbf{q} = (\mathbf{U}_r^T \mathbf{U}_r)^{-1} \mathbf{U}_r^T \mathbf{q}. \quad (8.9)$$

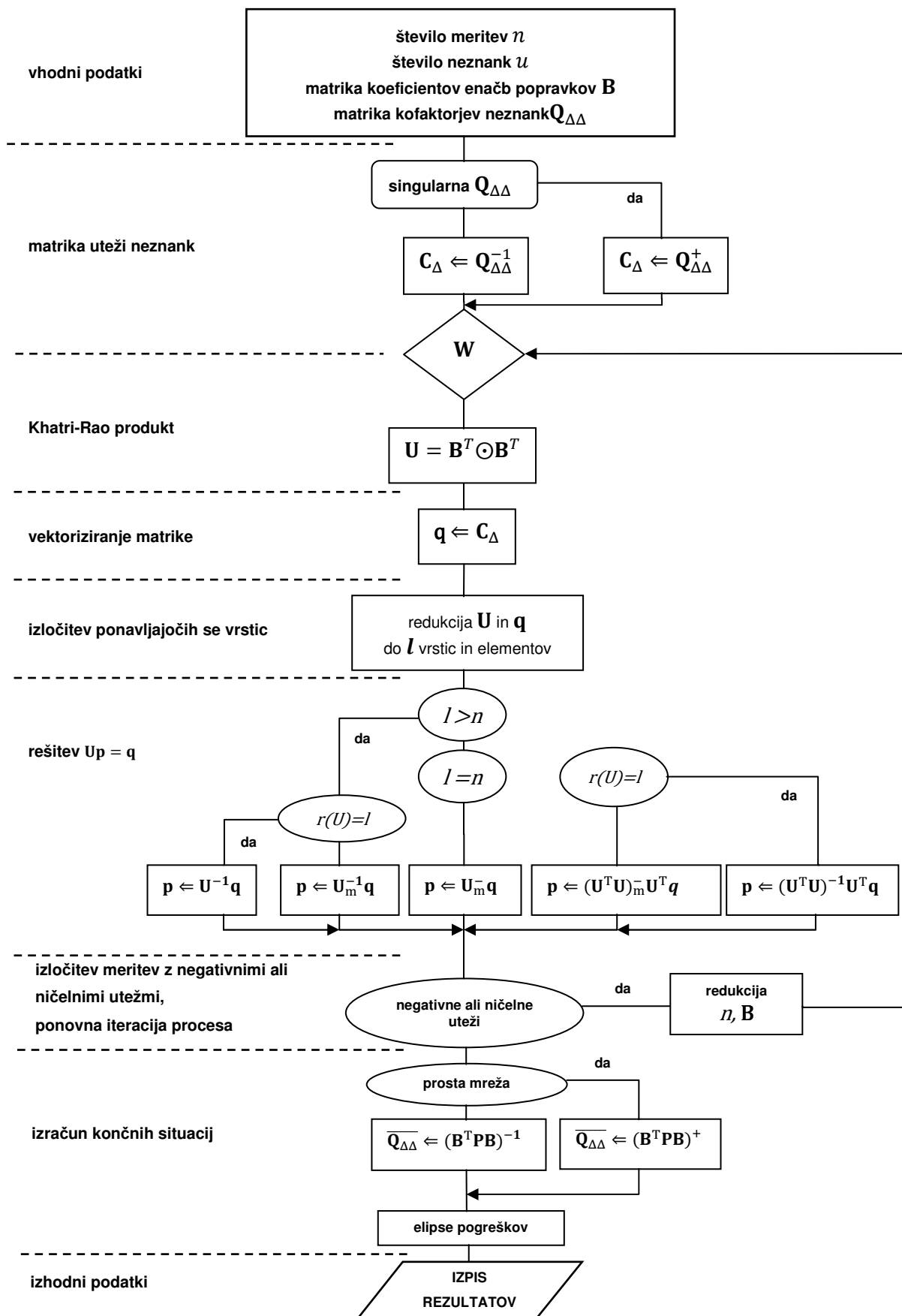
kjer je \mathbf{U}_r^+ Moore-Penrosova inverzija matrike (Priloga A).

- 3) **S psevdoinverzijo** dobimo primerno rešitev, ko imamo sistem linearnih enačb, v katerem je rang matrike sistema manjši od števila neznank, $s < u$:

$$\mathbf{p} = \mathbf{U}_r^T (\mathbf{U}_r \mathbf{U}_r^T) \mathbf{q} = \mathbf{U}_{rm}^- \mathbf{q}, \quad (8.10)$$

kjer je \mathbf{U}_{rm}^- g-inverzija z rešitvijo z minimalno normo.

Meritve, katerih uteži so negativne, moramo odstraniti iz plana meritev, saj ne služijo objektivni funkciji (matriki kriterija). Ta proces se nadaljuje, dokler niso vse uteži pozitivne.



Slika 8: Diagram poteka metode direktne rešitve optimizacije drugega reda (Schmitt, 1979)
Figure 8: Flowchart of direct solution of second-order optimization process (Schmitt, 1979)

8.5 Vrste meritev v optimizaciji geodetskih mrež

Glede na to, da v magistrskem delu obravnavamo klasične terestrične dvodimenzionalne mreže, bomo v tem poglavju navedli optimizacijo tistih meritev, ki se v takšnih mrežah izvajajo.

8.5.1 Optimizacija dolžin

Matrika \mathbf{B} vsebuje koeficiente lineariziranih enačb, ki podajajo zvezo med merjenimi dolžinami in koordinatami točk v geodetski mreži. V matriko \mathbf{B} prispeva vsaka merjena dolžina eno vrstico, ki jo med novima točkama P in S zapišemo (Stopar, 1995):

$$\mathbf{b}_i^T = [0 \quad \dots \quad 0 \quad y_P \quad x_P \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad y_S \quad x_S \quad 0 \quad \dots \quad 0], \quad (8.11)$$

kjer je:

ϕ_i ... smerni kot iz točke P proti točki S .

Za merjene dolžine sestavimo matriko \mathbf{B} in matriko Khatri-Rao produkta ($\mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T$) ter pridobimo vrednosti uteži predvidenih merjenih dolžin. Prvi korak predstavljajo ocenjene vrednosti uteži, drugi korak predstavljajo utežem dodeljene ustrezne vrednosti standardnih deviacij meritev σ_{d_i} . Vrednost standardne deviacije posamezne meritve σ_{d_i} je določena na osnovi zahtevane standardne deviacije koordinat točk σ_0 , ki je dejansko referenčna standardna deviacija, ki pa zagotavlja kovariančno matriko, skupaj z matriko kofaktorjev. (Stopar, 1995). Imamo torej:

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{d_i}^2} \quad (8.12)$$

oziroma:

$$\sigma_{d_i} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{p_i}}. \quad (8.13)$$

Poleg tega določimo standardno deviacijo posamezne dolžine tudi na podlagi tehničnih lastnosti razdaljemera, ki ga nameravamo uporabiti. Če se ocenjena standardna deviacija σ_{d_i} ne razlikuje bistveno od standardne deviacije, določene na podlagi tehničnih lastnosti razdaljemera, lahko standardne deviacije zmanjšamo z ustreznim številom meritev. Utež aritmetične sredine $p_{\bar{a}}$ je namreč enaka vsoti uteži posameznih meritev:

$$p_{\bar{a}} = \sum_{i=1}^n p_{d_i} \quad (8.14)$$

oziroma standardna deviacija aritmetične sredine meritev $\sigma_{\bar{a}}$ je enaka:

$$\sigma_{\bar{a}} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{p_{\bar{a}}}} \quad (8.15)$$

Če je s postopkom optimizacije določena vrednost uteži posamezne dolžine bistveno manjša od natančnosti predvidenega instrumenta, izberemo instrument, ki s svojimi tehničnimi lastnostmi ustreza postavljeni zahtevi.

8.5.2 Optimizacija smeri

Obravnavanje smeri v optimizaciji geodetskih mrež je glede na dolžine bistveno bolj problematična. Težave lahko v splošnem razvrstimo v dve skupini (Stopar, 1995):

- neznanke v modelu, ki niso koordinatne neznanke, predstavljajo velik problem za matriko kriterija, ker lahko zadovoljivo sestavimo samo matriko kriterija koordinatnih neznank,
- dodeljevanje različnih uteži vsaki posamezni smeri, kar je običajen rezultat optimizacije drugega reda, ni smiselno, ker je tak rezultat v praksi težko uresničljiv.

Problem prisotnosti orientacijskih neznank v modelu rešimo tako, da orientacijske neznanke na primeren način odstranimo iz modela. Smeri, ki naj bi imele enako utež, moramo zbrati v t.i. skupini smeri.

Matrika \mathbf{B} vsebuje koeficiente lineariziranih enačb, ki podajajo zvezo med merjenimi smermi in koordinatnimi neznankami v geodetski mreži. V matriko \mathbf{B} prispeva vsaka merjena smer eno enačbo (vrstico), ki jo med novima točkama P in S zapišemo (Stopar, 1995):

$$\mathbf{b}_i^T = \left[0 \quad \dots \quad 0 \quad y_P \quad x_P \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad y_S \quad x_S \quad 0 \quad \dots \quad 0 \right] \quad (8.16)$$

$$\left[\cos\phi_i \frac{\rho''}{d_{PS}} \quad -\sin\phi_i \frac{\rho''}{d_{PS}} \quad -\cos\phi_i \frac{\rho''}{d_{PS}} \quad \sin\phi_i \frac{\rho''}{d_{PS}} \right]$$

kjer je:

ϕ_i ... smerni kot iz točke P proti točki S ,
 d_{PS} ... razdalja med točkama P in S .

Za odstranitev orientacijske neznanke do_j iz modela, uporabimo Gaußovo eliminacijo metode reševanja sistema linearnih enačb. Z odstranitvijo orientacijske neznanke do_j iz sistema enačb, pridobimo reducirani sistem linearnih enačb. Če smo odstranili orientacijsko neznanke na vseh stojiščih, pridobimo reducirano matriko koeficientov enačb popravkov $\bar{\mathbf{B}}$ (Stopar, 1995).

Za izpolnitev zahteve enakih uteži za n smeri merjenih na j -tem stojišču, moramo sestaviti $n - 1$ vezi, ki naj zagotovijo, da bodo uteži vseh n merjenih smeri enake. Teh $n - 1$ vezi zapišemo:

$$p_{j1} = p_{j2} = \dots = p_{jn} \quad (8.17)$$

oziroma $p_{ji} = p_j$, kjer je p_j utež merjenih smeri na j -tem stojišču.

Sistem linearnih enačb, Khatri-Rao produkta (8.3) v splošnem nima enolične rešitve, zato vrednosti uteži najpogosteje ocenimo z metodo najmanjših kvadratov. Za izpolnitev zgornje vezi, moramo torej poleg normalnih enačb sestaviti še $(n - 1)$ veznih enačb. Na ta način pridobimo pristransko oceno za vektor uteži \mathbf{p} , ker mora vektor ocenjenih vrednosti uteži izpolniti še dodatno postavljene zahteve (Stopar, 1995).

Namesto uvajanja dodatnih veznih enačb, lahko združimo vse merjene smeri na enem stojišču, za katere želimo pridobiti enake uteži p_j v vektor uteži \mathbf{p} .

Če imamo reducirano matriko $\bar{\mathbf{B}}$, dimenzij $(n \times u)$:

$$\bar{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \bar{b}_{11} & \cdots & \bar{b}_{1u} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{b}_{n1} & \cdots & \bar{b}_{nu} \end{bmatrix}, \quad (8.18)$$

kjer so \bar{b}_{ij} reducirani koeficienti in vektor uteži \mathbf{p} , ki naj izpolni zahtevo za j med seboj enakih uteži p_j , dobimo reducirani Khatri-Rao produkt $(\bar{\mathbf{B}}^T \odot \bar{\mathbf{B}}^T)$ in vektor uteži \mathbf{p} oblike:

$$(\bar{\mathbf{B}}^T \odot \bar{\mathbf{B}}^T) = \begin{bmatrix} \bar{b}_{11}^2 & \cdots & \bar{b}_{n1}^2 \\ \bar{b}_{11}\bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{n1}\bar{b}_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{b}_{1u}^2 & \cdots & \bar{b}_{nu}^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}. \quad (8.19), (8.20)$$

Če sedaj zapišemo matrično enačbo $(\bar{\mathbf{B}}^T \odot \bar{\mathbf{B}}^T)\mathbf{p} = \mathbf{q}$ v obliki:

$$\begin{bmatrix} \bar{b}_{11}^2 & \cdots & \bar{b}_{n1}^2 \\ \bar{b}_{11}\bar{b}_{12} & \cdots & \bar{b}_{n1}\bar{b}_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{b}_{1u}^2 & \cdots & \bar{b}_{nu}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} \\ q_{12} \\ \vdots \\ q_{uu} \end{bmatrix}, \quad (8.21)$$

lahko zgornjo enačbo zapišemo tudi kot:

$$\begin{array}{ccccccc} \bar{b}_{11}^2 p_1 & + & \cdots & + & \bar{b}_{n1}^2 p_n & = & q_{11} \\ \bar{b}_{11}\bar{b}_{12} p_1 & + & \cdots & + & \bar{b}_{n1}\bar{b}_{n2} p_n & = & q_{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{b}_{1u}^2 & + & \cdots & + & \bar{b}_{nu}^2 p_n & = & q_{uu} \end{array} \quad (8.22)$$

Zapišimo sedaj namesto omenjenih $(n - 1)$ vezi, ki zagotavljajo da bo n uteži enakih p_j , enačbo (8.22) v obliki:

$$\begin{array}{ccccccc} (\bar{b}_{11}^2 & + & \cdots & + & \bar{b}_{n1}^2) p_j & = & q_{11} \\ (\bar{b}_{11}\bar{b}_{12} & + & \cdots & + & \bar{b}_{n1}\bar{b}_{n2}) p_j & = & q_{12} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ (\bar{b}_{1u}^2 & + & \cdots & + & \bar{b}_{nu}^2) p_j & = & q_{uu} \end{array}, \quad (8.23)$$

kar je v matrični obliki:

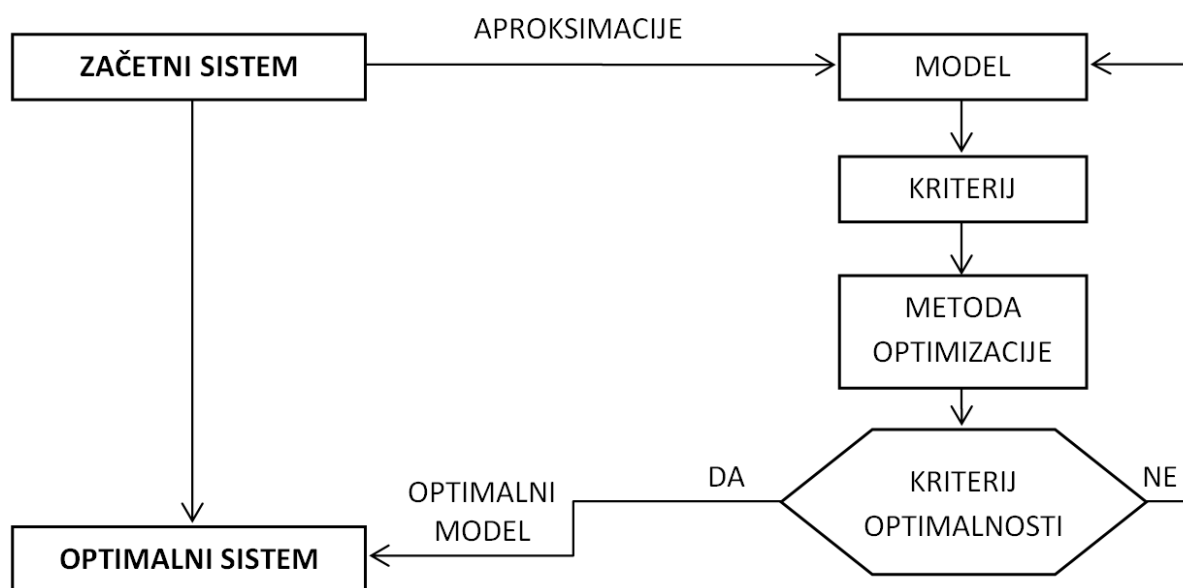
$$\begin{bmatrix} \bar{b}_{11}^2 + \cdots + \bar{b}_{n1}^2 \\ \bar{b}_{11}\bar{b}_{12} + \cdots + \bar{b}_{n1}\bar{b}_{n2} \\ \vdots \\ \bar{b}_{1u}^2 + \cdots + \bar{b}_{nu}^2 \end{bmatrix} [p_j] = \begin{bmatrix} q_{11} \\ q_{12} \\ \vdots \\ q_{uu} \end{bmatrix}. \quad (8.24)$$

Zgornja enačba predstavlja situacijo, ki je enakovredna situaciji po vpeljavi $(n - 1)$ vezi med n uteži. Enako enačbo pridobimo tudi, če vse reducirane koeficiente reducirane matrike koeficientov enačb popravkov $\bar{\mathbf{B}}$, ki se nanašajo na smeri seštejemo v odgovarjajoči vrstici Khatri-Rao produkta $(\bar{\mathbf{B}}^T \odot \bar{\mathbf{B}}^T)$. S tem pridobimo eno samo utež p_j v vektorju uteži \mathbf{p} .

V primeru, ko želimo odstraniti orientacijsko neznanko iz vektorja neznank, ne želimo pa pridobiti enakih uteži merjenih smeri za posamezno stojišče, je postopek nekoliko drugačen kot v zgornjem primeru. Nekoliko drugačen je postopek tudi v primeru optimizacije uteži merjenih kotov (Stopar, 1995).

9 PRAKTIČNI PRIMERI OPTIMIZACIJE GEODETSKIH MREŽ

Optimizacija geodetskih mrež obravnava racionalno merjenje na področju geodezije, kjer ugotavljamo kakšne morajo biti uteži merjenih količin, da je mogoče doseči želeno natančnost rezultatov izravnave. Splošna ugotovitev je, da navkljub velikemu številu razvitih in uporabljenih postopkov, edinstvena rešitev problema optimizacije ne obstaja. V Sloveniji je relativno malo resnejših raziskav te problematike, zato optimizacija geodetskih mrež širši geodetski javnosti ni prav dobro poznana. Glavni razlog, da geodetska podjetja in organizacije nimajo velikega interesa glede možnosti znatnih varčevanj pri času in sredstvih, je predvsem v zadnjem obdobju, v zelo nizki ceni geodetskih storitev. Vseeno pa se prednost optimizacije nahaja v podrobni analizi in študiji širokega področja kriterijev kvalitete geodetskih mrež, ki omogočajo njihovo primerjavo tako v fazi projektiranja, kot po opravljenih izmerah. Glavni vir informacij v optimizaciji geodetskih mrež je variančno-kovariančna matrika ocenjenih neznank geodetske mreže $C_{\Delta} = \sigma^2 Q_{\Delta\Delta}$, saj jo lahko oblikujemo že v fazi načrtovanja mreže. Ker so postopki optimizacije z matematičnimi metodami, s katerimi minimiziramo določene funkcije, ki so neodvisne od koordinatnega sistema mreže, konvergentni (v vsaki naslednji iteraciji dobimo rešitev boljšo od prejšnje), se večina nalog optimizacije rešuje iterativno (Ninkov, 1989). Druga možnost pa je direktna rešitev, do česar pridemo z aproksimacijo najboljše možne matrike kriterija, ki predstavlja predpostavljeno kvaliteto mreže. Kvaliteta dobljenih rezultatov je odvisna od stopnje aproksimacije (enotska, diagonalna, Taylor-Karmanova struktura matrike kriterija). Ne glede na to ali optimizacijo rešujemo na postopen ali direkten način, je potrebno uporabiti metodo, ki bo iz začetnega sistema dala optimalni sistem (Ninkov, 1989).



Slika 9: Algoritem optimizacije (Ninkov, 1989)
Figure 9: Algorithm of optimization (Ninkov, 1989)

Algoritem na sliki 9 prikazuje, da se optimizacija začne z začetnim sistemom, iz katerega se oblikuje odgovarjajoči model. Z uporabo metod optimizacije se iz tega modela pridobi optimalni model, ki zadovoljuje iste kriterije optimalnosti, ki jih mora zadovoljiti tudi želeni optimalni sistem.

9.1 Opis problema

Na obstoječih geodetskih mrežah Libna, Markovci, Melje in Kaste smo izvedli postopek optimizacije drugega reda. Z računalniškim programom, izdelanim v programskem okolju *Matlab*, smo izračunali optimizirane plane meritev za navedene mreže. Obravnavane terminske izmere mrež Libna, Markovci, Melje in Kaste smo najprej izravnali kot proste mreže. Uporabljena je skupna izravnava horizontalnih kotov in dolžin po metodi posrednih meritev, s programom GM2R - GEODETSKA 2D MREZA (Oskar Sterle, 2010/2011). V izravnavi smo poleg meritev in približnih vrednosti koordinat točk mreže obravnavali še dva vhodna parametra, in sicer a priori oceno standardne deviacije utežne enote kota σ_k in a priori oceno standardne deviacije utežne enote dolžin σ_d . Z izravnavo proste mreže si poleg odkrivanja grobih pogreškov zagotovimo izračun objektivne ocene natančnosti meritev v mreži, saj ni vpliva danih količin. Rezultati izravnave so najverjetnejše vrednosti položajnih koordinat točk, ocena natančnosti določitve položaja novih točk (natančnost v smeri koordinatnih osi), elementi elips pogreškov (A, B, θ) ter ocena natančnosti meritev. V prvi fazi optimizacije pridobimo uteži vseh možnih meritev, v drugi fazi pa število meritev ustrezno zmanjšamo za tiste, ki so pridobile negativne uteži. Rezultat drugega reda optimizacije geodetskih mrež so torej uteži meritev, ki se jih da realizirati, saj zadoščajo predhodno določeni matriki kriterija glede natančnosti geodetske mreže. Na podlagi optimizacije meritev ugotovimo, katere meritve so za pridobitev homogeno izotropne strukture geodetske mreže najprimernejše. Na podlagi optimiziranega števila kotov ter dolžin in s tem skupnega števila vseh meritev v mreži se jasno vidi, katere meritve smo iz mreže izločili, glede na prvotni plan. Po primerjavi standardnih deviacij komponent koordinat točk pred in po optimizaciji pa smo ugotovili, koliko natančneje lahko določimo koordinate točk v obravnavani mreži, če geodetsko mrežo optimiziramo.

9.2 Izračun

Postopek optimizacije drugega reda z direktno metodo smo poskušali čim bolj avtomatizirati, vendar so kljub temu določene možnosti prepuščene uporabniku programa (npr. izbira zahtevane natančnosti določitve koordinat novih točk, izbira tipa matrike kriterija, izbira vrednosti karakteristične razdalje, ...). Računski del magistrskega dela se je izvedel na sledeči način:

- 1) V prvem koraku oblikujemo matriko kriterija C_{Δ} . V matriki kriterija podamo zahtevano natančnost določitve koordinat novih točk σ . Izberemo takšno standardno deviacijo koordinat novih točk, ki jo želimo in jo hkrati lahko dosežemo z izvedbo meritev in izravnavo. Ko izberemo zahtevano natančnost določitve koordinat novih točk, lahko sestavimo matriko kriterija. Oblikujemo lahko enotsko (enačba 7.1), diagonalno (enačba 7.2), Taylor-Karmanovo (enačba 7.13) ali kaotično (enačba 7.19) strukturo matrike kriterija. Izbor je odvisen od tega, kakšno variančno-kovariančno situacijo zahtevamo za koordinate novih točk. Enako kvaliteto ocenjenih položajev točk geodetske mreže na celotnem območju bomo pridobili, če bomo zahtevali homogeno in izotropno porazdelitev pogreškov ocenjenih vrednosti koordinat v geodetski mreži. V primeru homogenosti so elipse pogreškov krogi (translacijsko invariantne) in v primeru izotropije rotacijsko simetrične (rotacijsko invariantne). Takšna, homogeno izotropna situacija razporeditve pogreškov v mreži pomeni, da nobena smer v mreži nima boljše ali slabše relativne natančnosti. V tem primeru se moramo odločiti za Taylor-Karmanovo ali kaotično strukturo matrike kriterija. V primeru Taylor-Karmanove strukture matrike kriterija je potrebno izbrati ustrezno vrednost karakteristične razdalje d (enačbi 7.6 in 7.7) v geodetski mreži. V primeru kaotične strukture matrike kriterija pa poljubno izberemo vrednost konstante c (enačba 7.18). Vrednosti karakteristične razdalje d in konstante c izberemo glede na razdalje med točkami, tako da je matrika kriterija C_{Δ} pozitivno definitna. Nato izbrano matriko kriterija transformiramo v datum plana meritev. Transformirana matrika C_{Δ}^S (enačbi

- 7.20 in 7.21) mora biti prav tako pozitivno definitna, kot variančno-kovariančna matrika načrta meritev, saj bomo le na ta način dobili datumsko prost optimizacijski postopek. Sledi izračun psevdoinverza matrike kriterija \mathbf{C}_{Δ}^{S+} , ki smo jo predhodno transformirali v datum plana meritev. Iz matrike kriterija \mathbf{C}_{Δ}^{S+} tvorimo vektor \mathbf{q} (enačba 8.3), ki je v obliki vektorja zapisana psevdoinverzna matrika kriterija \mathbf{C}_{Δ}^{S+} (iz matrike kriterija \mathbf{C}_{Δ}^{S+} prepisemo desne člene z diagonalo vred).
- 2) V drugem koraku iz matrike koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} , ki je sestavljena na podlagi približnih koordinat točk mreže in začetnega plana meritev v mreži, tvorimo Khatri-Rao produkt $\mathbf{U} = \mathbf{B}^T \odot \mathbf{B}^T$. Pridobljena matrika \mathbf{U} ne omogoča množenja z vektorjem \mathbf{q} , zato moramo iz nje izločiti ustrezne vrstice, ki se ponavljajo. Na ta način pridobimo reduciramo matriko \mathbf{U}_r (enačba 8.7), ki ima enako število vrstic kot vektor \mathbf{q} . Lahko pristopimo k izračunu uteži meritev.
 - 3) Optimizirane uteži meritev izračunamo po direktni metodi optimizacije. Iz izhodiščne enačbe matematičnega modela optimizacije $\mathbf{N} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B}) = \mathbf{C}_{\Delta\Delta}^{-1}$ izračunamo matriko uteži \mathbf{P} . Ker obravnavamo nekorelirane meritve, lahko zgornji izraz zapišemo kot $\mathbf{p} = \mathbf{U}_r^{-1} \mathbf{q}$. Glede na izpolnjene kriterije, uporabimo enega izmed načinov izračuna, podanega z izrazi (8.8, 8.9 ali 8.10). Ko izračunamo vektor optimiziranih uteži \mathbf{p} , iz njega tvorimo diagonalno matriko optimiziranih uteži \mathbf{P} . Meritve, katerih uteži so enake nič ali negativne, izločimo iz plana meritev.
 - 4) Sledi kontrola, pri kateri mora biti kontrolna matrika $\mathbf{C}_{\Delta}^K = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B})^+$, ki jo izračunamo iz dobljenih optimiziranih uteži, enaka vhodni matriki kriterija \mathbf{C}_{Δ} .
 - 5) Preverimo uspešnost aproksimacije matrike kriterija in sicer po enačbi $\mathbf{D} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_0 \mathbf{B})^+ - \mathbf{C}_{\Delta}^K$. Primerjamo lahko tudi normi variančno-kovariančne matrike meritev in matrike kriterija $\|\Sigma_{\Delta\Delta} - \mathbf{C}_{\Delta}^K\| \rightarrow \text{minimalno}$, vendar je to smiselno le v primeru, če sta matriki enakega ranga oziroma se nanašata na isti datum geodetske mreže. V kolikor to ne drži je potrebno matriko kriterija transformirati v datum variančno-kovariančne mreže (transformacija S).
 - 6) Na koncu iz optimiziranih uteži izračunamo natančnosti meritev $\sigma_i = \sqrt{\frac{\sigma_0^2}{p_i}}$. Glede na pridobljene vrednosti, smo v ponovno izravnavo in naslednjo iteracijo optimizacije vnesli natančnosti meritev iz izhodiščne mreže. Vendar pa v ponovno izravnavo vnesemo samo meritve, ki so jim bile dodeljene pozitivne uteži. Od vhodnih podatkov za ponovno izravnavo se torej spremeni samo matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} , ki se ji zaradi izločitve meritev zmanjša dimenzija. Rezultat izravnave po optimiziranju mreže je nov načrt meritev in nove natančnosti določitve koordinat točk. Postopek ponavljamo, dokler ne dosežemo optimalnega načrta meritev.

9.2.1 Uporaba metode direktne rešitve

Rezultate optimizacije drugega reda smo določili z uporabo metode direktne rešitve. Za izračun uteži meritev po tej metodi pa je potrebno najprej sestaviti matriko kriterija. Zaradi primerjave rezultatov uporabe različnih struktur matrike kriterija smo testne optimizacije mrež opravili z diagonalno in Taylor-Karmanovo strukturo matrike kriterija. Dobljeni rezultati so bili praktično enaki za obe strukturi matrike kriterija. S ciljem pridobiti homogeno izotropne optimizirane geodetske mreže, smo za vse izračune naših mrež izbrali matriko kriterija s Taylor-Karmanovo strukturo. Ker smo za optimizacijo geodetskih mrež uporabili matriko kriterija s Taylor-Karmanovo strukturo, je bilo potrebno za pridobitev praktično uporabnih rezultatov optimizacije v geodetskih mrežah le-to sestaviti na osnovi izračunane

karakteristične razdalje d korelacijskih funkcij. Vrednost karakteristične razdalje d izberemo sami, njena izbira pa je pomembna, saj vpliva na vrednost matrike kriterija, kot je navedeno že v poglavju (7.1.3). Primerno karakteristično razdaljo posamezne mreže smo izbirali na podlagi nekaj poskusov uporabe različnih vrednosti. Bistveni kriteriji pri izbiri vrednosti karakteristične razdalje d so bili (Stopar, 1995):

- število negativnih uteži meritev,
- uteži meritev med sosednjimi točkami v mreži,
- generalizirana standardna deviacija optimizirane mreže in
- kvocient najmanjše in največje lastne vrednosti kovariančne matrike optimizirane mreže.

Predvsem pri številu negativnih uteži meritev lahko vidimo, kolikšen vpliv ima na optimiziran plan meritev izbira primerne karakteristične razdalje. Testirali smo uporabo različnih vrednosti karakterističnih razdalj, kot so $d = s_{max}$, $d = s_{min}$, $d = \frac{1}{2}s_{min}$, $d = \frac{1}{3}s_{min}$, $d = \frac{2}{3}s_{min}$, $d = \frac{1}{5}s_{min}$ in $d = \frac{1}{10}s_{max}$, kjer je s razdalja med poljubnima dvema točkama v mreži. Kot primerne vrednosti za karakteristično razdaljo geodetske mreže so se izkazale dolžine, ki se nahajajo v območju $\frac{1}{3}s_{min} < d < s_{min}$. Odločili smo se za karakteristično dolžino $d = \frac{2}{3}s_{min}$.

Cilj naloge je bil najti takšne uteži oziroma standardne deviacije meritev, ki v ponovni izravnavi podajo takšno natančnost določitve koordinatnih neznank, da so elipse pogreškov točk krogi, ki zagotavljajo homogeno izotropno strukturo mreže. V nadaljevanju bo za vsako obravnavano mrežo posebej navedeno, kako velik krog smo izbrali oziroma kakšno natančnost določitve koordinatnih neznank smo zahtevali.

9.3 Geodetska mreža Libna

Hrib Libna (355 m), na katerem leži istoimenska vas, se dviga na levem bregu Save nad današnjim Krškim. Njegova pobočja so zelo strma, kar velja še posebej za južno, severno in zahodno stran, medtem ko je dostop z vzhoda nekoliko zložnejši. Hrib je iz apnenca. Njegova pobočja so poraščena z gozdom, sam vrh je gol. Na njem so travniki, njive in vinogradi (Dular, 2006).



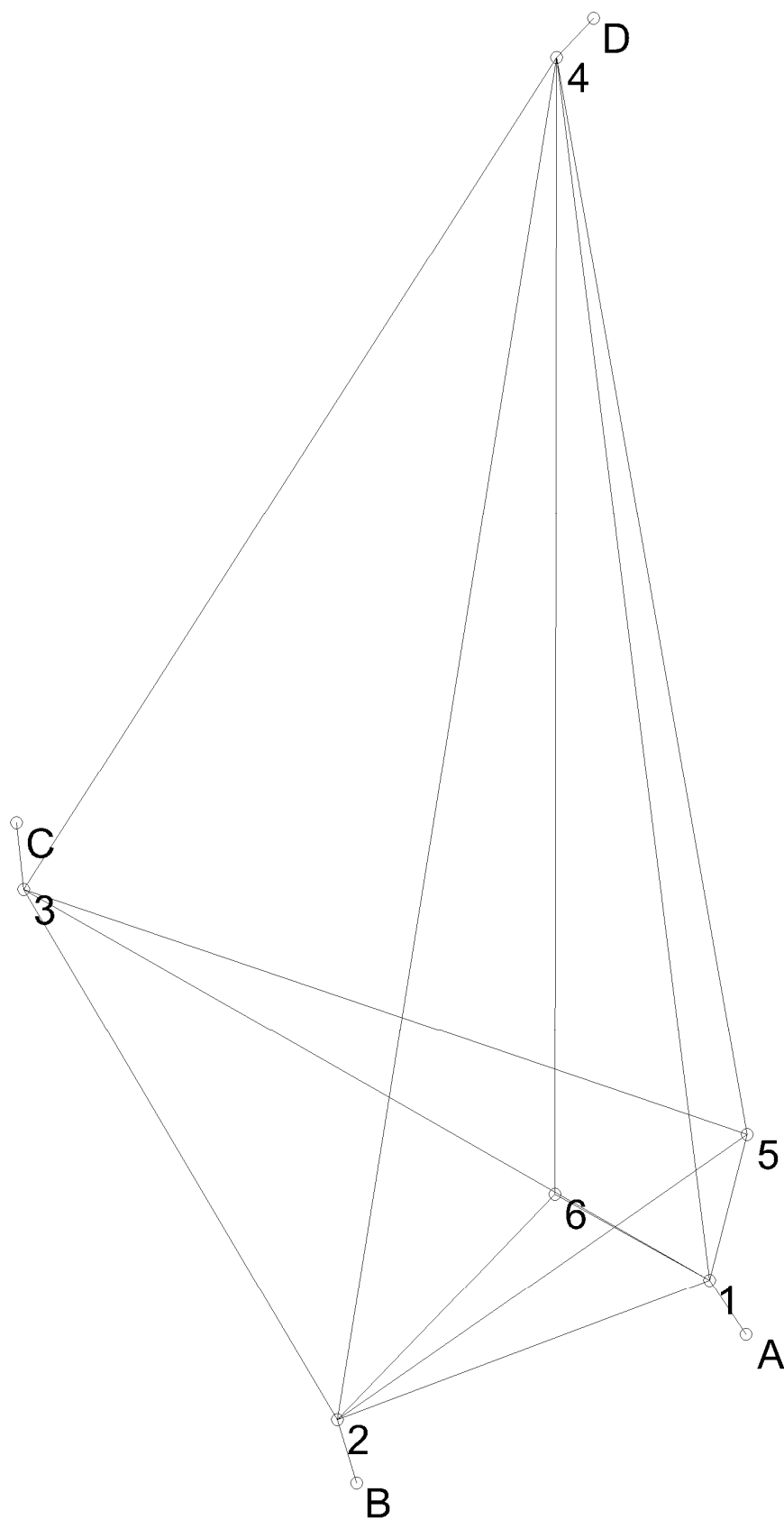
Slika 10: Libna - pogled z jugozahoda (Dular, 2006)
Figure 10: Libna – view from southwest (Dular, 2006)

Na območju Libne pri Krškem je na dokaj razgibanem terenu vzpostavljena lokalna geodetska horizontalna mikromreža. Obravnavano mrežo tvori šest točk z oznakami 1, 2, 3, 4, 5 in 6. Točki 5 in 6 sta vzpostavljeni z namenom zagotavljanja boljše geometrije in večje zanesljivosti mikromreže. Vse točke so vidne med seboj in predstavljajo geometrično osnovo za določitev položajev talnih točk A, B, C, D. Položaji kontrolnih točk, ki so hkrati ekscentri točk 1, 2, 3 in 4 so določeni na osnovi geološke situacije. Točke A, B, 1 in 2 so na eni strani orliškega preloma, točke C, D, 3 in 4 pa na drugi strani tega preloma (Kogoj, 2004). Ekscentrična stojišča so postavljena na razdalji cca. 10 - 20 m od centra.

Terestrična mreža Libna je kombinirana, se pravi triangulacijsko-trilateracijska mreža. Na posamezni točki so merjene dolžine in smeri (koti) proti ostalim točkam mreže. Najbolj oddaljeni točki mreže sta 2 in 4, in sicer 385 m, najkrajša pa je razdalja med točkama 5 in 6, ki znaša 40 m. Med vsemi točkami mreže je tvorjeno največje možno število povezav, s čimer je zagotovljena zahtevana natančnost določitve najverjetnejših vrednosti koordinat novih točk. Podatki o meritvah, izravnavi in optimizaciji geodetske mreže Libna so navedeni v prilogi B.

Preglednica 10: Približne koordinate točk geodetske mreže Libna
Table 10: Approximate coordinates of points of geodetic network Libna

Točka	Y [m]	X [m]
A	1053.1766	960.7467
B	944.6572	919.2022
C	849.9380	1103.6300
D	1010.6958	1328.2763
1	1043.0364	975.9823
2	939.2408	936.8958
3	851.9763	1084.9716
4	1000.4564	1317.3965
5	1053.5390	1016.4883
6	1000.0021	999.9966



Slika 11: Geodetska mreža Libna
Figure 11: Geodetic network Libna

Preglednica 11: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Libna
Table 11: Results of optimization of measurements of geodetic network Libna

Točka <i>S Z₁ Z₂</i>	Meritev <i>α_i [° ' '']</i>	<i>σ_i ["]</i> izhodiščne mreže	<i>p_i</i> optimizirane mreže	<i>r_i</i> optimizirane mreže	<i>σ_i ["]</i> optimizirane mreže
4 5 1	2 53 43.8	0.8833	-39093071	0.93	*
4 1 6	7 11 28.1	0.8833	-15526524	0.98	*
4 6 2	9 3 26.9	0.8833	49387122	0.97	0.293507
4 2 3	23 25 56.2	0.8833	-57788956	0.95	*
4 3 D	190 41 36.4	0.8833	1781238	0.00	1.545483
3 5 1	10 56 11.5	0.8833	52907920	0.92	0.283573
3 1 6	0 9 21.2	0.8833	32397350	0.96	0.362385
3 6 2	29 37 48.8	0.8833	-11467729	0.88	*
3 2 C	204 16 43.6	0.8833	2248612	0.00	1.375523
5 3 4	61 13 46.6	0.8833	38234331	0.73	0.333579
5 4 1	204 32 26.2	0.8833	-108872698	0.58	*
5 1 2	40 36 44.8	0.8833	-4893392	0.75	*
5 2 6	17 43 49.2	0.8833	-10023007	0.74	*
1 2 6	49 47 51.8	0.8833	-2493224	0.75	*
1 6 3	0 32 24.3	0.8833	-88748968	0.71	*
1 3 4	53 11 16.7	0.8833	19952254	0.77	0.461774
1 4 5	21 38 41.6	0.8833	-1194492	0.26	*
1 5 A	131 48 56.8	0.8833	1511392	0.00	1.677786
2 3 4	39 39 5.8	0.8833	-7745898	0.83	*
2 4 6	34 46 40.8	0.8833	11768380	0.71	0.601266
2 6 5	11 13 49.7	0.8833	-8826191	0.91	*
2 5 1	14 13 0.5	0.8833	13259239	0.69	0.566456
2 1 B	93 36 57.0	0.8833	2263955	0.00	1.370854
6 3 4	60 13 25.5	0.8833	25047260	0.62	0.412140
6 4 5	72 47 48.3	0.8833	8516912	0.43	0.706780
6 5 1	46 17 2.9	0.8833	2451089	0.21	1.317485
6 1 2	104 45 18.2	0.8833	1196917	0.36	1.885355
Točka <i>S Z</i>	Meritev <i>d_i [m]</i>	<i>σ_i [m]</i> izhodiščne mreže	<i>p_i</i> optimizirane mreže	<i>r_i</i> optimizirane mreže	<i>σ_i [m]</i> optimizirane mreže
4 5	305.55461	0.0003645	1325	0.60	0.000275
4 1	344.05922	0.0003645	284	0.60	0.000594
4 6	317.39993	0.0003645	1056	0.67	0.000308
4 2	385.39383	0.0003645	593	0.53	0.000411
4 3	275.80380	0.0003645	-11	0.40	*
4 D	14.93879	0.0005155	8526	0.00	0.000108
3 5	212.87917	0.0003645	1638	0.43	0.000247
3 1	219.96066	0.0003645	-227	0.64	*
3 6	170.68195	0.0003645	1364	0.55	0.000271
3 2	171.87631	0.0003645	592	0.46	0.000411
3 C	18.77064	0.0005155	7137	0.00	0.000118
5 1	41.84456	0.0003645	-2343	0.78	*
5 2	139.28046	0.0003645	2059	0.43	0.000220
5 6	56.01924	0.0003645	3393	0.50	0.000172
1 2	110.91117	0.0003645	-63	0.52	*
1 6	49.28150	0.0003645	1144	0.34	0.000296

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 11

1 A	18.30157	0.0005155	7365	0.00	0.000117
2 6	87.59897	0.0003645	1461	0.50	0.000262
2 B	18.50408	0.0005155	7342	0.00	0.000117

Iz preglednice rezultatov optimizacije meritev geodetske mreže Libna vidimo, da smo na podlagi postopka optimizacije izločili 16 meritev (označene z rdečo barvo), od tega 12 kotnih in 4 dolžinske. Optimizacija mreže je kotu merjenemu iz stojišča 3 proti točkama 5 in 1 določila največjo utež med koti (gre za kot na dolgi razdalji med točkami), merjeni dolžini iz stojišča 4 proti točki *D* pa največjo utež med dolžinami (gre za najkrajšo merjeno dolžino v mreži). Za to, da smo pridobili mrežo brez negativnih uteži so bile potrebne štiri iteracije optimizacije. Na podlagi rezultatov optimizacije z direktno metodo rešitve za geodetsko mrežo Libna smo ugotovili, da so uteži kotnih meritev večje kot uteži dolžinskih meritev. Prav tako so meritve dolžin na bližnje točke bolj pomembne, kot tiste na bolj oddaljene točke. Optimizirane natančnosti večine merjenih dolžin so višje, kot natančnosti dolžin izhodiščne mreže. Pri kotih opazovanjih pa so nekatere natančnosti po optimizaciji slabše, kot pred optimizacijo. Število kotnih meritev se je zmanjšalo na vseh stojiščih, razen na stojišču 6, kjer ni bilo izločeno nobeno kotno opazovanje. Največ izločenih kotnih opazovanj je bilo na točki 5, kjer je po optimizaciji preostala samo še ena kotna meritev. Optimizacija je izločila po eno dolžinsko meritev na vsakem stojišču. Optimizacija je izločila največ kotnih meritev do točke 6 in največ dolžinskih meritev do točke 1. Če primerjamo uteži in število nadštevilnosti posamezne meritve ugotovimo, da sta za mrežo Libna ta dva kriterija izključujoča. Večina kotnih opazovanj, ki so po optimizaciji izločena, ima relativno visoko število nadštevilnosti, se pravi, da optimizacija izloči zanesljiva opazovanja. Pri dolžinskih meritvah je situacija podobna, le da imajo izločena opazovanja manjšo zanesljivost.

Preglednica 12: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Libna
Table 12: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Libna

GEODETSKA MREŽA LIBNA	Izhodiščna mreža	Optimizirana mreža
Število vseh točk:	10	10
Število vseh koordinat:	20	20
Število vseh meritev:	46	30
- sestavljenih kotov	27	15
- horizontalnih dolžin	19	15
Število vseh neznank:	20	20
Število nadštevilnih meritev:	26	10
Ref. standardna deviacija a priori:	0.26	0.29
Ref. standardna deviacija a posteriori:	0.26	0.29
Globalni test:	0.99	1.02
Globalni test [SQRT]:	0.99	1.01
Matrika nadštevilnosti R [DIAG]:	29.00	13.00
Matrika nadštevilnosti R [POVPRECJE]:	0.63	0.43
Standardna deviacija kotov ["]:	0.8833	0.8833
Standardna deviacija dolžin [m]:	0.0003645, 0.0005155	0.0003645, 0.0005155
Najmanjša standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0001, 0.0001	0.0001, 0.0001
Največja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0003, 0.0005	0.0004, 0.0005
Srednja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0002, 0.0003	0.0003, 0.0003
Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija:	0.000033	0.000004
Največja lastna vrednost matrike kriterija:	0.005740	0.001600
Norma kovariančne matrike:	0.002345	0.000594
Norma matrike kriterija:	0.005740	0.001600
Razlika norm kovariančne m. in matrike kriterija:	0.003395	0.001006
Sled matrike kriterija:	0.009670	0.005419
Velikost Khatri-Rao produkta \mathbf{U}_r^- :	46 x 210	30 x 210
Velikost vektorja \mathbf{q} :	210 x 1	210 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži \mathbf{p} :	46 x 1	30 x 1

V začetni terestrični dvodimenzionalni mreži Libna obravnavamo 10 točk, torej imamo skupno 20 koordinatnih neznank. Optimiziramo kote in dolžine v mreži. Z zmanjševanjem števila meritev smo s prvotnih 27 sestavljenih kotov in 19 merjenih dolžin, sestavili optimalen plan meritev v geodetski mreži Libna, ki vsebuje 15 sestavljenih kotov in 15 merjenih dolžin in izpolnjuje postavljene zahteve glede natančnosti določitve neznank.

Preglednica 13: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Libna

Table 13: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Libna

Točka		Izhodiščna mreža σ_i [m]	Dosežena natančnost σ_i [m]
A	σ_x	0.0003	0.0004
	σ_y	0.0004	0.0004
B	σ_x	0.0002	0.0002
	σ_y	0.0005	0.0005
C	σ_x	0.0002	0.0003
	σ_y	0.0005	0.0005
D	σ_x	0.0003	0.0003
	σ_y	0.0004	0.0004
1	σ_x	0.0001	0.0002
	σ_y	0.0001	0.0002
2	σ_x	0.0001	0.0002
	σ_y	0.0002	0.0002
3	σ_x	0.0002	0.0003
	σ_y	0.0002	0.0003
4	σ_x	0.0002	0.0002
	σ_y	0.0002	0.0002
5	σ_x	0.0001	0.0002
	σ_y	0.0001	0.0002
6	σ_x	0.0001	0.0001
	σ_y	0.0001	0.0001

Za zahtevano natančnost določitve koordinat točk geodetske mreže smo izbrali 0.001 m. Takšna natančnost je bila izbrana na podlagi velikosti standardnih deviacij koordinat točk izračunanih z izravnavo izhodiščne mreže. Natančnost položajev točk po izločitvi 16 meritev iz začetnega načrta meritev ni veliko višja. Od tod sledi, da je matrika kriterija s Taylor-Karmanovo obliko, ki smo jo zahtevali za to mrežo, združljiva s kovariančno matriko izračunano v postopku metode direktne rešitve. Rezultati optimizacije so pokazali, da je potrebno za pridobitev mreže s srednjo položajno natančnostjo 0.001 m, v mrežo vključiti 30 meritev. Natančnost je po optimizaciji približno enako velika pri vseh koordinatah točk. Vidimo, da so standardne deviacije krogi pri šestih od desetih točk. Razlika med σ_x in σ_y komponento koordinat točk na preostalih štirih točkah pa je minimalna in znaša največ 0.2 mm.

9.4 Geodetska mreža Markovci

Na reki Dravi je bil z namenom zaježitve hidroelektrarne Formin (HE Formin) zgrajen jez v Markovcih. Kot posledica zaježitve je nastalo Ptujsko jezero, ki je s 17,1 milijona m³ vode tudi največje slovensko umetno akumulacijsko jezero. Jez v Markovcih sestavlja šest pretočnih polj širine 17 m. Opremljen je s segmentnimi zapornicami in vrhnjimi zaklopkami, prepustnost jezcu pa je 4200 m³/s. V letu 2012 je bila na desnem bočnem delu jezcu zgrajena še pretočna elektrarna, imenovana MHE Markovci. (Dobriča, 2013). Na območju jezca in male hidroelektrarne Markovci je vzpostavljena geodetska mikromreža Markovci.

