TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö

Markus Kytölä

TAKYMETRIRYHMÄN SEURANTAKALIBROINTI

Työn ohjaaja DI, Ilkka Tasanen
Työn teettäjä Tampereen kaupunki, valvoja Ins. Olavi Ujanen
Syksy 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikka
yhdyskuntatekniikka
Markus Kytölä Takymetriryhmän seurantakalibrointi
Tutkintotyö 69 sivua+ 12 liitesivua
Työn valvoja DI, Ilkka Tasanen
Työn teettäjä Tampereen kaupunki, ohjaaja Ins. Olavi Ujanen
Syksy 2008
Hakusanat takymetri, seurantakalibrointi

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Tampereen kaupungille seurantakalibrointi-ohjeistus, jonka perusteella tehtyjen toimien tulisi todentaa takymetriryhmän mittausten tarkkuus tietyllä kalustolla. Samalla mittauksien pitäisi tuoda esille kojeiden mahdollinen huoltotarve.

Opinnäytetyön alkuosassa käydään läpi mittaustekniikan yleistä teoriaa, joka toimii pohjana ohjeistuksen ymmärtämiselle. Samassa osiossa käsitellään myös työssä käytettyjä standardeja ja kaavoja.

Työ sisältää ohjeistuksen Tampereen kaupungin mittaushenkilöstölle seurantakalibrointimittausten suorittamiseen ja käsittelyyn. Kaikki tässä työssä ohjeistetut seurantakalibrointimittaukset suoritetaan Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) mittauskentillä. Työhön luotiin mittaustietojen käsittelyä ja analysointia varten laskentataulukot. Mittaustulosten analysoinnin perusteella tehdään johtopäätökset mittauslaitteiden tarvitsemista jatkotoimenpiteistä.

Työssä käydään läpi myös vuosina 2004 ja 2005 TTY:n mittauskentillä suoritettuja mittauksia, joiden mittaustuloksia ja niiden käsittelyä on tässä työssä käytetty esimerkkinä. Loppuyhteenvetona voidaan sanoa, että seurantakalibrointi on tärkeä työväline takymetrien käytön tarkkuuden määrittämiseen, sillä säännöllisellä seurantakalibroinnilla saadaan selville muutokset kojeiden tarkkuudessa, huoltotarve sekä kelpoisuus mittaustehtäviin, joissa on esitetty raja-arvot kojeen tarkkuudelle.

TAMPERE POLYTECHNIC
Degree programme in construction
Civil engineering
Markus Kytölä
Tacheometercrews accuracy in use
Final Thesis 69 pages+ 12 appendixes
Supervising Teacher Mr. Ilkka Tasanen, MSc.
Commissioner The City of Tampere, Supervisor Mr. Olavi Ujanen, BSc.
May 2008
Key words total station, accuracy in use

ABSTRACT

The main purpose of this thesis is to develop instructions, how to determine total station crew accuracy in use. Measuring should also indicate if tacheometer needs repairing or adjusting.

In the beginning of the thesis there is part about general theory of tacheometer measuring, which should act as an basis for the understanding of instructions. This part also introduces standards and equations, which are used in the final thesis.

Thesis includes directions about measuring procedure and handling measurementdata. This information is made for surveyingstaff of City of Tampere. All instructed measurements are taking place in testfields of Tampere University of Technology. For handling and analyzing of measurement data, there is calculation tables. It is based on these analyses if the tacheometer needs any repairing or adjusting.

