

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

Ljubljana, 2021

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Magistrsko delo št.:

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.41(497.4Koper)(043.3)
Avtor: Zvonimir Bano, dipl. inž. geod. (VS)
Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor: doc. dr. Oskar Sterle
Naslov: Sanacija geodetske mreže v Luki Koper
Tip dokumenta: Magistrsko delo
Obseg in oprema: 44 str., 12 pregl., 25 sl.
Ključne besede: geodetska mreža, sanacija geodetske mreže, optimalni geodetski datum, vektorji horizontalnih premikov, optimizacija geodetske mreže

Izvleček

V magistrski nalogi je predstavljena stabilnost osnovnih referenčnih točk geodetske mreže, z namenom ugotovitve optimalnega geodetskega datuma skozi celotno obdobje izmer, ki so bile opravljene med letoma 2008 in 2020. Glede na izbrano optimalno kombinacijo izbire geodetskega datuma, ki je bil zagotovljen na tri različne načine, so bili izrisani vektorji horizontalnih premikov opravljenih sedemnajstih terminskih izmer in izdelan predlog sanacije geodetske mreže.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.41(497.4Koper)(043.3)
Author: Zvonimir Bano, B. Sc.
Supervisor: Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D.
Co.supervisor: Assist. Prof. Oskar Sterle, Ph.D.
Title: Renovation of the geodetic network in the Port of Koper
Document type: 44 p., 12 tab., 25 fig.
Notes: Master thesis
Keywords: geodetic network, renovation of the geodetic network, optimal geodetic datum, horizontal displacement vectors, optimization of the geodetic network

Abstract

The thesis presents the stability of the basic reference points of the geodetic network, in order to determine the optimal geodetic datum throughout the all time periods, performed between 2008 and 2020 year. Given the selected optimal combination of geodetic datum, the vectors of horizontal displacements plotted for periods of the performed seventeen forward measurements and made a proposal for the rehabilitation of the geodetic network.

ZAHVALA

V prvi vrsti bi se zahvalil svoji mami za podporo in spodbudo skozi celoten študij.

Iskrena in velika zahvala gre mentorju prof. dr. Tomažu Ambrožiču za strokovno pomoč in vodenje pri nastanku magistrskega dela. Prav tako se vam zahvaljujem, da ste vedno z velikim veseljem delili svoje znanje, čas in zanos pri reševanju kompleksnih nalog v času študija kot tudi nasvete ob njem. Hvala PROFESOR!

Prav tako gre iskrena zahvala somentorju doc. dr. Oskarju Sterletu za strokovno pomoč pri magistrskem delu in s katerim je bilo vedno v čast ter veselje reševati kompleksne naloge skozi celotno študijsko obdobje.

Zahvala gre tudi vsem prijateljem in sošolcem za vse spodbude in pomoči s katerimi smo se srečali skozi celoten študij. Še posebej gre zahvala Žigi Marohu za čas, trud in pomoč pri grafičnem delu naloge. Brez vseh vas študij ne bi bil toliko popoln in zanimiv.

Zahvala gre tudi vsem profesorjem in asistentom, s katerimi smo se srečali skozi mojo celotno študijsko pot za prenos izjemnega znanja na naši fakulteti.

Na zadnje bi se zahvalil tudi podjetju Geodetska družba d.o.o, kateri mi je omogočil praktično izvedbo magistrskega dela.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1. UVOD	1
1.1 Kamninska sestava tal območja Luke Koper	2
1.2 Vzpostavitev položajne geodetske mreže	3
1.2.1 Oblike mrež po letih	4
2. STABILIZACIJA IN SIGNALIZACIJA TOČK TER UPORABLJEN INŠTRUMENTARIJ	6
2.1 Stabilizacija in signalizacija točk	6
2.2 Uporabljen inštrumentarij	9
3. ZAGOTOVITEV GEODETSKEGA DATUMA	10
3.1 Zagotovitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi	10
3.2 Zagotovitev geodetskega datuma z zunanjimi vezmi	12
3.2.1 Zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko – poddoločen geodetski datum	13
3.2.2 Zagotovitev geodetskega datuma z več danih točk – predoločen geodetski datum	14
3.3 Posredna metoda izravnave geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov	14
3.3.1 Gauß-Markov model izravnave	15
3.4 Ocena kakovosti geodetske mreže	18
3.4.1 Globalne mere kakovosti geodetske mreže	18
3.4.2 Lokalne mere kakovosti geodetske mreže	20
3.5 Določitev premikov med posameznimi terminskimi izmerami	21
4. PRIMER IZRAVNAVE KOMBINIRANE TRIANGULACIJSKO-TRILATERACIJSKE MREŽE LUKE KOPER	24

4.1	Zagotovitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi – prosta geodetska mreža	26
4.2	Zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko in upoštevanjem merila mreže – poddoločen geodetski datum	27
4.2.1	Vektorji položajnih premikov geodetske mreže med izmerama v letu 2008 in 2020, pri zagotovitvi datuma z eno dano točko	31
4.3	Zagotovitev optimalnega geodetskega datuma z minimalnim številom zunanjih vezi	32
4.3.1	Vektorji položajnih premikov geodetskih točk geodetske mreže med prvo in zadnjo izmero, pri zagotovitvi datuma z zunanjimi vezmi	34
5.	PREDLOG SANACIJE OBSTOJEČE GEODETSKE MREŽE	40
6.	ZAKLJUČEK	42
VIRI		44

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Število opravljenih meritev posamezne mreže skozi leta	4
Preglednica 2: Pregled identičnih referenčnih točk izmere skozi celotno časovno obdobje meritev	5
Preglednica 3: Uporabljeni tipi inštrumentov s podatkom o natančnosti po letih	9
Preglednica 4: Datumski parametri pri različnih vrstah geodetskih mrež (Marjetič, Stopar, 2007)	10
Preglednica 5: Približne položajne koordinate referenčnih točk kombinirane geodetske mreže	25
Preglednica 6: Ocena kakovosti posamezne izmere zagotovljene z notranjimi vezmi	26
Preglednica 7: Ocena kakovosti različnih kombinacij začetne in končne izmere zagotovljene z eno dano točko	29
Preglednica 8: Vsote standardnih elips pogreškov in približnih vrednosti koordinatnih neznank za vsako dano referenčno točko pri začetni in končni izmeri	30
Preglednica 9: Ocena kakovosti izravnave posamezne izmere kombinirane geodetske mreže zagotovljene z zunanji vezmi	33
Preglednica 10: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov mreže med izmerama v letu 2008 in 2020	35
Preglednica 11: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov mreže skozi celotno obdobje meritev	38
Preglednica 12: Izravnane koordinate referenčnih točk s pripadajočimi standardnimi elipsami pogreškov, pri zagotovitvi optimalnega datuma z zunanji vezmi	41

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Prikaz razvoja pristanišča Luke Koper med leti 1955, 1971 in 2005 (www.luka-kp.si)</i>	1
<i>Slika 2: Ladijski pretovor v pristanišču Luke Koper od leta 2009 do 2020 (www.luka-kp.si)</i>	2
<i>Slika 3: Prerez kamninske sestave morskega dna v Luki koper pri načrtovanju gradnje posameznega pomola (Oddaja ugriznimo znanost, izr. prof. dr. Janko Logar, UL FGG)</i>	3
<i>Slika 4: Referenčne točke prve in zadnje izmere položajne geodetske mreže Luke Koper</i>	3
<i>Slika 5: Stabilizacija referenčne točke 600301 na območju pomola kampa Adria leta 2020 (Geodetska družba d.o.o.)</i>	6
<i>Slika 6: Signalizacija referenčne točke 600001 na začetku pomola Sv. Katarine leta 2020 (Geodetska družba d.o.o.)</i>	7
<i>Slika 7: Signalizacija referenčne točke 7001 v izmeri leta 2015 (Geodetska družba d.o.o.)</i>	7
<i>Slika 8: Vzpostavitev signalizacije kontrolnih točk na pomolu znotraj Luke Koper leta 2008 (Geodetska družba d.o.o.)</i>	8
<i>Slika 9: Merilček relativnih meritev med stikom pomola znotraj Luke Koper leta 2008 (Geodetska družba d.o.o.)</i>	8
<i>Slika 10: Standardne elipse pogreškov izravnave proste geodetske mreže začetne in končne izmere</i>	26
<i>Slika 11: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600001.</i>	28
<i>Slika 12: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600301.</i>	28
<i>Slika 13: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600005.</i>	28
<i>Slika 14: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600006.</i>	29
<i>Slika 15: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600007.</i>	29
<i>Slika 16: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600001 (slika levo) in dana referenčna točka 600301 (slika desno)</i>	31
<i>Slika 17: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600005 (slika levo) in dana referenčna točka 600006 (slika desno)</i>	31
<i>Slika 18: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600007</i>	32
<i>Slika 19: Standardne elipse pogreškov izravnane mreže zagotovljene z zunanjimi vezmi izmere leta 2008 in 2020. Dana točka 600001 in smer proti točki 600301.</i>	33
<i>Slika 20: Vektorji horizontalnih premikov na referenčnih točkah med prvo in zadnjo izmero. Dana točka 600001 in smer proti točki 600301</i>	35
<i>Slika 21: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov referenčnih točk med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2020</i>	36
<i>Slika 22: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2020 za referenčno točko 600301 in 600005</i>	36
<i>Slika 23: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2020 za referenčno točko 600006 in 600007</i>	37
<i>Slika 24: Velikosti vektorjev premikov horizontalnih med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2018 za referenčno točko 7001 in 7015</i>	37
<i>Slika 25: Merjene smeri in dolžine, s pripadajočimi standardnimi elipsami pogreškov pred in po sanaciji geodetske mreže v zadnji izmeri</i>	40

KRATICE

SVD	angl. Singular value decomposition – razcep po singularnih vrednostih
GNSS	angl. Global Navigation Satellite Systems – globalni navigacijski satelitski sistemi
DOF	digitalni ortofoto načrt

Ta stran je namenoma prazna.

1. UVOD

Luka Koper je mednarodno tovarno pristanišče z geografsko umeščenostjo, z zagotavljanjem najbližje povezave Sredozemlja s srednjim in vzhodnim delom Evrope. Njen nastanek sega v leto 1957 z začetki izkopa morskega dna na severni obali mesta Koper. Leto in pol kasneje je bil dokončan prvi vez in v pristanišče je vplula prva čezoceanska ladja, pod imenom Gorica, v lasti ladjarja Splošne plovbe iz Pirana.



Slika 1: Prikaz razvoja pristanišča Luke Koper med leti 1955, 1971 in 2005 (www.luka-kp.si)

Leta 1967 je bila Luka Koper z zgrajeno 31 km dolgo progo med Koprom in Prešnico vključena v evropski železniški sistem. Leto kasneje je začel obratovati terminal za naftne derivate in v letu 1972 terminal za kemikalije (www.luka-kp.si).

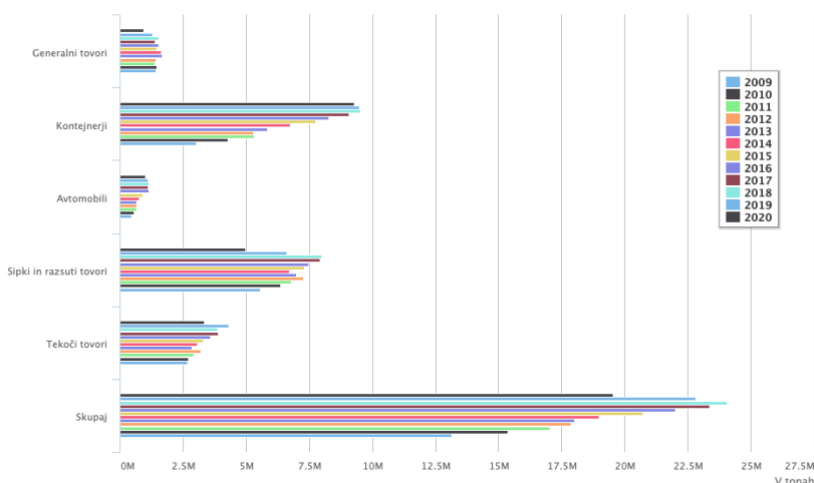
V letu 1973 je bil vzpostavljen kontejnerski transport, leto kasneje je bila vzpostavljena prva kontejnerska linija za Sredozemlje in skupni pretovor je znašal skoraj 2 milijona ton.

Leta 1984 je začel obratovati terminal za razsute tovore in z naknadnim povečanjem pretovora, ki je proti koncu osemdesetih narasel na 5 milijonov ton, je rasla tudi potreba po večanju in razvoju same Luke Koper.

Vse bolj se je kazala potreba po razvoju luke v samem zaledju mesta Koper, kjer je bil leta 1996 vzpostavljen avtomobilski terminal.

Med letoma 2001 in 2002 so se investicijska sredstva namenila gradnji nove obale II. pomola, urejanju privezov in skladiščnih površin v zaledju. V letu 2004 je Luka Koper pridobila status pristanišča Evropske unije, njen ladijski pretovor pa se je v tistem letu povečal na več kot 12 milijonov ton. Prav tako je bil preurejen terminal za razsute tovore, ki se je naknadno preimenoval v Evropski energetske terminal.

V letu 2008 so bile narejene obsežne investicije v pristaniško infrastrukturo, ki je vključevala zaključek podaljšanja obale I. pomola in izgradnjo skladiščnega objekta za avtomobile. Ladijski pretovor Luke se je povečal na 16 milijonov ton.



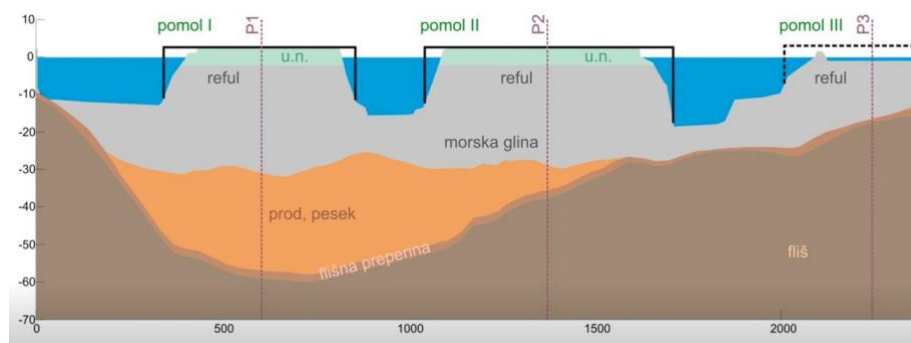
Slika 2: Ladijski pretovor v pristanišču Luke Koper od leta 2009 do 2020 (www.luka-kp.si)

Z zaključkom investicij v letu 2010 v pristaniško infrastrukturo je Luka Koper postala največji kontejnerski terminal na Severnem Jadranu in tako omogočila sprejem sodobnejših kontejnerskih ladij in drugih vrst tovarov. V letu 2012 se je vse bolj kazala potreba po poglobljanju vplodne poti v prvi bazen obale I. pomola, ki je bila zaključena v letu 2013. Zaključena investicija je tako pripomogla h konkurenčnosti koprskega pristanišča in vse večjega kontejnerskega pretovora, ki je v letu 2016 znašal 22 milijonov ton.

1.1 Kamninska sestava tal območja Luke Koper

Celotno območje vzdolž slovenske obale tvori flišna kamnina, ki je na območju koprskega pristanišča precej globoka. Poleg tega se na območju pristanišča zliva v morje reka Rižana, ki nanaša svoj rečni prod in pesek. Vrhnji sloj kamnin tvori mehka morska glina, debeline od 20 do 30 m, ki pa je neprimerna za gradnjo trdnih konstrukcij.

Za zagotovitev trdnosti konstrukcije posameznega pomola se uporabljajo betonski piloti, katere je potrebno temeljiti tudi do 60 m globoko, da bi dosegli trdnejšo flišno kamnino. S tem zagotovimo, da se posamezna konstrukcija ne poseda in položajno ne premika.

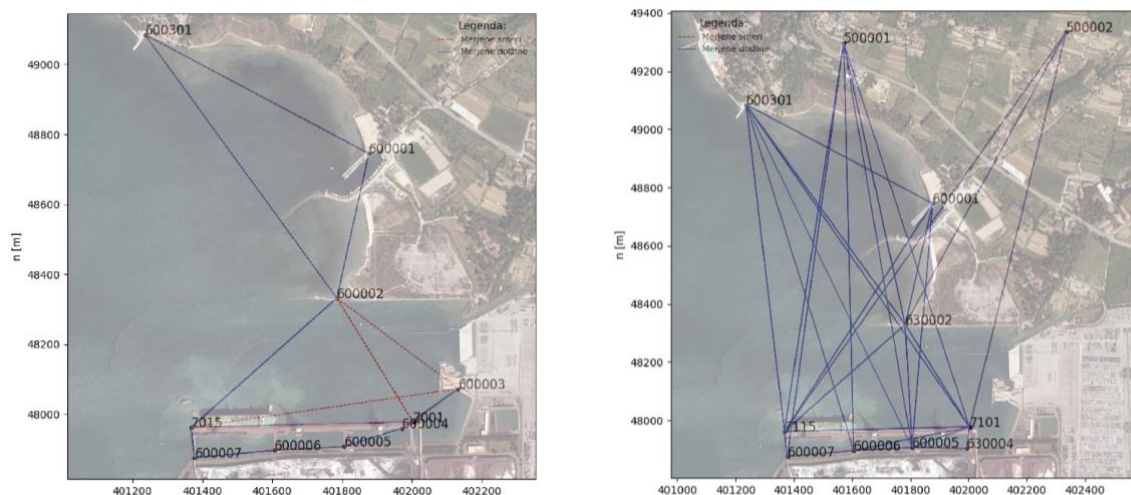


Slika 3: Prerez kamninske sestave morskega dna v Luki koper pri načrtovanju gradnje posameznega pomola (Oddaja ugriznimo znanost, izr. prof. dr. Janko Logar, UL FGG)

1.2 Vzpostavitev položajne geodetske mreže

V letu 2008 se je pričelo z izvajanjem kontrolnih meritev stabilnosti posameznih konstrukcij pomolov. Za ta namen je bila vzpostavljena položajna in višinska geodetska mreža.

Vzpostavljena položajna geodetska mreža je obsegala osnovno geodetsko mrežo referenčnih točk in mrežo kontrolnih točk, razporejenih po pomolu in pregradah znotraj območja pristanišča. Osnovno referenčno položajno geodetsko mrežo, vzpostavljeno leta 2008, je sestavljalo deset referenčnih točk in sicer: 600301, 600001, 600002, 600003, 600004, 600005, 600006, 600007, 7001 in 7015.



Slika 4: Referenčne točke prve in zadnje izmere položajne geodetske mreže Luke Koper

Za ugotavljanje stabilnosti referenčnih in kontrolnih točk na območju II. pomola Luke Koper, so bila za izmero upoštevana priporočila geotehničnih opazovanj za I. stopnjo natančnosti

terestrične horizontalne izmere, v katere spada ugotavljanje natančnosti premikov geotehničnih objektov reda velikosti 2 – 10 cm (Koler et al., 2010, Savšek et al., 2010).

Glede na zagotovitev trdnosti konstrukcije posameznega pomola se postavlja vprašanje, kakšna je stabilnost osnovne položajne geodetske mreže skozi celotno obdobje opravljenih terminskih izmer. Posvetili se bomo ugotavljanju problematike stabilnosti osnovne položajne referenčne geodetske mreže, njenim rešitvam in morebitni izboljšavi oziroma sanaciji. Služila bo kot nadaljne izhodišče za meritve položajne mreže kontrolnih točk na posameznih pregradah in pomolu.

1.2.1 Oblike mrež po letih

Iz preglednice 1 je razvidno, da je bilo v obdobju med letoma 2008 in 2020 opravljenih sedemnajst terminskih izmer. Izmere so si časovno sledile približno na dve leti. V letu 2008 je bilo opravljenih pet izmer, leta 2010 štiri, leta 2012, 2015, 2016 in 2018 po ena in v letu 2017 in 2020 po dve izmeri.

Preglednica 1: Število opravljenih meritev posamezne mreže skozi leta

Leto izmere Izmera	2008					2010				2012	2015	2016	2017		2018	2020	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Št. merjenih smeri	28	21	27	27	38	30	34	37	21	13	33	26	21	30	31	43	52
Št. merjenih dolžin	23	22	27	27	36	32	35	40	22	14	33	26	20	32	31	45	51
Št. koordinatnih neznank	20	20	20	20	20	20	20	20	18	16	20	20	18	20	20	22	22
Defekt ranga mreže	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Št. nadštevilnih opazovanj	23	16	28	28	43	31	39	43	20	8	39	26	18	37	35	58	73

V posameznih terminskih izmerah je skozi celotno časovno obdobje v posamezni osnovni mreži nastopalo različno število referenčnih točk. Razlogi temu so bile točke, ki so bile na novo vzpostavljene kot nadomestne, zaradi uničenja ali onemogočanja opazovanja vizure med posameznimi referenčnimi točkami (preglednica 2).

Preglednica 2: Pregled identičnih referenčnih točk izmere skozi celotno časovno obdobje meritev

Leto izmere	2008					2010				2012	2015	2016	2017		2018	2020	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
600001	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
600301	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
600002	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
610002	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne
620002	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne
630002	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
600003	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Ne
610003	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Ne
620003	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
630003	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

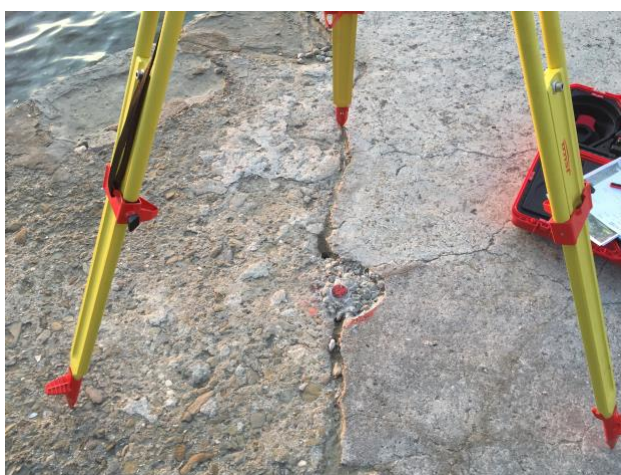
Leto izmere	2008					2010				2012	2015	2016	2017		2018	2020	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
600004	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
610004	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne
630004	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da
600005	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
600006	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
600007	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
7001	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne
7101	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da
7015	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne
7115	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da
500001	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
500002	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
Točka je bila uporabljena v tekoči izmeri						Da											
Točka ni bila uporabljena v tekoči izmeri						Ne											

Kot lahko vidimo, so skozi celotno časovno obdobje izmere med letoma 2008 in 2020, v celoti ohranjene naslednje referenčne točke: 600001, 600301, 600005, 600006 in 600007. Ostale točke so bile skozi celotno časovno obdobje poteka izmer uničene in vzpostavljene na novo, kot je to razvidno pri točkah 600002, 600004, 7001 in 7015. Točka 600003 je bila v nekaterih terminskih izmerah izpuščena iz meritev zaradi nedostopnosti in nadomeščena s točkami 610003, 620003 in 630003. V zadnji, sedemnajsti, izmeri v letu 2020 sta bili dodatno vzpostavljeni še referenčni točki 500001 in 500002.

