

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö

Sanna Ruohonen

**FARO LS 880 -LASERKEILAIN VAPAAN KEILAINASEMAN
MENETELMÄSSÄ**

Työn ohjaaja Ilkka Tasanen
Työn teettäjä Geopalvelu Oy, Ari Jokihaara
Tampere 2007

Sanna Ruohonen	Faro LS 880 -laserkeilain vapaan keilainaseman menetelmässä
Opinnäytetyö	46 sivua + 5 liitettä
Työn ohjaaja	Ilkka Tasanen
Työn teettäjä	Geopalvelu Oy, valvoja Ari Jokihaara
Hakusanat	Laserkeilaus, mittaus, PNS-menetelmä

TIIVISTELMÄ

Laserkeilaus on uusimpia mittaustekniikan menetelmiä. Mittaus tehdään lasersäteen avulla. Mittausaineistona muodostuu pistepilviä, jotka koostuvat miljoonista pisteistä. Pisteiden sijainti on tunnettu ja niille voidaan antaa todelliset koordinaattitiedot.

Tarkoituksena oli toteuttaa laserkeilauksia hallituissa olosuhteissa. Mittausaineiston avulla oli tarkoitus selvittää Faro LS 880 -laserkeilaimen toimintaperiaatteita ja Faro scene -ohjelmiston matemaattinen ratkaisumalli. Ohjelmiston toimintaperiaatteita ei ole ennalta dokumentoitu. Mittausmenetelmä on ollut käytössä Suomessa vasta vähän aikaa, eikä toiminnan yksityiskohtia vielä tunneta hyvin.

Testimittaukset suoritettiin Geopalvelu Oy:n mittauskalustolla. Mittauksissa käytettiin Faro LS 880 -laserkeilainta ja Sokkia 2030R3 -takymetriä.

Mittaustuloksien analysoinnin avulla selvitettiin ohjelmiston toimintaperiaate, joka on todennäköisesti pienimmän neliösumman menetelmä. Keilaimen toiminnasta tehtiin havaintoja, joiden perusteella laite toimii valmistajan määrittämissä toimintarajoissa.

Sanna Ruohonen Faro LS 880 laser scanner in the free-station (resection)
method
Engineering Thesis 46 page + 5 appendices
Thesis supervisor Ilkka Tasanen
Commissioning Company Geopalvelu Oy, Ari Jokihaara
October 2007
Keyword laser scanner, measuring, least squares method

ABSTRACT

Laser scanning is one of the newest methods in measuring technology. Measuring is done by laser beams. Measured data is recorded as point clouds, which consist of millions of points. Each point has a known location and can be given real x, y and z coordinates..

The purpose of this project was to use a laser scanner in defined conditions and try to define the principles of measuring with Faro LS-880 and mathematical calculating model for Faro Scene data processing software. The software was not documented beforehand. In Finland laser scanning method has not been used for long and measuring principles are still mostly unknown.

Test scans were made with measuring equipments of Geopalvelu Oy. Measurements have been made with Faro LS 880 laser scanner and Sokkia 2030R3 total station.

The software processing system was worked out by analysing the measurement data. Processing system is probably the least squares method. We were made also many observations about the functions of the scanner. The scanner runs within the limits set by the manufacturer.

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 LASERKEILAUS	7
2.1 Laserkeilainten käyttökohteet.....	8
2.2 Laserkeilauksen historiaa Suomessa	8
2.3 Laserkeilaimien luokittelu	9
2.3.1 Mittaustekninen luokittelu.....	9
2.3.2 Laserkeilaimien käyttötarkoituksen mukainen luokittelu.....	10
2.4 Laserkeilaimien peilijärjestelmä.....	10
2.5 Laserkeilaimen fyysiset ja mittaustekniset parametrit.....	11
2.6 Laserkeilaintyytit ja mallit.....	12
2.7 Suomessa käytössä olevat laserkeilaimet	14
2.8 Laserkeilausprojektin päävaiheet	16
3 FARO LS 880 -LASERKEILAIMEN OMINAISUUDET	16
3.1 Ohjelmistot ja dokumentointi	18
3.2 Laserkeilauksen pistepilvi ja sen ominaisuudet.....	19
3.3 Pistepilvien yhdistäminen.....	20
3.4 Mittaustekninen tasoitus ja matemaattiset ratkaisumallit.....	21
3.5 Tasoituksen virhe-yhtälöt	22
4 TESTIMITTAUSJÄRJESTELYT	23
4.1 Testikohteen kuvaus	24
4.2 Mittaustyöt testikohteessa	24
4.2.1 Mittausjärjestelyt	25
4.2.2 Tähyksen sijoittaminen mittaustilaan	25
4.3 Testimittausten toteutus.....	27
4.4 Takymetrimittaukset ja verkon muodostus.....	27
4.5 Laserkeilaukset ja niiden asetukset.....	28
5 MITTAUSTEN KÄSITTELY.....	29
5.1 Takymetrimittaus ja verkon tasaus	29
5.2 Vapaan keilainaseman määrittäminen Faro Scene - ohjelmistossa.....	31
5.3 Faro scene -ohjelmiston toimintaperiaatteet.....	33

5.3.1 Skaalaus	35
5.3.2 Faro Scene ja Geomatics office –ohjelmistojen laskentatulokset.....	36
5.4 Kallistettujen keilausten vertaus	36
5.4.1 Inklinometrin toiminnan tarkastelu	36
5.4.2 Korkeuden muuttuminen.....	37
5.5 Muita havaintoja Faro LS 880 –laserkeilaimesta	38
6.TUTKIMUSTULOKSET	39
7. TULOSTEN ARVIOINTI.....	42
LÄHDELUETTELO	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Laserkeilaus on mittaustekniikan uusimpia menetelmiä, ja se tuottaa mittaussaineiston itsenäisesti lasersäteellä. Mittauksen suorittaminen vaatii vain laitteen käynnistämisen. Keilain mittaa tiheitä ja yksityiskohtaisia mittaussaineistoja, jotka mahdollistavat tarkan ja monipuolisen mittaussaineiston tarkastelun. Mittaussaineiston tarkkuuteen liittyvät yksityiskohtaiset säädöt ovat laitekohtaisia, eikä niitä voida verrata keskenään. Mittaussaineisto koostuu miljoonista pisteistä ja sen koko on todella suuri. Suomessa menetelmä on uusi, mutta se on vallannut viime vuosina useita mittaustekniikan osa-alueita, ja sitä käytetään moneen eri tarkoitukseen. Maassamme on hyvin erilaisia laserkeilaimia, joiden käyttökohteet vaihtelevat laitteiden ominaisuuksien mukaisesti.

Tässä työssä keskitytään selvittämään Faro LS 880 -laserkeilaimen ohjelmiston toimivuutta, ohjelmiston matemaattista ratkaisumenetelmää vapaankeilainaseman määritysmenetelmässä ja mittalaitteiston tarkkuutta. Laitevalmistaja ei ole dokumentoinut ennalta ohjelmiston toimintaperiaatteita. Laserkeilaimen toiminnan tutkiminen koeolosuhteissa antaa mahdollisuuden tarkastella laitteiston toimintaa siten, että virhelähteet on minimoitu. Tämän työn pohjaksi on laadittu sellaiset koeolosuhteet, joiden tuloksina saatu aineisto on mahdollisimman tarkkaa.

Laserkeilaimen toimintaa mittaussyksikkönä tutkitaan takymetrimittaus-ten avulla. Kojeen ja ohjelmiston toimivuutta tarkastellaan ohjelmiston määritys- ja mittaustulosten avulla. Aineistosta selvitetään miten ohjelmisto reagoi muutoksiin ja kuinka todellisina mittaustulokset muutoksista huolimatta pysyvät.

2 LASERKEILAUS

Laserkeilauksella (eng. laser scanning) tarkoitetaan rakenteiden ja ympäristön mittausta näkyvällä lasersäteellä. Mittaukset tehdään joko laitteen sisäiseen koordinaattijärjestelmään tai haluttuun korkeus- ja koordinaattijärjestelmään. Laserkeilauksella tuotetaan tiheä 3D-pistepilvi. Laserkeilaus perustuu pääasiassa joko laserpulssin kulku-aikaan tai lasersäteen vaihe-eromittaukseen riippuen laitteistosta. /12/

Laserkeilaus täydentää käytössä olevia koordinaattimaailman mittausmenetelmiä ja laajentaa niiden käyttökohteita. Mittaukset voidaan suorittaa tehokkaasti ja kohteeseen koskematta. Mittaustuloksena syntyy kolmiulotteinen pistepilvi. Mittaustietoa syntyy kaikista mittausalueella olevista kohteista. /3/

Yleisimmät syyt laserkeilausmenetelmän käytölle ovat /3/:

- mittauskohteesta ei ole piirustuksia
- kohteesta halutaan kolmiulotteista tietoa
- työskentelyolosuhteet mittauskohteessa ovat vaaralliset
- mittauskohteesta halutaan mittatarkkaa tietoa nopeasti.

Tyypillisimpiä lasermittauskohteita ovat tuotantolaitokset, arvorakennukset, sillat, tiet, tunnelit, muistomerkit, laivat, rautatiet, korkeat rakenteet ja vaikeasti tavoitettavat kohteet sekä maanpinnan mittaus. /3/

Joihinkin keilaimiin on asennettu kameroita täydentämään skannausaineistoa ja tuomaan pistepilviin värit. Osa keilaimista toimii akuilla ja osa tarvitsee verkkovirtaa. Myös keilausetaisyysissä ja -tarkkuuksissa on eroja. /10/

2.1 Laserkeilainten käyttökohteet

Laserkeilainta voidaan käyttää monenlaisissa tilanteissa riippuen sen ominaisuuksista. Keilaimia on suunniteltu eri tarkoituksiin, ja niiden ominaisuudet vaihtelevat paljon riippuen laitteistosta. Laitteistot ovat kehittyneet viime vuosina huomattavasti, ja tulevaisuudessakin kehitys tulee jatkumaan. Keilainten käyttökohteita voivat olla mm. rakennusten julkisivujen entisöinti, ympäristön mittaukset kaupunkisuunnittelua varten, rakennemuutosten seuranta vuosien aikana esim. silloissa, oikeusopilliset sovellukset ja yleisten rakennusten sekä rakenteiden ylläpitosuunnitteluun liittyvät mittaukset. /12/

Ilmasta voidaan tehdä laserkeilauksia lentokoneesta tai helikopterista. Lentokoneesta tehtävät mittaukset soveltuvat suurten alueiden kartoitustyyppeihin mittauksiin. Helikopterimittaukset soveltuvat pienille tai linjamaisille alueille. Molemmissa mittauksissa käytettävillä laserkeilaimilla on oltava seuraavat ominaisuudet: GPS-vastaanotin, inertiajärjestelmä ja laseretäisyysmittari. Tärkeimpänä lopputuotteena ilmamittauksista syntyy maanpinnan pintamalli. Maanpinnan lisäksi mittauksia voidaan käyttää kaupunkimallien ja melumallinnuksen tekemiseen. /10/

2.2 Laserkeilauksen historiaa Suomessa

Maailman markkinoille laserkeilaimet tuotiin vuonna 1999 Saksassa järjestetyillä messuilla. Suomeen tuotiin työmaiden 3D-laserskannauksiin soveltuva laserkeilain vuonna 2001. Terrasolid Oy toi Suomeen Callidus-laserkeilaimen, joka oli yhteensopiva myös AutoCAD-ympäristön kanssa. Ensimmäisten laserkeilainten joukossa Suomeen tuli myös Cyrax –laserkeilaimia. /4;5/

Tämän jälkeen laserkeilainten markkinat ovat kasvaneet, ja markkinoilla on useita eri käyttötarkoituksiin soveltuvia keilaimia. Yleisimmät laserkeilainmerkit on esitelty kohdassa 2.6. /4/

2.3 Laserkeilaimien luokittelu

Laserkeilaimet voidaan luokitella mittausteknisten ominaisuuksien mukaan kahteen ja käyttötarkoituksen mukaisesti kolmeen ryhmään. Laserlaitteistojen toimivuutta lähemmin tarkasteltaessa voidaan teknisiä ominaisuuksia jaotella tarkemmin. Merkittäviä eroja on mm. peilijärjestelmissä.

2.3.1 Mittaustekninen luokittelu

Pääryhmien menetelmät ovat valon kulku aikaan perustuva (pulssilaser) ja vaihe-eromittaukseen perustuva mittausten menetelmä. Valon kulku aikaan perustuvat keilaimet ovat hitaampia, mutta niiden tarkkaan mitataavat mittaustettäisyydet ovat huomattavasti pidempiä kuin vaihe-eromittaukseen perustuvilla keilaimilla. /3/

Pulssilaser

Pulssilaser mittaa energiapulssin kulku aikaan kohteeseen ja takaisin. Aikaeron perusteella johdetaan etäisyysmittaustulos. Mittaustulokseen vaikuttavat keilaimen ajanmääritystarkkuus, pulssin ominaisuudet ja etäisyys. /8/

Vaihe-erolaser

Vaihe-erolaser lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteetti on moduloitu aallonmuotoiseksi. Signaali heijastuu mittaustarkkuudesta, jolloin koke mittausta lähetetyn ja vastaanotetun signaalien vaihe-eron. /8/

2.3.2 Laserkeilaimien käyttötarkoituksen mukainen luokittelu

Keilainten käyttökohteisiin kuuluvat erilaisten rakenteiden mittaus ja ympäristön mittaus sekä oikeusopilliset sovellutukset. Koska mittauksia on monentyypisiä, myös laitteistoja on olemassa hyvin monenlaisia. /12/

Laserkeilainluokittelu käyttötarkoituksen mukaisesti /3/:

- Kaukokartoituskeilaimet (lentokone- ja helikopterimittaukset), joiden mittausetäisyys on 1 - 100 km. Mittatarkkuus yli 10 cm.
- Maalaserkeilaimet (terrestriaaliset skannerit), joiden mittausetäisyys on 300 m asti ja mittatarkkuus alle 2 cm
- Teollisuuslaserkeilaimet, joilla mitataan pieniä kohteita alle 30 m:n etäisyydeltä, alle mm:n tarkkuudella.

2.4 Laserkeilaimien peilijärjestelmä

Peilijärjestelmän toteutus kuvaa parhaiten laserkeilauksen toimintaa, koska mittaustapahtuma on täysin riippuvainen peilijärjestelmästä. Peilijärjestelmän avulla tuotetaan vertikaalinen keilausnäkemä. Lasermittaus tapahtuu peilijärjestelmästä suuntautuvan lasersäteen avulla. Käytössä on oskilloiva ja ympäripyörivä peilijärjestelmä. /8/

Oskilloivalla peilijärjestelmällä voidaan tuottaa vain kapea keilauskulma, joka on käyttökelpoinen pienissä yksityiskohtaisissa mittauksissa. Pyörivä peilijärjestelmä voidaan toteuttaa joko polygonipeilillä tai vinopeilillä. /8/

Polygonipeili koostuu vähintään kolmesta peilipinnasta, jotka pyörivät oman akselinsa ympäri. Tässä järjestelmässä lasersäde on kohtisuorassa pyörimisakseliin nähden. Keilauskulma on alle 90 astetta.