In thesis there is also part about tacheometer measurements, which were done in 2005 and 2006. These measurements are used as an example how to handle measurement data and results of mesurements. As a conclusion of this thesis you could say that determing of accuracy in use is important tool for measuring personnel. With regular testing you can get results as changes in tacheometers accuracy, need for maintenance and its validity for measuring tasks with precision limits.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on lähtenyt käyntiin Tampereen kaupungin ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhteistyöstä. Yhteistyön tuloksena organisaatiot ovat tehneet yhteishankintoja ja kouluttaneet alalle uusia osaajia. Tämän ansiosta pääsin opiskelemaan mittausalan käytäntöä kahtena kesänä Tampereen kaupunkimittausyksikön (nykyinen maastotieto- ja geotekniikkapalvelu) työntekijänä. Opinnäytetyön valvojana toimi Olavi Ujanen, jota kiitän tämän työn mahdollistamisesta. Työn valvojana toimi Ilkka Tasanen, joka on antanut minulle tukensa pitkäkestoisen tutkintotyön aikana

Sain työhöni paljon tietoa ja aineistoa Tampereen kaupungin mittamiehiltä, jotka opettivat minulle mittauskäytäntöä kädestä pitäen. Heidän avulla sain suoritettua tähän työhön tarvittavat mittaukset. Erikseen heistä mainittakoon paljon tutkintotyön mittauksia suorittaneet Erkki Harjun ja Raimo Nurmisen. Työn venyessä olivat kotijoukkojen tuki ja joustava työnantaja korvaamattomia.

Tampereella 5.11.2008

Markus Kytölä

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

TAKYMETRIRYHMÄN SEURANTAKALIBROINTI 1
TIIVISTELMÄ 2
ABSTRACT 3
ALKUSANAT 4
1. JOHDANTO 7
1.1. Työn tausta 7
1.2. Työn tavoitteet ja rajaus 7
2. Takymetri 8
2.1. Takymetrin rakenne 8
2.1.1. Mittauskaukoputki 9
2.1.2. Alhidadi 11
2.1.3. Runko 13
2.1.4. Elektroninen etäisyysmittari 13
2.2. Takymetrin virhelähteet 14
2.2.1. Tähtäysakselin kollimaatiovirhe 16
2.2.2. Pystyakselin kaltevuusvirhe 17
2.2.3. Kaukoputken epäkeskisyys 18
2.2.4. Jakokehien epäkeskisyys 18
2.2.5. Pystykehän indeksivirhe 18
2.2.6. Hiusristikon kaltevuus 19
2.2.7. Tappikaltevuusvirhe 19
3. Takymetrimittaus 20
3.1. Mittaustehtävät 20
3.2. Takymetriryhmä 21
3.3. Mittauskalusto 22
3.4. Mittauksen periaate 23
3.4.1. mittauksen valmistelu ja alustus 23
3.4.2. Mittauksen suoritus 26
4. Seurantakalibroinnin teoriaa 27
4.1. Takymetriltä vaadittavat mittatarkkuudet 29
4.2. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 17123-5 31
4.2.1. Testikentän vaatimukset 32
4.2.2. Mittaus 32
4.2.3. Kaavat 33
4.3. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 8322-4 37
4.3.1. Testikentän vaatimukset 40
4.3.2. Mittaus 40
4.3.3. Kaavat 41
4.4. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 17123-4 42
4.4.1. Mittaus 43

4.4.2. Kaavat ... 43
4.5. Elektronisen etäisyysmittarin 0-pistevirheen testaaminen ... 43
4.5.1. Mittaus ... 44
4.5.2. Kaavat ... 44
5. Seurantakalibrointien suorittaminen ... 45
5.1. Mittausten ajankohta ja toistuvuus ... 45
5.2. Mittauspaikat ... 46
5.2.1. TTY:n koekenttä ... 46
5.2.2. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinja ... 49
5.3. Mittalaitteet ... 50
5.4. Mittalaitteiden käsittely ... 51
5.5. Mittausten alustus ... 51
5.5.1. Mittausten alustus TTY:n koekentällä ... 51
5.5.2. Alustus Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalla ... 54
5.6. Mittausjärjestys ... 55
5.6.1. Mittausjärjestys TTY:n koekentällä ... 55
5.6.2. Mittausjärjestys Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalla ... 57
6. Mittaustulosten käsittely ... 57
6.1. TTY:n koekentältä saatujen mittaushavaintojen käsittely ... 57
6.2. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalta saatujen mittaushavaintojen käsittely ... 64
7. Johtopäätökset ... 65
8. Jatkotoimenpiteet ... 66
9. Lähteet ... 67
10. Liitteet ... 69

