

## VERKKOTASOITUSOHJELMA LEICA GEO OFFICE

Sakari Takalo

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri AMK

2015

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Sakari Takalo	Vuosi	2015
<b>Ohjaaja</b>	Pasi Laurila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Mitta Oy		
<b>Työn nimi</b>	Verkkotasoitushjelma Leica Geo Office		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	47		

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella verkkotasoitushjelma Leica Geo Officea sekä tehdä sille käyttöopas. Ohjelmaa käytetään Leican laitteistoilla tehtyjen jonomittausten ja pisteverkkojen tasoituslaskentaan. Ongelmana oli, että koska ohjelmaa käytetään suhteellisen harvoin niin sen osaavat käyttäjät ovat harvassa. Kunnollisen ohjeistuksen kanssa ohjelmaa pystyy käyttämään myös tottumattomampi käyttäjä. Tämä oli tilaajan tavoite.

Opinnäytetyö on kaksijakoinen. Alkuosassa käydään läpi teoreettista taustaa sekä yleistä asiaa runkopisteistä ja virhekäsitteistä. Tarkoitukseni oli antaa hyvä perustietämys matemaattisista teorioista ohjelman taustalla pyrkimättä kuitenkaan menemään liian syvälliseksi.

Toisessa osassa käydään Ohjelman toimenpiteet lävitse normaalissa tasoitustapauksessa. Aihetta on havainnollistettu asiaan liittyviin kuvin. Teksti etenee järjestyksessä projektin luonnista aina lopputuloksiin ja valmiisiin koordinaatteihin.

Leica Geo Office laskee tasoituksena pienimmän neliösumman periaatteella, joten sitä voidaan pitää varsin tavanomaisena verkkotasoitushjelmana. Tasoitusten virheet on helposti luettavissa ja lasketut koordinaatit heti käytettävissä.

Avainsanat: Runkopisteverkko, runkopiste, kiintopiste, virhe, pienimmän neliösumman menetelmä, virhe-ellipsi, tasoitus, verkkotasoitushjelma, Leica.

School of Technology, Communication and Transport

Land Surveying Degree Programme

---

<b>Author</b>	Sakari Takalo	Year	2015
<b>Supervisor(s)</b>	Pasi Laurila		
<b>Commissioned by</b>	Mitta Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Geodetic Software Leica Geo Office		
<b>Number of pages</b>	47		

---

The main objective of this thesis was to study a geodetic software Leica Geo Office. Leica Geo Office is used to import, export and manage GPS, TPS and level data. The thesis includes the user manual of the software and the studies of geodetic observations and their nature, calculation requirements, pre computations of the observations before the least squares adjustment and the least squares adjustment itself. The main objective of this thesis is to make a simple user manual for the Leica Geo Office users.

The thesis is divided into two parts. The first part includes the studies of calculation requirements, pre computations and the least square adjustment. In addition the benchmark system of Finland (EUREF-FIN) was studied. The second part handles the software itself.

Leica Geo Office uses the least square adjustment to solve the coordinates from the surveys. Its main problem has been the fact that a software is rarely used, not many people can use it properly. When this manual is in use and the threshold to use a software is lower. This goal set by the commissioner was reached.

Key words: Least squares, benchmark, levelling

## Kuva- ja kuvioluettelo

Kuvio 1. Pienimmän neliösumman estimoinnin prosessikaavio. Räsänen s. 34.

Kuvio 2: Virhe-ellipsi: pidempi puoliakseli  $u$ , lyhyempi puoliakseli  $v$  ja virhe-ellipsin suunta  $t$ . Räsänen s. 53.

Kuvio 3: New project -ikkuna. Leica Geo Office ohjelma.

Kuvio 4: Import raw data -ikkuna. Leica Geo Office.

Kuvio 5: Kuvakaappaus ohjelman etusivun karttanäkymästä. Leica Geo Office.

Kuvio 6: General parameters -ikkuna, coord. System –välilehti. Leica Geo Office.

Kuvio 7: General parameters -ikkuna, standard deviation –välilehti. Leica Geo Office.

Kuvio 8: Point properties -ikkuna. Leica Geo Office.

Kuvio 9: Kuvakaappaus ohjelman etusivun tasoitetusta karttanäkymästä. Leica Geo Office.

Kuvio 10: General information -välilehti. Leica Geo Office.

## SISÄLLYS

1	Johdanto .....	9
2	Runkopisteet.....	11
2.1	Runkoverkko ja runkomittaukset.....	11
2.2	Tasorunkomittaukset.....	12
2.3	Jonomittaus .....	13
3	Euref-Fin-Kiintopisteet ja niiden luokittelu jhs 184 suosituksessa .....	15
4	Virhe- ja tarkkuuskäsitteet.....	18
5	Pienimmän neliösumman menetelmän mukainen virheyhtälöntasoitus.....	20
5.1	Havaintojen esikäsittelyt .....	20
5.2	Erohavainnot.....	21
5.3	Tasoituksen teoriaa.....	21
5.4	Funktionaalinen malli .....	23
5.5	Stokastinen malli.....	25
5.6	Tasorunkoverkon tasoitus virheyhtälötasoituksena .....	26
5.7	Korkeusrunkoverkon tasoitus virheyhtälötasoituksena .....	28
6	Virhe-ellipsi .....	29
6.1	Virhe-ellipsi .....	31
6.2	Absoluuttinen virhe-ellipsi .....	31
6.3	Suhteellinen virhe-ellipsi .....	32
7	Runkoverkon suunnittelu .....	34
7.1.1	Nollannen asteen suunnittelu .....	34
7.1.2	Ensimmäisen asteen suunnittelu.....	34
7.1.3	Toisen asteen suunnittelu .....	35
7.1.4	Kolmannen asteen suunnittelu .....	35
7.2	Verkkojen suunnittelumenetelmät.....	36
8	Leica geo office.....	37

8.1	Projektin luonti .....	37
8.2	Datan tuonti .....	37
8.3	Yleisten asetusten säätäminen .....	38
8.4	Vapaa tasoitus .....	42
8.5	Kytetty tasoitus .....	43
8.6	Tulokset .....	44
9	Pohdinta.....	46
	Lähteet.....	47

## ALKUSANAT

Työn teki mahdolliseksi toimeksiantaja Mitta Oy. Heiltä sain myös aineistoa käyttöön sekä mahdollisuuden käyttää ohjelmaa heidän laitteistollaan. Tästä olen kiitollinen. Koulun puolesta suureksi avuksi oli ohjaava opettaja Pasi Laurila. Häneltä sain tärkeitä lähteitä sekä ohjeistusta työn tekoon

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

A Priori	Etukäteen saatu tieto, laskennallinen arvo.
A posteriori	Laskennan tuloksena saatu toteutunut arvo.
EUREF-FIN	ETRS89 –koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio.
Kovarianssi	Kahden muuttujan välisen riippuvuuden mitta
Varianssi	Varianssi kertoo, kuinka paljon satunnaismuuttuja $x$ vaihtelee odotusarvonsa ympärillä



## 1 JOHDANTO

Rakennettaessa runkopisteverkkoja pisteille on määritettävä koordinaatit. Koordinaatit yleensä vielä sidotaan ympärillä olevaan valmiiseen pisteistöön, jotta ne olisivat mahdollisimman yhtenevät. Runkopisteverkkoja tehdään esimerkiksi isojen rakennustyömaiden ympärille tai rautateiden varsille. Luotettava pisteverkko mahdollistaa kohteiden tarkan, luotettavan ja keskenään vertailukelpoisten kohteiden mittaukset ja kartoitukset. Epäluotettavat pisteet vaikeuttavat mittausten suorittamista. Tämän ongelman kohtaa jokainen vanhoilla pisteillä mitannut.

Runkopisteverkkojen tekeminen ja koordinaattien määrittäminen on huomattavasti tavanomaisia mittaustoimenpiteitä isompi projekti. Aluksi on tiedettävä tarkoin, että mille alueelle ja mihin tarkoitukseen pisteistö tulee. Käyttötarkoitus määrää pisteistön tiheyden ja mittausluokan. Varsinaiset pisteet on sijoitettava suojaisaan mutta näkyvään paikkaan hyvän käytettävyyden saamiseksi.

Mittausvaiheessa on oltava tarkka, ettei millinkään virhe ala systemaattisesti kasvavaan jonon edetessä. Tämä edellyttää hyvälaatuista kalustoa ja ammattitaitoisia mittaajia. Varsinaisen mittausvaiheen jälkeen aineiston jälkikäsitelyssä olisi hyvä olla myös mittauksessa mukana ollut henkilö, jotta mahdolliset virheet saadaan mahdollisimman helposti paikannettua ja korjattua. Valmiit koordinaatit tulevat pyydetyssä koordinaattijärjestelmässä. Hyvin usein se on sama kuin alueen ympärillä olevan pisteistön koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.

Pisteistöjä mitataan joko staattisella GNSS-GPS menetelmällä tai takymetrimittauksilla perinteisemmin. Tässä työssä perehdytään takymetrimittausten käsittelyyn. Myöskin GNSS-GPS menetelmän mittausten käsittely onnistuu Leica Geo Officea.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi verkkotasitusohjelma Leica Geo Officea ja sen käyttöä runkoverkkojen laskennassa. Opinnäytetyössä käydään myös lävitse taustatietoa runkopisteistöjen ja niiden laskennan taustalta. Taustatietoja

tarvitaan, jotta ymmärtäisi paremmin ohjelman toimintaperiaatteet. Muihin verkkotasoitushjelmiin kuin Leica Geo Officeen en tässä työssä perehdy. Teoriaosuudessa pysytään välttämättömissä asioissa menemättä liian syvälliseksi.

Leica Geo Officea käytetään Leican laitteistoilla tehtyjen jono- ja verkkomittausten käsittelyyn ja tasoitukseen. Ohjelma on käytössä Leican laitteistoilla tehtyihin havaintoihin ja mittauksiin. Toimeksiantajayrityksessä ongelmana on ollut, että ohjelmaa on tarvinnut suhteellisen harvoin ja sitä osaa käyttää vain harva työntekijä. Ohjelman käyttöoppaalle oli tarvetta ja sitä tarvetta tämä opinnäytetyö pyrkii täyttämään.

Käyttöoppaan tavoitteena on, että käyttäjä sen avulla pystyy kohtuullisesti ilman aikaisempaakin kokemusta käyttämään ohjelmaa ja laskemaan tavallisimpia tasoituksia pisteistöille. Varsinaiseen pisteistöjen mittausvaiheeseen ei tässä opinnäytetyössä paneuduta, vaan keskityn laskentavaiheeseen. Mittausvaihe on oma erillinen työvaiheensa.

Aineistona on käytetty aiheeseen viittaavia aikaisempia julkaisuja, diplomitöitä sekä muita tutkielmia. Myöskin Leican omat manuaalit ovat olleet lähteinä Geo Officea koskevassa osuudessa.

## 2 RUNKOPISTEET

Sijaintimittauksissa mittauspaikan koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä määritellään runkopisteiden avulla. Runkopisteet on tarkoitettu pitkäaikaiseen käyttöön, joten ne pyritään rakentamaan liikkumattomiksi kallioon, maaperäkiviin, rakennuksiin ja katujen ja teiden rakenteisiin. Niiden pitää myös sijaita mahdollisimman hyvin näkyvillä paikoilla, sillä vasta hyvä näkyvyys mahdollistaa pisteiden tehokkaan käytön. (Laurila. 2011 S. 8.)

Runkopisteet voivat olla tasorunkopisteitä, korkeusrunkopisteitä tai yhdistettyjä runkopisteitä. Tasorunkopisteen koordinaatit (X, Y) tunnetaan, korkeusrunkopisteen korkeus (H) tunnetaan ja yhdistetyn runkopisteen koordinaatit ja korkeus tunnetaan. Runkopisteiden koordinaatit ja korkeudet mitataan runkomittauksella. (Laurila 2011 S. 9.)