2. STABILIZACIJA IN SIGNALIZACIJA TOČK TER UPORABLJEN INŠTRUMENTARIJ

2.1 Stabilizacija in signalizacija točk

Osnovno referenčno položajno geodetsko mrežo, ki je bila vzpostavljena leta 2008, so tvorili različni načini stabilizacije. Točki 600001 in 600301, ki sta bili vzpostavljeni na pomolih izven območja pristanišča, sta bili stabilizirani z medeninastim kovinskim čepom premera 5 cm (Slika 5 – 6). Preostale referenčne točke mreže znotraj pristanišča Luke Koper so bile stabilizirane z medeninastim kovinskim čepom premera 5 cm (slika 7).



Slika 5: Stabilizacija referenčne točke 600301 na območju pomola kampa Adria leta 2020 (Geodetska družba d.o.o.)

Referenčna točka 600301 je bila stabilizirana na območju pomola kampa Adria, točka 600001 je bila stabilizirana na začetku pomola Sv. Katarine in točka 600002 na območju Pokopališča školjk v občini Ankaran. Referenčne točke 600003, 600004, 600005, 600006, 600007, 7001 in 7015 so bile trajno stabilizirane na II. pomolu znotraj Luke Koper.

Za signalizacijo osnovnih točk geodetske mreže so bili uporabljeni stativi s podnožji in reflektorji znamke Leica tipa GPR121.



Slika 6: Signalizacija referenčne točke 600001 na začetku pomola Sv. Katarine leta 2020 (Geodetska družba d.o.o.)



Slika 7: Signalizacija referenčne točke 7001 v izmeri leta 2015 (Geodetska družba d.o.o.)



Slika 8: Vzpostavitev signalizacije kontrolnih točk na pomolu znotraj Luke Koper leta 2008 (Geodetska družba d.o.o.)



Slika 9: Merilček relativnih meritev med stikom pomola znotraj Luke Koper leta 2008 (Geodetska družba d.o.o.)

2.2 Uporabljen inštrumentarij

V mreži je bilo v posamezni izmeri skozi različno časovno obdobje uporabljenih več različnih tipov inštrumentov, ki ga podajamo v Preglednici 3.

Preglednica 3: Uporabljeni tipi inštrumentov s podatkom o natančnosti po letih

Leto izmere	2008					2010			
Izmera	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Tip inštrumenta	Wild TC1600	Wild TC1600	Wild TC1600	Wild TC1600	Wild TC1600	Leica TCRP 1201	Wild TC1600	Wild TC1600	Leica TCRP 1201
Kotna natančnost	1.5"	1.5"	1.5"	1.5"	1.5"	1"	1.5"	1.5"	1"
$\sigma_{ISO\ THEO-HZ,V}$									
Dolžinska natančnost	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	1 mm; 1.5 ppm	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	1 mm; 1.5 ppm
$\sigma_{ISO\ EDM}$									

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

Leto izmere	2012	2015	2016	2017		2018	2020	
Izmera	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
Tip inštrumenta	Wild TC1600	Wild TC1600	Leica TCRM 1203	Leica TCRM 1203	Leica TCRM 1203	Leica TCRP 1201	Leica TCRP 1201	Leica TCRP 1201
Kotna natančnost	1.5"	1.5"	3"	3"	3"	1"	1"	1"
$\sigma_{ISO\ THEO-HZ,V}$								
Dolžinska natančnost	3 mm; 2 ppm	3 mm; 2 ppm	1 mm; 1.5 ppm	1 mm; 1.5 ppm	1 mm; 1.5 ppm	1 mm; 1.5 ppm	1 mm; 1.5 ppm	1 mm; 1.5 ppm
$\sigma_{ISO\ EDM}$								

3. ZAGOTOVITEV GEODETSKEGA DATUMA

V geodetskih mrežah se soočamo z definicijo geodetskega datuma. Geodetski datum nam podaja najmanjše število parametrov, ki nam zagotavljajo dovolj dobro določitev novih koordinat točk v posamezni geodetski mreži. Zagotovitev geodetskega datuma nam podajo različni parametri: to so lahko opazovanja, lahko so dane količine (koordinate danih točk), torej so notranje količine (v primeru prostih mrež) ali pa zunanja opazovanja. Zagotovljen mora biti tako, da bo določen z najmanjšim številom parametrov, saj v tem primeru ne bo vplival na geometrijo geodetske mreže. V primeru, ko imamo določenih več datumskih parametrov kot je to potrebno, govorimo o predoločenem geodetskem datumu. O poddoločenem geodetskem datumu govorimo, ko imamo premalo datumskih parametrov (Pavlovčič-Prešeren, 2020).

Matematični model izravnave, kjer geodetski datum ni ustrezno definiran oziroma ne zagotovi odprave defekta datuma, pripelje do singularne vrednosti matrike normalnih enačb N , kar pomeni, da matrika ni polnega ranga. Pri tem nam različni tipi geodetskih mrež, dajo različno število potrebnih datumskih parametrov (preglednica 4) (Pavlovčič-Prešeren, 2020).

Preglednica 4: Datumski parametri pri različnih vrstah geodetskih mrež (Marjetič, Stopar, 2007)

Tip mreže	Datumski parametri	Defekt datuma
1D višinska mreža	1 translacija (vzdolž osi $z - t_z$)	1
2D trilateracijska mreža	2 translaciji (vzdolž osi $x - t_x$ in osi $y - t_y$) 1 rotacija (okrog osi $z - \omega_z$)	3
2D triangulacijska mreža	2 translaciji (vzdolž osi $x - t_x$ in osi $y - t_y$) 1 rotacija (okrog osi $z - \omega_z$) 1 merilo (s)	4
3D geodetska mreža	3 translacije (vzdolž osi $x - t_x$, $y - t_y$ in $z - t_z$) 3 rotacije (okrog osi $x - t_x$, $y - t_y$ in $z - t_z$) 1 merilo (s)	7

3.1 Zagotovitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi

Če geodetski datum zagotovimo z notranjimi vezmi, govorimo o prosti geodetski mreži. Njen datum se navezuje na neko fiktivno točko, ki je težišče same mreže, fiktivni azimut in fiktivno dolžino. Pri tem je treba upoštevati, da v 2D položajni geodetski mreži notranje vezi izpolnjujejo naslednje pogoje (Marjetič, Stopar, 2007):

- koordinate težišča mreže se po izravnavi ne smejo spremeniti,
- geodetska mreža se glede na njeno težišče ne sme zasukati,
- merilo geodetske mreže se po izravnavi ne sme spremeniti.

Izhodišče so enačbe podobnostne transformacije, iz katerih sestavimo vezne enačbe. Zadostiti je potrebno pogoju, da je vsota kvadratov popravkov približnih vrednosti neznank minimalna:

$$\Delta^T \Delta \Rightarrow \min. \quad (1)$$

kjer je:

Δ ... vektor popravkov približnih vrednosti neznank.

V primeru 2D ravninske geodetske mreže, izpeljemo vezne enačbe izravnave z notranjimi vezmi med neznankami s štirimi datumskimi parametri (preglednica 4), kjer imamo dane približne koordinate točk (Marjetič, Stopar, 2007):

$$y_i^0, x_i^0 \quad i = 1, \dots, m \text{ (število točk)}. \quad (2)$$

S podobnostno transformacijo izvedemo povezavo med izravnanimi (y_i, x_i) in približnimi koordinatami (y_i^0, x_i^0) , s pripadajočimi transformacijskimi parametri: kot zasuka ω_z , merilo mreže s in premik mreže vzdolž posamezne koordinatne osi t_y in t_x (Marjetič, Stopar, 2007):

$$\begin{bmatrix} y_i \\ x_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_y \\ t_x \end{bmatrix} + s \cdot \begin{bmatrix} \cos \omega_z & \sin \omega_z \\ -\sin \omega_z & \cos \omega_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_i^0 \\ x_i^0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Pričakujemo lahko, da bodo v mreži prisotni majhni zasuki $\delta\omega_z$ in sprememba merila δs , zato ju lahko povežemo z izrazoma (Marjetič, Stopar, 2007):

$$\delta\omega_z = \omega_z - \omega_z^0 \text{ in } \delta s = s - s^0. \quad (4)$$

Če predpostavljamo, da je $\delta\omega_z$ majhen kot in zanemarimo člene, v katerih nastopajo produkti popravkov približnih vrednosti neznanih transformacijskih parametrov, lahko v matrični obliki zapišemo:

$$\begin{bmatrix} \delta y_i \\ \delta x_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_i^0 & y_i^0 \\ 0 & 1 & -y_i^0 & x_i^0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t_y \\ t_x \\ \delta\omega_z \\ \delta s \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Pogoj, da se mreža v povprečju ne premakne lahko zapišemo:

$$\sum_{i=1}^m \delta y_i = 0, \quad \sum_{i=1}^m \delta x_i = 0. \quad (6)$$

Pogoj, da se mreža v povprečju ne zasuka lahko zapišemo:

$$\sum_{i=1}^m (x_i^0 \delta y_i - y_i^0 \delta x_i) = 0. \quad (7)$$

Pogoj, da se velikost mreže v povprečju ne spremeni, lahko zapišemo:

$$\sum_{i=1}^m (y_i^0 \delta y_i + x_i^0 \delta x_i) = 0. \quad (8)$$

Enačbe od (6) do (8) lahko zapišemo v matrični obliki veznih enačb, katere vrstice v datumski matriki $\mathbf{H}^T$ normiramo (Ambrožič, 2019):

$$\mathbf{H}^T \Delta = \mathbf{0}, \quad (9)$$

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{m} & 0 & 1/\sqrt{m} & 0 & \cdots & 1/\sqrt{m} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{m} & 0 & 1/\sqrt{m} & \cdots & 0 & 1/\sqrt{m} \\ -\eta_1 & \xi_1 & -\eta_2 & \xi_2 & \cdots & -\eta_m & \xi_m \\ \xi_1 & \eta_1 & \xi_2 & \eta_2 & \cdots & \xi_m & \eta_m \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$x_s = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_k \quad \text{in} \quad y_s = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_k, \quad k = 1, \dots, m \quad (11) \text{ in } (12)$$

$$\bar{x}_k = x_k - x_s \quad \text{in} \quad \bar{y}_k = y_k - y_s, \quad k = 1, \dots, m \quad (13) \text{ in } (14)$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\sum_{k=1}^m (\bar{x}_k^2 + \bar{y}_k^2)}}, \quad (15)$$

$$\xi_k = c \cdot \bar{x}_k \quad \text{in} \quad \eta_k = c \cdot \bar{y}_k, \quad (16) \text{ in } (17)$$

kjer je:

m ... število vseh novih točk v mreži.

V primeru 2D kombinirane kombinirane mreže ali trilateracijske geodetske mreže je potrebno iz matrike $\mathbf{H}^T$ odstraniti četrto vrstico.

3.2 Zagotovitev geodetskega datuma z zunanjimi vezmi

Pri zagotovitvi geodetskega datuma z zunanjimi vezmi, je potrebno definirati geodetski datum z minimalnim številom datumskih parametrov. To pomeni, da zagotovimo toliko datumskih parametrov, kot je to potrebno. V primeru, ko zagotovimo več datumskih parametrov, kot je defekt datuma geodetske mreže, posegamo v notranjo geometrijo same geodetske mreže. Takšna zagotovitev geodetskega datuma ni priporočljiva, saj vodi v predoločenost geodetskega datuma (Marjetič, Stopar, 2007).

Za ugotavljanje premikov med terminskimi izmerami v 2D triangulacijski geodetski mreži, potrebujemo največ štiri datumske parametre, ki jih lahko zagotovimo z y in x koordinato dveh referenčnih točk. V primeru 2D trilateracijske mreže potrebujemo največ tri datumske

parametre, saj je merilo geodetske mreže določeno z merjenimi dolžinami. Datumske parametre v tem primeru lahko zagotovimo z y in x koordinato ene referenčne točke T_1 in smerjo proti drugi referenčni točki T_2 z veznimi enačbami (Marjetič, Stopar, 2007).

Vezna enačba, da se točka T_1 ne premakne, ima obliko (Marjetič, Stopar, 2007):

$$\delta y_1 = 0, \delta x_1 = 0. \quad (18)$$

Vezna enačba, da se smer med točko T_1 in T_2 ne spremeni, ima obliko (Marjetič, Stopar, 2007)

$$v_{v_1^2} = \mathbf{b}_{v_1^2}^T \cdot \delta \mathbf{p}_{12} = 0, \quad (19)$$

$$\mathbf{b}_{v_1^2}^T = [-b_1 \quad -b_2 \quad b_1 \quad b_2] = \left[\frac{\Delta x_{12}^0}{(s_{12}^0)^2} \quad -\frac{\Delta y_{12}^0}{(s_{12}^0)^2} \quad -\frac{\Delta x_{12}^0}{(s_{12}^0)^2} \quad \frac{\Delta y_{12}^0}{(s_{12}^0)^2} \right]. \quad (20)$$

Vezna enačba, da se dolžina med točko T_1 in T_2 ne spremeni, ima obliko (Marjetič, Stopar, 2007):

$$v_{s_1^2} = \mathbf{b}_{s_1^2}^T \cdot \delta \mathbf{p}_{12} = 0, \quad (21)$$

$$\mathbf{b}_{s_1^2}^T = [-f_1 \quad -f_2 \quad f_1 \quad f_2] = \left[\frac{\Delta y_{12}^0}{s_{12}^0} \quad \frac{\Delta x_{12}^0}{s_{12}^0} \quad -\frac{\Delta y_{12}^0}{s_{12}^0} \quad -\frac{\Delta x_{12}^0}{s_{12}^0} \right], \quad (22)$$

$$\text{kjer je: } \delta \mathbf{p}_{12} = [\delta y_1 \quad \delta x_1 \quad \delta y_2 \quad \delta x_2]^T. \quad (23)$$

Vezne enačbe lahko zapišemo v matrični obliki:

$$\mathbf{D}^T \cdot \Delta = 0, \quad (24)$$

$$\mathbf{D}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ -b_1 & -b_2 & b_1 & b_2 & \dots & 0 & 0 \\ -f_1 & -f_2 & f_1 & f_2 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

V primeru 2D kombinirane ali trilateracijske geodetske mreže je potrebno iz matrike $\mathbf{D}^T$ odstraniti četrto vrstico.

3.2.1 Zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko – poddoločen geodetski datum

Pri zagotovitvi geodetskega datuma z dvema koordinatnima komponentama y in x ene dane točke govorimo o poddoločenemu geodetskemu datumu. Posledica tega je, da je število datumskih parametrov manjše od defekta ranga mreže, kar pripelje do težave, da je matrika normalnih enačb $\mathbf{N}$ singularna. Rešitev izravnave po metodi najmanjših kvadratov dobimo z

uporabo psevdoinverzije ali z metodo SVD, kjer je datumska matrika $\mathbf{H}^T$ (10) tvorjena kot (Ambrožič, Turk, 1994):

$$\mathbf{H}^T = [-\eta_1 \quad \xi_1 \quad -\eta_2 \quad \xi_2 \quad \cdots \quad -\eta_m \quad \xi_m] \quad (26)$$

3.2.2 Zagotovitev geodetskega datuma z več danih točk – predoločen geodetski datum

V primeru, ko imamo večje število danih koordinatnih komponent y in x danih točk kot je defekt datuma mreže, govorimo o predoločenemu geodetskemu datumu. Posledica tega je sprememba geometrije in merila geodetske mreže. V tem primeru takšna oblika izbora geodetskega datuma ni primerna za obravnavo posamezne terminske izmere.

3.3 Posredna metoda izravnave geodetske mreže po metodi najmanjših kvadratov

V geodetskih mrežah imamo opravka z večjim številom opravljenih meritev kot v njej nastopa neznanih količin. Za enolično določitev neznank, ki v matematičnem modelu izravnave ponavadi nastopajo kot koordinatne neznanke posameznih točk, uporabimo metodo najmanjših kvadratov. Metoda temelji na predpostavki, da je vsota (uteženih) kvadratov popravkov opazovanj minimalna:

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \Rightarrow \min. \quad (27)$$

V matematičnem modelu povežemo funkcijske povezave med meritvami in neznankami. Matematični model razdelimo na funkcionalni in stohastični model.

Funkcionalni linearni model posredne izravnave merjenih količin, ki povezujejo posamezno meritev z neznankami, v 2D kombinirani geodetski mreži v obliki enačb popravkov posamezne meritve zapišemo kot (Grigillo, Stopar, 2003):

- za merjeno horizontalno dolžino:

$$S_{ij} - \sqrt{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} = 0, \quad (28)$$

- za merjeno horizontalno smer:

$$\alpha_{ij} - \operatorname{atan}\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right) + Z_i = 0. \quad (29)$$

Linearizirana oblika enačbe popravkov za merjeno horizontalno dolžino (28) je:

$$v_{S_{ij}} + \frac{\Delta x_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \Delta x_i + \frac{\Delta y_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \Delta y_i - \frac{\Delta x_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \Delta x_j - \frac{\Delta y_{ij}^0}{S_{ij}^0} \cdot \Delta y_j = S_{ij}^0 - S_{ij}. \quad (30)$$

Linearizirana oblika enačbe popravkov za merjeno horizontalno smer (29) je:

$$v_{\alpha_{ij}} - \frac{\Delta y_{ij}^0}{s_{ij}^0} \cdot \Delta x_i + \frac{\Delta x_{ij}^0}{s_{ij}^0} \cdot \Delta y_i + \frac{\Delta y_{ij}^0}{s_{ij}^0} \cdot \Delta x_j - \frac{\Delta x_{ij}^0}{s_{ij}^0} \cdot \Delta y_j + \Delta Z_i^0 = \alpha_{ij}^0 - \alpha_{ij}, \quad (31)$$

kjer je:

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

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

Z_i ... orientacijski kot na točki i ,

y_i, x_i ... koordinati točke i ,

y_j, x_j ... koordinati točke j ,

$v_{s_{ij}}$... popravek merjene dolžine med točko i in j ,

$v_{\alpha_{ij}}$... popravek opazovane horizontalne smeri med točko i in j ,

ΔZ_i^0 ... popravek približne vrednosti orientacijske neznanke na točki i ,

$\Delta y_i, \Delta x_i, \Delta y_j, \Delta x_j$... popravki približnih vrednosti koordinat točk i in j ,

$s_{ij}^0 = \sqrt{(\Delta y_{ij}^0)^2 + (\Delta x_{ij}^0)^2}$... približna dolžina, izračunana iz približnih vrednosti koordinat med točko i in j ,

$\alpha_{ij}^0 = \text{atan}\left(\frac{\Delta y_{ij}^0}{\Delta x_{ij}^0}\right) - Z_i^0$... približna smer, izračunana iz približnih vrednosti koordinat med točko i in j ,

Z_i^0 ... približna vrednost orientacijske neznanke na točki i ,

$\Delta y_{ij}^0 = y_j^0 - y_i^0$... koordinatna razlika iz približnih vrednosti koordinat med točko i in j ,

$\Delta x_{ij}^0 = x_j^0 - x_i^0$... koordinatna razlika iz približnih vrednosti koordinat med točko i in j ,

3.3.1 Gauß-Markov model izravnave

Gauß-Markov model izravnave je linearen matematični model, ki ga sestavljajo funkcijske in stohastične povezave spremenljivk, vključenih v model. Povezuje slučajni vektor opazovanj $\mathbf{l}$ s slučajnim vektorjem neznank Δ (Grigillo, Stopar, 2003):

$$\mathbf{E}(\mathbf{l}) = \mathbf{B}\Delta, \quad (32)$$

$$\mathbf{D}(\mathbf{l}) = \mathbf{P}^{-1} \cdot \sigma_0^2, \quad (33)$$

kjer je:

I ... vektor opazovanj,

E(I) ... pričakovana vrednost slučajnega vektorja opazovanj,

D(I) ... razpršenost slučajnega vektorja opazovanj (variančno-kovariančna matrika opazovanj),

B ... matrika koeficientov enačb popravkov,

Δ ... vektor neznank ali popravkov približnih vrednosti neznank,

P ... matrika uteži opazovanj,

σ_0^2 ... referenčna varianca a priori.

Predoločen sistem:

$$\mathbf{v} + \mathbf{B} \cdot \Delta = \mathbf{f}, \quad (34)$$

lahko rešimo po metodi najmanjših kvadratov, ob kateri moramo izpolniti pogoj:

$$\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \Rightarrow \min., \quad (35)$$

kjer je:

v ... vektor popravkov opazovanj,

B ... matrika koeficientov enačb popravkov,

Δ ... vektor popravkov približnih vrednosti neznank in

f ... vektor odstopanj.