1. JOHDANTO

1.1. Työn tausta

Opinnäytetyön lähtökohtana on ollut Tampereen kaupungin ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhteistyö, jonka pohjalta on hankittu mm. yhteishankintana Leica TPS- 1200-takymetri, joka on Tampereen kaupungin uusinta mittauskalustoa. Opinnäytetyön tekijä on toiminut harjoittelijana Tampereen kaupungin kaupunkimittausyksikössä kesällä 2004 sekä paikkatietotuotannossa kesällä 2005. Näiden harjoittelujaksojen aikana mittausryhmät suorittivat mittauksia Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) mittausradoilla. Näitä mittauksia on käytetty tässä työssä esimerkkinä mittauskäytännöstä sekä mittaustulosten käsittelystä.

Tampereen kaupunki suorittaa takymetri-kalustollaan vaativia tarkastus-, seuranta- ja kartoitusmittauksia, joissa mittausten suurimmat sallitut poikkeamat on määritelty kaavoitusmittausohjeessa. Tästä johtuen on tärkeää, että mittausryhmillä on keino selvittää, onko takymetrin tarkkuus muuttunut.

1.2. Työn tavoitteet ja rajaus

Työn tarkoituksena on kehittää Tampereen kaupungille seurantakalibrointi-ohjeistus, jonka perusteella tehtyjen toimien tulisi todentaa takymetriryhmän mittausten tarkkuus tietyllä kalustolla. Samalla mittauksien pitäisi tuoda esille kojeiden mahdollinen huoltotarve. Määrityskalibrointeja tässä työssä ei ole käsitelty.

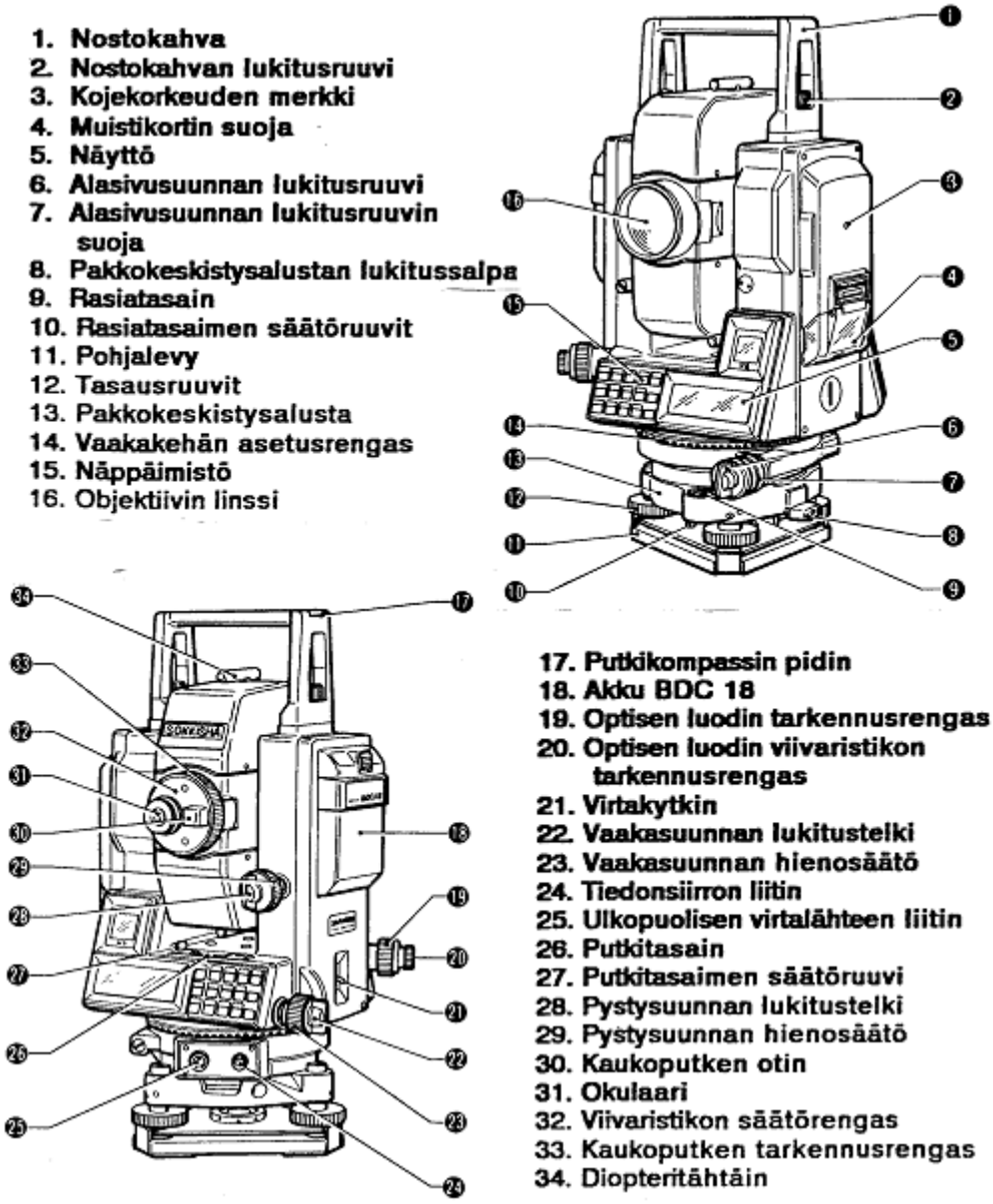
Tampereen kaupungille luotiin laskentataulukko, johon syötetään havainnot. Kaupungilla oli toive, että taulukko luotaisiin muotoon, jossa havaintotiedot saadaan siirrettyä sähköisenä suoraan takymetriltä taulukkoon. Havaintojen syöttö on tässä työssä esitetty manuaaliseksi, joten automatisointi vaatii jatkokehittelyä..