Vinopeili asennetaan pyörimisakseliinsa nähden 45 asteen kulmaan, ja lasersäde on suunnattu pyörimisakselin suunnassa. /8/

2.5 Laserkeilaimen fyysiset ja mittaustekniset parametrit

Fyysisiä parametrejä ovat maksimietäisyys, kulmaluvun tarkkuus, kulman minimiaskel, toiminta-aika, näkökenttä ja kahden pisteen välinen minimimatka. Mittausteknisiä parametreja ovat mm. mittaustiheys, mittauksien suodatusmahdollisuudet ja tähyksien mittauksen helppous. /11/

Mittauslaitteiden valmistajat määrittävät parametrejä hyvin eri kriteereillä, koska yleistä yhtenäistä standardia tähän ei ole. Määrittelyjen avulla ei voida verrata keilainten toimivuutta keskenään, esimerkiksi laiteselostusten perusteella. Laitevalintaa tehdessä on ehdotonta, että laitetta testataan sille tarkoitettussa toiminnassa. /11;6/

Keilaimen kykyyn määrittää mittaushohteen yksityiskohtat vaikuttavat monet tekijät, kuten kulmaresoluutio, mittaussäteen divergenssi, etäisyyden mittatarkkuus ja hohteen etäisyys. Yksityiskohtien havainnointiin vaikuttavat myös ympäristötekijät, kuten sääolosuhteet, pöly, lämpö ja kosteus. /8/

Kulmaresoluutio määrittää lasersäteiden välisen kulmaerotuksen. Kulmaerotus voi olla pysty- ja vaakasuunnissa erisuuruinen. Useimmissa keilaimissa kulmaresoluutio voidaan määrittää tapauskohtaisesti. Kulmaresoluutio määrittää, kuinka yksityiskohtaista mittaushohtoa tuotetaan. /8/

Säteen hajoamiskulma (divergenssi) tarkoittaa sitä avaruuskulmaa, jonka sisällä laserin tuottama energia etenee ja vaimenee määriteltyyn murto-osaan huippuintensiteetistä. Avaruuskulman ollessa suuri lasersäteen kaikuja voidaan havainnoida kauempaa. /8/

Etäisyshavaintojen mittatarkkuus määrää mittauksen luotettavuuden. Se vaikuttaa mittaushavaintojen pinnan muodon vaihtelujen havainnointiin. Mittaetäisyys on pulssilaserilla satoja metrejä ja vaihe-erolaserissa muutamia kymmeniä metrejä. Mittausetäisyyteen vaikuttaa lähetetyn pulssin teho ja toistotaajuuden enimmäiskulku-aika sekä kantotaallon modulaatio. /8/

Kulmatarkkuus ilmoittaa lasersäteiden suunnanmääritystarkkuuden. Kulmatarkkuus vaikuttaa sijaintivirheen suuruuteen. /8/

Toistotaajuudella tarkoitetaan laserin mittaushavaintoja sekunnissa. Vaihe-erolaserin toistotaajuus on huomattavasti suurempi kuin pulssilaserin. Suurella toistotaajuudella toimivan laserkeilaimen mittausaika on lyhyempi kuin vastaavalla kulmaresoluutiolla pienemmällä toistotaajuudella toimivan kojeen. /8/

Keilauskulma määrittää laserkeilaimen näkemän eli tasokulman, jonka lasersäteet muodostavat. Keilauskulmaan vaikuttaa laitteen rakenne. Laitteet, joissa on pyörivä polygonipeili tai heilahteleva peili, muodostavat kapean keilauskulman. Pyörivä vinopeili muodostaa usein yli 300 asteen keilauskulman. Kojeilla, joiden keilauskulma on kapea, joudutaan tekemään useita mittauksia kokonaiskuvan saavuttamiseksi. /8/

2.6 Laserkeilaintyyppit ja mallit

Maailmalla on käytössä useita eri keilaintyyppisiä ja merkkejä. Jokaisella keilaimella on oma erityisalueensa, jolla se toimii parhaiten. Keilaintyyppien keskinäinen vertaaminen on hankalaa juuri tämän ominaisuuden takia, koska samaan käyttötarkoitukseen on valmistettu vähän keskenään samassa sarjassa olevia keilaimia. Taulukossa 1 on esitelty yleisimpiä käytössä olevia keilaimia, niiden mittausetäisyyttä ja ohjelmistoja. Laitteistojen mittausetäisyys vaihtelee 10 metristä 1500 metriin.

/2/

Taulukko 1. Maailmassa käytössä olevat laserkeilaimet 2007 /14/.
(* tässä työssä tarkastelun kohteena oleva keilan)

	Valmistaja	Malli	Etäisyys (m)	Ohjelmisto
1	Mensi (Trimble)	S10	10	3Dipsos, Real-works
2	3rdTech	DeltaSphere	12	SceneVision-3D
3	FARO	LS 420	20	FARO Scene
4	MetricVision	MV224	24	
5	MetricVision	MV260	24	
6	Mensi (Trimble)	S25	25	3Dipsos, Real-works
7	CALLIDUS Precision Systems	CP 3200	32	3D-Extractor
8	FARO	LS 840	40	FARO Scene
9	Leica	HDS 4500	50	Cyclonen, Cloudworx
10	Zoller+Froehlich GmbH	IMAGER 5003	55	Light Form Modeller
11	Leica	HDS 6000	79	Cyclonen, Cloudworx
12	Zoller+Froehlich GmbH	IMAGER 5006	79	Light Form Modeller
13	FARO(*)	LS 880	80	FARO Scene
14	CALLIDUS Precision Systems	CPW8000	80	3D-Extractor
15	Leica	HDS 3000	100	Cyclonen, Cloudworx
16	Leica	HDS 2500 (Cyrax)	100	Cyclonen, Cloudworx
17	Mens (Trimble)	GS 100	100	3Dipsos, Real-Works
18	Leica	Scan Station	134	Cyclonen, Cloudworx
19	Mensi (Trimble)	GS 200	200	3Dipsos, RealWorks
20	Trimble	GX-3D	200	3Dipsos, RealWorks
21	Leica	Scan Station	300	Cyclonen, Cloudworx
22	Trimble	GS200	350	3Dipsos, Real-Works
23	I-SiTE Pty Ltd	I-SiTE 4400 LR	150/700	I-SiTE Studio
24	Optech	ILRIS-3D	800/1500	PolyWorks

2.7 Suomessa käytössä olevat laserkeilaimet

Suomessa käytössä olevien laserkeilainten arviointi osoittautui hankalaksi, joten asiaa selvitettiin Suomen maahantuojilta kyselykaavakkeella, (liite 2). Kysymykset lähetettiin neljälle maahantuojalle, joista kolme vastasi kyselyyn. Kyselyn tavoitteena oli selvittää, mitä keilaimia Suomeen on myyty, kuinka paljon laitteistoja on käytössä ja miltä markkinatilanne maahantuojista näyttää.

Suomessa maahantuojien mukaan käytössä olevat laserkeilaimet, merkit ja mallit:

- FARO 880
- FARO LS 420
- Cyrax 2400
- Leica HDS 2500
- Leica HDS 3000
- Leica HDS 6000
- Callidus CP3200
- Callidus CPW 8000
- Mensi / Trimble GS 200
- Mensi S25

Suomeen on myyty maahantuojien kautta yhteensä 18 kappaletta laserkeilaimia, joista yksi on tuhoutunut työmaan onnettomuudessa. Osa keilaimista on opetus- ja tutkimuskäytössä. Näiden laitteistojen lisäksi Suomessa on joitakin lähietäisyydelle mittaavia keilaimia.

Myynnin kasvusta maahantuojilla oli eriäviä mielipiteitä. Osa vastanneista oli sitä mieltä, että myynti oli kasvanut, ja toiset sitä mieltä, että muutoksia ei viime vuosina ole tapahtunut. Myynnin kasvun arveltiin kehittyneen odotettua hitaammin.

Myynnin kasvun kehitykseen ovat vaikuttaneet uudet teknologiset ratkaisut. Laitteistojen koko ja helppokäyttöisyys ovat lisänneet kiinnostusta, kun taas pistepilvien värittämyys ja mallinnusohjelmien puutteet ovat hidastaneet myyntiä.

Laserkeilauksen tulevaisuus maahantuojaisten mielestä:

Laserkeilauksen käyttöalueiden uskotaan kasvavan tulevaisuudessa. Merkittävimpinä kasvualueina pidettiin mm. käyttöä rakennustyömaiden apuvälineenä sekä kaivos- ja tunnelimittausta. Kasvun arveltiin olevan jopa 15–20 % vuodessa.

Laserkeilauksen tulevaisuutta pidettiin positiivisena, koska uusien laitteistojen aiheuttamat hankaluudet alkavat olla hallinnassa. Käyttöönottoa ovat hidastaneet mm. epäselvät tekniset tiedot. Tällä hetkellä tilaajat osaavat erottaa mittauksen kannalta tärkeät asiat. Tilannetta voidaan verrata GPS-laitteistojen käyttöönottoon liittyviin ongelmiin.

Laitteistojen monipuolisuudesta johtuen muutoksia odotettiin erityisesti ohjelmistopuolelle, koska pistepilviaineistojen koot kasvavat. Itse laitteistojen uskotaan kehittyvän entistä tarkemmiksi ja nopeammiksi. Lisäksi uskottiin mobiiliratkaisujen kehittyvän siten, että mittauksia päästään toteuttamaan liikkuvalla alustalla. Kehityksen uskotaan lisäävän laserkeilauksen kilpailukykyä markkinoilla, koska sen avulla voidaan alentaa kohdekohtaisia kustannuksia ja lyhentää työaikaa.

Suomeen kaivattaisiin testauskenttää, jossa voitaisiin selvittää laitteistojen todellinen toimivuus ja tarkkuus. Testauksien ja tutkimuksen avulla voitaisiin laatia yhtenäinen ohjeistus ja standardi ohjaamaan lasermittauksia.

2.8 Laserkeilausprojektin päävaiheet

Laserkeilainprojektien toteuttaminen edellyttää järjestelmällistä toimintaa. Projektin onnistumiseen vaikuttavat sekä laitevalinta että projektinhallinta. Työvaiheisiin kuuluvat: valmistelu ja esitietojen hankinta, takymetrimittaus, keilaus, aineiston käsittely, keilausmateriaalin siistiminen, mallintaminen ja puhtaaksi piirto sekä tulosten toimittaminen asiakkaalle.

Työn kulkua ajallisesti tarkasteltaessa voidaan todeta, että laserkeilaus on useimmissa tapauksissa lyhin työvaihe. Tässä mittausmenetelmässä työn painopiste on toimistotyöskentelyssä ja aineiston jatkokäsittelyssä. Työaika on hyvin tapauskohtainen riippuen lopputuloksesta, mittausalueen laajuudesta ja käytettävän laitteiston tehokkuudesta. Kun keilauksia ei tarvitse yhdistää tai koordinaatisto voi olla kuvitteellinen, on työ nopeaa, esim. tarkastettaessa jonkin rakenteen todellista muotoa. Työ hidastuu, kun keilauksia on useita ja materiaalista tehdään erisuuntaisia kuvia tai 3D-mallinnusta. Tällöin työtila saatetaan todelliseen koordinaatistoon ja määrittämiä tehdään mahdollisimman paljon. /7/

3 FARO LS 880 -LASERKEILAIMEN OMINAISUUDET

Faro LS 880 -laserkeilaimen toiminta perustuu vaihe-eromittaukseen. Koje mittaa vaakasuunnassa 360 astetta ja pystysuuntainen näkymä on 320 astetta. Keilauksen katvealueena on pieni kojeen alapuolinen alue.

Kojeen käyttämä mittausmenetelmä on nopeampi kuin perinteisissä aikaeromittaukseen perustuvissa laserkeilaimissa. Keilain koostuu kolmesta moduulista: etäisyysmittari, peilimoduuli ja PC-moduuli. Moduulirakenne helpottaa huoltoa ja osien päivitystä. /1; 6/

Laitteiston ominaisuuksia ja tekniset tiedot maahantuojan mukaan /1;6/:

- nopeus (measurement range) 120 kHz
- mittausetäisyys 70 m
- aallonpituus 785 nm
- säteenhalkaisija (lähtiessä) 3 mm
- lasersäteen keskiarvollinen teho 22 mv
- resoluutio 0,6 mm -17 bittiä etäisyydessä ja intensiteetissä 9 bittiä
- lineaarinen virhe 10 metrillä 3 mm
- toistotarkkuus 10 m päässä 8 mm rms
- pystyerotuskyky 0,009 astetta (40 000 kuvapistettä) ja vaakasuunnassa 0,00076 astetta (470 000 pistettä)
- suurin keilausnopeus pystysuunnassa 3000 1/min
- keilausaika 4450x2500 pisteelle 104 sekuntia.