Tasorunkopisteellä tulee olla selvästi nähtävä keskusmerkki. Tämän vuoksi tasorunkopisteet ovat usein metalliputkia, -tankoja tai mittapistenauloja. Yhdistetyt runkopisteet ovat yleensä tasorunkopisteiksi rakennettuja pisteitä. Kun tällaiselle pisteelle on määrätty korkeus, niin se on yleensä epätarkempi kuin varsinaisen korkeusrunkopisteen korkeus. (Laurila 2011 S. 9)

### 2.1 Runkoverkko ja runkomittaukset

Runkopisteitä ei yleensä mitata yksittäisinä pisteinä vaan suurempina kokonaisuuksina, joita kutsutaan runkoverkoiksi. Runkoverkon rakenne ja tehdyt mittaukset voidaan esittää verkkopiirroksen avulla. Esimerkiksi tasorunkoverkot ovat usein muodoltaan kolmioverkkoja tai monikulmiojonoja. Mittaustapansa perusteella runkopisteitä voidaan kutsua esimerkiksi kolmiopisteiksi tai monikulmiopisteiksi. Kolmiopisteet on mitattu kolmiomittauksella ja monikulmiopisteet jonomittauksella. Runkomittauksissa käytettäviä menetelmiä kutsutaan runkomittausmenetelmiksi. (Laurila 2011 S. 12)

Runkopisteiden tarkkuus vaihtelee ja tätä vaihtelua kuvaa mm. runkopisteiden luokittelu. Mittausohjeissa valtakunnalliset ja kunnalliset taso- ja korkeusrunkomittaukset jaetaan hierarkkisiin luokkiin. Uusimmassa

kaavoitusmittausohjeistuksessa runkopisteet jaetaan kolmeen ryhmään: valtakunnalliset kiintopisteet, peruskiintopisteet ja käyttökiintopisteet. (Laurila 2011 S. 12)

## 2.2 Tasorunkomittaukset

Tasorunkomittausten avulla mittauspaikalle muodostetaan halutun koordinaattijärjestelmän mukainen koordinaatisto. Koordinaatisto kiinnitetään tasorunkopisteisiin. Tasorunkomittauksissa käytettäviä mittausmenetelmiä ovat

- kolmiomittaus
- staattinen satelliittimittaus (myös reaaliaikainen GNSS -mittaus)
- jonomittaus.

Runkomittauksia tehtäessä määritetään samassa mittauksessa koordinaatit useille pisteille. Tarkkuuden ja runkoverkon yhtenäisyyden vuoksi on tärkeää, että uudet pisteet sidotaan havainnoin toisiin uusiin pisteisiin ja olemassa oleviin runkopisteisiin. Joskus on perusteltua mitata yksittäisiä runkopisteitä. Jos mittausalueella on kuitenkin käyttöä useille pisteille, on syytä mitata varsinaisia runkomittausmenetelmiä käyttäen useampia pisteitä. (Laurila 2011 S. 271)

Satojen vuosien ajan vaativimmat tasorunkomittaukset suoritettiin kolmiomittauksella. Perinteisessä kolmiomittauksessa tehtiin pääasiassa kulmahavaintoja, koska tarkka pitkien matkojen etäisyydenmittaus ei ollut mahdollista aikana ennen radioteknisiä ja elektro-optisia etäisyydenmittauskojeita. Suomessa kolmiomittauksesta on luovuttu kolmiomittausten käytöstä valtakunnallisessa runkomittauksissa 1990 – luvun alussa. (Laurila 2011 S. 271)

1990 – luvulla staattinen GPS-mittaus korvasi kolmiomittauksen valtakunnallisissa mittauksissa ja kunnan peruskiintopisteverkon mittauksissa. Paikannussatelliitteihin perustuvan runkomittauksen verkko muistuttaa rakenteeltaan kolmiomittauksen verkkoa. (Laurila 2011 S. 272)

Jonomittaukset ovat ns. alemman luokan tasorunkomittauksia. Jonomittausta käytetään pääasiassa kunnan ja rakennustyömaiden käyttökiintopisteiden

mittauksissa. Jonomittaus on geometrialtaan murtoviiva, jota voidaan kutsua myös monikulmiojonoksi. Tämän vuoksi jonomittauksesta käytetään myös nimitystä monikulmiojonomittausmenetelmä, mutta jonossa voidaan mitata myös korkeutta trigonometrisen korkeudenmittauksen periaatteella. (Laurila 2011 S. 271–272)

### 2.3 Jonomittaus

Jonomittaus on perinteinen tasorunkomittausmenetelmä. Jonossa koordinaatteja kuljetetaan pisteeltä toiselle säteittäisen mittauksen periaatteella. Mittaushavainnot ovat siis tähtäyssuunnat ja sivujen pituudet. Nykyään mittaukset suoritetaan takymetrillä, mutta ennen mittaukset on tehty teodoliitilla ja mittanauhalla. Jonomittaus aloitetaan tunnetulta pisteeltä, jota sanotaan lähtöpisteeksi. Lähtösuunta otetaan toiselta tunnetulta pisteeltä. Sitä sanotaan lähtösuuntapisteeksi. Mittaus etenee uusien pisteiden kautta, kunnes päästään taas tunnetulle pisteelle. Jonon päätepistettä sanotaan sulkupisteeksi. Sulkupisteellä verrataan mitattuja koordinaatteja tunnettuihin koordinaatteihin. Koordinaattien erot ovat sulkuvirheitä. Niiden perusteella voidaan arvioida mittauksen tarkkuutta. Sulkupisteeltä voidaan vielä havaita suunta toiselle tunnetulle pisteelle. Sitä sanotaan sulkusuuntapisteeksi. Sulkusuuntapisteen avulla määritetään sulkusuuntavirhe, jonka perusteella voidaan arvioida suuntahavaintojen tarkkuutta. Kun jono on muodostunut edellä mainitulla tavalla, eli siinä on neljä lähtöpistettä, sitä kutsutaan täydellisesti suljetuksi jonoksi. (Laurila 2011 S. 272)

Runkomittausjono voi olla myös epätäydellisesti suljettu jono. Epätäydellisesti suljetussa jonossa on neljän lähtöpisteen sijasta joko kolme tai kaksi lähtöpistettä. On kuitenkin tärkeää, että runkomittausta varten mitatussa jonossa on lähtöpiste kummassakin päässä jonoa. Piikkijonoksi sanotussa jonossa on lähtöpiste ja lähtösuuntapiste, muttei sulkupistettä. Mittauksen luotettavuutta tai tarkkuutta ei silloin pysty arvioimaan ja siksi piikkijonoja ei saa käyttää. (Laurila 2011 s. 273)

Jonomittauksen havainnot tehdään takymetrillä. Mittauksissa voidaan käyttää hyväksi pakkokeskitysperiaatetta. Ajatuksena on keskittää ja tasata kojeet

(takymetri ja prismasarjat) kullekin jonopisteelle vain kerran. Mittauksen edetessä kojetta ja tähyksiä siirretään tasausalustalta toiselle mittauksen etenemisjärjestyksessä. Näin menetellen säästyy jonkin verran aikaa ja mittauksen sisäinen tarkkuus paranee. Pakkokeskitysperiaatteen noudattaminen ei kuitenkaan paranna mittauksen luotettavuutta. Jos nimittäin jonon uudella pisteellä tehdään keskitysvirhe, virhe ei näy sulkuvirheessä. (Laurila 2011 s. 272–274)

### 3 EUREF-FIN-KIINTOPISTEET JA NIIDEN LUOKITTELU JHS 184 SUOSITUKSESSA

EUREF-FIN on aidosti kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä (JHS 153), joten myös EUREF-FIN-kiintopisteiden koordinaatit on esitettävä joko maantieteellisinä ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) tai kolmiulotteisina suorakulmaisina (X,Y,Z) koordinaatteina. Koska EUREF-Fin-koordinaatteja määritellään pääasiassa GNSS-mittausten avulla, on kaikilla EUREF-Fin-kiintopisteillä aina oltava kolmiulotteiset koordinaatit. (JHS 184)

EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän kiintopisteet luokitellaan käyttötarkoituksen mukaan peruskiintopisteisiin ja käyttökiintopisteisiin. Peruskiintopisteet muodostavat valtakunnallisten ja paikallisten kiintopisteverkkojen rungon ja käyttökiintopisteet ovat paikallisessa päivittäisessä käytössä olevia kiintopisteitä (esim. kartoituksen lähtöpisteitä). Valtakunnalliset peruskiintopisteet muodostavat luokat E1-E2, paikalliset peruskiintopisteet luokat E3-E4 ja paikalliset käyttökiintopisteet luokat E5-E6. (JHS 184)

EUREF-FIN-kiintopisteet voidaan jaotella myös passiivisiin ja aktiivisiin. Passiiviset kiintopisteet ovat maastossa olevia pisteitä, jonka merkinä käytetään metallipulttia, -putkea tai -tankoa. Kiintopisteiden tulee olla rakenteeltaan yksikäsitteisiä, liikkumattomia ja kestäviä. Kiintopisteet rakennetaan tai kiinnitetään ensisijaisesti kallioon, isoon maakiveen tai kiinteään rakenteeseen. Aktiiviset kiintopisteet ovat kiinteästi asennettuja GNSS-tukiasemia, joiden havainnot ovat jatkuvasti käytettävissä. Myös näiden pysyvien GNSS-asemien pitää täyttää edellä mainitut kiintopisteen rakenteelle asetetut vaatimukset. Aktiivisen kiintopisteen muodostaa GNSS-antenni (sekä muu GNSS-laitteisto), joka on kiinnitetty kallioon tai muuhun kiinteään rakenteeseen erilaisten masto- tai pilarirakennelmien avulla. (JHS 184)

Pysyviä GNSS-asemia on käytetty perusrunkoverkkojen ja käyttökiintopisteiden mittaamiseen. GNSS-teknologian tarjoamat mahdollisuudet ja pysyvien asemien käyttö on kuitenkin hämärtänyt perinteisen hierarkia-ajattelun kiintopisteverkoissa. GNSS-mittauksissa toiminta-alue on kasvanut, tarkkuudet parantuneet ja virheen kasautuminen kiintopisteverkoissa on pienentynyt

verrattuna perinteisiin mittauksiin (kolmio- ja jonomittaukset). Tämä ei silti tarkoita sitä, että kaikki eri aikoina ja eri tavoin suoritettut GNSS-mittaukset olisivat keskenään täysin yhteensopivia. Tässä suosituksessa ohjeistetaan mittaukset EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä, jotta varmistetaan eri aikoina ja eri tavoin mitattujen kiintopisteverkkojen sisäinen tarkkuus. (JHS 184)

Kiintopisteiden koordinaatteja on perinteisesti määritetty kulma-, ja etäisyyshavaintojen avulla kolmio-, suurmonikulmio-, tai jonomittauksilla. Myös nykyisen EUREF-FIN koordinaattijärjestelmän kanssa voi käyttää jonomittauksia. Jonomittaukset suoritetaan takymetrillä. (JHS 184)

Jonomittauksella tarkoitetaan tunnetusta pisteestä toiseen kulkevan murtoviivan mittausta taitepisteissä tehtävin kulma- ja etäisyyshavainnoin. Jonomittauksia käytetään perinteisesti tasokoordinaattien määrittämiseen, jolloin havainto- ja laskentakoordinaatisto on karttaprojektio. Menetelmällä voidaan määrittää pisteille myös korkeus. Luotettavammin korkeustiedon saa kuitenkin tarkkavaaituksella tunnetuista korkeuskiintopisteistä. Jonomittauksessa lähtöpisteinä käytetään kahta ylemmän luokan kiintopistettä, joiden uusien pisteiden muodostama jono kulkee mahdollisimman suoraan pisteiden välimatkojen ollessa suunnilleen yhtä pitkiä. Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin suositellaan tehtäväksi täydellisenä liitoksena eli liitossuunnat havaitaan jonon molemmissa päissä. Erityisistä syistä liitos voidaan tehdä myös koordinaattiliitoksena ilman sulkupisteellä tehtäviä kulmahavaintoja, jos ei ole mahdollista havaita liitossuuntaa (perusteltava). Jonoissa ei saa olla piikkipisteitä. Pisteiden suunnittelussa on otettava huomioon pisteiden välinen esteetön näkyvyys. Läheltä maanpintaa kulkevia tähtäyksiä on pyrittävä välttämään. (JHS 184)