2. Takymetri

Takymetri on optiikkaan sekä elektroniseen kulmanlukuun ja etäisyyden mittaamiseen perustuva mittalaite, jolla mitataan vaaka- ja pystykulmia sekä etäisyyksiä. Näitä mittasuureita käytetään pääasiassa tarkkojen sijaintien määrittämiseen. Takymetrit ovat nykyisin tietokoneen kaltaisia suuren muistikapasiteetin ja laskutehon omaavia laitteita, joihin voidaan tehdä ja asentaa erilaisia ohjelmia helpottamaan mittausten suorittamista ja mittaustietojen käsittelyä.

2.1. Takymetrin rakenne

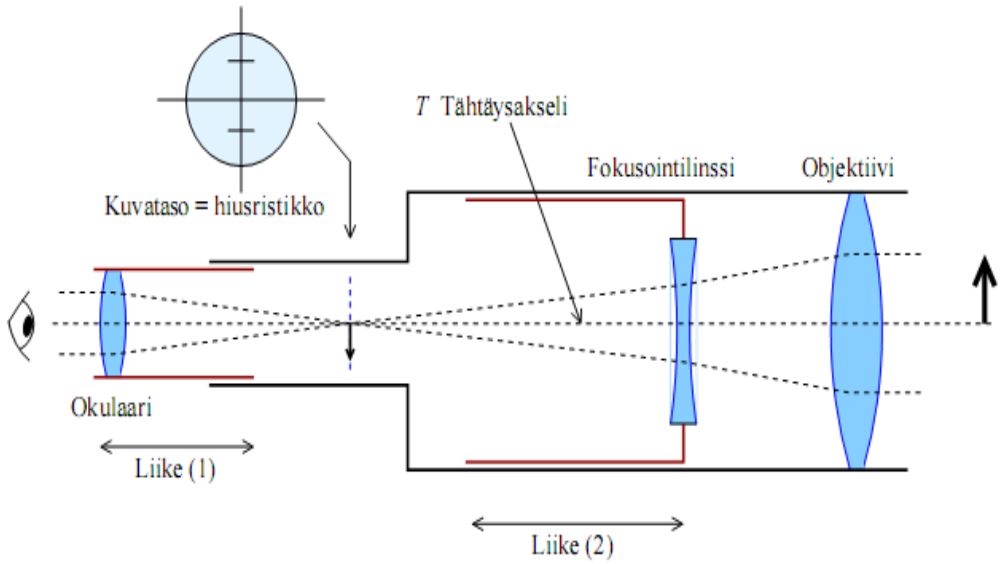
Takymetri on kehitetty pelkästään kulmanmittaukseen tarkoitetusta teodoliitista lisäämällä siihen etäisyydenmittausominaisuus. Takymetrien ominaisuudet ja rakenne ovat riippuvaisia kojeen iästä ja merkistä, sillä jokaisella valmistajalla on ollut omat innovaationsa takymetrin kehityksessä. Takymetrin ikä vaikuttaa lähinnä siten, että uusimpien laitteiden toimintoja on muutettu mahdollisimman paljon automaattiseksi ja elektroniseksi, jotta inhimillisten virheet saadaan minimoitua. Vaikka takymetreissä on merkkikohtaisia eroja, ne kaikki rakentuvat neljän saman osan ympärille. Nämä osat ovat mittauskaukoputki, runko, alhidadi ja elektroninen etäisyysmittari. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki takymetrin rakenteesta.



Kuva 1. Sokkisha-merkkisen takymetrin ulkoiset hallintalaitteet ja toiminnot. /8/

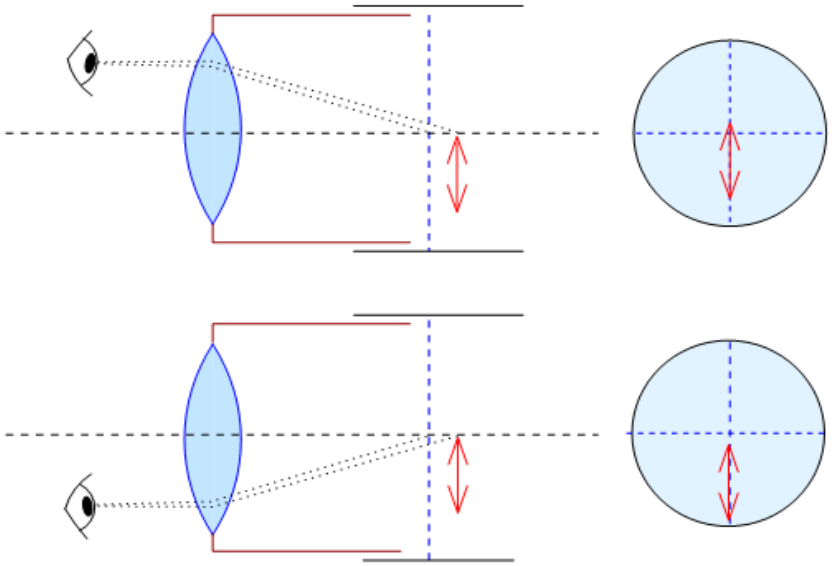
2.1.1. Mittauskaukoputki

Mittauskaukoputki on takymetrin tärkeä osa, jonka avulla pystytään havaisemaan mittauskohde tarkasti pitkilläkin etäisyyksissä. Kuvassa 2 esitetään kaukoputken toimintaperiaatetta. Kaukoputken okulaarissa on hiusristikko, jolla suoritetaan tähtäys prismaan tai muuhun tähykseen. Lisäksi kaukoputkessa on fokusointiosa, jota kääntämällä saadaan kuva tarkaksi eri etäisyyksille.