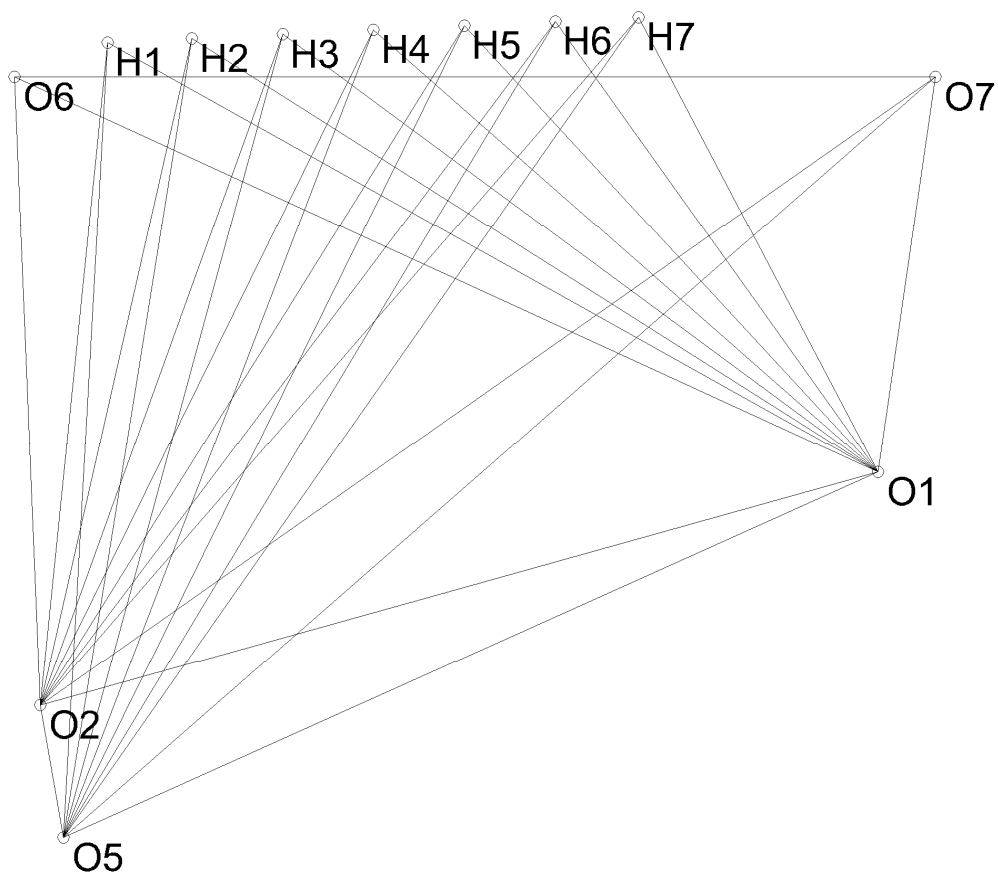
Geodetske meritve se na jezcu Markovci izvajajo vse od leta 1978, in sicer dvakrat letno z namenom kontrole stabilnosti jezcu. Na osnovi prostorskih koordinat referenčnih in kontrolnih točk se ugotavljajo spremembe položajev točk, deformacije in premiki merskega objekta. Z izgradnjo MHE Markovci se je v geodetskem smislu spremenila geometrija mreže. Zaradi porušitve referenčnega stebra 06 ni bilo mogoče kontinuirano spremljati stabilnosti samega jezcu. Z vzpostavitvijo novega stebra se je zagotovilo ustrezne pogoje za nadaljnje meritve. Obstoječo mrežo je bilo potrebno dopolniti še z dodatnimi kontrolnimi točkami, ki omogočajo spremljanje horizontalne stabilnosti MHE Markovci ter z reperji, ki omogočajo spremljanje višinske stabilnosti MHE Markovci (Možina, 2012). Podatki o meritvah, izravnavi in optimizaciji geodetske mreže Markovci so navedeni v prilogi C.



Slika 12: Jez Markovci in mala HE Markovci
(Tehnično opazovanje objektov HE na Dravi za leto 2015-2016 URL, 2016)
Figure 12: Dam Markovci and small hydroelectric power plant Markovci
(Tehnično opazovanje objektov HE na Dravi za leto 2015-2016 URL, 2016)

Preglednica 14: Približne koordinate točk geodetske mreže Markovci
Table 14: Approximate coordinates of points of geodetic network Markovci

Točka	Y [m]	X [m]
O5	1011.2688	824.1240
O1	1199.2834	908.5911
O2	1005.9215	854.6274
O7	1212.5079	1000.0090
O6	1000.0140	999.9849
H1	1021.4392	1007.9003
H2	1040.9193	1008.7892
H3	1061.8784	1009.7693
H4	1082.8605	1010.7467
H5	1103.8011	1011.7453
H6	1124.7944	1012.7826
H7	1144.0927	1013.7183



Slika 13: Geodetska mreža Markovci
Figure 13: Geodetic network Markovci

Preglednica 15: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Markovci
Table 15: Results of optimization of measurements of geodetic network Markovci

Točka S Z ₁ Z ₂	Meritev α_i [° ' '']	σ_i ["] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i ["] optimizirane mreže
01 05 02	8 35 58.6	1.4142	-34791258	0.80	*
01 02 06	40 14 1.6	1.4142	-20272216	0.69	*
01 06 H1	4 32 21.7	1.4142	241364494	0.47	0.132766
01 H1 H2	3 8 33.7	1.4142	211814958	0.62	0.141725
01 H2 H3	4 2 43.5	1.4142	177597486	0.57	0.154777
01 H3 H4	4 53 52.9	1.4142	146047675	0.52	0.170678
01 H4 H5	5 56 52.6	1.4142	123890392	0.36	0.185313
01 H5 H6	7 13 32.1	1.4142	96600061	0.28	0.209863
01 H6 H7	7 51 44.8	1.4142	89975046	0.21	0.217452
01 H7 07	35 55 45.8	1.4142	13496961	0.24	0.561445
07 01 05	40 36 59.3	1.4142	7717874	0.40	0.742466
07 05 02	6 1 5.9	1.4142	254704340	0.83	0.129243
07 02 06	35 7 43.2	1.4142	91247593	0.61	0.215931
06 07 01	24 38 47.3	1.4142	126844368	0.56	0.183143
06 01 02	63 2 24.8	1.4142	34970183	0.40	0.348800
02 06 H1	8 6 15.0	1.4142	93322511	0.29	0.213517
02 H1 H2	7 0 32.1	1.4142	134909548	0.36	0.177584
02 H2 H3	7 2 36.8	1.4142	134774073	0.38	0.177673
02 H3 H4	6 24 3.2	1.4142	153598788	0.41	0.166430
02 H4 H5	5 41 8.4	1.4142	175045649	0.44	0.155901
02 H5 H6	5 0 29.4	1.4142	196553216	0.47	0.147125
02 H6 H7	4 2 40.6	1.4142	244790451	0.53	0.131834
02 H7 07	13 53 26.5	1.4142	143360918	0.58	0.172270
02 07 01	19 32 25.9	1.4142	-49615965	0.83	*
02 01 05	95 39 15.9	1.4142	-5702460	0.41	*
05 07 01	16 57 36.7	1.4142	-88701357	0.82	*
05 01 02	284 15 15.8	1.4142	2671990	0.02	1.261850
05 02 H1	13 6 31.8	1.4142	-4493666	0.64	*
05 H1 H2	5 57 12.1	1.4142	-595400882	0.69	*
05 H2 H3	6 7 38.5	1.4142	-697801177	0.69	*
05 H3 H4	5 44 15.5	1.4142	-698438834	0.70	*
05 H4 H5	5 15 51.2	1.4142	-710319033	0.70	*
05 H5 H6	4 47 3.6	1.4142	-805429341	0.71	*
05 H6 H7	3 58 35.8	1.4142	-944940652	0.74	*
Točka S Z	Meritev d_i [m]	σ_i [m] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i [m] optimizirane mreže
01 05	206.11404	0.004	1786	0.96	0.000237
01 02	200.74728	0.004	404	0.96	0.000498
01 06	219.21204	0.004	1049	0.95	0.000309
01 H1	203.68888	0.001	1337	0.56	0.000273
01 H2	187.39792	0.001	936	0.55	0.000327
01 H3	170.63423	0.001	782	0.54	0.000358
01 H4	154.88977	0.001	707	0.52	0.000376
01 H5	140.56464	0.001	978	0.48	0.000320
01 H6	128.08130	0.001	1309	0.44	0.000276
01 H7	118.73430	0.001	1775	0.43	0.000237
01 07	92.36555	0.004	520	0.94	0.000439
07 05	267.26309	0.004	1504	0.94	0.000258

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 15

07	02	252.60791	0.004	1350	0.95	0.000272
07	06	212.47745	0.004	2542	0.95	0.000198
06	02	145.47131	0.004	853	0.95	0.000342
02	H1	154.05084	0.001	956	0.54	0.000323
02	H2	158.08155	0.001	1025	0.57	0.000312
02	H3	164.92269	0.001	828	0.60	0.000347
02	H4	174.04495	0.001	743	0.63	0.000367
02	H5	185.11170	0.001	1242	0.57	0.000284
02	H6	197.84501	0.001	1316	0.59	0.000276
02	O5	30.96816	0.004	-1057	0.98	*
05	H1	184.05154	0.001	1512	0.52	0.000257
05	H2	187.02714	0.001	1523	0.55	0.000256
05	H3	192.41761	0.001	1267	0.58	0.000281
05	H4	199.88042	0.001	1161	0.60	0.000294
05	H7	231.48755	0.001	2155	0.57	0.000215

Iz preglednice rezultatov optimizacije meritev v geodetski mreži Markovci vidimo, da smo morali na podlagi postopka optimizacije izločiti 13 meritev (označene z rdečo barvo), od tega 12 kotov in 1 dolžino. Optimizacija mreže je kotu merjenemu iz stojišča 07 med točkama 05 in 02 določila največjo utež med koti (v mreži je to kot na najdaljši razdalji med točkami), merjeni dolžini iz stojišča 07 proti točki 06 pa največjo utež med dolžinami (gre za eno najdaljših dolžin v mreži). Za to, da smo pridobili mrežo brez negativnih uteži, so bile potrebne tri iteracije optimizacije. Na podlagi rezultatov optimizacije z direktno metodo rešitve ugotovimo, da so uteži kotnih meritev večje kot uteži dolžinskih meritev. Vse optimizirane natančnosti meritev so višje od natančnosti meritev v izhodiščni mreži. Število kotnih meritev se je zmanjšalo na stojiščih 01, 02 in 05. Med dolžinami je bila izločena samo ena meritev in sicer dolžina merjena iz točke 02 proti točki 05, kar je najkrajša merjena dolžina mreže. Največ izločenih kotnih opazovanj je bilo na točki 05, kjer je po optimizaciji preostala samo še ena kotna meritev. Optimizacija je izločila največ kotnih meritev do točke 01. Če primerjamo uteži in število nadštevilnosti posamezne meritve, ugotovimo, da so bile v mreži Markovci izločene kotne meritve z najvišjo zanesljivostjo. Pri dolžinskih meritvah je situacija podobna, saj ima edino izločeno opazovanje celo najvišjo vrednost r_i .

Preglednica 16: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Markovci
Table 16: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Markovci

GEODETSKA MREŽA MARKOVCI	Izhodiščna mreža	Optimizirana mreža
Število vseh točk:	12	12
Število vseh koordinat:	24	24
Število vseh meritev:	61	48
- sestavljenih kotov	34	22
- horizontalnih dolžin	27	26
Število vseh neznank:	24	24
Število nadštevilnih meritev:	37	14
Ref. standardna deviacija a priori:	1.63	1.74
Ref. standardna deviacija a posteriori:	3.53	2.23
Globalni test:	4.69	1.63
Globalni test [SQRT]:	2.17	1.28
Matrika nadštevilnosti R [DIAG]:	40.00	27.00
Matrika nadštevilnosti R [POVPRECJE]:	0.66	0.56
Standardna deviacija kotov [″]:	1.4142	1.4142
Standardna deviacija dolžin [m]:	0.0040, 0.0010	0.0040, 0.0010
Najmanjša standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0006, 0.0007	0.0005, 0.0005
Največja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0012, 0.0015	0.0008, 0.0010
Srednja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0010, 0.0011	0.0007, 0.0007
Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija:	0.000000	0.000000
Največja lastna vrednost matrike kriterija:	0.000516	0.000401
Norma kovariančne matrike:	0.000591	0.000498
Norma matrike kriterija:	0.000516	0.000401
Razlika norm kovariančne m. in matrike kriterija:	0.000076	0.000097
Sled matrike kriterija:	0.002727	0.002581
Velikost Khatri-Rao produkta \mathbf{U}_r^- :	61 x 300	48 x 300
Velikost vektorja \mathbf{q} :	300 x 1	300 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži \mathbf{p} :	61 x 1	48 x 1

Skupno število točk v geodetski mreži Markovci znaša 12, torej imamo skupno 24 koordinatnih neznank. Optimiziramo kote in dolžine. Z zmanjševanjem števila meritev smo s prvotnih 34 sestavljenih kotov in 27 merjenih dolžin, sestavili optimalen plan meritev, ki vsebuje 22 sestavljenih kotov in 26 merjenih dolžin in izpolnjuje postavljene zahteve glede natančnosti določitve neznank. Srednja standardna deviacija je krog z radijem 0.0007 m.

Preglednica 17: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Markovci

Table 17: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Markovci

Točka		Izhodiščna mreža σ_i [m]	Dosežena natančnost σ_i [m]
O5	σ_x	0.0007	0.0005
	σ_y	0.0008	0.0006
O1	σ_x	0.0008	0.0006
	σ_y	0.0008	0.0006
O2	σ_x	0.0006	0.0005
	σ_y	0.0007	0.0005
O7	σ_x	0.0010	0.0006
	σ_y	0.0015	0.0010
O6	σ_x	0.0012	0.0008
	σ_y	0.0015	0.0009
H1	σ_x	0.0010	0.0007
	σ_y	0.0012	0.0007
H2	σ_x	0.0010	0.0007
	σ_y	0.0012	0.0007
H3	σ_x	0.0011	0.0007
	σ_y	0.0011	0.0007
H4	σ_x	0.0011	0.0007
	σ_y	0.0011	0.0007
H5	σ_x	0.0011	0.0007
	σ_y	0.0013	0.0008
H6	σ_x	0.0011	0.0007
	σ_y	0.0012	0.0008
H7	σ_x	0.0011	0.0007
	σ_y	0.0012	0.0008

Rezultati optimizacije so pokazali, da je potrebno za pridobitev mreže s srednjo položajno natančnostjo 0.0007 m, v mrežo vključiti 48 meritev. Natančnost določitve koordinat točk po optimizaciji je približno enako velika pri vseh koordinatah točk. Vidimo, da so standardne deviacije krogi pri šestih od dvanajstih točk. Razlika med σ_x in σ_y komponento koordinat točk na preostalih točkah pa znaša največ 0.1 mm, razen na točki O7, kjer je razlika 0.4 mm.

9.5 Geodetska mreža Melje

Mala hidroelektrarna Melje (MHE Melje) je najmanjša elektrarna na slovenskem delu reke Drave. Na jezcu Melje sta za izkoriščanje predpisanega pretoka v strugo Drave, ki znaša v zimskih mesecih $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in v poletnih mesecih $20 \text{ m}^3/\text{s}$, vgrajena dva agregata s skupno močjo na pragu 2,260 MW, ki lahko izkoristita celoten predpisan pretok. Med leti 2006 in 2013 je potekal projekt prenove HE Zlatoličje, jezcu Melje in izgradnje MHE Melje. Dela na projektu so zajemala na jezcu Melje in v njegovi neposredni okolici povečanje stabilnosti in trdnosti jezcu, sanacijo in dodatno utrditev varovalnega in prelivnega zidu in izgradnjo transformatorske postaje Črpališče ter izgradnjo nove male HE na jezcu Melje (Zaključena prenova HE Zlatoličje, jezcu Melje in izgradnje MHE Melje URL, 2014). Za določitev horizontalnega položaja merskih točk v geodetski mreži Melje se uporablja kombinirana metoda triangulacije in trilateracije. Obravnavano geodetsko mrežo MHE Melje tvorijo štiri osnovne točke z oznakami O1, O2, O3, O4 in dve dodatni točki z oznakami S1, S2. Preostalih kontrolnih točk je 12. Razporeditev osnovnih točk geodetske mreže tvori geodetski štirikotnik. Podatki o meritvah, izravnavi in optimizaciji geodetske mreže Melje so navedeni v prilogi D.



Slika 14: Jez Melje in mala HE Melje
(Zaključena prenova HE Zlatoličje, jezcu Melje in izgradnje MHE Melje URL, 2014)
Figure 14: Dam Melje and small hydroelectric power plant Melje
(Zaključena prenova HE Zlatoličje, jezcu Melje in izgradnje MHE Melje URL, 2014)

Preglednica 18: Približne koordinate točk geodetske mreže Melje
Table 18: Approximate coordinates of points of geodetic network Melje

Točka	Y [m]	X [m]
O3	70.0081	238.1196
O4	111.2209	246.7633
O2	146.8830	112.7620
H1	115.9960	99.1030
H2	108.7850	99.5730
H3	100.0000	100.0000
H4	117.7710	100.8330
H5	110.5580	101.2830
H6	102.0100	101.7620
H7	119.5230	102.5500
H8	112.2880	103.0170
H9	103.9780	103.4750
H13	129.6840	114.9470
H14	114.7730	113.7140
H15	104.4540	112.7210
O1	88.8150	131.0630
S1	76.4690	239.9050
S2	100.0000	244.5320



Slika 15: Geodetska mreža Melje
Figure 15: Geodetic network Melje

Preglednica 19: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Melje
Table 19: Results of optimization of measurements of geodetic network Melje

Točka S Z ₁ Z ₂	Meritev α_i [° ' '']	σ_i ["] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i ["] optimizirane mreže
O2 O3 S1	2 31 5.9	1.4142	32581987	0.77	0.361357
O2 S1 S2	9 24 12.8	1.4142	-12532759	0.85	*
O2 S2 O4	4 41 36.8	1.4142	-57388953	0.74	*
O2 O4 H1	261 3 0.1	1.4142	1521123	0.11	1.672411
O2 H1 H4	1 34 29.1	1.4142	7437136	0.09	0.756349
O2 H4 H7	1 48 50.5	1.4142	5465347	0.04	0.882300
O2 H7 H2	1 22 20.4	1.4142	2009362	0.10	1.455111
O2 H2 H5	1 33 29.9	1.4142	10533789	0.09	0.635525
O2 H5 H8	1 48 12.8	1.4142	8850981	0.06	0.693313
O2 H8 H3	0 30 18.3	1.4142	3114890	0.13	1.168702
O2 H3 H6	1 27 11.0	1.4142	14259770	0.05	0.546222
O2 H6 H9	1 33 37.9	1.4142	13076340	0.06	0.570403
O2 H9 H15	12 8 45.0	1.4142	4601901	0.17	0.961516
O2 H15 H14	1 46 56.8	1.4142	3456068	0.23	1.109517
O2 H14 H13	5 31 17.1	1.4142	360832	0.11	3.433783
O2 H13 O1	10 15 14.3	1.4142	-696434	0.75	*
O1 O3 S1	3 28 25.9	1.4142	19432141	0.57	0.467913
O1 S1 S2	12 6 59.7	1.4142	6717445	0.39	0.795835
O1 S2 O4	5 19 57.3	1.4142	24140356	0.52	0.419811
O1 O4 O2	96 31 57.7	1.4142	4426197	0.29	0.980415
O1 O2 H13	4 1 49.2	1.4142	5708285	0.70	0.863321
O1 H13 H14	12 13 16.8	1.4142	2262045	0.34	1.371433
O1 H14 H7	9 7 56.4	1.4142	552310	0.27	2.775452
O1 H7 H4	3 21 20.7	1.4142	5958746	0.11	0.844982
O1 H4 H15	3 20 1.6	1.4142	803373	0.14	2.301264
O1 H15 H1	0 3 9.3	1.4142	1038150	0.26	2.024394
O1 H1 H8	0 27 14.9	1.4142	2837225	0.08	1.224555
O1 H8 H5	3 47 32.6	1.4142	1593580	0.18	1.633948
O1 H5 H2	3 45 4.5	1.4142	3382569	0.24	1.121507
O1 H2 H6	8 8 43.2	1.4142	1275981	0.01	1.826009
O1 H6 H3	4 26 9.5	1.4142	2515451	0.07	1.300521
S1 O2 H13	5 54 47.1	1.4142	-47190751	0.91	*
S1 H13 H7	5 39 55.1	1.4142	2500871	0.79	1.304306
S1 H7 H14	0 31 3.0	1.4142	30381320	0.80	0.374216
S1 H14 H4	0 20 46.3	1.4142	-7819376	0.86	*
S1 H4 H1	0 51 36.6	1.4142	126764429	0.79	0.183200
S1 H1 H8	1 1 1.4	1.4142	-194025192	0.92	*
S1 H8 H5	0 50 53.8	1.4142	75789801	0.86	0.236930
S1 H5 H2	0 50 52.3	1.4142	87233922	0.86	0.220842
S1 H2 H15	0 33 35.1	1.4142	-3159304	0.93	*
S1 H15 H9	1 0 32.1	1.4142	4057386	0.70	1.024005
S1 H9 H6	0 55 30.8	1.4142	121220400	0.74	0.187343
S1 H6 H3	0 55 41.2	1.4142	78877497	0.94	0.232246
S1 H3 O1	3 4 22.0	1.4142	33079882	0.95	0.358627
S1 O1 O3	81 29 50.5	1.4142	92054	0.01	6.798349
S1 O3 O4	183 44 19.7	1.4142	-95453	0.29	*
S1 O4 S2	0 6 58.2	1.4142	696476	0.09	2.471565
S2 O2 H13	6 41 13.0	1.4142	-14412769	0.87	*
S2 H13 H7	5 4 25.4	1.4142	51825651	0.71	0.286519
S2 H7 H4	0 46 47.5	1.4142	77386997	0.89	0.234472

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 19

S2 H4 H14	0 36 26.7	1.4142	25371916	0.95	0.409495
S2 H14 H1	0 9 48.0	1.4142	34735756	0.82	0.349975
S2 H1 H8	1 19 1.6	1.4142	23878999	0.91	0.422102
S2 H8 H5	0 44 51.1	1.4142	47383986	0.93	0.299647
S2 H5 H2	0 44 50.9	1.4142	10134336	0.94	0.647929
S2 H2 H15	1 32 4.2	1.4142	42288894	0.90	0.317185
S2 H15 H9	0 19 8.8	1.4142	45947347	0.59	0.304295
S2 H9 H6	0 48 31.9	1.4142	-24834214	0.82	*
S2 H6 H3	0 48 25.4	1.4142	-32999839	0.94	*
S2 H3 O1	5 37 51.1	1.4142	-3753905	0.99	*
S2 O1 O3	72 23 55.6	1.4142	1461680	0.19	1.706078
S2 O3 S1	0 50 10.9	1.4142	-2804846	0.90	*
S2 S1 O4	179 38 34.1	1.4142	-64696641	0.05	*
Točka	Meritev	σ_i [m] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i [m] optimizirane mreže
<i>S Z</i>	<i>d_i [m]</i>				
S1 O2	145.29880	0.004	-126	1.00	*
S1 H1	146.19214	0.001	989	0.92	0.000318
S1 O1	109.48226	0.004	-340	1.00	*
S1 H2	143.94966	0.001	929	0.92	0.000328
S1 H3	141.81293	0.001	961	0.90	0.000323
S1 H4	145.02374	0.001	-20	0.93	*
S1 H5	142.69789	0.001	-47	0.93	*
S1 H6	140.42808	0.001	-15	0.91	*
S1 H7	143.89326	0.001	427	0.93	0.000484
S1 H8	141.44430	0.001	386	0.92	0.000509
S1 H9	139.12046	0.001	663	0.91	0.000388
S1 H13	135.77072	0.001	1479	0.89	0.000260
S1 H14	131.81506	0.001	1133	0.92	0.000297
S1 H15	130.17976	0.001	1030	0.91	0.000312
S1 O3	6.66076	0.001	425	0.76	0.000485
S1 O4	35.46103	0.001	2892	0.70	0.000186
O2 O3	147.05257	0.001	2073	0.92	0.000220
O2 O4	138.66621	0.001	3000	0.87	0.000183
O2 H1	33.77320	0.001	526	0.91	0.000436
O2 H2	40.31671	0.001	892	0.90	0.000335
O2 H3	48.59057	0.001	1529	0.89	0.000256
O2 H4	31.46302	0.001	-6	0.92	*
O2 H5	38.09763	0.001	-19	0.91	*
O2 H6	46.20351	0.001	-398	0.93	*
O2 H7	29.20507	0.001	480	0.90	0.000457
O2 H8	35.94336	0.001	825	0.90	0.000348
O2 H9	43.90068	0.001	1178	0.75	0.000291
O2 H13	17.34237	0.001	1644	0.78	0.000247
O2 H14	32.12941	0.001	989	0.86	0.000318
O2 H15	42.43375	0.001	710	0.89	0.000375
O1 O4	117.85057	0.001	3137	0.83	0.000179
O1 H1	41.95378	0.001	414	0.89	0.000492
O1 H2	37.28678	0.001	723	0.88	0.000372
O1 H3	33.01372	0.001	822	0.88	0.000349
O1 H4	41.85951	0.001	-196	0.93	*
O1 H5	36.87118	0.001	-7	0.92	*
O1 H6	32.13294	0.001	-145	0.89	*
O1 H7	41.90309	0.001	392	0.89	0.000505
O1 H8	36.57187	0.001	559	0.89	0.000423

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 19

O1 H13	43.92825	0.001	2291	0.79	0.000209
O1 H14	31.21309	0.001	1622	0.84	0.000248
O1 H15	24.10780	0.001	1194	0.88	0.000289
O1 O2	60.88406	0.004	-221	1.00	*
S2 H1	146.25402	0.001	1090	0.93	0.000303
S2 H2	145.17176	0.001	913	0.92	0.000331
S2 H3	144.47866	0.001	921	0.91	0.000329
S2 H4	144.74250	0.001	25	0.93	0.001990
S2 H5	143.58517	0.001	-82	0.93	*
S2 H6	142.73133	0.001	-45	0.93	*
S2 H7	143.26662	0.001	413	0.93	0.000492
S2 H8	141.99635	0.001	276	0.93	0.000602
S2 H9	141.06074	0.001	673	0.90	0.000386
S2 H13	132.89251	0.001	1401	0.91	0.000267
S2 H14	131.58840	0.001	918	0.92	0.000330
S2 H15	131.84244	0.001	413	0.93	0.000492
S2 O3	30.64935	0.001	3064	0.71	0.000181
S2 O4	11.46079	0.001	1449	0.67	0.000263
S2 O2	139.81595	0.004	-194	1.00	*
S2 O1	113.96611	0.004	-277	1.00	*
S2 S1	24.00038	0.004	1030	0.98	0.000312

Iz preglednice 19 vidimo, da smo na podlagi postopka optimizacije geodetske mreže Melje izločili 30 meritev (označene z rdečo barvo), od tega 14 kotnih in 16 dolžinskih. Optimizacija mreže je kotu merjenemu iz stojišča S1 proti točkama H4 in H1 določila največjo utež med koti (kot na dolgi razdalji med točkami), merjeni dolžini iz stojišča O1 proti točki O4 pa največjo utež med dolžinami. Za optimalen načrt meritev smo v postopku optimizacije morali izvesti štiri iteracije. Tudi v primeru optimizacije geodetske mreže Melje so uteži kotnih meritev večje kot uteži dolžinskih meritev. Optimizirane natančnosti večine merjenih dolžin so višje, kot natančnosti dolžin izhodiščne mreže. Pri kotih opazovanjih pa so nekatere natančnosti po optimizaciji slabše, kot pred optimizacijo. Število kotnih meritev se je zmanjšalo na vseh stojiščih, razen na stojišču O1, kjer ni bilo izločeno nobeno kotno opazovanje. Največ izločenih kotnih opazovanj je bilo na točki S2. V primeru mreže Melje se lepo vidi, da so iz različnih stojišč izločena dolžinska opazovanja do istih točk, in sicer H4, H5, H6. Optimizacija je izločila tista dolžinska opazovanja, ki so najbolj zanesljiva. Optimizacija je izločila največ kotnih meritev do točke H13 in največ dolžinskih meritev do točk H5 in H6. Večina kotnih in predvsem dolžinskih opazovanj, ki so z optimizacijo izločena, ima relativno visoko število nadštevilnosti, se pravi, da optimizacija izloči zanesljiva opazovanja.

Preglednica 20: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Melje
Table 20: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Melje

GEODETSKA MREŽA MELJE	Izhodiščna mreža	Optimizirana mreža
Število vseh točk:	18	18
Število vseh koordinat:	36	36
Število vseh meritev:	124	94
- sestavljenih kotov	63	49
- horizontalnih dolžin	61	45
Število vseh neznank:	36	36
Število nadštevilnih meritev:	88	58
Ref. standardna deviacija a priori:	1.10	0.80
Ref. standardna deviacija a posteriori:	1.24	0.95
Globalni test:	1.27	1.42
Globalni test [SQRT]:	1.13	1.19
Matrika nadštevilnosti R [DIAG]:	91.00	61.00
Matrika nadštevilnosti R [POVPRECJE]:	0.73	0.65
Standardna deviacija kotov ["]:	1.4142	1.4142
Standardna deviacija dolžin [m]:	0.0040, 0.0010	0.0040, 0.0010
Najmanjša standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0001, 0.0001	0.0002, 0.0002
Največja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0005, 0.0002	0.0005, 0.0004
Srednja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0003, 0.0002	0.0003, 0.0002
Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija:	0.000001	0.000001
Največja lastna vrednost matrike kriterija:	0.000558	0.000565
Norma kovariančne matrike:	0.003929	0.001990
Norma matrike kriterija:	0.000558	0.000565
Razlika norm kovariančne m. in matrike kriterija:	0.003370	0.001425
Sled matrike kriterija:	0.004857	0.004960
Velikost Khatri-Rao produkta \mathbf{U}_F^- :	124 x 666	94 x 666
Velikost vektorja \mathbf{q} :	666 x 1	666 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži \mathbf{p} :	124 x 1	94 x 1

Izhodiščna terestrična dvodimenzionalna mreža Melje ima 18 točk med katerimi se je izmerilo 124 meritev. Optimizirajo se koti in dolžine. Z optimizacijo plana meritev, smo s prvotnih 63 sestavljenih kotov in 61 merjenih dolžin, sestavili optimalen plan meritev, ki vsebuje 49 sestavljenih kotov in 45 merjenih dolžin.

Preglednica 21: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Melje

Table 21: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Melje

Točka	Izhodiščna mreža		Dosežena natančnost	
		σ_i [m]		σ_i [m]
O3	σ_x	0.0003		0.0004
	σ_y	0.0002		0.0002
O4	σ_x	0.0003		0.0004
	σ_y	0.0002		0.0004
O2	σ_x	0.0002		0.0003
	σ_y	0.0001		0.0002
H1	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H2	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H3	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0003
H4	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H5	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H6	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0003
H7	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H8	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
H9	σ_x	0.0005		0.0005
	σ_y	0.0002		0.0003
H13	σ_x	0.0004		0.0004
	σ_y	0.0001		0.0002
H14	σ_x	0.0003		0.0003
	σ_y	0.0002		0.0002
H15	σ_x	0.0002		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0002
O1	σ_x	0.0001		0.0002
	σ_y	0.0002		0.0003
S1	σ_x	0.0003		0.0004
	σ_y	0.0002		0.0002
S2	σ_x	0.0003		0.0004
	σ_y	0.0002		0.0002

Pred začetkom optimizacije smo zahtevali natančnost določitve koordinat točk geodetske mreže Melje velikosti 0.001 m. Natančnost položajev točk po izločitvi 30 meritev iz začetnega načrta meritev se ni bistveno spremenila. Vidimo, da so standardne deviacije točk skoraj krogi, z minimalnim odstopanjem med σ_x in σ_y komponento koordinat točk, ki znaša največ 0.2 mm.

9.6 Geodetska mreža Kaste

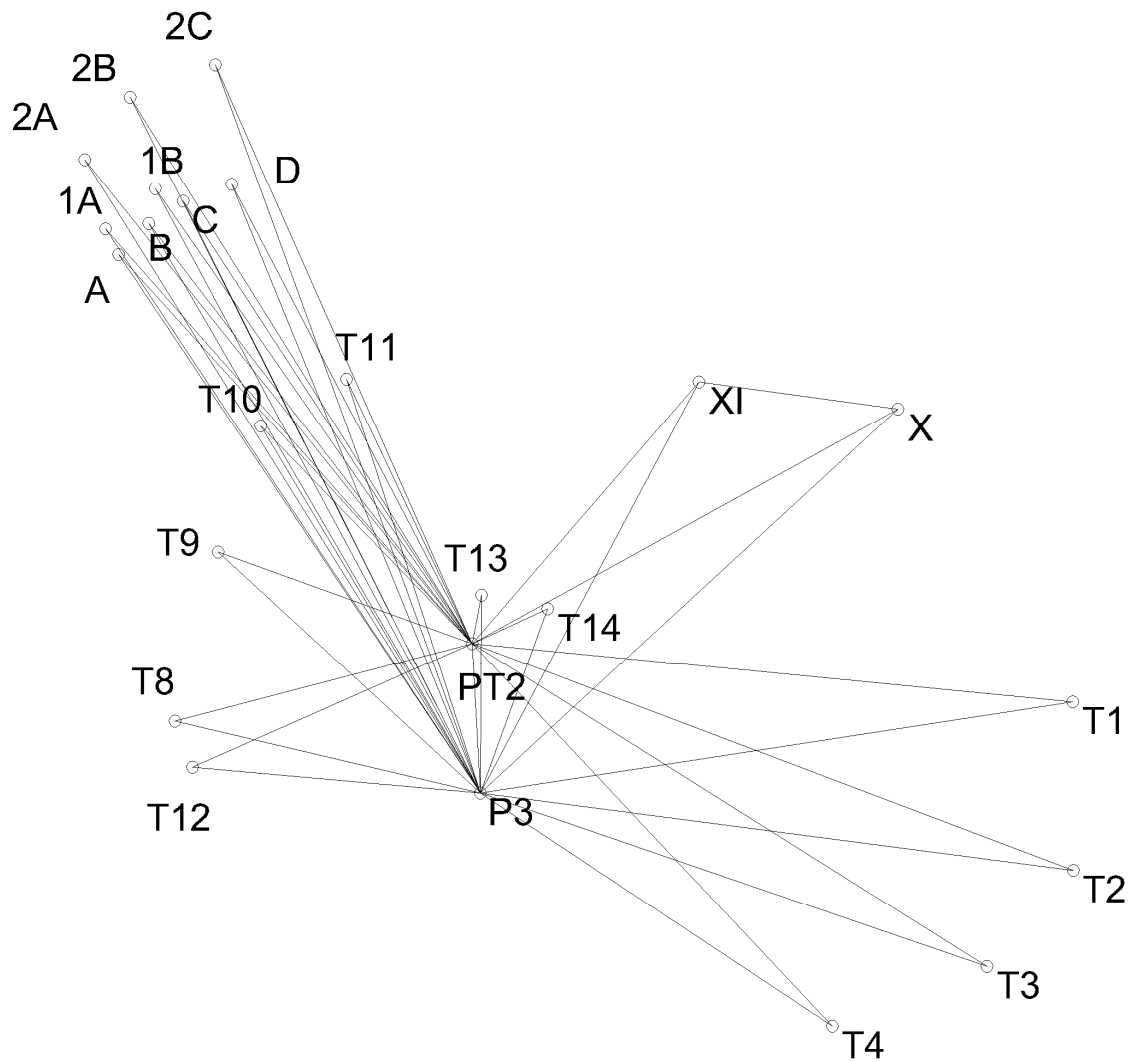
Hidroelektrarna Moste je prva izmed slovenskih hidroelektrarn na Savi. Strojnica elektrarne in pregrada sta ločeni, med njima je 840 m dovodni rov. Betonska ločno-težnostna pregrada je zgrajena v najožjem delu soteske Kavčke v bližini Most pri Žirovnici. Pregrada je s 60 m višine najvišji tovrstni objekt v državi (HE Moste URL, 2013). Levi del pregrade je naslonjen na kompaktno hribino, desni del pa na veliko skalno gmoto - samico. Zaradi te samice so prvotno projektirano ločno pregrado preprojektirali in zgradili ločno-težnostno pregrado. Na drugi strani samice ležijo kašte. Kašte so zložba, ki ščiti, da se savski prod in morene dolinskega ledenika ne splazijo v podslapje pregrade (Prispevek h glacialni geologiji radovljjske kotline URL, 2016). V podslapju in na kaštah je razvita geodetska mreža, s katero ugotavljamo stabilnost kašt. Obravnavano geodetsko mrežo Kaste tvori 24 točk. Mreža Kaste je triangulacijsko-trilateracijska geodetska mreža. Najbolj oddaljeni medsebojno merjeni točki v mreži sta točki P3 in 2C, in sicer 72 m, najkrajša pa je merjena razdalja med točkama PT2 in T13, ki znaša 4.6 m. Optimizacijo drugega reda smo izvedli z metodo direktne rešitve. Podatki o meritvah, izravnavi in optimizaciji geodetske mreže Kaste so navedeni v prilogi E.



Slika 16: Kašte ob pregradi hidroelektrarne Moste (HE Moste URL, 2013)
Figure 16: Barages by the side of dam of hydroelectric power plant Moste (HE Moste URL, 2013)

Preglednica 22: Približne koordinate točk geodetske mreže Kaste
Table 22: Approximate coordinates of points of geodetic network Kaste

Točka	Y [m]	X [m]
P3	33175.0298	41030.3075
X	33213.7019	41065.9033
XI	33195.2762	41068.4340
PT2	33174.2267	41044.1623
T1	33229.8776	41038.7461
T2	33229.9348	41023.1540
T3	33221.9563	41014.2821
T4	33207.6049	41008.7314
T8	33146.6767	41036.9589
T9	33150.6886	41052.6379
T10	33154.6569	41064.3652
T11	33162.5754	41068.7114
T12	33148.3016	41032.7032
T13	33175.1244	41048.6453
T14	33181.2516	41047.3658
A	33141.4703	41080.2471
B	33144.2458	41083.1230
C	33147.4553	41085.2296
D	33151.9813	41086.7848
1A	33140.2799	41082.6151
1B	33144.8606	41086.3695
2A	33138.3632	41089.0790
2B	33142.5276	41094.8358
2C	33150.4537	41097.8196



Slika 17: Geodetska mreža Kaste
Figure 17: Geodetic network Kaste

Preglednica 23: Rezultati optimizacije meritev geodetske mreže Kaste
Table 23: Results of optimization of measurements of geodetic network Kaste

Točka			Meritev	σ_i ["] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i ["] optimizirane mreže
S	Z ₁	Z ₂	α_i [° ' "]				
P3	X	T1	33 52 35.7	1.4142	7952007	0.05	0.731454
P3	T1	T2	16 10 3.4	1.4142	7163878	0.38	0.770639
P3	T2	T3	11 26 0.5	1.4142	1718153	0.36	1.573600
P3	T3	T4	14 39 45.8	1.4142	4612440	0.29	0.960417
P3	T4	T12	151 34 37.2	1.4142	-430512	0.05	*
P3	T12	T8	8 6 11.2	1.4142	2365345	0.07	1.341152
P3	T8	T9	29 20 18.0	1.4142	1081703	0.10	1.983221
P3	T9	A	13 34 21.4	1.4142	4867790	0.18	0.934887
P3	A	1A	0 17 51.6	1.4142	7328537	0.56	0.761933
P3	1A	2A	1 38 20.6	1.4142	4774026	0.57	0.944023
P3	2A	T10	1 4 53.1	1.4142	3786275	0.40	1.060032
P3	T10	B	0 38 37.5	1.4142	4081994	0.40	1.020914
P3	B	1B	1 56 54.3	1.4142	-1476674	0.57	*
P3	1B	2B	1 33 3.9	1.4142	14110238	0.47	0.549108
P3	2B	C	0 4 30.1	1.4142	4631238	0.56	0.958466
P3	C	D	4 27 21.6	1.4142	9782520	0.59	0.659477
P3	D	2C	2 12 3.4	1.4142	16748770	0.63	0.504004
P3	2C	T11	2 2 45.3	1.4142	7221207	0.36	0.767574
P3	T11	PT2	14 38 19.8	1.4142	-1353949	0.56	*
P3	PT2	T13	3 37 18.5	1.4142	-312816	0.39	*
P3	T13	T14	19 44 41.4	1.4142	1661840	0.04	1.600039
P3	T14	XI	7 55 33.3	1.4142	667527	0.05	2.524589
PT2	X	T14	4 20 41.2	1.4142	76747	0.01	7.445506
PT2	T14	T1	30 3 7.6	1.4142	-249277	0.05	*
PT2	T1	T2	15 6 8.4	1.4142	6277369	0.42	0.823259
PT2	T2	T3	11 23 12.7	1.4142	11083911	0.45	0.619553
PT2	T3	T4	14 39 36.9	1.4142	9177237	0.44	0.680878
PT2	T4	P3	39 58 58.9	1.4142	-1366231	0.18	*
PT2	P3	T12	69 26 14.6	1.4142	-83757	0.13	*
PT2	T12	T8	9 12 18.7	1.4142	3297168	0.07	1.135938
PT2	T8	T9	34 27 34.7	1.4142	902041	0.09	2.171761
PT2	T9	T10	26 8 2.0	1.4142	1504804	0.10	1.681455
PT2	T10	A	1 51 2.0	1.4142	2958389	0.19	1.199216
PT2	A	1A	0 47 37.4	1.4142	17637851	0.36	0.491137
PT2	1A	2A	2 49 58.1	1.4142	10266210	0.37	0.643754
PT2	2A	B	1 1 23.8	1.4142	12633611	0.48	0.580312
PT2	B	1B	2 45 17.5	1.4142	14107407	0.02	0.549163
PT2	1B	C	1 43 18.8	1.4142	14839525	0.48	0.535445
PT2	C	2B	1 4 32.5	1.4142	7367557	0.39	0.759912
PT2	2B	D	4 27 36.5	1.4142	7205607	0.36	0.768404
PT2	D	T11	2 11 31.9	1.4142	2099307	0.25	1.423597
PT2	T11	2C	1 28 49.1	1.4142	752753	0.34	2.377382
PT2	2C	T13	35 14 51.0	1.4142	-214717	0.03	*
PT2	T13	XI	29 35 1.5	1.4142	32664	0.01	11.412817
XI	X	P3	110 9 24.1	1.4142	960115	0.11	2.105056
XI	P3	PT2	12 57 45.1	1.4142	-1779126	0.86	*
X	P3	PT2	13 46 54.8	1.4142	-7794214	0.88	*
X	PT2	XI	36 39 45.5	1.4142	847406	0.23	2.240677

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 23

Točka		Meritev d_i [m]	σ_i [m] izhodiščne mreže	p_i optimizirane mreže	r_i optimizirane mreže	σ_i [m] optimizirane mreže
S	Z					
P3	X	52.5645	0.001	162	0.76	0.000785
P3	T1	55.5029	0.001	2169	0.56	0.000215
P3	T2	55.3769	0.001	1696	0.54	0.000243
P3	T3	49.5965	0.001	1081	0.55	0.000304
P3	T4	39.0825	0.001	592	0.57	0.000411
P3	T12	26.8285	0.001	1184	0.71	0.000291
P3	T8	29.1096	0.001	887	0.72	0.000336
P3	T9	33.0144	0.001	94	0.76	0.001034
P3	A	60.1456	0.001	1164	0.52	0.000293
P3	1A	62.8236	0.001	1033	0.51	0.000311
P3	2A	69.2968	0.001	579	0.50	0.000416
P3	T10	39.6737	0.001	461	0.61	0.000466
P3	B	61.1092	0.001	1141	0.52	0.000296
P3	1B	63.6896	0.001	1270	0.50	0.000281
P3	2B	72.2780	0.001	831	0.50	0.000347
P3	C	61.4322	0.001	1356	0.51	0.000272
P3	D	60.9794	0.001	964	0.50	0.000322
P3	2C	71.8722	0.001	1144	0.49	0.000296
P3	T11	40.3663	0.001	1154	0.53	0.000294
P3	PT2	13.8775	0.001	-2041	0.99	*
P3	T13	18.3384	0.001	912	0.56	0.000331
P3	T14	18.1577	0.001	2316	0.89	0.000208
P3	XI	43.1723	0.001	26	0.85	0.001980
PT2	X	45.0703	0.001	-34	0.82	*
PT2	T14	7.7240	0.001	560	0.94	0.000422
PT2	T1	55.9224	0.001	1056	0.55	0.000308
PT2	T2	59.5438	0.001	639	0.55	0.000396
PT2	T3	56.3188	0.001	284	0.56	0.000593
PT2	T4	48.6854	0.001	549	0.58	0.000427
PT2	P3	13.8778	0.001	-2041	0.99	*
PT2	T12	28.3456	0.001	2311	0.84	0.000208
PT2	T8	28.4664	0.001	2211	0.81	0.000213
PT2	T9	25.0016	0.001	865	0.73	0.000340
PT2	T10	28.1142	0.001	186	0.58	0.000733
PT2	A	48.7124	0.001	1193	0.51	0.000290
PT2	1A	51.3188	0.001	1072	0.51	0.000305
PT2	2A	57.5035	0.001	600	0.50	0.000408
PT2	B	49.1383	0.001	1189	0.51	0.000290
PT2	1B	51.4441	0.001	1215	0.51	0.000287
PT2	C	49.0001	0.001	1296	0.50	0.000278
PT2	2B	59.7986	0.001	846	0.50	0.000344
PT2	D	48.0594	0.001	878	0.50	0.000337
PT2	T11	27.1668	0.001	1010	0.52	0.000315
PT2	2C	58.7168	0.001	1300	0.49	0.000277
PT2	T13	4.5737	0.001	3660	0.52	0.000165
PT2	XI	32.1324	0.001	244	0.86	0.000641
XI	X	18.5967	0.001	2806	0.78	0.000189
XI	P3	43.1728	0.001	26	0.85	0.001980
XI	PT2	32.1324	0.001	244	0.86	0.000641
X	P3	52.5649	0.001	162	0.76	0.000785
X	PT2	45.0703	0.001	-34	0.82	*
X	XI	18.5967	0.001	2806	0.78	0.000189

Iz preglednice rezultatov optimizacije meritev geodetske mreže Kaste vidimo, da je bilo iz izhodiščnega načrta meritev izločenih 12 kotnih opazovanj in 4 dolžinska. Optimizacija mreže je kotu merjenemu iz stojišča PT2 proti točkama A in 1A določila največjo utež med koti, merjeni dolžini iz stojišča PT2 proti točki T13 pa največjo utež med dolžinami (gre za najkrajšo merjeno dolžino v mreži). Za to, da smo pridobili mrežo brez negativnih uteži so bile potrebne štiri iteracije optimizacije. Uteži kotnih meritev so tudi v mreži Kaste večje, kot uteži dolžinskih meritev. Optimizirane natančnosti večine merjenih dolžin so višje, kot natančnosti dolžin izhodiščne mreže. Pri kotih opazovanjih pa so nekatere natančnosti po optimizaciji slabše, kot pred optimizacijo, izstopa meritev kota iz točke PT2 proti bližnjima točkama T13 in XI (ta meritev ima tudi najmanjšo zanesljivost). Število kotnih meritev se je zmanjšalo na vseh stojiščih. Na točkah XI in X je po optimizaciji preostala samo še ena kotna meritev. Optimizacija je izločila dolžinske meritve na treh od štirih stojišč (morda je razlog v relativno kratkih razdaljah v celotni mreži). Optimizacija je izločila največ kotnih in hkrati dolžinskih meritev do točke PT2. Če primerjamo uteži in število nadštevilnosti posamezne meritve, ugotovimo, da se v mreži Kaste ta dva kriterija pri kotnih opazovanjih precej dopolnjujeta (majhen p_i in majhen r_i i -tega opazovanja), pri dolžinskih pa sta izključujoča.

Preglednica 24: Primerjava rezultatov izhodiščne in optimizirane geodetske mreže Kaste
Table 24: A comparison of results between the original and optimized geodetic network Kaste

GEODETSKA MREŽA KASTE	Izhodiščna mreža	Optimizirana mreža
Število vseh točk:	24	24
Število vseh koordinat:	48	48
Število vseh meritev:	100	86
- sestavljenih kotov	48	38
- horizontalnih dolžin	52	48
Število vseh neznank:	48	48
Število nadštevilnih meritev:	52	38
Ref. standardna deviacija a priori:	0.72	0.75
Ref. standardna deviacija a posteriori:	0.64	0.32
Globalni test:	0.78	0.19
Globalni test [SQRT]:	0.88	0.43
Matrika nadštevilnosti R [DIAG]:	55.00	41.00
Matrika nadštevilnosti R [POVPRECJE]:	0.55	0.48
Standardna deviacija kotov [′′]:	1.4142	1.4142
Standardna deviacija dolžin [m]:	0.0010	0.0010
Najmanjša standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0001, 0.0001	0.0001, 0.0001
Največja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0006, 0.0006	0.0003, 0.0003
Srednja standardna deviacija položaja točk [m]:	0.0003, 0.0003	0.0002, 0.0002
Kvaliteta aproksimacije matrike kriterija:	0.000024	0.000513
Največja lastna vrednost matrike kriterija:	0.003426	0.022528
Norma kovariančne matrike:	0.000566	0.001980
Norma matrike kriterija:	0.003426	0.022528
Razlika norm kovariančne m. in matrike kriterija:	0.002860	0.020548
Sled matrike kriterija:	0.014375	0.039699
Velikost Khatri-Rao produkta \mathbf{U}_r^- :	100 x 1176	86 x 1176
Velikost vektorja \mathbf{q} :	176 x 1	1176 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži \mathbf{p} :	100 x 1	86 x 1

Izhodiščna mreža Kaste vsebuje 24 točk, od tega se meritve opravljajo iz štirih. Optimizirali smo kote in dolžine v mreži. Z zmanjševanjem števila meritev, smo s prvotnih 48 sestavljenih kotov in 52 merjenih dolžin, sestavili optimalen plan meritev v geodetski mreži Kaste, ki vsebuje 38 sestavljenih kotov in 48 merjenih dolžin. Globalni test modela za optimizirano mrežo Kaste (če so meje za sprejetje modela $0.7 \leq GTM \leq 1.3$) ni bil sprejet.