V primeru geodetske mreže je potrebno, kjer so bile merjene horizontalne smeri na posameznem stojišču, eliminirati orientacijske neznanke (31). Eliminacijo orientacijskih neznank na posameznem stojišču lahko izvedemo na več različnih načinov. Eden izmed načinov je uporaba Gaußove metode eliminacije orientacijskih neznank:

$$v_{\alpha_{ij}} + a_{ij} \cdot \Delta x_i + b_{ij} \cdot \Delta y_i + a_{ji} \cdot \Delta x_j + b_{ji} \cdot \Delta y_j + \Delta Z_i^0 = f_{ij}, \quad (36)$$

kjer je:

$$a_{ij} = -\frac{\Delta y_{ij}^0}{s_{ij}^0}, \quad b_{ij} = \frac{\Delta x_{ij}^0}{s_{ij}^0}, \quad a_{ji} = -a_{ij}, \quad b_{ji} = -b_{ij} \dots \text{koeficienti enačb popravkov v matriki } \mathbf{B},$$

$$f_{ij} = \alpha_{ij}^0 - \alpha_{ij} \dots \text{odstopanje},$$

nadomestimo z reduciranimi enačbami popravkov (Ambrožič, 2019):

$$v_{\alpha_{ij}} + \text{red } a_{ij} \cdot \Delta x_i + \text{red } b_{ij} \cdot \Delta y_i + \text{red } a_{ji} \cdot \Delta x_j + \text{red } b_{ji} \cdot \Delta y_j = \text{red } f_{ij}, \quad (37)$$

kjer je :

$$\text{red } a_{ij} = a_{ij} - \frac{[a_{ij}]}{s}, \quad \text{red } b_{ij} = b_{ij} - \frac{[b_{ij}]}{s}, \quad \text{red } f_{ij} = f_{ij} - \frac{[f_{ij}]}{s}, \quad i = 1, \dots, s \quad (38)$$

s ... število merjenih smeri na posameznem stojišču,

red a_{ij} , red b_{ij} ... reducirani koeficienti enačb popravkov za smeri,

red f_{ij} ... reducirani koeficienti odstopanja.

Ob zagotovitvi geodetskega datuma z notranjimi ali zunanjimi vezmi:

$$\mathbf{H}^T \cdot \Delta = \mathbf{0} \quad \text{in} \quad \mathbf{D}^T \cdot \Delta = \mathbf{0}, \quad (39) \text{ in } (40)$$

je rešitev funkcionalnega in stohastičnega modela podana kot (Sterle, 2019):

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B}, \quad (41)$$

$$\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{H}\mathbf{H}^T)^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T\mathbf{H}\mathbf{H}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T \quad \text{in} \quad \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = (\mathbf{N} + \mathbf{D}\mathbf{D}^T)^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T\mathbf{D}\mathbf{D}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T, \quad (42) \text{ in } (43)$$

$$\Delta = \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \mathbf{B}^T \mathbf{f}, \quad (44)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{f} - \mathbf{B}\Delta, \quad (45)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{I} - \mathbf{B}\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \mathbf{B}^T \mathbf{P}, \quad (46)$$

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}, \quad (47)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \mathbf{Q} - \mathbf{B}\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} \mathbf{B}^T \quad \text{in} \quad \Sigma_{\mathbf{v}\mathbf{v}} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}}, \quad (48) \text{ in } (49)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{i}\mathbf{i}} = \mathbf{Q} - \mathbf{Q}_{\mathbf{v}\mathbf{v}} \quad \text{in} \quad \Sigma_{\mathbf{i}\mathbf{i}} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\mathbf{i}\mathbf{i}}. \quad (50) \text{ in } (51)$$

kjer je:

$\mathbf{R}$... matrika nadštevilnosti,

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

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

$\mathbf{Q}_{\mathbf{i}\mathbf{i}}$... matrika kofaktorjev izravnanih opazovanj,

$\Sigma_{\Delta\Delta}$... kovariančna matrika neznank,

Σ_{vv} ... kovariančna matrika popravkov opazovanj,

$\Sigma_{\hat{v}}$... kovariančna matrika izravnanih opazovanj.

Referenčno varianco a-posteriori izračunamo kot:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{r}, \quad (52)$$

$$r = n - n_0 + d, \quad (53)$$

kjer je:

d ... defekt datuma geodetske mreže,

r ... število nadštevilnih opazovanj, oziroma število prostostnih stopenj v matematičnem modelu,

n_0 ... minimalno število opazovanj, potrebnih za rešitev sistema,

n ... število opazovanj.

3.4 Ocena kakovosti geodetske mreže

3.4.1 Globalne mere kakovosti geodetske mreže

Z globalnimi merami kakovosti izračunamo podatke o natančnostih celotne geodetske mreže, ki so odvisne od natančnosti samih opazovanj in geometrije geodetske mreže. Z globalnim testom, kjer sestavimo ničelno in alternativno hipotezo, primerjamo skladnost referenčne variance a-priori σ_0^2 in a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$. Pri tem ugotavljamo ali so med vsemi meritvami prisotna tudi grobo pogrešena opazovanja:

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 \text{ in} \quad (54)$$

$$H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2, \quad (55)$$

sestavimo testno statistiko:

$$T = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{\sigma_0^2} = \frac{r \cdot \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}, \quad (56)$$

testna statistika T se porazdeljuje po χ^2 porazdelitvi z izbrano stopnjo zaupanja $1 - \alpha/2$, pri r prostostnih stopnjah, kjer za stopnjo značilnosti testa običajno izberemo $\alpha = 5\%$:

$$\chi_{\alpha/2, r}^2 < T \leq \chi_{1-\alpha/2, r}^2. \quad (57)$$

V primeru, da ničelne hipoteze H_0 ne zavrnemo, lahko z verjetnostjo $1 - \alpha$ trdimo, da se referenčni varianci a-priori σ_0^2 in a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$ statistično značilno ne razlikujeta in v meritvah ni prisotnih grobo pogrešenih opazovanj.

V nasprotnem primeru, ko je $T > \chi_{1-\alpha/2,r}^2$ ali $T < \chi_{\alpha/2,r}^2$, se referenčni varianci a-priori σ_0^2 in a-posteriori $\hat{\sigma}_0^2$ statistično značilno razlikujeta z verjetnostjo $1 - \alpha$. Vzrokov za neskladje referenčnih varianc je več, lahko so v meritvah prisotna tudi grobo pogrešena opazovanja. Grobo pogrešena opazovanja poskušamo poiskati z eno izmed naslednjih metod (Ambrožič, 2020):

- Baardovo metodo (angl. Data Snooping),
- Popeovo metodo – τ test (angl. Data Screening),
- Dansko metodo.

Izračun (neničelnih) lastnih vrednosti $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_h$ matrike kofaktorjev (koordinatnih) neznank $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$ z rešitvijo karakteristične enačbe:

$$\det(\mathbf{Q}_{\Delta\Delta} - \mathbf{I} \cdot \lambda_i) = 0, \quad i = 1, \dots, u \quad (58)$$

kjer je:

$h = u - d$... rang matrike $\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}$,

$u = 2 \cdot \text{št. novih točk}$... število (koordinatnih) neznank v 2D mreži.

Stopnja homogenosti in izotropnosti v geodetski mreži je:

$$homo = \frac{\lambda_{min}}{\lambda_{max}} \quad \text{in} \quad izo = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} \quad (59) \text{ in } (60)$$

Srednja varianca vseh (koordinatnih) neznank je:

$$\bar{\sigma}_{\Delta}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{h} \cdot sled(\mathbf{Q}_{\Delta\Delta}) = \frac{1}{h} \cdot sled(\mathbf{\Sigma}_{\Delta\Delta}). \quad (61)$$

Srednja standardna deviacija položaja vseh točk v 2D geodetski mreži je:

$$\bar{\sigma}_{\Delta} = \bar{\sigma}_{\Delta} \cdot \sqrt{2}. \quad (62)$$

Generalizirana varianca vseh (koordinatnih) neznank je:

$$\bar{\bar{\sigma}}_{\Delta}^2 = \sqrt[h]{\hat{\sigma}_0^2 \cdot det(\mathbf{Q}_{\Delta\Delta})} = \sqrt[h]{det(\mathbf{\Sigma}_{\Delta\Delta})}. \quad (63)$$

Največja a in najmanjša b polos standardnega hiperelipsoida pogreškov za 2D geodetsko mrežo z izbrano stopnjo zaupanja $1 - \alpha$ in znano σ_0 je:

$$a = \sigma_0 \sqrt{\chi^2_{1-\alpha/2,h}} \cdot \sqrt{\lambda_{max}} \quad \text{in} \quad b = \sigma_0 \sqrt{\chi^2_{1-\alpha/2,h}} \cdot \sqrt{\lambda_{min}}. \quad (64) \text{ in } (65)$$

3.4.2 Lokalne mere kakovosti geodetske mreže

Pri lokalnih merilih natančnosti izračunamo podatek o posamezni natančnosti (koordinatne) neznanke ali skupini neznank, ki je odvisna od natančnosti samih opazovanj in geometrijske razporeditve geodetske mreže. Pri tem ne obravnavamo celotne kovariančne matrike (koordinatnih) neznank $\Sigma_{\Delta\Delta}$, ampak samo tiste odgovarjajoče elemente podmatrike za točko i vzdolž diagonale kovariančne matrike (koordinatnih) neznank $\Sigma_{\Delta\Delta}$, ki se nanašajo na obravnavano točko ali skupino točk (Ambrožič, 2020):

$$\Sigma_{\Delta\Delta_i} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_i}^2 & \sigma_{yx_i} \\ \sigma_{xy_i} & \sigma_{x_i}^2 \end{bmatrix} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \begin{bmatrix} q_{yy_i} & q_{yx_i} \\ q_{xy_i} & q_{xx_i} \end{bmatrix}. \quad (66)$$

Izračun standardne deviacije koordinatne neznanke y oziroma x točke i :

$$\sigma_{y_i} = \sqrt{\Sigma_{\Delta\Delta_{y_i}}} \quad \text{in} \quad \sigma_{x_i} = \sqrt{\Sigma_{\Delta\Delta_{x_i}}}. \quad (67) \text{ in } (68)$$

Izračun srednjega položajnega pogreška točke i po Helmertu:

$$\sigma_{POL_i} = \sqrt{\sigma_{y_i}^2 + \sigma_{x_i}^2} \quad (69)$$

Izračun elementov standardne elipse pogreškov točke i :

$$a = \sigma_0 \sqrt{\chi^2_{1-\alpha,2}} \cdot \sqrt{\lambda_1}, \quad b = \sigma_0 \sqrt{\chi^2_{1-\alpha,2}} \cdot \sqrt{\lambda_2} \quad \text{in} \quad \theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2 \cdot \sigma_{yx_i}}{\sigma_{x_i}^2 - \sigma_{y_i}^2}\right) \quad (70), (71) \text{ in } (72)$$

kjer je:

σ_{y_i} ... standardna deviacija izravnane y koordinate točke i ,

σ_{x_i} ... standardna deviacija izravnane x koordinate točke i ,

σ_{yx_i} ... kovarianca točke i ,

a ... velika polos standardne elipse pogreškov,

b ... velika polos standardne elipse pogreškov,

θ ... smerni kot zasuka velike polosi standardne elipse pogreškov.

Enačbe od 54 do 72 so povzete po Ambrožič (2020).

3.5 Določitev premikov med posameznimi terminskimi izmerami

Pri določitvi premikov med posameznimi terminskimi izmerami je potrebna predhodna ocena kakovosti posamezne terminske izmere. Poleg tega je potrebno zadostiti pogoju, da so identične točke pomerjene v najmanj dveh terminskih izmerah, saj tako dobimo ustrezno natančnost in izračun premika točke. Poleg koordinat posameznih točk je potrebno poznati kovariančno matriko koordinat točk za posamezno terminsko izmero. Naj bo $T_t(y_t, x_t)$ položaj točke T v času t in Σ_t pripadajoča kovariančna matrika ter $T_{t+\Delta t}(y_{t+\Delta t}, x_{t+\Delta t})$ položaj točke T v času $t + \Delta t$ in $\Sigma_{t+\Delta t}$ pripadajoča kovariančna matrika oblike (Savšek-Safić et al., 2003):

$$\Sigma_t = \begin{bmatrix} \sigma_{y_t}^2 & \sigma_{y_t x_t} \\ \sigma_{y_t x_t} & \sigma_{x_t}^2 \end{bmatrix} \quad \text{in} \quad \Sigma_{t+\Delta t} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} \\ \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} & \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2 \end{bmatrix}. \quad (73) \text{ in } (74)$$

V kolikor predpostavljamo, da so koordinate v času t nekorelirane s koordinatami v času $t + \Delta t$, lahko kovariančno matriko koordinat točke T v dveh časovno neodvisnih izmerah zapišemo:

$$\Sigma_{T_t T_{t+\Delta t}} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_t}^2 & \sigma_{y_t x_t} & 0 & 0 \\ \sigma_{y_t x_t} & \sigma_{x_t}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} \\ 0 & 0 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} & \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2 \end{bmatrix}. \quad (75)$$

Premik točke T v ravnini med dvema terminskima izmerama izračunamo po enačbi:

$$d = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} = \sqrt{(y_{t+\Delta t} - y_t)^2 + (x_{t+\Delta t} - x_t)^2}. \quad (76)$$

Če upoštevamo zakon o prenosu varianc in kovarianc, lahko varianco premika d zapišemo:

$$\sigma_d^2 = \mathbf{J}_d \Sigma_{T_t T_{t+\Delta t}} \mathbf{J}_d^T, \quad (77)$$

kjer je Jacobijeva matrika $\mathbf{J}_d$ enaka:

$$\mathbf{J}_d = \begin{bmatrix} \frac{\partial d}{\partial y_t} & \frac{\partial d}{\partial x_t} & \frac{\partial d}{\partial y_{t+\Delta t}} & \frac{\partial d}{\partial x_{t+\Delta t}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\Delta y}{d} & -\frac{\Delta x}{d} & \frac{\Delta y}{d} & \frac{\Delta x}{d} \end{bmatrix}. \quad (78)$$

Če enačbi (75) in (78) vstavimo v enačbo (77), lahko izraz za varianco premika točke T zapišemo tudi kot:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\Delta y}{d}\right)^2 (\sigma_{y_t}^2 + \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2) + 2 \frac{\Delta y \Delta x}{d^2} (\sigma_{y_t x_t} + \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}}) + \left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2 (\sigma_{x_t}^2 + \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2), \quad (79)$$

Za izbiro testne statistike T uporabimo postopek preizkušanja domnev pri stopnji značilnosti testa α (Ambrožič, 2020):

$$H_0: d = 0 \text{ točka med izmerama miruje in} \quad (80)$$

$$H_1: d \neq 0 \text{ točka se je med izmerama statistično značilno premaknila,} \quad (81)$$

kjer zapišemo testno statistiko T_1 :

$$T_1 = \frac{d}{\sigma_d}. \quad (82)$$

Testno statistiko T_1 primerjamo s T_{krit} , ki jo izračunamo s simulacijo porazdelitvene funkcije po metodi Monte Carlo. V kolikor je $T_1 \leq T_{krit}$ pomeni, da ne moremo zavrniti ničelne hipoteze H_0 ob tveganju α , kar pomeni, da premik točke ni statistično značilen. V kolikor je $T_1 > T_{krit}$ pomeni, da zavrnemo ničelno hipotezo H_0 in ob tveganju α trdimo, da je premik točke statistično značilen (Ambrožič, 2020).

Najprej generiramo vzorec neodvisnih normalno porazdeljenih spremenljivk z_1 in z_2 z uporabo metode Box in Müller (Ambrožič, 2020):

$$\mathbf{z}_i = \begin{bmatrix} z_{1i} \\ z_{2i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{-2 \ln u_{1i}} \sin(2\pi u_{2i}) \\ \sqrt{-2 \ln u_{1i}} \cos(2\pi u_{2i}) \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (83)$$

kjer sta u_{1i} , $i = 1, \dots, n$, in u_{2i} , $i = 1, \dots, n$, dva vzorca slučajnih spremenljivk U_1 in U_2 , ki sta neodvisni in porazdeljeni enakomerno na intervalu $(0,1)$, n je število simulacij oziroma številu iteracij. Nato moramo izračunani vzorec neodvisnih normalno porazdeljenih spremenljivk Z_1 in Z_2 transformirati z linearno transformacijo (Ambrožič, 2020):

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{U}^T \mathbf{z}_i \quad i = 1, \dots, n, \quad (84)$$

v vzorec odvisnih normalno porazdeljenih spremenljivk. $\mathbf{U}$ je matrika, ki jo izračunamo s Cholesky razcepom variančno-kovariančne matrike koordinatnih razlik točk iz dveh izmer (Ambrožič, 2020):

$$\Sigma_p = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta y}^2 & \sigma_{\Delta y \Delta x} \\ \sigma_{\Delta y \Delta x} & \sigma_{\Delta x}^2 \end{bmatrix} = \mathbf{U}^T \mathbf{U} \quad \text{in} \quad \mathbf{U} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta y} & \frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y}} \\ 0 & \sigma_{\Delta x} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y} \sigma_{\Delta x}} \right)^2} \end{bmatrix}. \quad (85) \text{ in } (86)$$

Vzorec odvisnih normalno porazdeljenih spremenljivk pa je tako (Ambrožič, 2020):

$$\Delta y_i = z_{1i} \sigma_{\Delta y}, \quad (87)$$

$$\Delta x_i = z_{1i} \frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y}} + z_{2i} \sigma_{\Delta x} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{\Delta y \Delta x}}{\sigma_{\Delta y} \sigma_{\Delta x}} \right)^2}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (88)$$

Potem moramo za vsak iteracijski korak i , $i = 1, \dots, n$ izračunati (Ambrožič, 2020):

$$d_i = \sqrt{\Delta y_i^2 + \Delta x_i^2}, \quad (89)$$

$$\sigma_{d_i}^2 = \left(\frac{\Delta y_i}{d_i} \right)^2 (\sigma_{y_t}^2 + \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2) + 2 \frac{\Delta y_i \Delta x_i}{d_i^2} (\sigma_{y_t x_t} + \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}}) + \left(\frac{\Delta x_i}{d_i} \right)^2 (\sigma_{x_t}^2 + \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2), \quad (90)$$

$$T_{1i} = \frac{d_i}{\sigma_{d_i}} \quad (91)$$

in T_{1i} razvrstiti po velikosti, kjer dobimo velikost varnostnega faktorja T_{krit} za posamezno izbrano točko med izbranimi izmerama pri stopnji značilnosti testa $\alpha = 5\%$ (Ambrožič, 2020). Testno statistiko lahko zapišemo tudi drugače (Savšek, 2017):

$$T_2 = \mathbf{d}^T \boldsymbol{\Sigma}_{dd}^{-1} \mathbf{d}, \quad (92)$$

Testno statistiko T_2 primerjamo s T_{krit} , ki jo izračunamo z inverzne porazdelitvene funkcije χ^2 , kjer variančno kovariančno matriko koordinatnih razlik napišemo kot (Savšek, 2017):

$$\boldsymbol{\Sigma}_{dd} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta y}^2 & \sigma_{\Delta y \Delta x} \\ \sigma_{\Delta y \Delta x} & \sigma_{\Delta x}^2 \end{bmatrix}, \quad (93)$$

in vrednosti standardnih deviacij in kovarianc koordinatnih razlik (Savšek, 2017):

$$\sigma_{\Delta y} = \sqrt{\sigma_{y_t}^2 + \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2}, \quad (94)$$

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\sigma_{x_t}^2 + \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2}, \quad (95)$$

$$\sigma_{\Delta y \Delta x} = \sigma_{y_t x_t} + \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}}, \quad (96)$$

vektor premika točke pa (Savšek, 2017):

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta x \end{bmatrix}, \quad (97)$$

kjer so vrednosti komponent vektorja premika:

$$\Delta y = y_{t+\Delta t} - y_t \quad \text{in} \quad \Delta x = x_{t+\Delta t} - x_t. \quad (98) \text{ in } (99)$$

4. PRIMER IZRAVNAVE KOMBINIRANE TRIANGULACIJSKO-TRILATERACIJSKE MREŽE LUKE KOPER

Za primerjavo med posameznimi opravljenimi izmerami je potrebno zagotoviti enoličen geodetski datum, katerega tvorijo osnovne referenčne točke geodetske mreže in nam bo podal pregled v primerjavo med posameznimi obdobji terminskih izmer. Pomembnost izbire oziroma določitve dveh stabilnih točk neposredno vpliva na položaj preostalih osnovnih referenčnih točk skozi različna časovna obdobja terminskih izmer, kar lahko posledično vodi v napačno oziroma nepravilno interpretacijo premikov. V kolikor želimo ugotoviti morebitne premike med posameznimi točkami v določenem časovnem obdobju, je potrebno zagotoviti stabilne geodetske točke z ustrezno opravljeno stabilizacijo.

Opravljen analiza ugotavljanja stabilnosti osnovne referenčne položajne geodetske mreže je obsegala obdelavo vseh sedemnajst terminskih izmer (v nadaljevanju izmer), opravljenih v časovnih obdobjih med letoma 2008 in 2020. Predhodno je bila za vsako opravljeno izmero izvedena redukcija horizontalnih smeri in redukcija dolžin na izbran referenčni nivo geodetske mreže. Upoštevani so bili meteorološki, geometrični in projekcijski popravki. Izravnava obravnavane posamezne izmere je bila opravljena po metodi najmanjših kvadratov s programskim orodjem Gem3 ver. 4.0 (Ambrožič, Turk, 2012).

Namen je bilo ugotoviti optimalni geodetski datum stabilnih parov dveh referenčnih geodetskih točk, ki nam bodo podale geodetski datum in primerjavo horizontalnih premikov skozi celotna časovna obdobja posameznih izmer. Pri zagotovitvi optimalnega geodetskega datuma smo se osredotočili na obravnavo začetne izmere, opravljene v letu 2008 in končne izmere, opravljene v letu 2020. Za zagotovitev geodetskega datuma smo uporabili različne kombinacije kot je:

- geodetski datum zagotovljen z notranjimi vezmi – prosta geodetska mreža,
- geodetski datum zagotovljen z eno dano točko – poddoločen geodetski datum,
- geodetski datum zagotovljen z zunanji vezmi – zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko in smerjo proti drugi.

Simulacijo vseh možnih kombinacij obdelav zagotovitve optimalnega geodetskega datuma smo izvedli tudi z izdelanim lastnim programskim orodjem z vsemi desetimi osnovnimi referenčnimi točkami položajne geodetske mreže na več različnih načinov. Za zagotovitev geodetskega datuma smo uporabili približne koordinate referenčnih geodetskih točk iz preglednice 5 v državnem koordinatnem sistemu D96/TM.