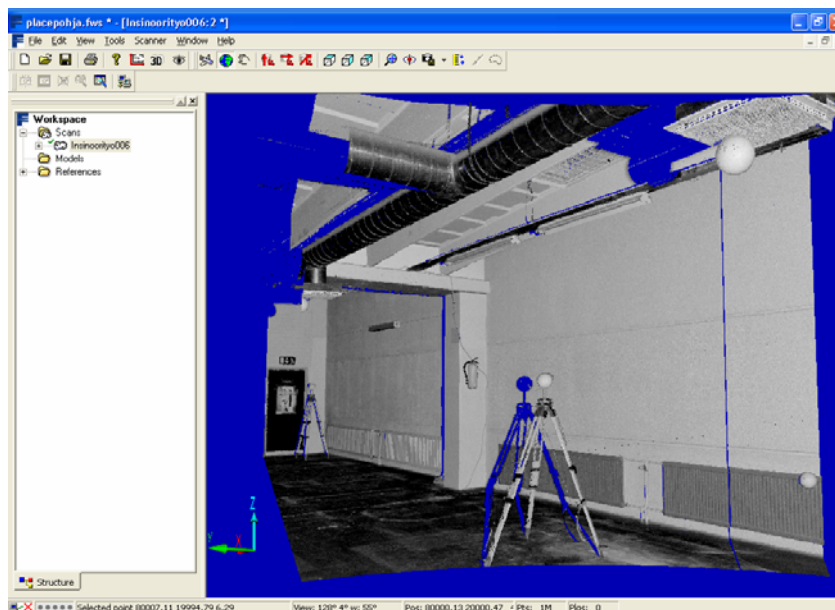
Tämä maalaserkeilain käyttää mittausmenetmäänsä kupolista menetelmää, jolloin keilaus tapahtuu lähes joka suuntaan. Laitteen peilijärjestelmä on pyörivä peilijärjestelmä, joka käsittelee lasersädettä 90 asteen kulmassa. /5/

Faro LS 880 -laserkeilain tuottaa harmaasävyisiä pistepilviä. Lisälaitteena on saatavilla laajakulmainen kalibroitu digitaalikamera, jolla voidaan visuaalisesti parantaa lopputulosta. /1; 8/

Keilaimen hyviin ominaisuuksiin kuuluvat hyvä kulmanerotuskyky ja etäisyysmittaustarkkuus. Mittauksia voidaan tehdä myös eri asennoissa. Kallistussensori mahdollistaa nopean käsittelyn, kun mittausaineisto voidaan tuottaa suoraan vaakatasoon oikaistuna. /1; 8/

3.1 Ohjelmistot ja dokumentointi

Faro LS 880 -keilainta ohjataan Faro Record -ohjelmistolla, jolla voidaan ohjelmoida laitteen toimintaa mittaustilanteissa. Tällä ohjelmistolla voidaan määrittää mittaustiheys ja mitta-alue esim. sektorikeilauksessa. Määrittäykset voidaan tehdä ennen mittauksia, jolloin ATK-laitteistoa ei tarvitse ottaa mukaan mittausta paikalle. /1/

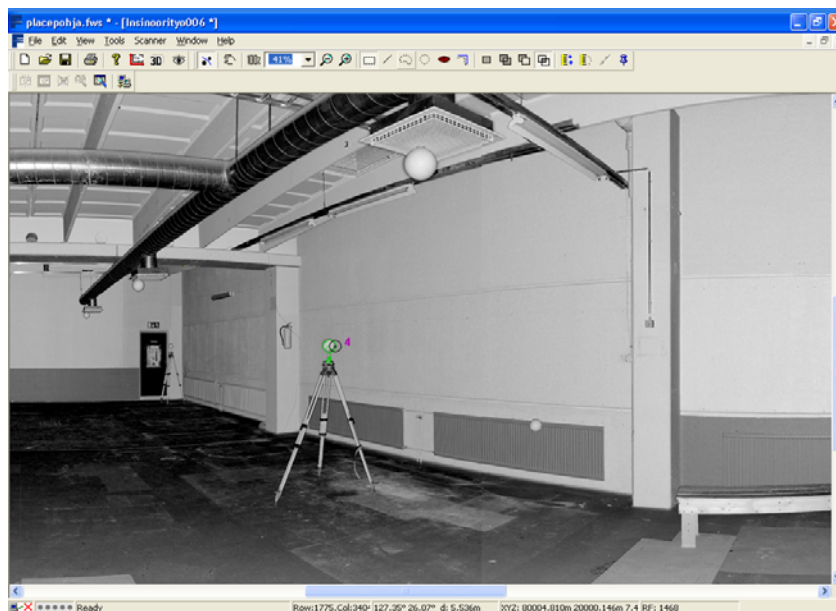


Kuvali Pistepilvi 3D-muodossa Faro Scene -ohjelmistossa.

Faro LS 880:n datan käsittely vaatii laitevalmistajan ohjelmiston, jotta pistepilvistä voidaan tuottaa mittaustuloksia. Pistepilviä voidaan esikäsittää Faro Scout -ohjelmistolla (ei välttämätöntä) ja keilaukset yhdistää Faro Scene -ohjelmistolla. Kuvassa 1 pistepilvi Faro Scene-ohjelmistossa. Keilainten esikäsittelyn ja yhdistämisen jälkeen aineistoa voidaan jatkokäsittää ja muokata halutulla ohjelmistolla, kuten AutoCAD-ohjelmistoilla. Faro scene -ohjelmistosta voidaan tuoda pistepilviaineistoa useassa eri muodossa, kuten IGES ja DXF. /1;2/

3.2 Laserkeilauksen pistepilvi ja sen ominaisuudet

Laserkeilauksella tuotetaan pistepilvi, jonka avulla mittauskohde voidaan mallintaa ja kuvata. Pistepilven jokaisella pisteellä on x-, y-, z-koordinaatit, joiden avulla saadaan tarkkaa mittausaineistoa kohteesta. Kuvassa 2 on Faro LS 880:n pistepilviaineisto yhdeltä keilainasemalta. Tämän laserkeilaimen pistepilvi näyttää mustavalkovalokuvalta. Pistepilvirakenne tulee esiin, kun aineistosta poimitaan osia tai aineistoa pyöritellään 3D-mallina.



Kuva 2 Pistepilvi mittauksen jälkeen.

Mallintamisen kannalta merkittäviä tekijöitä laserkeilauksessa ovat pisteiden laatu, pistepilven tiheys ja pistepilvien yhdistämisen laatu. Tiheästä pistepilvestä voidaan mallintaa hyvin yksityiskohtaisesti, jos pisteiden laatu on hyvä. Pistepilven tiheys heikkenee matkan funktiona. /3/

Mittaustulosten laatuun vaikuttava tekijä on mitattujen pisteiden hajonta. Hajontaan vaikuttaa lasersäteen osumiskulma kohteessa. Kun kojeaseman ja mittauskohteen etäisyys kasvaa, samalla myös paluusiignaalin voimakkuus heikkenee. Paluusiignaaliin vaikuttaa myös mittauskohteen pinnan materiaali, esim. maalattu pinta, tiili ja metalli heijastavat lasersäteen eri tavalla. Myös rakenteen muodot vaikuttavat paluusiignaalin voimakkuuteen, esim. kaareva ja pyöreä pinta.

3.3 Pistepilvien yhdistäminen

Kohteen kartoittamista varten tehdään mittauksia usealta kojeasemalta, jotta katvealueita syntyisi mahdollisimman vähän. Mittauksista syntyy useita pistepilviä, joista voidaan muodostaa yksi työtila. Työtilassa voidaan käsitellä kaikkia mittauskohteen keilauksia siten, että ne voidaan sitoa toisiinsa. Tällöin voidaan tehdä esimerkiksi leikkaus kaikista pistepilvistä samanaikaisesti määrittämällä leikkauskohta ohjelmistoon. Mittausaineistoa voidaan käsitellä myös yksittäisinä pistepilvinä, jolloin aineiston käsittely on nopeampaa. Yksittäisiä keilauksia voidaan käyttää mm. täydentämään muita mittausmenetelmiä.

Mittausaineiston yhdistäminen toteutetaan siten, että kaikki mittausaineistot orientoidaan samaan koordinaatistoon. Tarkin yhdistämistulos saadaan käyttämällä yhteisiä tähyksiä. Keilauksilla tulee olla vähintään kolme yhteistä tähyistä, jotta ne voidaan yhdistää samaan koordinaatistoon. Neljän tähyksen määrityksellä voidaan kontrolloida keilaimen asettumisen onnistumista. Ilman ylimääritystä virheiden havaitseminen ei onnistu /9, s.89/.

Yleisimmät laserkeilauksessa käytettävät tähykset ovat joko tasomaisia tai pallomaisia. Tähyksinä voidaan käyttää myös mittaustilassa erilaisia rakenteita, kuten tiilenpäitä seinissä tai ikkunan pieliä.

Faro -laserkeilaimen kanssa käytetään erilaisia tähyksiä riippuen mitta-
uskohteesta. Tähysten sijainti määritetään pistepilvestä. Ne voidaan
myös mitata takymetrillä todelliseen koordinaatistoon, jolloin koko työ
voidaan siirtää haluttuun koordinaattijärjestelmään.

Pistepilvien yhdistämisessä voidaan käyttää myös tiettyjä määritettyjä
alueita, jotka näkyvät molemmissa keilauksissa. Tämä menetelmä on
käytössä vain osassa keilaimista. Tällöin keilaukset yhdistetään määri-
tettyjen kohtien avulla. /7/

Menetelmän edellytyksenä on, että ainakin yksi kolmasosa keilauksista
menee päällekkäin ja yhdistettävillä keilauksilla on vähintään kolme
yhteistä pistettä. Menetelmän heikkoutena ovat keilauskulmien aiheut-
tamien muutokset, jolloin yhteistä pistettä on vaikea määrittää varmuu-
della samasta kohdasta. /3/

3.4 Mittaustekninen tasoitus ja matemaattiset ratkaisumallit

Mittausteknisiin tasoituksen laskennan yleisimpiin matemaattisiin ratkaisumal-
leihin kuuluvat pienimmän neliösumman menetelmä ja heuristinen menetelmä.
Tasoituksessa havainnot sovitetaan toisiinsa siten, että ne toteuttavat teorian
mukaisen matemaattisen mallin. Suomessa mittaustekniikan tasoituslaskuissa on
pidetty pienimmän neliösumman menetelmän käyttöä menetelmänä, jota käyte-
tään mittaustekniikan havaintojen tasoittamisessa ja laadukkaissa muunnoksissa.
/5/

PNS-menetelmä

Pienimmän neliösumman menetelmä on matemaattisen optimoinnin
menetelmä, jossa ratkaistaan tuntemattomat parametrit siten, että jään-
nösvirheiden neliösumma on minimissään. /9/

Havaintojen etäisyys vektorimallista on tällöin mahdollisimman pieni ja havainnot poikkeavat toisistaan mahdollisimman vähän. Tämän menetelmän sivutuotteena syntyy tuntemattomien parametrien tarkkuus.

/9, s.6/

Tämä tasoitusprosessi koostuu funktionaalisesta ja stokastisesta mallista. Funktionaalinen malli havainnollistaa havaintojen ja tuntemattomien parametrien välisen yhteyden. Stokastisen mallin avulla voidaan ilmaista havaintojen tarkkuus./9, s.6/

Heuristinen menetelmä

Heuristisilla menetelmillä tarkoitetaan algoritmeja, jotka osassa tapauksista antavat tehtävälle hyvän tai lähes optimaalisen ratkaisun. Ratkaisun toimivuutta ei voida täsmällisesti taata. Heuristiset menetelmät voivat olla deterministisiä tai stokastisia. Usein heuristiset algoritmit ovat hyvin tehtäväkohtaisia ja käyttävät hyväkseen ongelman erityispiirteitä. /11/

3.5 Tasoituksen virhe-yhtälöt

Mitattaessa useaan kertaan sama mittauskohde, esimerkiksi pisteen koordinaatit tai kulma, syntyy mittaustulosten välille eroa. Tätä eroa kutsutaan mittavirheeksi. Mittavirheet voidaan jaotella karkeisiin, satunnaisiin ja systemaattisiin virheisiin. Mittausaineistosta voidaan tutkia virheitä monella eri tavalla, kuten virheiden suuruutta ja vaikutusta lopputulokseen. Pienimmän neliösumman tasoituslaskentaa tutkittaessa kiinnitetään huomiota mm. virhe-ellipseihin ja residuaaleihin, joiden avulla voidaan todeta tasoituksen luotettavuus ja tarkkuus.

Virhe-ellipsit

Virhe-ellipsi osoittaa aluetta, johon piste osuisi noin 50 %:n todennäköisyydellä uudelleen mitattaessa. Virhe-ellipsit kuvaavat geodeettisissa mittauksissa annettujen kriteerien täyttymistä ja tasoituksen tarkkuutta. /15, s.39/

Virhe-ellipsit saadaan laskettua, kun virheiden kasautumiskaavoja sovelletaan ja lasketaan koordinaattierojen kovarianssimatriisin ominaisarvojen neliöjuuret sekä ominaisvektorien suunnat.. Ellipsin muotoon vaikuttavat lähtöpisteiden keskinäinen tarkkuus, verkon geometria, mitattujen sivujen ja suuntien tarkkuus. Piste on tarkin lyhyen ja epätarkin pitkän ellipsin akselin suunnassa. Homogeenisen verkon virhe-ellipsit ovat lähes samansuuruisia ympyröitä. /9;13;15 s.39/

Residuaalit

Residuaalit eli jäännösvirheet kuvaavat havaitun ja tasoitetun pisteen välistä eroa. Jos mittausaineiston residuaalit noudattavat normaalijakauman ns. Gaussin käyrän muotoa ovat satunnaisvirheet ja virheet, joita ei saa poistettua mittausjärjestelyillä normaalijakautuneita. Normaalijakautunut mittausaineisto kertoo, että mittauksissa ei ole tapahtunut systemaattisia virheitä, kuten väärä prismakorkeus. /5; 9;13/

4 TESTIMITTAUSJÄRJESTELYT

Mittaukset tehtiin olosuhteissa, jotka pyrittiin tuntemaan mahdollisimman hyvin. Mittausjärjestelyt toteutettiin suunnitelmien mukaisesti ja mittaukset suoritettiin kahdessa päivässä.

4.1 Testikohteen kuvaus

Testimittaukset tehtiin tyhjänä olevassa kuntosalitilassa. Testauspaikaksi valittu vanha kuntosalitila oli hyvä, koska se oli avara ja rauhallinen. Tilassa oli myös vakaat lämpötila, valo ja ilmavirtaukset. Käytössä olevasta tilasta valittiin suorakaiteen muotoinen alue, johon pystytettiin testausta varten tarvittavat mittauspisteet.

Mittausten yhteydessä todettiin, että valittu tila oli erinomainen, koska lattiassa olevat kuntosalilaitteiden kiinnitysproput toimivat hyvin jalustojen asennuspaikkoina (ks. 4.2.1), joten jalustatähtiä ei tarvinnut käyttää kuin yhdessä mittauspisteessä.

Tilan olosuhteet olivat vakaat koko mittausten ajan. Lämpötila oli vakio, lattia oli vakaa ja valaistus oli tasainen, eikä siitä aiheutunut varjoja mittausalueelle.

4.2 Mittaustyöt testikohteessa

Testausta varten laadittiin mittaussuunnitelma, (Liite 1). Tarkoituksena oli toteuttaa mittaukset hallituissa olosuhteissa, jotta keilaimen käyttäytymistä voitaisiin analysoida mahdollisimman luotettavasti. Suunnitelmana oli tehdä erilaisia keilauksia useilta keilainasemilta. Keilausaineistoa oli tarkoitus tutkia takymetriaineiston avulla.

Näiden mittausaineistojen avulla oli tarkoitus selvittää Faro scene -ohjelmiston matemaattinen ratkaisumalli, tutkia inklinometrin toiminta kallistettujen keilausten avulla ja keilaimen määrittämiseen liittyviä ominaisuuksia. Laitevalmistaja ei ole ennalta dokumentoinut laitteiston ohjelmiston matemaattista ratkaisumallia.

4.2.1 Mittausjärjestelyt

Mittausjärjestelyt toteutettiin ennalta laaditun mittaussuunnitelman mukaisesti. Käytössä olevasta tilasta valittiin vain osa mittausjärjestelyjä varten. Jaottelussa huomioitiin, että pistepilvistä voitaisiin tutkia myös etäisyyksien vaikutusta mittauksen tarkkuuteen.

Tilaan muodostettiin verkko kuudella mittauspisteellä (mp1–mp6), joista kaikkia käytettiin myös keilainasemana. Pisteet muodostettiin tassattujen jalustojen avulla. Pisteille asetettiin jalustat, joita käytettiin takymetrimittauksessa, keilaamisessa sekä prismojen ja tähysten sijoittamisessa.

Jalustojen sijoittelussa käytettiin hyväksi lattiassa olevia reikiä, joiden avulla estettiin ylimääräisiä virhelähteitä (kuva 3). Reiät oli porattu kuntosalilaitteiden tukemista varten.