Koje pystytetään kolmijalan ja luodin avulla suoraan mitattavan pisteen yläpuolelle. Mikäli pisteille määritetään myös trigonometriset korkeudet, kojeen korkeus pisteestä on määritettävä 1 millimetrin tarkkuudella. Sekä kojeen että tähysten korkeudet mitataan ennen havaintojen aloittamista ja havaintojakson jälkeen. Mittauksen tiedot on talletettava tiedostoon tai havaintolomakkeelle. (JHS 184)



Havaintotyössä käytetyn kojeen pitää olla kalibroitu ja sen virheet on tunnettava. Samoin jonomittauskaluston pakkokeskitysalustat on kalibroitava. Takymetrin kanssa on käytettävä saman koje- eli laitekorkeuden käsittävää prisma- ja tähyssarjaa alustoineen. Epäkeskisten prismojen käyttöä on syytä välttää. (JHS 184)

#### 4 VIRHE- JA TARKKUUSKÄSITTEET

Aina kun tehdään mittauksia, se tapahtuu rajallisella tarkkuudella. Usein jo etukäteen on tiedossa, miten tarkasti joku mittaus tulee suorittaa. Mittausvaiheessa varmistetaan, että tavoiteltu tarkkuustaso saavutetaan. Tässä tarkoituksessa mittauksia toistetaan, että mittaustulosten vaihtelusta saadaan tietoa satunnaisten virheiden vaikutuksesta mittaustuloksiin. Mittauksen toistaminen ei kuitenkaan paljasta systemaattisia virheitä. Ne voivat johtua mittalaitteesta, mittausjärjestelyistä tai esimerkiksi ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Näiden muuttujien hallinta edellyttää laitteiden kalibrointia ja mittausmenetelmien empiiristä testausta. Kalibroinnissa systemaattiset virheet ja laitteen tarkkuus määritetään. Systemaattiset virheet joko poistetaan laitetta säätämällä tai otetaan korjauksina huomioon. Uudet mittausjärjestelyt testataan koemittauksin. (Salmenperä 1999 s. 1–2)

Mittaus pyritään tekemään myös luotettavasti. Tällä ymmärretään sitä, että ylimääräisten mittausten tai kokonaan toisella tavalla mittaamalla paljastetaan karkeat virheet. Karkeat virheet ovat usein erehdyksen luontoisia, esimerkiksi kirjaamisvirheitä. (Salmenperä 1999 s. 1 – 2)

Perinteisesti virheet on jaettu satunnaisiin virheisiin, systemaattisiin virheisiin ja karkeisiin virheisiin.

Karkeat virheet ovat luonteeltaan erehdyksiä. Tyypillinen karkea virhe syntyy esimerkiksi numeroinnista, väärästä kohteen identifioinnista, virheistä havaintojen kirjaamisessa tai rekisteröinnissä jne. Mittaus ja siihen liittyvä laskenta tulee järjestää niin, että karkeat virheet voidaan paikantaa. Tämä onnistuu helpoiten ylimääräisten havaintojen avulla, mutta vaikutukseltaan pienten karkeitten virheitten paljastaminen on vaikeaa ja epävarmaa. Tärkeintä on mittausprosessissa pyrkiä siihen, että kyseisiä virheitä ei synny tai syntyä mahdollisimman vähän. Mittauksen rakenteella on olennainen vaikutus karkeitten virheitten paikantamismahdollisuuteen. (Salmenperä 1999 s. 1 – 2)

Systemaattiset virheet noudattavat jotain sääntöä. Ne voivat johtua mittauslaitteesta, ympäristöolosuhteista, mittaajista tai myös esimerkiksi laskukaavojen tai tietokoneohjelmien käytöstä pätevyysalueen ulkopuolella. Jotta

mittausten lopputulokseen ei aiheutettaisi epätarkkuutta, on kaikkien tunnettujen systemaattisten virheiden vaikutus korjattava. (Salmenperä 1999 s. 1 – 2)

Satunnaiset virheet muodostavat virheiden kolmannen päätyypin. Kun karkeat virheet on paikallistettu ja eliminoitu ja systemaattisten virheiden vaikutus otettu huomioon, jää mittauksiin vielä jäljelle vaihtelua, satunnaista virhettä. Satunnaisia virheitä voidaan hallita tilastomatematiikan keinoin. (Salmenperä 1999 s. 1 – 2)

Jos toistetaan jotain mittausta ja mittauslaitteen erottelukyky on riittävä, saadaan toisistaan poikkeavia tuloksia. Jos esimerkiksi mitataan huoneen pituutta ja mittauksessa kirjataan tulokset millimetrin tarkkuudella, saadaan toisistaan hieman poikkeavia tuloksia. Tämä johtuu siitä, että millimetrin arviointi on hieman epävarmaa, huoneen pituus on rosoisuuden yms. johdosta hieman epämääräinen käsite ja esimerkiksi nauhan jännitysvoima ei eri kerroilla ole täsmälleen sama. Mittaustuloksissa on satunnaista vaihtelua. Todennäköisin arvio huoneen pituudesta on kaikkien mittausten keskiarvo. Useimmiten pidetään satunnaista vaihtelua normaalijakautuman mukaisena, ellei perusteluta syytä poiketa tästä ole. (Salmenperä 1999 s. 2)

## 5 PIENIMMÄN NELIÖSUMMAN MENETELMÄN MUKAINEN VIRHEYHTÄLÖNTASOITUS

### 5.1 Havaintojen esikäsittelyt

Kulmamittaukset tehdään runkomittausten yhteydessä useana sarjana. Sarjojen lukumäärä vaihtelee mittausluokan mukaan, mutta se on esimerkiksi 2, 4 tai 6. Jos kaikkia sarjoja voidaan pitää yhtä tarkkoina (havainnot on tehty samalla kojeella samoissa olosuhteissa), on keskiarvon laskeminen paikallaan. Jos halutaan tutkia samalla asemapisteellä tehtyjen havaintosarjojen yhteensopivuutta (sisäistä tarkkuutta) ja verrata eri asemapisteitä toisiinsa tässä suhteessa esim. painojen oikeaa valintaa varten, tehdään ns. asematasoitus. Asematasoituksessa mitattujen sarjojen mukaiset viuhkat sovitetaan yhteen kaikkien suuntien avulla eikä vain yhteisen alkusuunnan avulla. (Salmenperä 2003 s. 26)

Fysikaalisia reduktioita ovat lämpötilasta ja ilmanpaineesta johtuvat arvot. Molemmat arvot syötetään kojeeseen mittausvaiheessa. Lämpötilan annetaan 1° C tarkkuudella. Ilmanpaine syötetään 5 millibarin tarkkuudella. (Hakala 2014)

Geometrisiä reduktioita ovat prismavakio ja EDM -vakiokorjaus, vinoetäisyyden korjaus vaakaetäisyydeksi, refraktio - ja kaarevuuskorjaus, pultista pulttiin - korjaus, redukointitaso sekä korjaus karttaprojektioon. (Hakala 2014)

Kaarevuuskorjauksella korjataan havaittu ratakaarevuuden mukainen etäisyys suoraksi avaruusjanteeksi.

$$K_r = s_r - s_H \tag{1}$$

Jossa:

$K_r$	on	kaarevuuskorjaus
$s_r$	on	suora avaruusjänne
$s_H$	on	ratakaarevuuden mukainen etäisyys

(Räsänen 1994 s. 26)

Vektorilaskennalla lasketaan alkutuntemattomat vaihehavainnoista. Näin saadaan vektoriratkaisu tunnuslukuineen.  $DX$ ,  $dY$  ja  $dZ$  sekä niiden kovarianssimatriisi (cov) ovat verkkotasoituksen materiaaleja. (Hakala 2014)

## 5.2 Erohavainnot

Suhteellisessa paikannuksessa käytetään varsinaisina havaintosuureina erotushavainnoita. Ne muodostetaan yhdistämällä kahden ajankohdan, vastaanottimen tai satelliitin havainnot. Erotushavainnot ovat alkuperäisten vaihehavaintojen lineaarikombinaatioita. Niitä muodostetaan eri käyttötarkoituksiin tarkoituksenmukaisella tavalla. Erotushavaintojen avulla päästään eroon havaintojen yhteisistä virheistä. Erotushavaintojen avulla määritetään paikantavan vastaanottimen paikkavektori eli koordinaattierot vertailuvastaanottimen paikkavektori eli koordinaattierot vertailuvastaanottimen suhteen. Yksinkertainen satelliitti-satelliittierotushavainto voidaan tulkita satelliittiin suunnatuksi vektoriksi. Kun havaitaan samanaikaisesti vähintään neljää satelliittia, voidaan erotushavainnoista prosessoida vastaanotinten välinen paikkavektori. (Laurila 2011 s. 268)

## 5.3 Tasoituksen teoriaa

Tasoitustapa on aina sopimus siitä miten havainnot sovitetaan yhteen. Geodesiassa käytetään yleisesti pienimmän neliösumman mukaista tasoitusta, jota pidetään teoreettisesti oikeimpana tapana tasoittaa. Myös muunlaisia tasoitustapoja on hyväksytty käytännön syistä. (Kallio 1998 s. 6)

Mittaustöissä itse havaituilla suureilla ei useinkaan ole itseisarvoa, vaan tärkeämpiä ja käytännöllisempiä ovat havainnoista johdetut suureet. Havaintujen kulmien ja etäisyyksien avulla lasketaan pisteiden koordinaatteja. Havainnoita tehdään enemmän kuin on minimissään pakko. Ylimääräisten havaintojen avulla paljastetaan havainnoista karkeita virheitä ja saada halutut suureet ratkaistua luotettavasti ja paremmalla tarkkuudella. (Räsänen 1994 s. 33)

Pienimmän neliösumman periaate on yleisesti käytössä useilla eri aloilla, kun pitää laskea suureita havainnoista. Menetelmä on suosittu, sillä menetelmän

tulokset ovat yksikäsitteisiä ja harhattomia ja menetelmällä saadaan minimijälkiratkaisu. Pienimmän neliösumman estimaatit ovat suurimman todennäköisyyden estimaatteja, kun havainnot ovat riippumattomia ja normaalisti jakautuneita. (Räsänen 1994 s. 33)

Pienimmän neliösumman tasoituksessa johdetaan tuntemattomille parametreille estimaatit havainnoista. Tärkeänä sivutuotteena saadaan tuntemattomien parametrien tarkkuus. Tasoitusprosessiin kuuluukin aina funktionaalinen malli, joka kertoo havaintojen ja tuntemattomien parametrien välisen yhteyden, ja stokastinen malli, jossa havaintojen kovarianssimatriisilla ilmaistaan havaintojen tarkkuus. (Kallio 1998 s. 6)

Havaintojen harhattomuutta ja minimijälkiratkaisua ei lähteissä perustella, mutta havaintojen normaalijakautuneisuudesta löytyy tietoa. Havainnot ovat usein riippumattomia, mutta on mahdotonta tietää ovatko havainnot normaalisti jakautuneita. Tilastomatematiikan keskeinen raja-arvolause osoittaa, että jos satunnaismuuttuja on summa muista satunnaismuuttujista, joilla on tietty todennäköisyystiheysjakauma, pyrkii tämä satunnaismuuttuja olemaan normaalisti jakautunut. Edellä esitettyyn perustuen maanmittauksen liittyviä havaintoja voidaan pitää normaalisti jakautuneina. Pienimmän neliösumman menetelmän käytön edellytys ei kuitenkaan ole havaintojen normaalijakautuneisuus, eli menetelmää voidaan soveltaa, vaikka havainnot eivät olisikaan normaalisti jakautuneita. Edellä esitetyn lisäksi pienintä neliösummaa perustellaan sillä, että se tarjoaa sarjan algoritmeja, joilla voidaan vakiolla tavalla muuntaa havainnot ja niiden kovarianssimatriisi halutuiksi suureiksi ja niiden kovarianssimatriiseiksi. (Räsänen 1994 s. 33)