Preglednica 5: Približne položajne koordinate referenčnih točk kombinirane geodetske mreže

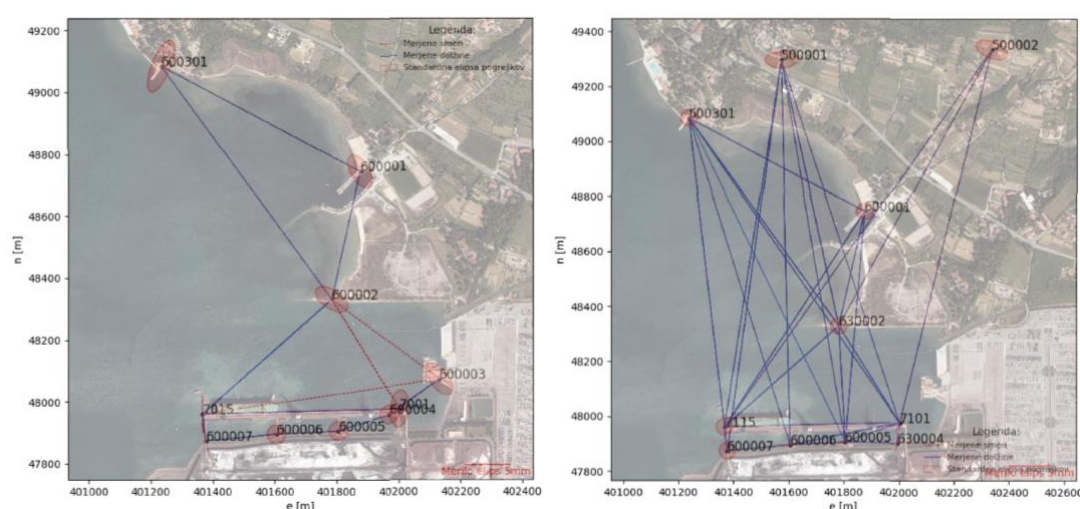
<i>Točka</i>	<i>e [m]</i>	<i>n [m]</i>
600001	401876.615	48745.201
600301	401235.645	49085.367
600002	401784.933	48331.863
610002	401774.286	48327.964
620002	401777.561	48323.714
630002	401782.614	48328.949
600003	402132.251	48072.623
610003	402090.314	48092.030
620003	402132.706	48101.856
630003	402136.216	48091.506
600004	401970.758	47959.440
610004	401995.218	47907.830
630004	401994.843	47903.144
600005	401805.975	47907.031
600006	401605.868	47896.158
600007	401377.923	47875.143
7001	402003.358	47977.096
7101	402003.287	47976.989
7015	401367.830	47961.808
7115	401367.780	47961.839
500001	401571.305	49297.015
500002	402335.542	49334.336

Po izvedenih različnih kombinacijah zagotovitve geodetskega datuma je bila opravljena analiza horizontalnih premikov med začetno in končno izmero s programskim orodjem PREMIK2 ver. 3.1 (Amrožič, Turk, Stopar, 2020). Pri izbrani stopnji značilnosti testa $\alpha = 5 \%$ lahko trdimo, da se je točka med izmerama statistično značilno premaknila, v kolikor vektor premikov presega 95 % elipso pogreškov posamezne referenčne točke v opravljeni izmeri.

Dolžina vektorja horizontalnega premika je določena kot razlika koordinat posamezne referenčne točke med izmerama (Hamza, Stopar, Ambrožič, 2020). Na podlagi analize kombinacij najbolj smiselnih horizontalnih premikov smo določili dve osnovni referenčni točki geodetske mreže, ki sta tvorili geodetski datum za vsa časovna obdobja opravljenih izmer.

4.1 Zagotovitev geodetskega datuma z notranjimi vezmi – prosta geodetska mreža

Opravljen je bila izravnava kombiniranih geodetskih mrež zagotovljenih z notranjimi vezmi v časovnem obdobju med letoma 2008 in 2020.



Slika 10: Standardne elipse pogreškov izravnave proste geodetske mreže začetne in končne izmere

Preglednica 6: Ocena kakovosti posamezne izmere zagotovljene z notranjimi vezmi

Leto izmere	2008					2010				2012	2015	2016	2017		2018	2020	
Izmera	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
$\sigma_s ['']$	1.1	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	1.5	1.6	1.6	1.3	1.4	1.0	1.0	0.8
$\sigma_D [mm]$	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2
$\sigma_{POL(sred)} [mm]$	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	2	2	1	1	1	1
$\sigma_{POL(max)} [mm]$	4	3	1	2	1	2	1	1	2	4	2	2	3	2	1	1	2
$\sigma_{POL(min)} [mm]$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Ocena kakovosti začetne in druge izmere v letu 2008 nam poda nekoliko večje vrednosti srednjega položajnega pogreška $\sigma_{POL(sred)}$ in polosi a standardne elipse pogreškov reda velikosti od 2 do 3 mm. Velikost je posledica slabše geometrijske razporeditve referenčnih točk v geodetski mreži. V drugi izmeri je položajna geodetska mreža vzpostavljena kot slepi poligon, kar je posledica odsotnosti dodatnih povezav. Rezultat tega je večja vrednost srednjega

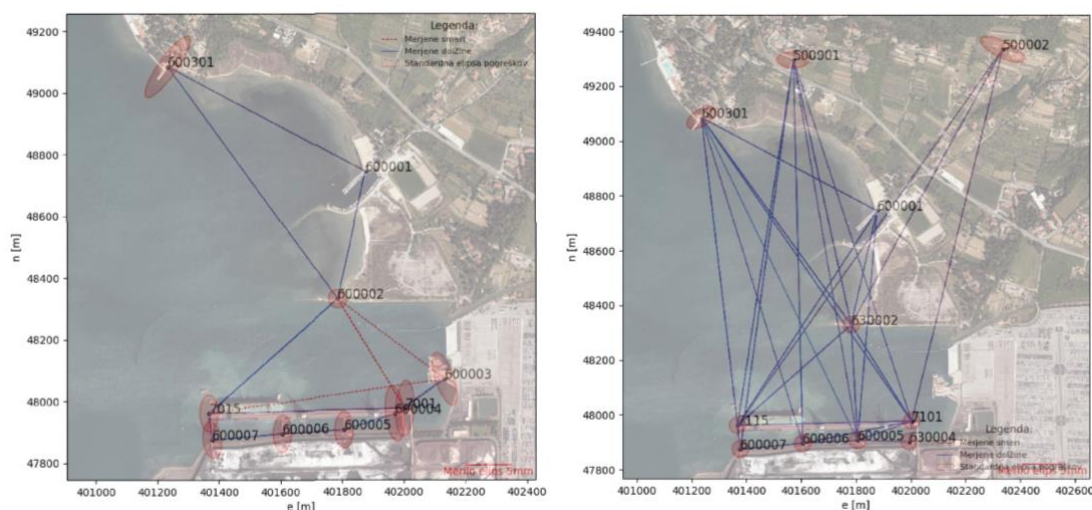
položajnega pogreška $\sigma_{POL(sred)}$ in posledično večje vrednosti standardnih elips pogreškov na začetku in koncu referenčnih točk položajne geodetske mreže. Prav tako je zaradi nekoliko slabše geometrijske razporeditve obravnavana položajna geodetska mreža v deseti izmeri, ki je bila opravljena v letu 2012. Za ostale opravljene izmere lahko opazimo, da so bile bolj kakovostno opravljene, saj so srednji položajni pogreški $\sigma_{POL(sred)}$ manjši in standardne elipse pogreškov bolj v obliki krožnice – polosi a so reda velikosti od 1 do 2 mm. Glede na vse obravnavane izmere lahko trdimo, da so bile izmere kakovostno opravljene brez prisotnosti grobih pogreškov (priloga A).

Kombinirana geodetska mreža, zagotovljena z notranjimi vezmi, nima praktičnega pomena za primerjavo med posameznimi izmerami. Ker v različnih izmerah nastopajo različne referenčne točke in tako tvorijo različen geodetski datum (z različnim težiščem in orientacijo) za posamezno izmero, sama primerjava med izmerami ni mogoča. Kljub temu nam kombinirana geodetska mreža, zagotovljena z notranjimi vezmi, omogoča dober vpogled nad morebitnimi grobimi pogreški v sami izmeri in nadzor nad njimi.

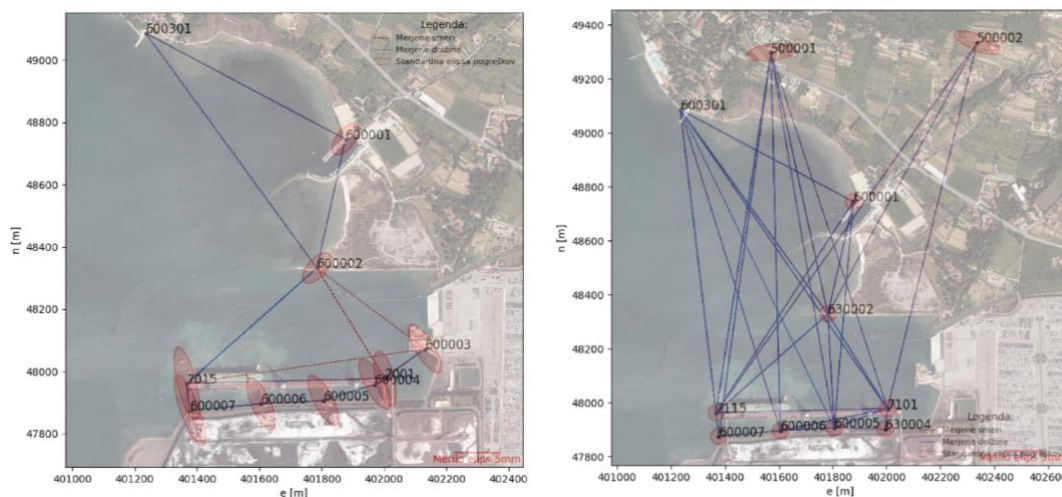
4.2 Zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko in upoštevanjem merila mreže – poddoločen geodetski datum

Zagotovitev geodetskega datuma z eno dano točko nam poda poddoločen geodetski datum. Sama taka zagotovitev rešitve geodetskega datuma ni optimalna, vendar nam lahko poda primerjavo in vpogled v horizontalne premike točk med različnimi opravljenimi izmerami.

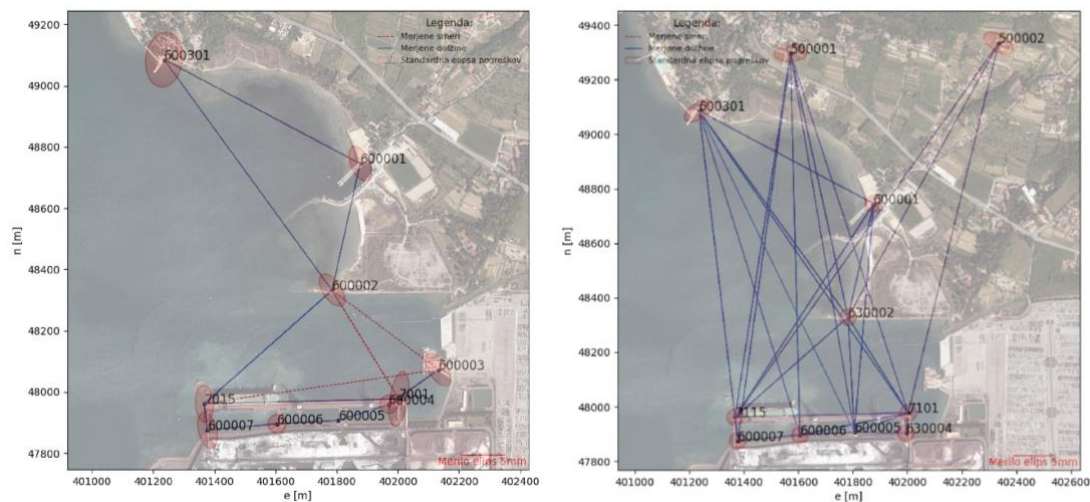
Pri obdelavi začetne in končne izmere smo geodetski datum zagotovili z referenčno točko 600001, 600301, 600005, 600006 in 600007 (slike 11 – 15), pri kateri je bilo upoštevano tudi merilo mreže. Izračunano je bilo kot razmerje med povprečjem vseh danih in merjenih dolžin v posamezni geodetski mreži.



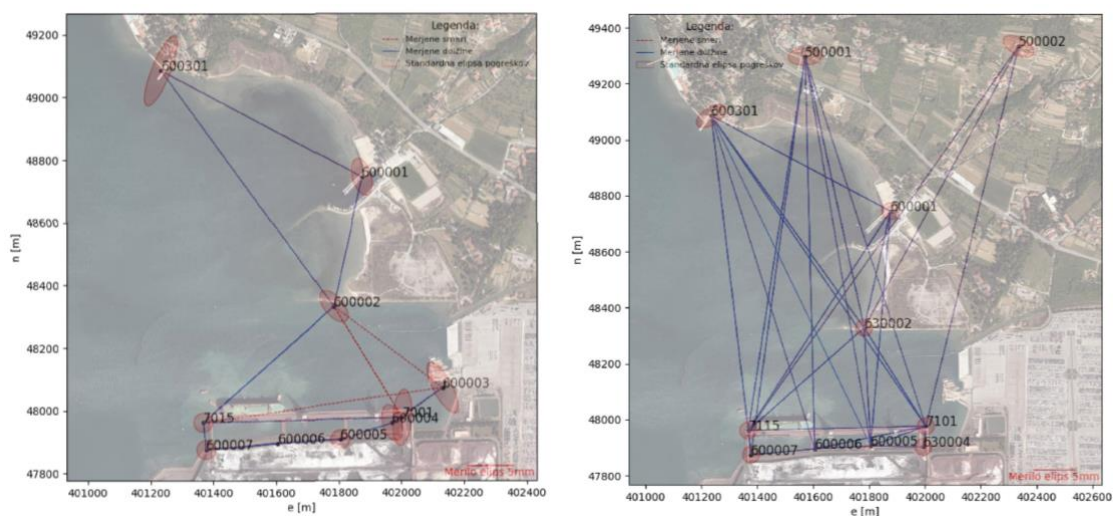
Slika 11: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600001.



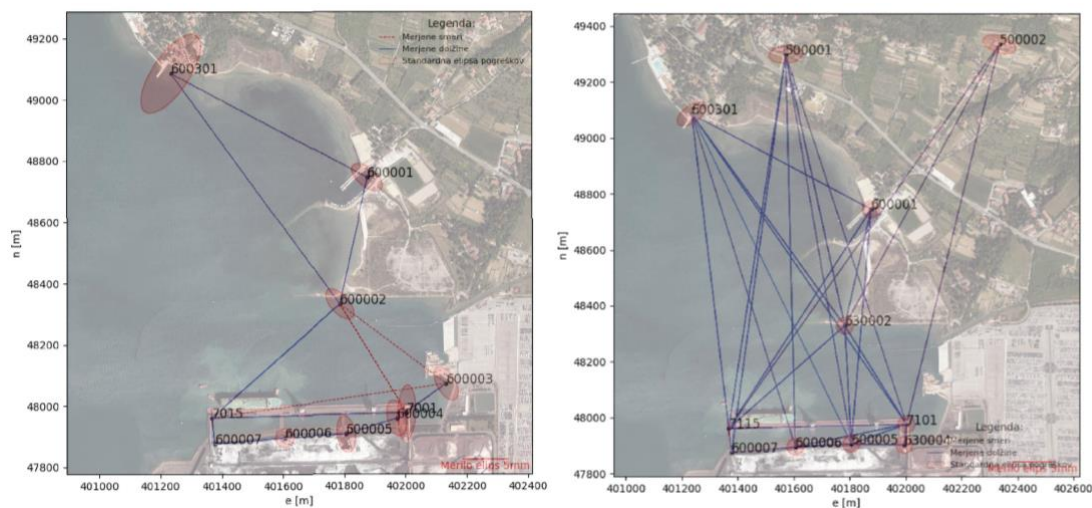
Slika 12: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600301.



Slika 13: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600005.



Slika 14: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600006.



Slika 15: Standardne elipse pogreškov izravnave začetne in končne izmere – dana točka 600007.

Preglednica 7: Ocena kakovosti različnih kombinacij začetne in končne izmere zagotovljene z eno dano točko

Izmera Dana točka	1.					17.				
	600001	600301	600005	600006	600007	600001	600301	600005	600006	600007
$\sigma_s^{[r]}$	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$\sigma_D[mm]$	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
$\sigma_{POL(sred)}[mm]$	3	3	3	2	3	2	2	1	2	2
$\sigma_{POL(max)}[mm]$	4	4	4	4	5	3	4	3	2	2
$\sigma_{POL(min)}[mm]$	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Rezultati obdelav iz preglednice 7 kažejo, da nam različne dane referenčne točke zagotavljajo dokaj enake kakovostne parametre. Najmanjši položajni pogrešek $\sigma_{POL(sred)}$ izravnave je v prvi izmeri podan z dano referenčno točko 600006. V zadnji izmeri nam najmanjši položajni pogrešek $\sigma_{POL(sred)}$ poda dana referenčna točka 600005.

V preglednici 8 so podane vsote standardnih elips pogreškov in vsote približnih vrednosti koordinatnih neznank za posamezno izravnavo, glede na izbrano dano referenčno točko v prvi in zadnji izmeri.

Preglednica 8: Vsote standardnih elips pogreškov in približnih vrednosti koordinatnih neznank za vsako dano referenčno točko pri začetni in končni izmeri

Izmera	1.					17.				
Dana točka	600001	600301	600005	600006	600007	600001	600301	600005	600006	600007
$Sum_{ab}[mm]$	31	36	28	19	29	24	24	23	22	22
$Sum_{dydx}[mm]$	28	34	22	24	22	196	263	203	162	220

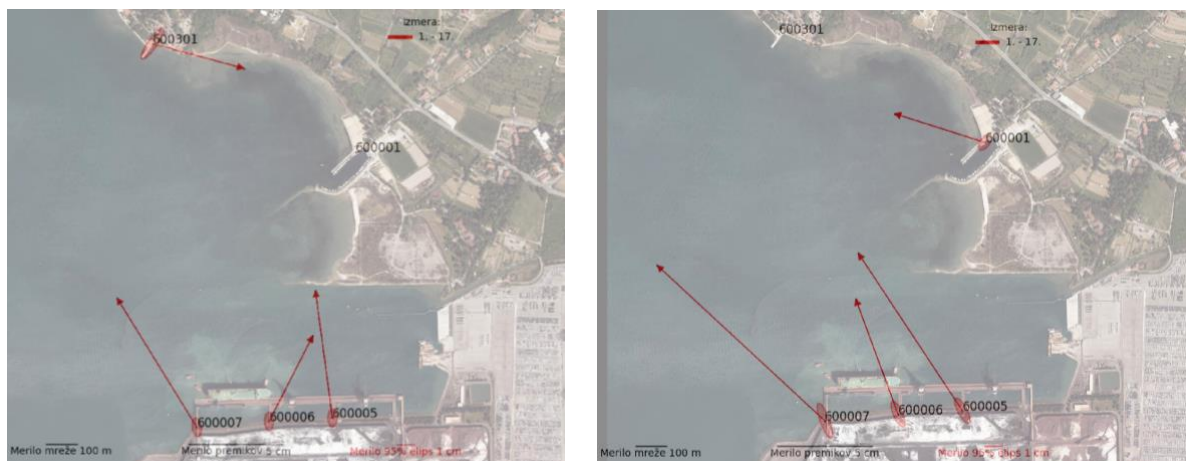
Iz rezultatov iz preglednice 8 lahko opazimo, da nam pri različnih kombinacijah danih referenčnih točk, najmanjšo vsoto standardne elipse pogreškov v prvi izmeri poda točka 600006. Vsota popravkov približnih vrednosti koordinatnih neznank je najmanjša, v kolikor datum zagotovimo z referenčno točko 600005 ali 600007. V zadnji izmeri nam prav tako referenčna točka 600006 in 600007 podata najmanjše vsote polos standardnih elips pogreškov in vsote popravkov približnih vrednosti koordinatnih neznank.

Kakovosti izravnanih koordinat posameznih referenčnih točk so podane s standardnimi elipsami pogreškov. Pri izravnavi prve izmere znaša največja velikost polos a standardne elipse pogreškov 4 mm na referenčni točki 600301 in najmanjša velikost polos a standardne elipse pogreškov velikosti 1 mm na referenčni točki 600002. Opazimo lahko podobno usmerjenost standardnih elips pogreškov na vseh referenčnih točkah, z izjemo točke 600002 in 600301 v smeri proti dani točki 600001, kar je posledica slabše geometrije mreže.

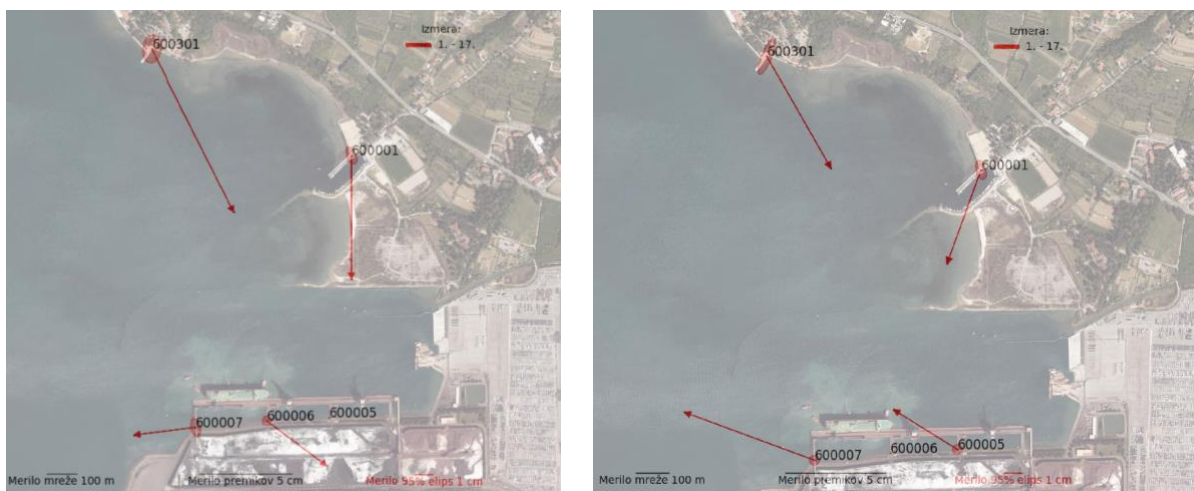
Pri izravnavi zadnje izmere sta bili v izmeri naknadno dodani novi točki 500001 in 500002. Velikost njunih polos a standardnih elips pogreškov znaša 3 mm in najmanjša velikost polos a 1 mm na preostalih vseh referenčnih točkah mreže, za kar bi lahko trdili, da ima geodetska mreža dobro geometrijsko razporeditev.