Sijoittamisen jälkeen kaikki jalustat kiristettiin turhan liikkumisen estämiseksi. Jalustojen tasauksen viimeistely suoritettiin takymetrin avulla. Tasatuille tasausalustoille sopivat prismat, laserkeilain ja tähykset. Takymetri ja prismasarjat ovat saman valmistajan kalustoa ja rungon korkeudet ovat samat. Tästä johtuen mittauksissa ei tarvinnut käyttää prisma- ja kojekorkeutta.

4.2.2 Tähysten sijoittaminen mittaustilaan

Keilauksia varten tilaan sijoitettiin pallotähyksiä, joiden avulla keilaukset voidaan Faro scene -ohjelmistossa yhdistää, ja tutkia keilainasemien sijaintia. Tähyksiä oli yhteensä kymmenen kappaletta, joista viisi sijoitettiin jalustalle tunnetulle mittauspisteelle.



Kuva 3 Jalustan asettelu testikohteessa.

Loput pallotähykset asetettiin pattereihin ja ilmanvaihtojärjestelmään. Tähysten sijoittaminen metallipinnoille oli järkevää, koska niiden magneettipidikkeillä voitiin varmistua, että ne pysyvät paikoillaan koko testausmittausten ajan. Tähykset sijoituivat kojeen tason ylä- ja alapuolelle eri puolille tilaa. (Ks. kuva 4)



Kuva 4 Faro LS 880 -laserkeilain mittauspisteellä mp6.

4.3 Testimittausten toteutus

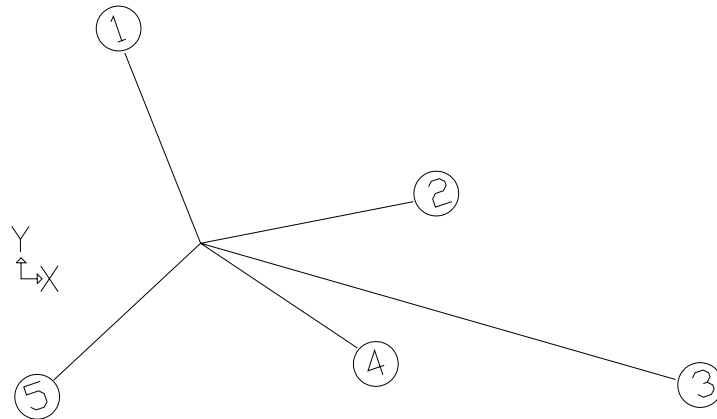
Testimittaukset suoritettiin kahtena eri päivänä. Ensimmäisenä mittauspäivänä mittauskohteessa tehtiin mittaussuunnitelman mukaiset järjestykset. Mittaustyöt aloitettiin takymetrimittauksella, jotta saatiin määritettyä keilainasemat ja muodostettua verkko mittausten tutkimista varten. Ensimmäisenä mittauspäivänä tehtiin myös yksi täyden resoluution keilaus. Toisena mittauspäivänä tehtiin vielä täydentäviä havaintoja takymetrillä. Tämän jälkeen aloitettiin varsinainen tutkimuskeilausten tekeminen.

Toisena mittauspäivänä mittaussuunnitelmaa muutettiin siten, että täydellä mittaustiheydellä keilaamisesta luovuttiin, koska ensimmäisen päivän mittauksen toteuttaminen kesti yli kaksi tuntia. Tämä johtui siitä, että tila oli pieni, jolloin mittausaineistoa syntyi paljon. Pistepilvien käsittely täydessä mittakaavassa olisi ollut hankalaa ja epätaloudellista.

Loput keilaukset päätettiin tehdä puolella mittaustiheydellä, joka on riittävä, kun mittauskohde on näin yksinkertainen, eikä kohdetta ole tarkoitus mallintaa mittausten perusteella.

4.4 Takymetrimittaukset ja verkon muodostus

Takymetrimittauksia tehtiin suunnitelmien mukaisesti, jotta tilaan voitaisiin muodostaa verkko. Mittauksia tehtiin kaikilta pisteiltä sarjahavaintona muille pisteille. Verkon avulla voidaan tutkia laserkeilaimen käyttäytymistä eri tilanteissa ja vapaan keilainaseman menetelmässä. Verkon muodostusta varten tehtiin mittauksia Sokkia 2030R3 -takymetrillä. Mittauksissa käytettiin prismavakiona 30 mm. Prismavakion valinnalla minimoitiin prisman suuntauksen aiheuttamia virheitä.



Kuva 5 Mittauspisteiden sijoittuminen toisiinsa nähden mp6:lta katsottuna.

Havaintosarjat koostuivat neljän mittauksen sarjoista. Mittauslaitteen käynnistys suoritettiin kaukosäätimen avulla. Kaukosäätimen käytöllä poistettiin kojetta käytettäessä tapahtuvat mahdolliset kulmanmuutokset. Kuvassa 5 on esitetty mittauspisteiden sijoittuminen toisiinsa nähden.

4.5 Laserkeilaukset ja niiden asetukset

Laserkeilaukset suoritettiin Faro LS 880 -keilaimella. Laserkeilain ja sen omaisuudet on esitelty kappaleessa kolme. Testissä tehtiin yhteensä 14 keilausta, joista saatiin muodostettu monipuolinen mittausaineisto analysointia varten. (Ks. taulukko 2.)

Mittauksessa hyödynnettiin laserkeilaimen säätöominaisuuksia siten, että mittaustiheytenä käytettiin 50 prosenttia, koska mittaustiheyden avulla voitiin vaikuttaa mittausaineiston kokoon ja käsiteltävyyteen. Keilaimen inklinometrin toiminnan tarkastelua varten keilainta kallistettiin jalkaruuvia kiertämällä ja saattamalla tasaus selvästi sivuun.

Kallistettuja keilauksia tehtiin neljä kappaletta. Keilaimen kallistukset tehtiin sattumanvaraisesti. Lisäksi mittauspisteeltä kuusi tehtiin useita keilauksia, jotta keilaimen toistettavuutta voitaisiin tarkastella.

Taulukko 2. Toteutetut keilaukset.

Keilaus nro.	001	002	003	004	005	006	007
Mittauspiste	6	6	6	6	6	6	6
Mittausstiheys (%)	100	50	50	50	50	50	50
Kallistettu						x	x
Keilaus nro.	008	009	010	011	012	013	014
Mittauspiste	6	6	4	2	3	5	1
Mittausstiheys (%)	50	50	50	50	50	50	50
Kallistettu	x	x					

5 MITTAUSTEN KÄSITTELY

Mittausten suorittamisen jälkeen mittausaineistoja käsiteltiin ja tutkittiin Faro Scene- ja Geomatic Office -ohjelmistojen avulla. Aluksi laserkeilausaineistoja tutkittiin omina ja takymetriaineistoa omana mittausaineistona. Takymetrimittausaineiston avulla saatiin koordinaattitiedot ja lähtöarvot jatkoanalyysiin. Perustarkastelun jälkeen mittausaineistoista tarkasteltiin niiden yhteensopivuutta, keilainaineiston muutoksia ja ohjelmiston ratkaisua place scan -toiminnon yhteydessä.

5.1 Takymetrimittaus ja verkon tasaus

Mittausaineistojen käsittely aloitettiin käsittelemällä takymetrihavainnot. Takymetrimittaukset tehtiin neljän mittauksen sarjahavaintoina. Sarjahavainnot vietiin

Trimble Geomatics Office -ohjelmaan, jossa suoritettiin esilaskenta karkeiden mittavirheiden toteamiseksi. Verkon havainnot tasoitettiin pienimmän neliösumman menetelmällä. Ohjelmiston käyttämä ratkaisumenetelmä on esitetty dokumentoinnin yhteydessä.

Tasoituksessa oli mukana 215 toisistaan riippumatonta havaintoa. Laskentaraportti on liitteenä 3. Laskennan avulla saatiin selvitettyä mittauspisteiden sijoittuminen toisiinsa nähden. Tasoituksen verkko luotiin omaan koordinaatistoon, jossa mittapisteelle mp 6 annettiin koordinaatit 2480000, 6820000, 125.

Geomatics Office- ohjelmisto laskee tasoituksessa syntyvät jäännösvirheet ja virhe-ellipsit, jotka kertovat tasoituksen laadusta. Ohjelmisto esittää laskentaraportissa näiden virhe-yhtälöiden tulokset ja laskentamenetelmät. Laskentaraportin liite 3:n sivulla 9 on esitetty standardisoidut residuaalit (jäännösvirheet). Virhe-ellipsien muodot on esitetty liite 3:n sivulla 10.

Verkon tasoituksesta syntyneen laskennan residuaalit noudattavat normaalijakaumaa, joten tämän tasoituksen avulla saatuja pistetietoja voidaan pitää luotettavina. Virhe-ellipsien muotojen avulla voidaan todeta, että mittaukset ovat onnistuneet hyvin. Laskennan luotettavuusasteeksi ohjelmisto ilmoittaa 99 % (confidence limits).

Tasoituksen avulla saatiin verkon pisteille koordinaattitiedot mittausten jatkokäsittelyä varten. Faro scene -ohjelmistoa varten muodostettiin koordinaattitiedot viiden numeron avulla, koska ohjelmiston tietokentan merkkimäärä on rajattu.

Taulukko 3. Koordinaattitiedot Faro-ohjelmistoon

Keilainasema	X	Y
MP1	20005,910	79997,642
MP2	20001,293	80006,607
MP3	19995,775	80014,747
MP4	19996,752	80004,868
MP5	19995,752	79995,437
MP6	20000,000	80000,000

5.2 Vapaan keilainaseman määrittäminen Faro Scene - ohjelmistossa

Vapaan keilainaseman menetelmässä laserkeilain on mittauksen aikana paikassa, jonka koordinaattitietoja ei tunneta. Mittausalueella on tunnettuja pisteitä, joiden avulla mittauspiste voidaan määrittää.

Ohjelmiston toimivuuden tarkastelua varten testimittauksien keilainasemien koordinaattitiedot oli mitattu, jotta vertailu voitaisiin toteuttaa. Faro scene -ohjelmistossa avattiin yksittäinen keilaus ja määritettiin aineistosta tähykset. Tähyksille luotiin referenssit (vertailupisteet) todellisten mittaustulosten mukaisesti.

Referenssien avulla laserkeilaus asetoitiin asemaansa Place scan -toiminnolla. Asettumisen tarkkuutta tarkasteltiin ohjelmistosta poimitujen koordinaattitietojen avulla.

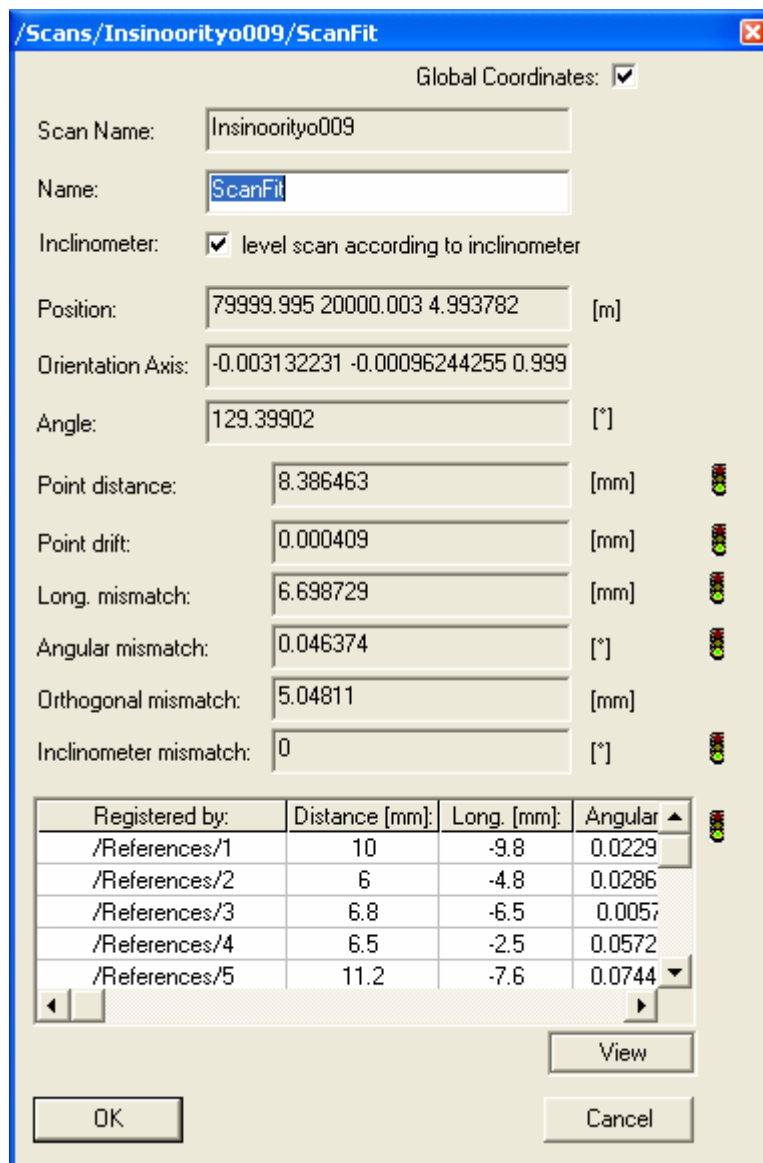
Keilaimen sijainniksi mp6:lla saatiin kolmen tähyksen määrittäksessä 79999,996; 20000,00; 4,999462. Verkossa käytetyt koordinaatit pisteelle mp6:lle olivat 80000, 20000, 5. Keilaukset määritettiin myös neljällä ja viidellä tähyksellä. Taulukossa 4 on esitetty keilainaseman sijainti eri määrittysten jälkeen. Kuvassa 6 on esitetty place scan -toiminnon arvot viidelle tähykselle mp4:lle keilauksesta 009.

Taulukko 4: Keilauksien määrittäminen tähyksien avulla.

MP4	80004,868	19996,773	5,031
Tähystä 3	80004,865	19996,772	5,016964
Tähystä 4	80004,867	19996,772	5,014309
Tähystä 5	80004,867	19996,772	5,014309
MP6	80000	20000	5
Tähyksiä 3	79999,996	20000	4,999462
Tähyksiä 4	79999,998	20000,002	4,994329
Tähyksiä 5	79999,996	20000	4,992712

Tähyksien määrä on merkittävä tekijä, koska niiden avulla voidaan ylläpitää tilanne ja varmistaa asettumisen toteutuminen mahdollisimman tarkaksi. Matemaattinen minimi on helppo ratkaista, mutta vasta ylimäärityksessä on käytettävissä virheanalyysi.

Tässä työssä tähyksien määritystarkkuuteen vaikuttavat myös määrityksestä syntyvät virheet, koska jokainen määrittäminen on ainutkertainen silloin, kun määrittäminen tehdään muodon ja tähyksen koon perusteella pistepilviaineistosta. Tähyksien määritystarkkuuteen on vaikutettu tässä ohjelmistossa siten, että ennalta on määritetty, kuinka suuri käytettävä tähyksien halkaisijaltaan. Tämä helpottaa aineiston käsittelyä, mutta ei poista mahdollisia virhelähteitä.



Kuva 6 Keilauksen 009 määrittäminen viidellä tunnetulla tähyksellä.