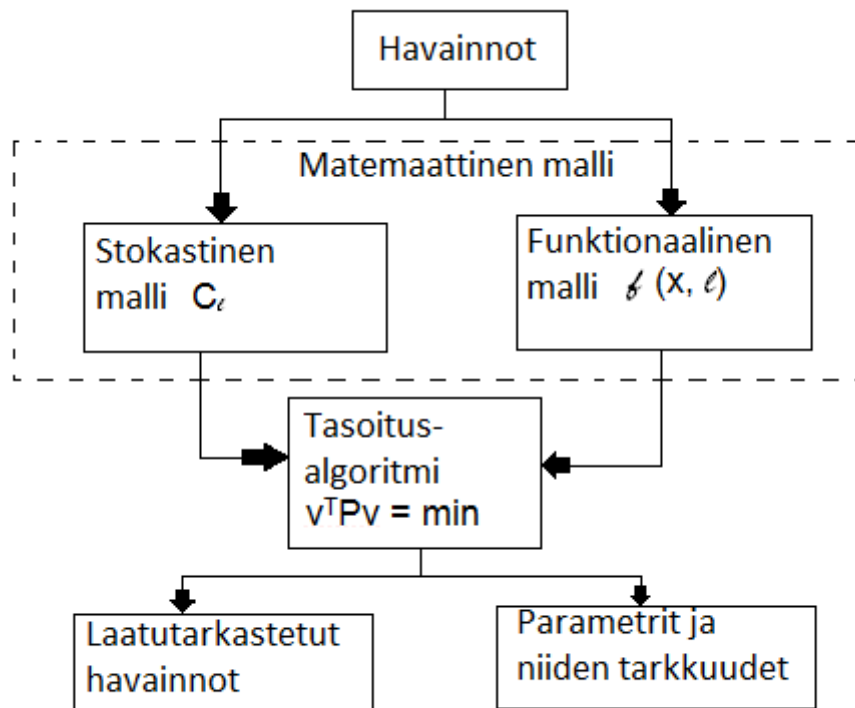
$$(l, C_l) \rightarrow (x, C_x), \quad (2)$$

$l$  on havaintovektori,

$C_t$  on havaintojen kovarianssimatriisi,

$x$  on haluttujen suureiden vektori ja

$C_x$  on haluttujen suureiden kovarianssimatriisi. (Räsänen 1994 s. 34)



Kuvio 1: Pienimmän neliösumman estimoinnin prosessikaavio. Räsänen s. 34

Kuvassa (Kuvio 1) mainitaan laatutarkastetut havainnot. Yleensä havaintojen laatu varmistetaan jo mittaustilanteessa käyttämällä oikeita mittausten menetelmiä ja havaintotekniikoita sekä asianmukaisesti kalibroituja ja riittävän tarkkoja mittaussäiliöitä. Tasoituksessa voidaan vielä todeta havaintojen riittävän hyväksi kulloiseenkin mittaustehtävään. Havaintojen hyvyys saadaan selville tilastollisella testauksella tasoituksessa saatujen havaintojen parannusten avulla. Seuraavaksi käydään läpi pienimmän neliösumman estimoinnin (tasoituksen) matemaattista mallia, joka koostuu funktionaalisesta ja stokastisesta mallista. (Räsänen 1994 s. 34)

#### 5.4 Funktionaalinen malli

Funktionaalinen malli on olemassa olevan fyysisen todellisuuden yksinkertaistus. Malli voidaan kuvata yhtälöryhmänä, joka matemaattisesti osoittaa tasoituksen tuntemattomien (estimoitavien) parametrien ja havaintojen välisen riippuvuuden. (Räsänen 1994 s. 35)

$$f(x, l) = 0 \quad (3)$$

$f$  on c:tä kappaletta funktioita  $f_i$ .

$l$  on havaittujen vektorien elementtien symboli

$x$  on estimoitavien parametrien vektorinen symboli

(Räsänen 1994 s. 35)

Havaintovektorin koko on  $n \times 1$  ( $n$  havaintoa) ja tuntemattomien parametrien vektorin koko on  $u \times 1$  ( $u$  tuntematonta). Havaintojen ja tuntemattomien parametrien "oikeat" eli virheettömät arvot  $\hat{l}$  ja  $\hat{x}$  toteuttavat funktionaalisen mallin mukaisesti yhtälöryhmän

$$f(\hat{x}, \hat{l}) = 0. \quad (\text{Räsänen 1994 s. 35}) \quad (4)$$

Tavoitteena on löytää funktionaalinen malli, joka kuvaa mahdollisimman hyvin luonnon riippuvuussuhteita. Tavallisesti runkoverkkojen tasoituksissa pyritään estimoimaan ainoastaan varsinaiset halutut parametrit käyttäen esikäsittelyssä redukoituja havaintoja. Tarvittaessa mallia voidaan laajentaa siten, että kaikkia korjauksia ei tehdä ennen tasoitusta. Tällöin funktionaaliseen malliin lisätään tuntemattomia parametrejä, esimerkiksi refraktiokerroin. (Räsänen 1994 s. 35)

Malli on useimmiten epälineaarinen tuntemattomien parametrien suhteen, joten se on linearisoitava. Yleensä linearisointi suoritetaan Taylorin sarjataulukkomenetelmällä. (Räsänen 1994 s. 35)

$$f(\hat{x}, \hat{l}) = f(x_0, l_0) + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 (\hat{x} - x_0) + \left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)_0 (\hat{l} - l_0), \quad (5)$$

$x_0$  on ensimmäisen asteen approksimaatio arvolle  $\hat{x}$

$l_0$  on ensimmäisen asteen approksimaatio arvolle  $\hat{l}$

(Räsänen 1994 s. 35)



Tämä malli on riittävä ainoastaan silloin, kun toisen asteen ja sitä ylemmän asteiset termit ovat merkityksettömiä. Runkomittauksessa havainnot ovat riittävän lähellä tasoituksessa estimoituja havaintojen arvoja, joten havaintoja ei tarvitse päivittää tasoituksen aikana. Pienimmän neliösumman estimointi käyttäen ehtoyhtälötasoitusta suoritetaan yleensä em. oletus huomioiden estimoinnin tarkkuuden siitä kärsimättä. Virheyhtälötasoituksessa ja yleisessä tasoitustehtävässä estimoitavien parametrien likiarvot ovat harvoin tarpeeksi hyviä linearisoitua mallia varten, joten tarvitaan iterointia. Jokaisella iterointikierröksellä käytetään likiarvoina uusia edellisellä kierroksella laskettuja arvoja. (Räsänen 1994 s. 35)

### 5.5 Stokastinen malli

Stokastinen malli ilmaisee havaintojen tilastollisen luonteen, eli se ilmoittaa havaintojen keskinäisen tarkkuuden. Havaintojen todennäköisyystiheysfunktioita ei ole välttämätöntä määritellä, mutta tavallisesti määritellään havaintojen painomatriisi  $P_l$ . Lisäksi yleensä oletetaan, että havainnot ovat riippumattomia. (Räsänen 1994 s. 38) Havaintojen varianssit ja kovarianssit muodostavat havaintojen kovarianssimatriisin  $C_l$ . (Räsänen 1994 s. 37)

$$P_l = m_0^2 * C_l^{-1}(Q^{-1}), \quad (6)$$

$P_l$  on havaintojen painomatriisi

$m_0^2$  on painoyksikön varianssi

$C_l$  on havaintojen kovarianssimatriisi

(Räsänen 1994 s. 37)

Varianssin määrittämiseksi on muutamia keinoja. Näitä ovat esimerkiksi toistomittausten käyttö ja ulkoiset vertailut, eli mm. mittauslaitteiden kalibrointi käyttäen tunnettuja vertailuetaisyyksiä ja -kulmia. Varianssien määrittäminen voi perustua myös kojeilla aikaisemmin tehtyjen mittausten tuloksiin, toisin sanoen kokemukseräisesti kojeiden käytön perusteella saatuihin tarkkuuslukuihin. Omakohtaisten tarkkuuslukujen puuttuessa voidaan käyttää myös valmistajan ilmoittamia tarkkuuslukuja. Runkomittauksessa voidaan käyttää myös

sulkeutuvien sulkuvirheitä varianssien määrittämiseksi. Tällöin saadaan Ferreron kaavalla yhden suunnalla keskivirhe. (Räsänen 1994 s. 38)

Yksittäisen havainnon varianssia estimoitaessa yritetään itse asiassa määrittää äärettömän havaintojoukon virheiden tilastollinen käyttäytyminen. Mittausvirheiden todellista suuruutta ei pyritä määrittämään. Tästä syystä käyttäessä samoja mittausmenetelmiä ja -kojeita tietyissä mittausmenetelmissä käytetään samoja varianssiarvoja kaikkiin havaintoihin. Jos halutaan käyttää erilaisia variansseja saman havaintotyyppin havainnoille, niin sille täytyy olla todella hyvät perusteet. (Räsänen 1994 s. 39).

Havaintojen välisten riippuvuuksien eli kovarianssien määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa kuin varianssien määrittäminen. Kovarianssien määrittämiseksi on ainakin kaksi keinoa: useiden samanaikaisten havaintojoukkojen käyttäminen ja virheidenkasautumistutkimukset. Usein kovarianssit merkitään nolliksi, vaikka havaintojen välisiä riippuvuuksia tiedettäisiinkin olevan. Tämä siksi, että erilaisia kovariansseja on erittäin vaikea estimoida. Jos kovarianssit ovat nolliä, toisin sanoen havainnot ovat toisistaan riippumattomia, ovat havainnot painot kääntäen verrannollisia variansseihin. (Räsänen 1994 s. 39)

## 5.6 Tasorunkoverkon tasoitus virheyhtälötasoituksena

Tasorunkoverkon tasoituksessa tuntemattomia suureita ovat uusien pisteiden koordinaatit sekä orientointituntemattomat, joita on yhtä monta kuin suuntahavaintoviuhkoja verkossa. Tunnettujen pisteiden koordinaatit toimivat vakioina. Havaintoja ovat useimmiten suunta- ja etäisyshavainnot. Muita havaintotyyppisiä voivat olla atsimuutti- ja vaakakulmahavainnot sekä koordinaatti- ja koordinaattierohavainnot. (Räsänen 1994 s. 40)

Pienimmän neliösumman tasoitukseen liittyvissä laskennoissa on eroja riippuen funktionaalisen mallin rakenteesta. Ratkaisut voidaan jakaa sen perusteella kolmeen laskentatapaukseen:

- a) Tasoituksen yleinen tapaus. Laskennassa on mukana sekä parametrejä että havaintoja. Funktionaalinen malli voidaan esittää yleisillä yhtälöillä.
- b) Ehtoyhtälötasoitus. Funktionaaliseen malliin ei sisälly lainkaan parametrejä ( $u = 0$ ) ja mallin yhtälöiden lukumäärä  $c = r$ .
- $u$  Määritettävien suureiden, eli parametrien, lukumäärä.
- $c$  Mallin määrittävyhtälöiden lukumäärä.
- $r$  Havaintojen ylimäärä.
- c) Virheyhtälötasoitus. Funktionaalisen mallin määrittävyhtälöt muodostetaan niin, että jokainen havainto ilmaistaan parametrien funktiona. Malliin sisältyy näin yhtä monta yhtälöä kuin havaintojakin. Lisäksi parametrien lukumäärä on sama kuin niiden ratkaisuun tarvittava havaintojen lukumäärä. (Laurila 1992 s. 39)

Käsitellään suunta- ja etäisyys havaintojen painotusta. Nämä havainnot ovat toisistaan riippumattomia, joten niiden painot ovat kääntäen verrannollisia variansseihin. Yleensä suuntahavaintoa pidetään painoyksikkönä eli  $p_t = 1$ , jolloin etäisyys havainnon paino on kaava 8. Etäisyys havainnon keskivirhe  $m_s$  lasketaan yleensä kaavalla 9. Tavallisesti kaavaan 9 a ja b saadaan kalibroimalla tai kojeen käyttöohjeista. (Räsänen 1994 s. 42)

$$P_t = \frac{m_0^2}{m_t^2} \text{ ja } P_s = \frac{m_0^2}{m_s^2}, \quad (7)$$

$m_t$	on	suuntahavainnon keskivirhe,
$m_s$	on	etäisyys havainnon keskivirhe,
$m_0$	on	a priori painoyksikön keskivirhe,
$p_t$	on	suuntahavainnon paino ja
$p_s$	on	etäisyys havainnon paino.

$$p_s = \frac{m_t^2}{m_s^2}. \quad (8)$$

$$m_s = \sqrt{a^2 + b^2 s^2}, \quad (9)$$

$$a^2 \quad \text{on} \quad m_u^2 + m_{ko}^2, \quad (10)$$

$$b^2 \quad \text{on} \quad \left(\frac{m_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{m_n}{n}\right)^2, \quad (11)$$

$s$  on havaittu etäisyys,

$m_u$  on vaihe-eron määrittelyn keskivirhe,

$m_{ko}$  on vakiokorjauksen keskivirhe,

$m_f$  on hienomittaustajuuuden keskivirhe ja

$m_n$  on väliaineen taitekertoimen keskivirhe.