4.2.1 Vektorji položajnih premikov geodetske mreže med izmerama v letu 2008 in 2020, pri zagotovitvi datuma z eno dano točko

Za izračun vektorjev premikov mreže med opravljenima izmerama v letu 2008 in 2020, smo za zagotovitev geodetskega datuma uporabili različne kombinacije, kjer je bila dana ena referenčna točka (slika 16 – 18).



Slika 16: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600001 (slika levo) in dana referenčna točka 600301 (slika desno)



Slika 17: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600005 (slika levo) in dana referenčna točka 600006 (slika desno)

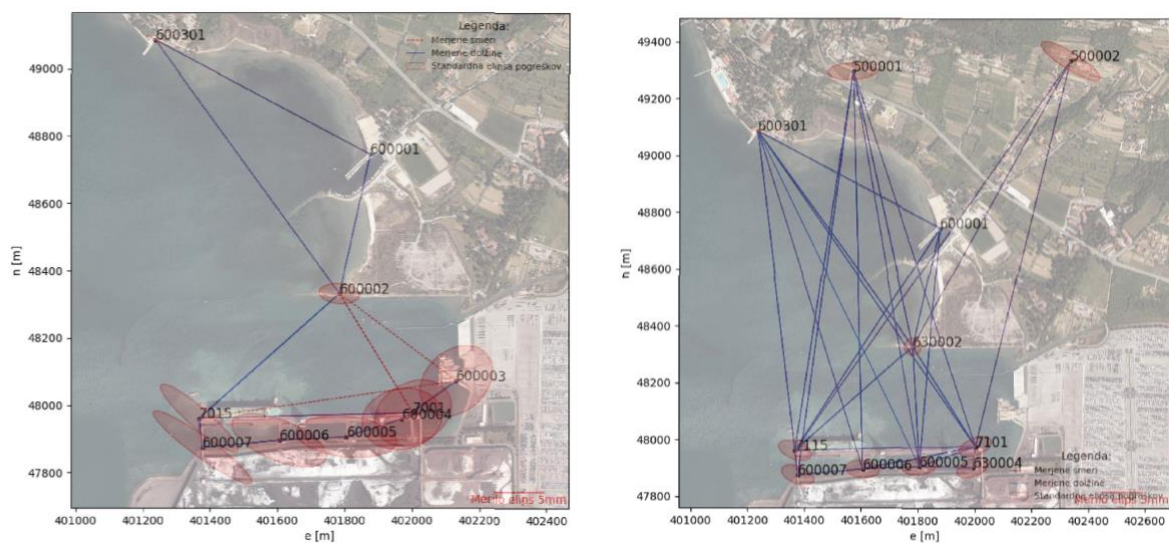


Slika 18: Vektorji horizontalnih premikov med prvo in zadnjo izmero. Dana referenčna točka 600007

Pri izbiri dane referenčne točke 600301 (slika 16 – desno) lahko opazimo, da so vektorji horizontalnih premikov na preostalih referenčnih točkah geodetske mreže večinoma usmerjeni proti izbrani referenčni točki. Pri izbiri drugih danih referenčnih točk izračunamo drugačne kombinacije horizontalnih premikov. Upoštevati je potrebno predpostavko, da so točke, ki so uporabljene kot dane, stabilizirane na II. pomolu, ki velja za nestabilno podlago. Pri izbiri dane referenčne točke 600001 nam izbrana kombinacija poda najbolj smiselne horizontalne premike.

4.3 Zagotovitev optimalnega geodetskega datuma z minimalnim številom zunanjih vezi

Za zagotovitev optimalnega geodetskega datuma z minimalnim številom zunanjih vezi smo uporabili eno dano točko in smer proti drugi dani točki. Glede na rezultate položajnih premikov geodetske mreže pri zagotovitvi datuma z eno dano točko, smo v tem izračunu uporabili kombinacijo obeh referenčnih točk 600001 in 600301 (slika 19). Tako smo v kombinirani geodetski mreži zagotovili optimalni geodetski datum brez prisotnih premikov in zasuka mreže.



Kakovost izravnanih posameznih referenčnih točk nam podajajo standardne elipse pogreškov. Pri izravnavi prve opravljene izmere lahko opazimo, da znaša največja velikost polosi a standardne elipse pogreškov 6 mm na referenčni točki 600007 in najmanjša velikost polosi a standardne elipse pogreškov 1 mm na referenčni točki 600301. Prav tako je opaziti, da so standardne elipse pogreškov na referenčnih točkah 600005, 600006, 600007 in 7015 dokaj sploščene in približno usmerjene v smeri sever-zahod, kar je posledica slabše geometrije izmerjene geodetske mreže.

*Preglednica 9: Ocena kakovosti izravnave posamezne izmere kombinirane geodetske mreže
zaqotovljene z zunanjimi vezmi*

[illegible]

Iz preglednice 9 je opaziti, da je v deseti izmeri, ki je bila opravljena leta 2012, prišlo do nekoliko večjega položajnega pogreška $\sigma_{POL(sred)}$, ki je znašal 5 mm. Prav tako je do nekoliko večjega srednjega položajnega pogreška $\sigma_{POL(sred)}$ prišlo v prvi, šesti in trinajsti izmeri. Ne glede na nekoliko večje srednje položajne pogreške nam mreža poda dovolj kakovostne rezultate za analizo položajnih premikov med vsemi terminskimi izmerami.

Izvedli smo tudi simulacijo izravnave kombinirane geodetske mreže, zagotovljene z zunanjimi vezmi, opravljene zadnje izmere v letu 2020. Pri tem smo iskali najbolj optimalno kombinacijo dane točke in smeri proti drugi točki, ki nam bo podala najmanjše popravke približnih vrednosti koordinatnih neznank in standardne elipse pogreškov pri posamezni referenčni točki. Iz vseh možnih kombinacij kombinirane geodetske mreže prve in zadnje izmere v letu 2020 zagotovljene z zunanjimi opazovanji lahko opazimo, da najmanjše skupne popravke približnih vrednosti neznank dobimo pri dani referenčni točki 600001 in smeri s 600001 na 600006. Optimalna kombinacija, ki je bila uporabljena, je bila kombinacija dane referenčne točke 600001 in smeri s 600001 na 600301, saj smo predpostavljali, da so preostale referenčne točke, stabilizirane na II. pomolu, nestabilne (priloga D).

4.3.1 Vektorji položajnih premikov geodetskih točk geodetske mreže med prvo in zadnjo izmero, pri zagotovitvi datuma z zunanjimi vezmi

Za izračun vektorjev horizontalnih premikov geodetskih točk mreže med prvo izmero, opravljeno v letu 2008 in zadnjo izmero, opravljeno v letu 2020, smo uporabili različne kombinacije zagotovitve geodetskega datuma. Izhajali smo iz navedene zgornje predpostavke, zato smo za dano referenčno točko izbrali točko 600001 in različne kombinacije danih smeri proti preostalim referenčnim točkam (priloga C).



Slika 20: Vektorji horizontalnih premikov na referenčnih točkah med prvo in zadnjo izmero. Dana točka 600001 in smer proti točki 600301

Z dane referenčne točke 600001 in s kombinacijo različnih uporabljenih danih smeri, smo izračunali optimalno kombinacijo horizontalnih premikov, ki nam je podala najbolj smiselne rezultate. Izbrana kombinacija je bila dana referenčna točka 600001 in smer s točke 600001 na 600301, prikazana na sliki 20.

Preglednica 10: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov mreže med izmerama v letu 2008 in 2020

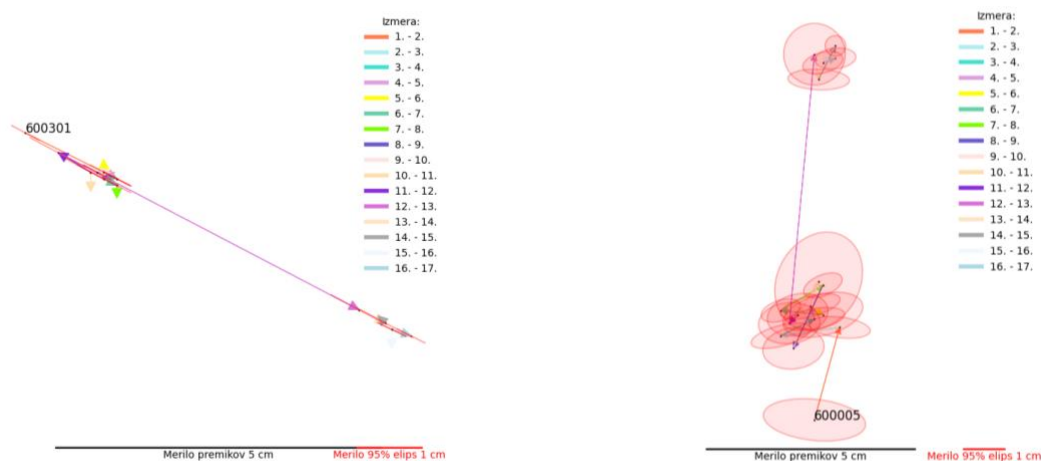
Točka	d [cm]	σ_d [cm]	ν [°]
600001	Dana točka		
600301	4.9	0.2	118
600005	6.6	0.2	3
600006	5.4	0.3	40
600007	6.8	0.5	335

Iz preglednice 10 lahko opazimo, da se je največji statistično značilen premik zgodil na referenčni točki 600007 z velikostjo 6.8 cm v smeri severo-zahoda, medtem ko se je najmanjši statistično značilni premik zgodil na referenčni točki 600301 z velikostjo 4.9 cm v smeri jugo-vzhoda. Opazimo tudi, da sta vektorja premikov na dveh referenčnih točkah 600005 in 600006 prav tako usmerjena v smeri dane referenčne točke 600001.

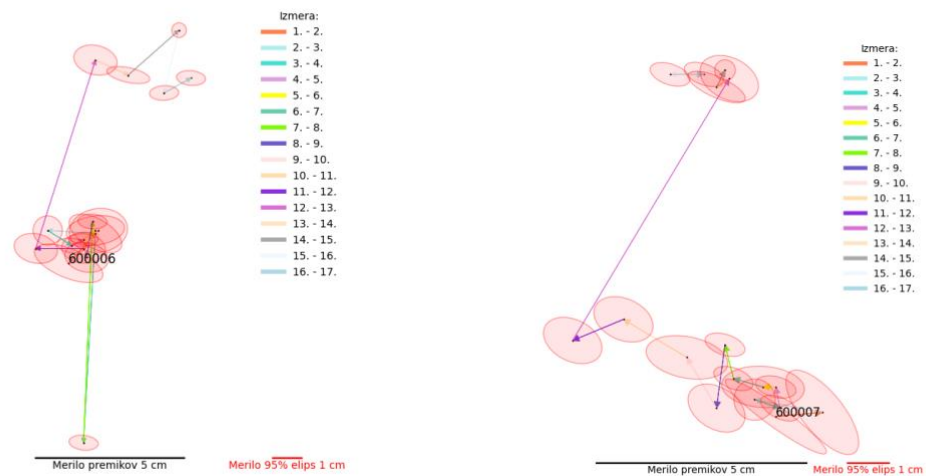
V nadaljevanju smo izrisali vektorje horizontalnih premikov skozi celotno časovno obdobje opravljenih izmer med letoma 2008 in 2020. Na sliki 21 so izrisani premiki na vseh točkah, zaradi preglednosti so dodatno na slikah 22 – 24 izrisani premiki za posamezno referenčno točko. Geodetski datum vseh izmer je zagotavljala referenčna točka 600001 in smer s točke 600001 na 600301.



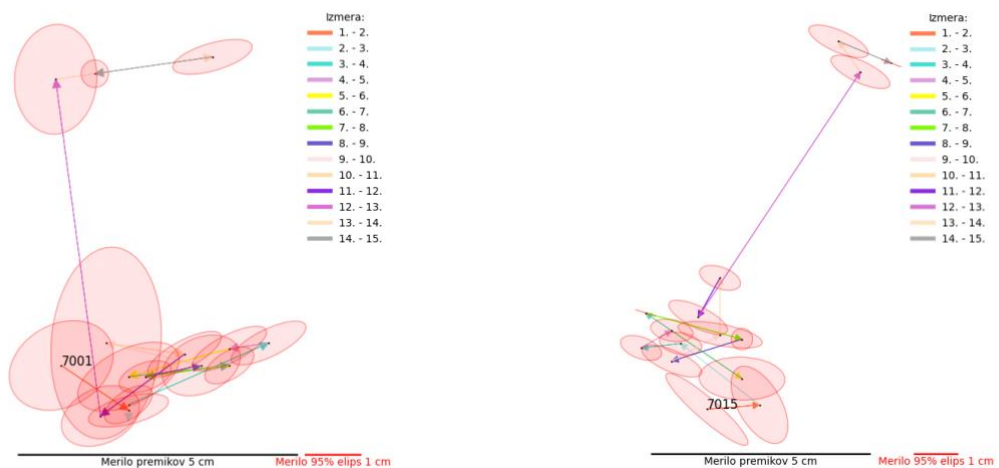
Slika 21: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov referenčnih točk med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2020



Slika 22: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov med vsemi terminskimi izmerami med letoma 2008 in 2020 za referenčno točko 600301 (slika levo) in 600005 (slika desno)



Slika 23: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov med vsemi terminkimi izmerami med letoma 2008 in 2020 za referenčno točko 600006 (slika levo) in 600007 (slika desno)



Slika 24: Velikosti vektorjev premikov horizontalnih med vsemi terminkimi izmerami med letoma 2008 in 2018 za referenčno točko 7001 (slika levo) in 7015 (slika desno)

Preglednica 11: Velikosti vektorjev horizontalnih premikov mreže skozi celotno obdobje meritev

Leto izmere	2008 - 2010											
Izmera	1. - 2.			2. - 3.			3. - 4.			4. - 5.		
Točka	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]
600001	Dana			Dana			Dana			Dana		
600301	0.2	0.1	297	0.3	0.1	288	0.3	0.2	108	0.2	0.2	297
600005	0.4	0.5	63	1.4	0.4	262	0.9	0.4	63	0.3	0.2	342
600006	1.1	0.4	165	1.6	0.4	274	0.9	0.3	122	0.4	0.3	63
600007	1.9	0.5	183	1.6	0.4	281	0.6	0.3	108	0.5	0.2	349

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 11

Leto izmere	2010 - 2011											
Izmera	5. - 6.			6. - 7.			7. - 8.			8. - 9.		
Točka	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]
600001	Dana			Dana			Dana			Dana		
600301	0.1	0.1	180	0.2	0.1	117	0.1	0.1	0	0.3	0.1	288
600005	0.4	0.3	124	1.0	0.4	276	1.2	0.2	59	1.7	0.3	205
600006	0.5	0.4	53	7.1	0.2	183	7.4	0.2	2	1.2	0.2	189
600007	0.3	0.4	270	0.7	0.4	286	0.8	0.2	346	1.5	0.2	188

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 11

Leto izmere	2011 - 2012			2012 - 2015			2015 - 2016			2016 - 2017		
Izmera	9. - 10.			10. - 11.			11. - 12.			12. - 13.		
Točka	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	<i>d</i> [cm]	σ_d [cm]	ν [°]
600001	Dana			Dana			Dana			Dana		
600301	0.1	0.2	279	0.0	0.0	0	0.6	0.2	301	5.2	0.2	118
600005	1.7	0.6	21	0.9	0.6	212	0.3	0.4	225	6.4	0.4	5
600006	1.0	0.4	24	0.8	0.5	220	1.6	0.4	270	6.6	0.3	18
600007	1.4	0.4	330	1.8	0.5	301	1.3	0.3	247	7.2	0.2	31

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 11

Leto izmere	2017 - 2018						2018 - 2020			2020		
Izmera	13. - 14.			14. - 15.			15. - 16.			16. - 17.		
Točka	d [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	d [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	d [cm]	σ_d [cm]	ν [°]	d [cm]	σ_d [cm]	ν [°]
600001	Dana			Dana			Dana			Dana		
600301	0.4	0.2	117	0.1	0.2	135	0.0	0.0	0	0.3	0.1	108
600005	0.6	0.4	171	0.9	0.2	27	0.5	0.2	217	0.3	0.3	72
600006	1.2	0.4	114	2.3	0.2	49	2.2	0.2	193	1.0	0.3	61
600007	0.4	0.3	236	0.5	0.2	27	1.3	0.2	266	0.8	0.3	90

kjer je:

d ... dolžina horizontalnega vektorja premikov,

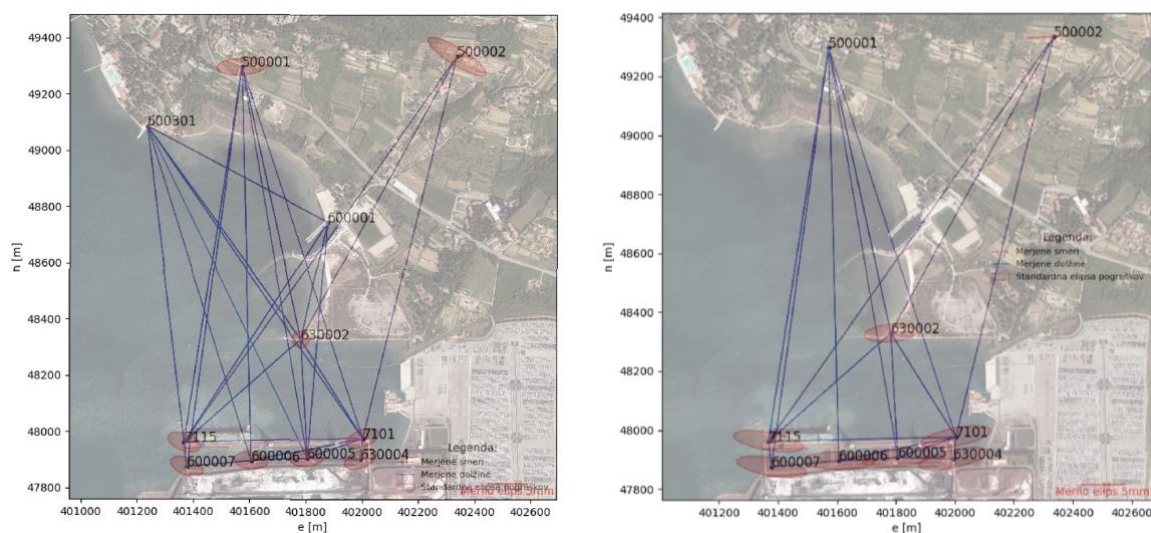
σ_d ... natančnost horizontalnega vektorja premikov,

ν ... kot zasuka horizontalnega vektorja premikov.

V kolikor izrišemo vektorje horizontalnih premikov s pripadajočimi 95 % elipsami pogreškov za vse obravnavane izmere, lahko opazimo, da je pri vseh točkah prišlo do statistično značilnih horizontalnih premikov z izjemo dane referenčne točke 600001 (slika 21 – 24). Iz preglednice 11 je razvidno, da je do večjega statistično značilnega horizontalnega premika je prišlo na referenčni točki 600006 med šesto in sedmo izmero za 7.1 cm v smeri juga in med sedmo in osmo izmero za 7.4 cm v smeri severa (povdajeno z rdečo barvo). Prisotnost večjih statistično značilnih horizontalnih premikov lahko prav tako opazimo pri vseh referenčnih točkah med dvanajsto in trinajsto izmero, ki sta bili opravljeni med letoma 2017 in 2016. Njihovi horizontalni premiki so reda velikosti od 5.2 cm do 7.2 cm (povdajeno z rdečo barvo). Prav tako je opaziti usmeritev vseh horizontalnih premikov v smeri severa proti točkama 600001 in 600301. Izjema je referenčna točka 600301, ki ima usmerjenost vektorjev v smeri točke 600001, z dano smerjo s točke 600001 na 600301.

5. PREDLOG SANACIJE OBSTOJEČE GEODETSKE MREŽE

Predlog sanacije je, glede na zgoraj izračunane rezultate, ki so pokazali na statistično značilen premik referenčne točke 600301, obsegal postavitev dveh novih dodatnih referenčnih točk 500001 in 500002. Glede na dodani novi referenčni točki bi lahko izločili izhodiščni referenčni točki 600001 in 600301 iz nadaljnjih izmer in ohranili preostale referenčne točke v geodetski mreži. Na novo vzpostavljeni referenčni točki bosta služili kot izhodišče v nadaljnjih terminskih izmerah.



Slika 25: Merjene smeri in dolžine, s pripadajočimi standardnimi elipsami pogreškov pred in po sanaciji geodetske mreže v zadnji izmeri

Pri sami postavitvi novih izhodiščnih točk smo bili precej prostorsko omejeni, saj nas je na zahodni strani omejevala morska površina, na vzhodni strani nedostopnost terena in precejšnja oddaljenost od obstoječe geodetske mreže. Pri stabilizaciji novih točk je bilo treba upoštevati dostopnost točk kakor tudi dejstvo, da bi ležale na bolj stabilni podlagi (slika 3) in izven obstoječih pomolov v območju Luke Koper (slika 4). Poleg tega je bilo potrebno pri načrtovanju novih točk upoštevati, da bi bila iz novih dveh točk zagotovljena vidnost na preostale referenčne točke na II. pomolu. Tako smo novi dve točki trajno stabilizirali na severni strani naše obstoječe geodetske mreže (slika 4).