5.3 Faro scene -ohjelmiston toimintaperiaatteet

Ohjelmiston toimintaperiaatetta tutkittiin Faro scene ja Geomatics office-ohjelmiston avulla. Ensiksi keilausaineisto käsiteltiin Faro scene-ohjelmistossa siten, että keilain saatiin sijoitettua mittauskoordinaatistoonsa. Keilausaineistoon määritettiin todelliset koordinaatit pisteille referensseinä, joiden avulla keilaus asetettiin paikoilleen. Place scan -toiminnon jälkeen tähysten koordinaattitiedot poimittiin ja taulukoitiin.

Poiminnan jälkeen keilauksista poikkeutettiin satunnaisesti referenssi-tietoja yhden tähyksen osalta ja määritykset päivitettiin. Määrityksiin syntyi poikkeamia tasaisesti. Poikkeutuksen jälkeen koordinaattitiedot poimittiin talteen tarkastelua varten.

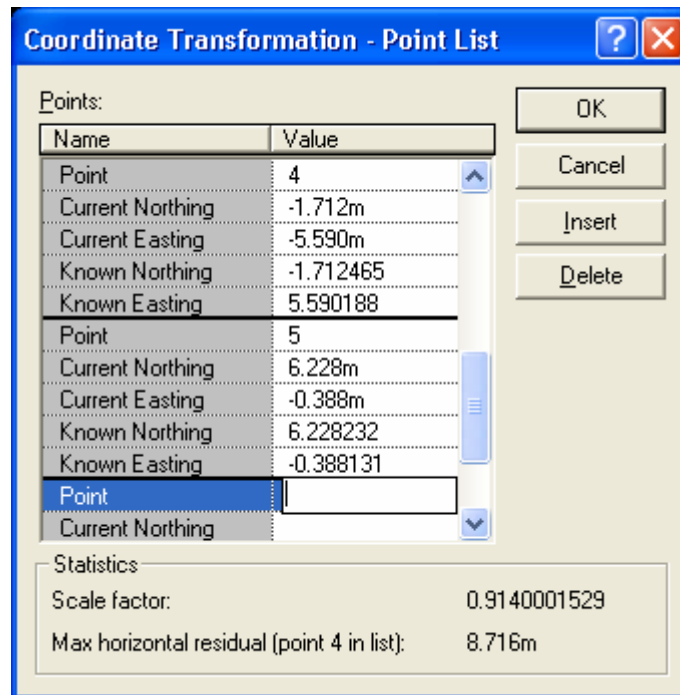
Faro scene -ohjelmistosta voidaan havaita hyvin, mikä tähyksistä on poikkeutettu place scan -toiminnon päivityksen jälkeen. Poikkeutetun pisteen etäisyyspoikkeama on suurempi kuin muiden pisteisiin etäisyyden muutokset.

Asian varmistamiseksi keilainkoordinaatistossa olevasta aineistosta tehtiin samanlaiset tutkimukset. Tässä määrityksessä käytettiin referensseinä suoraan keilainkoordinaatteja. Poikkeutus tehtiin aikaisempaa suurempana (10 m:n verran). Keilauksen asema päivitettiin ja tähyksen sijainnit poimittiin uudelleen tarkasteltavaksi. Tulokset olivat samanlaiset kuin vähemmän poikkeutuksen koordinaatistossa olevissa tutkimuksessa. Poikkeutetun tähyksen etäisyyspoikkeamat kasvoivat muita suuremmaksi. Asemoinnin jälkeen oli helppo havaita, mikä tähyks oli määritetty virheellisesti.

Laskenta Geomatics Office:lla

Molempien koordinaattitapauksien poikkeutukset toistettiin myös Geomatics Office -ohjelmistossa, jonka laskentaperiaate on tunnettu PNS-menetelmä. Ohjelmistossa väärin määritetyn tähyksen kohdalla saadaan skaalauskerroimeksi 0.91, mutta tulosten analysoinnin mahdollistamiseksi kerroin määrättiin tasan yhdeksi. Faro scene-ohjelmiston skaalauskerroin on yksi. Ks. 5.3.1. Tasoitukseen syötettiin myös keilainaseman koordinaattitiedot, jotta keilaimen määrittämistä voitaisiin tarkastella lähemmin.

Geomatics Officen laskentaratortin tulokset eivät ilmaisseet poikkeutettua tähystä yhtä selkeästi kuin Faro scene -ohjelmisto. Geomatics Office-ohjelmisto ilmoittaa käsittelyvaiheessa pisteen poikkeaman. Jos se hyväksytään mukaan sellaisenaan, ei laskentaratortista voida päätellä poikkeutettua tähystä.



Kuva 7 Geomatics Officen koordinaattilaskennan skaalauskerroin

5.3.1 Skaalaus

Ohjelmiston toiminnan kannalta oli oleellista selvittää muuttuuko etäisyys Place scan -toiminnon yhteydessä. Verkon tasoitukseen vaikuttavat siirto, kierto ja mittakaava /10, s.67/. Etäisyyden muutoksen avulla voitiin selvittää mittakaavan muuttuminen. Tähyksien ja keilaimen välistä etäisyyttä tarkasteltiin ennen ja jälkeen poikkeutuksen. Tämän jälkeen etäisyyksien avulla laskettiin kerroin, jonka arvoksi saatiin yksi. Tämä kertoo, että määrytykset eivät muutu, kun keilausta käsitellään place scan -toiminnolla Faro scene -ohjelmistossa. Taulukossa 4 on esitetty etäisyydet ennen ja jälkeen place scan -toiminnon ja laskettu kerroin.

Taulukko 5. Tähysten etäisyydet keilauksessa

Tähy	Poikkeutettu Etäisyys	Perusmittaus Etäisyys	Kerroin
1	6,368	6,368	1,00000
2	6,740	6,740	1,00000
3	15,350	15,350	1,00000
4	5,847	5,847	1,00000
5	6,240	6,240	1,00000

5.3.2 Faro Scene ja Geomatics office –ohjelmistojen laskentatulokset

Tasoitusten tuloksena syntyvät pisteiden koordinaatit ovat yhtenevät, kun Geomatics Office:ssä käytetään skaalauskerrointa 1. Liitteenä 4 on laskentaraaportti. Keilainaseman sijoittumisessa tulee eroavaisuus, koska Geomatics Office:n laskennassa on mukana myös poikkeutettu parametri. Faro scene -ohjelmiston etäisyyspoikkeama (distance) -kohtaan syntyvät arvot vastaavat suuruudeltaan Geomatics Office –ohjelmiston eron (difference) tuloksia.

Faro scene -ohjelmiston tuloksia verrattaessa havaitaan, että tulokset ovat samankaltaiset kuin Geomatics Office -ohjelmiston tulokset, kun skaalauskerroin on yksi. Tästä voidaan päätellä, että Faro scene :n ratkaisumalli on todennäköisesti pienimmän neliösumman menetelmä.

5.4 Kallistettujen keilausten vertaus

Keilainta kallistettiin pisteellä mp6 sarjakeilauksien yhteydessä. Keilainta kallistettiin joka kerta satunnaisesti jalkaruuveja kääntämällä. Keilauksista määritettiin keilainkoordinaattien avulla tähykset ja verrattiin niiden muutosta.

5.4.1 Inklinometrin toiminnan tarkastelu

Inklinometrin toiminnan tarkastelun lähtöaineistona käytettiin pisteeltä mp6 tehtyjä kallistettuja keilauksia 006, 008 ja 009. Keilausten perustiedot on esitetty liitteen 5 taulukoissa.

Inklinometrin lähtöarvot on esitetty liitteessä 5. Lähtöarvoista nähdään, että keilaimen lähtöasemat poikkeavat toisistaan ja keilain on ollut aloitushetkellä kallistunut. Keilain on tasannut asemaansa eri suuntiin eri keilauksissa, joten keilainasemat eivät ole täysin samat.

Keilauksista määritettiin tähykset ja verrattiin saatuja keilainkoordinaatteja toisiinsa. Tähysten määrittystarkkuuden huomioiden tähysten sijainti oli kaikissa suunnissa desimaalin tarkkuudella sama, vaikka keilaintulo oli ennen mittausta kallistettu satunnaiseen suuntaan.

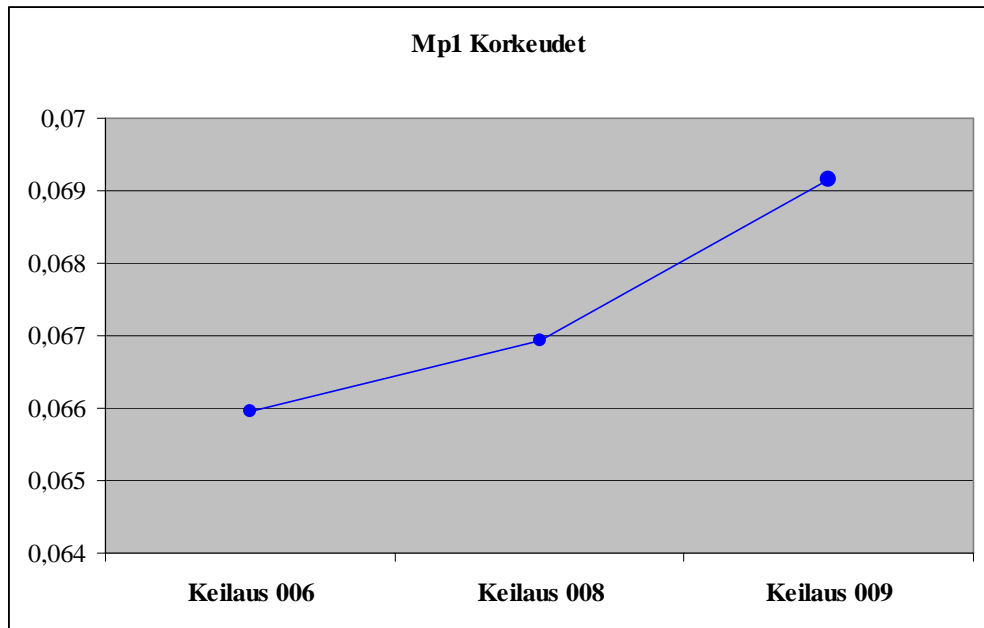
Inklinometrin toimintaa laitteistossa voidaan pitää hyvänä, koska keilaintuloksien korkeuserot eivät poikkeaa toisistaan merkittävästi. Taulukossa 6 on esitetty määritettyjen tähysten korkeudet.

Taulukko 6. Korkeudet kallistetuista keilauksista.

Keilaus 6	z	Keilaus 8	z	Keilaus 9	z
mp1	0,06595	mp1	0,06694	mp1	0,06916
mp2	0,05461	mp2	0,05544	mp2	0,05532
mp3	0,06459	mp3	0,06990	mp3	0,06590
mp4	0,03171	mp4	0,03259	mp4	0,03121
mp5	0,05550	mp5	0,05383	mp5	0,05248

5.4.2 Korkeuden muuttuminen

Kun kallistettujen keilausten määritysarvot liitetään samalta pisteiltä tehtyjen suorien keilausten arvoihin, voidaan todeta, että keilauksien määritys on kaikissa keilauksissa samanlainen. Faro LS 880:n inklinometrin toiminta täyttää valmistajan sille asettamat kriteerit. Kaaviossa 1 on esitetty keilauksista määritettyjen mp1:n korkeuden arvot kallistetuissa keilauksissa.



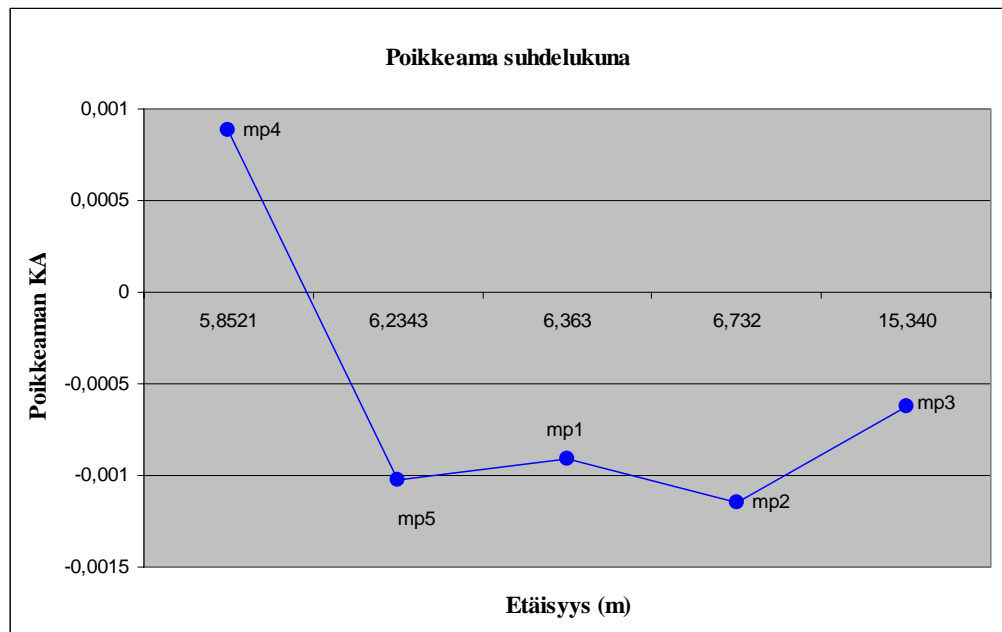
Kaavio1 Mp 1:n korkeus eri keilauksissa.

5.5 Muita havaintoja Faro LS 880 –laserkeilaimesta

Mittausaineistojen tarkastelun ohessa tehtiin myös havaintoja keilaimen etäisyyden määrittystarkkuudesta ja keilaimen toistettavuudesta samalta mittausasemalta toistettujen keilausten avulla.

Etäisyyden määrittystä tutkittiin ohjelmistosta poimittujen koordinaattien avulla. Keilainasemien todellinen mitattu etäisyys vaihteli 5,8 - 15,4 metrin välillä. Mittausaineistosta ja eri keilauksista poimituista koordinaateista piirrettiin havainnekuva AutoCAD -ohjelmistossa, jossa voitiin helposti tarkastella pisteiden välisiä etäisyyksiä.

Keilauksista määritettyjen tähysten ja mittatarkkojen sijaintien välille syntyi eroa sekä pituudessa että suunnassa. Muistettava on kuitenkin, että jokainen tähyksen määrittäminen on ainutkertainen, joten poikkeamien suuruuksia ei voida pitää ohjelmiston toiminnan kannalta merkityksellisenä. Poikkeamien suuruutta on havainnollistettu kaaviossa 2, jossa etäisyyden poikkeamat on muutettu suhdeluksi eri mittapisteille.