Preglednica 25: Primerjava standardnih deviacij koordinat pred in po optimizaciji geodetske mreže Kaste

Table 25: A comparison of the standard deviations of the coordinates before and after optimization of geodetic network Kaste

Točka	Izhodiščna mreža		Dosežena natančnost	
		σ_i [m]		σ_i [m]
P3	σ_x	0.0001	σ_x	0.0001
	σ_y	0.0001	σ_y	0.0001
X	σ_x	0.0003	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0002	σ_y	0.0002
XI	σ_x	0.0002	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0002	σ_y	0.0001
PT2	σ_x	0.0001	σ_x	0.0001
	σ_y	0.0001	σ_y	0.0002
T1	σ_x	0.0006	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0002	σ_y	0.0002
T2	σ_x	0.0005	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0002	σ_y	0.0003
T3	σ_x	0.0005	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0003	σ_y	0.0002
T4	σ_x	0.0004	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0004	σ_y	0.0002
T8	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0001	σ_y	0.0001
T9	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0002	σ_y	0.0001
T10	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0004	σ_y	0.0002
T11	σ_x	0.0002	σ_x	0.0001
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0003
T12	σ_x	0.0003	σ_x	0.0003
	σ_y	0.0001	σ_y	0.0001
T13	σ_x	0.0001	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0004	σ_y	0.0003
T14	σ_x	0.0001	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0001	σ_y	0.0001
A	σ_x	0.0004	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0002
B	σ_x	0.0004	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0002
C	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0003
D	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0003
1A	σ_x	0.0004	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0002
1B	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0002
2A	σ_x	0.0004	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0002
2B	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0005	σ_y	0.0003
2C	σ_x	0.0003	σ_x	0.0002
	σ_y	0.0006	σ_y	0.0003

Tudi v geodetski mreži Kaste smo podali zahtevo glede natančnosti določitve koordinat točk 0.001 m. Takšna natančnost je bila izbrana na podlagi velikosti standardnih deviacij koordinat točk izračunanih v prvi izravnavi izhodiščne mreže. Natančnost položajev točk po optimizaciji je malenkost boljša od natančnosti izhodiščne mreže. Vidimo, da so standardne deviacije

krogi pri sedmih od štiriindvajsetih točk. Razlika med σ_x in σ_y komponento koordinat točk na preostalih točkah pa znaša največ 0.1 mm.

9.7 Ugotovitve

Vzroki, da se položaji (koordinate) geodetskih točk skozi čas spreminjajo, so različni dejavniki, ki vplivajo na stabilizirane geodetske točke. Spreminjanje položajev pa lahko natančno določimo, če uporabimo metode izmere in matematična orodja, ki dajo kvalitetne rezultate določitve položajev točk v posamezni terminski izmeri. Mnogokrat se v praksi zgodi, da so pogoji med merjenjem takšni, da ne omogočajo izmere vseh meritev, ki bi jih želeli opraviti. Eno od matematičnih orodij, ki da odgovor, ali vsa opazovanja za dosego postavljenih natančnosti položajev točk dejansko potrebujemo, je postopek optimizacije drugega reda. Ta postopek smo v magistrskem delu opravili na štirih realnih klasičnih geodetskih mrežah Libna, Markovci, Melje in Kaste. Navedene mreže služijo spremljanju dogajanja na objektih oziroma v okolici objektov, ki so lokalnega ali državnega pomena. Za izračun optimizacije teh mrež smo uporabili računalniški program, ki je bil izdelan za namen magistrskega dela, vendar lahko služi za katerokoli klasično dvodimenzionalno mrežo, v kateri so se izvajale klasične geodetske meritve kotov in dolžin. Z optimizacijo geodetskih mrež smo dobili podatek, katere meritve na končno natančnost določitve koordinat točk nimajo velikega vpliva oziroma katere meritve lahko iz prvotnega plana meritev izpustimo, ne da bi to vplivalo na končni rezultat. Na osnovi rezultatov optimizacij štirih mrež, predstavljenih v tem poglavju, lahko zaključimo:

- V povprečju so optimizacije izločile 25,25 % kotnih in 14,75 % dolžinskih meritev. Vrsta meritev na posameznih točkah geodetske mreže vpliva na rezultate optimizacije tako, da so kotnim opazovanjem vedno dodeljene večje uteži, kot dolžinskim opazovanjem.
- V rezultatih optimizacije ni pravila, ki bi ga lahko zanesljivo podali, glede vpliva števila in vrste opazovanj do posameznih točk. V nobeni od optimiziranih mrež ni postopek optimizacije izločil opazovanj proti točno določenemu "tipu" točk, ne glede na to ali smo merili kote ali dolžine in ne glede na število meritev proti določeni točki.
- Glede pomembnosti povezav z različnimi vrstami opazovanj med novimi točkami veljajo določena geometrijska pravila. Najpomembnejše so dolžine na kratkih razdaljah in koti na dolgih razdaljah med točkami. To velja za vse štiri preizkušene mreže. Vendar to ne velja za prav vsa opazovanja, zato ne moremo trditi, da bo rezultat optimizacije vedno izločil prej navedena opazovanja.
- Če želimo odgovor na vprašanje ali pridobijo veliko utež opazovanja, kjer je bilo merjenih veliko število meritev na točkah ali tam, kjer je bilo opravljenih manj meritev na točkah, potem lahko rečemo, da tako za kotne, kot tudi dolžinske meritve velja, da dejavnik števila meritev na posamezni točki nima vpliva na rezultate optimizacije.
- Pri primerjavi pomembnosti vrste opazovanj glede natančnosti in zanesljivosti, za kotne meritve velja, da jih velika večina pridobi zelo visoko natančnost in povprečno zanesljivost, medtem ko je natančnost dolžinskih meritev v povprečju slabša, vendar pa je zanesljivost boljša (dolžinska opazovanja imajo bolj enotno zanesljivost). Na podlagi opravljenih optimizacij velja, da so kotna opazovanja bolj pomembna z vidika natančnosti in manj z vidika zanesljivosti.
- Primerjava natančnosti meritev, ki pridobijo največje uteži (se pravi visoke natančnosti) z zanesljivostjo teh meritev (primerjava p_i in r_i i -tega opazovanja) je sledeča: pri kotnih meritvah se ta dva kriterija izključujeta (pri treh od štirih mrež), pri dolžinskih meritvah pa imajo opazovanja, ki so pridobila najvišjo natančnost, tudi visoko zanesljivost (glede na kotna opazovanja), razen pri eni mreži (Libna), kjer je zanesljivost teh opazovanj enaka nič (ni nadštevilnih meritev). Primerjava meritev, ki

jih optimizacija izloči (se pravi, da pridobijo negativne uteži) z zanesljivostjo teh meritev pokaže, da optimizacija v večini primerov izloči zelo zanesljive dolžinske meritve in nekoliko manj zanesljive kotne meritve.

V magistrskem delu smo želeli ugotoviti tudi, ali obstaja pravilo glede vrstnega reda izločanja meritev, ki pridobijo negativno utež po 1. iteraciji. Testno izločanje smo naredili na geodetski mreži Markovci. Po 1. iteraciji je 12 opazovanj pridobilo negativno utež. Na podlagi teh rezultatov smo 1. iteracijo izvedli ponovno na način, da smo vsakič iz izhodiščne mreže izločili eno samo opazovanje, ki je pridobilo negativno utež v 1. iteraciji in ponovno izvedli 1. iteracijo (izločeno opazovanje, ki ni bilo predmet testiranja, smo vsakič znova vrnili v vhodno datoteko). V 2. iteraciji smo že na začetku izločili opazovanje, ki je v 1. iteraciji v vseh ponovitvah izločanja pridobilo največjo negativno utež (05 06 07) ter nato ponovno izločali eno po eno meritve. V 3. iteraciji smo vnesli meritve (vhodne podatke), ki niso vsebovale opazovanja z največjo negativno utežjo (05 H6 H7) in opazovanja z najmanjšim številom nadštevilnosti (02 01 05). V nadaljevanju smo ponovno izločali po eno samo opazovanje. Na podlagi rezultatov vseh treh iteracij lahko zaključimo, da lahko izločimo vse meritve z negativnimi utežmi naenkrat. Vendar to ne velja vedno in povsod, saj so se v vseh treh iteracijah pojavile izjeme (dodatno izločeno opazovanje ali "negativno" opazovanje, ki pridobi v določeni ponovitvi pozitivno utež), zato težko zaključimo oziroma naredimo pravilo o vrstnem redu izločanja. To je tudi razlog, da se optimizacija ni zelo uveljavila v inženirski praksi, saj je ni mogoče popolnoma nekritično uporabljati. Poleg tega ni mogoče trditi, da je v konkretni nalogi optimalen en sam načrt izvedbe opazovanj, skoraj enako kakovostno lahko zahteve izpolni več različnih načrtov izvedbe opazovanj. Rezultati testnih optimizacij so podani v prilogi F.

Kljub temu, da v matriki kriterija zahtevamo natančnost določitve koordinat točk, le-te v praksi nikoli ne dosežemo. Matrika kriterija namreč vsebuje aproksimacijske vrednosti. V teh aproksimacijah (približnih vrednostih) je vzrok, odvisno od velikosti in kompleksnosti mreže, da se vedno pojavljajo odstopanja od vnaprej postavljene zahteve natančnosti ali katerega drugega kriterija kvalitete geodetske mreže. Kljub tem pomanjkljivostim aproksimacijskih metod optimizacije so rezultati optimizacije vseeno uporabni za izbiro optimalnega načrta meritev v geodetski mreži. Naš cilj je bil, da bodo natančnosti koordinat točk krogi, istih velikosti. Ugotovili smo, da je natančnost (σ_x in σ_y koordinat točk) po končani optimizaciji približno enako velika pri obeh komponentah koordinat točk v mreži. Prav tako so natančnosti določitve koordinat točk približno iste velikosti za vse točke in lahko govorimo o homogeni natančnosti določitve koordinat točk v mreži, kar je bil tudi naš cilj po optimizaciji. Če primerjamo vrednosti določitve izravnanih koordinat izhodiščne mreže in mreže po zadnji iteraciji optimizacije, vidimo, da se ne razlikujejo za veliko, od nekaj desetink mm do maksimalne razlike reda velikosti 1 mm. Rezultati kažejo tudi, da je glede večine meril natančnosti optimizirana mreža boljša od izhodiščne mreže.

Zgoraj navedene ugotovitve temeljijo na uporabi koncepta optimizacije na štirih realnih klasičnih geodetskih mrežah, zato ne moremo na podlagi analize rezultatov teh primerov zagotovo trditi, da gre za splošna načela koncepta optimizacije.

V tiskani prilogi magistrskega dela so podani rezultati izračunov izhodiščnih mrež in končnih optimizacijskih postopkov. Vsi vmesni izračuni so priloženi v digitalni verziji magistrskega dela.

10 ZAKLJUČEK

Spremembe na zemeljskem površju in grajenih objektih so posledica vpliva raznoraznih sil. Vplivi so lahko enakomerni in nastajajo dalj časa, te težko zaznamo ali pa so nenavadni in celo ekstremni, katerih posledice lahko ogrozijo varnost ljudi ter objektov. Skrb za spremljanje sprememb pomeni preventivno ravnanje in daje odgovore o vplivih na naravno in grajeno okolje, na lokalnem ali globalnem območju merjenja. Na splošno velja, da se spremljanje v današnjem, tehnološko razvitem obdobju izvaja na podlagi meritev, z ustreznimi instrumenti, skladno z namenom meritev. Pri projektiranju mreže za spremljanje premikov je glavni namen meritev spremljati obnašanje določenega objekta in njegove okolice. Splošni postopki spremljanja premikov vključujejo merjenje prostorskih premikov izbranih točk objekta, z izhodiščem na referenčnih točkah. Kadar se referenčne točke nahajajo znotraj sestava, ki ga opazujemo, se lahko določijo le relativni premiki. Absolutni premiki pa se lahko določijo, če se referenčne točke nahajajo izven območja, ki je pod vplivom premikov. Meritve se nato izvajajo relativno glede na te absolutne referenčne točke. Tako se v realnosti vsakič pojavlja kar nekaj vprašanj, kot na primer:

- katere vrste meritev na posameznem stojišču je nujno potrebno izvesti,
- kakšen vpliv ima posamezna meritev na določitev položaja točk,
- koliko meritev je nujno potrebnih na posameznem stojišču,
- ali lahko določeno meritev izključimo iz plana meritev in
- ali je določeno meritev potrebno izvesti za vsako ceno.

T.i. kontrolne mreže se ne navezujejo na državno geodetsko izmero, saj moramo preprečiti prenos morebitnih pogreškov iz državne na lokalno mrežo. Iz tega razloga so takšne mreže po navadi lokalne narave in imajo vse značilnosti prostih mrež. Izravnava se z metodo posredne izravnave, kot proste mreže oziroma z minimalnim številom vezi v mreži. Če mrežo obravnavamo kot prosto mrežo, so v njej vse točke neznanke.

V mnogih primerih geodetske prakse, posebno na področju uporabne inženirske geodezije, kjer se merijo kontrolne geodetske mreže, mora takšna mreža zadovoljiti posebne zahteve natančnosti. Cilj magistrskega dela z naslovom Optimizacija terestričnih geodetskih mrež namenjenih spremljanju premikov je bil uporaba koncepta optimizacije drugega reda na nekaterih obstoječih kontrolnih geodetskih mrežah v Republiki Sloveniji. V vseh mrežah smo optimizirali dve tipični vrsti geodetskih meritev v horizontalnih geodetskih mrežah – dolžine in kote. V optimizaciji drugega reda horizontalne geodetske mreže smo pridobili ugotovitve o pomembnosti posameznih meritev v tej mreži, ob predpostavki enotne natančnosti horizontalnih komponent koordinat točk, ki jih iščemo. Naša naloga je bila pridobiti optimalen načrt izvedbe meritev. Na konkretnih primerih smo skušali pokazati, da vse meritve, ki so bile uporabljene v začetnem planu pred postopkom optimizacije, niso potrebne za doseg želenih kriterijev natančnosti in da imajo različne meritve različen vpliv na končni rezultat. Glavno merilo, na osnovi katerega smo ocenjevali rezultate optimizacije nekoreliranih meritev v mreži in variančno-kovariančno situacijo optimizirane mreže, so bile optimizirane vrednosti uteži in iz njih izračunane optimizirane standardne deviacije meritev. V posamezni iteraciji zmanjšamo število meritev iz predhodnega plana meritev na način, da odstranimo meritve z negativnimi utežmi. To so tiste meritve, ki na variančno-kovariančno situacijo mreže nimajo vpliva.

Postopek optimizacije v geodeziji se uporablja za zasnovo geodetske mreže, ki bo imela optimalen datum, obliko ali optimalne natančnosti meritev. V praksi vedno začnemo z mrežo, ki je izvedljiva v danih okoliščinah. V nadaljevanju pa plan izboljšujemo do te mere, da postane bolj ekonomičen, zanesljiv in dovolj natančen. Pri tem imajo največji vpliv na spremembo izhodiščne mreže topografija terena, oblika terena in objekta – konstrukcije, ki ga spremljamo ter razpoložljiva merska oprema. S postopkom optimizacije smo preverili ali so izboljšave v obravnavanih mrežah možne. Za optimizacijo kotov in dolžin v horizontalni

geodetski mreži smo izdelali računalniški program OPTIM2D. Program je namenjen optimizaciji drugega reda, z metodo direktne rešitve, glede na kriterij natančnosti, podan v matriki kriterija. V njej smo podali takšno variančno-kovariančno situacijo, ki omogoča, da bo optimizirana geodetska mreža homogena izotropna. S programom smo poskušali izbranim geodetskim mrežam določiti optimalen plan meritev (razporeditev in vrsta meritev) in potrebne natančnosti določitve koordinat točk v mrežah.

Matriko kriterija (enačba 7.13) smo oblikovali na podlagi prečne in vzdolžne korelacijske funkcije iz enačb (7.6) in (7.7). Glede na to, da je skladnost (kvaliteta aproksimacije) matrike kriterija z dano kovariančno matriko prvi pogoj za postopek optimizacije drugega reda, moramo v matriki kriterija uporabiti čim bolj ustrezno karakteristično razdaljo, ki je spremenljivka korelacijskih funkcij. Ko smo kot karakteristično razdaljo izbrali dolžino $d = \frac{2}{3}s_{\min}$ med dvema poljubnima točkama v geodetski mreži, se je matrika kriterija najbolje skladala z dejansko kovariančno matriko. Na podlagi tega kriterija in ostalih, navedenih v poglavju (9.2.1) smo za karakteristično razdaljo v vseh obravnavanih geodetskih mrežah izbrali $d = \frac{2}{3}s_{\min}$. V drugi fazi smo matriko kriterija s Taylor-Karmanovo strukturo transformirali (enačba 7.21) v isti datum kot ga ima variančno-kovariančna matrika ocenjenih koordinat. V prvi iteraciji metode direktne rešitve optimizacije drugega reda na podlagi matrike kriterija vsebuje matrika koeficientov enačb popravkov **B** vse možne meritve (začetni plan meritev). Nato izračunamo uteži teh meritev na podlagi enačbe (8.3). Meritve iz začetnega plana meritev, ki imajo negativne uteži, izločimo, saj meritve z negativnimi utežmi nimajo vpliva na zahtevano natančnost mreže. Prvi iteraciji sledi druga. V primeru, da postopek optimizacije ponovno izloči kakšno meritev, opravimo tretjo in nadaljnje iteracije, v nasprotnem primeru proces optimizacije zaključimo.

Podajmo še nekaj ugotovitev glede rezultatov uporabe postopka optimizacije na izbranih primerih položajnih geodetskih mrež. V geodetskih mrežah po navadi izvajamo več tipov meritev, v preteklosti pa so v horizontalnih geodetskih mrežah izvajali zgolj meritve kotov, danes je tako le izjemoma. Kljub temu lahko na podlagi izvedenih izračunov zaključimo, da kotne meritve predstavljajo v klasični terenski položajni mreži najpomembnejšo vrsto meritev. Kot najpomembnejše se izkažejo kotne meritve, predvsem med točkami na dolgih razdaljah. Večina dolžin, ki so pridobile največje uteži, je krajših oziroma med sosednjimi točkami mreže. Skoraj vse optimalne uteži meritev so mnogokrat večje, kot jih lahko v praksi zagotovimo.

Zahtevano natančnost določitve koordinatnih neznank smo izbrali poljubno, v praksi le-to poda investitor (naročnik) ali projektant. V splošnem da optimizacija drugega reda takšne optimizirane uteži, da dobimo na vseh točkah mreže, namesto elips pogreškov, kroge velikosti zahtevane natančnosti (enake natančnosti obeh komponent koordinat točk). Na podlagi rezultatov v preglednicah, kjer primerjamo standardne deviacije koordinat točk pred in po optimizaciji geodetske mreže, lahko sklepamo, da končni plan meritev zadovoljivo reši zastavljeno nalogo. Standardne deviacije koordinat vseh novih točk sicer niso krogi, z radijem zahtevane natančnosti, se pa postavljenim kriterijem približajo. Zaključimo lahko, da z manjšim (optimiziranim) številom meritev v mreži lahko vplivamo na izboljšanje globalne in lokalne natančnosti geodetske mreže oziroma določitev koordinat novih točk z v naprej postavljenimi kriteriji.

11 POVZETEK

Najnatančnejše meritve, s katerimi potrjujemo stabilnost oziroma nestabilnost območja, ki ga merimo, v praksi obdelamo, izravnamo in v določenih primerih optimiziramo. Položaji točk v kontrolnih geodetskih mrežah so določeni glede na obliko in položaj območja ali objekta, ki ga spremljamo. Končni doseženi rezultati izmere in izračunov so najverjetnejši položaji točk in njihove natančnosti. Po najmanj dveh terminskih izmerah lahko na podlagi položajev točk izračunamo premike točk v geodetski mreži. Ti rezultati pa morajo biti določeni z zelo visoko natančnostjo, ki jo po navadi zahteva naročnik. Že pred dejansko izmero geodetske mreže lahko z optimizacijo geodetskega datuma, oblike mreže in načrta meritev, načrtujemo najprimernejšo geodetsko mrežo, ki bo zadostila postavljenim kriterijem naročnika. Kljub temu, da metode optimizacije vedno in povsod ne moremo uporabljati za projektiranje realnih mrež, ker je v praksi določene optimizirane uteži oziroma natančnosti meritev nemogoče izvesti, pa nam ta metoda služi kot dober pokazatelj šibkih območij mreže. Optimizacijo geodetskih mrež lahko razvrstimo, glede na dane oziroma iskane parametre postopka izravnave, v štiri rede. V optimizaciji ničelnega reda sta dani matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matrika uteži \mathbf{P} načrtovanih meritev v geodetski mreži. Iskani parametri pa so vektor neznank Δ in matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$. V prvem redu optimizacije sta dani matrika uteži meritev \mathbf{P} in matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$, medtem ko je optimalna matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} neznana. Z optimizacijo drugega reda iščemo optimalne uteži v matriki \mathbf{P} , medtem ko sta matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ znani. Na podlagi omenjene razvrstitve na dane in iskane parametre postopka izravnave po metodi najmanjših kvadratov, v tretjem redu optimizacije začnemo z dano matriko kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ in delno poznano matriko koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matriko uteži meritev \mathbf{P} . V magistrskem delu smo z metodo drugega reda optimizacije izračunali optimalno razporeditev uteži meritev v dvodimenzionalnih geodetskih mrežah, v katerih so se merili koti in dolžine. Metodo direktne rešitve optimizacije drugega reda smo uporabili na geodetskih mrežah Libna, Markovci, Melje in Kaste. Prednost metode direktne rešitve pred ostalimi metodami optimizacije drugega reda je v manjšem številu iteracij pri reševanju problema optimalne geodetske mreže. Z metodo direktne rešitve izračunamo optimalne uteži meritev v geodetski mreži s posebnimi matematičnimi operacijami (Kroneckerjev produkt, Khatri-Rao produkt, generalizirana inverzija matrike kriterija, ...), ki so se v matematiki pojavile pred približno petdesetimi leti. Problem izbire primernih kriterijev kvalitete geodetske mreže je zelo kompleksen. Primerni kriteriji so v največji meri odvisni od področja geodezije, v katerem se uporablja optimizacija. Navadno se merila kriterijev kvalitete geodetske mreže delijo na lokalna, ki se nanašajo na posamezne točke mreže in globalna merila, ki se nanašajo na kvaliteto celotne mreže. Cilj naših optimizacij je bil minimiziranje koordinatnih pogreškov v vseh smereh, v enakih razmerjih. Ta cilj se poda v umetno ustvarjeni matriki kriterija, v kateri podamo zahteve, ki jih želimo doseči z optimizacijo. V matriki kriterija smo zato v zvezi z natančnostjo koordinat točk sestavili pogoje homogenosti in izotropije geodetske mreže. Vendar, kot smo navedli že zgoraj, je optimizacija drugega reda omejena na izračun optimalnih elementov matrike uteži \mathbf{P} . V tem primeru sta matrika koeficientov enačb popravkov \mathbf{B} in matrika kofaktorjev neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ znani, vendar je matrika \mathbf{B} popolnoma definirana z obliko mreže in vrsto meritev, elemente matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ pa moramo določiti sami. Za določitev teh elementov pa obstajajo samo metode, ki določajo njihove aproksimacijske vrednosti. V teh aproksimacijah leži glavna pomanjkljivost metode drugega reda optimizacije. Aproksimacije namreč, odvisno od velikosti in zahtevnosti obravnavanega modela, povzročajo manjše ali večje neskladnosti od v naprej zahtevane natančnosti ali katerega drugega kriterija kvalitete geodetske mreže. Vendar obstajajo načini, ki se uporabljajo za rešitev tega problema, eden od njih je uporaba Taylor-Karmanove oblike matrike kriterija, s katero poskušamo kvalitetno aproksimirati matriko kriterija. S postopkom optimizacije smo torej na nekaterih geodetskih mrežah preizkusili ali so izboljšave v mreži možne. Na podlagi izvedenih optimizacij lahko zaključimo, da je metoda direktne rešitve primerna za optimizacijo drugega reda dvodimenzionalnih klasičnih terestričnih mrež in je dala pričakovane rezultate.

12 SUMMARY

The most accurate measurements to confirm stability or instability of the area being measured, are in practice processed, adjusted and in certain cases, optimized. Positions of control points in geodetic networks are determined by the shape and position of the area or object being monitored. The final achieved results of measurements and calculations are the most likely positions of the points and their precisions. After at least two epochs, based on point positions, the movements of points in a geodetic network can be calculated. These results must be determined with very high accuracy, which is typically required by a subscriber. Even before the actual measurement of the geodetic network, we can optimize geodetic datum, network form and measurement plan and we can design the best geodetic network, which will meet the approved criteria of the subscriber. Despite the fact that the optimization methods can not always be used for the design of real networks, because it is impossible to carry out certain weights respectively optimized precisions of measurements in practice, but to us, this method serves as a good indicator of the weak areas of the network. Optimization of geodetic networks can be classified according to the given respectively searched parameters of adjustment procedure, into four classes. In zero-order design optimization, configuration matrix \mathbf{B} and weight matrix \mathbf{P} of planned measurements in geodetic network are given. Searched parameters are vector of unknown points coordinates Δ and cofactor matrix of the estimated coordinates of network points $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$. In first-order design optimization, weight matrix of measurements \mathbf{P} and cofactor matrix of the estimated coordinates of network points $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ are given, while optimal configuration matrix \mathbf{B} is unknown. With second-order design we are searching optimal weights in weight matrix of measurements \mathbf{P} , while configuration matrix \mathbf{B} and cofactor matrix of the estimated coordinates of network points $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ are known. Based on this classification into given and searched parameters of least squares adjustment method, in the third-order design optimization, we start with a given cofactor matrix of the estimated coordinates of network points $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ and partially known weight matrix of measurements \mathbf{P} . In this master's thesis, the second-order optimization method was used to calculate the optimal distribution of weights of measurements in two-dimensional geodetic networks, in which the angles and distances were measured. Direct solution method of second-order design optimization was applied to the geodetic networks of Libna, Markovci, Melje and Kaste. The advantage of the direct solution method over other methods of optimization of the second-order design is a small number of iterations in solving the problem of optimal geodetic network. With the direct solution method optimal weights of measurements in geodetic network are calculated with specific mathematical operations (Kronecker product, Khatri-Rao product, generalized inverse of a criterion matrix, ...), which occurred in mathematics around fifty years ago. The problem of choosing suitable criteria of quality of geodetic network is very complex. Suitable criteria are largely dependent on the scope of application of geodesy, in which the optimization is used. Normally, the criteria of quality of geodetic network are divided into local, which refer to individual points of the network and the global criteria relating to the quality of the entire network. The aim of our optimization was to minimize coordinated errors in all directions, in equal proportions. This aim is given in an artificially created criterion matrix, in which we give the requirements to be achieved by optimization. Therefore we had put together homogeneous and isotropic conditions of geodetic network, with regards to the accuracy of coordinates of points in criterion matrix. However, as we stated above, the optimization of the second-order is limited to the calculation of the optimal elements of weight matrix \mathbf{P} . In this case, configuration matrix \mathbf{B} and cofactor matrix of the estimated coordinates of network points $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ are known, however the matrix \mathbf{B} is completely defined by the shape of network and types of measurement, but the elements of matrix $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ we need to determine by ourselves. To determine these elements, there are only methods that determine their approximation values. In these approximations is the main disadvantage of the method of the second-order optimization. Approximations are, depending on the size and complexity of the considered model, causing minor or major non-conformity of the requested accuracy or any other criterion of quality of geodetic network. However, there are methods that are used to

solve this problem, one of them is to use Taylor-Karman's shape of criterion matrix, by which we try to quality approximate criterion matrix. With the optimization process in some geodetic networks we therefore tested if improvements in networks are possible. On the basis of the implemented optimizations we can conclude that the direct solution method is suitable for the optimization of the second-order design for two-dimensional classical terrestrial networks and it gave the expected results.

VIRI

Uporabljeni viri

Al zubaidy, R.Z., Mahdi, H.A., Hanooka, H.S. 2012. Optimized Zero and First Order Design of Micro Geodetic Networks. Journal of Engineering, Volume 18, Number 12: str. 1344-1364. <http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&ald=62700> (Pridobljeno 6. 5. 2013)

Baarda, W. 1979. Measures for the accuracy of geodetic networks. V: Halmos, F (ur.), Somogyi, J. (ur.). Optimization of design and computation of control networks. Budapest: Akadémiai Kiadó: str. 419–436.

Bae, T.-S. 2005. Optimized Network of Ground Stations for LEO Orbit Determination. ION 2005 NTM: str. 515-522. http://www2.ceegs.ohio-state.edu/GPSlab/ION_NT_M_2005_Bae.pdf (Pridobljeno 24. 1. 2013)

Bae, T.-S., Kwon, J.H., Hong, C-K. 2011. Topographic optimal network design of the unified control points in Korea. Earth Planets Space, 63: str. 411-418. http://download.springer.com/static/pdf/417/art%253A10.5047%252Feps.2011.02.007.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.5047%2Feps.2011.02.007&token2=exp=1457270810~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F417%2Fart%25253A10.5047%25252Feps.2011.02.007.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.5047%252Feps.2011.02.007*~hmac=da6d9aa300d9a9dfb3d7e299d214250dba1aebd9a04d8201da13027fdd7d03b2 (Pridobljeno 11. 10. 2012)

Bogatin, S., Kogoj, D., 2006. Pregled modelov vrednotenja geodetskih kontrolnih meritev. Geodetski vestnik 50, 2: str. 201–210. http://www.geodetski-vestnik.com/50/2/qv50-2_201-210.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Caspary, W.F. 1987. Concepts of network and deformation. Monograph 11. Kensington, The university of New South Wales, School of Geomatic Engineering: 195 str. http://www.sage.unsw.edu.au/about/school_pubs/pdfmono/mono11.pdf (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Cross, P.A. 1985. F. Numerical Methods in Network Design. V: Grafarend, E.W. (ur.), Sanso, F. (ur.). Optimization and Design of Geodetic Network. Berlin: Springer Verlag: str. 132–168.

Dobrila, S., 2013. Vzpostavitev terestrične mikro mreže v okolici male HE na jezu Markovci. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 35 str.

Dular, J., 2006. Železnodobno naselje in grobišča na Libni. Topografija in viri. Arheološki vestnik 57: str. 163-181. http://av.zrc-sazu.si/pdf/57/AV_57_Dular.pdf (Pridobljeno 7. 4. 2016)

Federal geographic data Committee – FGDC. 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 4: Standards for Architecture, engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management. Federal Geographic data Committee Secretariat, c/o U.S. Geological Survey, 590 National Center, Reston, Virginia 22092: 23 str. <https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part4/FGDC-endorsed-standard> (Pridobljeno 5. 10. 2012)

Frankič, K. 2007. Skripta za račun izjednačenja. Sarajevo, Građevinski fakultet, Odsek za geodeziju: 300 str.

Grafarend, E.W. 1985. Introduction. V: Grafarend, E.W. (ur.), Sanso, F. (ur.). Optimization and Design of Geodetic Network. Berlin: Springer Verlag: str. 1–5.

Kogoj, D., Vodopivec, F., 2003. Kompariranje in kalibriranje elektronskih razdaljmerov. Geodetski vestnik 47, 1&2: str. 18-26.

http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/gv47-1_018-026.pdf (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Kogoj, D. 2004. New methods of precision stabilization of geodetic points for displacement observation. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten. Vol. 111, No. 8/9: str. 288-292.

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

Kogoj, D., Stopar, B. 2011. Geodetska izmera. Strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, Matična sekcija geodetov: 41 str.

http://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/GEODETSKA_IZMERA.pdf (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Koler, B. 2006/2007. Geodezija v inženirstvu II. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Koler, B., Savšek, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B., Kogoj, D. 2010. Realizacija geodezije v geotehniki. Geodetski vestnik 5, 3: str. 450-468.

http://www.geodetski-vestnik.com/54/3/gv54-3_450-468.pdf (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Kne, B. 2004. Izmera geodinamične mreže Libna. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 51 str.

Kuang, S. 1991. Optimization Design of Deformation Monitoring Schemes. Ph.D. dissertation. Department of Surveying Engineering Technical Report No. 157. Fredericton, New Brunswick, Canada, University of New Brunswick: 179 str.

Kuang, S. 1996. Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications. Ann Arbor Press, Inc. Chelsea Michigan: 368 str.

Mozetič, B., Stopar, B., 2008. Optimizacija opazovanj v geodeziji. Geodetski vestnik 52, 2: str. 313–328.

http://www.geodetski-vestnik.com/52/2/gv52-2_313-328.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Možina, J. 2012. Sanacija terestrične mikro-mreže na jezu Markovci. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 39 str.

Ninkov, T. 1989. Optimizacija projektovanja geodetskih mreža. Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu: 149 str.

Paar, R. 2006. Uspostava geodetske osnove za posebne namjene. Magistrsko delo. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet: 153 str.

Plestenjak, B. 2004. Numerična analiza. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

http://www-lp.fmf.uni-lj.si/plestenjak/vaie/nafgg/predavanja/fgg_06.pdf (Pridobljeno 8.3.2016)

Schaffrin, B. 1979. A study of the second-order design in geodetic networks. V: Halmos, F (ur.), Somogyi, J. (ur.). Optimization of design and computation of control networks. Budapest: Akadémiai Kiadó: str. 175–177.

Schmitt, G. 1979. Experiences with the second-order design problem in theoretical and practical geodetic networks. V: Halmos, F (ur.), Somogyi, J. (ur.). Optimization of design and computation of control networks. Budapest: Akadémiai Kiadó: str. 179–202.

Schmitt, G. 1985a. A. Review of Network Designs, Criteria, Risk Functions and Design Ordering. V: Grafarend, E.W. (ur.), Sanso, F. (ur.). Optimization and Design of Geodetic Network. Berlin: Springer Verlag: str. 6–10.

Schmitt, G. 1985b. D. Second Order Design. V: Grafarend, E.W. (ur.), Sanso, F. (ur.). Optimization and Design of Geodetic Network. Berlin: Springer Verlag: str. 74–121.

Seemkooei, A. A. 1998. Analytical methods in optimization and design of geodetic networks. Dissertation. Teheran, Iran, K. N. Toosi University of Technology, Department of Surveying Engineering: 110 str.

Savšek-Safić, S., Ambrožič T., Stopar B., Turk G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik, 47, 1&2: str. 7–17.
http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/qv47-1_007-017.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Stopar, B. 1995. Sanacija astrogeodetske mreže v Sloveniji z GPS meritvami. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 131 str.

Stopar, B. 2006/2007a. Izravnalni račun III. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Stopar, B. 2006/2007b. Višja geodezija III. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Stopar, B., Marjetič, A., Kogoj, D., Savšek Safić, S., Bogatin, S., Klopčič, J., Logar, J., Majes, B., Jošt, M., Štimulak, A., Ambrožič, T., v tisku. Optimization of geodetic survey measurements in tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology, Manuscript Draft. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 38 str.

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M. 2009. Osnovni geodetski sistem. Strokovni izpit iz geodetske stroke. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije, Matična sekcija geodetov: 49 str.
http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Osnovni_geodetski_sistem_2009.pdf (Pridobljeno 11. 2. 2010)

Štebe, G. 2011. Ponovna obdelava meritev v položajni mreži HE Moste od 1950 do 2010. Diplomski naloga št. 873. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 116 str.

Teke, K., Yalçinkaya, M., Konak, H. 2008. Optimization of GPS Network for Landslide Areas. Fresenius Environmental Bulletin, Parlar Scientific Publications, Vol. 17, No. 6: str. 264-276.
http://www.hq.tuwien.ac.at/Bibl_Docs/Papers/2008/2008_FEB_Teke.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Vodopivec, F., Kogoj, D., Ambrožič, T., Koler, B., Kuhar, M., Pajer, M., Stegenšek, B., Jaklič, S., Stopar, B., Pavlovčič, P., Grigillo, D., Kozmus, K. 2001. Izmera geodetske geodinamične mreže krško z GPS tehnologijo. Raziskovalno delo programske skupine P0-0509-0792-01 geodezija in zaključno poročilo Projekta stalnega določanja tektonskih premikov vzdolž orliškega preloma. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo: 9 str.

HE Moste URL, 2013

https://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna_Moste (Pridobljeno 19. 4. 2016)

Mehanske lastnosti polimernih kompozitov URL, 2014

http://studentski.net/gradivo/ulj_fkt_ki2_nik_sno_mehanske_lastnosti_polimernih_kompozitov_01?r=1 (Pridobljeno 19. 5. 2016)

Nelinearno programiranje URL, 2016

https://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear_programming (Pridobljeno 28. 1. 2016)

Prispevek h glacialni geologiji radovljjske kotline URL, 2016

<http://sraka.uni-mb.si/geologija/dokument.aspx?id=43> (Pridobljeno 19. 4. 2016)

Tehnično opazovanje objektov HE na Dravi za leto 2015-2016 URL, 2016

<http://www.dem.si/Portals/0/JavnaNarocila/NatalijaK/TEHNI%C4%8CNO%20OPAZOVANJE/III%20TEHNICNI%20OPIS%20IZVEDBE%20DEL.doc> (Pridobljeno 11. 4. 2016)

Zaključena prenova HE Zlatoličje, jezu Melje in izgradnje MHE Melje URL, 2014

<https://www.hse-invest.si/splosna-vsebina/139/Zakljucena-prenova-HE-Zlatolicje-jezu-Melje-in-izgradnje-MHE-Melje> (Pridobljeno 16. 4. 2016)

Geotehnični monitoring URL, 2012

<http://www.geoid.si/inzenirska-geodezija/geotehnicni-monitoring.html> (Pridobljeno 7. 5. 2016)

Ostali viri

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

Kiamehr, R. 2012. Multi Object Optimization Of Geodetic Network. SE -100 44 Stockholm, Sweden, Royal Institute of Technology, Geodesy Division, Member of Department of Surveying Engineering, Zanjan University, Iran: 14 str.

http://www.researchgate.net/publication/266467708_Multi_Object_Optimization_Of_Geodetic_Network (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Marjetič, A., Ambrožič, T., Bogatin, S., Klopčič, J., Logar, J., Štimulak, A., Majes, B. 2006. Geodetske meritve v predoru Sentvid. Geodetski vestnik 50, 1: str. 11-24.

http://www.geodetski-vestnik.com/50/1/qv50-1_011-024.pdf (Pridobljeno 6. 5. 2015)

Seemkooei, A. A. 2001. Comparison of reliability and geometrical and geometrical strength criteria in geodetic networks. Journal of geodesy 75: str. 227-233.

http://eng.ui.ac.ir/~amiri/Reliability_JoG.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Seemkooei, A. A. 2007. Analytical methods in optimization and design of geodetic networks. Iranian Journal of Engineering Sciences. Vol. 1, No. 1., December 2007: 12 str.

http://www.lr.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/LR/Organisatie/Afdelingen_en_Leerstoelen/Afdeling_RS/Mathematical_Geodesy_and_Positioning/Publications/Papers/1010/doc/2008.045_paper.pdf (Pridobljeno 24. 9. 2012)

Staudinger, M. 1999. A Cost Oriented Approach to Geodetic Network Optimisation. Dissertation. Vienna, University of Technology, Faculty of Technical Science: 42 str.

Sterle, O. 2007. Združevanje klasičnih geodetskih in GNSS-meritev v geodinamičnih raziskavah. Magistrsko delo št. 45. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 118 str.

PRILOGE

PRILOGA A: PSEVDONVERZIJA MATRIKE

Za matriko $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $m \geq n$, $\text{rang}(\mathbf{A}) = n$, definiramo (Moore-Penroseov) psevdo-inverz $\mathbf{A}^+ \in \mathbb{R}^{m \times n}$, kot

$$\mathbf{A}^+ = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T.$$

V primeru $m < n$ in $\text{rang}(\mathbf{A}) = m$ definiramo $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{A}^T)^{-1}$.

Rešitev predoločenega sistema polnega ranga $\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b}$ lahko zapišemo kot $\mathbf{x} = \mathbf{A}^+ \mathbf{b}$.

Če \mathbf{A} ni polnega ranga, je psevdoinverz definiran preko SVD razcepa. Naj bo $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $m \geq n$, $\text{rang}(\mathbf{A}) = r$ in $\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$, kjer je

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \mathbf{U}_1 & \mathbf{U}_2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{V} = \begin{pmatrix} \mathbf{V}_1 & \mathbf{V}_2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{\Sigma} = \begin{matrix} r & n-r \\ m-r & 0 \end{matrix} \begin{pmatrix} \mathbf{S} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

in $\mathbf{S} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_r)$. Potem je $\mathbf{A}^+ = \mathbf{V} \mathbf{\Sigma}^+ \mathbf{U}^T$, kjer je

$$\mathbf{\Sigma}^+ = \begin{matrix} r & m-r \\ n-r & 0 \end{matrix} \begin{pmatrix} \mathbf{S}^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Matrika \mathbf{X} je psevdoinverz \mathbf{A} natanko tedaj, ko izpolnjuje Moore-Penroseove pogoje:

- 1) $\mathbf{A} \mathbf{X} \mathbf{A} = \mathbf{A}$,
- 2) $\mathbf{X} \mathbf{A} \mathbf{X} = \mathbf{X}$,
- 3) $(\mathbf{A} \mathbf{X})^T = \mathbf{A} \mathbf{X}$,
- 4) $(\mathbf{X} \mathbf{A})^T = \mathbf{X} \mathbf{A}$.

Če je $\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$ SVD razcep \mathbf{A} in je $\text{rang}(\mathbf{A}) = r$, potem direktno iz razcepa sledi:

$$\mathbf{A} = \sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i^T.$$

V programu Matlab dobimo psevdoinverz z ukazom `pinv(A)`.

PRILOGA B: PODATKI GEODETSKE MREŽE LIBNA**B-1: MREŽA LIBNA – VHODNI PODATKI**

OPAZOVANJA IN KOORDINATE TERESTRICNE MREZE LIBNA: STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

```
# -----
#
X A 1053.1766 960.7467
X B 944.6572 919.2022
X C 849.9380 1103.6300
X D 1010.6958 1328.2763
X 1 1043.0364 975.9823
X 2 939.2408 936.8958
X 3 851.9763 1084.9716
X 4 1000.4564 1317.3965
X 5 1053.5390 1016.4883
X 6 1000.0021 999.9966
```

SESTAVLJENI KOTI:

```
# -----
#
A 4 5 1 2 53 43.8 0.8833
A 4 1 6 7 11 28.1 0.8833
A 4 6 2 9 3 26.9 0.8833
A 4 2 3 23 25 56.2 0.8833
A 4 3 D 190 41 36.4 0.8833

A 3 5 1 10 56 11.5 0.8833
A 3 1 6 0 9 21.2 0.8833
A 3 6 2 29 37 48.8 0.8833
A 3 2 C 204 16 43.6 0.8833

A 5 3 4 61 13 46.6 0.8833
A 5 4 1 204 32 26.2 0.8833
A 5 1 2 40 36 44.8 0.8833
A 5 2 6 17 43 49.2 0.8833

A 1 2 6 49 47 51.8 0.8833
A 1 6 3 0 32 24.3 0.8833
A 1 3 4 53 11 16.7 0.8833
A 1 4 5 21 38 41.6 0.8833
A 1 5 A 131 48 56.8 0.8833

A 2 3 4 39 39 5.8 0.8833
A 2 4 6 34 46 40.8 0.8833
A 2 6 5 11 13 49.7 0.8833
A 2 5 1 14 13 0.5 0.8833
A 2 1 B 93 36 57.0 0.8833

A 6 3 4 60 13 25.5 0.8833
A 6 4 5 72 47 48.3 0.8833
A 6 5 1 46 17 2.9 0.8833
A 6 1 2 104 45 18.2 0.8833
```

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

```
# -----
#
D 4 5 305.55461 0.0003645
D 4 1 344.05922 0.0003645
D 4 6 317.39993 0.0003645
D 4 2 385.39383 0.0003645
D 4 3 275.80380 0.0003645
D 4 D 14.93879 0.0005155

D 3 5 212.87917 0.0003645
D 3 1 219.96066 0.0003645
D 3 6 170.68195 0.0003645
D 3 2 171.87631 0.0003645
D 3 C 18.77064 0.0005155
```

```
D 5 1 41.84456 0.0003645
D 5 2 139.28046 0.0003645
D 5 6 56.01924 0.0003645

D 1 2 110.91117 0.0003645
D 1 6 49.28150 0.0003645
D 1 A 18.30157 0.0005155

D 2 6 87.59897 0.0003645
D 2 B 18.50408 0.0005155
*K
```

B-2: MREŽA LIBNA – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE

```
-----
GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright
Datum in cas: 16-MAJ-2016 16:04:50.4
Ime vhodne datoteke: libna.txt
Ime izhodne datoteke: libna.GM3
-----
```

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

```
-----
TC X Y
-----
A 1053.1766 960.7467
B 944.6572 919.2022
C 849.9380 1103.6300
D 1010.6958 1328.2763
1 1043.0364 975.9823
2 939.2408 936.8958
3 851.9763 1084.9716
4 1000.4564 1317.3965
5 1053.5390 1016.4883
6 1000.0021 999.9966
-----
```

SESTAVLJENI KOTI:

```
-----
S Z1 Z2 KOT [DMS] KK [']
-----
4 5 1 2 53 43.8 0.8833
4 1 6 7 11 28.1 0.8833
4 6 2 9 3 26.9 0.8833
4 2 3 23 25 56.2 0.8833
4 3 D 190 41 36.4 0.8833

3 5 1 10 56 11.5 0.8833
3 1 6 0 9 21.2 0.8833
3 6 2 29 37 48.8 0.8833
3 2 C 204 16 43.6 0.8833

5 3 4 61 13 46.6 0.8833
5 4 1 204 32 26.2 0.8833
5 1 2 40 36 44.8 0.8833
5 2 6 17 43 49.2 0.8833

1 2 6 49 47 51.8 0.8833
1 6 3 0 32 24.3 0.8833
1 3 4 53 11 16.7 0.8833
1 4 5 21 38 41.6 0.8833
1 5 A 131 48 56.8 0.8833

2 3 4 39 39 5.8 0.8833
2 4 6 34 46 40.8 0.8833
2 6 5 11 13 49.7 0.8833
-----
```

2	5	1	14 13 0.5	0.8833
2	1	B	93 36 57.0	0.8833
6	3	4	60 13 25.5	0.8833
6	4	5	72 47 48.3	0.8833
6	5	1	46 17 2.9	0.8833
6	1	2	104 45 18.2	0.8833

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
4	5	305.5546	0.0004
4	1	344.0592	0.0004
4	6	317.3999	0.0004
4	2	385.3938	0.0004
4	3	275.8038	0.0004
4	D	14.9388	0.0005
3	5	212.8792	0.0004
3	1	219.9607	0.0004
3	6	170.6820	0.0004
3	2	171.8763	0.0004
3	C	18.7706	0.0005
5	1	41.8446	0.0004
5	2	139.2805	0.0004
5	6	56.0192	0.0004
1	2	110.9112	0.0004
1	6	49.2815	0.0004
1	A	18.3016	0.0005
2	6	87.5990	0.0004
2	B	18.5041	0.0005

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:	10
Stevilo vseh koordinat:	20
Stevilo vseh opazovanj:	46
# sestavljenih kotov:	27
# horizontalnih dolzin:	19
Stevilo vseh neznank:	20
Stevilo nadstevilnih opazovanj:	26

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
4	5	1	69.89	43.08	-664.79	-117.27	594.90	74.19	-0.092
4	1	6	-54.96	75.12	-594.90	-74.19	649.86	-0.93	-0.380
4	6	2	121.45	84.08	-649.86	0.93	528.41	-85.01	0.167
4	2	3	-101.83	317.61	-528.41	85.01	630.24	-402.62	-0.454
4	3	D	10683.85	-9864.46	-630.24	402.62	-10053.61	9461.84	-7.120
3	5	1	-152.94	102.90	-311.71	-917.42	464.64	814.53	0.218
3	1	6	-137.00	-233.53	-464.64	-814.53	601.64	1048.06	-0.237
3	6	2	-432.25	438.76	-601.64	-1048.06	1033.89	609.30	-0.940
3	2	C	11958.32	1802.71	-1033.89	-609.30	-10924.42	-1193.42	-5.001
5	3	4	353.08	-800.15	311.71	917.42	-664.79	-117.27	0.332
5	4	1	-5436.21	1119.89	664.79	117.27	4771.43	-1237.16	-0.980
5	1	2	3925.14	-21.86	-4771.43	1237.16	846.29	-1215.30	-0.101
5	2	6	-237.67	2303.55	-846.29	1215.30	1083.96	-3518.85	1.067
1	2	6	2694.93	1914.50	-655.39	1740.42	-2039.54	-3654.91	-0.237
1	6	3	-1574.90	-2840.39	2039.54	3654.91	-464.64	-814.53	-1.416
1	3	4	130.25	-740.33	464.64	814.53	-594.90	-74.19	2.222

1	4	5	4176.53	-1311.35	594.90	74.19	-4771.43	1237.16	-0.088
1	5	A	-14153.71	-5007.31	4771.43	-1237.16	9382.28	6244.47	8.102
2	3	4	-505.48	-694.31	1033.89	609.30	-528.41	85.01	-0.914
2	4	6	1167.72	-1548.23	528.41	-85.01	-1696.13	1633.24	1.449
2	6	5	-849.84	417.94	1696.13	-1633.24	-846.29	1215.30	-0.525
2	5	1	-190.89	-525.12	846.29	-1215.30	-655.39	1740.42	-0.080
2	1	B	-11314.15	-1522.46	655.39	-1740.42	10658.75	3262.88	-4.946
6	3	4	48.21	-1048.99	601.64	1048.06	-649.86	0.93	0.179
6	4	5	434.10	-3517.92	649.86	-0.93	-1083.96	3518.85	0.457
6	5	1	-3123.50	-136.06	1083.96	-3518.85	2039.54	3654.91	-1.184
6	1	2	343.41	5288.16	-2039.54	-3654.91	1696.13	-1633.24	0.642