Glede na izbran optimalni referenčni datum z dano točko 600301 in smerjo proti referenčni točki 600001 sta novo stabilizirani točki v zadnji sedemnajsti izmeri, po opravljeni izravnavi prav tako kot preostale točke, pridobili standardne elipse pogreškov. Velika polos a standardne elipse pogreškov za novo stabilizirano točko 500001 je bila reda velikosti 3 mm in mala polos b standardne elipse pogreškov 1 mm in za novo stabilizirano točko 500002 je bila velika polos a standardne elipse pogreškov reda velikosti 4 mm in mala polos b standardne

elipse pogreškov 1 mm (slika 25 – levo). Izravnane koordinate smo v nadaljevanju uporabili kot izhodišče za vzpostavitev novega geodetskega datuma.

Obravnavano geodetsko mrežo smo v nadaljevanju optimizirali na takšen način, da smo za zagotovitev optimalnega geodetskega datuma z minimalnim številom zunanjih vezi uporabili na novo določeni referenčni točki 500001 in 500002, pri kateri smo za dano točko uporabili referenčno točko 500001 in smer s 500001 na 500002 (slika 25 – desno). Glede na izbrani dani referenčni točki so preostale točke po izvedeni ponovni izravnavi pridobile nove koordinate s pripadajočimi standardnimi elipsami pogreškov, ki so podane v preglednici 12.

Preglednica 12: Izravnane koordinate referenčnih točk s pripadajočimi standardnimi elipsami pogreškov, pri zagotovitvi optimalnega datuma z zunanjimi vezmi

Točka	e [m]	n [m]	σ_{POL} [m]	a [m]	b [m]	ν [°]
500001	401571.288	49297.097	0.000	0.000	0.000	147.
500002	402335.518	49334.411	0.003	0.003	0.000	87.
630002	401782.614	48329.027	0.004	0.003	0.001	85.
600005	401805.973	47907.136	0.004	0.004	0.001	85.
600006	401605.899	47896.240	0.004	0.004	0.001	91.
600007	401377.896	47875.242	0.005	0.004	0.001	100.
630004	401994.891	47903.177	0.004	0.004	0.001	78.
7101	402003.307	47977.014	0.004	0.004	0.001	79.
7115	401367.838	47961.877	0.004	0.004	0.001	100.

Iz preglednice 12 je opaziti, da je največji položajni pogrešek zaznati na referenčni točki 600007. Polosi standardne elipse pogreškov so reda velikosti od 3 do 4 mm za polos a in 1 mm za polos b . Standardne elipse pogreškov so usmerjene v smeri vzhod–zahod, kar je posledica izbire dane smeri iz referenčne točke 500001 na 500002.

Pri omenjeni sanaciji geodetske mreže bi bilo smiselno poleg klasičnih opazovanj izvesti tudi opazovanja GNSS geodetske mreže na izhodiščnih referenčnih točkah, s katerimi bi zagotovili geodetski datum in neodvisno kontrolo položajev referenčnih točk.

6. ZAKLJUČEK

Ugotavljanje deformacij in stabilnosti točk grajenih objektov s katerimi se srečujemo, predstavlja eno izmed bolj zahtevnih nalog na področju geodezije. Nujnost teh nalog je bistvenega pomena z vidika varnosti ljudi in okolice.

Največja težava, ki se pojavlja pri ugotavljanju stabilnosti referenčnih in kontrolnih točk na območju II. pomola Luke Koper, je določitev stabilnih referenčnih točk osnovne geodetske mreže. Le-te nam zagotavljajo enoličen in optimalen geodetski datum in izhodišče za nadaljne meritve položajne mreže kontrolnih točk na posameznih pregradah in pomolih.

V nalogi smo obravnavali stabilnost osnovnih referenčnih točk geodetske mreže, da bi zagotovili optimalen geodetski datum. Skozi celotno obdobje izmer med letoma 2008 in 2020, je bilo opravljenih sedemnajst terminskih izmer. Geodetski datum smo zagotovili na tri različne načine.

Pri določitvi geodetskega datuma z notranjimi vezmi, smo v primeru izravnave posamezne izmere dobili zadovoljive rezultate brez prisotnosti grobih pogreškov. Nekoliko večje vrednosti položajnega pogreška $\sigma_{POL(sred)}$ določitve referenčnih točk smo dobili v prvi, drugi in desti izmeri. Njihove polosi a standardne elipse pogreškov so bile reda velikosti od 1 do 3 mm, kar je posledica slabše geometrijske razporeditve mreže. Standardne elipse pogreškov polosi a v preostalih izmerah so bile reda velikosti do 1 mm.

V primeru določitve poddoločenega geodetskega datuma z eno dano točko smo obdelali začetno in končno izmero. Geodetski datum smo določili kot kombinacijo referenčnih točk 600001, 600301, 600005, 600006 in 600007 z upoštevanjem merila mreže. Glede na posamezno izbrano dano točko smo pridobili različne kombinacije vektorjev horizontalnih premikov. Najbolj smiselne rezultate horizontalnih premikov nam je podala kombinacija z dano referenčno točko 600001. Pridobljene rezultate ostalih kombinacij uporabljenih referenčnih točk smo izločili, saj smo upoštevali, da so te točke stabilizirane na II. pomolu, ki velja za nestabilno podlago.

Pri določitvi optimalnega geodetskega datuma z zunanjimi vezmi smo za zagotovitev geodetskega datuma uporabili dano referenčno točko 600001 in različne kombinacije smeri proti preostalim referenčnim točkam. Pri različnih kombinacijah pridobljenih vektorjev premikov med prvo in zadnjo izmero nam je podala najbolj smiselne vektorje horizontalnih premikov kombinacija dane referenčne točke 600001 in smer s točke 600001 na 600301.

Glede na izbrano optimalno kombinacijo smo izrisali vektorje horizontalnih premikov za vsa časovna obdobja opravljenih sedemnajst terminskih izmer med letoma 2008 in 2020. Rezultati so pokazali, da je pri vseh referenčnih točkah kombinirane mreže zaznati statistično značilne premike z izjemo dane referenčne točke 600001. Nekoliko večje statistično značilne horizontalne premike referenčnih točk je zaznati med dvanajsto in trinajsto izmero, ki so bili velikosti od 5.2 cm do 7.2 cm. Usmerjenost vseh horizontalnih premikov kažejo v smeri severa z izjemo na referenčni točki 600301, ki ima zaradi izbrane dane smeri usmerjenost vseh horizontalnih premikov v smeri dane točke 600001.

Glede na izračunane rezultate, različne analize in simulacije obravnavane geodetske mreže skozi celotno časovno obdobje vseh sedemnajst terminskih izmer bi lahko sklepali, da se nestabilne točke 600005, 600006 in 600007 nahajajo na II. pomolu, za katerega smo predpostavili, da se nahaja na domnevno nestabilni podlagi. Prav tako se je za nestabilno referenčno točko skozi celotno časovno obdobje izvedenih meritev izkazala referenčna točka 600301, pri kateri je v podlagi opaziti vidno razpoko (slika 5) in nakazuje, da je bila referenčna točka v preteklosti sanirana.

Obravnavan predlog sanacije geodetske mreže je zajemal vzpostavitev dveh novih referenčnih točk, ki sta bili naknandno dodani v zadnji opravljeni izmeri in bosta služili kot izhodišče za nadaljne izmere. Glede na opravljeno sanacijo geodetske mreže je razvidno, da je optimizacija geodetske mreže podala kakovostne rezultate z namenom ugotavljanja stabilnosti referenčnih in kontrolnih točk v nadaljnjih izmerah na območju II. pomola Luke Koper.

Prav tako bi bilo smiselno za referenčne točke, ki zagotavljajo enoličen geodetski datum skozi vse terminske izmere, v vsaki izmeri opraviti tudi opazovanja GNSS. Z izmero GNSS bi dobili neodvisno kontrolo stabilnosti referenčnih točk, po drugi strani pa bi zagotovili tudi geodetski datum, ki bi bil enoličen v vseh izmerah.

VIRI

Ambrožič, T. 1996. Ocena stabilnosti točk v geodetski mreži. Magistrska naloga. Ljubljana, UL FGG (samozaložba T. Ambrožič): 76 str.

Ambrozic, T., Turk, G. 1994. Izravnavna geodetskih mrež z razcepom po singularnih vrednostih. Geodetski vestnik 38, 2: 67-73

Ambrožič, T. 2020. Zagotavljanje kakovosti v geodetskih mrežah. Ljubljana, UL FGG (samozaložba T. Ambrožič): 76 str.

Ambrožič, T. 2019. Kontrolne meritve. Ljubljana, UL FGG (samozaložba T. Ambrožič): 44 str.

Ambrožič, T., Turk, G. 2012. Program Gem3 ver. 4.0. Ljubljana, UL FGG.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar B. 2020. Program PREMIK2 ver. 3.1. Ljubljana, UL FGG.

Grigillo, D., Stopar, B. 2003. Metode odkrivanja grobih pogreškov v geodetskih opazovanjih. Geodetski vestnik 47, 4: 387-403.

Hamza, V., Stopar, B., Ambrožič, T., 2020. Deformacijska analiza po postopku Caspary. Geodetski vestnik 64, 1: 68-88.

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

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

Pavlovčič-Prešeren, P. 2019/2020. Optimizacija geodetskih mrež. Zapiski predavanj. Ljubljana, UL FGG: loč. pog.

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

Savšek, S. 2017. Alternativna metoda testiranja premikov v geodetski mreži. Geodetski vestnik 61, 3: 387-411.

Sterle, O. 2019/2020. Izravnalni račun 3. Zapiski vaj. Ljubljana, UL FGG: loč. pog.

Šalamon, N. 2013. Določitev optimalnega geodetskega datuma v položajni geodetski mreži HE Formin. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG (samozaložba Šalamon, N.): 70 str.

Štebe, G. 2011. Ponovna obdelava meritev v položajni mreži HE Moste od 1950 do 2010. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG (samozaložba Štebe, G.): 116 str.

Štefančič, R. 2016. Analiza stabilnosti točk v horizontalni geodetski mreži odlagališča Jazbec. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL FGG (samozaložba Štefančič, R.): 73 str.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere pri zagotovitvi datuma z notranjimi vezmi – prosta geodetska mreža

PRILOGA B: Rezultati izravnave in izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere – Zagotovitev geodetskega datuma z zunanjimi vezmi
(dana točka 600001 in smer proti točki 600301)

B.1: Rezultati izravnave prve terminske izmere opravljene v letu 2008

B.2: Izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere

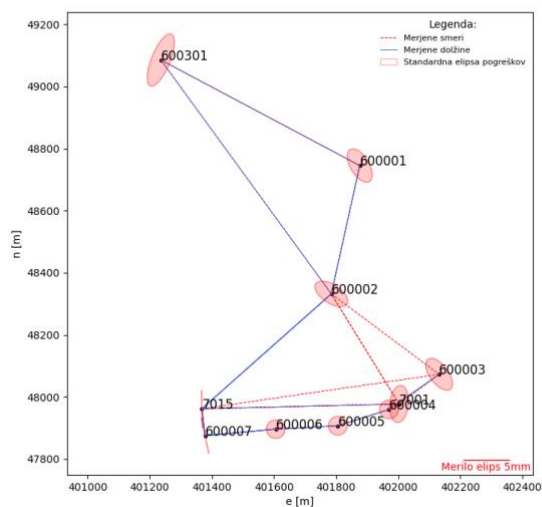
PRILOGA C: Vektorji premikov pri različnih kombinacijah zagotovitve datuma z zunanjimi vezmi med prvo in zadnjo terminsko izmero

PRILOGA D: Izračun najbolj optimalne kombinacije minimalnih standardnih elips pogreškov in vsote popravkov približnih vrednosti – Zagotovitev datuma z zunanjimi vezmi pri izmeri v letu 2020

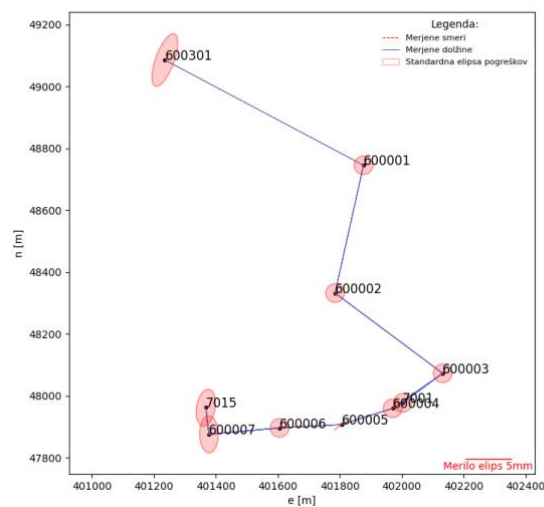
PRILOGA E: Rezultati položajnih premikov med posameznimi terminskimi izmerami v obdobju med letoma 2008 in 2020

Ta stran je namenoma prazna.

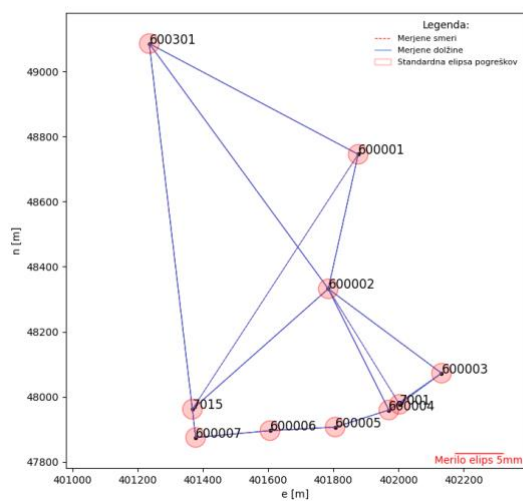
PRILOGA A: Izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere pri zagotovitvi datuma z notranjimi vezmi – prosta geodetska mreža