(Räsänen 1994 s. 42)

### 5.7 Korkeusrunkoverkon tasoitus virheyhtälötasoituksena

Tuntemattomia parametreja korkeusverkon tasoituksessa ovat uusien pisteiden korkeudet. Vakioita ovat tunnetut korkeudet ja havaintoina ovat pisteiden väliset korkeuserot. (Räsänen 1994 s. 42)

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A, \quad (12)$$

$H_A, H_B$  ovat pisteiden korkeudet ja

$\Delta H_{AB}$  on pisteiden välinen korkeusero. (Räsänen 1994 s.42)

Korkeusrunkoverkon virheyhtälötasoituksen havaintoyhtälöt vastaavat tasorunkoverkon havaintoyhtälöitä. Tässä tapauksessa funktionaalinen malli on lineaarinen, joten rakennematriisi  $A$  sisältää suoraan tuntemattomien korkeuksien kertoimet. (Räsänen 1994 s.42)

Yleensä painot ovat kääntäen verrannollisia pisteiden välisiin matkoihin. Painoyksikkönä on yhden kilometrin vaaitusta vastaava korkeuserohavainto, jos matka ilmoitetaan kilometreissä. Tasoituksesta saatu painoyksikön keskivirhe on siten vaaituksen kilometrikeskivirheen estimaatti. (Räsänen 1994 s. 42)

## 6 VIRHE-ELLIPSI

Tasoituksen testaus tulisi aloittaa aina painoyksikön varianssin testauksella. Tasoituksen onnistumista tarkastellaan vertaamalla painoyksikön varianssin *a posteriori* ja *a priori* -arvoa. Arvoja vertaamalla voidaan todeta havaintojen painotuksen olevan asetettu oikein ja havaintojen olevan vapaita karkeista virheistä. (Jussila 2012 s. 38)

Absoluuttisia virhe-ellipsejä käytetään usein tarkkuuskriteereinä. Absoluuttiset virhe-ellipsit eivät kuitenkaan ole invariantteja nollavarianssikannalle, eli jos tasoituksen kiinteät pisteet vaihtuvat, eivät koordinaattien varianssit ja absoluuttiset virhe-ellipsit ole vertailukelpoisia. Jos vertailua haluaa suorittaa, on varianssit muunnettava samaan nollavarianssikantaan. Usein kuitenkin on tärkeämpää tietää pisteiden suhteellinen tarkkuus toisiinsa suhteen kuin verrattuna johonkin nollavarianssikantaan. Suhteellisia virhe-ellipsejä käytetään suhteellisen tarkkuuden mittarina. (Räsänen 1994 s. 51)

Jos painoyksikön varianssilla  $m_0^2$  :lla oletetaan olevan tietty arvo, voidaan tällöin *a priori* analyysillä laskea parametrien kovarianssimatriisi  $m_0^2 Q_x$  ennen kuin varsinaiset havainnot tehdään. Tästä on erityisesti hyötyä, kun suunnitellaan mittauksia, joissa vektori  $x$  tarkoittaa verkon pisteiden koordinaatteja. Pisteiden koordinaattien ja niistä johdettujen suureiden epävarmuus voidaan laskea ennen havaintotyötä, jolloin voidaan nähdä etukäteen, että saavutetaanko suunnitelluilla mittauksilla haluttu tarkkuus. Koordinaattien *a priori* kovarianssimatriisi on kaava 13.

$$C_x = m_0^2 (A^T Q_l^{-1} A)^{-1}. \quad (\text{Räsänen 1994 s. 51}) \quad (13)$$

Jos tarkkuus suhteessa asetettuihin tarkkuusvaatimuksiin on joko liian huono tai liian hyvä, voidaan muuttaa joko matriisia  $A$  tai  $Q_l$  tai molempia. Runkoverkkojen tapauksessa matriisi  $A$  riippuu ainoastaan mittausgeometriasta (verkon muodosta) ja pisteiden välillä tehdyistä tai tehtäväksi tulevista havainnoista. Tarkkuutta saadaan paremmaksi lisäämällä mittaushavaintoja: vastaisuudessa tarkkuuden osoittautuessa vaatimuksia suuremmaksi voidaan havaintoja

vähentää kustannusten pienentämiseksi. Myös havaintojen kovarianssimatriisiin  $m_0^2 Q_l$  elementtejä voidaan muuttaa, jotta haluttu tarkkuus saavutettaisiin. (Räsänen 1994 s. 51)

Kun suunnitelma on valmis, on tehtävä varsinaiset havainnot ja estimoitava koordinaatit. Laskentakaava on kaava 14 jossa  $P$  on korvattu  $Q_l^{-1}$ :llä. Estimoitavien koordinaattien korjaukset  $\hat{x}$  voidaan laskea, vaikka painoyksikön varianssin  $m_0^2$  arvoa ei tunnetaisikaan. Harhaton estimaatti  $\hat{m}_0^2$  voidaan kuitenkin laskea kaavalla 15. (Räsänen 1994 s. 52)

$$\hat{x} = (A^T Q_l^{-1} A)^{-1} A^T Q_l^{-1} y, \quad (14)$$

$$\hat{m}_0^2 = \frac{\hat{y}^T Q_l^{-1} \hat{y}}{n-u}, \quad (15)$$

$n - u$  on vapausasteiden määrä. (Räsänen 1994 s. 52)

Estimaattia  $\hat{m}_0^2$  verrataan *a priori* arvoon  $m_0^2$ , jotta nähdään poikkeako estimaatti selvästi *a priori* arvosta. Jos testi onnistuu, eli todetaan, että  $\hat{m}_0^2 = m_0^2$ , katsotaan tasoitus onnistuneeksi. Tässä tapauksessa lasketaan *a posteriori* kaavalla 16. (Räsänen 1994 s. 52)

$$C_{\hat{x}} = \hat{m}_0^2 Q_{\hat{x}} = m_0^2 Q_{\hat{x}}. \quad (\text{Räsänen 1994 s. 52}) \quad (16)$$

$\hat{m}_0^2$  :n tilastollisen testin epäonnistumisen syyt etsiminen on esimerkki *a posteriori* päättelystä, jossa etsitään ilmiölle syytä. Jos epäonnistuminen on johtunut pelkästään väärästä *a priori* painoyksikön varianssista, ei laskentaa kannata suorittaa uudestaan, koska  $\hat{m}_0^2$  :n skaalaaminen ei vaikuta lopputuloksiin. Kuitenkin vain harvoin virhe johtuu väärästä  $\hat{m}_0^2$  :sta. Tämä on yleensä mahdollista vain silloin, kun kaikki havainnot ovat samantyyppisiä. Normaalisti maanmittauksen tehtävissä käsitellään useita erityyppisiä havaintoja, esimerkiksi kulma- ja etäisyys havaintoja. Usein on vaikea määrittellä, mitä havaintoryhmää tai ryhmiä on painotettu väärin suhteessa toisiin havaintoihin. Mittausmenetelmät ja kojeiden suorituskyky tunnetaan yleensä hyvin, joten on varsin epätodennäköistä, että käytetään väärää *a priori* painoyksikön varianssia. Tämän

takia testin epäonnistumisen syy on jokin muu kuin väärä  $\hat{m}_0^2$ . Epäonnistumisen syitä voivat olla esimerkiksi virhe laskennassa, huomaamatta jäänyt systemaattinen virhe (riittämätön tai väärä funktionaalinen malli) tai karkea virhe, puutteellinen tai epätarkka funktionaalisen mallin linearisointi tai väärä stokastinen malli. Painoyksikön varianssin tilastolliseen testaukseen voidaan käyttää F-testiä. (Räsänen 1994 s.52)

## 6.1 Virhe-ellipsi

Mittaustekniikassa tasosijaintia osoitetaan x ja y koordinaattien avulla. Mittaushavaintojen perusteella näille johdetaan arvot, usein myös variansseille ja kovariansseille. Varianssien neliöjuuret ovat koordinaattien keskihajontoja (keskivirheitä). Jos kovarianssi on nollasta poikkeava, ovat koordinaatit toisistaan riippuvia. Tämä on normaalitilanne. Varianssit ja kovarianssi määrittävät ns. virhe-ellipsin. Piste sijaitsee ”oikeaan paikkaan” piirretyn ellipsin sisällä tietyllä todennäköisyydellä, joka ns. standardivirhe-ellipsin tapauksessa on noin 40%. Virhe-ellipsin pääkselien suunta ja suuruus saadaan kiertämällä koordinaatisto sellaiseen asentoon, että kovarianssi häviää. (Salmenperä 1999 s. 17)

Virhe-ellipsi kuvaa siis pisteen sijainnin epävarmuutta kyseessä olevan mittauksen lähtöpisteisiin nähden. Jos halutaan kertoa epävarmuus johonkin muuhun referenssiin nähden, on otettava huomioon lähtöpisteiden epävarmuus tähän referenssiin nähden. (Salmenperä 1999 s. 17)

## 6.2 Absoluuttinen virhe-ellipsi

$$u^2 = \frac{1}{2} \left[ (m_x^2 + m_y^2) + \sqrt{(m_x^2 - m_y^2)^2 + 4m_{xy}^2} \right] \text{ ja} \quad (17)$$

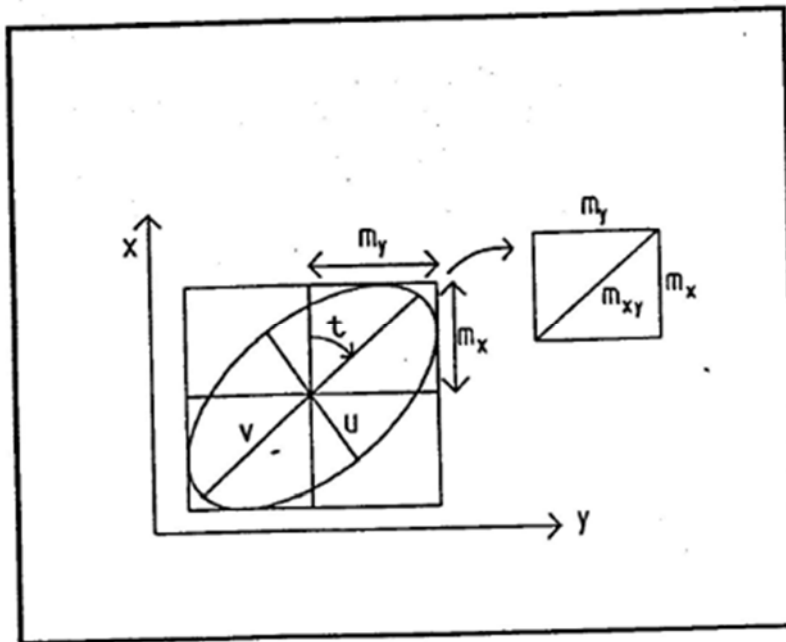
$$v^2 = \frac{1}{2} \left[ (m_x^2 + m_y^2) - \sqrt{(m_x^2 - m_y^2)^2 + 4m_{xy}^2} \right], \quad (18)$$

$m_x$  on x-koordinaatin keskivirhe,  
 $m_y$  on y-koordinaatin keskivirhe ja

$m_{xy}$  on  $x$ :n ja  $y$ :n kovarianssi. (Räsänen 1994 s. 53)

Absoluuttisen virhe-ellipsin puoliakselit lasketaan kaavoilla 17 ja 18. Virhe-ellipsien laskennassa tarvittavat keskivirheet ja kovarianssit saadaan virheyhtälötasoituksen tuntemattomien parametrien kovarianssimatriisista. Absoluuttisen virhe-ellipsin suunta saadaan kaavasta 19. (Räsänen 1994 s.53)

$$2t = \arctan\left(\frac{2m_{xy}}{m_x^2 - m_y^2}\right). \quad (19)$$



Kuvio: Virhe-ellipsi: pidempi puoliakseli  $u$ , lyhyempi puoliakseli  $v$  ja virhe-ellipsin suunta  $t$ . Räsänen s. 53.