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
4	5	0.1737255	-0.9847941	-0.1737255	0.9847941	-0.0001840
4	1	0.1237578	-0.9923125	-0.1237578	0.9923125	-0.0000501
4	6	-0.0014313	-0.9999990	0.0014313	0.9999990	0.0002951
4	2	-0.1588392	-0.9873045	0.1588392	0.9873045	-0.0003527
4	3	-0.5383543	-0.8427186	0.5383543	0.8427186	-0.0001121
4	D	0.6853501	0.7282137	-0.6853501	-0.7282137	0.0016036
3	5	0.9468415	-0.3217005	-0.9468415	0.3217005	-0.0001330
3	1	0.8686109	-0.4954948	-0.8686109	0.4954948	-0.0001423
3	6	0.8672601	-0.4978553	-0.8672601	0.4978553	0.0001759
3	2	0.5077163	-0.8615243	-0.5077163	0.8615243	0.0002024
3	C	-0.1085969	0.9940859	0.1085969	-0.9940859	-0.0012352
5	1	-0.2509855	-0.9679908	0.2509855	0.9679908	0.0008775
5	2	-0.8206335	-0.5714549	0.8206335	0.5714549	-0.0000070
5	6	-0.9556846	-0.2943925	0.9556846	0.2943925	0.0001837
1	2	-0.9358447	-0.3524128	0.9358447	0.3524128	-0.0000296
1	6	-0.8732395	0.4872912	0.8732395	-0.4872912	-0.0002908
1	A	0.5540620	-0.8324754	-0.5540620	0.8324754	-0.0000082
2	6	0.6936273	0.7203341	-0.6936273	-0.7203341	0.0003824
2	B	0.2927139	-0.9562001	-0.2927139	0.9562001	-0.0000029

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreža)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:	
Ref. std. odklon a-priori:	0.26
Ref. std. odklon a-posteriori:	0.26
Globalni test:	0.99
Globalni test [SQRT]:	0.99
Matrika R [DIAG]:	29.00
Matrika R [POVRECJE]:	0.63

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOCK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
A	1053.1766 0.0007 1053.1773	960.7467 0.0004 960.7471	0.0003 0.0005	0.0004 0.0001	123.4
B	944.6572 -0.0004 944.6568	919.2022 -0.0002 919.2020	0.0002 0.0005	0.0005 0.0001	105.1

C	849.9380	1103.6300				
	0.0005	0.0013	0.0002	0.0005		
	849.9385	1103.6313	0.0005	0.0002	94.6	
D	1010.6958	1328.2763				
	-0.0007	-0.0015	0.0003	0.0004		
	1010.6951	1328.2748	0.0004	0.0001	56.5	
1	1043.0364	975.9823				
	0.0000	-0.0000	0.0001	0.0001		
	1043.0364	975.9823	0.0001	0.0001	115.4	
2	939.2408	936.8958				
	-0.0000	-0.0000	0.0001	0.0002		
	939.2408	936.8958	0.0002	0.0001	112.8	
3	851.9763	1084.9716				
	0.0001	0.0000	0.0002	0.0002		
	851.9764	1084.9716	0.0002	0.0002	63.2	
4	1000.4564	1317.3965				
	-0.0000	0.0000	0.0002	0.0002		
	1000.4564	1317.3965	0.0002	0.0001	30.8	
5	1053.5390	1016.4883				
	-0.0000	-0.0000	0.0001	0.0001		
	1053.5390	1016.4883	0.0001	0.0001	90.0	
6	1000.0021	999.9966				
	-0.0000	-0.0000	0.0001	0.0001		
	1000.0021	999.9966	0.0001	0.0001	143.0	

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
4	5	1	2 53 43.8	-0.10	0.88	2 53 43.7	0.08
4	1	6	7 11 28.1	-0.38	0.87	7 11 27.7	0.10
4	6	2	9 3 26.9	0.17	0.87	9 3 27.1	0.12
4	2	3	23 25 56.2	-0.50	0.86	23 25 55.7	0.17
4	3	D	190 41 36.4	0.47	0.54	190 41 36.9	0.69
3	5	1	10 56 11.5	0.24	0.86	10 56 11.7	0.16
3	1	6	0 9 21.2	-0.24	0.87	0 9 21.0	0.13
3	6	2	29 37 48.8	-0.89	0.84	29 37 47.9	0.25
3	2	C	204 16 43.6	0.73	0.51	204 16 44.3	0.72
5	3	4	61 13 46.6	0.25	0.83	61 13 46.9	0.30
5	4	1	204 32 26.2	-1.11	0.69	204 32 25.1	0.54
5	1	2	40 36 44.8	0.01	0.75	40 36 44.8	0.46
5	2	6	17 43 49.2	1.12	0.79	17 43 50.3	0.38
1	2	6	49 47 51.8	-0.15	0.74	49 47 51.7	0.48
1	6	3	0 32 24.3	-1.43	0.76	0 32 22.9	0.44
1	3	4	53 11 16.7	2.11	0.83	53 11 18.8	0.28
1	4	5	21 38 41.6	-0.21	0.74	21 38 41.4	0.48
1	5	A	131 48 56.8	-0.49	0.41	131 48 56.3	0.78
2	3	4	39 39 5.8	-1.07	0.82	39 39 4.7	0.32
2	4	6	34 46 40.8	1.42	0.79	34 46 42.2	0.38
2	6	5	11 13 49.7	-0.52	0.84	11 13 49.2	0.27
2	5	1	14 13 0.5	-0.03	0.85	14 13 0.5	0.24
2	1	B	93 36 57.0	-0.02	0.51	93 36 57.0	0.72
6	3	4	60 13 25.5	0.07	0.81	60 13 25.6	0.33
6	4	5	72 47 48.3	0.49	0.74	72 47 48.8	0.48
6	5	1	46 17 2.9	-1.09	0.66	46 17 1.8	0.58
6	1	2	104 45 18.2	0.49	0.66	104 45 18.7	0.58

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
---	---	---	---	-----	----	------

4	5	305.5546	-0.0001	0.0003	305.5545	0.0002
4	1	344.0592	0.0000	0.0003	344.0593	0.0002
4	6	317.3999	0.0003	0.0003	317.4003	0.0002
4	2	385.3938	-0.0003	0.0003	385.3936	0.0002
4	3	275.8038	-0.0002	0.0002	275.8036	0.0003
4	D	14.9388	0.0000	0.0000	14.9388	0.0005
3	5	212.8792	-0.0002	0.0003	212.8790	0.0002
3	1	219.9607	-0.0001	0.0003	219.9605	0.0002
3	6	170.6820	0.0001	0.0003	170.6821	0.0002
3	2	171.8763	0.0002	0.0003	171.8765	0.0002
3	C	18.7706	0.0000	0.0000	18.7706	0.0005
5	1	41.8446	0.0009	0.0003	41.8455	0.0002
5	2	139.2805	0.0000	0.0003	139.2805	0.0002
5	6	56.0192	0.0002	0.0003	56.0194	0.0002
1	2	110.9112	0.0000	0.0003	110.9112	0.0002
1	6	49.2815	-0.0003	0.0003	49.2812	0.0002
1	A	18.3016	-0.0000	0.0000	18.3016	0.0005
2	6	87.5990	0.0004	0.0003	87.5994	0.0002
2	B	18.5041	-0.0000	0.0000	18.5041	0.0005

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0001 0.0001
Max sdX, sdY: 0.0003 0.0005
Avr sdX, sdY: 0.0002 0.0003

KOVARIANČNA MATRIKA OCENJENIH KOORD. TOČK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00038321
Sled kovariančne matrice: 0.00000125
Srednja varianca: 0.00027097
Srednja standardna deviacija: 0.01646128
Generalizirana varianca: 0.00000154
Generalizirana standardna deviacija: 0.00124015
Najmanjša lastna vrednost kov. matrice: 0.00000000
Največja lastna vrednost kov. matrice: 0.00000030
Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrice: 0.00383798

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000033
Največja lastna vrednost: 0.005740
Norma kovariančne matrice: 0.002345
Norma matrice kriterija: 0.005740
Razlika norm kovariančne in matrice kriterija: 0.003395
Sled matrice kriterija: 0.009670

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 9.9603

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 46 x 210
Velikost vektorja q: 210 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 46 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
4	5	1	2 53 43.8	1292640577	0.99	0.057370
4	6	2	9 3 26.9	33838199	0.98	0.354586
4	3	D	190 41 36.4	1791851	0.00	1.540899
3	5	1	10 56 11.5	16200579	0.96	0.512460
3	1	6	0 9 21.2	1055465393	0.98	0.063490
3	6	2	29 37 48.8	247091	0.89	4.149508
3	2	C	204 16 43.6	2298807	-0.00	1.360423
5	3	4	61 13 46.6	26734907	0.91	0.398920
1	3	4	53 11 16.7	5662824	0.86	0.866779
1	4	5	21 38 41.6	119541306	0.59	0.188654
1	5	A	131 48 56.8	1587584	-0.00	1.637030
2	4	6	34 46 40.8	20062845	0.75	0.460499

2	5	1	14	13	0.5	35514953	0.89	0.346114
2	1	B	93	36	57.0	2301111	0.00	1.359741
6	3	4	60	13	25.5	39364830	0.84	0.328754
6	4	5	72	47	48.3	16053607	0.68	0.514800
6	5	1	46	17	2.9	3785479	0.49	1.060144
6	1	2	104	45	18.2	4523288	0.60	0.969835

 IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNI KOTI:

4	1	6	7	11	28.1	-15526524	0.98
4	2	3	23	25	56.2	-57788956	0.95
5	4	1	204	32	26.2	-108872698	0.58
5	1	2	40	36	44.8	-4893392	0.75
5	2	6	17	43	49.2	-10023007	0.74
1	2	6	49	47	51.8	-2493224	0.75
1	6	3	0	32	24.3	-88748968	0.71
2	3	4	39	39	5.8	-7745898	0.83
2	6	5	11	13	49.7	-8826191	0.91

 OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi(opt)	ri	std_d
4	5	305.5546	1114	0.67	0.000300
4	1	344.0592	369	0.68	0.000521
4	6	317.3999	1159	0.74	0.000294
4	2	385.3938	478	0.68	0.000457
4	3	275.8038	178	0.44	0.000750
4	D	14.9388	8515	0.00	0.000108
3	5	212.8792	1604	0.70	0.000250
3	1	219.9607	186	0.70	0.000734
3	6	170.6820	1481	0.69	0.000260
3	2	171.8763	902	0.65	0.000333
3	C	18.7706	7146	0.00	0.000118
5	2	139.2805	2060	0.67	0.000220
5	6	56.0192	3383	0.76	0.000172
1	2	110.9112	18	0.71	0.002345
1	6	49.2815	1585	0.81	0.000251
1	A	18.3016	7420	-0.00	0.000116
2	6	87.5990	1768	0.73	0.000238
2	B	18.5041	7256	-0.00	0.000117

 IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

5	1	41.8446	-2343	0.78
---	---	---------	-------	------

B-3: MREŽA LIBNA – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO

OPAZOVANJA IN KOORDINATE TERESTRICNE MREZE LIBNA: STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

#

X A	1053.1766	960.7467
X B	944.6572	919.2022
X C	849.9380	1103.6300
X D	1010.6958	1328.2763
X 1	1043.0364	975.9823
X 2	939.2408	936.8958
X 3	851.9763	1084.9716
X 4	1000.4564	1317.3965
X 5	1053.5390	1016.4883
X 6	1000.0021	999.9966

SESTAVLJENI KOTI:

#

A	4	6	2	9	3	26.9	0.8833
A	4	3	D	190	41	36.4	0.8833
A	3	5	1	10	56	11.5	0.8833

A	3	1	6	0	9	21.2	0.8833
A	3	2	C	204	16	43.6	0.8833
A	5	3	4	61	13	46.6	0.8833
A	1	3	4	53	11	16.7	0.8833
A	1	5	A	131	48	56.8	0.8833
A	2	4	6	34	46	40.8	0.8833
A	2	5	1	14	13	0.5	0.8833
A	2	1	B	93	36	57.0	0.8833
A	6	3	4	60	13	25.5	0.8833
A	6	4	5	72	47	48.3	0.8833
A	6	5	1	46	17	2.9	0.8833
A	6	1	2	104	45	18.2	0.8833

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

```
# -----  
D 4 5 305.55461 0.0003645  
D 4 1 344.05922 0.0003645  
D 4 6 317.39993 0.0003645  
D 4 2 385.39383 0.0003645  
D 4 D 14.93879 0.0005155  
  
D 3 5 212.87917 0.0003645  
D 3 6 170.68195 0.0003645  
D 3 2 171.87631 0.0003645  
D 3 C 18.77064 0.0005155  
  
D 5 2 139.28046 0.0003645  
D 5 6 56.01924 0.0003645  
  
D 1 6 49.28150 0.0003645  
D 1 A 18.30157 0.0005155  
  
D 2 6 87.59897 0.0003645  
D 2 B 18.50408 0.0005155
```

*K

B-4: MREŽA LIBNA – REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE

```
-----  
GM2R - GEODETSKA 2D MREZA  
Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine  
Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright  
-----  
Datum in cas: 16-MAJ-2016 16:09:42.7  
Ime vhodne datoteke: libna4.txt  
Ime izhodne datoteke: libna4.GM3
```

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

```
-----  
TC X Y  
-----  
A 1053.1766 960.7467  
B 944.6572 919.2022  
C 849.9380 1103.6300  
D 1010.6958 1328.2763  
1 1043.0364 975.9823  
2 939.2408 936.8958  
3 851.9763 1084.9716  
4 1000.4564 1317.3965  
5 1053.5390 1016.4883  
6 1000.0021 999.9966  
-----
```

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK [']
4	6	2	9 3 26.9	0.8833
4	3	D	190 41 36.4	0.8833
3	5	1	10 56 11.5	0.8833
3	1	6	0 9 21.2	0.8833
3	2	C	204 16 43.6	0.8833
5	3	4	61 13 46.6	0.8833
1	3	4	53 11 16.7	0.8833
1	5	A	131 48 56.8	0.8833
2	4	6	34 46 40.8	0.8833
2	5	1	14 13 0.5	0.8833
2	1	B	93 36 57.0	0.8833
6	3	4	60 13 25.5	0.8833
6	4	5	72 47 48.3	0.8833
6	5	1	46 17 2.9	0.8833
6	1	2	104 45 18.2	0.8833

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
4	5	305.5546	0.0004
4	1	344.0592	0.0004
4	6	317.3999	0.0004
4	2	385.3938	0.0004
4	D	14.9388	0.0005
3	5	212.8792	0.0004
3	6	170.6820	0.0004
3	2	171.8763	0.0004
3	C	18.7706	0.0005
5	2	139.2805	0.0004
5	6	56.0192	0.0004
1	6	49.2815	0.0004
1	A	18.3016	0.0005
2	6	87.5990	0.0004
2	B	18.5041	0.0005

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:	10
Stevilo vseh koordinat:	20
Stevilo vseh opazovanj:	30
# sestavljenih kotov:	15
# horizontalnih dolzin:	15
Stevilo vseh neznank:	20
Stevilo nadstevilnih opazovanj:	10

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
4	6	2	121.45	84.08	-649.86	0.93	528.41	-85.01	0.167
4	3	D	10683.85	-9864.46	-630.24	402.62	-10053.61	9461.84	-7.120

3	5	1	-152.94	102.90	-311.71	-917.42	464.64	814.53	0.218
3	1	6	-137.00	-233.53	-464.64	-814.53	601.64	1048.06	-0.237
3	2	C	11958.32	1802.71	-1033.89	-609.30	-10924.42	-1193.42	-5.001
5	3	4	353.08	-800.15	311.71	917.42	-664.79	-117.27	0.332
1	3	4	130.25	-740.33	464.64	814.53	-594.90	-74.19	2.222
1	5	A	-14153.71	-5007.31	4771.43	-1237.16	9382.28	6244.47	8.102
2	4	6	1167.72	-1548.23	528.41	-85.01	-1696.13	1633.24	1.449
2	5	1	-190.89	-525.12	846.29	-1215.30	-655.39	1740.42	-0.080
2	1	B	-11314.15	-1522.46	655.39	-1740.42	10658.75	3262.88	-4.946
6	3	4	48.21	-1048.99	601.64	1048.06	-649.86	0.93	0.179
6	4	5	434.10	-3517.92	649.86	-0.93	-1083.96	3518.85	0.457
6	5	1	-3123.50	-136.06	1083.96	-3518.85	2039.54	3654.91	-1.184
6	1	2	343.41	5288.16	-2039.54	-3654.91	1696.13	-1633.24	0.642

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
4	5	0.1737255	-0.9847941	-0.1737255	0.9847941	-0.0001840
4	1	0.1237578	-0.9923125	-0.1237578	0.9923125	-0.0000501
4	6	-0.0014313	-0.9999990	0.0014313	0.9999990	0.0002951
4	2	-0.1588392	-0.9873045	0.1588392	0.9873045	-0.0003527
4	D	0.6853501	0.7282137	-0.6853501	-0.7282137	0.0016036
3	5	0.9468415	-0.3217005	-0.9468415	0.3217005	-0.0001330
3	6	0.8672601	-0.4978553	-0.8672601	0.4978553	0.0001759
3	2	0.5077163	-0.8615243	-0.5077163	0.8615243	0.0002024
3	C	-0.1085969	0.9940859	0.1085969	-0.9940859	-0.0012352
5	2	-0.8206335	-0.5714549	0.8206335	0.5714549	-0.0000070
5	6	-0.9556846	-0.2943925	0.9556846	0.2943925	0.0001837
1	6	-0.8732395	0.4872912	0.8732395	-0.4872912	-0.0002908
1	A	0.5540620	-0.8324754	-0.5540620	0.8324754	-0.0000082
2	6	0.6936273	0.7203341	-0.6936273	-0.7203341	0.0003824
2	B	0.2927139	-0.9562001	-0.2927139	0.9562001	-0.0000029

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreža)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:	
Ref. std. odklon a-priori:	0.29
Ref. std. odklon a-posteriori:	0.29
Globalni test:	1.02
Globalni test [SQRT]:	1.01
Matrika R [DIAG]:	13.00
Matrika R [POVPREČJE]:	0.43

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOČK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
A	1053.1766 0.0006 1053.1772	960.7467 0.0003 960.7470	0.0004 0.0005	0.0004 0.0003	136.2
B	944.6572 -0.0003 944.6569	919.2022 -0.0002 919.2020	0.0002 0.0005	0.0005 0.0002	104.9
C	849.9380 0.0006	1103.6300 0.0015	0.0003	0.0005	

	849.9386	1103.6315	0.0005	0.0003	86.7
D	1010.6958	1328.2763			
	-0.0008	-0.0015	0.0003	0.0004	
	1010.6950	1328.2748	0.0005	0.0002	53.6
1	1043.0364	975.9823			
	-0.0001	-0.0002	0.0002	0.0002	
	1043.0363	975.9821	0.0002	0.0001	154.8
2	939.2408	936.8958			
	0.0001	-0.0001	0.0002	0.0002	
	939.2409	936.8957	0.0002	0.0002	31.5
3	851.9763	1084.9716			
	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	
	851.9765	1084.9718	0.0003	0.0002	45.4
4	1000.4564	1317.3965			
	-0.0001	0.0000	0.0002	0.0002	
	1000.4563	1317.3965	0.0002	0.0002	29.8
5	1053.5390	1016.4883			
	-0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	
	1053.5390	1016.4883	0.0002	0.0002	1.5
6	1000.0021	999.9966			
	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	
	1000.0020	999.9966	0.0002	0.0001	141.6

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
4	6	2	9 3 26.9	0.08	0.88	9 3 27.0	0.15
4	3	D	190 41 36.4	-0.04	0.44	190 41 36.4	0.78
3	5	1	10 56 11.5	0.41	0.86	10 56 11.9	0.24
3	1	6	0 9 21.2	-0.29	0.88	0 9 20.9	0.17
3	2	C	204 16 43.6	0.05	0.50	204 16 43.7	0.74
5	3	4	61 13 46.6	0.04	0.76	61 13 46.6	0.47
1	3	4	53 11 16.7	1.79	0.78	53 11 18.5	0.43
1	5	A	131 48 56.8	-0.90	0.39	131 48 55.9	0.80
2	4	6	34 46 40.8	1.14	0.78	34 46 41.9	0.44
2	5	1	14 13 0.5	0.18	0.77	14 13 0.7	0.44
2	1	B	93 36 57.0	-0.50	0.41	93 36 56.5	0.79
6	3	4	60 13 25.5	-0.20	0.73	60 13 25.3	0.51
6	4	5	72 47 48.3	0.53	0.60	72 47 48.8	0.66
6	5	1	46 17 2.9	-0.65	0.42	46 17 2.2	0.79
6	1	2	104 45 18.2	-0.36	0.42	104 45 17.8	0.79

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
4	5	305.5546	-0.0002	0.0003	305.5544	0.0002
4	1	344.0592	0.0001	0.0003	344.0594	0.0002
4	6	317.3999	0.0003	0.0003	317.4002	0.0002
4	2	385.3938	-0.0003	0.0003	385.3935	0.0003
4	D	14.9388	-0.0000	0.0000	14.9388	0.0005
3	5	212.8792	-0.0003	0.0002	212.8789	0.0003
3	6	170.6820	-0.0000	0.0003	170.6819	0.0002
3	2	171.8763	0.0003	0.0003	171.8767	0.0003
3	C	18.7706	-0.0000	0.0000	18.7706	0.0005
5	2	139.2805	-0.0000	0.0002	139.2804	0.0003
5	6	56.0192	0.0003	0.0003	56.0195	0.0003

1	6	49.2815	-0.0002	0.0002	49.2813	0.0003
1	A	18.3016	0.0000	0.0000	18.3016	0.0005
2	6	87.5990	0.0003	0.0003	87.5993	0.0003
2	B	18.5041	0.0000	0.0000	18.5041	0.0005

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0001 0.0001
Max sdX, sdY: 0.0004 0.0005
Avr sdX, sdY: 0.0003 0.0003

KOVARIANCA MATRIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00045830
Sled kovariančne matrike: 0.00000179
Srednja varianca: 0.00032407
Srednja standardna deviacija: 0.01800188
Generalizirana varianca: 0.00000191
Generalizirana standardna deviacija: 0.00138193
Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000000
Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000041
Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.00351851

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000004
Največja lastna vrednost: 0.001600
Norma kovariančne matrike: 0.000594
Norma matrike kriterija: 0.001600
Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.001006
Sled matrike kriterija: 0.005419

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 9.9603

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 30 x 210
Velikost vektorja q: 210 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 30 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
4	6	2	9 3 26.9	49387122	0.97	0.293507
4	3	D	190 41 36.4	1781238	-0.00	1.545483
3	5	1	10 56 11.5	52907920	0.92	0.283573
3	1	6	0 9 21.2	32397350	0.96	0.362385
3	2	C	204 16 43.6	2248612	0.00	1.375523
5	3	4	61 13 46.6	38234331	0.73	0.333579
1	3	4	53 11 16.7	19952254	0.77	0.461774
1	5	A	131 48 56.8	1511392	0.00	1.677786
2	4	6	34 46 40.8	11768380	0.71	0.601266
2	5	1	14 13 0.5	13259239	0.69	0.566456
2	1	B	93 36 57.0	2263955	-0.00	1.370854
6	3	4	60 13 25.5	25047260	0.62	0.412140
6	4	5	72 47 48.3	8516912	0.43	0.706780
6	5	1	46 17 2.9	2451089	0.21	1.317485
6	1	2	104 45 18.2	1196917	0.36	1.885355

IZLOCENA OPAZOVANJA - HORIZONTALNI KOTI:

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S Z L pi(opt) ri std_d

4	5	305.5546	1325	0.60	0.000275
4	1	344.0592	284	0.60	0.000594
4	6	317.3999	1056	0.67	0.000308
4	2	385.3938	593	0.53	0.000411
4	D	14.9388	8526	-0.00	0.000108
3	5	212.8792	1638	0.43	0.000247
3	6	170.6820	1364	0.55	0.000271
3	2	171.8763	592	0.46	0.000411
3	C	18.7706	7137	-0.00	0.000118
5	2	139.2805	2059	0.43	0.000220
5	6	56.0192	3393	0.50	0.000172
1	6	49.2815	1144	0.34	0.000296
1	A	18.3016	7365	-0.00	0.000117
2	6	87.5990	1461	0.50	0.000262
2	B	18.5041	7342	-0.00	0.000117

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

PRILOGA C: PODATKI GEODETSKE MREŽE MARKOVCI

C-1: MREŽA MARKOVCI – VHODNI PODATKI

OPAZOVANJA IN KOORDINATE Markovci STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

```
# -----  
X O5          1011.2688      824.1240  
X O1          1199.2834      908.5911  
X O2          1005.9215      854.6274  
X O7          1212.5079      1000.0090  
X O6          1000.0140      999.9849  
X H1          1021.4392      1007.9003  
X H2          1040.9193      1008.7892  
X H3          1061.8784      1009.7693  
X H4          1082.8605      1010.7467  
X H5          1103.8011      1011.7453  
X H6          1124.7944      1012.7826  
X H7          1144.0927      1013.7183
```

SESTAVLJENI KOTI:

```
# -----  
A O1 O5 O2          8 35 58.6      1.4142  
A O1 O2 O6          40 14 1.6      1.4142  
A O1 O6 H1          4 32 21.7      1.4142  
A O1 H1 H2          3 8 33.7      1.4142  
A O1 H2 H3          4 2 43.5      1.4142  
A O1 H3 H4          4 53 52.9      1.4142  
A O1 H4 H5          5 56 52.6      1.4142  
A O1 H5 H6          7 13 32.1      1.4142  
A O1 H6 H7          7 51 44.8      1.4142  
A O1 H7 O7          35 55 45.8      1.4142  
  
A O7 O1 O5          40 36 59.3      1.4142  
A O7 O5 O2          6 1 5.9      1.4142  
A O7 O2 O6          35 7 43.2      1.4142  
  
A O6 O7 O1          24 38 47.3      1.4142  
A O6 O1 O2          63 2 24.8      1.4142  
  
A O2 O6 H1          8 6 15.0      1.4142  
A O2 H1 H2          7 0 32.1      1.4142  
A O2 H2 H3          7 2 36.8      1.4142  
A O2 H3 H4          6 24 3.2      1.4142  
A O2 H4 H5          5 41 8.4      1.4142  
A O2 H5 H6          5 0 29.4      1.4142  
A O2 H6 H7          4 2 40.6      1.4142  
A O2 H7 O7          13 53 26.5      1.4142  
A O2 O7 O1          19 32 25.9      1.4142  
A O2 O1 O5          95 39 15.9      1.4142  
  
A O5 O7 O1          16 57 36.7      1.4142  
A O5 O1 O2          284 15 15.8      1.4142  
A O5 O2 H1          13 6 31.8      1.4142  
A O5 H1 H2          5 57 12.1      1.4142  
A O5 H2 H3          6 7 38.5      1.4142  
A O5 H3 H4          5 44 15.5      1.4142  
A O5 H4 H5          5 15 51.2      1.4142  
A O5 H5 H6          4 47 3.6      1.4142  
A O5 H6 H7          3 58 35.8      1.4142
```

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

```
# -----  
D O1 O5          206.11404      0.004  
D O1 O2          200.74728      0.004  
D O1 O6          219.21204      0.004  
D O1 H1          203.68888      0.001  
D O1 H2          187.39792      0.001
```


D	O1	H3	170.63423	0.001
D	O1	H4	154.88977	0.001
D	O1	H5	140.56464	0.001
D	O1	H6	128.08130	0.001
D	O1	H7	118.73430	0.001
D	O1	O7	92.36555	0.004
D	O7	O5	267.26309	0.004
D	O7	O2	252.60791	0.004
D	O7	O6	212.47745	0.004
D	O6	O2	145.47131	0.004
D	O2	H1	154.05084	0.001
D	O2	H2	158.08155	0.001
D	O2	H3	164.92269	0.001
D	O2	H4	174.04495	0.001
D	O2	H5	185.11170	0.001
D	O2	H6	197.84501	0.001
D	O2	O5	30.96816	0.004
D	O5	H1	184.05154	0.001
D	O5	H2	187.02714	0.001
D	O5	H3	192.41761	0.001
D	O5	H4	199.88042	0.001
D	O5	H7	231.48755	0.001

*K

C-2: MREŽA MARKOVCI – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE

 GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
 Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
 Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright

Datum in cas: 16-MAJ-2016 13:04:48.7
 Ime vhodne datoteke: markovci.txt
 Ime izhodne datoteke: markovci.GM3

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
O5	1011.2688	824.1240
O1	1199.2834	908.5911
O2	1005.9215	854.6274
O7	1212.5079	1000.0090
O6	1000.0140	999.9849
H1	1021.4392	1007.9003
H2	1040.9193	1008.7892
H3	1061.8784	1009.7693
H4	1082.8605	1010.7467
H5	1103.8011	1011.7453
H6	1124.7944	1012.7826
H7	1144.0927	1013.7183

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK [']
O1	O5	O2	8 35 58.6	1.4142
O1	O2	O6	40 14 1.6	1.4142
O1	O6	H1	4 32 21.7	1.4142
O1	H1	H2	3 8 33.7	1.4142
O1	H2	H3	4 2 43.5	1.4142
O1	H3	H4	4 53 52.9	1.4142
O1	H4	H5	5 56 52.6	1.4142
O1	H5	H6	7 13 32.1	1.4142
O1	H6	H7	7 51 44.8	1.4142
O1	H7	O7	35 55 45.8	1.4142

07	01	05	40 36 59.3	1.4142
07	05	02	6 1 5.9	1.4142
07	02	06	35 7 43.2	1.4142
06	07	01	24 38 47.3	1.4142
06	01	02	63 2 24.8	1.4142
02	06	H1	8 6 15.0	1.4142
02	H1	H2	7 0 32.1	1.4142
02	H2	H3	7 2 36.8	1.4142
02	H3	H4	6 24 3.2	1.4142
02	H4	H5	5 41 8.4	1.4142
02	H5	H6	5 0 29.4	1.4142
02	H6	H7	4 2 40.6	1.4142
02	H7	O7	13 53 26.5	1.4142
02	O7	O1	19 32 25.9	1.4142
02	O1	O5	95 39 15.9	1.4142
05	O7	O1	16 57 36.7	1.4142
05	O1	O2	284 15 15.8	1.4142
05	O2	H1	13 6 31.8	1.4142
05	H1	H2	5 57 12.1	1.4142
05	H2	H3	6 7 38.5	1.4142
05	H3	H4	5 44 15.5	1.4142
05	H4	H5	5 15 51.2	1.4142
05	H5	H6	4 47 3.6	1.4142
05	H6	H7	3 58 35.8	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
01	05	206.1140	0.0040
01	02	200.7473	0.0040
01	06	219.2120	0.0040
01	H1	203.6889	0.0010
01	H2	187.3979	0.0010
01	H3	170.6342	0.0010
01	H4	154.8898	0.0010
01	H5	140.5646	0.0010
01	H6	128.0813	0.0010
01	H7	118.7343	0.0010
01	O7	92.3655	0.0040
07	05	267.2631	0.0040
07	02	252.6079	0.0040
07	06	212.4775	0.0040
06	02	145.4713	0.0040
02	H1	154.0508	0.0010
02	H2	158.0815	0.0010
02	H3	164.9227	0.0010
02	H4	174.0450	0.0010
02	H5	185.1117	0.0010
02	H6	197.8450	0.0010
02	O5	30.9682	0.0040
05	H1	184.0515	0.0010
05	H2	187.0271	0.0010
05	H3	192.4176	0.0010
05	H4	199.8804	0.0010
05	H7	231.4876	0.0010

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:	12
Stevilo vseh koordinat:	24
Stevilo vseh opazovanj:	61
# sestavljenih kotov:	34
# horizontalnih dolzin:	27

Število vseh neznanek: 24
Število nadstevilnih opazovanj: 37

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
01	05	02	133.90	76.82	-410.10	912.83	276.19	-989.65	-2.330
01	02	06	668.43	-134.44	-276.19	989.65	-392.24	-855.21	-7.409
01	06	H1	101.46	28.91	392.24	855.21	-493.70	-884.12	5.695
01	H1	H2	94.80	46.00	493.70	884.12	-588.50	-930.13	-0.362
01	H2	H3	128.25	43.25	588.50	930.13	-716.74	-973.37	-4.196
01	H3	H4	161.58	27.62	716.74	973.37	-878.33	-1001.00	4.733
01	H4	H5	198.58	-4.19	878.33	1001.00	-1076.90	-996.81	-5.556
01	H5	H6	233.17	-60.21	1076.90	996.81	-1310.07	-936.60	2.545
01	H6	H7	228.05	-129.10	1310.07	936.60	-1538.12	-807.50	1.545
01	H7	07	671.91	-1127.20	1538.12	807.50	-2210.04	319.70	3.316
07	01	05	1702.16	261.38	-2210.04	319.70	507.87	-581.09	-5.603
07	05	02	37.96	86.66	-507.87	581.09	469.92	-667.75	0.636
07	02	06	469.81	302.94	-469.92	667.75	0.11	-970.69	0.498
06	07	01	-392.35	115.48	0.11	-970.69	392.24	855.21	-6.051
06	01	02	-1024.44	797.63	-392.24	-855.21	1416.68	57.58	-20.889
02	06	H1	-84.60	-192.44	1416.68	57.58	-1332.08	134.86	15.042
02	H1	H2	-59.68	-154.00	1332.08	-134.86	-1272.40	288.86	1.863
02	H2	H3	-95.92	-135.47	1272.40	-288.86	-1176.47	424.33	-2.100
02	H3	H4	-113.45	-99.55	1176.47	-424.33	-1063.02	523.88	2.633
02	H4	H5	-117.26	-65.30	1063.02	-523.88	-945.76	589.18	3.169
02	H5	H6	-112.38	-37.21	945.76	-589.18	-833.38	626.39	-1.713
02	H6	H7	-94.33	-15.48	833.38	-626.39	-739.05	641.87	1.929
02	H7	07	-269.14	-25.88	739.05	-641.87	-469.92	667.75	-1.682
02	07	01	-193.72	-321.90	469.92	-667.75	-276.19	989.65	4.856
02	01	05	-6836.61	-160.40	276.19	-989.65	6560.42	1150.05	-14.440
05	07	01	-97.78	-331.74	507.87	-581.09	-410.10	912.83	4.322
05	01	02	6150.32	2062.88	410.10	-912.83	-6560.42	-1150.05	-18.069
05	02	H1	-5441.48	-1211.98	6560.42	1150.05	-1118.94	61.92	6.384
05	H1	H2	-30.05	-112.91	1118.94	-61.92	-1088.89	174.84	2.917
05	H2	H3	-54.69	-107.10	1088.89	-174.84	-1034.21	281.94	-0.051
05	H3	H4	-70.74	-87.66	1034.21	-281.94	-963.46	369.60	3.368
05	H4	H5	-79.18	-66.51	963.46	-369.60	-884.28	436.12	-0.022
05	H5	H6	-81.61	-46.89	884.28	-436.12	-802.67	483.01	4.542
05	H6	H7	-72.91	-28.24	802.67	-483.01	-729.76	511.25	-0.736

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
01	05	-0.9121745	-0.4098019	0.9121745	0.4098019	0.0028705
01	02	-0.9631934	-0.2688093	0.9631934	0.2688093	0.0035738
01	06	-0.9089577	0.4168884	0.9089577	-0.4168884	0.0164263
01	H1	-0.8730988	0.4875433	0.8730988	-0.4875433	0.0042143
01	H2	-0.8450582	0.5346744	0.8450582	-0.5346744	0.0023132
01	H3	-0.8052450	0.5929423	0.8052450	-0.5929423	0.0032869
01	H4	-0.7516623	0.6595482	0.7516623	-0.6595482	-0.0025263
01	H5	-0.6792899	0.7338701	0.6792899	-0.7338701	-0.0027014
01	H6	-0.5815819	0.8134878	0.5815819	-0.8134878	-0.0013258
01	H7	-0.4648268	0.8854016	0.4648268	-0.8854016	-0.0003893
01	07	0.1431696	0.9896982	-0.1431696	-0.9896982	0.0039246
07	05	-0.7529460	-0.6580824	0.7529460	0.6580824	0.0058917
07	02	-0.8177953	-0.5755093	0.8177953	0.5755093	0.0059263
07	06	-1.0000000	-0.0001134	1.0000000	0.0001134	0.0164514
06	02	0.0406077	-0.9991752	-0.0406077	0.9991752	0.0061844
02	H1	0.1007274	0.9949141	-0.1007274	-0.9949141	0.0055811
02	H2	0.2213867	0.9751861	-0.2213867	-0.9751861	0.0029419
02	H3	0.3392874	0.9406828	-0.3392874	-0.9406828	0.0020922
02	H4	0.4420552	0.8969878	-0.4420552	-0.8969878	0.0034500
02	H5	0.5287588	0.8487721	-0.5287588	-0.8487721	0.0002947
02	H6	0.6008294	0.7993773	-0.6008294	-0.7993773	0.0029964
02	05	0.1726687	-0.9849800	-0.1726687	0.9849800	0.0003890
05	H1	0.0552566	0.9984722	-0.0552566	-0.9984722	0.0059659

O5	H2	0.1585330	0.9873537	-0.1585330	-0.9873537	0.0033074
O5	H3	0.2630161	0.9647914	-0.2630161	-0.9647914	0.0025267
O5	H4	0.3581672	0.9336575	-0.3581672	-0.9336575	0.0030552
O5	H7	0.5737751	0.8190129	-0.5737751	-0.8190129	0.0036745

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreza)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreze:

Globalni test:
 Ref. std. odklon a-priori: 1.63
 Ref. std. odklon a-posteriori: 3.53
 Globalni test: 4.69
 Globalni test [SQRT]: 2.17
 Matrika R [DIAG]: 40.00
 Matrika R [POVPREČJE]: 0.66

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOCK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
O5	1011.2688 -0.0019 1011.2669	824.1240 0.0009 824.1249	0.0007 0.0008	0.0008 0.0007	86.2
O1	1199.2834 -0.0028 1199.2806	908.5911 0.0014 908.5925	0.0008 0.0009	0.0008 0.0006	50.2
O2	1005.9215 -0.0004 1005.9211	854.6274 0.0020 854.6294	0.0006 0.0007	0.0007 0.0006	94.3
O7	1212.5079 -0.0051 1212.5028	1000.0090 -0.0012 1000.0078	0.0010 0.0015	0.0015 0.0009	70.7
O6	1000.0140 0.0150 1000.0290	999.9849 -0.0030 999.9819	0.0012 0.0015	0.0015 0.0012	96.4
H1	1021.4392 0.0024 1021.4416	1007.9003 -0.0037 1007.8966	0.0010 0.0012	0.0012 0.0010	86.5
H2	1040.9193 0.0005 1040.9198	1008.7892 -0.0016 1008.7876	0.0010 0.0012	0.0012 0.0010	85.6
H3	1061.8784 0.0020 1061.8804	1009.7693 -0.0006 1009.7687	0.0011 0.0011	0.0011 0.0011	92.8
H4	1082.8605 -0.0023 1082.8582	1010.7467 -0.0007 1010.7460	0.0011 0.0011	0.0011 0.0011	113.4
H5	1103.8011 -0.0012 1103.7999	1011.7453 0.0035 1011.7488	0.0011 0.0013	0.0013 0.0011	92.8
H6	1124.7944 -0.0027	1012.7826 0.0020	0.0011	0.0012	

	1124.7917	1012.7846	0.0012	0.0011	103.1
H7	1144.0927	1013.7183			
	-0.0036	0.0010	0.0011	0.0012	
	1144.0891	1013.7193	0.0012	0.0010	106.2

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
O1	O5	O2	8 35 58.6	-1.62	2.80	8 35 57.0	1.24
O1	O2	O6	40 14 1.6	-4.17	2.51	40 13 57.4	1.75
O1	O6	H1	4 32 21.7	0.59	2.30	4 32 22.3	2.03
O1	H1	H2	3 8 33.7	0.66	2.48	3 8 34.4	1.80
O1	H2	H3	4 2 43.5	-1.82	2.39	4 2 41.7	1.92
O1	H3	H4	4 53 52.9	1.53	2.29	4 53 54.4	2.04
O1	H4	H5	5 56 52.6	-0.03	2.00	5 56 52.6	2.32
O1	H5	H6	7 13 32.1	-0.69	1.73	7 13 31.4	2.53
O1	H6	H7	7 51 44.8	-0.70	1.58	7 51 44.1	2.63
O1	H7	O7	35 55 45.8	0.78	1.59	35 55 46.6	2.62
O7	O1	O5	40 36 59.3	-1.72	2.49	40 36 57.6	1.79
O7	O5	O2	6 1 5.9	0.92	2.93	6 1 6.8	0.89
O7	O2	O6	35 7 43.2	-1.25	2.61	35 7 42.0	1.61
O6	O7	O1	24 38 47.3	-1.07	2.49	24 38 46.2	1.78
O6	O1	O2	63 2 24.8	-2.52	2.30	63 2 22.3	2.03
O2	O6	H1	8 6 15.0	-1.99	2.01	8 6 13.0	2.31
O2	H1	H2	7 0 32.1	-0.47	2.30	7 0 31.6	2.03
O2	H2	H3	7 2 36.8	-0.38	2.32	7 2 36.4	2.00
O2	H3	H4	6 24 3.2	-1.87	2.35	6 24 1.3	1.96
O2	H4	H5	5 41 8.4	2.14	2.39	5 41 10.5	1.92
O2	H5	H6	5 0 29.4	-1.99	2.43	5 0 27.4	1.87
O2	H6	H7	4 2 40.6	2.12	2.48	4 2 42.7	1.80
O2	H7	O7	13 53 26.5	-0.03	2.53	13 53 26.5	1.73
O2	O7	O1	19 32 25.9	4.86	2.75	19 32 30.8	1.35
O2	O1	O5	95 39 15.9	-2.86	2.34	95 39 13.0	1.97
O5	O7	O1	16 57 36.7	3.90	2.82	16 57 40.6	1.20
O5	O1	O2	284 15 15.8	-5.78	2.44	284 15 10.0	1.86
O5	O2	H1	13 6 31.8	0.05	2.44	13 6 31.9	1.85
O5	H1	H2	5 57 12.1	0.85	2.55	5 57 12.9	1.70
O5	H2	H3	6 7 38.5	1.34	2.55	6 7 39.8	1.70
O5	H3	H4	5 44 15.5	-0.86	2.56	5 44 14.6	1.69
O5	H4	H5	5 15 51.2	-0.74	2.57	5 15 50.5	1.67
O5	H5	H6	4 47 3.6	3.87	2.59	4 47 7.5	1.64
O5	H6	H7	3 58 35.8	-0.86	2.61	3 58 34.9	1.60

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
O1	O5	206.1140	0.0023	0.0086	206.1163	0.0014
O1	O2	200.7473	0.0011	0.0086	200.7484	0.0013
O1	O6	219.2120	-0.0016	0.0085	219.2104	0.0017
O1	H1	203.6889	-0.0028	0.0018	203.6861	0.0013
O1	H2	187.3979	-0.0021	0.0018	187.3958	0.0013
O1	H3	170.6342	-0.0017	0.0018	170.6325	0.0013
O1	H4	154.8898	-0.0043	0.0017	154.8855	0.0013
O1	H5	140.5646	-0.0023	0.0017	140.5624	0.0014
O1	H6	128.0813	-0.0009	0.0017	128.0804	0.0014
O1	H7	118.7343	-0.0004	0.0016	118.7339	0.0014
O1	O7	92.3655	0.0010	0.0084	92.3666	0.0019
O7	O5	267.2631	0.0022	0.0085	267.2652	0.0019
O7	O2	252.6079	0.0003	0.0085	252.6082	0.0018
O7	O6	212.4775	-0.0036	0.0085	212.4738	0.0018
O6	O2	145.4713	0.0005	0.0085	145.4718	0.0019
O2	H1	154.0508	0.0002	0.0016	154.0510	0.0014
O2	H2	158.0815	-0.0004	0.0017	158.0811	0.0014

O2	H3	164.9227	0.0004	0.0017	164.9231	0.0013
O2	H4	174.0450	0.0001	0.0017	174.0451	0.0013
O2	H5	185.1117	0.0011	0.0017	185.1128	0.0014
O2	H6	197.8450	0.0015	0.0017	197.8465	0.0014
O2	O5	30.9682	0.0012	0.0086	30.9693	0.0012
O5	H1	184.0515	0.0016	0.0016	184.0531	0.0014
O5	H2	187.0271	0.0012	0.0017	187.0283	0.0014
O5	H3	192.4176	0.0021	0.0017	192.4197	0.0014
O5	H4	199.8804	0.0014	0.0017	199.8818	0.0013
O5	H7	231.4876	0.0027	0.0017	231.4903	0.0014

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0006 0.0007
Max sdX, sdY: 0.0012 0.0015
Avr sdX, sdY: 0.0010 0.0011

KOVARIANČNA MATRIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00159471
Sled kovariančne matrice: 0.00002797
Srednja varianca: 0.00112763
Srednja standardna deviacija: 0.03358017
Generalizirana varianca: 0.00005899
Generalizirana standardna deviacija: 0.00768022
Najmanjša lastna vrednost kov. matrice: 0.00000003
Največja lastna vrednost kov. matrice: 0.00000435
Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrice: 0.00645293

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000000
Največja lastna vrednost: 0.000516
Norma kovariančne matrice: 0.000591
Norma matrice kriterija: 0.000516
Razlika norm kovariančne in matrice kriterija: 0.000076
Sled matrice kriterija: 0.002727

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 12.8806

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 61 x 300
Velikost vektorja q: 300 x 1
Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 61 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
O1	O6	H1	4 32 21.7	229572363	0.46	0.136134
O1	H1	H2	3 8 33.7	230073492	0.63	0.135985
O1	H2	H3	4 2 43.5	202762510	0.58	0.144854
O1	H3	H4	4 53 52.9	170347488	0.53	0.158036
O1	H4	H5	5 56 52.6	144944715	0.37	0.171326
O1	H5	H6	7 13 32.1	121199335	0.30	0.187359
O1	H6	H7	7 51 44.8	114109684	0.25	0.193092
O1	H7	O7	35 55 45.8	15530811	0.33	0.523393
O7	O1	O5	40 36 59.3	12605735	0.52	0.580953
O7	O5	O2	6 1 5.9	447716959	0.89	0.097482
O7	O2	O6	35 7 43.2	79223863	0.62	0.231738
O6	O7	O1	24 38 47.3	93763029	0.63	0.213015
O6	O1	O2	63 2 24.8	34566398	0.49	0.350831
O2	O6	H1	8 6 15.0	98551054	0.35	0.207776
O2	H1	H2	7 0 32.1	550816302	0.55	0.087886
O2	H2	H3	7 2 36.8	641971231	0.56	0.081408
O2	H3	H4	6 24 3.2	678622586	0.58	0.079179
O2	H4	H5	5 41 8.4	725679422	0.60	0.076569
O2	H5	H6	5 0 29.4	838596429	0.62	0.071228
O2	H6	H7	4 2 40.6	1000303881	0.65	0.065217
O2	H7	O7	13 53 26.5	155561735	0.67	0.165376
O2	O7	O1	19 32 25.9	60439742	0.85	0.265316
O5	O1	O2	284 15 15.8	12210570	0.66	0.590279

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNI KOTI:

O1	O5	O2	8 35 58.6	-34791258	0.80
O1	O2	O6	40 14 1.6	-20272216	0.69
O2	O1	O5	95 39 15.9	-5702460	0.41
O5	O7	O1	16 57 36.7	-88701357	0.82
O5	O2	H1	13 6 31.8	-4493666	0.64
O5	H1	H2	5 57 12.1	-595400882	0.69
O5	H2	H3	6 7 38.5	-697801177	0.69
O5	H3	H4	5 44 15.5	-698438834	0.70
O5	H4	H5	5 15 51.2	-710319033	0.70
O5	H5	H6	4 47 3.6	-805429341	0.71
O5	H6	H7	3 58 35.8	-944940652	0.74

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi(opt)	ri	std_d
O1	O5	206.1140	1988	0.97	0.000224
O1	O2	200.7473	382	0.98	0.000511
O1	O6	219.2120	1379	0.96	0.000269
O1	H1	203.6889	1431	0.67	0.000264
O1	H2	187.3979	865	0.67	0.000340
O1	H3	170.6342	587	0.66	0.000413
O1	H4	154.8898	479	0.65	0.000457
O1	H5	140.5646	535	0.61	0.000432
O1	H6	128.0813	727	0.58	0.000371
O1	H7	118.7343	1631	0.56	0.000248
O1	O7	92.3655	1458	0.95	0.000262
O7	O5	267.2631	1646	0.95	0.000246
O7	O2	252.6079	1416	0.96	0.000266
O7	O6	212.4775	2286	0.96	0.000209
O6	O2	145.4713	1792	0.95	0.000236
O2	H1	154.0508	983	0.58	0.000319
O2	H2	158.0815	728	0.60	0.000371
O2	H3	164.9227	385	0.63	0.000510
O2	H4	174.0450	286	0.65	0.000591
O2	H5	185.1117	486	0.59	0.000454
O2	H6	197.8450	521	0.61	0.000438
O5	H1	184.0515	1879	0.57	0.000231
O5	H2	187.0271	1453	0.59	0.000262
O5	H3	192.4176	908	0.61	0.000332
O5	H4	199.8804	649	0.63	0.000393
O5	H7	231.4876	1856	0.59	0.000232

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

O2	O5	30.9682	-1057	0.98
----	----	---------	-------	------

C-3: MREŽA MARKOVCI – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (3) IN 3. OPTIMIZACIJO