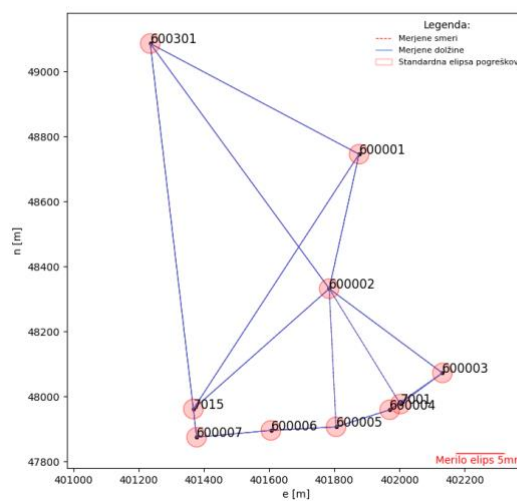
1. terminska izmera v letu 2008



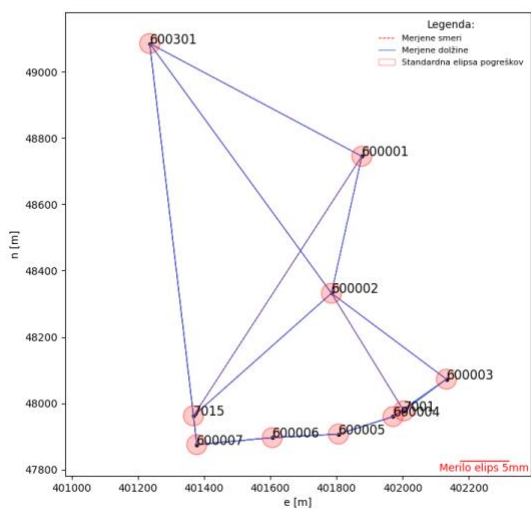
2. terminska izmera v letu 2008



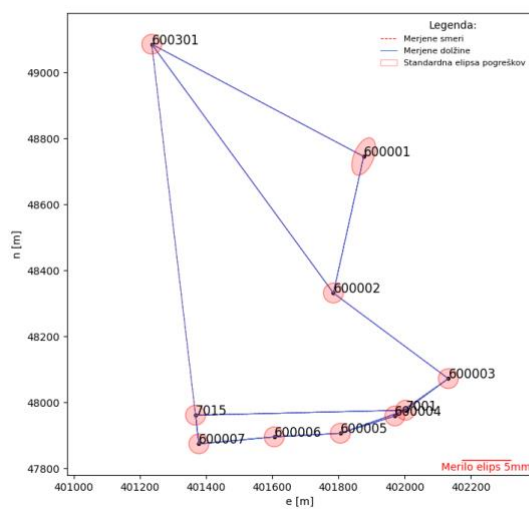
3. terminska izmera v letu 2008



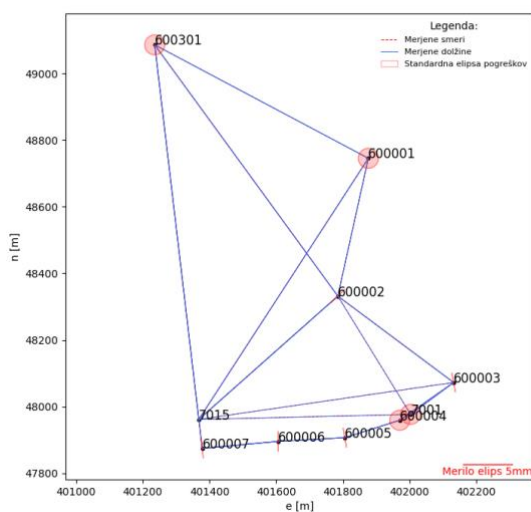
4. terminska izmera v letu 2008



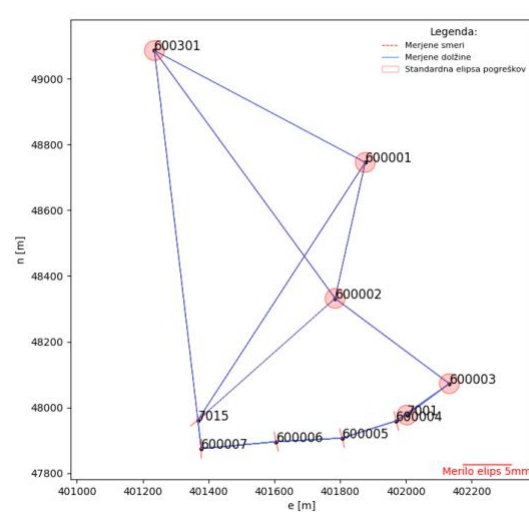
5. terminska izmera v letu 2008



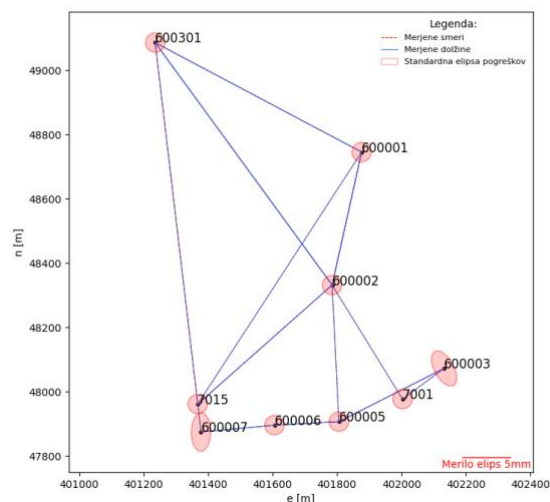
6. terminska izmera v letu 2010



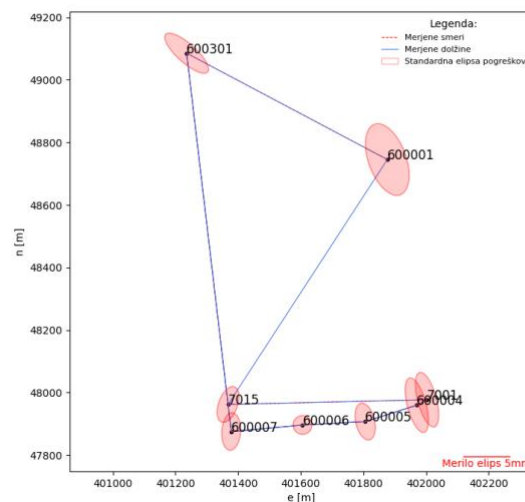
7. terminska izmera v letu 2010



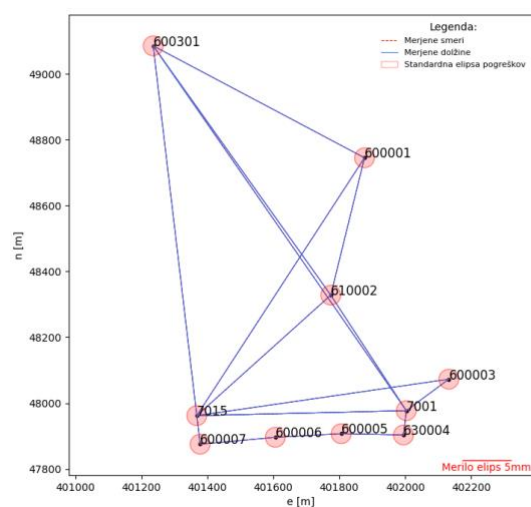
8. terminska izmera v letu 2010



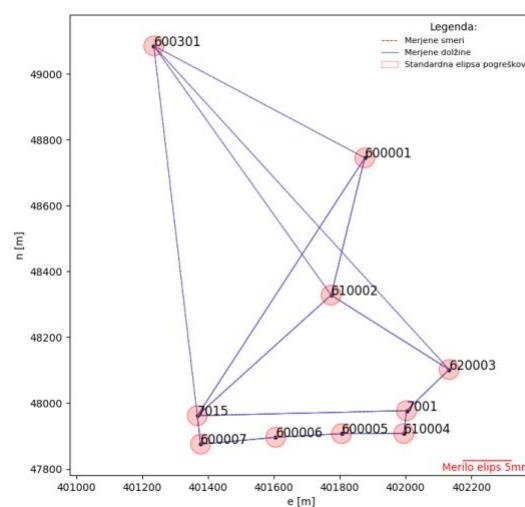
9. terminska izmera v letu 2011



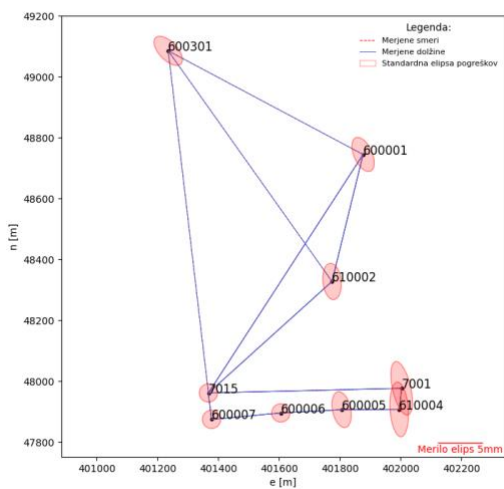
10. terminska izmera v letu 2012



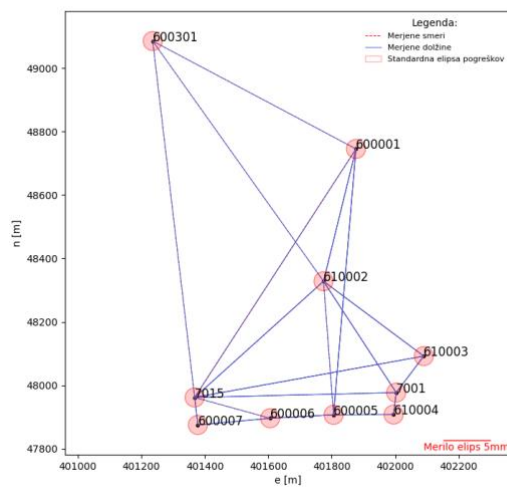
11. terminska izmera v letu 2015



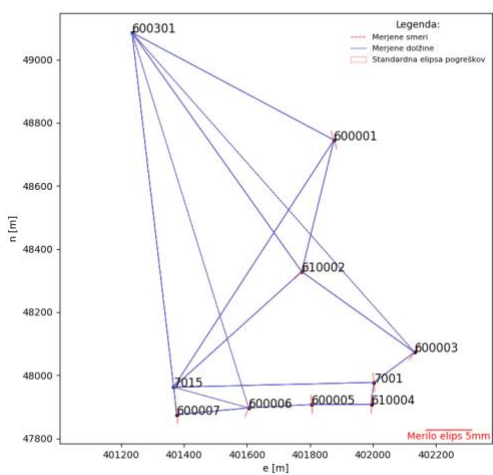
12. terminska izmera v letu 2016



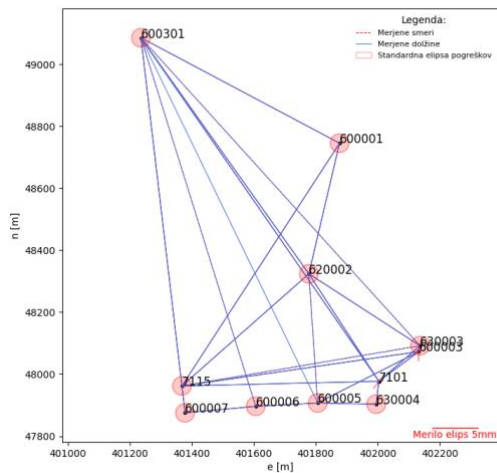
13. terminska izmera v letu 2017



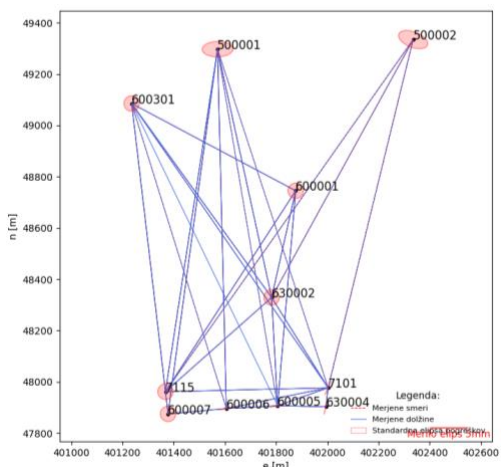
14. terminska izmera v letu 2017



15. terminska izmera v letu 2018



16. terminska izmera v letu 2020



17. terminska izmera v letu 2020

**PRILOGA B: Rezultati izravnave in izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere – Zagotovitev geodetskega datuma z zunanjimi vezmi
(dana točka 600001 in smer proti točki 600301)**

B.1: Rezultati izravnave prve terminske izmere opravljene v letu 2008

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

=====

Tocka	Y	X	My	Mx	Mp	a	b	Theta
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(st.)
600301	401235.649	49085.359	0.002	0.003	0.004	0.003	0.002	19.
600001	401876.620	48745.195	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	162.
600002	401784.939	48331.857	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	117.
600003	402132.246	48072.636	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	134.
600004	401970.757	47959.444	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	138.
600005	401805.973	47907.031	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	166.
600006	401605.867	47896.160	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	170.
600007	401377.924	47875.142	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	167.
7001	402003.351	47977.098	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	20.
7015	401367.830	47961.807	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	178.

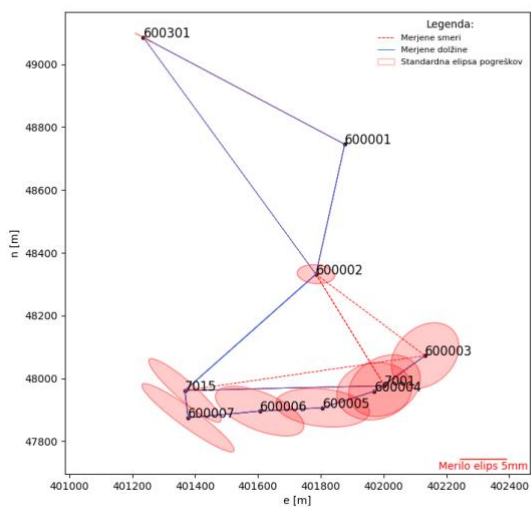
Rezultati izravnave zadnje terminske izmere opravljene v letu 2020

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti

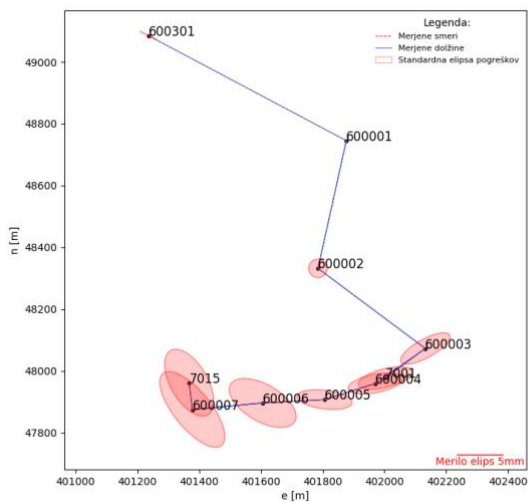
=====

Tocka	Y	X	My	Mx	Mp	a	b	Theta
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(st.)
500001	401571.290	49297.044	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	89.
500002	402335.522	49334.345	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	111.
600301	401235.697	49085.300	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	65.
600001	401876.601	48745.156	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	115.
630002	401782.601	48328.970	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	115.
600005	401805.953	47907.079	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	79.
600006	401605.878	47896.187	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	82.
600007	401377.876	47875.192	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	152.
630004	401994.871	47903.117	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	14.
7101	402003.289	47976.954	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	24.
7115	401367.819	47961.828	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	132.

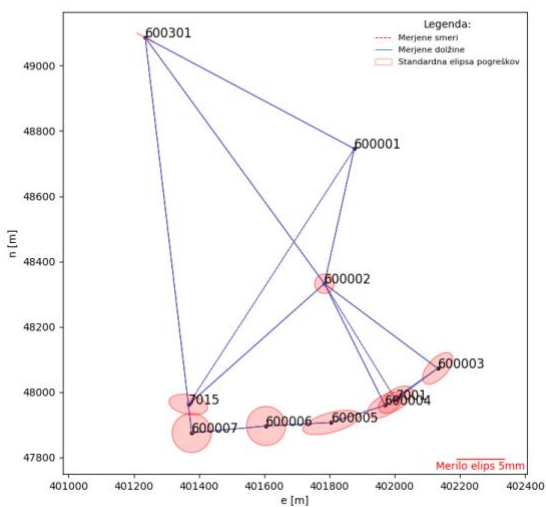
B.2: Izris standardnih elips pogreškov posamezne terminske izmere



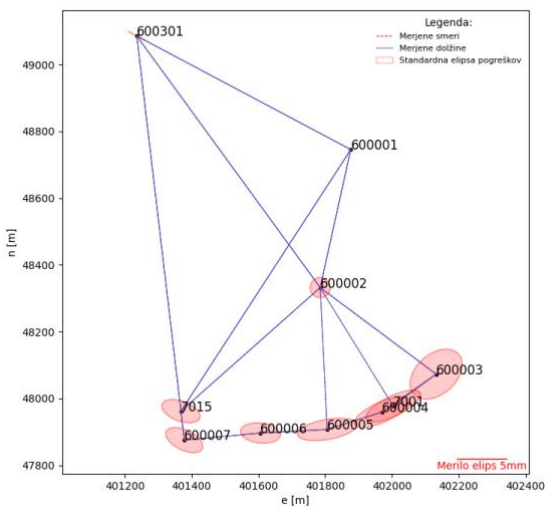
1. terminska izmera v letu 2008



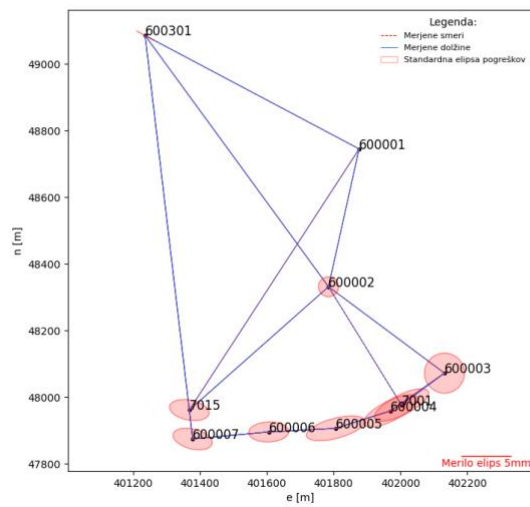
2. terminska izmera v letu 2008



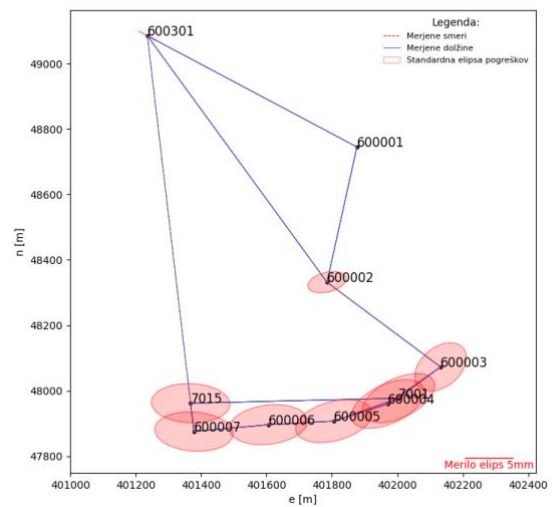
3. terminska izmera v letu 2008



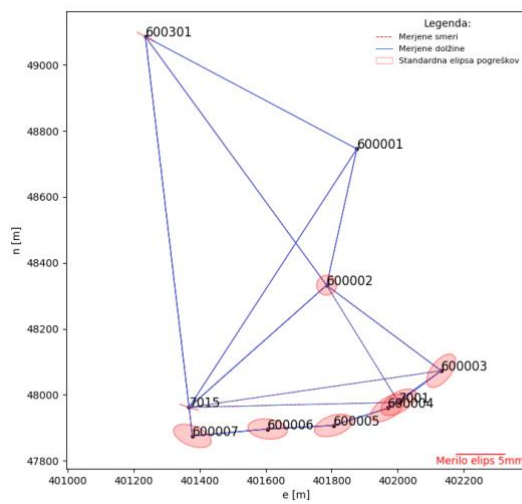
4. terminska izmera v letu 2008



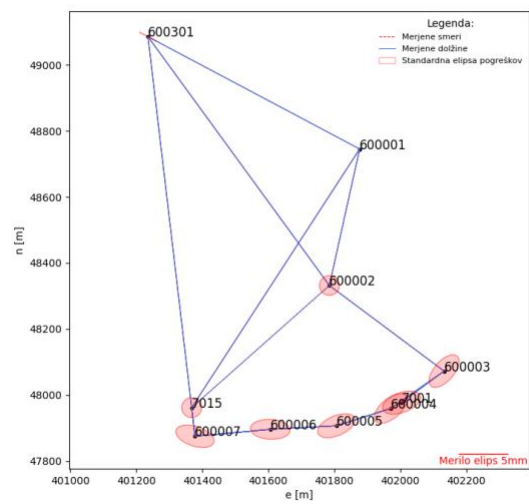
5. terminska izmera v letu 2008



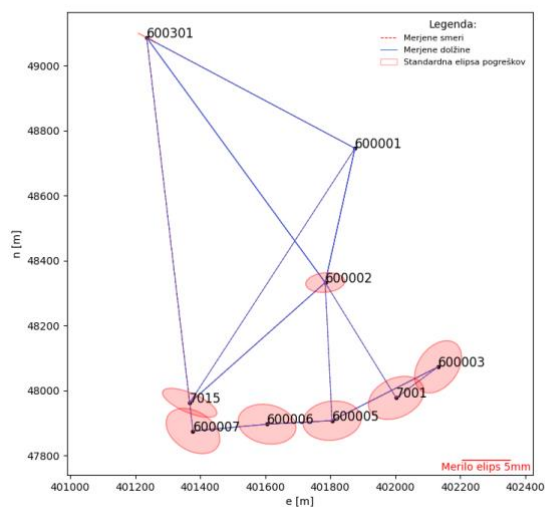
6. terminska izmera v letu 2010



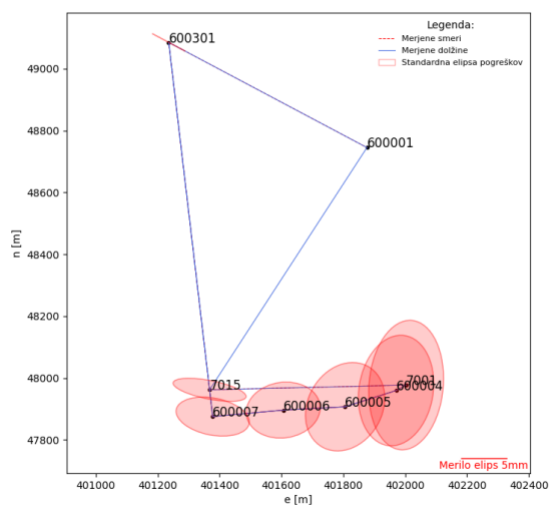
7. terminska izmera v letu 2010



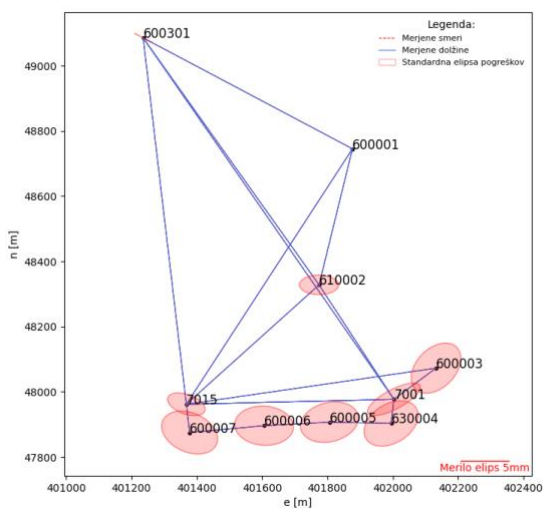
8. terminska izmera v letu 2010



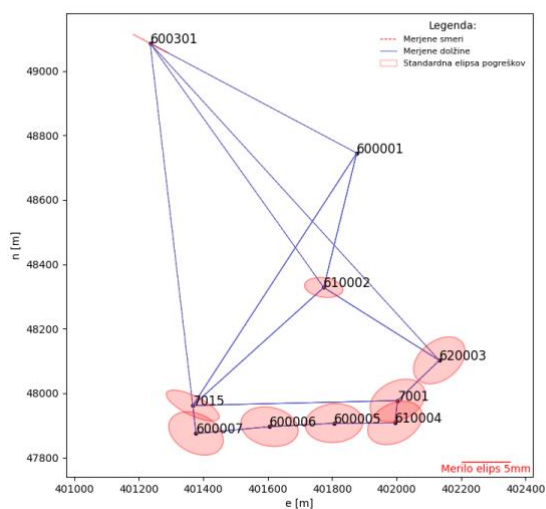
9. terminska izmera v letu 2011



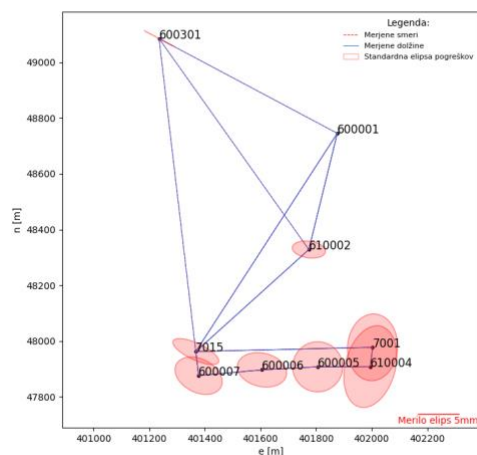
10. terminska izmera v letu 2012



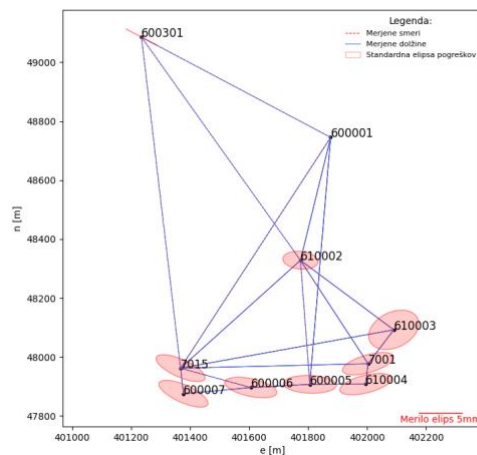
11. terminska izmera v letu 2015



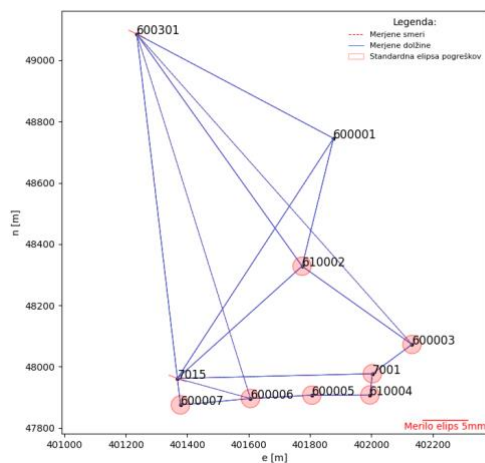
12. terminska izmera v letu 2016



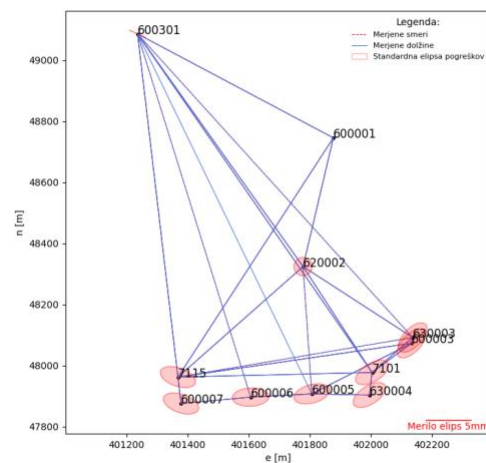
13. terminska izmera v letu 2017



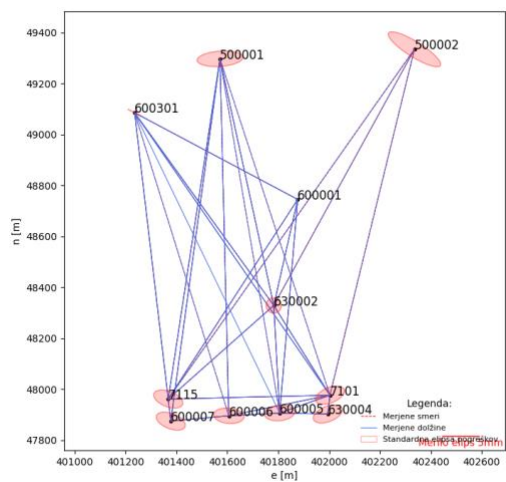
14. terminska izmera v letu 2017



15. terminska izmera v letu 2018

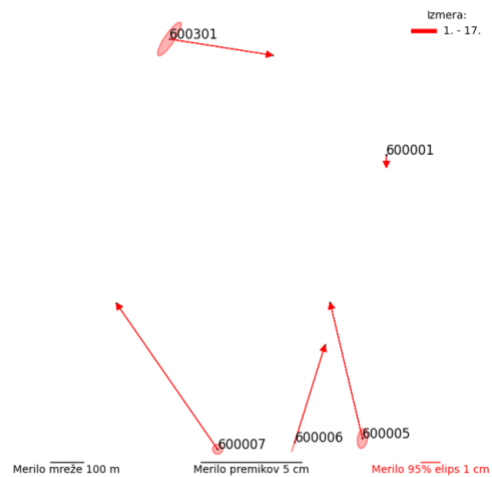
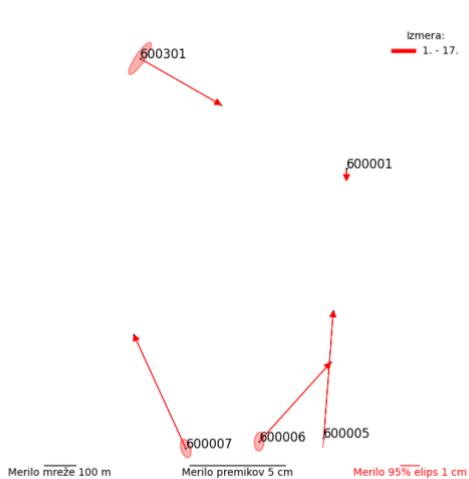


16. terminska izmera v letu 2020



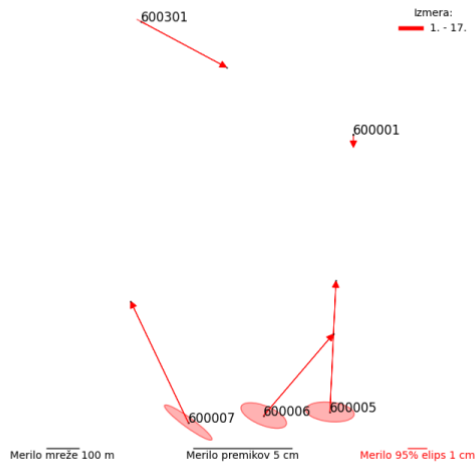
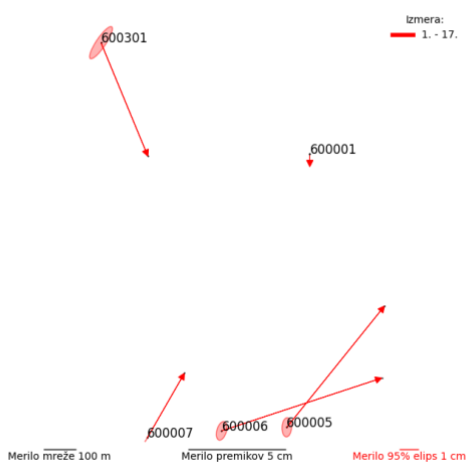
17. terminska izmera v letu 2020

PRILOGA C: Vektorji premikov pri različnih kombinacijah zagotovitve datuma z zunanjimi vezmi med prvo in zadnjo terminsko izmero



Dana točka 600001 in smer proti 600005

Dana točka 600001 in smer proti 600006



Dana točka 600001 in smer proti 600007

Dana točka 600001 in smer proti 600301

PRILOGA D: Izračun najbolj optimalne kombinacije minimalnih standardnih elips pogreškov in vsote popravkov približnih vrednosti – Zagotovitev datuma z zunanjimi vezmi pri izmeri v letu 2020

ZUNANJE VEZI

Najbolj optimalna kombinacija - ELIPSE: 5.