### 6.3 Suhteellinen virhe-ellipsi

Edellä käsitelty absoluuttinen virhe-ellipsi kuvaa määritetyn pisteen sijainnin tarkkuutta lähtöpisteisiin nähden. Jos tutkitaan kahden määritetyn pisteen keskinäistä tarkkuutta, muodostetaan koordinaattierojen virhe-ellipsi, eli ns. suhteellinen virhe-ellipsi. Suhteellinen virhe-ellipsi saadaan kaavoilla 20 ja 21. Koordinaattierojen varianssit ovat kaavat 22 ja 23. sekä koordinaattierojen kovarianssi on kaava 24. (Salmenperä 1999 s.21)



$$u^2 = \frac{1}{2} \left[ (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2) + \sqrt{(m_{\Delta x}^2 - m_{\Delta y}^2)^2 + 4m_{\Delta x \Delta y}^2} \right] \text{ ja} \quad (20)$$

$$v^2 = \frac{1}{2} \left[ (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2) - \sqrt{(m_{\Delta x}^2 - m_{\Delta y}^2)^2 + 4m_{\Delta x \Delta y}^2} \right]. \quad (21)$$

$$m_{\Delta x}^2 = m_{xj}^2 + m_{xi}^2 - 2m_{xixj} \quad (22)$$

$$m_{\Delta y}^2 = m_{yj}^2 + m_{yi}^2 - 2m_{yiyj}. \quad (23)$$

$$m_{\Delta x \Delta y} = m_{xjyj} - m_{xjyi} - m_{xijy} + m_{xiyi}. \quad (24)$$

(Räsänen 1994 s.54)

## 7 RUNKOVERKON SUUNNITTELU

Runkoverkon suunnittelun lähtökohtana on verkon käyttötarkoitus. Käyttötarkoitus puolestaan määrää verkon pisteiden tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset. Taloudelliset näkökohdat on yleensä aina myös otettava huomioon verkkojen suunniteluissa. (Räsänen 1994 s. 57)

### 7.1.1 Nollannen asteen suunnittelu

Nollannen asteen suunnittelussa määritellään tehtävässä käytettävä koordinaatisto ja kovarianssimatriisit, jotka yhdessä muodostavat ”referenssikehyksen” tehtäville mittauksille. Koordinaattidatumia ei ole välttämätöntä määritellä ehtoyhtälötasoituksessa, koska siinä tasoitetaan havainnot. Virheyhtälötasoituksessa tuntemattomia parametreja ovat uusien pisteiden koordinaatit, joten käytettävä koordinaatisto on tunnettava ennen tasoitusta havaintoyhtälöiden muodostamista varten. Maanmittauksessa koordinaatisto määritellään tunnettujen lähtöpisteiden koordinaattien avulla, joten koordinaatiston määrittely on normaalisti suoraviivainen tehtävä. (Räsänen 1994 s. 57)

Toinen osa nollannen asteen suunnittelua on koordinaattien varianssien ja kovarianssien datumin määrittely. Tämä varianssi määritellään nolla varianssikantana. Nollavarianssikannan määrittelevät tasoituksessa kiinteänä pidettävät pisteet. Eri tasoituksessa estimoitujen pisteiden koordinaattien variansseja voidaan verrata toisiinsa vain, jos tasoituksessa kiinteänä pidettävät pisteet ovat olleet samoja. Jos nollavarianssikannan muodostavat pisteet ovat vaihelleet tasoituksissa, on varianssit muutettava takaisin samaan nollavarianssikantaan. (Räsänen 1994 s. 57)

### 7.1.2 Ensimmäisen asteen suunnittelu

Ensimmäisen asteen suunnittelussa määrätään pisteiden paikat ja valitaan pisteiden välillä suoritettavat havainnot. Runkoverkkojen ollessa kyseessä pisteiden paikat määräytyvät pisteiden tarpeen ja mittausluokan vaatimusten sekä maasto-olosuhteiden perusteella. Usein nämä paikat määrätään

maastosuunnittelun yhteydessä, joten ensimmäisen asteen suunnittelu supistuu tällöin pisteiden välillä tehtävien havaintojen valinnaksi. Runkoverkoissa havainnot ja pisteiden paikat määräävät kerroinmatriisin  $A$  sisällön. Tästä syystä  $A$ -matriisia kutsutaankin usein rakennematriisiksi. (Räsänen 1994 s. 57)

### 7.1.3 Toisen asteen suunnittelu

Toisen asteen suunnittelulla tarkoitetaan painotusongelman ratkaisemista. Kun pisteet ja niiden välillä tehtävät mittaukset on valittu, on määritettävä mittausten painot siten, että suunnittelukriteerit täyttyvät. Käytännössä tämä tarkoittaa sopivien mittauslaitteiden- ja menetelmien valintaa. (Räsänen 1994 s. 58)

Ensimmäisen ja toisen asteen suunnittelut liittyvät toisiinsa läheisesti. Jos lisätään pisteiden välille uusia havaintoja (ensimmäisen asteen suunnittelu), saattaa seurauksena olla, että jotkin havaintosuureet voidaan mitata epätarkemmin kuin ilman lisättyjä havaintoja. Tällaisilla valinnoilla on merkitystä mittauksesta aiheutuviin kustannuksiin, joten taloudelliset tekijät on otettava huomioon sekä ensimmäisen että toisen asteen suunnittelussa. (Räsänen 1994 s. 58)

### 7.1.4 Kolmannen asteen suunnittelu

Kolmannen asteen suunnittelussa ratkaistaan tiheysongelma. Tällä tarkoitetaan sitä, kuinka pisteet, tehtävät havainnot, mittausmenetelmät ja –laitteet on valittava, jotta saadaan parannettua olemassa olevaa verkkoa. Näiden seikkojen ratkaisuissa on otettava huomioon olemassa olevien pisteiden stokastiset ominaisuudet sekä määritettävä mahdolliset systemaattiset virheet (esimerkiksi mittakaavavirhe). Kolmannen asteen suunnittelussa yleensä pyritään löytämään keinot uusien verkkojen liittämiseksi mahdollisimman hyvin vanhaan olemassa olevaan verkkoon sen sijaan, että pyrittäisiin löytämään keinot vanhan verkon parantamiseksi sellaisenaan. (Räsänen 1994 s. 58)

Kolmannen asteen suunnitteluongelma voidaan esittää myös parantamisongelmana. Tällöin suunniteltavalle verkolle annetaan entistä tiukemmat tarkkuusvaatimukset, minkä jälkeen pyritään löytämään sellaiset

havainnot, mittausmenetelmät ja -laitteet, joilla asetetut vaatimukset saavutetaan. Kolmannen asteen suunnittelu on näin ollen ensimmäisen ja toisen asteen suunnittelun yhdistelmä. (Räsänen 1994 s. 58)

## 7.2 Verkkojen suunnittelumenetelmät

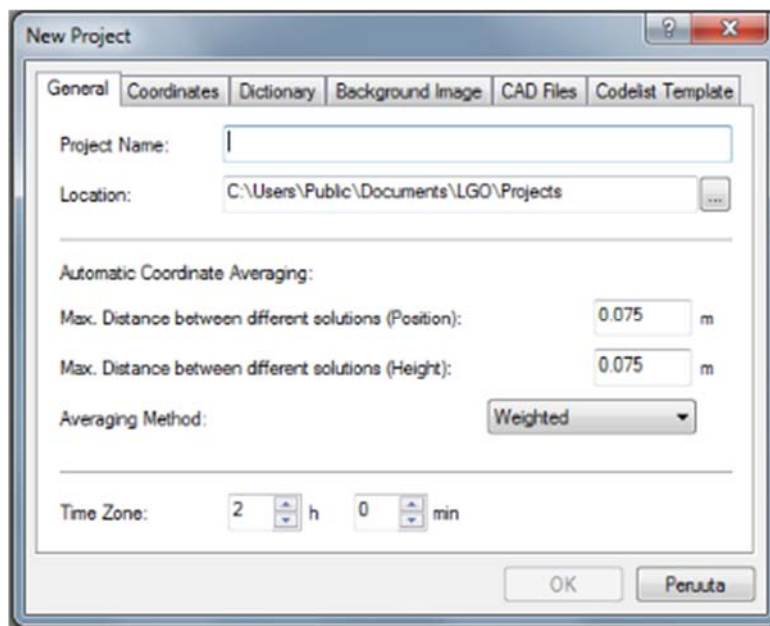
Suorassa eli analyyttisessä menetelmässä etsitään suoraan matemaattinen ratkaisu ensimmäisen ja toisen asteen suunnitteluongelmiin. Tehtävänä on löytää sopiva rakennematriisi  $A$  ja havaintojen kovarianssimatriisi  $C_l$ , kun tunnetaan estimoitavien koordinaattien kovarianssimatriisi  $C_x$ . Menetelmässä käytetään lineaarisia tai epälineaarisia ohjelmointialgoritmeja. (Räsänen 1994 s. 58)

Epäsuorassa suunnittelumenetelmässä käytetään hyväksi vuorovaikutteista tietokonegrafiikkaa ja sekventiaalisen estimoinnin menetelmiä. Menetelmässä valitaan verkon pisteet perustuen rekognosointiin, karttoihin ja suunnitelmiin. Tämän jälkeen valitaan verkossa tehtävät havainnot ja niiden keskivirheet. Näiden määrittelyn jälkeen voidaan laskea koordinaattien *a priori* kovarianssimatriisi, jonka avulla voidaan edelleen johtaa absoluuttiset ja suhteelliset virhe-ellipsit. Jos analyysin perusteella todetaan, että tarkkuus on liian pieni tai tarpeettoman suuri, tehdään havaintosuunnitelmaan muutoksia. Tällaisessa suunnittelumenetelmässä tarvitaan kokenutta suunnittelijaa, jolloin päästään hyviin tuloksiin. Suunnittelussa on mahdollista huomioida hyvin myös taloudelliset lähtökohdat. (Räsänen 1994 s. 59)

## 8 LEICA GEO OFFICE

### 8.1 Projektin luonti

Aluksi ohjelmaan on luotava työlle oma projekti. Valitaan "File"-välilehdeltä new project (kuvio 3) ja päästään asettamaan projektille sen arvoja. Ikkunan näkymä on kuvan mukainen. "General" välilehden alle syötetään projektin nimi ja sen tiedostopolku. "Coordinates" välilehden alla valitsemalla "WGS 84" ohjelma pystyy tekemään tarvittavat projektiokorjaukset. On suositeltavaa tehdä korjaukset vasta näin laskentavaiheessa. (Mitta Oy Leica geo office ohje s1)



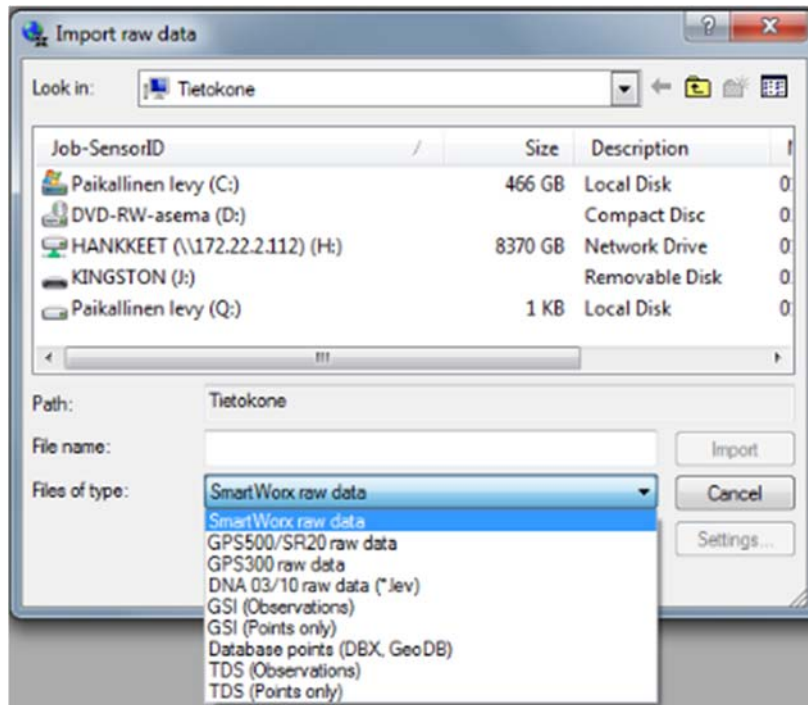
Kuvio 3: New project -ikkuna. Leica Geo Office ohjelma.