Kaavio 2 Etäisyyden suhteelliset poikkeamat eri mittapisteillä

Lisäksi keilaimen perusasennosta kertovista havainnoista huomioitiin, että aina, kun keilain käynnistetään kokonaan uudelleen, keilaimen inklinometriarvot muuttuivat. Jos keilaus toistetaan ilman laitteiston sulkemista, silloin inklinometriarvo on nolla ja keilaus alkaa siitä kohdasta mihin edellinen on päättynyt. Tuloksena on, että keilaukset eivät ala samasta kohdasta, vaikka laitetta ei välillä siirrettäisi mittauspisteeltä pois. Laitteiston toiminnan arvioimisen kannalta tulos ei ole merkittävä, koska useimmiten mittaukset tehdään eri pisteiltä ja laitteisto joudutaan sulkemaan siirron ajaksi.

6. TUTKIMUSTULOKSET

Tässä työssä tutkittiin testiolosuhteissa Faro LS 880 –laserkeilaimen toimintaa ja pistepilviaineiston käsittelyohjelmistoa. Päätutkimuksiin kuuluivat inklinometrin toiminnan tarkastelu ja Faro Scene-ohjelmiston matemaattisen ratkaisumenetelmän selvittäminen vapaan keilainaseman menetelmässä. Lisäksi tehtiin havaintoja ohjelmiston toimivuudesta vapaan keilainaseman menetelmässä, ja tutkittiin tähyksen määritystarkkuutta eri etäisyyksillä.

Faro scene -ohjelmiston matemaattisen ratkaisumenetelmän selvittämiseksi tehtiin vertaavat tutkimukset tunnetulla laskentamenetelmällä. Matemaattisen ratkaisumenetelmän selvittämiseksi keilainaineistoa tutkittiin sekä keilainkoordinaatistossa että todellisessa mittauskoordinaatistossa. Molemmissa tapauksissa Faro scene -ohjelmisto ratkaisi keilainaseman samalla tavalla.

Ratkaisua tarkasteltiin siten, että aineistoon tehtiin tarkoituksen mukaisesti virhe. Virhe määrityksen avulla havainnollistettiin ohjelmiston ratkaisumenetelmää vapaankeilain aseman menetelmässä.

Mittausaineiston jäännösvirheet pysyivät samanlaisina Faro Scene-ohjelmistossa kuin tunnetulla matemaattisella ratkaisulla ratkaistut virheet. Lopputulosten vertauksen perusteella Faro scene-ohjelmiston matemaattinen ratkaisumalli on todennäköisesti pienimmän neliösumman menetelmä.

Inklinometrin toimintaa analysoitiin satunnaisesti kallistettujen keilausten avulla. Keilauksista määritettiin tähykset ja verrattiin tähyksien korkeuksia eri keilauksissa. Määrityksessä syntyvän epätarkkuuden huomioiden voidaan tehtyjen analyysien perusteella voidaan todeta, että inklinometrin toiminta on hyvä. Eri asennoissa tehtyjen keilausten koordinaattimäärityksen osoittivat, että inklinometrin avulla mittausaineisto saadaan oikeaan asentoon ilman erillisiä kääntötoimenpiteitä.

Vapaan keilainaseman määrittäminen tässä ohjelmistossa onnistuu kolmella tähyksellä, mutta asettumisesta ei voida havaita virheitä. Mittausteknisessä laskennassa on kuitenkin oleellista ylimäärittää, koska muuten ei voida kontrolloida virheiden muodostumista luotettavasti. Keilainaseman määrittämistä tarkasteltiin tähyksien määrän kasvattamisen avulla.

Faro LS 880 -laserkeilaimen käyttö vapaan keilainaseman menetelmässä on luotettavaa ja keilaimen ohjelmisto pystyy määrittämään tähysten avulla keilaimen sijainnin valmistajan määrittämässä mittaustarkkuuksissa.

Laajaa mittaussaineistoa hyödynnettiin myös tähysten määritystarkkuuden selvittämisellä eri etäisyyksillä. Samalta asemapisteeltä tehtyjen keilausten avulla määriteltiin mp1- mp5 sijainnit. Määrityksistä verrattiin pisteiden välistä etäisyyttä takymetriaineistolla mitattuihin pisteiden väliseen etäisyyteen.

Etäisyyttä tarkasteltaessa tuli huomioksi, että etäisyysmittauksen tarkkuus pysyi tutkituissa keilauksissa 2 mm:n sisällä, joka täyttää laitevalmistajan ilmoittaman mittaustarkkuuden, myös yli 10 metrin etäisyydellä tehdyissä määrityksissä. Todellisella etäisyyden kasvamisella ei ollut vaikutusta määritystarkkuuteen.

Lisäksi tutkimustyössä muina havaintoina saatiin, että täydellä mittausresoluutiolla tehdyn keilauksen toteuttaminen pienessä sisätilassa ei ole järkevää, koska se on kohtuuttoman hidasta ja syntyvä materiaalin tiheys on niin suuri, että sen käsittely on lähes mahdotonta.

Faro LS 880 -keilaimen tarkinta mittaustiheyttä kannattaa käyttää erilaisissa sektorikeilauksissa ja sellaisissa keilauksissa, joiden jatkokäsittelyyn ei liity keilausten yhdistäminen ja suuri muokkaus. Tämä menetelmä on hyvä ulkona tapahtuvassa mittauksessa, kun kohde on kaukana.

7. TULOSTEN ARVIOINTI

Tässä työssä selvitettiin laserkeilainten markkinatilanne Suomessa ja tutkittiin testiolosuhteissa Faro LS 880 –laserkeilaimen toimintaa ja pistepilviaineiston käsittelyohjelmistoa.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin. Suunnitelmien mukaiset testikeilaukset saatiin toteutettua ja niistä päästiin tutkimaan laserkeilauksia mahdollisimman monipuolisesti. Mittaustyö saatiin suoritettua aikataulun mukaisesti.

Mittaustekniikan kehitys on viime vuosina tuonut markkinoille laserkeilaustekniikan siinä muodossa, että sen käyttäminen on yleistynyt ja mittauskohteet ovat monipuolistuneet. Käyttötarkoitusten monipuolistuminen on tuonut markkinoille erilaisia laserkeilaimia, joiden mittausmenetelmät vaihtelevat suuresti. Kyselytutkimuksen perusteella maahantuojat kokevat laserkeilaimien markkinatilanteen hyväksi ja toivovat ohjelmistoille kehitystä. Myös yhteisten standardien ja ohjeistuksien saaminen koettiin tärkeäksi.

Faro LS 880 -laserkeilaimen mittausaineiston avulla tutkittiin laserkeilaimen toimintoja, kuten laserkeilaimen käyttö vapaan keilainaseman menetelmässä, inklinometrin toiminta, keilauksien toistettavuus ja tähysten määrittystarkkuus. Mittausaineistoa analysoitiin ja sitä käsiteltiin myös muilla ohjelmistolla haluttujen tulosten selvittämiseksi.

Tutkimuksessa syntyneet tulokset antavat tietoa sekä laserkeilaimen, että ohjelmiston toimintaperiaatteista. Tuloksia voidaan pitää hyödyllisinä, koska ko. ohjelmiston toimintaperiaatteista ei ole valmistajan dokumentoimaa selvitystä.

Tuloksia voidaan hyödyntää kun valitaan mittauslaitteistoa tai kun tutkitaan mittausaineiston ongelmakohtia. Ohjelmiston matemaattisen ratkaisumenetelmän täydellisen selvittämisen edellyttäisi vielä tarkempia ja monipuolisimpia matemaattisia tutkimuksia pistepilviaineistolla.

Faro LS 880 -maalaserkeilaimen toimintojen monipuolisuus ja tarkkuus antaa käyttäjälle monipuolisia mahdollisuuksia toteuttaa erilaisia laserkeilauksia. Faro Scene -ohjelmiston toimivuus osoittautui tässä tutkimuksessa hyväksi.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Faro Laser LS, Recording reality`s digital fingerprint, [tuote-esite]
- /2/ Geostar Oy, [www-sivu],12.07.2007 [viitattu 15.7.2007], saatavissa:
<http://www.geostar.fi/uutiset/2007/Minuutissa-8-megan-pistepilvi>
- /3/ Joala Vahur, Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu,
[www-sivu] Leica Oy 30.11.2006, [viitattu 8.7.2007], saatavilla:
http://www.leica.fi/leica_geo/lisatietoa/Laserkeilauusuutiset/Laserkeilauksenperusteita.pdf
- /4/ Heikkilä Rauno, Jaakkola Mika, Pulkkinen Pekka, Karjalainen Antti, Haapa-aho Esa, JokinenMauno, Siltojen 3D suunnittelu- ja mittausjärjestelmän kehittäminen (Älykäs silta), VäliRaportti (Tiehallinnon selvityksiä 36/2004), Tiehallinto, Oy Edita Ab Helsinki 2004, s.60
- /5/ Jokihaara Ari, Kirjallinen tiedoksianto[sähköpostiviesti] 26.9.2007
- /6/ Joala Vahur, Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi, Maanmittaustieteiden seuranjulkaisu, 40 – Maanmittaustieteidenpäivät 2003
- /7/ Vahur Joala, Tuotantopäällikkö, Leica HDS 6000 Laserkeilainseminaari 23.5.2007, Leica Oy
- /8/ Kukko Antero, Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin, Fotogrametrian erikoistyö, Teknillinen Yliopisto,Lokakuu 2005, s.24
- /9/ Kallio Ulla, Tasoituslasku 587, 3.painos, Otatiето Oy, Yioppilaskustannus/ Otatiето 1998

- /10/ Soininen Arttu, Laserkeilauksen sovellusalueet, Maanmittaustieteiden seuran julkaisu, 40- maanmittauspäivät 2003
- /11/ Silvennoinen Risto, Matemaattinen optimointiteoria 2, [www-sivu], Tampereen teknillinen yliopisto, [viitattu 19.9.2007], saatavilla: <http://math.tut.fi/courses/73125/Luento7.pdf>
- /12/ TrimbleEngineering & Construction, Siirtyminen 3-Keilaukseen, Technology&more, 1/2006, s.14-15
- /13/ Wermeer Martin, Käytännön Geodesia, [www-sivu], 29.3.2007, [viitattu 22.9.2007], saatavilla: <http://users.tkk.fi/~mvermeer/yleis.pdf>
- /14/ 3D Scanning, [www-sivu], i3mainz, Institute for Spatial Information and Surveying Technology Dept. of Geoinformatics and Surveying, päivitetty Tammikuun 18. 2007, , [viitattu 25.7.2007], saatavilla www.scanning.fhmainz.de/scanninglist.php#midrange
- /15/ Kuparinen Antti, Mittamiehen käsikirja, Gummerus, Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1992, s.169

LIITTEET

1. Mittaussuunnitelma
2. Kyselylomake maahantuojille
3. Verkon laskentaportti: Verkon tasoitus
4. Laskentaportti: Pienimmän neliösumman menetelmän ratkaisuksi
5. Keilauksien perustiedot



INSINÖÖRITYÖN TESTIMITTAUSTEN MITTAUSSUUNNITELMA

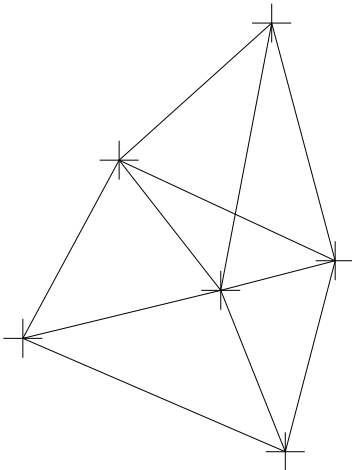
Mittauksien avulla on tarkoitus selvittää laserkeilaimen käsittelyohjelmiston toimivuutta. Mittauksissa myös määritetään keilaimella uusien tähysten sijainti, jota käytetään seuraavan vapaan kojeaseman määrittämisessä.

Keilainasemien määrittämiseksi tilaan rakennetaan kuuden pisteen verkko. Mittaukset toteutetaan 3-4 havaintosarjan avulla. Etäisyysmittauksia tehdään kolme jokaisesta kojeasennosta, jossa havaitaan etäisyys.

Keilainasemien keilainohjelmiston avulla laskettuja sijainteja verrataan tasoitetun verkon sijainteihin sekä kolmannen osapuolen ohjelmalla keilainhavainnoista laskettuihin keilainasemien sijainteihin. Käytännössä kyseessä on affiininen muunnos (vaihtoehtona olisi Helmert-muunnos) verkkojen tasoitukseen tarkoitettulla Trimble Geomatics Office-ohjelmistolla.

Laserkeilainasemia tehdään 3-5 kpl. Lasermittaukset tehdään siten, että keilauksia tehdään kahta eri säätöä käyttäen ja lisäksi muutamissa keilauksissa keilain tasataan jalustalle vinoon, jotta inklinometrin toimivuutta voidaan tarkastella.

Testikeilaukset käsitellään kahdella eri menetelmällä (tunnetut tähykset ja keilaimen määrittämät tähykset). Yhdistämismenetelmän (heuristinen vs. pienimmän neliösumman menetelmä) selvittämistä varten tunnettuihin tähyksiin aiheutetaan tahallisia poikkeamia, joiden jäännösvirheitä tarkastellaan kolmannen osapuolen ohjelmalla laserkeilaimen havainnoista laskettuihin jäännösvirheisiin.



Kuva: suunniteltu verkko

Mittausajankohta:

Mittaukset suoritetaan 14.2 -15.2.2007

Mittaajat:

Ari Jokihaara ja Sanna Ruohonen

Mittaus kohde:

vanha tyhjillään oleva kuntosali

Välineet:

Faro LS 880, laserkeilain
Sokkia 2030R, takymetri
6 kpl jalustoja
10 kpl tähyksiä

Kyselykaavake 1

17.7.2007

Tiedustelisin maahantuojien käsitystä laserkeilainten tilanteesta Suomessa vuonna 2007. Tiedot tulevat insinööriyöni kirjallisuusosioon tilastotietoina.

Maahantuoja / vastaaja:

1. Mitä keilaimia olette myyneet Suomeen ?
2. Kuinka monta keilainta / keilaintanne on Suomessa tällä hetkellä käytössä?
3. Onko myynti kasvanut viime vuosina?
4. Miten näette laserkeilauksen tulevaisuuden?

KIITOS VASTAUKSISTANNE !

Vastaukset voi toimittaa s-postilla osoitteeseen : sanna.ruuhonen@ce.tamk.fi

Network Adjustment Report

Project : Faro LS80 testiverkko

User name	Ari	Date & Time	8:40:53 21.2.2007
Coordinate System	Finnish National Grid	Zone	KKJ 24 South
Project Datum	KKJ South		
Vertical Datum	Likim. korkeustaso	Geoid Model	Not selected
Coordinate Units	Meters		
Distance Units	Meters		
Height Units	Meters		

Adjustment Style Settings - 99% Confidence Limits

Residual Tolerances

To End Iterations : 0.000500m

Final Convergence Cutoff : 0.000500m

Covariance Display

Horizontal

Propagated Linear Error [E] : Bomford

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 2.58

Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E] : Bomford

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 2.58

Elevation Errors were used in the calculations.