OPAZOVANJA IN KOORDINATE Markovci STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

Približne koordinate točk:

#	X	Y	Z
X	O5	1011.2688	824.1240
X	O1	1199.2834	908.5911
X	O2	1005.9215	854.6274
X	O7	1212.5079	1000.0090
X	O6	1000.0140	999.9849
X	H1	1021.4392	1007.9003
X	H2	1040.9193	1008.7892
X	H3	1061.8784	1009.7693
X	H4	1082.8605	1010.7467
X	H5	1103.8011	1011.7453
X	H6	1124.7944	1012.7826
X	H7	1144.0927	1013.7183

```
# SESTAVLJENI KOTI:
# -----
A  O1  O6  H1      4 32 21.7      1.4142
A  O1  H1  H2      3  8 33.7      1.4142
A  O1  H2  H3      4  2 43.5      1.4142
A  O1  H3  H4      4 53 52.9      1.4142
A  O1  H4  H5      5 56 52.6      1.4142
A  O1  H5  H6      7 13 32.1      1.4142
A  O1  H6  H7      7 51 44.8      1.4142
A  O1  H7  O7     35 55 45.8      1.4142

A  O7  O1  O5     40 36 59.3      1.4142
A  O7  O5  O2      6  1  5.9      1.4142
A  O7  O2  O6     35  7 43.2      1.4142

A  O6  O7  O1     24 38 47.3      1.4142
A  O6  O1  O2     63  2 24.8      1.4142

A  O2  O6  H1      8  6 15.0      1.4142
A  O2  H1  H2      7  0 32.1      1.4142
A  O2  H2  H3      7  2 36.8      1.4142
A  O2  H3  H4      6 24  3.2      1.4142
A  O2  H4  H5      5 41  8.4      1.4142
A  O2  H5  H6      5  0 29.4      1.4142
A  O2  H6  H7      4  2 40.6      1.4142
A  O2  H7  O7     13 53 26.5      1.4142

A  O5  O1  O2     284 15 15.8      1.4142
```

```
# OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:
# -----
D  O1  O5      206.11404      0.004
D  O1  O2      200.74728      0.004
D  O1  O6      219.21204      0.004
D  O1  H1      203.68888      0.001
D  O1  H2      187.39792      0.001
D  O1  H3      170.63423      0.001
D  O1  H4      154.88977      0.001
D  O1  H5      140.56464      0.001
D  O1  H6      128.08130      0.001
D  O1  H7      118.73430      0.001
D  O1  O7       92.36555      0.004
D  O7  O5      267.26309      0.004
D  O7  O2      252.60791      0.004
D  O7  O6      212.47745      0.004
D  O6  O2      145.47131      0.004
D  O2  H1      154.05084      0.001
D  O2  H2      158.08155      0.001
D  O2  H3      164.92269      0.001
D  O2  H4      174.04495      0.001
D  O2  H5      185.11170      0.001
D  O2  H6      197.84501      0.001
D  O5  H1      184.05154      0.001
D  O5  H2      187.02714      0.001
D  O5  H3      192.41761      0.001
D  O5  H4      199.88042      0.001
D  O5  H7      231.48755      0.001
```

*K

C-4: MREŽA MARKOVCI – REZULTATI IZRAVNAVE (3) IN 3. OPTIMIZACIJE

```
-----
GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright
-----
Datum in cas: 16-MAJ-2016 13:13:09.3
Ime vhodne datoteke: markovci3.txt
Ime izhodne datoteke: markovci3.GM3
-----
```

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
O5	1011.2688	824.1240
O1	1199.2834	908.5911
O2	1005.9215	854.6274
O7	1212.5079	1000.0090
O6	1000.0140	999.9849
H1	1021.4392	1007.9003
H2	1040.9193	1008.7892
H3	1061.8784	1009.7693
H4	1082.8605	1010.7467
H5	1103.8011	1011.7453
H6	1124.7944	1012.7826
H7	1144.0927	1013.7183

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK [' ']
O1	O6	H1	4 32 21.7	1.4142
O1	H1	H2	3 8 33.7	1.4142
O1	H2	H3	4 2 43.5	1.4142
O1	H3	H4	4 53 52.9	1.4142
O1	H4	H5	5 56 52.6	1.4142
O1	H5	H6	7 13 32.1	1.4142
O1	H6	H7	7 51 44.8	1.4142
O1	H7	O7	35 55 45.8	1.4142
O7	O1	O5	40 36 59.3	1.4142
O7	O5	O2	6 1 5.9	1.4142
O7	O2	O6	35 7 43.2	1.4142
O6	O7	O1	24 38 47.3	1.4142
O6	O1	O2	63 2 24.8	1.4142
O2	O6	H1	8 6 15.0	1.4142
O2	H1	H2	7 0 32.1	1.4142
O2	H2	H3	7 2 36.8	1.4142
O2	H3	H4	6 24 3.2	1.4142
O2	H4	H5	5 41 8.4	1.4142
O2	H5	H6	5 0 29.4	1.4142
O2	H6	H7	4 2 40.6	1.4142
O2	H7	O7	13 53 26.5	1.4142
O5	O1	O2	284 15 15.8	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
O1	O5	206.1140	0.0040
O1	O2	200.7473	0.0040
O1	O6	219.2120	0.0040
O1	H1	203.6889	0.0010
O1	H2	187.3979	0.0010
O1	H3	170.6342	0.0010
O1	H4	154.8898	0.0010
O1	H5	140.5646	0.0010
O1	H6	128.0813	0.0010
O1	H7	118.7343	0.0010
O1	O7	92.3655	0.0040
O7	O5	267.2631	0.0040
O7	O2	252.6079	0.0040
O7	O6	212.4775	0.0040
O6	O2	145.4713	0.0040
O2	H1	154.0508	0.0010

O2	H2	158.0815	0.0010
O2	H3	164.9227	0.0010
O2	H4	174.0450	0.0010
O2	H5	185.1117	0.0010
O2	H6	197.8450	0.0010

O5	H1	184.0515	0.0010
O5	H2	187.0271	0.0010
O5	H3	192.4176	0.0010
O5	H4	199.8804	0.0010
O5	H7	231.4876	0.0010

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:	12
Stevilo vseh koordinat:	24
Stevilo vseh opazovanj:	48
# sestavljenih kotov:	22
# horizontalnih dolzin:	26
Stevilo vseh neznank:	24
Stevilo nadstevilnih opazovanj:	24

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
O1	O6	H1	101.46	28.91	392.24	855.21	-493.70	-884.12	5.695
O1	H1	H2	94.80	46.00	493.70	884.12	-588.50	-930.13	-0.362
O1	H2	H3	128.25	43.25	588.50	930.13	-716.74	-973.37	-4.196
O1	H3	H4	161.58	27.62	716.74	973.37	-878.33	-1001.00	4.733
O1	H4	H5	198.58	-4.19	878.33	1001.00	-1076.90	-996.81	-5.556
O1	H5	H6	233.17	-60.21	1076.90	996.81	-1310.07	-936.60	2.545
O1	H6	H7	228.05	-129.10	1310.07	936.60	-1538.12	-807.50	1.545
O1	H7	O7	671.91	-1127.20	1538.12	807.50	-2210.04	319.70	3.316
O7	O1	O5	1702.16	261.38	-2210.04	319.70	507.87	-581.09	-5.603
O7	O5	O2	37.96	86.66	-507.87	581.09	469.92	-667.75	0.636
O7	O2	O6	469.81	302.94	-469.92	667.75	0.11	-970.69	0.498
O6	O7	O1	-392.35	115.48	0.11	-970.69	392.24	855.21	-6.051
O6	O1	O2	-1024.44	797.63	-392.24	-855.21	1416.68	57.58	-20.889
O2	O6	H1	-84.60	-192.44	1416.68	57.58	-1332.08	134.86	15.042
O2	H1	H2	-59.68	-154.00	1332.08	-134.86	-1272.40	288.86	1.863
O2	H2	H3	-95.92	-135.47	1272.40	-288.86	-1176.47	424.33	-2.100
O2	H3	H4	-113.45	-99.55	1176.47	-424.33	-1063.02	523.88	2.633
O2	H4	H5	-117.26	-65.30	1063.02	-523.88	-945.76	589.18	3.169
O2	H5	H6	-112.38	-37.21	945.76	-589.18	-833.38	626.39	-1.713
O2	H6	H7	-94.33	-15.48	833.38	-626.39	-739.05	641.87	1.929
O2	H7	O7	-269.14	-25.88	739.05	-641.87	-469.92	667.75	-1.682
O5	O1	O2	6150.32	2062.88	410.10	-912.83	-6560.42	-1150.05	-18.069

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
O1	O5	-0.9121745	-0.4098019	0.9121745	0.4098019	0.0028705
O1	O2	-0.9631934	-0.2688093	0.9631934	0.2688093	0.0035738
O1	O6	-0.9089577	0.4168884	0.9089577	-0.4168884	0.0164263
O1	H1	-0.8730988	0.4875433	0.8730988	-0.4875433	0.0042143
O1	H2	-0.8450582	0.5346744	0.8450582	-0.5346744	0.0023132
O1	H3	-0.8052450	0.5929423	0.8052450	-0.5929423	0.0032869
O1	H4	-0.7516623	0.6595482	0.7516623	-0.6595482	-0.0025263
O1	H5	-0.6792899	0.7338701	0.6792899	-0.7338701	-0.0027014
O1	H6	-0.5815819	0.8134878	0.5815819	-0.8134878	-0.0013258
O1	H7	-0.4648268	0.8854016	0.4648268	-0.8854016	-0.0003893
O1	O7	0.1431696	0.9896982	-0.1431696	-0.9896982	0.0039246
O7	O5	-0.7529460	-0.6580824	0.7529460	0.6580824	0.0058917
O7	O2	-0.8177953	-0.5755093	0.8177953	0.5755093	0.0059263

O7	O6	-1.0000000	-0.0001134	1.0000000	0.0001134	0.0164514
O6	O2	0.0406077	-0.9991752	-0.0406077	0.9991752	0.0061844
O2	H1	0.1007274	0.9949141	-0.1007274	-0.9949141	0.0055811
O2	H2	0.2213867	0.9751861	-0.2213867	-0.9751861	0.0029419
O2	H3	0.3392874	0.9406828	-0.3392874	-0.9406828	0.0020922
O2	H4	0.4420552	0.8969878	-0.4420552	-0.8969878	0.0034500
O2	H5	0.5287588	0.8487721	-0.5287588	-0.8487721	0.0002947
O2	H6	0.6008294	0.7993773	-0.6008294	-0.7993773	0.0029964
O5	H1	0.0552566	0.9984722	-0.0552566	-0.9984722	0.0059659
O5	H2	0.1585330	0.9873537	-0.1585330	-0.9873537	0.0033074
O5	H3	0.2630161	0.9647914	-0.2630161	-0.9647914	0.0025267
O5	H4	0.3581672	0.9336575	-0.3581672	-0.9336575	0.0030552
O5	H7	0.5737751	0.8190129	-0.5737751	-0.8190129	0.0036745

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreza)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:	
Ref. std. odklon a-priori:	1.74
Ref. std. odklon a-posteriori:	2.23
Globalni test:	1.63
Globalni test [SQRT]:	1.28
Matrika R [DIAG]:	27.00
Matrika R [POVPRECJE]:	0.56

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:-----
IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOCK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
O5	1011.2688	824.1240			
	-0.0030	0.0026	0.0005	0.0006	
	1011.2658	824.1266	0.0006	0.0005	113.9
O1	1199.2834	908.5911			
	-0.0011	0.0008	0.0006	0.0006	
	1199.2823	908.5919	0.0007	0.0004	44.8
O2	1005.9215	854.6274			
	0.0001	0.0022	0.0005	0.0005	
	1005.9216	854.6296	0.0005	0.0005	126.9
O7	1212.5079	1000.0090			
	-0.0040	0.0002	0.0006	0.0010	
	1212.5039	1000.0092	0.0010	0.0005	73.9
O6	1000.0140	999.9849			
	0.0144	-0.0036	0.0008	0.0009	
	1000.0284	999.9813	0.0009	0.0007	101.1
H1	1021.4392	1007.9003			
	0.0015	-0.0038	0.0007	0.0007	
	1021.4407	1007.8965	0.0007	0.0007	168.0
H2	1040.9193	1008.7892			
	-0.0001	-0.0017	0.0007	0.0007	
	1040.9192	1008.7875	0.0007	0.0007	156.5
H3	1061.8784	1009.7693			
	0.0020	-0.0008	0.0007	0.0007	
	1061.8804	1009.7685	0.0008	0.0007	148.9
H4	1082.8605	1010.7467			

	-0.0027	-0.0007	0.0007	0.0007	
	1082.8578	1010.7460	0.0008	0.0006	143.4
H5	1103.8011	1011.7453			
	-0.0019	0.0034	0.0007	0.0008	
	1103.7992	1011.7487	0.0008	0.0007	124.2
H6	1124.7944	1012.7826			
	-0.0021	0.0010	0.0007	0.0008	
	1124.7923	1012.7836	0.0008	0.0007	123.0
H7	1144.0927	1013.7183			
	-0.0032	0.0005	0.0007	0.0008	
	1144.0895	1013.7188	0.0008	0.0006	120.9

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
01	06	H1	4 32 21.7	0.60	1.34	4 32 22.3	1.22
01	H1	H2	3 8 33.7	0.69	1.44	3 8 34.4	1.10
01	H2	H3	4 2 43.5	-1.78	1.38	4 2 41.7	1.16
01	H3	H4	4 53 52.9	1.16	1.33	4 53 54.1	1.23
01	H4	H5	5 56 52.6	-0.90	1.15	5 56 51.7	1.39
01	H5	H6	7 13 32.1	-0.24	0.99	7 13 31.9	1.51
01	H6	H7	7 51 44.8	-0.82	0.88	7 51 44.0	1.58
01	H7	O7	35 55 45.8	0.61	0.83	35 55 46.4	1.61
07	O1	O5	40 36 59.3	1.45	1.33	40 37 0.8	1.22
07	O5	O2	6 1 5.9	-0.87	1.67	6 1 5.0	0.68
07	O2	O6	35 7 43.2	-2.64	1.51	35 7 40.6	1.00
06	O7	O1	24 38 47.3	-0.07	1.37	24 38 47.2	1.17
06	O1	O2	63 2 24.8	-3.19	1.22	63 2 21.6	1.33
02	O6	H1	8 6 15.0	-2.21	1.00	8 6 12.8	1.51
02	H1	H2	7 0 32.1	0.08	1.10	7 0 32.2	1.44
02	H2	H3	7 2 36.8	0.42	1.13	7 2 37.2	1.41
02	H3	H4	6 24 3.2	-2.21	1.16	6 24 1.0	1.38
02	H4	H5	5 41 8.4	1.97	1.20	5 41 10.4	1.35
02	H5	H6	5 0 29.4	-0.19	1.25	5 0 29.2	1.31
02	H6	H7	4 2 40.6	1.65	1.31	4 2 42.2	1.25
02	H7	O7	13 53 26.5	-0.91	1.36	13 53 25.6	1.19
05	O1	O2	284 15 15.8	-0.74	0.28	284 15 15.1	1.79

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
01	O5	206.1140	0.0039	0.0050	206.1179	0.0010
01	O2	200.7473	0.0021	0.0050	200.7493	0.0010
01	O6	219.2120	0.0005	0.0050	219.2125	0.0011
01	H1	203.6889	-0.0003	0.0010	203.6885	0.0009
01	H2	187.3979	0.0001	0.0009	187.3980	0.0009
01	H3	170.6342	-0.0001	0.0009	170.6341	0.0009
01	H4	154.8898	-0.0024	0.0009	154.8874	0.0009
01	H5	140.5646	-0.0003	0.0009	140.5644	0.0009
01	H6	128.0813	-0.0006	0.0009	128.0807	0.0010
01	H7	118.7343	0.0003	0.0008	118.7346	0.0010
01	O7	92.3655	0.0029	0.0050	92.3684	0.0013
07	O5	267.2631	0.0036	0.0050	267.2667	0.0012
07	O2	252.6079	0.0015	0.0050	252.6094	0.0012
07	O6	212.4775	-0.0019	0.0050	212.4755	0.0011
06	O2	145.4713	-0.0002	0.0050	145.4711	0.0011
02	H1	154.0508	-0.0003	0.0009	154.0506	0.0009
02	H2	158.0815	-0.0009	0.0010	158.0806	0.0008
02	H3	164.9227	-0.0000	0.0010	164.9227	0.0008
02	H4	174.0450	-0.0004	0.0010	174.0446	0.0008
02	H5	185.1117	0.0003	0.0010	185.1120	0.0008

O2	H6	197.8450	0.0008	0.0010	197.8458	0.0008
O5	H1	184.0515	-0.0002	0.0009	184.0513	0.0009
O5	H2	187.0271	-0.0005	0.0009	187.0266	0.0009
O5	H3	192.4176	0.0006	0.0010	192.4182	0.0008
O5	H4	199.8804	0.0000	0.0010	199.8805	0.0008
O5	H7	231.4876	0.0019	0.0010	231.4894	0.0008

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0005 0.0005
 Max sdX, sdY: 0.0008 0.0010
 Avr sdX, sdY: 0.0007 0.0007

KOVARIANCA MARIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00104229
 Sled kovariančne matrike: 0.00001195
 Srednja varianca: 0.00073701
 Srednja standardna deviacija: 0.02714791
 Generalizirana varianca: 0.00003807
 Generalizirana standardna deviacija: 0.00617003
 Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000003
 Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000195
 Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.01778148

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000000
 Največja lastna vrednost: 0.000401
 Norma kovariančne matrike: 0.000498
 Norma matrike kriterija: 0.000401
 Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.000097
 Sled matrike kriterija: 0.002581

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 12.8806

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 48 x 300
 Velikost vektorja q: 300 x 1
 Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 48 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
O1	O6	H1	4 32 21.7	241364494	0.47	0.132766
O1	H1	H2	3 8 33.7	211814958	0.62	0.141725
O1	H2	H3	4 2 43.5	177597486	0.57	0.154777
O1	H3	H4	4 53 52.9	146047675	0.52	0.170678
O1	H4	H5	5 56 52.6	123890392	0.36	0.185313
O1	H5	H6	7 13 32.1	96600061	0.28	0.209863
O1	H6	H7	7 51 44.8	89975046	0.21	0.217452
O1	H7	O7	35 55 45.8	13496961	0.24	0.561445
O7	O1	O5	40 36 59.3	7717874	0.40	0.742466
O7	O5	O2	6 1 5.9	254704340	0.83	0.129243
O7	O2	O6	35 7 43.2	91247593	0.61	0.215931
O6	O7	O1	24 38 47.3	126844368	0.56	0.183143
O6	O1	O2	63 2 24.8	34970183	0.40	0.348800
O2	O6	H1	8 6 15.0	93322511	0.29	0.213517
O2	H1	H2	7 0 32.1	134909548	0.36	0.177584
O2	H2	H3	7 2 36.8	134774073	0.38	0.177673
O2	H3	H4	6 24 3.2	153598788	0.41	0.166430
O2	H4	H5	5 41 8.4	175045649	0.44	0.155901
O2	H5	H6	5 0 29.4	196553216	0.47	0.147125
O2	H6	H7	4 2 40.6	244790451	0.53	0.131834
O2	H7	O7	13 53 26.5	143360918	0.58	0.172270
O5	O1	O2	284 15 15.8	2671990	0.02	1.261850

IZLOCENA OPAZOVANJA - HORIZONTALNI KOTI:

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi (opt)	ri	std_d
O1	O5	206.1140	1786	0.96	0.000237
O1	O2	200.7473	404	0.96	0.000498
O1	O6	219.2120	1049	0.95	0.000309
O1	H1	203.6889	1337	0.56	0.000273
O1	H2	187.3979	936	0.55	0.000327
O1	H3	170.6342	782	0.54	0.000358
O1	H4	154.8898	707	0.52	0.000376
O1	H5	140.5646	978	0.48	0.000320
O1	H6	128.0813	1309	0.44	0.000276
O1	H7	118.7343	1775	0.43	0.000237
O1	O7	92.3655	520	0.94	0.000439
O7	O5	267.2631	1504	0.94	0.000258
O7	O2	252.6079	1350	0.95	0.000272
O7	O6	212.4775	2542	0.95	0.000198
O6	O2	145.4713	853	0.95	0.000342
O2	H1	154.0508	956	0.54	0.000323
O2	H2	158.0815	1025	0.57	0.000312
O2	H3	164.9227	828	0.60	0.000347
O2	H4	174.0450	743	0.63	0.000367
O2	H5	185.1117	1242	0.57	0.000284
O2	H6	197.8450	1316	0.59	0.000276
O5	H1	184.0515	1512	0.52	0.000257
O5	H2	187.0271	1523	0.55	0.000256
O5	H3	192.4176	1267	0.58	0.000281
O5	H4	199.8804	1161	0.60	0.000294
O5	H7	231.4876	2155	0.57	0.000215

IZLOCENA OPAZOVANJA - HORIZONTALNE DOLZINE:

PRILOGA D: PODATKI GEODETSKE MREŽE MELJE**D-1: MREŽA MELJE – VHODNI PODATKI**

OPAZOVANJA IN KOORDINATE MELJE STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

```
# -----
X O3          70.0081      238.1196
X O4          111.2209      246.7633
X O2          146.8830      112.7620
X H1          115.9960       99.1030
X H2          108.7850       99.5730
X H3          100.0000      100.0000
X H4          117.7710      100.8330
X H5          110.5580      101.2830
X H6          102.0100      101.7620
X H7          119.5230      102.5500
X H8          112.2880      103.0170
X H9          103.9780      103.4750
X H13         129.6840      114.9470
X H14         114.7730      113.7140
X H15         104.4540      112.7210
X O1           88.8150      131.0630
X S1           76.4690      239.9050
X S2           100.0000     244.5320
```

SESTAVLJENI KOTI:

```
# -----
A O2 O3 S1 2 31 5.9 1.4142
A O2 S1 S2 9 24 12.8 1.4142
A O2 S2 O4 4 41 36.8 1.4142
A O2 O4 H1 261 3 0.1 1.4142
A O2 H1 H4 1 34 29.1 1.4142
A O2 H4 H7 1 48 50.5 1.4142
A O2 H7 H2 1 22 20.4 1.4142
A O2 H2 H5 1 33 29.9 1.4142
A O2 H5 H8 1 48 12.8 1.4142
A O2 H8 H3 0 30 18.3 1.4142
A O2 H3 H6 1 27 11.0 1.4142
A O2 H6 H9 1 33 37.9 1.4142
A O2 H9 H15 12 8 45.0 1.4142
A O2 H15 H14 1 46 56.8 1.4142
A O2 H14 H13 5 31 17.1 1.4142
A O2 H13 O1 10 15 14.3 1.4142

A O1 O3 S1 3 28 25.9 1.4142
A O1 S1 S2 12 6 59.7 1.4142
A O1 S2 O4 5 19 57.3 1.4142
A O1 O4 O2 96 31 57.7 1.4142
A O1 O2 H13 4 1 49.2 1.4142
A O1 H13 H14 12 13 16.8 1.4142
A O1 H14 H7 9 7 56.4 1.4142
A O1 H7 H4 3 21 20.7 1.4142
A O1 H4 H15 3 20 1.6 1.4142
A O1 H15 H1 0 3 9.3 1.4142
A O1 H1 H8 0 27 14.9 1.4142
A O1 H8 H5 3 47 32.6 1.4142
A O1 H5 H2 3 45 4.5 1.4142
A O1 H2 H6 8 8 43.2 1.4142
A O1 H6 H3 4 26 9.5 1.4142

A S1 O2 H13 5 54 47.1 1.4142
A S1 H13 H7 5 39 55.1 1.4142
A S1 H7 H14 0 31 3.0 1.4142
A S1 H14 H4 0 20 46.3 1.4142
A S1 H4 H1 0 51 36.6 1.4142
A S1 H1 H8 1 1 1.4 1.4142
A S1 H8 H5 0 50 53.8 1.4142
```

A	S1	H5	H2	0	50	52.3	1.4142
A	S1	H2	H15	0	33	35.1	1.4142
A	S1	H15	H9	1	0	32.1	1.4142
A	S1	H9	H6	0	55	30.8	1.4142
A	S1	H6	H3	0	55	41.2	1.4142
A	S1	H3	O1	3	4	22.0	1.4142
A	S1	O1	O3	81	29	50.5	1.4142
A	S1	O3	O4	183	44	19.7	1.4142
A	S1	O4	S2	0	6	58.2	1.4142
A	S2	O2	H13	6	41	13.0	1.4142
A	S2	H13	H7	5	4	25.4	1.4142
A	S2	H7	H4	0	46	47.5	1.4142
A	S2	H4	H14	0	36	26.7	1.4142
A	S2	H14	H1	0	9	48.0	1.4142
A	S2	H1	H8	1	19	1.6	1.4142
A	S2	H8	H5	0	44	51.1	1.4142
A	S2	H5	H2	0	44	50.9	1.4142
A	S2	H2	H15	1	32	4.2	1.4142
A	S2	H15	H9	0	19	8.8	1.4142
A	S2	H9	H6	0	48	31.9	1.4142
A	S2	H6	H3	0	48	25.4	1.4142
A	S2	H3	O1	5	37	51.1	1.4142
A	S2	O1	O3	72	23	55.6	1.4142
A	S2	O3	S1	0	50	10.9	1.4142
A	S2	S1	O4	179	38	34.1	1.4142

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

#	-----	-----	-----	-----
D	S1	O2	145.29880	0.004
D	S1	H1	146.19214	0.001
D	S1	O1	109.48226	0.004
D	S1	H2	143.94966	0.001
D	S1	H3	141.81293	0.001
D	S1	H4	145.02374	0.001
D	S1	H5	142.69789	0.001
D	S1	H6	140.42808	0.001
D	S1	H7	143.89326	0.001
D	S1	H8	141.44430	0.001
D	S1	H9	139.12046	0.001
D	S1	H13	135.77072	0.001
D	S1	H14	131.81506	0.001
D	S1	H15	130.17976	0.001
D	S1	O3	6.66076	0.001
D	S1	O4	35.46103	0.001
D	O2	O3	147.05257	0.001
D	O2	O4	138.66621	0.001
D	O2	H1	33.77320	0.001
D	O2	H2	40.31671	0.001
D	O2	H3	48.59057	0.001
D	O2	H4	31.46302	0.001
D	O2	H5	38.09763	0.001
D	O2	H6	46.20351	0.001
D	O2	H7	29.20507	0.001
D	O2	H8	35.94336	0.001
D	O2	H9	43.90068	0.001
D	O2	H13	17.34237	0.001
D	O2	H14	32.12941	0.001
D	O2	H15	42.43375	0.001
D	O1	O3	108.69670	0.001
D	O1	O4	117.85057	0.001
D	O1	H1	41.95378	0.001
D	O1	H2	37.28678	0.001
D	O1	H3	33.01372	0.001
D	O1	H4	41.85951	0.001
D	O1	H5	36.87118	0.001
D	O1	H6	32.13294	0.001
D	O1	H7	41.90309	0.001
D	O1	H8	36.57187	0.001
D	O1	H13	43.92825	0.001
D	O1	H14	31.21309	0.001
D	O1	H15	24.10780	0.001
D	O1	O2	60.88406	0.004
D	S2	H1	146.25402	0.001
D	S2	H2	145.17176	0.001
D	S2	H3	144.47866	0.001

D	S2	H4	144.74250	0.001
D	S2	H5	143.58517	0.001
D	S2	H6	142.73133	0.001
D	S2	H7	143.26662	0.001
D	S2	H8	141.99635	0.001
D	S2	H9	141.06074	0.001
D	S2	H13	132.89251	0.001
D	S2	H14	131.58840	0.001
D	S2	H15	131.84244	0.001
D	S2	O3	30.64935	0.001
D	S2	O4	11.46079	0.001
D	S2	O2	139.81595	0.004
D	S2	O1	113.96611	0.004
D	S2	S1	24.00038	0.004

*K

D-2: MREŽA MELJE – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE

 GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
 Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
 Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright

Datum in cas: 16-MAJ-2016 14:49:22.0
 Ime vhodne datoteke: melje.txt
 Ime izhodne datoteke: melje.GM3

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
O3	70.0081	238.1196
O4	111.2209	246.7633
O2	146.8830	112.7620
H1	115.9960	99.1030
H2	108.7850	99.5730
H3	100.0000	100.0000
H4	117.7710	100.8330
H5	110.5580	101.2830
H6	102.0100	101.7620
H7	119.5230	102.5500
H8	112.2880	103.0170
H9	103.9780	103.4750
H13	129.6840	114.9470
H14	114.7730	113.7140
H15	104.4540	112.7210
O1	88.8150	131.0630
S1	76.4690	239.9050
S2	100.0000	244.5320

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK [']
O2	O3	S1	2 31 5.9	1.4142
O2	S1	S2	9 24 12.8	1.4142
O2	S2	O4	4 41 36.8	1.4142
O2	O4	H1	261 3 0.1	1.4142
O2	H1	H4	1 34 29.1	1.4142
O2	H4	H7	1 48 50.5	1.4142
O2	H7	H2	1 22 20.4	1.4142
O2	H2	H5	1 33 29.9	1.4142
O2	H5	H8	1 48 12.8	1.4142
O2	H8	H3	0 30 18.3	1.4142
O2	H3	H6	1 27 11.0	1.4142
O2	H6	H9	1 33 37.9	1.4142
O2	H9	H15	12 8 45.0	1.4142
O2	H15	H14	1 46 56.8	1.4142

O2	H14	H13	5 31 17.1	1.4142
O2	H13	O1	10 15 14.3	1.4142
O1	O3	S1	3 28 25.9	1.4142
O1	S1	S2	12 6 59.7	1.4142
O1	S2	O4	5 19 57.3	1.4142
O1	O4	O2	96 31 57.7	1.4142
O1	O2	H13	4 1 49.2	1.4142
O1	H13	H14	12 13 16.8	1.4142
O1	H14	H7	9 7 56.4	1.4142
O1	H7	H4	3 21 20.7	1.4142
O1	H4	H15	3 20 1.6	1.4142
O1	H15	H1	0 3 9.3	1.4142
O1	H1	H8	0 27 14.9	1.4142
O1	H8	H5	3 47 32.6	1.4142
O1	H5	H2	3 45 4.5	1.4142
O1	H2	H6	8 8 43.2	1.4142
O1	H6	H3	4 26 9.5	1.4142
S1	O2	H13	5 54 47.1	1.4142
S1	H13	H7	5 39 55.1	1.4142
S1	H7	H14	0 31 3.0	1.4142
S1	H14	H4	0 20 46.3	1.4142
S1	H4	H1	0 51 36.6	1.4142
S1	H1	H8	1 1 1.4	1.4142
S1	H8	H5	0 50 53.8	1.4142
S1	H5	H2	0 50 52.3	1.4142
S1	H2	H15	0 33 35.1	1.4142
S1	H15	H9	1 0 32.1	1.4142
S1	H9	H6	0 55 30.8	1.4142
S1	H6	H3	0 55 41.2	1.4142
S1	H3	O1	3 4 22.0	1.4142
S1	O1	O3	81 29 50.5	1.4142
S1	O3	O4	183 44 19.7	1.4142
S1	O4	S2	0 6 58.2	1.4142
S2	O2	H13	6 41 13.0	1.4142
S2	H13	H7	5 4 25.4	1.4142
S2	H7	H4	0 46 47.5	1.4142
S2	H4	H14	0 36 26.7	1.4142
S2	H14	H1	0 9 48.0	1.4142
S2	H1	H8	1 19 1.6	1.4142
S2	H8	H5	0 44 51.1	1.4142
S2	H5	H2	0 44 50.9	1.4142
S2	H2	H15	1 32 4.2	1.4142
S2	H15	H9	0 19 8.8	1.4142
S2	H9	H6	0 48 31.9	1.4142
S2	H6	H3	0 48 25.4	1.4142
S2	H3	O1	5 37 51.1	1.4142
S2	O1	O3	72 23 55.6	1.4142
S2	O3	S1	0 50 10.9	1.4142
S2	S1	O4	179 38 34.1	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
S1	O2	145.2988	0.0040
S1	H1	146.1921	0.0010
S1	O1	109.4823	0.0040
S1	H2	143.9497	0.0010
S1	H3	141.8129	0.0010
S1	H4	145.0237	0.0010
S1	H5	142.6979	0.0010
S1	H6	140.4281	0.0010
S1	H7	143.8933	0.0010
S1	H8	141.4443	0.0010
S1	H9	139.1205	0.0010
S1	H13	135.7707	0.0010
S1	H14	131.8151	0.0010
S1	H15	130.1798	0.0010
S1	O3	6.6608	0.0010
S1	O4	35.4610	0.0010

O2	O3	147.0526	0.0010
O2	O4	138.6662	0.0010
O2	H1	33.7732	0.0010
O2	H2	40.3167	0.0010
O2	H3	48.5906	0.0010
O2	H4	31.4630	0.0010
O2	H5	38.0976	0.0010
O2	H6	46.2035	0.0010
O2	H7	29.2051	0.0010
O2	H8	35.9434	0.0010
O2	H9	43.9007	0.0010
O2	H13	17.3424	0.0010
O2	H14	32.1294	0.0010
O2	H15	42.4338	0.0010
O1	O3	108.6967	0.0010
O1	O4	117.8506	0.0010
O1	H1	41.9538	0.0010
O1	H2	37.2868	0.0010
O1	H3	33.0137	0.0010
O1	H4	41.8595	0.0010
O1	H5	36.8712	0.0010
O1	H6	32.1329	0.0010
O1	H7	41.9031	0.0010
O1	H8	36.5719	0.0010
O1	H13	43.9282	0.0010
O1	H14	31.2131	0.0010
O1	H15	24.1078	0.0010
O1	O2	60.8841	0.0040
S2	H1	146.2540	0.0010
S2	H2	145.1718	0.0010
S2	H3	144.4787	0.0010
S2	H4	144.7425	0.0010
S2	H5	143.5852	0.0010
S2	H6	142.7313	0.0010
S2	H7	143.2666	0.0010
S2	H8	141.9964	0.0010
S2	H9	141.0607	0.0010
S2	H13	132.8925	0.0010
S2	H14	131.5884	0.0010
S2	H15	131.8424	0.0010
S2	O3	30.6493	0.0010
S2	O4	11.4608	0.0010
S2	O2	139.8159	0.0040
S2	O1	113.9661	0.0040
S2	S1	24.0004	0.0040

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Število vseh točk:	18
Število vseh koordinat:	36
Število vseh opazovanj:	124
# sestavljenih kotov:	63
# horizontalnih dolžin:	61
Število vseh neznank:	36
Število nadštevilnih opazovanj:	88

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
O2	O3	S1	45.78	-45.70	1195.73	733.28	-1241.52	-687.57	78.270
O2	S1	S2	147.93	-193.21	1241.52	687.57	-1389.45	-494.36	-37.345
O2	S2	O4	48.01	-111.80	1389.45	494.36	-1437.46	-382.56	-40.075
O2	O4	H1	-3907.60	5203.14	1437.46	382.56	2470.13	-5585.69	-12.223
O2	H1	H4	-15.73	480.91	-2470.13	5585.69	2485.86	-6066.60	-1.843
O2	H4	H7	16.07	550.48	-2485.86	6066.60	2469.80	-6617.08	0.262
O2	H7	H2	796.11	-1782.43	-2469.80	6617.08	1673.69	-4834.65	1.404

O2	H2	H5	42.22	328.11	-1673.69	4834.65	1631.47	-5162.76	-0.457
O2	H5	H8	75.44	361.20	-1631.47	5162.76	1556.03	-5523.96	5.451
O2	H8	H3	441.05	-1427.90	-1556.03	5523.96	1114.99	-4096.06	-2.490
O2	H3	H6	52.06	240.02	-1114.99	4096.06	1062.93	-4336.07	2.820
O2	H6	H9	68.90	256.24	-1062.93	4336.07	994.03	-4592.31	-1.432
O2	H9	H15	989.33	269.09	-994.03	4592.31	4.70	-4861.41	44.412
O2	H15	H14	194.98	1556.65	-4.70	4861.41	-190.28	-6418.05	-103.917
O2	H14	H13	1309.11	5384.30	190.28	6418.05	-1499.40	-11802.35	74.056
O2	H13	O1	-481.04	-8571.17	1499.40	11802.35	-1018.35	-3231.18	-4.127
O1	O3	S1	2.00	-116.10	1869.01	328.33	-1871.01	-212.23	66.020
O1	S1	S2	-70.70	-389.69	1871.01	212.23	-1800.31	177.46	-55.856
O1	S2	O4	-82.00	-155.30	1800.31	-177.46	-1718.31	332.76	-8.255
O1	O4	O2	-2736.66	-2898.42	1718.31	-332.76	1018.35	3231.18	1.444
O1	O2	H13	-704.01	-1136.61	-1018.35	-3231.18	1722.36	4367.79	-8.640
O1	H13	H14	-1948.61	-1124.82	-1722.36	-4367.79	3670.98	5492.60	52.019
O1	H14	H7	321.70	1885.50	-3670.98	-5492.60	3349.27	3607.11	-42.288
O1	H7	H4	-209.12	198.68	-3349.27	-3607.11	3558.39	3408.43	0.154
O1	H4	H15	-2953.24	-2143.61	-3558.39	-3408.43	6511.64	5552.04	-68.092
O1	H15	H1	2766.59	2366.99	-6511.64	-5552.04	3745.05	3185.05	69.432
O1	H1	H8	-579.91	-434.71	-3745.05	-3185.05	4324.97	3619.77	-5.479
O1	H8	H5	-192.93	321.15	-4324.97	-3619.77	4517.90	3298.61	4.235
O1	H5	H2	-153.55	336.12	-4517.90	-3298.61	4671.45	2962.49	3.906
O1	H2	H6	-1181.19	326.90	-4671.45	-2962.49	5852.64	2635.59	-25.125
O1	H6	H3	-25.45	519.04	-5852.64	-2635.59	5878.09	2116.55	16.690
S1	O2	H13	-155.75	92.53	-1241.52	-687.57	1397.27	595.04	-7.211
S1	H13	H7	29.92	166.45	-1397.27	-595.04	1367.35	428.60	-5.648
S1	H7	H14	-129.30	-25.70	-1367.35	-428.60	1496.65	454.29	3.573
S1	H14	H4	133.71	49.52	-1496.65	-454.29	1362.94	404.77	-5.673
S1	H4	H1	5.03	23.57	-1362.94	-404.77	1357.91	381.20	-1.957
S1	H1	H8	-52.34	12.19	-1357.91	-381.20	1410.26	369.02	0.801
S1	H8	H5	7.14	23.97	-1410.26	-369.02	1403.11	345.04	-1.152
S1	H5	H2	7.30	23.61	-1403.11	-345.04	1395.81	321.43	-1.217
S1	H2	H15	-151.07	-18.94	-1395.81	-321.43	1546.89	340.37	-3.513
S1	H15	H9	94.08	47.43	-1546.89	-340.37	1452.81	292.94	1.764
S1	H9	H6	9.03	26.00	-1452.81	-292.94	1443.77	266.94	-1.037
S1	H6	H3	10.01	25.79	-1443.77	-266.94	1433.76	241.15	-1.672
S1	H3	O1	-437.25	28.92	-1433.76	-241.15	1871.01	212.23	11.406
S1	O1	O3	-6325.25	29872.37	-1871.01	-212.23	8196.26	-29660.14	-1704.588
S1	O3	O4	9323.69	-35372.99	-8196.26	29660.14	-1127.43	5712.85	1961.544
S1	O4	S2	532.03	-2726.50	1127.43	-5712.85	-1659.47	8439.35	-276.005
S2	O2	H13	-122.93	147.92	-1389.45	-494.36	1512.37	346.44	-13.726
S2	H13	H7	86.58	150.39	-1512.37	-346.44	1425.80	196.05	-3.080
S2	H7	H4	12.02	21.21	-1425.80	-196.05	1413.77	174.84	-1.689
S2	H4	H14	-143.10	-0.98	-1413.77	-174.84	1556.88	175.81	-1.940
S2	H14	H1	155.51	21.68	-1556.88	-175.81	1401.37	154.14	10.176
S2	H1	H8	-45.27	28.52	-1401.37	-154.14	1446.64	125.61	-10.524
S2	H8	H5	14.52	20.06	-1446.64	-125.61	1432.12	105.55	-0.637
S2	H5	H2	14.41	19.64	-1432.12	-105.55	1417.71	85.92	-0.899
S2	H2	H15	-145.36	33.10	-1417.71	-85.92	1563.07	52.82	-6.336
S2	H15	H9	101.95	11.61	-1563.07	-52.82	1461.12	41.21	2.995
S2	H9	H6	16.67	20.87	-1461.12	-41.21	1444.45	20.34	-0.218
S2	H6	H3	17.33	20.34	-1444.45	-20.34	1427.12	0.00	-1.675
S2	H3	O1	-373.19	177.46	-1427.12	-0.00	1800.31	-177.46	-4.395
S2	O1	O3	394.18	6399.25	-1800.31	177.46	1406.13	-6576.71	-348.500
S2	O3	S1	-253.34	1862.64	-1406.13	6576.71	1659.47	-8439.35	387.507
S2	S1	O4	5175.76	-26122.33	-1659.47	8439.35	-3516.30	17682.97	845.638

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
S1	O2	0.4844805	-0.8748020	-0.4844805	0.8748020	0.0403683
S1	H1	0.2702794	-0.9627819	-0.2702794	0.9627819	0.0528152
S1	O1	0.1127077	-0.9936282	-0.1127077	0.9936282	0.0577084
S1	H2	0.2244091	-0.9744950	-0.2244091	0.9744950	0.0551805
S1	H3	0.1658630	-0.9861488	-0.1658630	0.9861488	0.0571408
S1	H4	0.2846933	-0.9586187	-0.2846933	0.9586187	0.0516762
S1	H5	0.2387988	-0.9710691	-0.2387988	0.9710691	0.0540585
S1	H6	0.1818068	-0.9833343	-0.1818068	0.9833343	0.0561936
S1	H7	0.2991012	-0.9542214	-0.2991012	0.9542214	0.0513229
S1	H8	0.2531437	-0.9674287	-0.2531437	0.9674287	0.0524325
S1	H9	0.1976566	-0.9802713	-0.1976566	0.9802713	0.0552921
S1	H13	0.3918131	-0.9200448	-0.3918131	0.9200448	0.0465764
S1	H14	0.2904540	-0.9568890	-0.2904540	0.9568890	0.0612642

S1	H15	0.2148949	-0.9766372	-0.2148949	0.9766372	0.0466969
S1	O3	-0.9638746	-0.2663564	0.9638746	0.2663564	0.0422902
S1	O4	0.9810774	0.1936160	-0.9810774	-0.1936160	-0.0388500
O2	O3	-0.5227737	0.8524715	0.5227737	-0.8524715	-0.0006128
O2	O4	-0.2571807	0.9663633	0.2571807	-0.9663633	-0.0006635
O2	H1	-0.9145634	-0.4044427	0.9145634	0.4044427	-0.0007993
O2	H2	-0.9449766	-0.3271378	0.9449766	0.3271378	-0.0003693
O2	H3	-0.9648905	-0.2626524	0.9648905	0.2626524	-0.0016378
O2	H4	-0.9253291	-0.3791650	0.9253291	0.3791650	-0.0017806
O2	H5	-0.9535227	-0.3013211	0.9535227	0.3013211	-0.0020520
O2	H6	-0.9712438	-0.2380871	0.9712438	0.2380871	-0.0019285
O2	H7	-0.9368684	-0.3496820	0.9368684	0.3496820	-0.0013965
O2	H8	-0.9625410	-0.2711363	0.9625410	0.2711363	-0.0020321
O2	H9	-0.9773659	-0.2115557	0.9773659	0.2115557	-0.0020764
O2	H13	-0.9920265	0.1260293	0.9920265	-0.1260293	-0.0051319
O2	H14	-0.9995608	0.0296351	0.9995608	-0.0296351	-0.0053006
O2	H15	-0.9999995	-0.0009663	0.9999995	0.0009663	-0.0047302
O1	O3	-0.1730230	0.9849178	0.1730230	-0.9849178	-0.0007245
O1	O4	0.1901225	0.9817604	-0.1901225	-0.9817604	-0.0007343
O1	H1	0.6478560	-0.7617629	-0.6478560	0.7617629	0.0015339
O1	H2	0.5355560	-0.8444997	-0.5355560	0.8444997	0.0015694
O1	H3	0.3387817	-0.9408650	-0.3387817	0.9408650	0.0016430
O1	H4	0.6917258	-0.7221602	-0.6917258	0.7221602	0.0010064
O1	H5	0.5896752	-0.8076405	-0.5896752	0.8076405	0.0016616
O1	H6	0.4106118	-0.9118103	-0.4106118	0.9118103	0.0020351
O1	H7	0.7328122	-0.6804310	-0.7328122	0.6804310	0.0012348
O1	H8	0.6418181	-0.7668569	-0.6418181	0.7668569	0.0007953
O1	H13	0.9302834	-0.3668416	-0.9302834	0.3668416	0.0035223
O1	H14	0.8314042	-0.5556681	-0.8314042	0.5556681	0.0087864
O1	H15	0.6488110	-0.7609496	-0.6488110	0.7609496	-0.0037073
O1	O2	0.9537535	-0.3005897	-0.9537535	0.3005897	-0.0004068
S2	H1	0.1093324	-0.9940052	-0.1093324	0.9940052	0.0520498
S2	H2	0.0604924	-0.9981687	-0.0604924	0.9981687	0.0531962
S2	H3	0.0000000	-1.0000000	-0.0000000	1.0000000	0.0533400
S2	H4	0.1227333	-0.9924397	-0.1227333	0.9924397	0.0511844
S2	H5	0.0735045	-0.9972949	-0.0735045	0.9972949	0.0523856
S2	H6	0.0140772	-0.9999009	-0.0140772	0.9999009	0.0528183
S2	H7	0.1362216	-0.9906784	-0.1362216	0.9906784	0.0513337
S2	H8	0.0865063	-0.9962513	-0.0865063	0.9962513	0.0511427
S2	H9	0.0281902	-0.9996026	-0.0281902	0.9996026	0.0523414
S2	H13	0.2232864	-0.9747529	-0.2232864	0.9747529	0.0488759
S2	H14	0.1122146	-0.9936840	-0.1122146	0.9936840	0.0610993
S2	H15	0.0337715	-0.9994296	-0.0337715	0.9994296	0.0437907
S2	O3	-0.9778987	-0.2090790	0.9778987	0.2090790	0.0203898
S2	O4	0.9807966	0.1950335	-0.9807966	-0.1950335	-0.0201914
S2	O2	0.3352093	-0.9421437	-0.3352093	0.9421437	0.0459411
S2	O1	-0.0980977	-0.9951768	0.0980977	0.9951768	0.0528278
S2	S1	-0.9812106	-0.1929396	0.9812106	0.1929396	-0.0187810

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreza)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:
 Ref. std. odklon a-priori: 1.10
 Ref. std. odklon a-posteriori: 1.24
 Globalni test: 1.27
 Globalni test [SQRT]: 1.13
 Matrika R [DIAG]: 91.00
 Matrika R [POVPREČJE]: 0.73

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:-----
IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOCK:

TC	X0	Y0	sdX	sdY
	dX	dY		

	X	Y	A	B	TH
O3	70.0081 0.0122 70.0203	238.1196 0.0107 238.1303	0.0003 0.0003	0.0002 0.0002	13.0
O4	111.2209 0.0130 111.2339	246.7633 0.0056 246.7689	0.0003 0.0004	0.0002 0.0002	17.2
O2	146.8830 0.0020 146.8850	112.7620 0.0017 112.7637	0.0002 0.0002	0.0001 0.0001	21.1
H1	115.9960 -0.0001 115.9959	99.1030 0.0060 99.1090	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	0.7
H2	108.7850 -0.0002 108.7848	99.5730 0.0072 99.5802	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	144.2
H3	100.0000 -0.0010 99.9990	100.0000 0.0076 100.0076	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	109.6
H4	117.7710 -0.0009 117.7701	100.8330 0.0058 100.8388	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	2.2
H5	110.5580 -0.0008 110.5572	101.2830 0.0068 101.2898	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	154.2
H6	102.0100 -0.0030 102.0070	101.7620 0.0061 101.7681	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	120.3
H7	119.5230 -0.0006 119.5224	102.5500 0.0055 102.5555	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	3.2
H8	112.2880 -0.0008 112.2872	103.0170 0.0055 103.0225	0.0002 0.0002	0.0002 0.0002	160.6
H9	103.9780 -0.0014 103.9766	103.4750 0.0067 103.4817	0.0005 0.0005	0.0002 0.0002	13.1
H13	129.6840 -0.0030 129.6810	114.9470 0.0033 114.9503	0.0004 0.0004	0.0001 0.0001	168.5
H14	114.7730 -0.0029 114.7701	113.7140 0.0153 113.7293	0.0003 0.0003	0.0002 0.0001	160.8
H15	104.4540 -0.0028 104.4512	112.7210 -0.0020 112.7190	0.0002 0.0003	0.0002 0.0001	139.3
O1	88.8150 0.0026 88.8176	131.0630 0.0067 131.0697	0.0001 0.0002	0.0002 0.0001	122.1
S1	76.4690 -0.0152 76.4538	239.9050 -0.0528 239.8522	0.0003 0.0003	0.0002 0.0002	15.7
S2	100.0000 0.0028 100.0028	244.5320 -0.0459 244.4861	0.0003 0.0003	0.0002 0.0002	8.8