### 8.2 Datat tuonti

Kun ohjelmaan on asetettu projekti, niin seuraavaksi siihen on tuotava varsinainen data, eli takymetrillä mitatut havainnot. Pisteet tuodaan ohjelmaan SmartWorx raw data -muodossa. (LGO adjustment FIN)

Valitaan "Import" ja "raw data" (kuvio 4). Valitaan "Files of type" ja sieltä "Smartworx raw data". Nyt haetaan tiedosto ja valitaan "Import", jolloin ohjelma tuo valitut pistetiedostot. (LGO adjustment FIN)

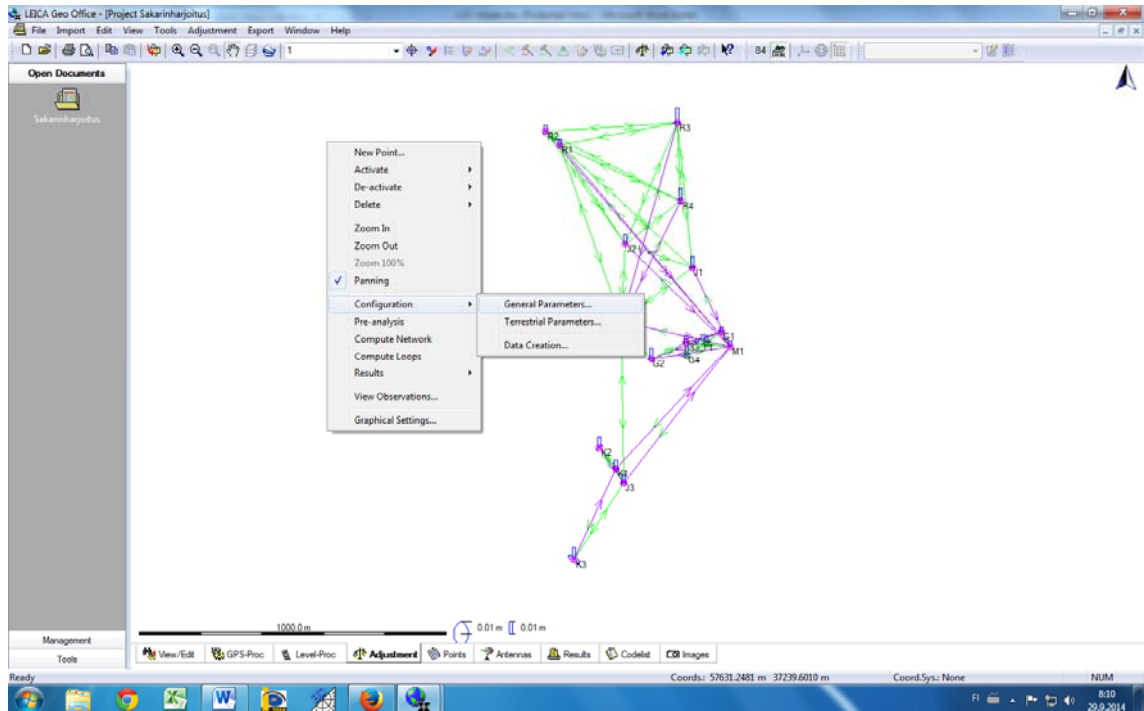
Tässä vaiheessa pisteet ilmestyvät kartalle. Jos mittausvaiheessa on sattunut esimerkiksi huolimattomuusvirhe ja jollain pisteellä on väärä numero, niin kartta näyttää oudolta, kun yksi piste on erillään. Tilanne ratkeaa paikantamalla virheellinen piste ja korjaamalla sen numeron. (LGO adjustment FIN)



Kuvio 4: Import raw data -ikkuna. Leica Geo Office.

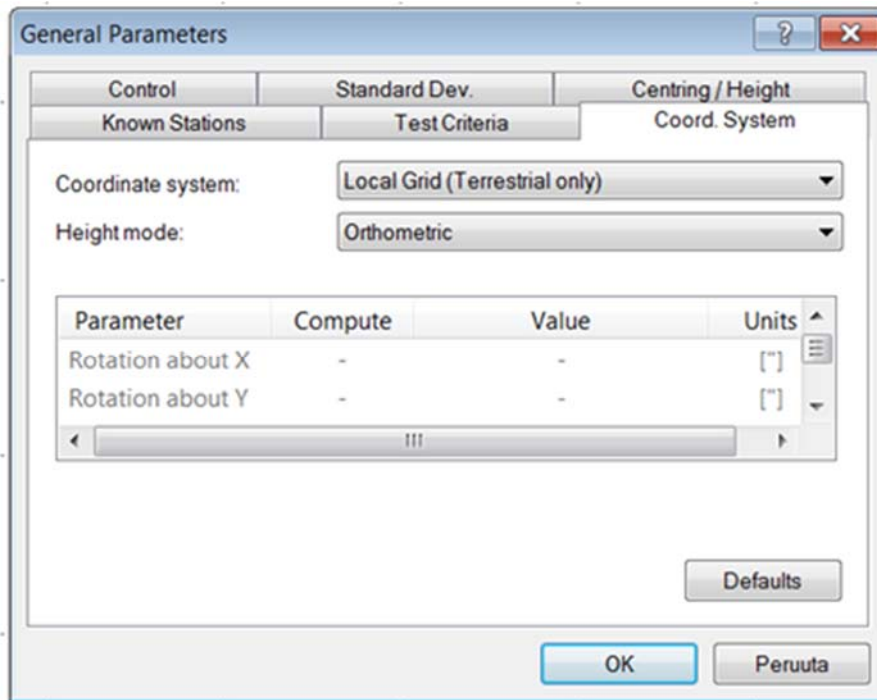
### 8.3 Yleisten asetusten säätäminen

Kun pisteet on tuotu, niin täytyy seuraavaksi asettaa ohjelman asetukset kohdilleen. Jos arvot jäävät virheellisiksi, niin myöskin myöhemmät tasoitukset tulevat virheellisiksi. Asetuksia pääsee muokkaamaan valitsemalla hiiren oikealla "Gonfiguration" ja sen alta "General parameters" (Kuvio 5). "General parameters" löytyy myös "Adjustment" välilehden alta. (LGO adjustment FIN)



Kuvio 5: Kuvakaappaus ohjelman etusivun karttanäkymästä. Leica Geo Office.

Valitaan "Known stations" välilehdeltä "Treat control points as absolutely fixed". "Test Criteria" -välilehti. Alpha (%) on prosenttiluku, joka kertoo mahdollisuuden hylätä hyviä havaintoja. 5 % on sovittu hyväksi kompromissiksi, joka ei hylkää liikaa havaintoja, muttei läpäise huonojakaan. Arvo  $1-\beta$  (%) puolestaan kertoo ohjelman todennäköisyyttä hyväksyä huonoja havaintoja. 80 On sovittu hyväksi arvoksi. Liian korkea  $1-\beta$  arvo alkaisi hylkäämään hyviäkin havaintoja. "Sigma a posteriori" kohtaan valitaan "Apply only if fails F-test". "Coord. System" -välilehdeltä valitaan "local Grid" (Kuvio 6) . Tällöin ohjelma laskee pelkistä havainnoista pistetiedot. "Height mode" kohtaan valitaan "Orthometric". (LGO s. 565)



Kuvio 6: General parameters –ikkuna, coord. System –välilehti. Leica Geo Office.

"Control" -välilehdeltä valitaan "Adjust". Tällöin ohjelma suorittaa varsinaisen tasoituslaskennan. "Design" -kohdassa ohjelma tutkii verkon toimivuutta. "Max. no. of iterations" kohdassa ohjelmalle kerrotaan, kuinka monta kertaa se voi laskea havaintoja. Tällä estetään se, että se laskisi lukuja loputtomiin. "Iteration criteria" kohtaa kerrotaan saavutettava tarkkuusarvo. Tasoituksesta ja sen teoriasta enemmän kappaleessa 5. (LGO adjustemnt FIN)



Known Stations	Test Criteria	Coord. System
Control	Standard Dev.	Centring / Height
	Absolute (Defaults)	Relative (Defaults)
Direction:	2.0 "	0.0 " .Km
Distance:	0.001 m	0 ppm
Zenith angle:	10.0 "	0.0 " .Km
Azimuth:	10.0 "	0.0 " .Km
Height difference:	0.001 m	0.001 m /srKm
GPS baseline:	0.005 m	1 ppm

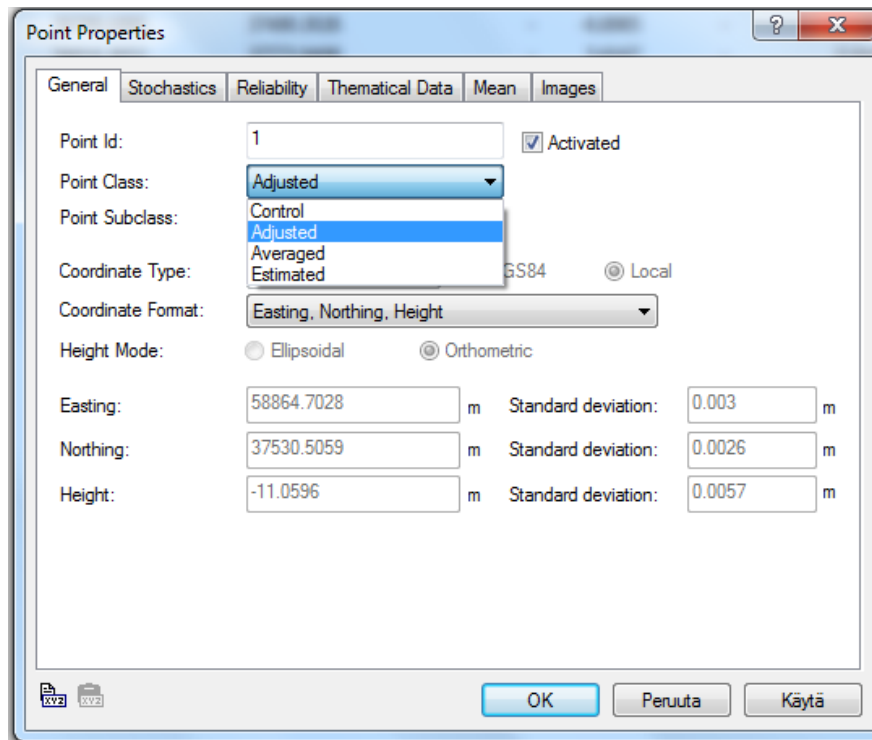
Compute using:  
 The default settings for all observations ▼

Defaults

OK Peruuta

Kuvio 7: S. General parameters -ikkuna, standard deviation -välilehti. Leica Geo Office

"Standard deviation" (Kuvio 7) kohtaan syötetään kojen tarkkuusarvot. "Centring/Height" välilehdelle asetetaan kojen ja tähtysten keskitysvirheet ja korkeudet siten, että kaikille voi määrittää omat arvot tai yhteiset virheet jokaiselle asemalle ja tähykselle ("The default settings for all observations"). (LGO adjustment FIN)