Min elipsa (sum a, b): 21 mm

Dana točka: 600301

Sm. Kot: 600301 -> 600005

Najbolj optimalna kombinacija - POPR. PRIBL VREDN. KOO: 3.

Min dyx (sum dy, dx): 785 mm

Dana točka: 600001

Sm. Kot: 600001 -> 600006

Komb.	Dana (y x)	Sm. Kot (od do)	Sum dyx[mm]	Sum AB[mm]
-------	------------	-----------------	-------------	------------

1.	600001	600001 -> 600301	834	27
2.	600001	600001 -> 600005	847	22
3.	600001	600001 -> 600006	785	22
4.	600001	600001 -> 600007	1148	21
5.	600301	600301 -> 600005	1285	21
6.	600301	600301 -> 600006	1291	21
7.	600301	600301 -> 600007	1550	21
8.	600005	600005 -> 600006	1405	27
9.	600005	600005 -> 600007	811	23
10.	600006	600006 -> 600007	1209	30

PRILOGA E: Rezultati položajnih premikov med posameznimi terminskimi izmerami v obdobju med letoma 2008 in 2020

PREMIKI in natančnosti premikov točk

Program PREMIK2, ver.3.0, okt. 2018

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

Ime datoteke z imeni datotek: Vpeta vse.pre

Ime datoteke za rezultate: Vpeta vse.sez

LK vpeta z merilom - VSE

```
1 ... 1_v_1_301.koo
2 ... 2_v_1_301.koo
3 ... 3_v_1_301.koo
4 ... 4_v_1_301.koo
5 ... 5_v_1_301.koo
6 ... 6_v_1_301.koo
7 ... 7_v_1_301.koo
8 ... 8_v_1_301.koo
9 ... 9_v_1_301.koo
10 ... 10_v_1_301.koo
11 ... 11_v_1_301.koo
12 ... 12_v_1_301.koo
13 ... 13_v_1_301.koo
14 ... 14_v_1_301.koo
15 ... 15_v_1_301.koo
16 ... 16_v_1_301.koo
17 ... 17_v_1_301.koo
```

* ... v datoteki sta koordinati točke podani

- ... v datoteki ni koordinat te tocke

[illegible]

Koordinatne razlike, smerni koti premikov, premiki točk in statistična analiza.

Število iteracij za izračun porazdelitvene funkcije je 99999.

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

Kritična vrednost hi^2_{krit} je 2.448.

dy, dx ... razlika koordinat točke med dvema izmerama
ni_d ... smerni kot premika točke
d ... premik točke med dvema izmerama
sigma_d ... standardna deviacija premika točke
T ... testna statistika
T_krit ... kritična vrednost testne statistike pri izbrani alfa
alfa_dej ... dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze
d>3*sigma_d ... izpis "*", ce je d>3*sigma_d (T_krit=3 pri alfa=22.31 %)
dT*Sdd-1*d ... kvadratna forma $dT \cdot \Sigma_{dd} - 1 \cdot d$ premika in kovariacijske matrike
dT*Sdd-1*d>hi^2 ... izpis "da", ce je $dT \cdot \Sigma_{dd} - 1 \cdot d > hi^2_{krit}$
Vsa pojasnila najdemo v clanku: Savšek S. (2017). An alternative approach
to testing displacements in a geodetic network. Alternativna metoda testiranja
premikov v geodetski mreži. Geodetski vestnik, 61 (3), 387-411.

Izračun med datotekama (izmerama) 1 in 2.

Tocka	dy (m)	dx (m)	ni_d (°)	d (m)	sigma_d (m)	T	T_krit	alfa_dej (%)	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
V simulaciji negativni argument za izračun d_x											
600301	-0.0020	0.0010	297.	0.0022	0.0014	1.6499	2.0017	10.52		2.6435	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	0.0030	-0.0070	157.	0.0076	0.0014	5.5560	2.1798	0.00	*	49.6168	da
600003	0.0200	-0.0310	147.	0.0369	0.0035	10.6258	2.3802	0.00	*	112.9925	da
600004	0.0060	-0.0200	163.	0.0209	0.0029	7.2150	2.2700	0.00	*	52.9000	da
600005	0.0040	0.0020	63.	0.0045	0.0048	0.9230	2.2003	57.97		1.3196	
600006	0.0030	-0.0110	165.	0.0114	0.0043	2.6247	2.1605	1.33		13.0932	da
600007	-0.0010	-0.0190	183.	0.0190	0.0050	3.8003	2.1194	0.02	*	32.5056	da
7001	0.0150	-0.0260	150.	0.0300	0.0033	9.1571	2.3280	0.00	*	85.1434	da
7015	0.0000	-0.0180	180.	0.0180	0.0053	3.3692	2.1579	0.11	*	21.9940	da

Izračun med datotekama (izmerama) 2 in 3.

Tocka	dy (m)	dx (m)	ni_d (°)	d (m)	sigma_d (m)	T	T_krit	alfa_dej (%)	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
V simulaciji negativni argument za izračun d_x											
600301	-0.0030	0.0010	288.	0.0032	0.0015	2.0727	1.9817	4.03		-18.6306	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	-0.0070	0.0020	286.	0.0073	0.0017	4.1963	2.4004	0.01	*	18.1575	da
600003	-0.0090	-0.0040	246.	0.0098	0.0034	2.8671	2.2452	0.81		8.8701	da
600004	-0.0020	0.0010	297.	0.0022	0.0029	0.7582	2.2230	69.87		0.8941	
600005	-0.0140	-0.0020	262.	0.0141	0.0040	3.5392	2.2448	0.07	*	12.8829	da
600006	-0.0160	0.0010	274.	0.0160	0.0042	3.8511	2.3156	0.02	*	16.0714	da
600007	-0.0160	0.0030	281.	0.0163	0.0044	3.6660	2.2788	0.05	*	18.0490	da
7001	0.0000	0.0010	0.	0.0010	0.0022	0.4611	2.2257	87.71		0.2630	
7015	-0.0180	0.0140	308.	0.0228	0.0046	4.9551	2.3223	0.00	*	26.3220	da

Izračun med datotekama (izmerama) 3 in 4.

Tocka	dy (m)	dx (m)	ni_d (°)	d (m)	sigma_d (m)	T	T_krit	alfa_dej (%)	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
V simulaciji negativni argument za izračun d_x											
600301	0.0030	-0.0010	108.	0.0032	0.0017	1.8984	1.9663	5.84		-80.5925	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	0.0050	0.0020	68.	0.0054	0.0019	2.8286	2.4022	1.56		8.0048	da
600003	0.0040	0.0050	39.	0.0064	0.0034	1.8736	2.3153	14.20		3.5630	da
600004	0.0210	0.0050	77.	0.0216	0.0034	6.3141	2.2866	0.00	*	42.7963	da
600005	0.0080	0.0040	63.	0.0089	0.0035	2.5386	2.2753	2.43		6.9840	da

600006	0.0080	-0.0050	122.	0.0094	0.0032	2.9466	2.2986	0.78		10.6808	da
600007	0.0060	-0.0020	108.	0.0063	0.0033	1.8899	2.3260	13.96		3.6110	da
7001	0.0250	0.0110	66.	0.0273	0.0036	7.6462	2.2957	0.00	*	59.1695	da
7015	-0.0090	-0.0010	264.	0.0091	0.0028	3.2070	2.2232	0.23	*	13.1477	da

Izracun med datotekama (izmerama) 4 in 5.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	-0.0020	0.0010	297.	0.0022	0.0016	1.3901	1.9647	16.40		2.4038	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	-0.0170	-0.0070	248.	0.0184	0.0020	9.2803	2.3750	0.00	*	87.0338	da
600003	0.0010	0.0050	11.	0.0051	0.0031	1.6398	2.3171	22.25		3.3169	da
600004	-0.0060	0.0040	304.	0.0072	0.0025	2.8501	2.2630	0.92		10.7687	da
600005	-0.0010	0.0030	342.	0.0032	0.0020	1.5814	2.2665	22.94		2.5490	da
600006	0.0040	0.0020	63.	0.0045	0.0032	1.4110	2.2717	31.10		2.5312	da
600007	-0.0010	0.0050	349.	0.0051	0.0024	2.1282	2.2746	7.18		5.9059	da
7001	-0.0070	-0.0010	262.	0.0071	0.0036	1.9861	2.2826	10.31		4.4448	da
7015	0.0070	0.0040	60.	0.0081	0.0024	3.3883	2.1694	0.09	*	21.2391	da

Izracun med datotekama (izmerama) 5 in 6.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	0.0000	-0.0010	180.	0.0010	0.0008	1.2714	1.9681	20.54		47.8030	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	0.0140	0.0100	54.	0.0172	0.0022	7.8262	2.3487	0.00	*	65.6115	da
600003	0.0000	-0.0010	180.	0.0010	0.0033	0.3066	2.2725	94.67		0.1300	
600004	-0.0140	-0.0040	254.	0.0146	0.0044	3.2731	2.2124	0.17	*	11.3809	da
600005	0.0030	-0.0020	124.	0.0036	0.0034	1.0695	2.1965	48.02		1.9073	
600006	0.0040	0.0030	53.	0.0050	0.0040	1.2617	2.2097	36.60		2.3736	
600007	-0.0030	0.0000	270.	0.0030	0.0044	0.6761	2.2537	75.89		0.4675	
7001	-0.0180	-0.0050	254.	0.0187	0.0045	4.1645	2.2370	0.01	*	18.5656	da
7015	0.0160	-0.0110	125.	0.0194	0.0038	5.1531	2.2278	0.00	*	37.2304	da

Izracun med datotekama (izmerama) 6 in 7.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	0.0020	-0.0010	117.	0.0022	0.0014	1.6101	1.9649	10.73		3.3491	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	-0.0020	0.0000	270.	0.0020	0.0020	0.9850	2.3316	58.50		0.9898	
600003	-0.0070	-0.0070	225.	0.0099	0.0038	2.6265	2.2777	1.88		6.9409	da
600004	0.0110	0.0000	90.	0.0110	0.0038	2.9186	2.2433	0.70		11.0159	da
600005	-0.0100	0.0010	276.	0.0100	0.0039	2.5928	2.2351	1.83		8.2971	da
600006	-0.0040	-0.0710	183.	0.0711	0.0022	32.0230	2.2501	0.00	*	1072.7829	da
600007	-0.0070	0.0020	286.	0.0073	0.0040	1.8020	2.2547	14.63		3.4064	da
7001	0.0180	0.0020	84.	0.0181	0.0039	4.6295	2.2362	0.00	*	26.1989	da
7015	-0.0220	0.0150	304.	0.0266	0.0034	7.7410	2.2326	0.00	*	83.2572	da

Izracun med datotekama (izmerama) 7 in 8.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	0.0000	0.0010	0.	0.0010	0.0005	2.1995	1.9737	2.87		-256.3399	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	0.0020	-0.0020	135.	0.0028	0.0012	2.2736	2.2725	4.99		7.1176	da
600003	0.0060	0.0060	45.	0.0085	0.0024	3.4830	2.3395	0.13	*	12.2032	da
600004	-0.0110	0.0000	270.	0.0110	0.0022	5.0522	2.3859	0.00	*	27.8421	da
600005	0.0100	0.0060	59.	0.0117	0.0023	5.1359	2.4082	0.00	*	26.5726	da
600006	0.0030	0.0740	2.	0.0741	0.0016	45.1232	2.3914	0.00	*	2036.7267	da
600007	-0.0020	0.0080	346.	0.0082	0.0015	5.3798	2.2021	0.00	*	45.1178	da

V simulaciji negativni argument za izracun d_x

7001	-0.0150	-0.0020	262.	0.0151	0.0025	6.0611	2.3699	0.00	*	38.2938	da
7015	0.0220	-0.0060	105.	0.0228	0.0020	11.3035	2.0998	0.00	*	129.8956	da

Izracun med datotekama (izmerama) 8 in 9.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			

V simulaciji negativni argument za izracun d_x

600301	-0.0030	0.0010	288.	0.0032	0.0013	2.4037	1.9632	1.60		-574.3924	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600002	-0.0030	-0.0010	252.	0.0032	0.0018	1.7508	2.2968	17.53		3.3118	da
600003	-0.0080	0.0000	270.	0.0080	0.0031	2.5900	2.3904	2.96		7.2786	da
600005	-0.0070	-0.0150	205.	0.0166	0.0026	6.3863	2.3147	0.00	*	49.9875	da
600006	-0.0020	-0.0120	189.	0.0122	0.0020	6.2146	2.2912	0.00	*	38.6207	da
600007	-0.0020	-0.0150	188.	0.0151	0.0023	6.7068	2.2795	0.00	*	52.6132	da
7001	0.0100	0.0020	79.	0.0102	0.0036	2.8365	2.3369	1.24		8.3400	da
7015	-0.0160	-0.0050	253.	0.0168	0.0025	6.5958	2.1384	0.00	*	88.6944	da

Izracun med datotekama (izmerama) 9 in 10.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			

600301	-0.0010	0.0000	270.	0.0010	0.0021	0.4848	1.9620	62.78		1435.9444	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600005	0.0060	0.0160	21.	0.0171	0.0055	3.1173	2.4224	0.70	*	9.9326	da
600006	0.0040	0.0090	24.	0.0098	0.0040	2.4698	2.3734	3.91		6.4840	da
600007	-0.0070	0.0120	330.	0.0139	0.0043	3.2062	2.2614	0.27	*	14.5667	da
7001	-0.0170	0.0040	283.	0.0175	0.0050	3.5024	2.3663	0.14	*	12.2750	da
7015	0.0110	0.0060	61.	0.0125	0.0037	3.4071	2.1302	0.07	*	24.7080	da

Izracun med datotekama (izmerama) 10 in 11.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			

600301	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600005	-0.0050	-0.0080	212.	0.0094	0.0057	1.6663	2.4203	24.22		2.7881	da
600006	-0.0050	-0.0060	220.	0.0078	0.0045	1.7503	2.3875	20.15		3.3462	da
600007	-0.0150	0.0090	301.	0.0175	0.0049	3.5561	2.2255	0.06	*	14.5748	da
7001	0.0140	-0.0020	98.	0.0141	0.0047	2.9822	2.3538	0.84		8.9020	da
7015	0.0000	0.0130	0.	0.0130	0.0020	6.3912	2.1181	0.00	*	52.2671	da

Izracun med datotekama (izmerama) 11 in 12.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			

600301	-0.0050	0.0030	301.	0.0058	0.0020	2.8686	1.9635	0.40		32.8463	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600005	-0.0020	-0.0020	225.	0.0028	0.0039	0.7203	2.3631	75.62		0.5867	
600006	-0.0160	0.0000	270.	0.0160	0.0043	3.7207	2.3401	0.05	*	14.1167	da
600007	-0.0120	-0.0050	247.	0.0130	0.0034	3.8621	2.2132	0.02	*	24.0870	da
7001	-0.0150	-0.0110	234.	0.0186	0.0040	4.6062	2.2907	0.00	*	22.1013	da
7015	-0.0050	-0.0090	209.	0.0103	0.0015	7.0323	2.0972	0.00	*	52.2309	da
610002	-0.0050	-0.0030	239.	0.0058	0.0023	2.5309	2.2929	2.59		8.2581	da

Izracun med datotekama (izmerama) 12 in 13.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			

600301	0.0460	-0.0240	118.	0.0519	0.0023	22.8207	1.9626	0.00	*	594.7256	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	??? IDENTICNA TOCKA ???						
600005	0.0060	0.0640	5.	0.0643	0.0041	15.6634	2.4280	0.00	*	247.6345	da
600006	0.0200	0.0630	18.	0.0661	0.0031	21.0326	2.3539	0.00	*	444.4808	da
600007	0.0370	0.0620	31.	0.0722	0.0022	33.0549	2.1840	0.00	*	1108.9298	da

7001	-0.0080	0.0600	352.	0.0605	0.0049	12.4193	2.4086	0.00	*	160.0826	da
7015	0.0370	0.0560	33.	0.0671	0.0016	43.1031	2.0813	0.00	*	2104.3795	da
610002	0.0080	0.0300	15.	0.0310	0.0016	19.6422	2.2764	0.00	*	394.0702	da
610004	-0.0070	0.0650	354.	0.0654	0.0051	12.8812	2.3911	0.00	*	179.6191	da

Izračun med datotekama (izmerama) 13 in 14.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	0.0040	-0.0020	117.	0.0045	0.0022	2.0022	1.9634	4.56		8.1587	da
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
600005	0.0010	-0.0060	171.	0.0061	0.0035	1.7246	2.4073	21.63		2.9791	da
600006	0.0110	-0.0050	114.	0.0121	0.0044	2.7218	2.2948	1.51		7.7869	da
600007	-0.0030	-0.0020	236.	0.0036	0.0030	1.2009	2.1819	38.60		2.3222	
7001	0.0280	0.0040	82.	0.0283	0.0042	6.7619	2.4165	0.00	*	47.0254	da
7015	-0.0050	0.0070	324.	0.0086	0.0038	2.2856	2.0947	3.01		11.3059	da
610002	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
610004	0.0060	-0.0070	139.	0.0092	0.0041	2.2568	2.4009	7.08		5.1856	da

Izračun med datotekama (izmerama) 14 in 15.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
V simulaciji negativni argument za izračun d_x											
600301	0.0010	-0.0010	135.	0.0014	0.0016	0.8794	1.9810	38.82		-12.4615	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
600005	0.0040	0.0080	27.	0.0089	0.0020	4.4817	2.1692	0.00	*	30.9087	da
600006	0.0170	0.0150	49.	0.0227	0.0024	9.5228	2.1622	0.00	*	166.7248	da
600007	0.0020	0.0040	27.	0.0045	0.0016	2.7705	2.1854	0.90		7.7271	da
7001	-0.0210	-0.0030	262.	0.0212	0.0031	6.7839	2.2533	0.00	*	48.6718	da
7015	0.0120	-0.0050	113.	0.0130	0.0032	4.0496	2.1088	0.01	*	16.4153	da
610002	0.0010	0.0020	27.	0.0022	0.0013	1.7822	2.2332	14.68		3.8928	da
610004	-0.0030	0.0030	315.	0.0042	0.0022	1.9102	2.2369	11.18		4.8999	da

Izračun med datotekama (izmerama) 15 in 16.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
600301	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
600003	-0.0040	0.0000	270.	0.0040	0.0021	1.9409	2.2925	11.62		4.9980	da
600005	-0.0030	-0.0040	217.	0.0050	0.0022	2.2481	2.3045	5.75		6.3896	da
600006	-0.0050	-0.0210	193.	0.0216	0.0015	14.1054	2.2707	0.00	*	222.7745	da
600007	-0.0130	-0.0010	266.	0.0130	0.0023	5.6459	2.2858	0.00	*	38.1415	da

Izračun med datotekama (izmerama) 16 in 17.

Tocka	dy	dx	ni_d	d	sigma_d	T	T_krit	alfa_dej	d>3*sigma_d	dT*Sdd-1*d	dT*Sdd-1*d>hi^2
	(m)	(m)	(°)	(m)	(m)			%			
V simulaciji negativni argument za izračun d_x											
600301	0.0030	-0.0010	108.	0.0032	0.0015	2.0775	1.9778	3.94		-21.8934	
600001	0.0000	0.0000	0.	0.0000	???	IDENTICNA TOCKA ???					
600005	0.0030	0.0010	72.	0.0032	0.0030	1.0588	2.1964	48.71		1.1755	
600006	0.0090	0.0050	61.	0.0103	0.0028	3.6973	2.1979	0.03	*	20.5082	da
600007	0.0080	0.0000	90.	0.0080	0.0029	2.7127	2.2353	1.28		8.7742	da
630004	0.0040	0.0020	63.	0.0045	0.0032	1.4090	2.2390	29.89		1.9860	
7101	-0.0210	-0.0080	249.	0.0225	0.0029	7.6802	2.2228	0.00	*	59.8208	da
7115	0.0230	-0.0130	119.	0.0264	0.0028	9.4839	2.1597	0.00	*	100.5829	da