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
O2	O3	S1	2 31 5.9	0.71	1.42	2 31 6.6	0.71
O2	S1	S2	9 24 12.8	-0.88	1.45	9 24 11.9	0.66
O2	S2	O4	4 41 36.8	-0.37	1.39	4 41 36.4	0.79
O2	O4	H1	261 3 0.1	-0.11	0.90	261 2 60.0	1.32
O2	H1	H4	1 34 29.1	0.60	0.47	1 34 29.7	1.52
O2	H4	H7	1 48 50.5	0.07	0.46	1 48 50.6	1.52
O2	H7	H2	1 22 20.4	0.16	0.50	1 22 20.6	1.51
O2	H2	H5	1 33 29.9	-0.25	0.54	1 33 29.7	1.50
O2	H5	H8	1 48 12.8	-0.01	0.54	1 48 12.8	1.50
O2	H8	H3	0 30 18.3	-0.02	0.58	0 30 18.3	1.48
O2	H3	H6	1 27 11.0	-0.31	0.61	1 27 10.7	1.47
O2	H6	H9	1 33 37.9	0.29	0.54	1 33 38.2	1.50
O2	H9	H15	12 8 45.0	0.19	0.61	12 8 45.2	1.47
O2	H15	H14	1 46 56.8	0.13	0.76	1 46 56.9	1.40
O2	H14	H13	5 31 17.1	-0.43	0.66	5 31 16.7	1.45
O2	H13	O1	10 15 14.3	1.14	1.06	10 15 15.4	1.19
O1	O3	S1	3 28 25.9	0.91	1.25	3 28 26.8	0.99
O1	S1	S2	12 6 59.7	-0.15	1.35	12 6 59.5	0.85
O1	S2	O4	5 19 57.3	0.28	1.33	5 19 57.6	0.88
O1	O4	O2	96 31 57.7	0.04	1.32	96 31 57.7	0.90
O1	O2	H13	4 1 49.2	-0.89	1.46	4 1 48.3	0.64
O1	H13	H14	12 13 16.8	0.88	1.10	12 13 17.7	1.16
O1	H14	H7	9 7 56.4	-0.35	0.77	9 7 56.0	1.39
O1	H7	H4	3 21 20.7	0.37	0.71	3 21 21.1	1.43
O1	H4	H15	3 20 1.6	-0.22	0.62	3 20 1.4	1.47
O1	H15	H1	0 3 9.3	-1.64	0.60	0 3 7.7	1.47
O1	H1	H8	0 27 14.9	1.55	0.66	0 27 16.5	1.45
O1	H8	H5	3 47 32.6	0.11	0.63	3 47 32.7	1.46
O1	H5	H2	3 45 4.5	0.22	0.61	3 45 4.7	1.47
O1	H2	H6	8 8 43.2	-2.26	0.57	8 8 40.9	1.49
O1	H6	H3	4 26 9.5	1.88	0.54	4 26 11.4	1.50
S1	O2	H13	5 54 47.1	1.25	1.46	5 54 48.3	0.63
S1	H13	H7	5 39 55.1	-0.14	1.46	5 39 55.0	0.64
S1	H7	H14	0 31 3.0	-0.85	1.50	0 31 2.2	0.55
S1	H14	H4	0 20 46.3	0.37	1.50	0 20 46.7	0.54
S1	H4	H1	0 51 36.6	-1.63	1.53	0 51 35.0	0.45
S1	H1	H8	1 1 1.4	1.95	1.53	1 1 3.3	0.44
S1	H8	H5	0 50 53.8	-0.14	1.53	0 50 53.7	0.43
S1	H5	H2	0 50 52.3	-0.70	1.54	0 50 51.6	0.41
S1	H2	H15	0 33 35.1	0.20	1.54	0 33 35.3	0.42
S1	H15	H9	1 0 32.1	0.81	1.37	1 0 32.9	0.81
S1	H9	H6	0 55 30.8	3.12	1.38	0 55 33.9	0.80
S1	H6	H3	0 55 41.2	-3.19	1.55	0 55 38.0	0.36
S1	H3	O1	3 4 22.0	0.28	1.56	3 4 22.3	0.32
S1	O1	O3	81 29 50.5	-0.47	1.08	81 29 50.0	1.17
S1	O3	O4	183 44 19.7	1.63	0.91	183 44 21.3	1.30
S1	O4	S2	0 6 58.2	-2.63	1.53	0 6 55.6	0.43
S2	O2	H13	6 41 13.0	0.50	1.43	6 41 13.5	0.70
S2	H13	H7	5 4 25.4	-0.02	1.43	5 4 25.4	0.70
S2	H7	H4	0 46 47.5	-0.40	1.52	0 46 47.1	0.48
S2	H4	H14	0 36 26.7	0.08	1.49	0 36 26.8	0.57
S2	H14	H1	0 9 48.0	8.09	1.49	0 9 56.1	0.57
S2	H1	H8	1 19 1.6	-7.80	1.53	1 18 53.8	0.45
S2	H8	H5	0 44 51.1	0.16	1.53	0 44 51.3	0.44
S2	H5	H2	0 44 50.9	-0.81	1.53	0 44 50.1	0.42
S2	H2	H15	1 32 4.2	0.36	1.53	1 32 4.6	0.46
S2	H15	H9	0 19 8.8	0.57	1.37	0 19 9.4	0.81
S2	H9	H6	0 48 31.9	3.16	1.39	0 48 35.1	0.78
S2	H6	H3	0 48 25.4	-3.51	1.55	0 48 21.9	0.37
S2	H3	O1	5 37 51.1	-0.22	1.56	5 37 50.9	0.33
S2	O1	O3	72 23 55.6	0.61	1.41	72 23 56.2	0.73
S2	O3	S1	0 50 10.9	0.28	1.55	0 50 11.2	0.36
S2	S1	O4	179 38 34.1	-0.50	0.86	179 38 33.6	1.34

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
S1	O2	145.2988	0.0011	0.0045	145.2999	0.0003

Sled kovariančne matrike: 0.00000197
 Srednja varianca: 0.00023712
 Srednja standardna deviacija: 0.01539858
 Generalizirana varianca: 0.00004176
 Generalizirana standardna deviacija: 0.00646222
 Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000000
 Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000024
 Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.00271361

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000001
 Največja lastna vrednost: 0.000558
 Norma kovariančne matrike: 0.003929
 Norma matrike kriterija: 0.000558
 Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.003370
 Sled matrike kriterija: 0.004857

Karakteristicna razdalja $d=2/3(s_{min})$: 1.6329

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 124 x 666
 Velikost vektorja q: 666 x 1
 Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 124 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
O2	O3	S1	2 31 5.9	41482750	0.79	0.320252
O2	O4	H1	261 3 0.1	1429833	0.10	1.724974
O2	H1	H4	1 34 29.1	7216136	0.09	0.767844
O2	H4	H7	1 48 50.5	5415304	0.08	0.886367
O2	H7	H2	1 22 20.4	1838534	0.11	1.521210
O2	H2	H5	1 33 29.9	10447844	0.11	0.638134
O2	H5	H8	1 48 12.8	8718683	0.11	0.698554
O2	H8	H3	0 30 18.3	2622322	0.15	1.273744
O2	H3	H6	1 27 11.0	14320529	0.14	0.545062
O2	H6	H9	1 33 37.9	13029379	0.11	0.571430
O2	H9	H15	12 8 45.0	4362133	0.15	0.987588
O2	H15	H14	1 46 56.8	3269173	0.19	1.140791
O2	H14	H13	5 31 17.1	202779	0.13	4.580511
O1	O3	S1	3 28 25.9	19446118	0.57	0.467744
O1	S1	S2	12 6 59.7	20333675	0.71	0.457422
O1	S2	O4	5 19 57.3	49015542	0.65	0.294617
O1	O4	O2	96 31 57.7	5511814	0.38	0.878573
O1	O2	H13	4 1 49.2	12659378	0.75	0.579721
O1	H13	H14	12 13 16.8	2523945	0.37	1.298330
O1	H14	H7	9 7 56.4	519503	0.23	2.861747
O1	H7	H4	3 21 20.7	5895454	0.19	0.849506
O1	H4	H15	3 20 1.6	830703	0.12	2.263092
O1	H15	H1	0 3 9.3	982132	0.17	2.081326
O1	H1	H8	0 27 14.9	6909784	0.16	0.784681
O1	H8	H5	3 47 32.6	1120550	0.15	1.948541
O1	H5	H2	3 45 4.5	3248911	0.14	1.144343
O1	H2	H6	8 8 43.2	1352736	0.11	1.773449
O1	H6	H3	4 26 9.5	975561	0.11	2.088324
S1	H13	H7	5 39 55.1	234117	0.78	4.262933
S1	H7	H14	0 31 3.0	29640087	0.90	0.378866
S1	H4	H1	0 51 36.6	128500933	0.91	0.181958
S1	H8	H5	0 50 53.8	96991764	0.92	0.209439
S1	H5	H2	0 50 52.3	89992023	0.93	0.217432
S1	H2	H15	0 33 35.1	74811	0.94	7.541233
S1	H15	H9	1 0 32.1	1788665	0.68	1.542271
S1	H9	H6	0 55 30.8	146443091	0.83	0.170448
S1	H6	H3	0 55 41.2	139572886	0.94	0.174592
S1	H3	O1	3 4 22.0	34448299	1.01	0.351432
S1	O1	O3	81 29 50.5	377386	0.08	3.357626
S1	O4	S2	0 6 58.2	621119897	0.90	0.082763
S2	O2	H13	6 41 13.0	11270357	0.90	0.614407
S2	H13	H7	5 4 25.4	53306185	0.74	0.282512
S2	H7	H4	0 46 47.5	77794813	0.91	0.233857
S2	H4	H14	0 36 26.7	32457086	0.90	0.362052
S2	H14	H1	0 9 48.0	33809436	0.85	0.354737
S2	H1	H8	1 19 1.6	174486530	0.92	0.156151
S2	H8	H5	0 44 51.1	30387240	0.92	0.374179
S2	H5	H2	0 44 50.9	8387280	0.92	0.712221
S2	H2	H15	1 32 4.2	41318056	0.93	0.320889

S2	H15	H9	0	19	8.8	47686556	0.69	0.298694
S2	O1	O3	72	23	55.6	601994	0.39	2.658453

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNI KOTI:

O2	S1	S2	9	24	12.8	-12532759	0.85
O2	S2	O4	4	41	36.8	-57388953	0.74
O2	H13	O1	10	15	14.3	-696434	0.75
S1	O2	H13	5	54	47.1	-47190751	0.91
S1	H14	H4	0	20	46.3	-7819376	0.86
S1	H1	H8	1	1	1.4	-194025192	0.92
S1	O3	O4	183	44	19.7	-95453	0.29
S2	H9	H6	0	48	31.9	-24834214	0.82
S2	H6	H3	0	48	25.4	-32999839	0.94
S2	H3	O1	5	37	51.1	-3753905	0.99
S2	O3	S1	0	50	10.9	-2804846	0.90
S2	S1	O4	179	38	34.1	-64696641	0.05

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi (opt)	ri	std_d
S1	H1	146.1921	1023	0.94	0.000313
S1	H2	143.9497	1075	0.93	0.000305
S1	H3	141.8129	1130	0.92	0.000297
S1	H4	145.0237	229	0.94	0.000660
S1	H5	142.6979	175	0.94	0.000756
S1	H6	140.4281	166	0.92	0.000776
S1	H7	143.8933	612	0.95	0.000404
S1	H8	141.4443	443	0.94	0.000475
S1	H9	139.1205	846	0.93	0.000344
S1	H13	135.7707	1567	0.91	0.000253
S1	H14	131.8151	1308	0.93	0.000277
S1	H15	130.1798	1207	0.93	0.000288
S1	O3	6.6608	23	0.78	0.002103
S1	O4	35.4610	2890	0.77	0.000186
O2	O3	147.0526	1960	0.95	0.000226
O2	O4	138.6662	2896	0.95	0.000186
O2	H1	33.7732	711	0.92	0.000375
O2	H2	40.3167	948	0.93	0.000325
O2	H3	48.5906	1574	0.92	0.000252
O2	H5	38.0976	84	0.93	0.001092
O2	H7	29.2051	559	0.92	0.000423
O2	H8	35.9434	860	0.93	0.000341
O2	H9	43.9007	1213	0.78	0.000287
O2	H13	17.3424	2740	0.82	0.000191
O2	H14	32.1294	1012	0.88	0.000314
O2	H15	42.4338	779	0.92	0.000358
O1	O3	108.6967	1772	0.93	0.000238
O1	O4	117.8506	3090	0.92	0.000180
O1	H1	41.9538	388	0.92	0.000508
O1	H2	37.2868	833	0.92	0.000346
O1	H3	33.0137	966	0.91	0.000322
O1	H6	32.1329	16	0.92	0.002498
O1	H7	41.9031	501	0.93	0.000447
O1	H8	36.5719	573	0.92	0.000418
O1	H13	43.9282	2344	0.83	0.000207
O1	H14	31.2131	1685	0.88	0.000244
O1	H15	24.1078	1293	0.90	0.000278
S2	H1	146.2540	1058	0.94	0.000307
S2	H2	145.1718	958	0.93	0.000323
S2	H3	144.4787	981	0.92	0.000319
S2	H4	144.7425	191	0.94	0.000724
S2	H5	143.5852	28	0.94	0.001885
S2	H7	143.2666	512	0.95	0.000442
S2	H8	141.9964	244	0.94	0.000640
S2	H9	141.0607	718	0.92	0.000373
S2	H13	132.8925	1396	0.93	0.000268
S2	H14	131.5884	1012	0.94	0.000314
S2	H15	131.8424	921	0.93	0.000329
S2	O3	30.6493	3070	0.79	0.000180
S2	O4	11.4608	2768	0.78	0.000190
S2	O2	139.8159	26	1.00	0.001948
S2	S1	24.0004	550	0.99	0.000427

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

S1	O2	145.2988	-126	1.00
S1	O1	109.4823	-340	1.00
O2	H4	31.4630	-6	0.92
O2	H6	46.2035	-398	0.93
O1	H4	41.8595	-196	0.93
O1	H5	36.8712	-7	0.92
O1	O2	60.8841	-221	1.00
S2	H6	142.7313	-45	0.93
S2	O1	113.9661	-277	1.00

D-3: MREŽA MELJE – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO

OPAZOVANJA IN KOORDINATE MELJE STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

#	-----		
X O3	70.0081	238.1196	
X O4	111.2209	246.7633	
X O2	146.8830	112.7620	
X H1	115.9960	99.1030	
X H2	108.7850	99.5730	
X H3	100.0000	100.0000	
X H4	117.7710	100.8330	
X H5	110.5580	101.2830	
X H6	102.0100	101.7620	
X H7	119.5230	102.5500	
X H8	112.2880	103.0170	
X H9	103.9780	103.4750	
X H13	129.6840	114.9470	
X H14	114.7730	113.7140	
X H15	104.4540	112.7210	
X O1	88.8150	131.0630	
X S1	76.4690	239.9050	
X S2	100.0000	244.5320	

SESTAVLJENI KOTI:

#	-----				
A	O2	O3	S1	2 31 5.9	1.4142
A	O2	O4	H1	261 3 0.1	1.4142
A	O2	H1	H4	1 34 29.1	1.4142
A	O2	H4	H7	1 48 50.5	1.4142
A	O2	H7	H2	1 22 20.4	1.4142
A	O2	H2	H5	1 33 29.9	1.4142
A	O2	H5	H8	1 48 12.8	1.4142
A	O2	H8	H3	0 30 18.3	1.4142
A	O2	H3	H6	1 27 11.0	1.4142
A	O2	H6	H9	1 33 37.9	1.4142
A	O2	H9	H15	12 8 45.0	1.4142
A	O2	H15	H14	1 46 56.8	1.4142
A	O2	H14	H13	5 31 17.1	1.4142
A	O1	O3	S1	3 28 25.9	1.4142
A	O1	S1	S2	12 6 59.7	1.4142
A	O1	S2	O4	5 19 57.3	1.4142
A	O1	O4	O2	96 31 57.7	1.4142
A	O1	O2	H13	4 1 49.2	1.4142
A	O1	H13	H14	12 13 16.8	1.4142
A	O1	H14	H7	9 7 56.4	1.4142
A	O1	H7	H4	3 21 20.7	1.4142
A	O1	H4	H15	3 20 1.6	1.4142
A	O1	H15	H1	0 3 9.3	1.4142
A	O1	H1	H8	0 27 14.9	1.4142
A	O1	H8	H5	3 47 32.6	1.4142
A	O1	H5	H2	3 45 4.5	1.4142
A	O1	H2	H6	8 8 43.2	1.4142
A	O1	H6	H3	4 26 9.5	1.4142
A	S1	H13	H7	5 39 55.1	1.4142
A	S1	H7	H14	0 31 3.0	1.4142
A	S1	H4	H1	0 51 36.6	1.4142

A	S1	H8	H5	0 50 53.8	1.4142
A	S1	H5	H2	0 50 52.3	1.4142
A	S1	H15	H9	1 0 32.1	1.4142
A	S1	H9	H6	0 55 30.8	1.4142
A	S1	H6	H3	0 55 41.2	1.4142
A	S1	H3	O1	3 4 22.0	1.4142
A	S1	O1	O3	81 29 50.5	1.4142
A	S1	O4	S2	0 6 58.2	1.4142
A	S2	H13	H7	5 4 25.4	1.4142
A	S2	H7	H4	0 46 47.5	1.4142
A	S2	H4	H14	0 36 26.7	1.4142
A	S2	H14	H1	0 9 48.0	1.4142
A	S2	H1	H8	1 19 1.6	1.4142
A	S2	H8	H5	0 44 51.1	1.4142
A	S2	H5	H2	0 44 50.9	1.4142
A	S2	H2	H15	1 32 4.2	1.4142
A	S2	H15	H9	0 19 8.8	1.4142
A	S2	O1	O3	72 23 55.6	1.4142

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

#				
D	S1	H1	146.19214	0.001
D	S1	H2	143.94966	0.001
D	S1	H3	141.81293	0.001
D	S1	H7	143.89326	0.001
D	S1	H8	141.44430	0.001
D	S1	H9	139.12046	0.001
D	S1	H13	135.77072	0.001
D	S1	H14	131.81506	0.001
D	S1	H15	130.17976	0.001
D	S1	O3	6.66076	0.001
D	S1	O4	35.46103	0.001
D	O2	O3	147.05257	0.001
D	O2	O4	138.66621	0.001
D	O2	H1	33.77320	0.001
D	O2	H2	40.31671	0.001
D	O2	H3	48.59057	0.001
D	O2	H7	29.20507	0.001
D	O2	H8	35.94336	0.001
D	O2	H9	43.90068	0.001
D	O2	H13	17.34237	0.001
D	O2	H14	32.12941	0.001
D	O2	H15	42.43375	0.001
D	O1	O3	108.69670	0.001
D	O1	O4	117.85057	0.001
D	O1	H1	41.95378	0.001
D	O1	H2	37.28678	0.001
D	O1	H3	33.01372	0.001
D	O1	H7	41.90309	0.001
D	O1	H8	36.57187	0.001
D	O1	H13	43.92825	0.001
D	O1	H14	31.21309	0.001
D	O1	H15	24.10780	0.001
D	S2	H1	146.25402	0.001
D	S2	H2	145.17176	0.001
D	S2	H3	144.47866	0.001
D	S2	H4	144.74250	0.001
D	S2	H7	143.26662	0.001
D	S2	H8	141.99635	0.001
D	S2	H9	141.06074	0.001
D	S2	H13	132.89251	0.001
D	S2	H14	131.58840	0.001
D	S2	H15	131.84244	0.001
D	S2	O3	30.64935	0.001
D	S2	O4	11.46079	0.001
D	S2	S1	24.00038	0.004

*K

D-4: MREŽA MELJE - REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE

 GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
 Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
 Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright

Datum in cas: 16-MAJ-2016 15:00:38.6
 Ime vhodne datoteke: melje4.txt
 Ime izhodne datoteke: melje4.GM3

 BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
O3	70.0081	238.1196
O4	111.2209	246.7633
O2	146.8830	112.7620
H1	115.9960	99.1030
H2	108.7850	99.5730
H3	100.0000	100.0000
H4	117.7710	100.8330
H5	110.5580	101.2830
H6	102.0100	101.7620
H7	119.5230	102.5500
H8	112.2880	103.0170
H9	103.9780	103.4750
H13	129.6840	114.9470
H14	114.7730	113.7140
H15	104.4540	112.7210
O1	88.8150	131.0630
S1	76.4690	239.9050
S2	100.0000	244.5320

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK ['']
O2	O3	S1	2 31 5.9	1.4142
O2	O4	H1	261 3 0.1	1.4142
O2	H1	H4	1 34 29.1	1.4142
O2	H4	H7	1 48 50.5	1.4142
O2	H7	H2	1 22 20.4	1.4142
O2	H2	H5	1 33 29.9	1.4142
O2	H5	H8	1 48 12.8	1.4142
O2	H8	H3	0 30 18.3	1.4142
O2	H3	H6	1 27 11.0	1.4142
O2	H6	H9	1 33 37.9	1.4142
O2	H9	H15	12 8 45.0	1.4142
O2	H15	H14	1 46 56.8	1.4142
O2	H14	H13	5 31 17.1	1.4142
O1	O3	S1	3 28 25.9	1.4142
O1	S1	S2	12 6 59.7	1.4142
O1	S2	O4	5 19 57.3	1.4142
O1	O4	O2	96 31 57.7	1.4142
O1	O2	H13	4 1 49.2	1.4142
O1	H13	H14	12 13 16.8	1.4142
O1	H14	H7	9 7 56.4	1.4142
O1	H7	H4	3 21 20.7	1.4142
O1	H4	H15	3 20 1.6	1.4142
O1	H15	H1	0 3 9.3	1.4142
O1	H1	H8	0 27 14.9	1.4142
O1	H8	H5	3 47 32.6	1.4142
O1	H5	H2	3 45 4.5	1.4142
O1	H2	H6	8 8 43.2	1.4142
O1	H6	H3	4 26 9.5	1.4142
S1	H13	H7	5 39 55.1	1.4142
S1	H7	H14	0 31 3.0	1.4142
S1	H4	H1	0 51 36.6	1.4142
S1	H8	H5	0 50 53.8	1.4142
S1	H5	H2	0 50 52.3	1.4142
S1	H15	H9	1 0 32.1	1.4142
S1	H9	H6	0 55 30.8	1.4142
S1	H6	H3	0 55 41.2	1.4142

S1	H3	O1	3 4 22.0	1.4142
S1	O1	O3	81 29 50.5	1.4142
S1	O4	S2	0 6 58.2	1.4142
S2	H13	H7	5 4 25.4	1.4142
S2	H7	H4	0 46 47.5	1.4142
S2	H4	H14	0 36 26.7	1.4142
S2	H14	H1	0 9 48.0	1.4142
S2	H1	H8	1 19 1.6	1.4142
S2	H8	H5	0 44 51.1	1.4142
S2	H5	H2	0 44 50.9	1.4142
S2	H2	H15	1 32 4.2	1.4142
S2	H15	H9	0 19 8.8	1.4142
S2	O1	O3	72 23 55.6	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
S1	H1	146.1921	0.0010
S1	H2	143.9497	0.0010
S1	H3	141.8129	0.0010
S1	H7	143.8933	0.0010
S1	H8	141.4443	0.0010
S1	H9	139.1205	0.0010
S1	H13	135.7707	0.0010
S1	H14	131.8151	0.0010
S1	H15	130.1798	0.0010
S1	O3	6.6608	0.0010
S1	O4	35.4610	0.0010
O2	O3	147.0526	0.0010
O2	O4	138.6662	0.0010
O2	H1	33.7732	0.0010
O2	H2	40.3167	0.0010
O2	H3	48.5906	0.0010
O2	H7	29.2051	0.0010
O2	H8	35.9434	0.0010
O2	H9	43.9007	0.0010
O2	H13	17.3424	0.0010
O2	H14	32.1294	0.0010
O2	H15	42.4338	0.0010
O1	O3	108.6967	0.0010
O1	O4	117.8506	0.0010
O1	H1	41.9538	0.0010
O1	H2	37.2868	0.0010
O1	H3	33.0137	0.0010
O1	H7	41.9031	0.0010
O1	H8	36.5719	0.0010
O1	H13	43.9282	0.0010
O1	H14	31.2131	0.0010
O1	H15	24.1078	0.0010
S2	H1	146.2540	0.0010
S2	H2	145.1718	0.0010
S2	H3	144.4787	0.0010
S2	H4	144.7425	0.0010
S2	H7	143.2666	0.0010
S2	H8	141.9964	0.0010
S2	H9	141.0607	0.0010
S2	H13	132.8925	0.0010
S2	H14	131.5884	0.0010
S2	H15	131.8424	0.0010
S2	O3	30.6493	0.0010
S2	O4	11.4608	0.0010
S2	S1	24.0004	0.0040

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:

18

Stevilo vseh koordinat: 36
 Stevilo vseh opazovanj: 94
 # sestavljenih kotov: 49
 # horizontalnih dolzin: 45
 Stevilo vseh neznank: 36
 Stevilo nadstevilnih opazovanj: 58

 SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
O2	O3	S1	45.78	-45.70	1195.73	733.28	-1241.52	-687.57	78.270
O2	O4	H1	-3907.60	5203.14	1437.46	382.56	2470.13	-5585.69	-12.223
O2	H1	H4	-15.73	480.91	-2470.13	5585.69	2485.86	-6066.60	-1.843
O2	H4	H7	16.07	550.48	-2485.86	6066.60	2469.80	-6617.08	0.262
O2	H7	H2	796.11	-1782.43	-2469.80	6617.08	1673.69	-4834.65	1.404
O2	H2	H5	42.22	328.11	-1673.69	4834.65	1631.47	-5162.76	-0.457
O2	H5	H8	75.44	361.20	-1631.47	5162.76	1556.03	-5523.96	5.451
O2	H8	H3	441.05	-1427.90	-1556.03	5523.96	1114.99	-4096.06	-2.490
O2	H3	H6	52.06	240.02	-1114.99	4096.06	1062.93	-4336.07	2.820
O2	H6	H9	68.90	256.24	-1062.93	4336.07	994.03	-4592.31	-1.432
O2	H9	H15	989.33	269.09	-994.03	4592.31	4.70	-4861.41	44.412
O2	H15	H14	194.98	1556.65	-4.70	4861.41	-190.28	-6418.05	-103.917
O2	H14	H13	1309.11	5384.30	190.28	6418.05	-1499.40	-11802.35	74.056
O1	O3	S1	2.00	-116.10	1869.01	328.33	-1871.01	-212.23	66.020
O1	S1	S2	-70.70	-389.69	1871.01	212.23	-1800.31	177.46	-55.856
O1	S2	O4	-82.00	-155.30	1800.31	-177.46	-1718.31	332.76	-8.255
O1	O4	O2	-2736.66	-2898.42	1718.31	-332.76	1018.35	3231.18	1.444
O1	O2	H13	-704.01	-1136.61	-1018.35	-3231.18	1722.36	4367.79	-8.640
O1	H13	H14	-1948.61	-1124.82	-1722.36	-4367.79	3670.98	5492.60	52.019
O1	H14	H7	321.70	1885.50	-3670.98	-5492.60	3349.27	3607.11	-42.288
O1	H7	H4	-209.12	198.68	-3349.27	-3607.11	3558.39	3408.43	0.154
O1	H4	H15	-2953.24	-2143.61	-3558.39	-3408.43	6511.64	5552.04	-68.092
O1	H15	H1	2766.59	2366.99	-6511.64	-5552.04	3745.05	3185.05	69.432
O1	H1	H8	-579.91	-434.71	-3745.05	-3185.05	4324.97	3619.77	-5.479
O1	H8	H5	-192.93	321.15	-4324.97	-3619.77	4517.90	3298.61	4.235
O1	H5	H2	-153.55	336.12	-4517.90	-3298.61	4671.45	2962.49	3.906
O1	H2	H6	-1181.19	326.90	-4671.45	-2962.49	5852.64	2635.59	-25.125
O1	H6	H3	-25.45	519.04	-5852.64	-2635.59	5878.09	2116.55	16.690
S1	H13	H7	29.92	166.45	-1397.27	-595.04	1367.35	428.60	-5.648
S1	H7	H14	-129.30	-25.70	-1367.35	-428.60	1496.65	454.29	3.573
S1	H4	H1	5.03	23.57	-1362.94	-404.77	1357.91	381.20	-1.957
S1	H8	H5	7.14	23.97	-1410.26	-369.02	1403.11	345.04	-1.152
S1	H5	H2	7.30	23.61	-1403.11	-345.04	1395.81	321.43	-1.217
S1	H15	H9	94.08	47.43	-1546.89	-340.37	1452.81	292.94	1.764
S1	H9	H6	9.03	26.00	-1452.81	-292.94	1443.77	266.94	-1.037
S1	H6	H3	10.01	25.79	-1443.77	-266.94	1433.76	241.15	-1.672
S1	H3	O1	-437.25	28.92	-1433.76	-241.15	1871.01	212.23	11.406
S1	O1	O3	-6325.25	29872.37	-1871.01	-212.23	8196.26	-29660.14	-1704.588
S1	O4	S2	532.03	-2726.50	1127.43	-5712.85	-1659.47	8439.35	-276.005
S2	H13	H7	86.58	150.39	-1512.37	-346.44	1425.80	196.05	-3.080
S2	H7	H4	12.02	21.21	-1425.80	-196.05	1413.77	174.84	-1.689
S2	H4	H14	-143.10	-0.98	-1413.77	-174.84	1556.88	175.81	-1.940
S2	H14	H1	155.51	21.68	-1556.88	-175.81	1401.37	154.14	10.176
S2	H1	H8	-45.27	28.52	-1401.37	-154.14	1446.64	125.61	-10.524
S2	H8	H5	14.52	20.06	-1446.64	-125.61	1432.12	105.55	-0.637
S2	H5	H2	14.41	19.64	-1432.12	-105.55	1417.71	85.92	-0.899
S2	H2	H15	-145.36	33.10	-1417.71	-85.92	1563.07	52.82	-6.336
S2	H15	H9	101.95	11.61	-1563.07	-52.82	1461.12	41.21	2.995
S2	O1	O3	394.18	6399.25	-1800.31	177.46	1406.13	-6576.71	-348.500

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
S1	H1	0.2702794	-0.9627819	-0.2702794	0.9627819	0.0528152
S1	H2	0.2244091	-0.9744950	-0.2244091	0.9744950	0.0551805
S1	H3	0.1658630	-0.9861488	-0.1658630	0.9861488	0.0571408
S1	H7	0.2991012	-0.9542214	-0.2991012	0.9542214	0.0513229

S1	H8	0.2531437	-0.9674287	-0.2531437	0.9674287	0.0524325
S1	H9	0.1976566	-0.9802713	-0.1976566	0.9802713	0.0552921
S1	H13	0.3918131	-0.9200448	-0.3918131	0.9200448	0.0465764
S1	H14	0.2904540	-0.9568890	-0.2904540	0.9568890	0.0612642
S1	H15	0.2148949	-0.9766372	-0.2148949	0.9766372	0.0466969
S1	O3	-0.9638746	-0.2663564	0.9638746	0.2663564	0.0422902
S1	O4	0.9810774	0.1936160	-0.9810774	-0.1936160	-0.0388500
O2	O3	-0.5227737	0.8524715	0.5227737	-0.8524715	-0.0006128
O2	O4	-0.2571807	0.9663633	0.2571807	-0.9663633	-0.0006635
O2	H1	-0.9145634	-0.4044427	0.9145634	0.4044427	-0.0007993
O2	H2	-0.9449766	-0.3271378	0.9449766	0.3271378	-0.0003693
O2	H3	-0.9648905	-0.2626524	0.9648905	0.2626524	-0.0016378
O2	H7	-0.9368684	-0.3496820	0.9368684	0.3496820	-0.0013965
O2	H8	-0.9625410	-0.2711363	0.9625410	0.2711363	-0.0020321
O2	H9	-0.9773659	-0.2115557	0.9773659	0.2115557	-0.0020764
O2	H13	-0.9920265	0.1260293	0.9920265	-0.1260293	-0.0051319
O2	H14	-0.9995608	0.0296351	0.9995608	-0.0296351	-0.0053006
O2	H15	-0.9999995	-0.0009663	0.9999995	0.0009663	-0.0047302
O1	O3	-0.1730230	0.9849178	0.1730230	-0.9849178	-0.0007245
O1	O4	0.1901225	0.9817604	-0.1901225	-0.9817604	-0.0007343
O1	H1	0.6478560	-0.7617629	-0.6478560	0.7617629	0.0015339
O1	H2	0.5355560	-0.8444997	-0.5355560	0.8444997	0.0015694
O1	H3	0.3387817	-0.9408650	-0.3387817	0.9408650	0.0016430
O1	H7	0.7328122	-0.6804310	-0.7328122	0.6804310	0.0012348
O1	H8	0.6418181	-0.7668569	-0.6418181	0.7668569	0.0007953
O1	H13	0.9302834	-0.3668416	-0.9302834	0.3668416	0.0035223
O1	H14	0.8314042	-0.5556681	-0.8314042	0.5556681	0.0087864
O1	H15	0.6488110	-0.7609496	-0.6488110	0.7609496	-0.0037073
S2	H1	0.1093324	-0.9940052	-0.1093324	0.9940052	0.0520498
S2	H2	0.0604924	-0.9981687	-0.0604924	0.9981687	0.0531962
S2	H3	0.0000000	-1.0000000	-0.0000000	1.0000000	0.0533400
S2	H4	0.1227333	-0.9924397	-0.1227333	0.9924397	0.0511844
S2	H7	0.1362216	-0.9906784	-0.1362216	0.9906784	0.0513337
S2	H8	0.0865063	-0.9962513	-0.0865063	0.9962513	0.0511427
S2	H9	0.0281902	-0.9996026	-0.0281902	0.9996026	0.0523414
S2	H13	0.2232864	-0.9747529	-0.2232864	0.9747529	0.0488759
S2	H14	0.1122146	-0.9936840	-0.1122146	0.9936840	0.0610993
S2	H15	0.0337715	-0.9994296	-0.0337715	0.9994296	0.0437907
S2	O3	-0.9778987	-0.2090790	0.9778987	0.2090790	0.0203898
S2	O4	0.9807966	0.1950335	-0.9807966	-0.1950335	-0.0201914
S2	S1	-0.9812106	-0.1929396	0.9812106	0.1929396	-0.0187810

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreža)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:
 Ref. std. odklon a-priori: 0.80
 Ref. std. odklon a-posteriori: 0.95
 Globalni test: 1.42
 Globalni test [SQRT]: 1.19
 Matrika R [DIAG]: 61.00
 Matrika R [POVPREČJE]: 0.65

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOCK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
O3	70.0081 0.0123 70.0204	238.1196 0.0106 238.1302	0.0004 0.0004	0.0002 0.0002	11.5
O4	111.2209	246.7633			

	0.0128	0.0060	0.0004	0.0004	
	111.2337	246.7693	0.0004	0.0003	29.6
O2	146.8830	112.7620			
	0.0021	0.0019	0.0003	0.0002	
	146.8851	112.7639	0.0003	0.0002	16.2
H1	115.9960	99.1030			
	-0.0001	0.0060	0.0002	0.0002	
	115.9959	99.1090	0.0002	0.0002	177.0
H2	108.7850	99.5730			
	-0.0002	0.0071	0.0002	0.0002	
	108.7848	99.5801	0.0002	0.0002	136.6
H3	100.0000	100.0000			
	-0.0011	0.0075	0.0002	0.0003	
	99.9989	100.0075	0.0003	0.0002	109.6
H4	117.7710	100.8330			
	-0.0006	0.0058	0.0002	0.0002	
	117.7704	100.8388	0.0002	0.0002	178.9
H5	110.5580	101.2830			
	-0.0008	0.0067	0.0002	0.0002	
	110.5572	101.2897	0.0002	0.0002	147.1
H6	102.0100	101.7620			
	-0.0032	0.0060	0.0002	0.0003	
	102.0068	101.7680	0.0003	0.0002	117.1
H7	119.5230	102.5500			
	-0.0006	0.0055	0.0002	0.0002	
	119.5224	102.5555	0.0002	0.0002	2.6
H8	112.2880	103.0170			
	-0.0007	0.0054	0.0002	0.0002	
	112.2873	103.0224	0.0002	0.0002	157.7
H9	103.9780	103.4750			
	-0.0017	0.0065	0.0005	0.0003	
	103.9763	103.4815	0.0005	0.0002	13.5
H13	129.6840	114.9470			
	-0.0029	0.0034	0.0004	0.0002	
	129.6811	114.9504	0.0004	0.0001	168.1
H14	114.7730	113.7140			
	-0.0030	0.0153	0.0003	0.0002	
	114.7700	113.7293	0.0003	0.0001	161.5
H15	104.4540	112.7210			
	-0.0027	-0.0020	0.0002	0.0002	
	104.4513	112.7190	0.0003	0.0001	137.8
O1	88.8150	131.0630			
	0.0025	0.0070	0.0002	0.0003	
	88.8175	131.0700	0.0003	0.0001	121.2
S1	76.4690	239.9050			
	-0.0151	-0.0529	0.0004	0.0002	
	76.4539	239.8521	0.0004	0.0002	10.7
S2	100.0000	244.5320			
	0.0029	-0.0459	0.0004	0.0002	
	100.0029	244.4861	0.0004	0.0002	3.6

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
O2	O3	S1	2 31 5.9	0.69	1.49	2 31 6.6	0.79
O2	O4	H1	261 3 0.1	-0.97	0.87	261 2 59.1	1.44
O2	H1	H4	1 34 29.1	0.41	0.46	1 34 29.5	1.62
O2	H4	H7	1 48 50.5	0.14	0.41	1 48 50.6	1.64

O2	H7	H2	1 22 20.4	0.25	0.54	1 22 20.6	1.60
O2	H2	H5	1 33 29.9	-0.09	0.46	1 33 29.8	1.62
O2	H5	H8	1 48 12.8	-0.29	0.45	1 48 12.5	1.63
O2	H8	H3	0 30 18.3	0.15	0.60	0 30 18.5	1.57
O2	H3	H6	1 27 11.0	-0.23	0.43	1 27 10.8	1.63
O2	H6	H9	1 33 37.9	0.12	0.34	1 33 38.0	1.65
O2	H9	H15	12 8 45.0	0.35	0.65	12 8 45.3	1.55
O2	H15	H14	1 46 56.8	0.25	0.83	1 46 57.1	1.47
O2	H14	H13	5 31 17.1	-0.76	0.70	5 31 16.3	1.53
O1	O3	S1	3 28 25.9	0.94	1.29	3 28 26.8	1.09
O1	S1	S2	12 6 59.7	-0.12	1.13	12 6 59.6	1.25
O1	S2	O4	5 19 57.3	-0.30	1.25	5 19 57.0	1.13
O1	O4	O2	96 31 57.7	-0.00	1.34	96 31 57.7	1.02
O1	O2	H13	4 1 49.2	-0.57	1.52	4 1 48.6	0.73
O1	H13	H14	12 13 16.8	1.49	1.18	12 13 18.3	1.21
O1	H14	H7	9 7 56.4	-1.03	0.87	9 7 55.4	1.44
O1	H7	H4	3 21 20.7	-0.24	0.66	3 21 20.5	1.55
O1	H4	H15	3 20 1.6	0.73	0.59	3 20 2.3	1.58
O1	H15	H1	0 3 9.3	-1.68	0.73	0 3 7.6	1.52
O1	H1	H8	0 27 14.9	1.12	0.83	0 27 16.0	1.46
O1	H8	H5	3 47 32.6	0.50	0.70	3 47 33.1	1.54
O1	H5	H2	3 45 4.5	0.07	0.69	3 45 4.6	1.54
O1	H2	H6	8 8 43.2	-1.05	0.50	8 8 42.1	1.61
O1	H6	H3	4 26 9.5	0.79	0.42	4 26 10.3	1.63
S1	H13	H7	5 39 55.1	0.02	1.54	5 39 55.1	0.69
S1	H7	H14	0 31 3.0	-0.63	1.59	0 31 2.4	0.56
S1	H4	H1	0 51 36.6	-1.31	1.62	0 51 35.3	0.45
S1	H8	H5	0 50 53.8	0.03	1.63	0 50 53.8	0.45
S1	H5	H2	0 50 52.3	-0.73	1.63	0 50 51.6	0.43
S1	H15	H9	1 0 32.1	1.26	1.47	1 0 33.4	0.83
S1	H9	H6	0 55 30.8	3.03	1.46	0 55 33.8	0.85
S1	H6	H3	0 55 41.2	-3.41	1.64	0 55 37.8	0.40
S1	H3	O1	3 4 22.0	0.45	1.65	3 4 22.4	0.36
S1	O1	O3	81 29 50.5	0.39	1.09	81 29 50.9	1.29
S1	O4	S2	0 6 58.2	-0.22	0.49	0 6 58.0	1.61
S2	H13	H7	5 4 25.4	0.11	1.51	5 4 25.5	0.75
S2	H7	H4	0 46 47.5	-0.57	1.60	0 46 46.9	0.52
S2	H4	H14	0 36 26.7	0.50	1.58	0 36 27.2	0.59
S2	H14	H1	0 9 48.0	7.97	1.56	0 9 56.0	0.63
S2	H1	H8	1 19 1.6	-7.95	1.62	1 18 53.7	0.45
S2	H8	H5	0 44 51.1	0.33	1.62	0 44 51.4	0.46
S2	H5	H2	0 44 50.9	-0.85	1.63	0 44 50.0	0.45
S2	H2	H15	1 32 4.2	0.37	1.62	1 32 4.6	0.45
S2	H15	H9	0 19 8.8	0.99	1.47	0 19 9.8	0.82
S2	O1	O3	72 23 55.6	-0.18	1.08	72 23 55.4	1.29

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
S1	H1	146.1921	0.0002	0.0011	146.1924	0.0003
S1	H2	143.9497	0.0000	0.0011	143.9497	0.0003
S1	H3	141.8129	-0.0001	0.0011	141.8129	0.0004
S1	H7	143.8933	-0.0000	0.0011	143.8932	0.0003
S1	H8	141.4443	-0.0003	0.0011	141.4440	0.0003
S1	H9	139.1205	-0.0003	0.0011	139.1202	0.0004
S1	H13	135.7707	-0.0004	0.0011	135.7703	0.0004
S1	H14	131.8151	-0.0005	0.0011	131.8146	0.0003
S1	H15	130.1798	-0.0003	0.0011	130.1794	0.0004
S1	O3	6.6608	-0.0010	0.0010	6.6598	0.0006
S1	O4	35.4610	-0.0001	0.0010	35.4610	0.0006
O2	O3	147.0526	0.0015	0.0011	147.0541	0.0003
O2	O4	138.6662	0.0006	0.0011	138.6668	0.0004
O2	H1	33.7732	-0.0004	0.0011	33.7728	0.0004
O2	H2	40.3167	0.0001	0.0011	40.3168	0.0004
O2	H3	48.5906	0.0001	0.0011	48.5906	0.0004
O2	H7	29.2051	-0.0001	0.0011	29.2050	0.0004
O2	H8	35.9434	-0.0002	0.0011	35.9431	0.0004
O2	H9	43.9007	0.0007	0.0010	43.9013	0.0006
O2	H13	17.3424	0.0000	0.0011	17.3424	0.0006
O2	H14	32.1294	0.0002	0.0011	32.1296	0.0005

O2	H15	42.4338	0.0002	0.0011	42.4339	0.0004
O1	O3	108.6967	0.0012	0.0011	108.6979	0.0004
O1	O4	117.8506	0.0003	0.0011	117.8509	0.0005
O1	H1	41.9538	0.0006	0.0011	41.9544	0.0004
O1	H2	37.2868	0.0000	0.0011	37.2868	0.0004
O1	H3	33.0137	-0.0000	0.0011	33.0137	0.0004
O1	H7	41.9031	0.0000	0.0011	41.9031	0.0004
O1	H8	36.5719	-0.0000	0.0011	36.5718	0.0004
O1	H13	43.9282	-0.0001	0.0011	43.9281	0.0005
O1	H14	31.2131	-0.0004	0.0011	31.2127	0.0005
O1	H15	24.1078	-0.0002	0.0011	24.1076	0.0004
S2	H1	146.2540	0.0002	0.0011	146.2542	0.0003
S2	H2	145.1718	0.0001	0.0011	145.1718	0.0003
S2	H3	144.4787	-0.0000	0.0011	144.4786	0.0004
S2	H4	144.7425	-0.0005	0.0011	144.7420	0.0003
S2	H7	143.2666	-0.0000	0.0012	143.2666	0.0003
S2	H8	141.9964	-0.0003	0.0011	141.9961	0.0003
S2	H9	141.0607	-0.0002	0.0011	141.0606	0.0004
S2	H13	132.8925	-0.0005	0.0011	132.8920	0.0004
S2	H14	131.5884	-0.0004	0.0011	131.5880	0.0003
S2	H15	131.8424	-0.0002	0.0011	131.8422	0.0003
S2	O3	30.6493	-0.0006	0.0010	30.6488	0.0006
S2	O4	11.4608	-0.0003	0.0010	11.4605	0.0007
S2	S1	24.0004	0.0002	0.0047	24.0006	0.0007

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0002 0.0002
 Max sdX, sdY: 0.0005 0.0004
 Avr sdX, sdY: 0.0003 0.0002

KOVARIANCA MARIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00039223
 Sled kovariančne matrike: 0.00000269
 Srednja varianca: 0.00027735
 Srednja standardna deviacija: 0.01665374
 Generalizirana varianca: 0.00004539
 Generalizirana standardna deviacija: 0.00673708
 Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000000
 Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000029
 Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.00157732

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000001
 Največja lastna vrednost: 0.000565
 Norma kovariančne matrike: 0.001990
 Norma matrike kriterija: 0.000565
 Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.001425
 Sled matrike kriterija: 0.004960

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 1.6329

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 94 x 666
 Velikost vektorja q: 666 x 1
 Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 94 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
O2	O3	S1	2 31 5.9	32581987	0.77	0.361357
O2	O4	H1	261 3 0.1	1521123	0.11	1.672411
O2	H1	H4	1 34 29.1	7437136	0.09	0.756349
O2	H4	H7	1 48 50.5	5465347	0.04	0.882300
O2	H7	H2	1 22 20.4	2009362	0.10	1.455111
O2	H2	H5	1 33 29.9	10533789	0.09	0.635525
O2	H5	H8	1 48 12.8	8850981	0.06	0.693313
O2	H8	H3	0 30 18.3	3114890	0.13	1.168702
O2	H3	H6	1 27 11.0	14259770	0.05	0.546222

O2	H6	H9	1 33 37.9	13076340	0.06	0.570403
O2	H9	H15	12 8 45.0	4601901	0.17	0.961516
O2	H15	H14	1 46 56.8	3456068	0.23	1.109517
O2	H14	H13	5 31 17.1	360832	0.11	3.433783
O1	O3	S1	3 28 25.9	19432141	0.57	0.467913
O1	S1	S2	12 6 59.7	6717445	0.39	0.795835
O1	S2	O4	5 19 57.3	24140356	0.52	0.419811
O1	O4	O2	96 31 57.7	4426197	0.29	0.980415
O1	O2	H13	4 1 49.2	5708285	0.70	0.863321
O1	H13	H14	12 13 16.8	2262045	0.34	1.371433
O1	H14	H7	9 7 56.4	552310	0.27	2.775452
O1	H7	H4	3 21 20.7	5958746	0.11	0.844982
O1	H4	H15	3 20 1.6	803373	0.14	2.301264
O1	H15	H1	0 3 9.3	1038150	0.26	2.024394
O1	H1	H8	0 27 14.9	2837225	0.08	1.224555
O1	H8	H5	3 47 32.6	1593580	0.18	1.633948
O1	H5	H2	3 45 4.5	3382569	0.24	1.121507
O1	H2	H6	8 8 43.2	1275981	0.01	1.826009
O1	H6	H3	4 26 9.5	2515451	0.07	1.300521
S1	H13	H7	5 39 55.1	2500871	0.79	1.304306
S1	H7	H14	0 31 3.0	30381320	0.80	0.374216
S1	H4	H1	0 51 36.6	126764429	0.79	0.183200
S1	H8	H5	0 50 53.8	75789801	0.86	0.236930
S1	H5	H2	0 50 52.3	87233922	0.86	0.220842
S1	H15	H9	1 0 32.1	4057386	0.70	1.024005
S1	H9	H6	0 55 30.8	121220400	0.74	0.187343
S1	H6	H3	0 55 41.2	78877497	0.94	0.232246
S1	H3	O1	3 4 22.0	33079882	0.95	0.358627
S1	O1	O3	81 29 50.5	92054	0.01	6.798349
S1	O4	S2	0 6 58.2	696476	0.09	2.471565
S2	H13	H7	5 4 25.4	51825651	0.71	0.286519
S2	H7	H4	0 46 47.5	77386997	0.89	0.234472
S2	H4	H14	0 36 26.7	25371916	0.95	0.409495
S2	H14	H1	0 9 48.0	34735756	0.82	0.349975
S2	H1	H8	1 19 1.6	23878999	0.91	0.422102
S2	H8	H5	0 44 51.1	47383986	0.93	0.299647
S2	H5	H2	0 44 50.9	10134336	0.94	0.647929
S2	H2	H15	1 32 4.2	42288894	0.90	0.317185
S2	H15	H9	0 19 8.8	45947347	0.59	0.304295
S2	O1	O3	72 23 55.6	1461680	0.19	1.706078

IZLOCENA OPAZOVANJA - HORIZONTALNI KOTI:

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi(opt)	ri	std_d
S1	H1	146.1921	989	0.92	0.000318
S1	H2	143.9497	929	0.92	0.000328
S1	H3	141.8129	961	0.90	0.000323
S1	H7	143.8933	427	0.93	0.000484
S1	H8	141.4443	386	0.92	0.000509
S1	H9	139.1205	663	0.91	0.000388
S1	H13	135.7707	1479	0.89	0.000260
S1	H14	131.8151	1133	0.92	0.000297
S1	H15	130.1798	1030	0.91	0.000312
S1	O3	6.6608	425	0.76	0.000485
S1	O4	35.4610	2892	0.70	0.000186
O2	O3	147.0526	2073	0.92	0.000220
O2	O4	138.6662	3000	0.87	0.000183
O2	H1	33.7732	526	0.91	0.000436
O2	H2	40.3167	892	0.90	0.000335
O2	H3	48.5906	1529	0.89	0.000256
O2	H7	29.2051	480	0.90	0.000457
O2	H8	35.9434	825	0.90	0.000348
O2	H9	43.9007	1178	0.75	0.000291
O2	H13	17.3424	1644	0.78	0.000247
O2	H14	32.1294	989	0.86	0.000318
O2	H15	42.4338	710	0.89	0.000375
O1	O3	108.6967	1780	0.90	0.000237
O1	O4	117.8506	3137	0.83	0.000179
O1	H1	41.9538	414	0.89	0.000492
O1	H2	37.2868	723	0.88	0.000372
O1	H3	33.0137	822	0.88	0.000349

O1	H7	41.9031	392	0.89	0.000505
O1	H8	36.5719	559	0.89	0.000423
O1	H13	43.9282	2291	0.79	0.000209
O1	H14	31.2131	1622	0.84	0.000248
O1	H15	24.1078	1194	0.88	0.000289
S2	H1	146.2540	1090	0.93	0.000303
S2	H2	145.1718	913	0.92	0.000331
S2	H3	144.4787	921	0.91	0.000329
S2	H4	144.7425	25	0.93	0.001990
S2	H7	143.2666	413	0.93	0.000492
S2	H8	141.9964	276	0.93	0.000602
S2	H9	141.0607	673	0.90	0.000386
S2	H13	132.8925	1401	0.91	0.000267
S2	H14	131.5884	918	0.92	0.000330
S2	H15	131.8424	821	0.92	0.000349
S2	O3	30.6493	3064	0.71	0.000181
S2	O4	11.4608	1449	0.67	0.000263
S2	S1	24.0004	1030	0.98	0.000312

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

PRILOGA E: PODATKI GEODETSKE MREŽE KASTE

E-1: MREŽA KASTE – VHODNI PODATKI

OPAZOVANJA IN KOORDINATE MOSTE (KASTE): STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

Približne koordinate točk:

```
# -----  
X P3      33175.0298  41030.3075  
X X       33213.7019  41065.9033  
X XI      33195.2762  41068.4340  
X PT2     33174.2267  41044.1623  
X T1      33229.8776  41038.7461  
X T2      33229.9348  41023.1540  
X T3      33221.9563  41014.2821  
X T4      33207.6049  41008.7314  
X T8      33146.6767  41036.9589  
X T9      33150.6886  41052.6379  
X T10     33154.6569  41064.3652  
X T11     33162.5754  41068.7114  
X T12     33148.3016  41032.7032  
X T13     33175.1244  41048.6453  
X T14     33181.2516  41047.3658  
X A       33141.4703  41080.2471  
X B       33144.2458  41083.1230  
X C       33147.4553  41085.2296  
X D       33151.9813  41086.7848  
X 1A     33140.2799  41082.6151  
X 1B     33144.8606  41086.3695  
X 2A     33138.3632  41089.0790  
X 2B     33142.5276  41094.8358  
X 2C     33150.4537  41097.8196
```

sestavljeni koti:

```
# -----  
A   P3   X   T1      33 52 35.7   1.4142  
A   P3  T1   T2      16 10  3.4   1.4142  
A   P3  T2   T3      11 26  0.5   1.4142  
A   P3  T3   T4      14 39 45.8   1.4142  
A   P3  T4  T12     151 34 37.2   1.4142  
A   P3 T12   T8       8  6 11.2   1.4142  
A   P3  T8   T9      29 20 18.0   1.4142  
A   P3  T9   A       13 34 21.4   1.4142  
A   P3   A   1A      0 17 51.6   1.4142  
A   P3  1A  2A      1 38 20.6   1.4142  
A   P3  2A  T10     1  4 53.1   1.4142  
A   P3 T10   B       0 38 37.5   1.4142  
A   P3   B   1B      1 56 54.3   1.4142  
A   P3  1B  2B      1 33  3.9   1.4142  
A   P3  2B   C       0  4 30.1   1.4142  
A   P3   C   D       4 27 21.6   1.4142  
A   P3   D   2C      2 12  3.4   1.4142  
A   P3  2C  T11     2  2 45.3   1.4142  
A   P3 T11  PT2     14 38 19.8   1.4142  
A   P3 PT2  T13     3 37 18.5   1.4142  
A   P3 T13  T14     19 44 41.4   1.4142  
A   P3 T14  XI      7 55 33.3   1.4142  
  
A   PT2   X  T14     4 20 41.2   1.4142  
A   PT2 T14  T1     30  3  7.6   1.4142  
A   PT2  T1  T2     15  6  8.4   1.4142  
A   PT2  T2  T3     11 23 12.7   1.4142  
A   PT2  T3  T4     14 39 36.9   1.4142  
A   PT2  T4  P3     39 58 58.9   1.4142  
A   PT2  P3 T12     69 26 14.6   1.4142  
A   PT2 T12  T8      9 12 18.7   1.4142  
A   PT2  T8  T9     34 27 34.7   1.4142  
A   PT2  T9 T10     26  8  2.0   1.4142  
A   PT2 T10  A      1 51  2.0   1.4142
```

A	PT2	A	1A	0	47	37.4	1.4142
A	PT2	1A	2A	2	49	58.1	1.4142
A	PT2	2A	B	1	1	23.8	1.4142
A	PT2	B	1B	2	45	17.5	1.4142
A	PT2	1B	C	1	43	18.8	1.4142
A	PT2	C	2B	1	4	32.5	1.4142
A	PT2	2B	D	4	27	36.5	1.4142
A	PT2	D	T11	2	11	31.9	1.4142
A	PT2	T11	2C	1	28	49.1	1.4142
A	PT2	2C	T13	35	14	51.0	1.4142
A	PT2	T13	XI	29	35	1.5	1.4142
A	XI	X	P3	110	9	24.1	1.4142
A	XI	P3	PT2	12	57	45.1	1.4142
A	X	P3	PT2	13	46	54.8	1.4142
A	X	PT2	XI	36	39	45.5	1.4142

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

#	-----						
D	P3	X	52.5645	0.0010			
D	P3	T1	55.5029	0.0010			
D	P3	T2	55.3769	0.0010			
D	P3	T3	49.5965	0.0010			
D	P3	T4	39.0825	0.0010			
D	P3	T12	26.8285	0.0010			
D	P3	T8	29.1096	0.0010			
D	P3	T9	33.0144	0.0010			
D	P3	A	60.1456	0.0010			
D	P3	1A	62.8236	0.0010			
D	P3	2A	69.2968	0.0010			
D	P3	T10	39.6737	0.0010			
D	P3	B	61.1092	0.0010			
D	P3	1B	63.6896	0.0010			
D	P3	2B	72.2780	0.0010			
D	P3	C	61.4322	0.0010			
D	P3	D	60.9794	0.0010			
D	P3	2C	71.8722	0.0010			
D	P3	T11	40.3663	0.0010			
D	P3	PT2	13.8775	0.0010			
D	P3	T13	18.3384	0.0010			
D	P3	T14	18.1577	0.0010			
D	P3	XI	43.1723	0.0010			
D	PT2	X	45.0703	0.0010			
D	PT2	T14	7.7240	0.0010			
D	PT2	T1	55.9224	0.0010			
D	PT2	T2	59.5438	0.0010			
D	PT2	T3	56.3188	0.0010			
D	PT2	T4	48.6854	0.0010			
D	PT2	P3	13.8778	0.0010			
D	PT2	T12	28.3456	0.0010			
D	PT2	T8	28.4664	0.0010			
D	PT2	T9	25.0016	0.0010			
D	PT2	T10	28.1142	0.0010			
D	PT2	A	48.7124	0.0010			
D	PT2	1A	51.3188	0.0010			
D	PT2	2A	57.5035	0.0010			
D	PT2	B	49.1383	0.0010			
D	PT2	1B	51.4441	0.0010			
D	PT2	C	49.0001	0.0010			
D	PT2	2B	59.7986	0.0010			
D	PT2	D	48.0594	0.0010			
D	PT2	T11	27.1668	0.0010			
D	PT2	2C	58.7168	0.0010			
D	PT2	T13	4.5737	0.0010			
D	PT2	XI	32.1324	0.0010			
D	XI	X	18.5967	0.0010			
D	XI	P3	43.1728	0.0010			
D	XI	PT2	32.1324	0.0010			
D	X	P3	52.5649	0.0010			
D	X	PT2	45.0703	0.0010			
D	X	XI	18.5967	0.0010			

*K

E-2: MREŽA KASTE – REZULTATI IZRAVNAVE IN 1. OPTIMIZACIJE

GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright

Datum in cas: 16-MAJ-2016 13:14:16.9
Ime vhodne datoteke: kaste.txt
Ime izhodne datoteke: kaste.GM3

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
P3	33175.0298	41030.3075
X	33213.7019	41065.9033
XI	33195.2762	41068.4340
PT2	33174.2267	41044.1623
T1	33229.8776	41038.7461
T2	33229.9348	41023.1540
T3	33221.9563	41014.2821
T4	33207.6049	41008.7314
T8	33146.6767	41036.9589
T9	33150.6886	41052.6379
T10	33154.6569	41064.3652
T11	33162.5754	41068.7114
T12	33148.3016	41032.7032
T13	33175.1244	41048.6453
T14	33181.2516	41047.3658
A	33141.4703	41080.2471
B	33144.2458	41083.1230
C	33147.4553	41085.2296
D	33151.9813	41086.7848
1A	33140.2799	41082.6151
1B	33144.8606	41086.3695
2A	33138.3632	41089.0790
2B	33142.5276	41094.8358
2C	33150.4537	41097.8196

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK [']
P3	X	T1	33 52 35.7	1.4142
P3	T1	T2	16 10 3.4	1.4142
P3	T2	T3	11 26 0.5	1.4142
P3	T3	T4	14 39 45.8	1.4142
P3	T4	T12	151 34 37.2	1.4142
P3	T12	T8	8 6 11.2	1.4142
P3	T8	T9	29 20 18.0	1.4142
P3	T9	A	13 34 21.4	1.4142
P3	A	1A	0 17 51.6	1.4142
P3	1A	2A	1 38 20.6	1.4142
P3	2A	T10	1 4 53.1	1.4142
P3	T10	B	0 38 37.5	1.4142
P3	B	1B	1 56 54.3	1.4142
P3	1B	2B	1 33 3.9	1.4142
P3	2B	C	0 4 30.1	1.4142
P3	C	D	4 27 21.6	1.4142
P3	D	2C	2 12 3.4	1.4142
P3	2C	T11	2 2 45.3	1.4142
P3	T11	PT2	14 38 19.8	1.4142
P3	PT2	T13	3 37 18.5	1.4142
P3	T13	T14	19 44 41.4	1.4142
P3	T14	XI	7 55 33.3	1.4142
PT2	X	T14	4 20 41.2	1.4142

PT2	T14	T1	30	3	7.6	1.4142
PT2	T1	T2	15	6	8.4	1.4142
PT2	T2	T3	11	23	12.7	1.4142
PT2	T3	T4	14	39	36.9	1.4142
PT2	T4	P3	39	58	58.9	1.4142
PT2	P3	T12	69	26	14.6	1.4142
PT2	T12	T8	9	12	18.7	1.4142
PT2	T8	T9	34	27	34.7	1.4142
PT2	T9	T10	26	8	2.0	1.4142
PT2	T10	A	1	51	2.0	1.4142
PT2	A	1A	0	47	37.4	1.4142
PT2	1A	2A	2	49	58.1	1.4142
PT2	2A	B	1	1	23.8	1.4142
PT2	B	1B	2	45	17.5	1.4142
PT2	1B	C	1	43	18.8	1.4142
PT2	C	2B	1	4	32.5	1.4142
PT2	2B	D	4	27	36.5	1.4142
PT2	D	T11	2	11	31.9	1.4142
PT2	T11	2C	1	28	49.1	1.4142
PT2	2C	T13	35	14	51.0	1.4142
PT2	T13	XI	29	35	1.5	1.4142
XI	X	P3	110	9	24.1	1.4142
XI	P3	PT2	12	57	45.1	1.4142
X	P3	PT2	13	46	54.8	1.4142
X	PT2	XI	36	39	45.5	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL [m]	SD [m]
P3	X	52.5645	0.0010
P3	T1	55.5029	0.0010
P3	T2	55.3769	0.0010
P3	T3	49.5965	0.0010
P3	T4	39.0825	0.0010
P3	T12	26.8285	0.0010
P3	T8	29.1096	0.0010
P3	T9	33.0144	0.0010
P3	A	60.1456	0.0010
P3	1A	62.8236	0.0010
P3	2A	69.2968	0.0010
P3	T10	39.6737	0.0010
P3	B	61.1092	0.0010
P3	1B	63.6896	0.0010
P3	2B	72.2780	0.0010
P3	C	61.4322	0.0010
P3	D	60.9794	0.0010
P3	2C	71.8722	0.0010
P3	T11	40.3663	0.0010
P3	PT2	13.8775	0.0010
P3	T13	18.3384	0.0010
P3	T14	18.1577	0.0010
P3	XI	43.1723	0.0010
PT2	X	45.0703	0.0010
PT2	T14	7.7240	0.0010
PT2	T1	55.9224	0.0010
PT2	T2	59.5438	0.0010
PT2	T3	56.3188	0.0010
PT2	T4	48.6854	0.0010
PT2	P3	13.8778	0.0010
PT2	T12	28.3456	0.0010
PT2	T8	28.4664	0.0010
PT2	T9	25.0016	0.0010
PT2	T10	28.1142	0.0010
PT2	A	48.7124	0.0010
PT2	1A	51.3188	0.0010
PT2	2A	57.5035	0.0010
PT2	B	49.1383	0.0010
PT2	1B	51.4441	0.0010
PT2	C	49.0001	0.0010
PT2	2B	59.7986	0.0010

PT2	D	48.0594	0.0010
PT2	T11	27.1668	0.0010
PT2	2C	58.7168	0.0010
PT2	T13	4.5737	0.0010
PT2	XI	32.1324	0.0010
XI	X	18.5967	0.0010
XI	P3	43.1728	0.0010
XI	PT2	32.1324	0.0010
X	P3	52.5649	0.0010
X	PT2	45.0703	0.0010
X	XI	18.5967	0.0010

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Stevilo vseh točk:	24
Stevilo vseh koordinat:	48
Stevilo vseh opazovanj:	100
# sestavljenih kotov:	48
# horizontalnih dolzin:	52
Stevilo vseh neznank:	48
Stevilo nadstevilnih opazovanj:	52

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
P3	X	T1	-2092.49	-786.32	2657.71	-2887.39	-565.22	3673.71	17.414
P3	T1	T2	-1046.51	-20.34	565.22	-3673.71	481.29	3694.05	7.973
P3	T2	T3	-862.99	-242.36	-481.29	-3694.05	1344.29	3936.41	-5.806
P3	T3	T4	-1570.82	-464.75	-1344.29	-3936.41	2915.11	4401.16	2.592
P3	T4	T12	3601.29	12056.78	-2915.11	-4401.16	-686.19	-7655.62	94.916
P3	T12	T8	931.41	-760.23	686.19	7655.62	-1617.60	-6895.38	-81.286
P3	T8	T9	2603.65	-2294.02	1617.60	6895.38	-4221.25	-4601.36	-27.777
P3	T9	A	-1375.89	-2689.27	4221.25	4601.36	-2845.36	-1912.09	-24.391
P3	A	1A	-109.51	-94.56	2845.36	1912.09	-2735.85	-1817.53	21.333
P3	1A	2A	-209.56	-241.41	2735.85	1817.53	-2526.29	-1576.11	-3.086
P3	2A	T10	1934.01	1091.99	2526.29	1576.11	-4460.31	-2668.10	-33.784
P3	T10	B	-1545.24	-969.03	4460.31	2668.10	-2915.06	-1699.07	26.762
P3	B	1B	-62.05	-163.75	2915.06	1699.07	-2853.01	-1535.32	4.605
P3	1B	2B	-303.36	-251.09	2853.01	1535.32	-2549.65	-1284.23	5.358
P3	2B	C	449.86	221.72	2549.65	1284.23	-2999.50	-1505.95	-2.832
P3	C	D	131.25	-228.28	2999.50	1505.95	-3130.75	-1277.67	11.467
P3	D	2C	-433.02	-295.62	3130.75	1277.67	-2697.74	-982.04	-11.703
P3	2C	T11	2162.08	594.00	2697.74	982.04	-4859.82	-1576.04	-39.742
P3	T11	PT2	9977.93	-715.97	4859.82	1576.04	-14837.75	-860.08	41.765
P3	PT2	T13	-3589.98	-918.10	14837.75	860.08	-11247.77	58.02	-31.570
P3	T13	T14	-575.75	-3834.46	11247.77	-58.02	-10672.02	3892.49	-5.763
P3	T14	XI	-6452.03	1651.53	10672.02	-3892.49	-4219.99	2240.95	18.077
PT2	X	T14	8876.55	-20298.06	2208.02	-4009.11	-11084.57	24307.16	-53.763
PT2	T14	T1	-11441.91	20635.53	11084.57	-24307.16	357.34	3671.63	74.297
PT2	T1	T2	-865.11	430.03	-357.34	-3671.63	1222.45	3241.60	3.759
PT2	T2	T3	-721.21	136.86	-1222.45	-3241.60	1943.66	3104.74	-4.264
PT2	T3	T4	-1140.66	199.11	-1943.66	-3104.74	3084.32	2905.63	2.325
PT2	T4	P3	-11753.43	2045.55	-3084.32	-2905.63	14837.75	860.08	-33.201
PT2	P3	T12	11895.82	7515.90	-14837.75	-860.08	2941.93	-6655.83	123.360
PT2	T12	T8	1109.61	352.01	-2941.93	6655.83	1832.31	-7007.84	-44.183
PT2	T8	T9	4625.54	749.40	-1832.31	7007.84	-2793.23	-7757.23	-13.734
PT2	T9	T10	2474.08	-2654.99	2793.23	7757.23	-5267.31	-5102.25	-89.533
PT2	T10	A	-2133.53	-2257.52	5267.31	5102.25	-3133.78	-2844.73	19.891
PT2	A	1A	-119.17	-183.37	3133.78	2844.73	-3014.61	-2661.35	-1.374
PT2	1A	2A	-210.26	-422.24	3014.61	2661.35	-2804.35	-2239.12	1.400
PT2	2A	B	520.81	319.65	2804.35	2239.12	-3325.16	-2558.77	11.798
PT2	B	1B	-32.25	-267.69	3325.16	2558.77	-3292.92	-2291.08	-16.761
PT2	1B	C	231.81	6.66	3292.92	2291.08	-3524.73	-2297.74	24.536
PT2	C	2B	-599.11	-467.60	3524.73	2297.74	-2925.62	-1830.14	-14.420
PT2	2B	D	877.71	154.88	2925.62	1830.14	-3803.33	-1985.02	26.363
PT2	D	T11	3054.12	1269.61	3803.33	1985.02	-6857.45	-3254.63	-75.465

PT2	T11	2C	-3644.10	-1830.95	6857.45	3254.63	-3213.35	-1423.68	48.312
PT2	2C	T13	41023.28	-10281.86	3213.35	1423.68	-44236.63	8858.18	-101.498
PT2	T13	XI	-39386.40	4651.84	44236.63	-8858.18	-4850.24	4206.34	93.912
XI	X	P3	-2710.95	13228.10	-1509.04	-10987.15	4219.99	-2240.95	-26.569
XI	P3	PT2	-630.24	1965.39	-4219.99	2240.95	4850.24	-4206.34	3.660
X	P3	PT2	449.69	1121.71	-2657.71	2887.39	2208.02	-4009.11	8.525
X	PT2	XI	3717.06	6978.04	-2208.02	4009.11	-1509.04	-10987.15	5.766

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
P3	X	0.7357654	0.6772365	-0.7357654	-0.6772365	-0.0041319
P3	T1	0.9883704	0.1520656	-0.9883704	-0.1520656	-0.0097370
P3	T2	0.9916190	-0.1291967	-0.9916190	0.1291967	-0.0078510
P3	T3	0.9463393	-0.3231749	-0.9463393	0.3231749	-0.0091039
P3	T4	0.8337078	-0.5522059	-0.8337078	0.5522059	-0.0099363
P3	T12	-0.9960071	0.0892740	0.9960071	-0.0892740	0.0068508
P3	T8	-0.9735694	0.2283912	0.9735694	-0.2283912	0.0132330
P3	T9	-0.7368882	0.6760147	0.7368882	-0.6760147	0.0180202
P3	A	-0.5035654	0.8300009	0.5035654	-0.8300009	0.0225285
P3	1A	-0.5533563	0.8329446	0.5533563	-0.8329446	-0.0251879
P3	2A	-0.5293179	0.8484236	0.5293179	-0.8484236	-0.0253862
P3	T10	-0.5133518	0.8581783	0.5133518	-0.8581783	0.0123427
P3	B	-0.5035654	0.8639571	0.5035654	-0.8639571	0.0228840
P3	1B	-0.4738803	0.8805893	0.4738803	-0.8805893	-0.0254148
P3	2B	-0.4498474	0.8931054	0.4498474	-0.8931054	-0.0263944
P3	C	-0.4486898	0.8936876	0.4486898	-0.8936876	0.0233947
P3	D	-0.3778484	0.9258675	0.3778484	-0.9258675	0.0199342
P3	2C	-0.3420657	0.9396760	0.3420657	-0.9396760	-0.0260565
P3	T11	-0.3084841	0.9512295	0.3084841	-0.9512295	0.0066069
P3	PT2	-0.0578683	0.9983242	0.0578683	-0.9983242	0.0005565
P3	T13	0.0051587	0.9999867	-0.0051587	-0.9999867	-0.0003560
P3	T14	0.3426565	0.9394608	-0.3426565	-0.9394608	-0.0001563
P3	XI	0.4690052	0.8831954	-0.4690052	-0.8831954	-0.0034835
PT2	X	0.8759380	0.4824236	-0.8759380	-0.4824236	-0.0040987
PT2	T14	0.9098601	0.4149151	-0.9098601	-0.4149151	-0.0031430
PT2	T1	0.9952973	-0.0968669	-0.9952973	0.0968669	-0.0085565
PT2	T2	0.9356773	-0.3528569	-0.9356773	0.3528569	-0.0060718
PT2	T3	0.8476054	-0.5306271	-0.8476054	0.5306271	-0.0076904
PT2	T4	0.6857075	-0.7278772	-0.6857075	0.7278772	-0.0083735
PT2	P3	0.0578683	-0.9983242	-0.0578683	0.9983242	0.0002565
PT2	T12	-0.9146367	-0.4042767	0.9146367	0.4042767	-0.0009042
PT2	T8	-0.9674761	-0.2529625	0.9674761	0.2529625	0.0097562
PT2	T9	-0.9408634	0.3387861	0.9408634	-0.3387861	0.0159528
PT2	T10	-0.6957629	0.7182715	0.6957629	-0.7182715	0.0129086
PT2	A	-0.6721338	0.7404297	0.6721338	-0.7404297	0.0225416
PT2	1A	-0.6618174	0.7496651	0.6618174	-0.7496651	-0.0254958
PT2	2A	-0.6239537	0.7814613	0.6239537	-0.7814613	-0.0256732
PT2	B	-0.6098530	0.7925146	0.6098530	-0.7925146	0.0225636
PT2	1B	-0.5711244	0.8208635	0.5711244	-0.8208635	-0.0260530
PT2	C	-0.5461014	0.8377191	0.5461014	-0.8377191	0.0226599
PT2	2B	-0.5303377	0.8477865	0.5303377	-0.8477865	-0.0270638
PT2	D	-0.4626898	0.8865202	0.4626898	-0.8865202	0.0190289
PT2	T11	-0.4287709	0.9034133	0.4287709	-0.9034133	0.0069208
PT2	2C	-0.4050755	0.9142833	0.4050755	-0.9142833	-0.0289702
PT2	T13	0.1963475	0.9805344	-0.1963475	-0.9805344	-0.0017032
PT2	XI	0.6551798	0.7554730	-0.6551798	-0.7554730	-0.0045792
XI	X	0.9906994	-0.1360688	-0.9906994	0.1360688	0.0019791
XI	P3	-0.4690052	-0.8831954	0.4690052	0.8831954	-0.0039835
XI	PT2	-0.6551798	-0.7554730	0.6551798	0.7554730	-0.0045792
X	P3	-0.7357654	-0.6772365	0.7357654	0.6772365	-0.0045319
X	PT2	-0.8759380	-0.4824236	0.8759380	0.4824236	-0.0040987
X	XI	-0.9906994	0.1360688	0.9906994	-0.1360688	0.0019791

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreža)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:
Ref. std. odklon a-priori: 0.72
Ref. std. odklon a-posteriori: 0.64
Globalni test: 0.78
Globalni test [SQRT]: 0.88
Matrika R [DIAG]: 55.00
Matrika R [POVPREČJE]: 0.55

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREŽE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOČK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
P3	33175.0298 -0.0061 33175.0237	41030.3075 -0.0005 41030.3070	0.0001 0.0001	0.0001 0.0001	136.9
X	33213.7019 0.0004 33213.7023	41065.9033 -0.0011 41065.9022	0.0003 0.0003	0.0002 0.0001	28.1
XI	33195.2762 0.0018 33195.2780	41068.4340 -0.0007 41068.4333	0.0002 0.0002	0.0002 0.0001	47.8
PT2	33174.2267 -0.0048 33174.2219	41044.1623 -0.0011 41044.1612	0.0001 0.0001	0.0001 0.0001	138.5
T1	33229.8776 0.0037 33229.8813	41038.7461 0.0005 41038.7466	0.0006 0.0006	0.0002 0.0002	179.0
T2	33229.9348 0.0021 33229.9369	41023.1540 0.0001 41023.1541	0.0005 0.0006	0.0002 0.0002	163.8
T3	33221.9563 0.0029 33221.9592	41014.2821 -0.0034 41014.2787	0.0005 0.0006	0.0003 0.0002	153.2
T4	33207.6049 0.0028 33207.6077	41008.7314 -0.0056 41008.7258	0.0004 0.0005	0.0004 0.0001	139.8
T8	33146.6767 0.0069 33146.6836	41036.9589 -0.0061 41036.9528	0.0003 0.0003	0.0001 0.0001	0.5
T9	33150.6886 0.0083 33150.6969	41052.6379 -0.0113 41052.6266	0.0003 0.0004	0.0002 0.0001	151.0
T10	33154.6569 0.0085 33154.6654	41064.3652 -0.0058 41064.3594	0.0003 0.0005	0.0004 0.0001	129.7
T11	33162.5754 0.0065 33162.5819	41068.7114 -0.0033 41068.7081	0.0002 0.0006	0.0005 0.0001	113.3
T12	33148.3016 0.0003 33148.3019	41032.7032 -0.0139 41032.6893	0.0003 0.0003	0.0001 0.0001	8.5
T13	33175.1244 -0.0019 33175.1225	41048.6453 -0.0006 41048.6447	0.0001 0.0004	0.0004 0.0001	82.4

T14	33181.2516	41047.3658				
	-0.0019	-0.0024	0.0001	0.0001		
	33181.2497	41047.3634	0.0001	0.0001	29.3	
A	33141.4703	41080.2471				
	0.0150	-0.0135	0.0004	0.0005		
	33141.4853	41080.2336	0.0006	0.0002	129.2	
B	33144.2458	41083.1230				
	0.0117	-0.0167	0.0004	0.0005		
	33144.2575	41083.1063	0.0006	0.0002	125.0	
C	33147.4553	41085.2296				
	0.0089	-0.0191	0.0003	0.0005		
	33147.4642	41085.2105	0.0006	0.0002	120.9	
D	33151.9813	41086.7848				
	0.0030	-0.0184	0.0003	0.0005		
	33151.9843	41086.7664	0.0006	0.0002	115.8	
1A	33140.2799	41082.6151				
	-0.0165	0.0227	0.0004	0.0005		
	33140.2634	41082.6378	0.0006	0.0002	128.6	
1B	33144.8606	41086.3695				
	-0.0130	0.0247	0.0003	0.0005		
	33144.8476	41086.3942	0.0006	0.0002	122.6	
2A	33138.3632	41089.0790				
	-0.0148	0.0237	0.0004	0.0005		
	33138.3484	41089.1027	0.0006	0.0002	126.3	
2B	33142.5276	41094.8358				
	-0.0137	0.0252	0.0003	0.0005		
	33142.5139	41094.8610	0.0006	0.0002	120.3	
2C	33150.4537	41097.8196				
	-0.0100	0.0269	0.0003	0.0006		
	33150.4437	41097.8465	0.0006	0.0002	112.7	

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
P3	X	T1	33 52 35.7	0.06	0.89	33 52 35.8	0.88
P3	T1	T2	16 10 3.4	-0.23	0.79	16 10 3.2	0.97
P3	T2	T3	11 26 0.5	-0.26	0.77	11 26 0.2	0.99
P3	T3	T4	14 39 45.8	0.04	0.72	14 39 45.8	1.02
P3	T4	T12	151 34 37.2	0.10	0.52	151 34 37.3	1.14
P3	T12	T8	8 6 11.2	-0.03	0.42	8 6 11.2	1.18
P3	T8	T9	29 20 18.0	0.38	0.51	29 20 18.4	1.14
P3	T9	A	13 34 21.4	-0.16	0.77	13 34 21.2	0.98
P3	A	1A	0 17 51.6	-0.05	0.94	0 17 51.6	0.83
P3	1A	2A	1 38 20.6	-0.79	0.94	1 38 19.8	0.82
P3	2A	T10	1 4 53.1	1.34	0.89	1 4 54.4	0.88
P3	T10	B	0 38 37.5	-0.27	0.89	0 38 37.2	0.88
P3	B	1B	1 56 54.3	-0.66	0.95	1 56 53.6	0.81
P3	1B	2B	1 33 3.9	-0.06	0.95	1 33 3.8	0.81
P3	2B	C	0 4 30.1	0.69	0.96	0 4 30.8	0.81
P3	C	D	4 27 21.6	-0.12	0.96	4 27 21.5	0.80
P3	D	2C	2 12 3.4	-0.92	0.97	2 12 2.5	0.80
P3	2C	T11	2 2 45.3	1.02	0.96	2 2 46.3	0.80
P3	T11	PT2	14 38 19.8	3.53	1.01	14 38 23.3	0.73
P3	PT2	T13	3 37 18.5	-3.17	0.91	3 37 15.3	0.86
P3	T13	T14	19 44 41.4	-0.30	0.48	19 44 41.1	1.16
P3	T14	XI	7 55 33.3	-0.99	0.68	7 55 32.3	1.05
PT2	X	T14	4 20 41.2	-0.06	0.62	4 20 41.1	1.09
PT2	T14	T1	30 3 7.6	-0.01	0.54	30 3 7.6	1.13
PT2	T1	T2	15 6 8.4	0.23	0.83	15 6 8.6	0.94
PT2	T2	T3	11 23 12.7	0.30	0.85	11 23 13.0	0.92
PT2	T3	T4	14 39 36.9	-0.01	0.86	14 39 36.9	0.91
PT2	T4	P3	39 58 58.9	-4.09	0.92	39 58 54.8	0.85
PT2	P3	T12	69 26 14.6	3.92	0.70	69 26 18.5	1.04
PT2	T12	T8	9 12 18.7	0.01	0.42	9 12 18.7	1.18

PT2	T8	T9	34	27	34.7	-0.36	0.43	34	27	34.3	1.17
PT2	T9	T10	26	8	2.0	-0.24	0.52	26	8	1.8	1.14
PT2	T10	A	1	51	2.0	0.36	0.68	1	51	2.4	1.05
PT2	A	1A	0	47	37.4	0.04	0.76	0	47	37.4	0.99
PT2	1A	2A	2	49	58.1	0.66	0.78	2	49	58.8	0.98
PT2	2A	B	1	1	23.8	-0.88	0.77	1	1	22.9	0.98
PT2	B	1B	2	45	17.5	0.52	0.77	2	45	18.0	0.99
PT2	1B	C	1	43	18.8	-0.50	0.77	1	43	18.3	0.99
PT2	C	2B	1	4	32.5	0.57	0.78	1	4	33.1	0.98
PT2	2B	D	4	27	36.5	-0.47	0.78	4	27	36.0	0.98
PT2	D	T11	2	11	31.9	-0.06	0.71	2	11	31.8	1.03
PT2	T11	2C	1	28	49.1	0.79	0.72	1	28	49.9	1.02
PT2	2C	T13	35	14	51.0	-0.83	0.55	35	14	50.2	1.12
PT2	T13	XI	29	35	1.5	0.55	0.62	29	35	2.1	1.09
XI	X	P3	110	9	24.1	0.65	0.92	110	9	24.8	0.85
XI	P3	PT2	12	57	45.1	0.34	1.18	12	57	45.4	0.43
X	P3	PT2	13	46	54.8	1.15	1.18	13	46	55.9	0.42
X	PT2	XI	36	39	45.5	0.55	0.93	36	39	46.1	0.84

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
P3	X	52.5645	0.0003	0.0008	52.5648	0.0003
P3	T1	55.5029	0.0001	0.0007	55.5030	0.0006
P3	T2	55.3769	0.0002	0.0007	55.3771	0.0006
P3	T3	49.5965	0.0003	0.0007	49.5968	0.0006
P3	T4	39.0825	0.0003	0.0007	39.0828	0.0006
P3	T12	26.8285	-0.0007	0.0008	26.8278	0.0003
P3	T8	29.1096	-0.0007	0.0008	29.1089	0.0003
P3	T9	33.0144	0.0001	0.0008	33.0145	0.0004
P3	A	60.1456	-0.0000	0.0006	60.1456	0.0006
P3	1A	62.8236	-0.0001	0.0006	62.8235	0.0006
P3	2A	69.2968	-0.0002	0.0006	69.2966	0.0006
P3	T10	39.6737	0.0003	0.0007	39.6740	0.0005
P3	B	61.1092	-0.0001	0.0006	61.1091	0.0006
P3	1B	63.6896	0.0000	0.0006	63.6896	0.0006
P3	2B	72.2780	-0.0000	0.0006	72.2780	0.0006
P3	C	61.4322	0.0000	0.0006	61.4322	0.0006
P3	D	60.9794	-0.0001	0.0006	60.9793	0.0006
P3	2C	71.8722	0.0011	0.0006	71.8733	0.0006
P3	T11	40.3663	0.0000	0.0007	40.3663	0.0006
P3	PT2	13.8775	-0.0001	0.0009	13.8774	0.0001
P3	T13	18.3384	-0.0004	0.0008	18.3380	0.0004
P3	T14	18.1577	-0.0005	0.0009	18.1572	0.0002
P3	XI	43.1723	0.0001	0.0008	43.1724	0.0003
PT2	X	45.0703	0.0005	0.0008	45.0708	0.0003
PT2	T14	7.7240	-0.0010	0.0009	7.7230	0.0001
PT2	T1	55.9224	-0.0002	0.0007	55.9222	0.0006
PT2	T2	59.5438	-0.0001	0.0007	59.5437	0.0006
PT2	T3	56.3188	0.0001	0.0007	56.3189	0.0006
PT2	T4	48.6854	0.0001	0.0007	48.6855	0.0006
PT2	P3	13.8778	-0.0004	0.0009	13.8774	0.0001
PT2	T12	28.3456	-0.0003	0.0008	28.3453	0.0003
PT2	T8	28.4664	-0.0003	0.0008	28.4661	0.0003
PT2	T9	25.0016	0.0001	0.0008	25.0017	0.0004
PT2	T10	28.1142	0.0002	0.0007	28.1144	0.0005
PT2	A	48.7124	0.0000	0.0006	48.7124	0.0006
PT2	1A	51.3188	0.0001	0.0006	51.3189	0.0006
PT2	2A	57.5035	-0.0001	0.0006	57.5034	0.0006
PT2	B	49.1383	0.0001	0.0006	49.1384	0.0006
PT2	1B	51.4441	-0.0002	0.0006	51.4439	0.0006
PT2	C	49.0001	0.0000	0.0006	49.0001	0.0006
PT2	2B	59.7986	-0.0001	0.0006	59.7985	0.0006
PT2	D	48.0594	0.0001	0.0006	48.0595	0.0006
PT2	T11	27.1668	0.0000	0.0007	27.1668	0.0006
PT2	2C	58.7168	-0.0013	0.0006	58.7155	0.0006
PT2	T13	4.5737	-0.0006	0.0008	4.5731	0.0004
PT2	XI	32.1324	0.0000	0.0008	32.1324	0.0003
XI	X	18.5967	0.0007	0.0009	18.5974	0.0002
XI	P3	43.1728	-0.0004	0.0008	43.1724	0.0003

XI	PT2	32.1324	0.0000	0.0008	32.1324	0.0003
X	P3	52.5649	-0.0001	0.0008	52.5648	0.0003
X	PT2	45.0703	0.0005	0.0008	45.0708	0.0003
X	XI	18.5967	0.0007	0.0009	18.5974	0.0002

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0001 0.0001
 Max sdX, sdY: 0.0006 0.0006
 Avr sdX, sdY: 0.0003 0.0003

KOVARIANCA MARIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00051918
 Sled kovariančne matrike: 0.00000620
 Srednja varianca: 0.00036711
 Srednja standardna deviacija: 0.01916019
 Generalizirana varianca: 0.00000000
 Generalizirana standardna deviacija: 0.00000000
 Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000000
 Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000039
 Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.00046906

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000024
 Največja lastna vrednost: 0.003426
 Norma kovariančne matrike: 0.000566
 Norma matrike kriterija: 0.003426
 Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.002860
 Sled matrike kriterija: 0.014375

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 1.7669

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 100 x 1176
 Velikost vektorja q: 1176 x 1
 Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 100 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
P3	X	T1	33 52 35.7	8315802	0.59	0.715275
P3	T1	T2	16 10 3.4	8010838	0.40	0.728763
P3	T2	T3	11 26 0.5	2303749	0.39	1.358963
P3	T3	T4	14 39 45.8	4922487	0.34	0.929679
P3	T12	T8	8 6 11.2	2676052	0.10	1.260892
P3	T8	T9	29 20 18.0	943093	0.12	2.123968
P3	T9	A	13 34 21.4	4844078	0.31	0.937173
P3	A	1A	0 17 51.6	8025008	0.57	0.728119
P3	1A	2A	1 38 20.6	5253315	0.58	0.899929
P3	2A	T10	1 4 53.1	3868289	0.49	1.048735
P3	T10	B	0 38 37.5	3962769	0.53	1.036157
P3	B	1B	1 56 54.3	381945	0.58	3.337526
P3	1B	2B	1 33 3.9	13814903	0.59	0.554947
P3	2B	C	0 4 30.1	5376372	0.58	0.889571
P3	C	D	4 27 21.6	9502143	0.59	0.669136
P3	D	2C	2 12 3.4	16936959	0.60	0.501196
P3	2C	T11	2 2 45.3	2785726	0.57	1.235822
P3	T13	T14	19 44 41.4	1464683	0.05	1.704329
P3	T14	XI	7 55 33.3	767585	0.57	2.354300
PT2	X	T14	4 20 41.2	347614	0.49	3.498456
PT2	T1	T2	15 6 8.4	5325701	0.42	0.893793
PT2	T2	T3	11 23 12.7	10070574	0.46	0.649977
PT2	T3	T4	14 39 36.9	8636219	0.47	0.701881
PT2	T4	P3	39 58 58.9	132693	0.52	5.662407
PT2	T12	T8	9 12 18.7	3121906	0.11	1.167388
PT2	T8	T9	34 27 34.7	995134	0.11	2.067685
PT2	T9	T10	26 8 2.0	1479389	0.14	1.695836
PT2	T10	A	1 51 2.0	2898098	0.30	1.211626
PT2	A	1A	0 47 37.4	16733016	0.38	0.504241
PT2	1A	2A	2 49 58.1	9541982	0.39	0.667738

PT2	2A	B	1	1	23.8	12289864	0.38	0.588371
PT2	B	1B	2	45	17.5	13613040	0.38	0.559046
PT2	1B	C	1	43	18.8	14624409	0.37	0.539369
PT2	C	2B	1	4	32.5	6722246	0.40	0.795551
PT2	2B	D	4	27	36.5	6966447	0.37	0.781483
PT2	D	T11	2	11	31.9	2181965	0.28	1.396372
PT2	T11	2C	1	28	49.1	3475912	0.38	1.106345
PT2	T13	XI	29	35	1.5	290870	0.46	3.824511
XI	X	P3	110	9	24.1	995402	0.40	2.067407
X	PT2	XI	36	39	45.5	584169	0.43	2.698708

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNI KOTI:

P3	T4	T12	151	34	37.2	-430512	0.05
P3	T11	PT2	14	38	19.8	-1353949	0.56
P3	PT2	T13	3	37	18.5	-312816	0.39
PT2	T14	T1	30	3	7.6	-249277	0.05
PT2	P3	T12	69	26	14.6	-83757	0.13
PT2	2C	T13	35	14	51.0	-214717	0.03
XI	P3	PT2	12	57	45.1	-1779126	0.86
X	P3	PT2	13	46	54.8	-7794214	0.88

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ – HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi(opt)	ri	std_d
P3	X	52.5645	564	0.87	0.000421
P3	T1	55.5029	2538	0.58	0.000199
P3	T2	55.3769	2040	0.56	0.000221
P3	T3	49.5965	1457	0.57	0.000262
P3	T4	39.0825	1013	0.60	0.000314
P3	T12	26.8285	1690	0.86	0.000243
P3	T8	29.1096	1314	0.84	0.000276
P3	T9	33.0144	552	0.80	0.000426
P3	A	60.1456	1625	0.53	0.000248
P3	1A	62.8236	1505	0.52	0.000258
P3	2A	69.2968	1034	0.51	0.000311
P3	T10	39.6737	911	0.64	0.000331
P3	B	61.1092	1600	0.52	0.000250
P3	1B	63.6896	1723	0.52	0.000241
P3	2B	72.2780	1279	0.51	0.000280
P3	C	61.4322	1809	0.52	0.000235
P3	D	60.9794	1404	0.51	0.000267
P3	2C	71.8722	1580	0.50	0.000252
P3	T11	40.3663	1459	0.56	0.000262
P3	T13	18.3384	1359	0.81	0.000271
P3	T14	18.1577	2799	0.97	0.000189
P3	XI	43.1723	432	0.91	0.000481
PT2	X	45.0703	312	0.87	0.000566
PT2	T14	7.7240	1236	0.98	0.000284
PT2	T1	55.9224	1640	0.58	0.000247
PT2	T2	59.5438	1324	0.56	0.000275
PT2	T3	56.3188	1020	0.57	0.000313
PT2	T4	48.6854	1302	0.59	0.000277
PT2	T12	28.3456	2837	0.86	0.000188
PT2	T8	28.4664	2724	0.85	0.000192
PT2	T9	25.0016	1554	0.81	0.000254
PT2	T10	28.1142	909	0.65	0.000332
PT2	A	48.7124	1911	0.53	0.000229
PT2	1A	51.3188	1796	0.53	0.000236
PT2	2A	57.5035	1299	0.51	0.000277
PT2	B	49.1383	1888	0.52	0.000230
PT2	1B	51.4441	1891	0.52	0.000230
PT2	C	49.0001	1956	0.52	0.000226
PT2	2B	59.7986	1490	0.51	0.000259
PT2	D	48.0594	1477	0.51	0.000260
PT2	T11	27.1668	1650	0.56	0.000246
PT2	2C	58.7168	1862	0.50	0.000232
PT2	T13	4.5737	4058	0.82	0.000157
PT2	XI	32.1324	592	0.92	0.000411
XI	X	18.5967	2569	0.94	0.000197
XI	P3	43.1728	432	0.91	0.000481
XI	PT2	32.1324	592	0.92	0.000411
X	P3	52.5649	564	0.87	0.000421
X	PT2	45.0703	312	0.87	0.000566

X	XI	18.5967	2569	0.94	0.000197
---	----	---------	------	------	----------

 IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

P3	PT2	13.8775	-2041	0.99
PT2	P3	13.8778	-2041	0.99

E-3: MREŽA KASTE – VHODNI PODATKI ZA IZRAVNAVO (4) IN 4. OPTIMIZACIJO

OPAZOVANJA IN KOORDINATE MOSTE (KASTE): STOPINJE (dms)

#GEODETSKI DATUM: PROSTA MREZA

*H

PRIBLIZNE KOORDINATE TOCK:

#	-----		
X P3	33175.0298	41030.3075	
X X	33213.7019	41065.9033	
X XI	33195.2762	41068.4340	
X PT2	33174.2267	41044.1623	
X T1	33229.8776	41038.7461	
X T2	33229.9348	41023.1540	
X T3	33221.9563	41014.2821	
X T4	33207.6049	41008.7314	
X T8	33146.6767	41036.9589	
X T9	33150.6886	41052.6379	
X T10	33154.6569	41064.3652	
X T11	33162.5754	41068.7114	
X T12	33148.3016	41032.7032	
X T13	33175.1244	41048.6453	
X T14	33181.2516	41047.3658	
X A	33141.4703	41080.2471	
X B	33144.2458	41083.1230	
X C	33147.4553	41085.2296	
X D	33151.9813	41086.7848	
X 1A	33140.2799	41082.6151	
X 1B	33144.8606	41086.3695	
X 2A	33138.3632	41089.0790	
X 2B	33142.5276	41094.8358	
X 2C	33150.4537	41097.8196	

SESTAVLJENI KOTI:

#	-----				
A	P3	X	T1	33 52 35.7	1.4142
A	P3	T1	T2	16 10 3.4	1.4142
A	P3	T2	T3	11 26 0.5	1.4142
A	P3	T3	T4	14 39 45.8	1.4142
A	P3	T12	T8	8 6 11.2	1.4142
A	P3	T8	T9	29 20 18.0	1.4142
A	P3	T9	A	13 34 21.4	1.4142
A	P3	A	1A	0 17 51.6	1.4142
A	P3	1A	2A	1 38 20.6	1.4142
A	P3	2A	T10	1 4 53.1	1.4142
A	P3	T10	B	0 38 37.5	1.4142
A	P3	1B	2B	1 33 3.9	1.4142
A	P3	2B	C	0 4 30.1	1.4142
A	P3	C	D	4 27 21.6	1.4142
A	P3	D	2C	2 12 3.4	1.4142
A	P3	2C	T11	2 2 45.3	1.4142
A	P3	T13	T14	19 44 41.4	1.4142
A	P3	T14	XI	7 55 33.3	1.4142
A	PT2	X	T14	4 20 41.2	1.4142
A	PT2	T1	T2	15 6 8.4	1.4142
A	PT2	T2	T3	11 23 12.7	1.4142
A	PT2	T3	T4	14 39 36.9	1.4142
A	PT2	T12	T8	9 12 18.7	1.4142
A	PT2	T8	T9	34 27 34.7	1.4142
A	PT2	T9	T10	26 8 2.0	1.4142
A	PT2	T10	A	1 51 2.0	1.4142
A	PT2	A	1A	0 47 37.4	1.4142
A	PT2	1A	2A	2 49 58.1	1.4142
A	PT2	2A	B	1 1 23.8	1.4142
A	PT2	B	1B	2 45 17.5	1.4142
A	PT2	1B	C	1 43 18.8	1.4142

A	PT2	C	2B	1	4	32.5	1.4142
A	PT2	2B	D	4	27	36.5	1.4142
A	PT2	D	T11	2	11	31.9	1.4142
A	PT2	T11	2C	1	28	49.1	1.4142
A	PT2	T13	XI	29	35	1.5	1.4142
A	XI	X	P3	110	9	24.1	1.4142
A	X	PT2	XI	36	39	45.5	1.4142

OPAZOVANE HORIZONTALNE DOLZINE:

#	-----				
D	P3	X	52.5645	0.0010	
D	P3	T1	55.5029	0.0010	
D	P3	T2	55.3769	0.0010	
D	P3	T3	49.5965	0.0010	
D	P3	T4	39.0825	0.0010	
D	P3	T12	26.8285	0.0010	
D	P3	T8	29.1096	0.0010	
D	P3	T9	33.0144	0.0010	
D	P3	A	60.1456	0.0010	
D	P3	1A	62.8236	0.0010	
D	P3	2A	69.2968	0.0010	
D	P3	T10	39.6737	0.0010	
D	P3	B	61.1092	0.0010	
D	P3	1B	63.6896	0.0010	
D	P3	2B	72.2780	0.0010	
D	P3	C	61.4322	0.0010	
D	P3	D	60.9794	0.0010	
D	P3	2C	71.8722	0.0010	
D	P3	T11	40.3663	0.0010	
D	P3	T13	18.3384	0.0010	
D	P3	T14	18.1577	0.0010	
D	P3	XI	43.1723	0.0010	
D	PT2	T14	7.7240	0.0010	
D	PT2	T1	55.9224	0.0010	
D	PT2	T2	59.5438	0.0010	
D	PT2	T3	56.3188	0.0010	
D	PT2	T4	48.6854	0.0010	
D	PT2	T12	28.3456	0.0010	
D	PT2	T8	28.4664	0.0010	
D	PT2	T9	25.0016	0.0010	
D	PT2	T10	28.1142	0.0010	
D	PT2	A	48.7124	0.0010	
D	PT2	1A	51.3188	0.0010	
D	PT2	2A	57.5035	0.0010	
D	PT2	B	49.1383	0.0010	
D	PT2	1B	51.4441	0.0010	
D	PT2	C	49.0001	0.0010	
D	PT2	2B	59.7986	0.0010	
D	PT2	D	48.0594	0.0010	
D	PT2	T11	27.1668	0.0010	
D	PT2	2C	58.7168	0.0010	
D	PT2	T13	4.5737	0.0010	
D	PT2	XI	32.1324	0.0010	
D	XI	X	18.5967	0.0010	
D	XI	P3	43.1728	0.0010	
D	XI	PT2	32.1324	0.0010	
D	X	P3	52.5649	0.0010	
D	X	XI	18.5967	0.0010	