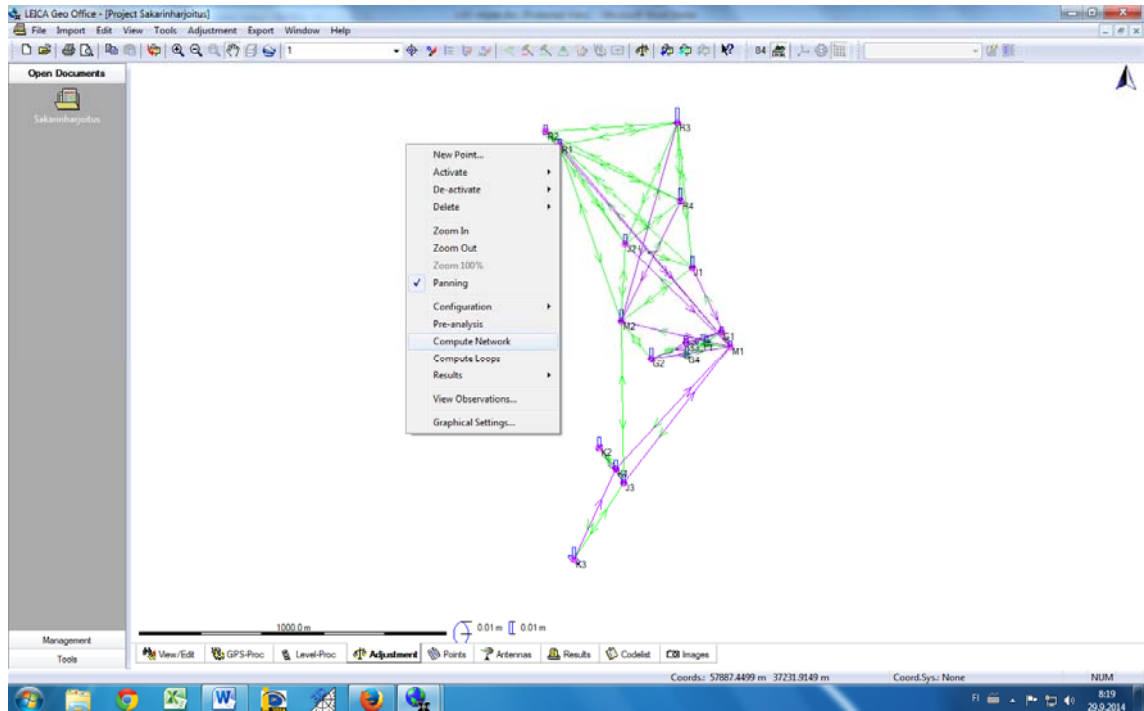
Kuvio 8: Point properties -ikkuna. Leica Geo Office.

Tunnetuille pisteille vaihdetaan "point class" kohtaan arvoksi "Control" ja laskettaville pisteille "Estimated". Vapaassa tasoituksessa kaikki pisteet ovat pois "Control" tilassa. Pisteen asetuksia pääsee muuttamaan klikkaamalla pistettä hiiren oikealla ja valitsemalla "Point properties" (Kuvio 8). (LGO adjustment)

#### 8.4 Vapaa tasoitus

Vapaassa tasoituksessa lasketaan verkko ilman, että mikään piste on vakiona. Verkon tieto perustuu kaikkien pisteiden arvioituihin sijainteihin. Vapaassa verkkotasoituksessa virhearviointi esittää verkon sisäistä tarkkuutta, johon koordinaattijärjestelmän määrittely ei vaikuta. (LGO adjustment FIN)

Verkon laskeminen tapahtuu klikkaamalla hiiren oikealla näyttöön ja valitsemalla "Compute network". (Kuvio 9) Tuloksia pääsee tarkastelemaan klikkaamalla hiiren oikeaa ja valitsemalla "Results" ja "network". Tällöin aukeaa "Network adjustment" dokumentti. (LGO adjustment FIN)



Kuvio 9: Kuvakaappaus ohjelman etusivun tasoitetusta karttanäkymästä. Leica Geo Office.

## 8.5 Kytketty tasoitus

Kytkeyssä tasoituksessa verkon sisäinen geometria muuttuu. Tulokset vaihtelevat sen mukaan, että mitkä pisteet on kiinnitetty. Kytketty tasoitus suoritetaan aina vasta vapaan tasoituksen jälkeen, jotta mahdolliset käyttäjän tekemät virheet löytyisivät ennemmin. (LGO adjustment FIN)

Kytkeyssä tasoituksessa lähtöpisteet valitaan "Control" tilaan. Tällöin ne pysyvät vakioina. Kytketyssä tasoituksessa sisäisen verkon geometria muuttuu ja tulokset vaihtelevat kiinnitettyjen pisteiden mukaan. Laskentatoimenpide on samanlainen kuin vapaassa tasoituksessa. (LGO adjustment FIN)

Minimaalisesti kytketyssä verkossa on vain yksi piste kiinteänä. Minimaalisesti kytketyssä verkossa pystytään säilyttämään sisäisen verkon geometrian. Kytketylle pisteelle ei kuitenkaan voida saada tilastollista tietoa. (LGO adjustment FIN)

## 8.6 Tulokset

Laskennan jälkeen saadaan tulokset painamalla hiiren oikeaa ja "results" ja "network". Aukeaa dokumentti, josta pääsee tutkimaan tuloksia (Kuvio 10). (LGO adjustment FIN)

General Information			
<b>Adjustment</b>			
Type:	Inner constrained		
Dimension:	3D		
Coordinate system:	Local Grid		
Height mode:	Orthometric		
Number of iterations:	1		
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m	✓	(tolerance is met)
<b>Stations</b>			
Number of (partly) known stations:	0		
Number of unknown stations:	17		
Total:	17		
<b>Observations</b>			
Directions:	1052 (including 2 free observations)		
Distances:	1051		
Zenith angles:	1052		
Inner constraints:	6		
Total:	3161 (including 2 free observations)		
<b>Unknowns</b>			
Coordinates:	51		
Orientations:	32		
Additional parameters:	2		
Total:	85		
Degrees of freedom:	3076		
<b>Testing</b>			
Alfa (multi dimensional):	0.7711		
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %		
Beta:	80.0 %		
Sigma a-priori (GPS):	10.0		
Critical value W-test:	1.96		
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42		
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89		
Critical value F-test:	0.98		
F-test:	51.40	⚠	(rejected)

Kuvio 10: General information -välilehti. Leica Geo Office.

Ensiksi dokumentissa näkyvät yleiset tiedot verkosta. Yleisistä tiedoista käy ilmi asemien lukumäärä, tuntemattomien koordinaattien lukumäärä, havainnot ja tasoituksen vapausaste. Vapausaste on ero kokonaishavaintojen määrän ja tuntemattomien määrän välillä. Sitä käytetään posteriori-varianssitekijän laskennassa ja eri testeissä käytettävien kriittisten arvojen määrittämisessä. Mitä suurempi on tasoituksen vapausaste, niin sitä merkityksellisempiä myös tilastolliset testit ovat. (LGO adjustment FIN)

Kriittiset arvot W, T ja F-testeille esittävät virhetodennäköisyyksiä ja painotuksia riippuen vapausasteesta. Hyväksymisestä tai hylkäyksestä F-testi ilmoittaa

varianssisuhdetestin arvoilla. Varianssisuhde lähellä 1.00 osoittaa havaintovirheen arvioinnin olevan sopivassa suhteessa jäännösvirheisiin. Jos varianssiarvo on huomattavasti suurempi kuin F-testin kriittinen arvo, niin alustava havaintovirhe on arvioitu liian pieneksi verrattuna jäännösvirheisiin. Jos varianssiarvo on paljon pienempi kuin 1.00, niin havaintovirhe arvioidaan liian suureksi verrattuna jäännösvirheisiin. (LGO adjustment FIN)

Seuraavaksi dokumentti kertoo ohjelmaan syötetyn datan, eli likimääräiset koordinaatit, lisäparametrit, havainnot ja keskihajonnat. Kyseessä ollessa TPS-havainnot arvioidut virheet esitetään absoluuttisina ja suhteellisina keskihajontoina jokaisen mittaustyyppin kokonaisvirheen kanssa. Havainnon arvioitu virhe voidaan muuttaa sopivalla asetuksella tasoitusparametrien joukosta. (LGO adjustment FIN dia / tasoitusraportti...)

Seuraavaksi käy ilmi tasoitettujen tulosten koordinaatteja korjauksineen. Koordinaattien keskihajonta  $1 - \text{Sigman}$  tarkkuudella perustuvat arvioon lopullisesta kovarianssista skaalattuna joko laskettuun tai alkuperäiseen varianssitekijään. Luotettavuusalueet voidaan määrittää raporttipohjan ominaisuuksissa. Absoluuttinen virhe-ellipsi tarjoaa  $1 - \text{Sigman}$  luotettavuuden jokaisella pisteellä jossa suhteellinen virhe-ellipsi tarjoaa luotettavuusalueen pisteiden välillä. Luotettavuusalueet tulevat tasoitetusta koordinaatin kovarianssista. Pisteiden virhe-ellipsin iso-puoliakseli on pohjois-eteläsuunnassa, mutta pieni puoliakseli on pisteiden välisessä suunnassa. (LGO adjustment FIN dia / tasoitusraportti...)

Kohdassa testaus ja arvioidut virheet ("Observation tests") ohjelma näyttää W ja T-testien tulokset. Sisäinen luotettavuus ilmaistaan pienimmällä havaittavalla virheellä (MDB), joka havaitaan W-testillä. Toistojen ja ylimääritysten määrä (RED) ilmaisee, että kuinka paljon havainto lisää vapausastetta. BNR-luku kertoo yksittäisen havainnon vaikutuksen kokonaisvirheeseen. Raportin lopussa on pylväsdiagrammina tasoituksen tuloksia. (LGO adjustment FIN dia / tasoitusraportti...)

## 9 POHDINTA

Leica Geo Office on verkkotasoitushjelmana tyypillinen. Se on laitteistokohtainen ja käyttää pienimmän neliösumman periaatetta tasoituksissaan. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos osaa käyttää jotain muuta verkkotasoitushjelmaa niin osaa käyttää LGO:takin. Manuaalille on kuitenkin tarvetta, jotta ohjelmasta voisi saada mahdollisimman paljon irti eikä virheitä tulisi.

Periaatteessa Leican omiakin oppaista voi käyttää, mutta ne ovat lähinnä printattuja ohjelman "Help" toiminnon takaa löytyviä ohjeistuksia englanniksi. Työtä tehdessäni tutustuin myös erinäisiin epävirallisiin, organisaatioiden sisäisiin, ohjeistuksiin. Niissä taas lähinnä kerrottiin miten saa ohjelman tasoitukset läpi eikä avattu ohjelman toimintaa sen enempää. Tällöin ohjelmaa kyllä voi käyttää, mutta ymmärryksen puuttuessa ohjelman toiminnasta varsinkin ongelmatilanteissa käyttäjä on pulassa kun ei tiedä ohjelmaa syvällisemmin.

Verkkotasoitushjelmista ei aiheena ole tehty kovin paljon opinnäytetöitä. Lähinnä on vain muutamia yksittäisiä vuosien varrella. Aiheesta riittäisi kuitenkin koluttavaa niin insinööritöihin kuin korkeamman tason tutkimuksiinkin. Ohjelmistot kehittyvät ajan mukana. Kiintopisteiden mittauksissa on tapahtunut lähinnä laitteistojen kohdalla kehitystä mutta esimerkiksi mittaustavoissa, kuten jonomittaus, ei ole mitään ihmeellistä tapahtunut.

## LÄHTEET

- Hakala, J. 2014. PNS verkkotasointus arkipäivän työkaluna.  
<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/Geodesiapaiva/JukkaHakala-PNSverkkotasointusArkipaivanTyokaluna.pdf> 26.11.2014.
- JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2012.  
JUHTA –julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.
- Jussila V. 2012. Sipoon kunnan EUREF-hanke. Aalto Yliopisto. Diplomityö.
- Kallio U. 1998. Tasointuslasku. Otatieto julkaisu 587.
- Laurila P. 3. painos. 2011. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.
- Laurila P. 1992. Satunnaisvirheiden kasautuminen ja tasointuslaskenta.  
Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Leica Geosystems. Leica Geo Office Online Help version 8.0. 26.11.2014
- Leica Geosystems. LGO Verkkotasointus. PowerPoint kalvosarja. 26.11.2014
- Leica Geo Office verkkotasointussimulaatio. Mitta Oy
- Räsänen, T. 1994. Geodeettisten runkoverkkojen laskentamenetelmät ja laskentaohjelmien testaus. Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.
- Salmenperä, H. 1999. Virheteorian ja tasointuslaskun alkeet. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Salmenperä, H. 2003. Runko- ja kartoitusmittaukset. Tampereen teknillinen yliopisto.