Adjustment Controls

Compute Correlations for Geoid : False

Horizontal and Vertical adjustment performed

Set-up Errors

Terrestrial

Error in Height of Instrument : 0.0000m

Centering Error : 0.0000m

[Back to top](#)

Statistical Summary

Successful Adjustment in 2 iteration(s)

Network Reference Factor : 0.99

Chi Square Test ($\alpha=95\%$) : PASS

Degrees of Freedom : 215.00

Terrestrial Observation Statistics

Reference Factor : 0.99

Redundancy Number (r) : 215.00

Horizontal Angles: Reference Factor: 0.87 (r): 55.92

Ellipsoid Distances: Reference Factor: 0.85 (r): 76.08

Δ Elevations: Reference Factor: 1.16 (r): 83.00

Weighting Strategies

Terrestrial Observations

User-defined Scalar Applied to All Observations

Scalar : 3.35

[Back to top](#)

Adjusted Coordinates

Adjustment performed in **KKJ South**

Number of Points : 9

Number of Constrained Points : 4

Horizontal Only : 2

Horizontal and Elevation Only : 2

Adjusted Grid Coordinates

Errors are reported using 2.58σ .

Point Name	Northing	N error	Easting	E error	Elevation	e error	Fix
MP6	6820000.000m	0.000m	2480000.000m	0.000m	125.000m	0.000m	N E e
SP3	6819995.773m	0.000m	2480014.748m	0.000m	125.058m	0.002m	N E
MP2	6820001.293m	0.001m	2480006.607m	0.001m	125.051m	0.001m	
MP3	6819995.775m	0.001m	2480014.747m	0.001m	125.059m	0.001m	
MP5	6819995.752m	0.001m	2479995.437m	0.001m	125.039m	0.001m	
MP1B	6820005.910m	0.001m	2479997.642m	0.001m	125.063m	0.001m	
MP4	6819996.773m	0.000m	2480004.868m	0.001m	125.031m	0.001m	
MP6B	6820000.000m	0.000m	2480000.000m	0.000m	125.000m	0.000m	N E e
SP3B	6819995.773m	0.000m	2480014.748m	0.000m	125.057m	0.004m	N E

Coordinate Deltas

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height	Δ Geoid Separation
MP6	0.000m	0.000m	0.000m	N/A	N/A
SP3	0.000m	0.000m	0.000m	N/A	N/A
MP2	0.002m	-0.003m	0.001m	N/A	N/A
MP3	0.003m	-0.004m	0.002m	N/A	N/A
MP5	-0.001m	-0.001m	0.000m	N/A	N/A
MP1B	0.004m	-0.002m	0.002m	N/A	N/A
MP4	-0.002m	-0.003m	0.003m	N/A	N/A
MP6B	0.000m	0.000m	0.000m	N/A	N/A
SP3B	0.000m	0.000m	-0.001m	N/A	N/A

[Back to top](#)

Control Coordinate Comparisons

Values shown are control coord minus adjusted coord.

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height
MP6	N/A	N/A	N/A	N/A
SP3	N/A	N/A	0.000m	N/A
MP6B	N/A	N/A	N/A	N/A
SP3B	N/A	N/A	0.001m	N/A

[Back to top](#)

Adjusted Observations

Adjustment performed in **KKJ South**

Terrestrial Observations

Number of Observations : 90

Number of Outliers : 0

Observation Adjustment (Critical Tau = 3.65). Any outliers are in red.

Obs. ID	B.S.	Instr	F.S.		Observation	A-posteriori Error (2.58 σ)	Residual	Stand. Resid.
T74	SP3	MP6	MP1B	H _{z.} Angle	258.0616	0.0050	-0.0017	-0.36
				Δ Elev.	0.063m	0.001m	0.003m	2.74
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0037m	2.29
T123	MP4	MP6	MP4	H _{z.} Angle	?	?	?	?
				Δ Elev.	0.031m	0.001m	0.002m	2.70
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0018m	1.13
T126	MP4	MP6	MP4	H _{z.} Angle	?	?	?	?
				Δ Elev.	0.031m	0.001m	0.002m	2.70
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0003m	0.18
T70	SP3	MP6	MP1B	H _{z.} Angle	258.0616	0.0050	-0.0027	-0.58
				Δ Elev.	0.063m	0.001m	0.002m	2.55
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0037m	2.29
T72	SP3	MP6	MP1B	H _{z.} Angle	258.0616	0.0050	-0.0014	-0.30
				Δ Elev.	0.063m	0.001m	0.002m	2.53
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0030m	1.85
T129	MP4	MP6	MP4	H _{z.} Angle	?	?	?	?
				Δ Elev.	0.031m	0.001m	0.002m	2.46
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0003m	0.18
T119	MP3	MP4	MP6	H _{z.} Angle	230.8602	0.0040	0.0074	1.53
				Δ Elev.	-0.031m	0.001m	0.002m	2.44
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0003m	0.18
T122	MP3	MP4	MP6	H _{z.} Angle	230.8602	0.0040	0.0076	1.56
				Δ Elev.	-0.031m	0.001m	0.002m	2.38
				Distance	5.8409m	0.0006m	-0.0005m	-0.29
T112	MP3	MP4	MP6	H _{z.} Angle	230.8602	0.0040	0.0052	1.07
				Δ Elev.	-0.031m	0.001m	0.002m	2.32
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0003m	0.18
T84	MP6	MP1B	MP6	H _{z.} Angle	?	?	?	?
				Δ Elev.	-0.063m	0.001m	0.002m	2.21
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0016m	0.98
T139	MP4	MP6B	MP4	H _{z.} Angle	?	?	?	?
				Δ Elev.	0.031m	0.001m	0.002m	2.20
				Distance	5.8409m	0.0006m	-0.0005m	-0.29
T97	MP1B	MP3	MP2	H _{z.} Angle	3.8721	0.0047	0.0001	0.03
				Δ Elev.	-0.008m	0.001m	-0.001m	-0.56

				Distance	9.8338m	0.0008m	0.0034m	2.12
T78	MP6	MP1B	MP6	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	-0.063m	0.001m	0.002m	2.10
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0016m	0.98
T115	MP3	MP4	MP6	Hx. Angle	230.8602	0.0040	0.0041	0.84
				ΔElev.	-0.031m	0.001m	0.002m	2.09
				Distance	5.8409m	0.0006m	-0.0005m	-0.29
T81	MP6	MP1B	MP6	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	-0.063m	0.001m	0.002m	2.06
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0030m	1.85
T75	MP6	MP1B	MP6	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	-0.063m	0.001m	0.002m	2.02
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0016m	0.98
T141	MP4	MP6B	MP4	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.031m	0.001m	0.002m	1.98
				Distance	5.8409m	0.0006m	0.0003m	0.18
T87	MP6	MP1B	MP6	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	-0.063m	0.001m	0.002m	1.96
				Distance	6.3628m	0.0008m	0.0030m	1.85
T3	SP3	MP6	MP2	Hx. Angle	369.9289	0.0056	0.0082	1.76
				ΔElev.	0.051m	0.001m	0.000m	0.08
				Distance	6.7323m	0.0008m	-0.0001m	-0.09
T142	MP4	MP6B	SP3B	Hx. Angle	380.5019	0.0040	0.0086	1.76
				ΔElev.	0.057m	0.004m	0.000m	-0.16
				Distance	?	?	?	?
T138	MP3	MP4	MP6B	Hx. Angle	230.8602	0.0040	-0.0017	-0.34
				ΔElev.	-0.031m	0.001m	0.002m	1.70
				Distance	5.8409m	0.0006m	-0.0020m	-1.24
T86	MP6	MP1B	MP2	Hx. Angle	354.4449	0.0048	-0.0079	-1.66
				ΔElev.	-0.012m	0.001m	-0.001m	-0.94
				Distance	10.0840m	0.0009m	-0.0021m	-1.33
T15	SP3	MP6	MP2	Hx. Angle	369.9289	0.0056	0.0077	1.65
				ΔElev.	0.051m	0.001m	0.000m	0.40
				Distance	6.7323m	0.0008m	-0.0015m	-0.91
T11	SP3	MP6	MP2	Hx. Angle	369.9289	0.0056	0.0074	1.59
				ΔElev.	0.051m	0.001m	0.001m	0.72
				Distance	6.7323m	0.0008m	-0.0001m	-0.09
T136	MP3	MP4	MP6B	Hx. Angle	230.8602	0.0040	-0.0037	-0.75
				ΔElev.	-0.031m	0.001m	0.001m	1.59
				Distance	5.8409m	0.0006m	-0.0005m	-0.29
T14	SP3	MP6	MP3	Hx. Angle	399.9935	0.0038	-0.0077	-1.58
				ΔElev.	0.059m	0.001m	0.001m	0.45
				Distance	15.3402m	0.0008m	-0.0014m	-0.88
T94	MP1B	MP3	MP2	Hx. Angle	3.8721	0.0047	0.0005	0.11
				ΔElev.	-0.008m	0.001m	-0.001m	-0.40
				Distance	9.8338m	0.0008m	0.0025m	1.55

T100	MP1B	MP3	MP2	Hz. Angle	3.8721	0.0047	0.0006	0.12
				ΔElev.	-0.008m	0.001m	-0.001m	-0.35
				Distance	9.8338m	0.0008m	0.0025m	1.55
T109	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0074	1.49
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.33
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T103	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0066	1.32
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.49
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T7	SP3	MP6	MP2	Hz. Angle	369.9289	0.0056	0.0065	1.39
				ΔElev.	0.051m	0.001m	0.000m	0.27
				Distance	6.7323m	0.0008m	0.0012m	0.74
T92	MP6	MP1B	MP2	Hz. Angle	354.4449	0.0048	-0.0064	-1.35
				ΔElev.	-0.012m	0.001m	-0.001m	-0.94
				Distance	10.0840m	0.0009m	-0.0012m	-0.77
T101	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0067	1.34
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.34
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T89	MP6	MP1B	MP2	Hz. Angle	354.4449	0.0048	-0.0058	-1.22
				ΔElev.	-0.012m	0.001m	-0.001m	-0.82
				Distance	10.0840m	0.0009m	-0.0021m	-1.33
T95	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0050	1.00
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.32
				Distance	9.9289m	0.0008m	0.0002m	0.14
T106	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0066	1.32
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.29
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T98	MP1B	MP3	MP4	Hz. Angle	372.3555	0.0027	0.0057	1.15
				ΔElev.	-0.028m	0.001m	0.002m	1.28
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T140	MP4	MP6B	SP3B	Hz. Angle	380.5019	0.0040	0.0061	1.25
				ΔElev.	0.057m	0.004m	0.000m	0.16
				Distance	?	?	?	?
T137	MP3	MP4	MP3	Hz. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.002m	1.24
				Distance	9.9289m	0.0008m	0.0011m	0.70
T67	MP5	MP4	MP2	Hz. Angle	130.2383	0.0056	-0.0046	-1.00
				ΔElev.	0.020m	0.001m	0.000m	0.34
				Distance	4.8430m	0.0007m	0.0017m	1.04
T64	MP5	MP4	MP2	Hz. Angle	130.2383	0.0056	-0.0013	-0.29
				ΔElev.	0.020m	0.001m	0.000m	0.13
				Distance	4.8430m	0.0007m	0.0017m	1.04
T61	MP5	MP4	MP2	Hz. Angle	130.2383	0.0056	0.0015	0.31
				ΔElev.	0.020m	0.001m	0.000m	-0.03
				Distance	4.8430m	0.0007m	0.0017m	1.04
T58	MP5	MP4	MP2	Hz. Angle	130.2383	0.0056	-0.0008	-0.17

				ΔElev.	0.020m	0.001m	0.000m	0.39
				Distance	4.8430m	0.0007m	0.0017m	1.04
T55	MP5	MP4	MP2	H_z. Angle	130.2383	0.0056	0.0032	0.68
				ΔElev.	0.020m	0.001m	0.000m	0.09
				Distance	4.8430m	0.0007m	0.0017m	1.04
T96	MP1B	MP3	MP1B	H_z. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.004m	0.001m	0.003m	1.03
				Distance	19.8819m	0.0010m	0.0000m	-0.03
T93	MP1B	MP3	MP1B	H_z. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.004m	0.001m	0.003m	0.98
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0005m	-0.31
T10	SP3	MP6	MP3	H_z. Angle	399.9935	0.0038	-0.0047	-0.96
				ΔElev.	0.059m	0.001m	0.001m	0.40
				Distance	15.3402m	0.0008m	-0.0014m	-0.88
T135	MP3	MP4	MP3	H_z. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.92
				Distance	9.9289m	0.0008m	0.0002m	0.14
T105	MP1B	MP3	MP1B	H_z. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.004m	0.001m	0.003m	0.91
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0005m	-0.31
T104	MP1B	MP3	MP5	H_z. Angle	365.8732	0.0031	0.0021	0.42
				ΔElev.	-0.020m	0.001m	0.000m	0.04
				Distance	19.3097m	0.0010m	-0.0015m	-0.91
T65	MP5	MP4	MP3	H_z. Angle	213.2683	0.0041	0.0012	0.24
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.89
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T85	MP6	MP1B	MP3	H_z. Angle	358.2209	0.0038	0.0010	0.20
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.27
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0014m	-0.87
T79	MP6	MP1B	MP3	H_z. Angle	358.2209	0.0038	0.0005	0.11
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.28
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0014m	-0.87
T59	MP5	MP4	MP3	H_z. Angle	213.2683	0.0041	-0.0007	-0.14
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.83
				Distance	9.9289m	0.0008m	0.0002m	0.14
T110	MP1B	MP3	MP5	H_z. Angle	365.8732	0.0031	0.0024	0.47
				ΔElev.	-0.020m	0.001m	0.000m	-0.05
				Distance	19.3097m	0.0010m	-0.0012m	-0.76
T107	MP1B	MP3	MP5	H_z. Angle	365.8732	0.0031	0.0034	0.68
				ΔElev.	-0.020m	0.001m	0.000m	-0.01
				Distance	19.3097m	0.0010m	-0.0012m	-0.76
T25	SP3	MP6	MP5	H_z. Angle	134.5066	0.0051	0.0010	0.22
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.21
				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0012m	0.73
T22	SP3	MP6	MP5	H_z. Angle	134.5066	0.0051	0.0017	0.36
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.15