*K

E-4: MREŽA KASTE – REZULTATI IZRAVNAVE (4) IN 4. OPTIMIZACIJE

GM2R - GEODETSKA 2D MREZA
Opazovanja: Hz smeri, Hz dolzine
Avtor: Oskar Sterle (c) Copyright

Datum in cas: 16-MAJ-2016 13:24:00.7
Ime vhodne datoteke: kaste4.txt
Ime izhodne datoteke: kaste4.GM3

BRANJE DATOTEKE S PODATKI:

DANE IN A-PRIORI KOORDINATE TOCK

TC	X	Y
P3	33175.0298	41030.3075
X	33213.7019	41065.9033
XI	33195.2762	41068.4340
PT2	33174.2267	41044.1623
T1	33229.8776	41038.7461
T2	33229.9348	41023.1540
T3	33221.9563	41014.2821
T4	33207.6049	41008.7314
T8	33146.6767	41036.9589
T9	33150.6886	41052.6379
T10	33154.6569	41064.3652
T11	33162.5754	41068.7114
T12	33148.3016	41032.7032
T13	33175.1244	41048.6453
T14	33181.2516	41047.3658
A	33141.4703	41080.2471
B	33144.2458	41083.1230
C	33147.4553	41085.2296
D	33151.9813	41086.7848
1A	33140.2799	41082.6151
1B	33144.8606	41086.3695
2A	33138.3632	41089.0790
2B	33142.5276	41094.8358
2C	33150.4537	41097.8196

SESTAVLJENI KOTI:

S	Z1	Z2	KOT [DMS]	KK ['']
P3	X	T1	33 52 35.7	1.4142
P3	T1	T2	16 10 3.4	1.4142
P3	T2	T3	11 26 0.5	1.4142
P3	T3	T4	14 39 45.8	1.4142
P3	T12	T8	8 6 11.2	1.4142
P3	T8	T9	29 20 18.0	1.4142
P3	T9	A	13 34 21.4	1.4142
P3	A	1A	0 17 51.6	1.4142
P3	1A	2A	1 38 20.6	1.4142
P3	2A	T10	1 4 53.1	1.4142
P3	T10	B	0 38 37.5	1.4142
P3	1B	2B	1 33 3.9	1.4142
P3	2B	C	0 4 30.1	1.4142
P3	C	D	4 27 21.6	1.4142
P3	D	2C	2 12 3.4	1.4142
P3	2C	T11	2 2 45.3	1.4142
P3	T13	T14	19 44 41.4	1.4142
P3	T14	XI	7 55 33.3	1.4142
PT2	X	T14	4 20 41.2	1.4142
PT2	T1	T2	15 6 8.4	1.4142
PT2	T2	T3	11 23 12.7	1.4142
PT2	T3	T4	14 39 36.9	1.4142
PT2	T12	T8	9 12 18.7	1.4142
PT2	T8	T9	34 27 34.7	1.4142
PT2	T9	T10	26 8 2.0	1.4142
PT2	T10	A	1 51 2.0	1.4142
PT2	A	1A	0 47 37.4	1.4142
PT2	1A	2A	2 49 58.1	1.4142
PT2	2A	B	1 1 23.8	1.4142
PT2	B	1B	2 45 17.5	1.4142
PT2	1B	C	1 43 18.8	1.4142
PT2	C	2B	1 4 32.5	1.4142
PT2	2B	D	4 27 36.5	1.4142
PT2	D	T11	2 11 31.9	1.4142
PT2	T11	2C	1 28 49.1	1.4142
PT2	T13	XI	29 35 1.5	1.4142

XI	X	P3	110 9 24.1	1.4142
X	PT2	XI	36 39 45.5	1.4142

HORIZONTALNE DOLZINE:

TCDZ	TCDS	DOL[m]	SD[m]
P3	X	52.5645	0.0010
P3	T1	55.5029	0.0010
P3	T2	55.3769	0.0010
P3	T3	49.5965	0.0010
P3	T4	39.0825	0.0010
P3	T12	26.8285	0.0010
P3	T8	29.1096	0.0010
P3	T9	33.0144	0.0010
P3	A	60.1456	0.0010
P3	1A	62.8236	0.0010
P3	2A	69.2968	0.0010
P3	T10	39.6737	0.0010
P3	B	61.1092	0.0010
P3	1B	63.6896	0.0010
P3	2B	72.2780	0.0010
P3	C	61.4322	0.0010
P3	D	60.9794	0.0010
P3	2C	71.8722	0.0010
P3	T11	40.3663	0.0010
P3	T13	18.3384	0.0010
P3	T14	18.1577	0.0010
P3	XI	43.1723	0.0010
PT2	T14	7.7240	0.0010
PT2	T1	55.9224	0.0010
PT2	T2	59.5438	0.0010
PT2	T3	56.3188	0.0010
PT2	T4	48.6854	0.0010
PT2	T12	28.3456	0.0010
PT2	T8	28.4664	0.0010
PT2	T9	25.0016	0.0010
PT2	T10	28.1142	0.0010
PT2	A	48.7124	0.0010
PT2	1A	51.3188	0.0010
PT2	2A	57.5035	0.0010
PT2	B	49.1383	0.0010
PT2	1B	51.4441	0.0010
PT2	C	49.0001	0.0010
PT2	2B	59.7986	0.0010
PT2	D	48.0594	0.0010
PT2	T11	27.1668	0.0010
PT2	2C	58.7168	0.0010
PT2	T13	4.5737	0.0010
PT2	XI	32.1324	0.0010
XI	X	18.5967	0.0010
XI	P3	43.1728	0.0010
XI	PT2	32.1324	0.0010
X	P3	52.5649	0.0010
X	XI	18.5967	0.0010

POVZETEK BRANJA PODATKOV IN OPAZOVANJ:

Število vseh točk:	24
Število vseh koordinat:	48
Število vseh opazovanj:	86
# sestavljenih kotov:	38
# horizontalnih dolzin:	48
Število vseh neznank:	48
Število nadstevilnih opazovanj:	38

SESTAVLJAM GMM MODEL - ENACBE POPRAVKOV:

ENACBE POPRAVKOV - KOTI:

Z	S1	S2	CZX	CZY	CS1X	CS1Y	CS2X	CS2Y	f
P3	X	T1	-2092.49	-786.32	2657.71	-2887.39	-565.22	3673.71	17.414
P3	T1	T2	-1046.51	-20.34	565.22	-3673.71	481.29	3694.05	7.973
P3	T2	T3	-862.99	-242.36	-481.29	-3694.05	1344.29	3936.41	-5.806
P3	T3	T4	-1570.82	-464.75	-1344.29	-3936.41	2915.11	4401.16	2.592
P3	T12	T8	931.41	-760.23	686.19	7655.62	-1617.60	-6895.38	-81.286
P3	T8	T9	2603.65	-2294.02	1617.60	6895.38	-4221.25	-4601.36	-27.777
P3	T9	A	-1375.89	-2689.27	4221.25	4601.36	-2845.36	-1912.09	-24.391
P3	A	1A	-109.51	-94.56	2845.36	1912.09	-2735.85	-1817.53	21.333
P3	1A	2A	-209.56	-241.41	2735.85	1817.53	-2526.29	-1576.11	-3.086
P3	2A	T10	1934.01	1091.99	2526.29	1576.11	-4460.31	-2668.10	-33.784
P3	T10	B	-1545.24	-969.03	4460.31	2668.10	-2915.06	-1699.07	26.762
P3	1B	2B	-303.36	-251.09	2853.01	1535.32	-2549.65	-1284.23	5.358
P3	2B	C	449.86	221.72	2549.65	1284.23	-2999.50	-1505.95	-2.832
P3	C	D	131.25	-228.28	2999.50	1505.95	-3130.75	-1277.67	11.467
P3	D	2C	-433.02	-295.62	3130.75	1277.67	-2697.74	-982.04	-11.703
P3	2C	T11	2162.08	594.00	2697.74	982.04	-4859.82	-1576.04	-39.742
P3	T13	T14	-575.75	-3834.46	11247.77	-58.02	-10672.02	3892.49	-5.763
P3	T14	XI	-6452.03	1651.53	10672.02	-3892.49	-4219.99	2240.95	18.077
PT2	X	T14	8876.55	-20298.06	2208.02	-4009.11	-11084.57	24307.16	-53.763
PT2	T1	T2	-865.11	430.03	-357.34	-3671.63	1222.45	3241.60	3.759
PT2	T2	T3	-721.21	136.86	-1222.45	-3241.60	1943.66	3104.74	-4.264
PT2	T3	T4	-1140.66	199.11	-1943.66	-3104.74	3084.32	2905.63	2.325
PT2	T12	T8	1109.61	352.01	-2941.93	6655.83	1832.31	-7007.84	-44.183
PT2	T8	T9	4625.54	749.40	-1832.31	7007.84	-2793.23	-7757.23	-13.734
PT2	T9	T10	2474.08	-2654.99	2793.23	7757.23	-5267.31	-5102.25	-89.533
PT2	T10	A	-2133.53	-2257.52	5267.31	5102.25	-3133.78	-2844.73	19.891
PT2	A	1A	-119.17	-183.37	3133.78	2844.73	-3014.61	-2661.35	-1.374
PT2	1A	2A	-210.26	-422.24	3014.61	2661.35	-2804.35	-2239.12	1.400
PT2	2A	B	520.81	319.65	2804.35	2239.12	-3325.16	-2558.77	11.798
PT2	B	1B	-32.25	-267.69	3325.16	2558.77	-3292.92	-2291.08	-16.761
PT2	1B	C	231.81	6.66	3292.92	2291.08	-3524.73	-2297.74	24.536
PT2	C	2B	-599.11	-467.60	3524.73	2297.74	-2925.62	-1830.14	-14.420
PT2	2B	D	877.71	154.88	2925.62	1830.14	-3803.33	-1985.02	26.363
PT2	D	T11	3054.12	1269.61	3803.33	1985.02	-6857.45	-3254.63	-75.465
PT2	T11	2C	-3644.10	-1830.95	6857.45	3254.63	-3213.35	-1423.68	48.312
PT2	T13	XI	-39386.40	4651.84	44236.63	-8858.18	-4850.24	4206.34	93.912
XI	X	P3	-2710.95	13228.10	-1509.04	-10987.15	4219.99	-2240.95	-26.569
X	PT2	XI	3717.06	6978.04	-2208.02	4009.11	-1509.04	-10987.15	5.766

ENACBE POPRAVKOV - HORIZONTALNE DOLZINE:

Z	S	CZX	CZY	CSX	CSY	f
P3	X	0.7357654	0.6772365	-0.7357654	-0.6772365	-0.0041319
P3	T1	0.9883704	0.1520656	-0.9883704	-0.1520656	-0.0097370
P3	T2	0.9916190	-0.1291967	-0.9916190	0.1291967	-0.0078510
P3	T3	0.9463393	-0.3231749	-0.9463393	0.3231749	-0.0091039
P3	T4	0.8337078	-0.5522059	-0.8337078	0.5522059	-0.0099363
P3	T12	-0.9960071	0.0892740	0.9960071	-0.0892740	0.0068508
P3	T8	-0.9735694	0.2283912	0.9735694	-0.2283912	0.0132330
P3	T9	-0.7368882	0.6760147	0.7368882	-0.6760147	0.0180202
P3	A	-0.5577621	0.8300009	0.5577621	-0.8300009	0.0225285
P3	1A	-0.5533563	0.8329446	0.5533563	-0.8329446	-0.0251879
P3	2A	-0.5293179	0.8484236	0.5293179	-0.8484236	-0.0253862
P3	T10	-0.5133518	0.8581783	0.5133518	-0.8581783	0.0123427
P3	B	-0.5035654	0.8639571	0.5035654	-0.8639571	0.0228840
P3	1B	-0.4738803	0.8805893	0.4738803	-0.8805893	-0.0254148
P3	2B	-0.4498474	0.8931054	0.4498474	-0.8931054	-0.0263944
P3	C	-0.4486898	0.8936876	0.4486898	-0.8936876	0.0233947
P3	D	-0.3778484	0.9258675	0.3778484	-0.9258675	0.0199342
P3	2C	-0.3420657	0.9396760	0.3420657	-0.9396760	-0.0260565
P3	T11	-0.3084841	0.9512295	0.3084841	-0.9512295	0.0066069
P3	T13	0.0051587	0.9999867	-0.0051587	-0.9999867	-0.0003560
P3	T14	0.3426565	0.9394608	-0.3426565	-0.9394608	-0.0001563
P3	XI	0.4690052	0.8831954	-0.4690052	-0.8831954	-0.0034835
PT2	T14	0.9098601	0.4149151	-0.9098601	-0.4149151	-0.0031430

PT2	T1	0.9952973	-0.0968669	-0.9952973	0.0968669	-0.0085565
PT2	T2	0.9356773	-0.3528569	-0.9356773	0.3528569	-0.0060718
PT2	T3	0.8476054	-0.5306271	-0.8476054	0.5306271	-0.0076904
PT2	T4	0.6857075	-0.7278772	-0.6857075	0.7278772	-0.0083735
PT2	T12	-0.9146367	-0.4042767	0.9146367	0.4042767	-0.0009042
PT2	T8	-0.9674761	-0.2529625	0.9674761	0.2529625	0.0097562
PT2	T9	-0.9408634	0.3387861	0.9408634	-0.3387861	0.0159528
PT2	T10	-0.6957629	0.7182715	0.6957629	-0.7182715	0.0129086
PT2	A	-0.6721338	0.7404297	0.6721338	-0.7404297	0.0225416
PT2	1A	-0.6618174	0.7496651	0.6618174	-0.7496651	-0.0254958
PT2	2A	-0.6239537	0.7814613	0.6239537	-0.7814613	-0.0256732
PT2	B	-0.6098530	0.7925146	0.6098530	-0.7925146	0.0225636
PT2	1B	-0.5711244	0.8208635	0.5711244	-0.8208635	-0.0260530
PT2	C	-0.5461014	0.8377191	0.5461014	-0.8377191	0.0226599
PT2	2B	-0.5303377	0.8477865	0.5303377	-0.8477865	-0.0270638
PT2	D	-0.4626898	0.8865202	0.4626898	-0.8865202	0.0190289
PT2	T11	-0.4287709	0.9034133	0.4287709	-0.9034133	0.0069208
PT2	2C	-0.4050755	0.9142833	0.4050755	-0.9142833	-0.0289702
PT2	T13	0.1963475	0.9805344	-0.1963475	-0.9805344	-0.0017032
PT2	XI	0.6551798	0.7554730	-0.6551798	-0.7554730	-0.0045792
XI	X	0.9906994	-0.1360688	-0.9906994	0.1360688	0.0019791
XI	P3	-0.4690052	-0.8831954	0.4690052	0.8831954	-0.0039835
XI	PT2	-0.6551798	-0.7554730	0.6551798	0.7554730	-0.0045792
X	P3	-0.7357654	-0.6772365	0.7357654	0.6772365	-0.0045319
X	XI	-0.9906994	0.1360688	0.9906994	-0.1360688	0.0019791

GEODETSKI DATUM MREZE:

Zagotovitev geodetskega datuma: notranje vezi (prosta mreza)

RESITEV MATEMATICNEGA MODELA IZRAVNAVE

Rezultati obdelave geodetske mreže:

Globalni test:	
Ref. std. odklon a-priori:	0.75
Ref. std. odklon a-posteriori:	0.32
Globalni test:	0.19
Globalni test [SQRT]:	0.43
Matrika R [DIAG]:	41.00
Matrika R [POVPREČJE]:	0.48

IZPIS REZULTATOV OBDELAVE GEODETSKE MREZE:

IZRAVNANE VREDNOSTI NEZNANK - IZRAVNANE KOORDINATE TOČK:

TC	X0 dX X	Y0 dY Y	sdX A	sdY B	TH
P3	33175.0298 -0.0060 33175.0238	41030.3075 -0.0007 41030.3068	0.0001 0.0001	0.0001 0.0001	66.5
X	33213.7019 0.0000 33213.7019	41065.9033 -0.0011 41065.9022	0.0003 0.0003	0.0002 0.0002	167.2
XI	33195.2762 0.0016 33195.2778	41068.4340 -0.0009 41068.4331	0.0003 0.0003	0.0001 0.0001	1.6
PT2	33174.2267 -0.0051 33174.2216	41044.1623 -0.0013 41044.1610	0.0001 0.0002	0.0002 0.0001	51.9
T1	33229.8776 0.0036 33229.8812	41038.7461 0.0008 41038.7469	0.0003 0.0003	0.0002 0.0002	148.7
T2	33229.9348	41023.1540			

	0.0021	0.0004	0.0003	0.0003	
	33229.9369	41023.1544	0.0003	0.0002	139.8
T3	33221.9563	41014.2821			
	0.0029	-0.0031	0.0003	0.0002	
	33221.9592	41014.2790	0.0003	0.0002	147.0
T4	33207.6049	41008.7314			
	0.0028	-0.0054	0.0002	0.0002	
	33207.6077	41008.7260	0.0003	0.0001	146.3
T8	33146.6767	41036.9589			
	0.0065	-0.0061	0.0002	0.0001	
	33146.6832	41036.9528	0.0002	0.0001	178.9
T9	33150.6886	41052.6379			
	0.0084	-0.0114	0.0002	0.0001	
	33150.6970	41052.6265	0.0002	0.0001	148.5
T10	33154.6569	41064.3652			
	0.0087	-0.0060	0.0002	0.0002	
	33154.6656	41064.3592	0.0003	0.0001	128.9
T11	33162.5754	41068.7114			
	0.0066	-0.0036	0.0001	0.0003	
	33162.5820	41068.7078	0.0003	0.0001	114.0
T12	33148.3016	41032.7032			
	-0.0003	-0.0140	0.0003	0.0001	
	33148.3013	41032.6892	0.0003	0.0001	5.6
T13	33175.1244	41048.6453			
	-0.0020	-0.0001	0.0002	0.0003	
	33175.1224	41048.6452	0.0004	0.0001	66.5
T14	33181.2516	41047.3658			
	-0.0019	-0.0025	0.0002	0.0001	
	33181.2497	41047.3633	0.0002	0.0001	34.6
A	33141.4703	41080.2471			
	0.0152	-0.0135	0.0002	0.0002	
	33141.4855	41080.2336	0.0003	0.0001	133.4
B	33144.2458	41083.1230			
	0.0118	-0.0167	0.0002	0.0002	
	33144.2576	41083.1063	0.0003	0.0001	130.2
C	33147.4553	41085.2296			
	0.0091	-0.0192	0.0002	0.0003	
	33147.4644	41085.2104	0.0003	0.0001	126.6
D	33151.9813	41086.7848			
	0.0031	-0.0185	0.0002	0.0003	
	33151.9844	41086.7663	0.0003	0.0001	122.5
1A	33140.2799	41082.6151			
	-0.0163	0.0227	0.0002	0.0002	
	33140.2636	41082.6378	0.0003	0.0001	133.4
1B	33144.8606	41086.3695			
	-0.0128	0.0247	0.0002	0.0002	
	33144.8478	41086.3942	0.0003	0.0001	127.6
2A	33138.3632	41089.0790			
	-0.0146	0.0237	0.0002	0.0002	
	33138.3486	41089.1027	0.0003	0.0002	133.5
2B	33142.5276	41094.8358			
	-0.0135	0.0251	0.0002	0.0003	
	33142.5141	41094.8609	0.0003	0.0002	130.2
2C	33150.4537	41097.8196			
	-0.0098	0.0269	0.0002	0.0003	
	33150.4439	41097.8465	0.0003	0.0002	124.8

S	Z1	Z2	L	V	S_V	L_	S_L_
P3	X	T1	33 52 35.7	0.13	0.27	33 52 35.8	0.55
P3	T1	T2	16 10 3.4	-0.09	0.39	16 10 3.3	0.47
P3	T2	T3	11 26 0.5	-0.18	0.38	11 26 0.3	0.48
P3	T3	T4	14 39 45.8	0.13	0.35	14 39 45.9	0.50
P3	T12	T8	8 6 11.2	-0.08	0.26	8 6 11.1	0.55
P3	T8	T9	29 20 18.0	0.13	0.24	29 20 18.1	0.56
P3	T9	A	13 34 21.4	0.04	0.35	13 34 21.4	0.50
P3	A	1A	0 17 51.6	-0.01	0.46	0 17 51.6	0.40
P3	1A	2A	1 38 20.6	-0.72	0.46	1 38 19.9	0.40
P3	2A	T10	1 4 53.1	0.81	0.39	1 4 53.9	0.47
P3	T10	B	0 38 37.5	-0.02	0.44	0 38 37.5	0.43
P3	1B	2B	1 33 3.9	-0.17	0.49	1 33 3.7	0.37
P3	2B	C	0 4 30.1	0.54	0.46	0 4 30.6	0.40
P3	C	D	4 27 21.6	-0.15	0.47	4 27 21.4	0.39
P3	D	2C	2 12 3.4	-0.76	0.47	2 12 2.6	0.39
P3	2C	T11	2 2 45.3	0.20	0.41	2 2 45.5	0.46
P3	T13	T14	19 44 41.4	0.33	0.26	19 44 41.7	0.55
P3	T14	XI	7 55 33.3	-0.09	0.11	7 55 33.2	0.60
PT2	X	T14	4 20 41.2	-0.21	0.24	4 20 41.0	0.56
PT2	T1	T2	15 6 8.4	0.14	0.40	15 6 8.5	0.46
PT2	T2	T3	11 23 12.7	0.20	0.42	11 23 12.9	0.45
PT2	T3	T4	14 39 36.9	-0.16	0.42	14 39 36.7	0.45
PT2	T12	T8	9 12 18.7	0.08	0.29	9 12 18.8	0.54
PT2	T8	T9	34 27 34.7	-0.13	0.20	34 27 34.6	0.58
PT2	T9	T10	26 8 2.0	-0.08	0.25	26 8 1.9	0.56
PT2	T10	A	1 51 2.0	0.05	0.31	1 51 2.0	0.53
PT2	A	1A	0 47 37.4	0.01	0.37	0 47 37.4	0.48
PT2	1A	2A	2 49 58.1	0.60	0.38	2 49 58.7	0.48
PT2	2A	B	1 1 23.8	-0.94	0.41	1 1 22.9	0.46
PT2	B	1B	2 45 17.5	0.68	0.46	2 45 18.2	0.40
PT2	1B	C	1 43 18.8	-0.69	0.41	1 43 18.1	0.46
PT2	C	2B	1 4 32.5	0.43	0.38	1 4 32.9	0.48
PT2	2B	D	4 27 36.5	-0.31	0.38	4 27 36.2	0.48
PT2	D	T11	2 11 31.9	0.31	0.33	2 11 32.2	0.52
PT2	T11	2C	1 28 49.1	0.32	0.31	1 28 49.4	0.53
PT2	T13	XI	29 35 1.5	-0.39	0.25	29 35 1.1	0.56
XI	X	P3	110 9 24.1	0.44	0.21	110 9 24.5	0.58
X	PT2	XI	36 39 45.5	0.55	0.29	36 39 46.0	0.54

IZRAVNANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	V	S_V	L_	S_L_
P3	X	52.5645	0.0000	0.0004	52.5645	0.0002
P3	T1	55.5029	-0.0000	0.0003	55.5029	0.0003
P3	T2	55.3769	-0.0000	0.0003	55.3769	0.0003
P3	T3	49.5965	0.0001	0.0003	49.5966	0.0003
P3	T4	39.0825	-0.0000	0.0003	39.0825	0.0003
P3	T12	26.8285	-0.0000	0.0004	26.8285	0.0002
P3	T8	29.1096	-0.0001	0.0004	29.1095	0.0002
P3	T9	33.0144	0.0002	0.0004	33.0146	0.0002
P3	A	60.1456	0.0001	0.0003	60.1457	0.0003
P3	1A	62.8236	0.0001	0.0003	62.8237	0.0003
P3	2A	69.2968	-0.0001	0.0003	69.2967	0.0003
P3	T10	39.6737	0.0003	0.0003	39.6740	0.0003
P3	B	61.1092	0.0001	0.0003	61.1093	0.0003
P3	1B	63.6896	0.0002	0.0003	63.6898	0.0003
P3	2B	72.2780	0.0001	0.0003	72.2781	0.0003
P3	C	61.4322	0.0002	0.0003	61.4324	0.0003
P3	D	60.9794	0.0001	0.0003	60.9795	0.0003
P3	2C	71.8722	0.0012	0.0003	71.8734	0.0003
P3	T11	40.3663	0.0001	0.0003	40.3664	0.0003
P3	T13	18.3384	0.0003	0.0003	18.3387	0.0003
P3	T14	18.1577	-0.0004	0.0004	18.1573	0.0001
P3	XI	43.1723	-0.0000	0.0004	43.1723	0.0002
PT2	T14	7.7240	-0.0007	0.0004	7.7233	0.0001
PT2	T1	55.9224	-0.0001	0.0003	55.9223	0.0003

PT2	T2	59.5438	0.0000	0.0003	59.5438	0.0003
PT2	T3	56.3188	0.0001	0.0003	56.3189	0.0003
PT2	T4	48.6854	0.0000	0.0003	48.6854	0.0003
PT2	T12	28.3456	-0.0002	0.0004	28.3454	0.0002
PT2	T8	28.4664	-0.0002	0.0004	28.4662	0.0002
PT2	T9	25.0016	-0.0001	0.0004	25.0015	0.0002
PT2	T10	28.1142	-0.0001	0.0003	28.1141	0.0003
PT2	A	48.7124	-0.0001	0.0003	48.7123	0.0003
PT2	1A	51.3188	-0.0000	0.0003	51.3188	0.0003
PT2	2A	57.5035	-0.0002	0.0003	57.5033	0.0003
PT2	B	49.1383	0.0001	0.0003	49.1384	0.0003
PT2	1B	51.4441	-0.0003	0.0003	51.4438	0.0003
PT2	C	49.0001	0.0000	0.0003	49.0001	0.0003
PT2	2B	59.7986	-0.0001	0.0003	59.7985	0.0003
PT2	D	48.0594	0.0000	0.0003	48.0594	0.0003
PT2	T11	27.1668	-0.0001	0.0003	27.1667	0.0003
PT2	2C	58.7168	-0.0013	0.0003	58.7155	0.0003
PT2	T13	4.5737	0.0001	0.0003	4.5738	0.0003
PT2	XI	32.1324	0.0002	0.0004	32.1326	0.0002
XI	X	18.5967	0.0004	0.0004	18.5971	0.0002
XI	P3	43.1728	-0.0005	0.0004	43.1723	0.0002
XI	PT2	32.1324	0.0002	0.0004	32.1326	0.0002
X	P3	52.5649	-0.0004	0.0004	52.5645	0.0002
X	XI	18.5967	0.0004	0.0004	18.5971	0.0002

OPTIM2D - OPTIMIZACIJA 2. REDA

Karmen Šepetavc, 2016

Mag. d. - Optimizacija terestričnih geodetskih mrež...

Min sdX, sdY: 0.0001 0.0001
 Max sdX, sdY: 0.0003 0.0003
 Avr sdX, sdY: 0.0002 0.0002

KOVARIANCA MARIKA OCENJENIH KOORD. TOCK

Srednji pogrešek položajev točk mreže v 2D: 0.00032668
 Sled kovariančne matrike: 0.00000240
 Srednja varianca: 0.00023100
 Srednja standardna deviacija: 0.01519854
 Generalizirana varianca: 0.00000000
 Generalizirana standardna deviacija: 0.00000000
 Najmanjša lastna vrednost kov. matrike: 0.00000000
 Največja lastna vrednost kov. matrike: 0.00000082
 Razmerje najmanjše in največje lastne vrednosti kov. matrike: 0.00006339

Produkt vektorja odstopanja med kontrolno m. in matriko kriterija: 0.000513
 Največja lastna vrednost: 0.022528
 Norma kovariančne matrike: 0.001980
 Norma matrike kriterija: 0.022528
 Razlika norm kovariančne in matrike kriterija: 0.020548
 Sled matrike kriterija: 0.039699

Karakteristična razdalja $d=2/3(s_{\min})$: 1.7669

Velikost Urp (reducirana in psevdoinverzna): 86 x 1176
 Velikost vektorja q: 1176 x 1
 Velikost optimiziranega vektorja uteži p: 86 x 1

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNI KOTI:

S	Z1	Z2	L	pi(opt)	ri	std_k
P3	X	T1	33 52 35.7	7952007	0.05	0.731454
P3	T1	T2	16 10 3.4	7163878	0.38	0.770639
P3	T2	T3	11 26 0.5	1718153	0.36	1.573600
P3	T3	T4	14 39 45.8	4612440	0.29	0.960417
P3	T12	T8	8 6 11.2	2365345	0.07	1.341152
P3	T8	T9	29 20 18.0	1081703	0.10	1.983221
P3	T9	A	13 34 21.4	4867790	0.18	0.934887
P3	A	1A	0 17 51.6	7328537	0.56	0.761933
P3	1A	2A	1 38 20.6	4774026	0.57	0.944023

P3	2A	T10	1	4	53.1	3786275	0.40	1.060032
P3	T10	B	0	38	37.5	4081994	0.40	1.020914
P3	1B	2B	1	33	3.9	14110238	0.47	0.549108
P3	2B	C	0	4	30.1	4631238	0.56	0.958466
P3	C	D	4	27	21.6	9782520	0.59	0.659477
P3	D	2C	2	12	3.4	16748770	0.63	0.504004
P3	2C	T11	2	2	45.3	7221207	0.36	0.767574
P3	T13	T14	19	44	41.4	1661840	0.04	1.600039
P3	T14	XI	7	55	33.3	667527	0.05	2.524589
PT2	X	T14	4	20	41.2	76747	0.01	7.445506
PT2	T1	T2	15	6	8.4	6277369	0.42	0.823259
PT2	T2	T3	11	23	12.7	11083911	0.45	0.619553
PT2	T3	T4	14	39	36.9	9177237	0.44	0.680878
PT2	T12	T8	9	12	18.7	3297168	0.07	1.135938
PT2	T8	T9	34	27	34.7	902041	0.09	2.171761
PT2	T9	T10	26	8	2.0	1504804	0.10	1.681455
PT2	T10	A	1	51	2.0	2958389	0.19	1.199216
PT2	A	1A	0	47	37.4	17637851	0.36	0.491137
PT2	1A	2A	2	49	58.1	10266210	0.37	0.643754
PT2	2A	B	1	1	23.8	12633611	0.48	0.580312
PT2	B	1B	2	45	17.5	14107407	0.02	0.549163
PT2	1B	C	1	43	18.8	14839525	0.48	0.535445
PT2	C	2B	1	4	32.5	7367557	0.39	0.759912
PT2	2B	D	4	27	36.5	7205607	0.36	0.768404
PT2	D	T11	2	11	31.9	2099307	0.25	1.423597
PT2	T11	2C	1	28	49.1	752753	0.34	2.377382
PT2	T13	XI	29	35	1.5	32664	0.01	11.412817
XI	X	P3	110	9	24.1	960115	0.11	2.105056
X	PT2	XI	36	39	45.5	847406	0.23	2.240677

IZLOCENA OPAZOVANJA - HORIZONTALNI KOTI:

OPTIMIZIRANE VREDNOSTI OPAZOVANJ - HORIZONTALNE DOLZINE:

S	Z	L	pi (opt)	ri	std_d
P3	X	52.5645	162	0.76	0.000785
P3	T1	55.5029	2169	0.56	0.000215
P3	T2	55.3769	1696	0.54	0.000243
P3	T3	49.5965	1081	0.55	0.000304
P3	T4	39.0825	592	0.57	0.000411
P3	T12	26.8285	1184	0.71	0.000291
P3	T8	29.1096	887	0.72	0.000336
P3	T9	33.0144	94	0.76	0.001034
P3	A	60.1456	1164	0.52	0.000293
P3	1A	62.8236	1033	0.51	0.000311
P3	2A	69.2968	579	0.50	0.000416
P3	T10	39.6737	461	0.61	0.000466
P3	B	61.1092	1141	0.52	0.000296
P3	1B	63.6896	1270	0.50	0.000281
P3	2B	72.2780	831	0.50	0.000347
P3	C	61.4322	1356	0.51	0.000272
P3	D	60.9794	964	0.50	0.000322
P3	2C	71.8722	1144	0.49	0.000296
P3	T11	40.3663	1154	0.53	0.000294
P3	T13	18.3384	912	0.56	0.000331
P3	T14	18.1577	2316	0.89	0.000208
P3	XI	43.1723	26	0.85	0.001980
PT2	T14	7.7240	560	0.94	0.000422
PT2	T1	55.9224	1056	0.55	0.000308
PT2	T2	59.5438	639	0.55	0.000396
PT2	T3	56.3188	284	0.56	0.000593
PT2	T4	48.6854	549	0.58	0.000427
PT2	T12	28.3456	2311	0.84	0.000208
PT2	T8	28.4664	2211	0.81	0.000213
PT2	T9	25.0016	865	0.73	0.000340
PT2	T10	28.1142	186	0.58	0.000733
PT2	A	48.7124	1193	0.51	0.000290
PT2	1A	51.3188	1072	0.51	0.000305
PT2	2A	57.5035	600	0.50	0.000408
PT2	B	49.1383	1189	0.51	0.000290
PT2	1B	51.4441	1215	0.51	0.000287
PT2	C	49.0001	1296	0.50	0.000278
PT2	2B	59.7986	846	0.50	0.000344

PT2	D	48.0594	878	0.50	0.000337
PT2	T11	27.1668	1010	0.52	0.000315
PT2	2C	58.7168	1300	0.49	0.000277
PT2	T13	4.5737	3660	0.52	0.000165
PT2	XI	32.1324	244	0.86	0.000641
XI	X	18.5967	2806	0.78	0.000189
XI	P3	43.1728	26	0.85	0.001980
XI	PT2	32.1324	244	0.86	0.000641
X	P3	52.5649	162	0.76	0.000785
X	XI	18.5967	2806	0.78	0.000189

IZLOCENA OPAZOVANJA – HORIZONTALNE DOLZINE:

PRILOGA F: TESTNE OPTIMIZACIJE

F-1: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 1. ITERACIJA

ZAČETNA MREŽA - VSE MERITVE			Z VSEMI MERITVAMI		BREZ MERITVE O1 O5 O2		BREZ MERITVE O1 O2 O6		BREZ MERITVE O2 O1 O5		BREZ MERITVE O5 O7 O1		BREZ MERITVE O5 O2 H1		BREZ MERITVE O5 H1 H2		
S	Z1	Z2	L	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri
O1	O5	O2	8 35 58.6	-386569535	0.80	*	*	36701273	0.80	-534571268	0.78	69503583	0.81	119257347	0.80	131278804	0.80
O1	O2	O6	40 14 1.6	-225246846	0.69	-192965052	0.75	*	*	-239952350	0.69	-145472055	0.69	-157058591	0.69	-166898726	0.69
O1	O6	H1	4 32 21.7														
O1	H1	H2	3 8 33.7														
O1	H2	H3	4 2 43.5														
O1	H3	H4	4 53 52.9														
O1	H4	H5	5 56 52.6														
O1	H5	H6	7 13 32.1														
O1	H6	H7	7 51 44.8														
O1	H7	O7	35 55 45.8														
O7	O1	O5	40 36 59.3														
O7	O5	O2	6 1 5.9														
O7	O2	O6	35 7 43.2														
O6	O7	O1	24 38 47.3														
O6	O1	O2	63 2 24.8														
O2	O6	H1	8 6 15.0														
O2	H1	H2	7 0 32.1														
O2	H2	H3	7 2 36.8														
O2	H3	H4	6 24 3.2														
O2	H4	H5	5 41 8.4														
O2	H5	H6	5 0 29.4														
O2	H6	H7	4 2 40.6														
O2	H7	O7	13 53 26.5														
O2	O7	O1	19 32 25.9									-52425836	0.84				
O2	O1	O5	95 39 15.9	-63360662	0.41	-68969357	0.39	-70667603	0.41	*	*	-17010459	0.40	-61453739	0.48	-62954447	0.40

O5 O2 H1	13 6 31.8	-30016925 0.67	-43222869 0.66	-48646148 0.66	-50934818 0.65	-48547634 0.65	-50281367 0.64
O5 H1 H2	5 57 12.1	-3659564664 0.55	-5783194147 0.69	-6535307156 0.69	-6668379310 0.69	-6680433533 0.69	-6627309987 0.69
O5 H2 H3	6 7 38.5	* *	-5580619225 0.56	-7385511729 0.69	-7793548972 0.69	-7861118352 0.69	-7763020348 0.69
O5 H3 H4	5 44 15.5	-5677859580 0.56	* *	-6380596036 0.58	-7633644842 0.70	-7888733691 0.70	-7767475168 0.70
O5 H4 H5	5 15 51.2	-7528653685 0.70	-6468733155 0.57	* *	-7080927850 0.62	-7913867489 0.70	-7894164118 0.70
O5 H5 H6	4 47 3.6	-8990308922 0.71	-8814006493 0.71	-8110468878 0.59	* *	-8479579631 0.72	-8946905097 0.71
O5 H6 H7	3 58 35.8	-10635898022 0.73	-10668949610 0.73	-10526801969 0.73	-9917176533 0.65	* *	-10497503235 0.74
S Z	L						
O1 O5	206.11404						
O1 O2	200.74728						
O1 O6	219.21204						
O1 H1	203.68888						
O1 H2	187.39792						
O1 H3	170.63423						
O1 H4	154.88977						
O1 H5	140.56464						
O1 H6	128.0813						
O1 H7	118.7343						
O1 O7	92.36555						
O7 O5	267.26309						
O7 O2	252.60791						
O7 O6	212.47745						
O6 O2	145.47131						
O2 H1	154.05084						
O2 H2	158.08155						
O2 H3	164.92269						
O2 H4	174.04495						
O2 H5	185.1117						
O2 H6	197.84501						
O2 O5	30.96816	-21182 0.98	-18913 0.98	-13450 0.98	-9538 0.98	-10328 0.98	* *
O5 H1	184.05154						
O5 H2	187.02714						
O5 H3	192.41761						
O5 H4	199.88042						
O5 H7	231.48755						

Opazovanje, ki je bilo v postopku optimizacije z vsemi meritvami izločeno, pridobi pozitivno utež – optimizacija tega opazovanja ponovno NE IZLOČI

Opazovanje, ki v postopku optimizacije z vsemi meritvami ni bilo izločeno, pridobi negativno utež – optimizacija to opazovanje IZLOČI

* MERITEV NE NASTOPA V IZRAVNAVI IN OPTIMIZACIJI

F-2: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 2. ITERACIJA

ZAČETNA MREŽA - VSE MERITVE			MERITEV	Z VSEMI MERITVAMI		BREZ MERITVE O1 O5 O2		BREZ MERITVE O1 O2 O6		BREZ MERITVE O2 O1 O5		BREZ MERITVE O5 O7 O1		BREZ MERITVE O5 O2 H1	
S	Z1	Z2	L	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri
O1	O5	O2	8 35 58.6	-497199776	0.80	*	*	-58338921	0.80	-624882096	0.78	-29511493	0.80	-5147587	0.80
O1	O2	O6	40 14 1.6	-233563274	0.69	-192042468	0.75	*	*	-246251689	0.69	-151742667	0.69	-167243881	0.69
O1	O6	H1	4 32 21.7												
O1	H1	H2	3 8 33.7												
O1	H2	H3	4 2 43.5												
O1	H3	H4	4 53 52.9												
O1	H4	H5	5 56 52.6												
O1	H5	H6	7 13 32.1												
O1	H6	H7	7 51 44.8												
O1	H7	O7	35 55 45.8												
O7	O1	O5	40 36 59.3												
O7	O5	O2	6 1 5.9												
O7	O2	O6	35 7 43.2												
O6	O7	O1	24 38 47.3												
O6	O1	O2	63 2 24.8												
O2	O6	H1	8 6 15.0												
O2	H1	H2	7 0 32.1												
O2	H2	H3	7 2 36.8												
O2	H3	H4	6 24 3.2												
O2	H4	H5	5 41 8.4												
O2	H5	H6	5 0 29.4												
O2	H6	H7	4 2 40.6												
O2	H7	O7	13 53 26.5												
O2	O7	O1	19 32 25.9									-139806738	0.84		
O2	O1	O5	95 39 15.9	-54688592	0.41	-61898880	0.39	-62261981	0.41	*	*	-7132451	0.40	-52850073	0.48
O5	O7	O1	16 57 36.7	-1010944562	0.82	-969104329	0.82	-933576561	0.82	-935605123	0.82	*	*	-673984998	0.84

O5 O2 H1	13 6 31.8	-7904531 0.54	-28336277 0.67	-41705483 0.66	-47257046 0.66	-49575682 0.65	-48857222 0.65
O5 H1 H2	5 57 12.1	* *	3683657905 0.56	-5835140300 0.69	-6600126925 0.69	-6727203976 0.69	-6690753309 0.69
O5 H2 H3	6 7 38.5	-5576216213 0.57	* *	-5653649948 0.58	-7492564757 0.69	-7893643700 0.69	-7869610290 0.69
O5 H3 H4	5 44 15.5	-7272632833 0.70	-5778524350 0.57	* *	-6505477633 0.62	-7761489551 0.70	-7894909077 0.70
O5 H4 H5	5 15 51.2	-7852626305 0.70	-7545246921 0.70	-6466594529 0.59	* *	-7141574412 0.71	-7915386147 0.70
O5 H5 H6	4 47 3.6	-8518477748 0.72	-8515058166 0.72	-8334385032 0.71	-7637318133 0.63	* *	-8477620377 0.72
O5 H6 H7	3 58 35.8						
S Z	L						
O1 O5	206.11404						
O1 O2	200.74728						
O1 O6	219.21204						
O1 H1	203.68888						
O1 H2	187.39792						
O1 H3	170.63423						
O1 H4	154.88977						
O1 H5	140.56464						
O1 H6	128.0813						
O1 H7	118.7343						
O1 O7	92.36555						
O7 O5	267.26309						
O7 O2	252.60791						
O7 O6	212.47745						
O6 O2	145.47131						
O2 H1	154.05084						
O2 H2	158.08155						
O2 H3	164.92269						
O2 H4	174.04495						
O2 H5	185.1117						
O2 H6	197.84501						
O2 O5	30.96816	-19179 0.98	-19881 0.98	-17595 0.98	-12036 0.98	-8307 0.98	* *
O5 H1	184.05154						
O5 H2	187.02714						
O5 H3	192.41761						
O5 H4	199.88042						

Opazovanje, ki je bilo v postopku optimizacije z vsemi meritvami izločeno, pridobi pozitivno utež – optimizacija tega opazovanja ponovno NE IZLOČI

Opazovanje, ki v postopku optimizacije z vsemi meritvami ni bilo izločeno, pridobi negativno utež – optimizacija to opazovanje IZLOČI

* MERITEV NE NASTOPA V IZRAVNAVI IN OPTIMIZACIJI

MERITEV Z NAJBOLJ NEGATIVNO UTEŽJO (O5 H6 H7) IZRAČUNANO V 1. ITERACIJI IZLOČIMO PRED 2. ITERACIJO

F-3: MREŽA MARKOVCI – TESTNO IZLOČANJE PO ENO MERITEV - 3. ITERACIJA

ZAČETNA MREŽA - VSE MERITVE			Z VSEMI MERITVAMI. RAZEN O5 H6 H7 IN O2 O1 O5		BREZ MERITVE O1 O5 O2		BREZ MERITVE O1 O2 O6		BREZ MERITVE O5 O7 O1		BREZ MERITVE O5 O2 H1		BREZ MERITVE O5 H1 H2		
S	Z1	Z2	L	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri
O1	O5	O2	8 35 58.6	-624882096	0.78	*	*	-177456208	0.78	-52178272	0.78	-129644904	0.78	-101545450	0.78
O1	O2	O6	40 14 1.6	-246251689	0.69	-194415652	0.75	*	*	-154362502	0.69	-179654657	0.69	-187274435	0.69
O1	O6	H1	4 32 21.7												
O1	H1	H2	3 8 33.7												
O1	H2	H3	4 2 43.5												
O1	H3	H4	4 53 52.9												
O1	H4	H5	5 56 52.6												
O1	H5	H6	7 13 32.1												
O1	H6	H7	7 51 44.8												
O1	H7	O7	35 55 45.8												
O7	O1	O5	40 36 59.3												
O7	O5	O2	6 1 5.9												
O7	O2	O6	35 7 43.2												
O6	O7	O1	24 38 47.3												
O6	O1	O2	63 2 24.8												
O2	O6	H1	8 6 15.0												
O2	H1	H2	7 0 32.1												
O2	H2	H3	7 2 36.8												
O2	H3	H4	6 24 3.2												
O2	H4	H5	5 41 8.4												
O2	H5	H6	5 0 29.4												
O2	H6	H7	4 2 40.6												
O2	H7	O7	13 53 26.5												
O2	O7	O1	19 32 25.9							-142835978	0.85				
O2	O1	O5	95 39 15.9	*	*										
O5	O7	O1	16 57 36.7	-935605123	0.82	-868256166	0.82	-842332430	0.82	*	*	-601924470	0.85	-689069467	0.83

ZAČETNA MREŽA - VSE MERITVE			MERITEV	BREZ MERITVE O5 H2 H3		BREZ MERITVE O5 H3 H4		BREZ MERITVE O5 H4 H5		BREZ MERITVE O5 H5 H6		BREZ MERITVE O2 O5	
S	Z1	Z2	L	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri	pi (opt)	ri
O1	O5	O2	8 35 58.6	-325220785	0.78	-491495278	0.78	-655433597	0.78	-761274128	0.78	-286771200	0.78
O1	O2	O6	40 14 1.6	-241053639	0.69	-258129405	0.69	-264797982	0.69	-261507801	0.69	-218657310	0.69
O1	O6	H1	4 32 21.7										
O1	H1	H2	3 8 33.7										
O1	H2	H3	4 2 43.5										
O1	H3	H4	4 53 52.9										
O1	H4	H5	5 56 52.6										
O1	H5	H6	7 13 32.1										
O1	H6	H7	7 51 44.8										
O1	H7	O7	35 55 45.8										
O7	O1	O5	40 36 59.3										
O7	O5	O2	6 1 5.9										
O7	O2	O6	35 7 43.2										
O6	O7	O1	24 38 47.3										
O6	O1	O2	63 2 24.8										
O2	O6	H1	8 6 15.0										
O2	H1	H2	7 0 32.1										
O2	H2	H3	7 2 36.8										
O2	H3	H4	6 24 3.2										
O2	H4	H5	5 41 8.4										
O2	H5	H6	5 0 29.4										
O2	H6	H7	4 2 40.6										
O2	H7	O7	13 53 26.5										
O2	O7	O1	19 32 25.9										
O2	O1	O5	95 39 15.9										
O5	O7	O1	16 57 36.7	-874055014	0.83	-977001608	0.83	-999976142	0.83	-1015523198	0.82	-900958195	0.82
O5	O1	O2	284 15 15.8										
O5	O2	H1	13 6 31.8	-28224773	0.40	-41601334	0.36	-47160859	0.33	-49478790	0.31	-47770332	0.28

O5 H1 H2	5 57 12.1	-3683300716	0.57	-5834961752	0.69	-6599826797	0.69	-6726837267	0.69	-6660451951	0.69
O5 H2 H3	6 7 38.5	*	*	-5654065723	0.58	-7492673248	0.69	-7893539369	0.69	-7845076914	0.69
O5 H3 H4	5 44 15.5	-5776622969	0.58	*	*	-6504539085	0.62	-7759898395	0.70	-7873764773	0.70
O5 H4 H5	5 15 51.2	-7540414737	0.70	-6462353264	0.59	*	*	-7137834832	0.71	-7902418938	0.70
O5 H5 H6	4 47 3.6	-8509591658	0.72	-8329247432	0.71	-7633026540	0.64	*	*	-8473507746	0.72
O5 H6 H7	3 58 35.8										
S Z	L										
O1 O5	206.11404										
O1 O2	200.74728										
O1 O6	219.21204										
O1 H1	203.68888										
O1 H2	187.39792										
O1 H3	170.63423										
O1 H4	154.88977										
O1 H5	140.56464										
O1 H6	128.0813										
O1 H7	118.7343										
O1 O7	92.36555										
O7 O5	267.26309										
O7 O2	252.60791										
O7 O6	212.47745										
O6 O2	145.47131										
O2 H1	154.05084										
O2 H2	158.08155										
O2 H3	164.92269										
O2 H4	174.04495										
O2 H5	185.1117										
O2 H6	197.84501										
O2 O5	30.96816	-3244	0.98	-1854	0.98	2385	0.98	6030	0.98	*	*
O5 H1	184.05154										
O5 H2	187.02714										
O5 H3	192.41761										
O5 H4	199.88042										
O5 H7	231.48755										

Opazovanje, ki je bilo v postopku optimizacije z vsemi meritvami izločeno, pridobi pozitivno utež – optimizacija tega opazovanja ponovno NE IZLOČI

Opazovanje, ki v postopku optimizacije z vsemi meritvami ni bilo izločeno, pridobi negativno utež – optimizacija to opazovanje IZLOČI

* MERITEV NE NASTOPA V IZRAVNAVI IN OPTIMIZACIJI

MERITEV Z NAJBOLJ NEGATIVNO UTEŽJO (O5 H6 H7) IN MERITEV Z NAJMANŠIM ri (O2 O1 O5) IZRAČUNANIM V 1. ITERACIJI. IZLOČIMO PRED 3. ITERACIJO.