				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0012m	0.73
T130	MP4	MP6	MP5	Hx. Angle	115.0084	0.0055	-0.0014	-0.30
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.46
				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0012m	0.73
T133	MP4	MP6	MP5	Hx. Angle	115.0084	0.0055	-0.0021	-0.45
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.00
				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0012m	0.73
T19	SP3	MP6	MP5	Hx. Angle	134.5066	0.0051	0.0024	0.51
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.28
				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0012m	0.73
T62	MP5	MP4	MP3	Hx. Angle	213.2683	0.0041	0.0030	0.62
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.73
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T56	MP5	MP4	MP3	Hx. Angle	213.2683	0.0041	0.0005	0.10
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.72
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T28	SP3	MP6	MP5	Hx. Angle	134.5066	0.0051	0.0034	0.72
				ΔElev.	0.039m	0.001m	0.000m	0.07
				Distance	6.2338m	0.0008m	0.0005m	0.28
T114	MP3	MP4	MP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.68
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0011m	-0.70
T80	MP6	MP1B	MP5	Hx. Angle	37.7760	0.0050	-0.0029	-0.62
				ΔElev.	-0.025m	0.001m	0.000m	-0.08
				Distance	10.3939m	0.0010m	0.0009m	0.56
T76	MP6	MP1B	MP3	Hx. Angle	358.2209	0.0038	0.0030	0.61
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.22
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0010m	-0.59
T91	MP6	MP1B	MP3	Hx. Angle	358.2209	0.0038	-0.0004	-0.09
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.17
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0010m	-0.59
T83	MP6	MP1B	MP5	Hx. Angle	37.7760	0.0050	-0.0027	-0.58
				ΔElev.	-0.025m	0.001m	0.000m	0.00
				Distance	10.3939m	0.0010m	0.0009m	0.56
T77	MP6	MP1B	MP5	Hx. Angle	37.7760	0.0050	-0.0025	-0.52
				ΔElev.	-0.025m	0.001m	-0.001m	-0.33
				Distance	10.3939m	0.0010m	0.0009m	0.56
T125	MP4	MP6	SP3	Hx. Angle	380.5018	0.0040	0.0027	0.56
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.08
				Distance	?	?	?	?
T82	MP6	MP1B	MP3	Hx. Angle	358.2209	0.0038	0.0025	0.52
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.37
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0005m	-0.31
T66	MP5	MP4	MP5	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.008m	0.001m	-0.001m	-0.44
				Distance	9.4861m	0.0009m	-0.0006m	-0.35

T68	MP5	MP4	MP3	Hx. Angle	213.2683	0.0041	-0.0002	-0.03
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.43
				Distance	9.9289m	0.0008m	-0.0002m	-0.14
T111	MP3	MP4	MP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.028m	0.001m	0.001m	0.42
				Distance	9.9289m	0.0008m	0.0002m	0.14
T121	MP3	MP4	MP5	Hx. Angle	186.7317	0.0041	0.0020	0.41
				ΔElev.	0.008m	0.001m	-0.001m	-0.34
				Distance	9.4861m	0.0009m	-0.0006m	-0.35
T118	MP3	MP4	MP5	Hx. Angle	186.7317	0.0041	0.0018	0.36
				ΔElev.	0.008m	0.001m	0.000m	-0.27
				Distance	9.4861m	0.0009m	0.0004m	0.25
T134	MP4	MP6	SP3	Hx. Angle	380.5018	0.0040	0.0017	0.35
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.00
				Distance	?	?	?	?
T60	MP5	MP4	MP5	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.008m	0.001m	0.000m	0.00
				Distance	9.4861m	0.0009m	-0.0006m	-0.35
T88	MP6	MP1B	MP3	Hx. Angle	358.2209	0.0038	0.0009	0.19
				ΔElev.	-0.004m	0.001m	0.001m	0.24
				Distance	19.8819m	0.0010m	-0.0005m	-0.31
T63	MP5	MP4	MP5	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.008m	0.001m	0.000m	-0.03
				Distance	9.4861m	0.0009m	0.0004m	0.25
T54	MP5	MP4	MP5	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.008m	0.001m	0.000m	-0.08
				Distance	9.4861m	0.0009m	0.0004m	0.25
T57	MP5	MP4	MP5	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.008m	0.001m	0.000m	-0.20
				Distance	9.4861m	0.0009m	0.0004m	0.25
T128	MP4	MP6	SP3	Hx. Angle	380.5018	0.0040	0.0009	0.18
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	-0.14
				Distance	?	?	?	?
T69	SP3	MP6	SP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	-0.17
				Distance	?	?	?	?
T73	SP3	MP6	SP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.14
				Distance	?	?	?	?
T26	SP3	MP6	SP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	-0.12
				Distance	?	?	?	?
T71	SP3	MP6	SP3	Hx. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.10
				Distance	?	?	?	?
T131	MP4	MP6	SP3	Hx. Angle	380.5018	0.0040	-0.0002	-0.04

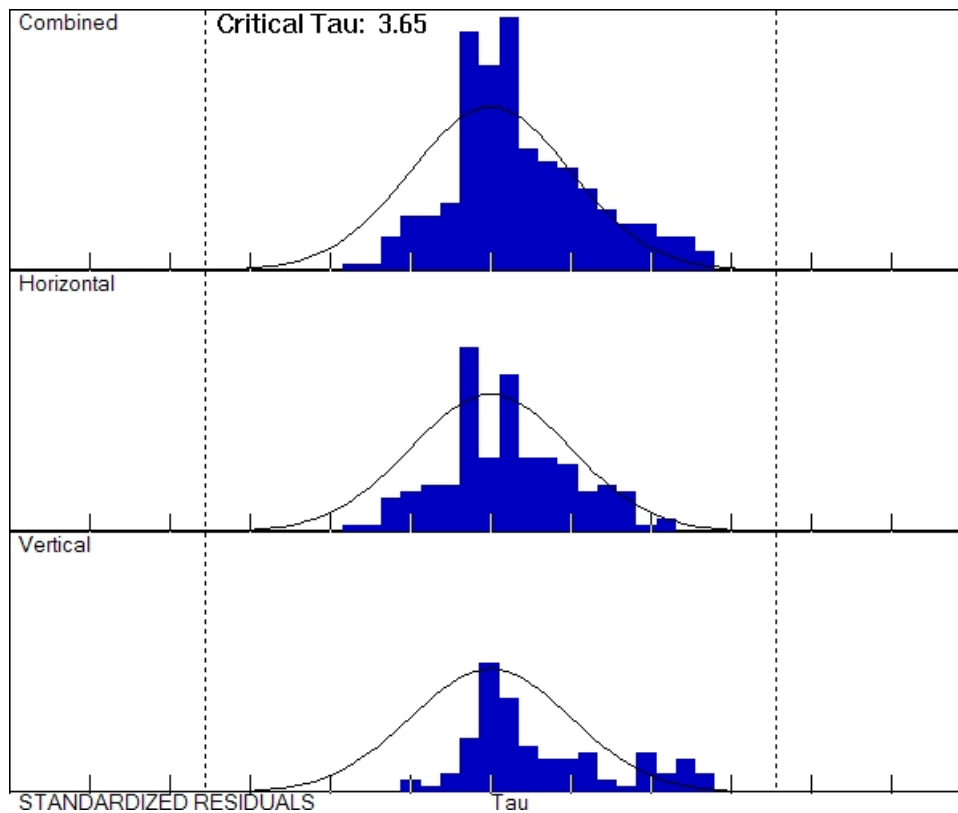
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.06
				Distance	?	?	?	?
T23	SP3	MP6	SP3	H_z. Angle	?	?	?	?
				ΔElev.	0.058m	0.002m	0.000m	0.05
				Distance	?	?	?	?

The following observations were excluded from the adjustment:

Obs. ID	Observations
T142	Distance
T140	Distance
T125	Distance
T134	Distance
T128	Distance
T69	Distance
T73	Distance
T26	Distance
T71	Distance
T131	Distance
T23	Distance


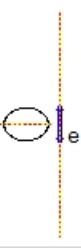
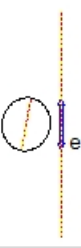
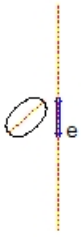
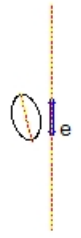
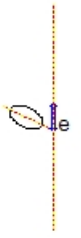
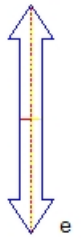
[Back to top](#)

Histograms of Standardized Residuals



[Back to top](#)

Point Error Ellipses

SP3	MP2	MP3
		
Tick Size: 0.0001m Horizontal Bivariate Scalar: 3.04σ Vertical Univariate Scalar: 2.58σ		
MP5	MP1B	MP4
		
Tick Size: 0.0001m Horizontal Bivariate Scalar: 3.04σ Vertical Univariate Scalar: 2.58σ		
SP3B		
		
Tick Size: 0.0001m Horizontal Bivariate Scalar: 3.04σ Vertical Univariate Scalar: 2.58σ		

[Back to top](#)

Covariant Terms

Adjustment performed in **KKJ South**

From Point	To Point	Components	A-posteriori Error (2.58σ)	Horiz. Precision (PPM)	3D Precision (PPM)
MP6	SP3	Az.	117.4012	0.0000	0.001000 137.984067
		ΔHt.	?	?	
		ΔElev.	0.058m	0.002m	
		Dist.	15.3418m	0.0000m	
MP6	MP2	Az.	87.3301	0.0056	143.922005 187.088457
		ΔHt.	?	?	
		ΔElev.	0.051m	0.001m	
		Dist.	6.7323m	0.0008m	
MP6	MP3	Az.	117.3947	0.0038	81.069150 104.533308
		ΔHt.	?	?	
		ΔElev.	0.059m	0.001m	
		Dist.	15.3402m	0.0008m	
MP6	MP5	Az.	251.9078	0.0051	155.562185 204.612753
		ΔHt.	?	?	
		ΔElev.	0.039m	0.001m	
		Dist.	6.2338m	0.0008m	

MP6	MP1B	Az.	375.4628	0.0050	148.149554	194.724532
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.063m	0.001m		
		Dist.	6.3628m	0.0008m		
MP6	MP4	Az.	136.8994	0.0040	123.818829	161.052827
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.031m	0.001m		
		Dist.	5.8409m	0.0006m		
SP3	MP2	Az.	337.5626	0.0042	98.509807	250.430702
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.007m	0.002m		
		Dist.	9.8358m	0.0007m		
SP3	MP3	Az.	366.6992	24.7622	551963.281238	0.000000
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.001m	0.002m		
		Dist.	0.0023m	0.0009m		
SP3	MP5	Az.	299.5636	0.0022	50.217854	127.986932
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.019m	0.002m		
		Dist.	19.3108m	0.0007m		
SP3	MP1B	Az.	333.6875	0.0022	47.407900	123.352714
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.006m	0.002m		
		Dist.	19.8839m	0.0007m		
SP3	MP4	Az.	306.0512	0.0026	72.829276	233.252822
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.026m	0.002m		
		Dist.	9.9302m	0.0006m		
MP2	MP3	Az.	137.5560	0.0068	134.303699	172.477775
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.008m	0.001m		
		Dist.	9.8338m	0.0008m		
MP2	MP5	Az.	270.3181	0.0042	107.206830	137.607253
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.012m	0.001m		
		Dist.	12.4683m	0.0011m		
MP2	MP1B	Az.	329.9079	0.0055	124.671864	162.197730
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.012m	0.001m		
		Dist.	10.0840m	0.0009m		
MP2	MP4	Az.	223.0093	0.0066	171.413408	227.351667
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.020m	0.001m		
		Dist.	4.8430m	0.0007m		
MP3	MP5	Az.	299.5572	0.0041	83.944462	104.636571
		ΔHt.	?	?		

		ΔElev.	-0.020m	0.001m		
		Dist.	19.3097m	0.0010m		
MP3	MP1B	Az.	333.6840	0.0041	80.285388	100.192139
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.004m	0.001m		
		Dist.	19.8819m	0.0010m		
MP3	MP4	Az.	306.0395	0.0044	104.269674	137.887305
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.028m	0.001m		
		Dist.	9.9289m	0.0008m		
MP3	MP6B	Az.	317.3949	0.0038	81.069098	104.529797
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.059m	0.001m		
		Dist.	15.3402m	0.0008m		
MP5	MP1B	Az.	13.2387	0.0052	125.348782	162.529686
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.025m	0.001m		
		Dist.	10.3939m	0.0010m		
MP5	MP4	Az.	92.7708	0.0046	120.052914	152.967055
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.008m	0.001m		
		Dist.	9.4861m	0.0009m		
MP1B	MP4	Az.	157.0319	0.0042	100.551873	128.958096
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.032m	0.001m		
		Dist.	11.6493m	0.0009m		
MP4	MP6B	Az.	336.8995	0.0040	123.818789	161.052796
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	-0.031m	0.001m		
		Dist.	5.8409m	0.0006m		
MP4	SP3B	Az.	106.0510	0.0026	72.829882	461.993369
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.026m	0.005m		
		Dist.	9.9301m	0.0006m		
MP6B	SP3B	Az.	117.4013	0.0000	0.001000	292.677469
		ΔHt.	?	?		
		ΔElev.	0.057m	0.004m		
		Dist.	15.3417m	0.0000m		

[Back to top](#)

Coordinate Transformation

Project : Koe12

User name	Geopalvelu	Date & Time	12:50:20 29.8.2007
Coordinate System	Default	Zone	Default
Project Datum	WGS 1984		
Vertical Datum	NAVD-88	Geoid Model	Not selected
Coordinate Units	Meters		
Distance Units	Meters		
Height Units	Meters		

Parameters

Origin point	?		
Origin North	-2.413m	Translation North	0.000m
Origin East	-3.150m	Translation East	2.236m
Rotation angle	1.7252	Scale Factor	1.00000000

Point	Original Northing	Original Easting	Adjusted Northing	Adjusted Easting	Difference
1	-1.932m	6.068m	-2.182m	8.314m	2.260m
2	-5.931m	-3.203m	-5.928m	-1.062m	2.141m
3	-8.716m	-12.636m	-8.457m	-10.567m	2.085m
4	-1.712m	-5.590m	-1.647m	-3.334m	2.257m
5	6.228m	-0.388m	6.150m	2.081m	2.470m
0	0.000m	0.000m	-0.086m	2.300m	2.302m

[Back to top](#)

Taulukko A Testikeilauksien lähtöarvot

Keilainasema	Kiertokulma			Orientointi kulma
Keilaukset mp 6	x	y	z	
1	0,025412	0,056674	1,30E-05	0,057296
2	0,042464		2,10E-05	0,057296
3	359,9792	359,9956	1,00E-06	0
4	359,9861	359,9957	0	0
5	359,9951	359,9957	0	0
Kallistetut keilaukset				
6	359,9771	359,9797	4,00E-06	0,057296
7	0,042452	0,06861	2,50E-05	0,057296
8	0,008586	359,900809	359,999993	0,114592
9	359,771174	0,250759	359,999499	0,343775
Keilaukset mp 5				
13	0,042428	0,061608	2,30E-05	
Keilaukset mp 4				
10	359,9911	0,004774	0	
Keilaukset mp 3				
12	0,038088	0,022937	8,00E-06	
Keilaukset mp 2				
11	0,05936	0,044542	2,30E-05	
Keilaukset mp 1				
14	359,9991	0,004771	0	

Testikeilaus	Orientointiasema			Orientointi kulma
1	-0.40913968	-0.91247176	0	0.061879
2	-0.60722691	-0.79452846	0	0.069901
3	0.97918731	0.20295865	0	0.021199
4	0.95626816	0.29249137	0	0.014324
5	0.75161652	0.65960034	0	0.006303
6	0.74826599	0.66339883	0	0,030367
7	-0.52616792	-0.85038069	0	0,080787
8	-0.086242472	0.99627418	0	0,099695
9	0.67406084	-0.73867583	0	0,339191
13	-0.56718816	-0.82358824	0	0,075057
10	0.87931719	-0.47623658	0	0,00974
12	-0.85665797	-0.5158848	0	0,044691
11	-0.79985865	-0.60018842	0	0,074485
14	0.17229326	-0.9850457	0	0,004584

Taulukko B Inklinometrin arvot