Kuva 2. Mittauskaukoputken toimintaperiaateperiaate /3/

Aina mittauksen alussa tulee fokusointiosa ja okulaari säätää siten, että mitattava kohde sekä hiusristikko näkyvät tarkasti. Mikäli tätä fokusointia ei ole tehty huolellisesti, voi syntyä ns. parallaksivirhettä. Paralliksivirheessä mitattava kohde näyttää liikkuvan, kun mittaaja liikuttaa silmäänsä. Tästä seuraa epävarmoja havaintoja. Ilmiötä on selvitetty kuvassa 3.



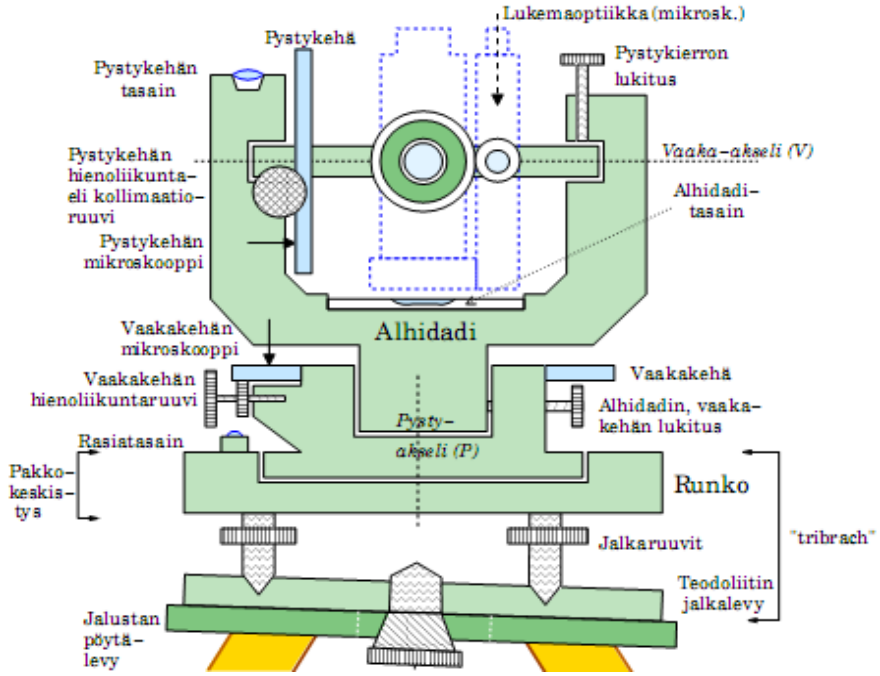
Kuva 3. Parallaksi. Jos kuva ja hiusristikko eivät ole samassa tasossa, aiheuttaa silmän liike okulaarin takana niiden keskinäisen siirtymisen./3/

2.1.2. Alhidadi

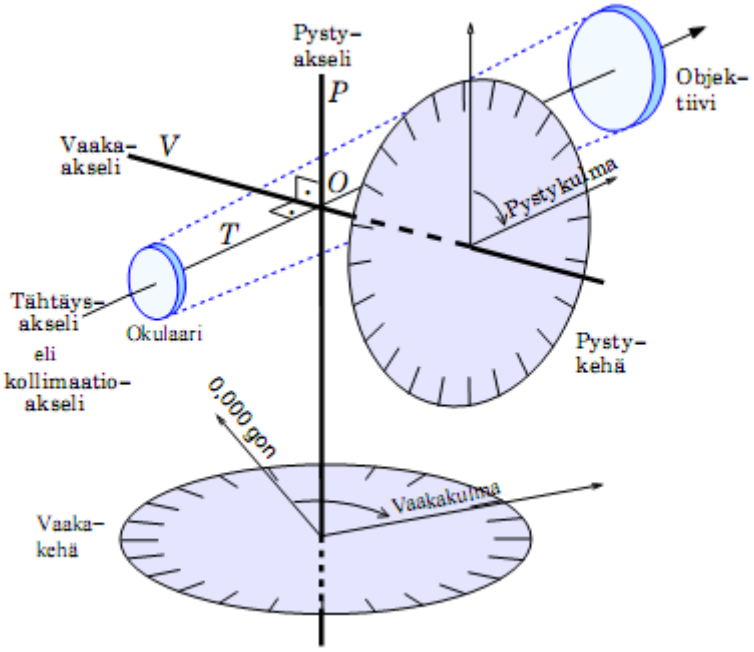
Alhidadi on takymetrin vaakakehän yläpuolella oleva osa, joka pyörii pystyakselin ympäri. Käytännössä siihen kuuluu suurin osa vaakakehän yläpuolisesta takymetristä lukuunottamatta osia, jotka pyörivät vaaka-akselin ympäri. Asiaa selventävät kuvat 4 ja 5, joissa kuvataan vanhan manuaalisen teodoliitin rakennetta sekä takymetrin akseliston ja ja kehien toimintaa. Valmistajasta riippuen alhidadiin on sisällytetty eri määrä toimintoja ja osia, mutta yleensä se sisältää:

- tasaimen, jolla takymetrin pystyakseli saadaan luotiviivan suuntaiseksi (luotiviiva on se linja, jota pitkin painovoima putoavaa kappaletta puoleensa vetää)
- kompensaattorin, jolla takymetri automaattisesti hienosäätää tasauksen tarkemmaksi (tätä toimintaa ei ole vanhimmissa takymetreissä)
- pysty- ja vaakakulman lukemalaitteet. Lukemat esitetään gooneissa.
- takymetrin hallintalaitteet

- sisäänrakennetun akun, mikäli ei käytetä ulkoista akkua
- laskentapäätteen ja tallennusmahdollisuuden



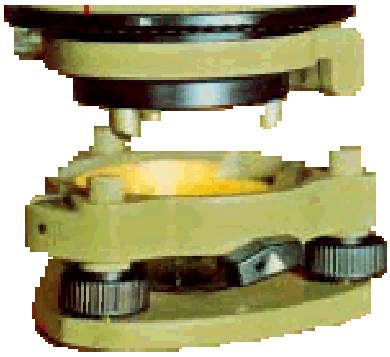
Kuva 4. manuaalisen teodoliitin rakenne. /3/



Kuva 5. Takymetrin akselistot ja kehät. /3/

2.1.3. Runko

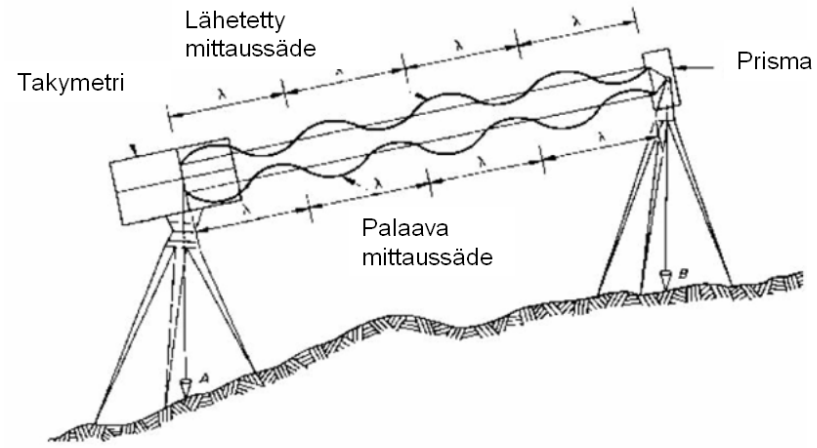
Runkoon kuuluvat takymetrin vaakakehän alapuoliset osat, joihin vaakakehä kiinnittyy ja alhidadi laakeroituu. Vanhimmissa malleissa pakkokeskitys kiinteä osa runkoa. Uudemmissa malleissa pakkokeskistys hoidetaan kuvan 6 mukaisesti erillisellä pakkokeskistysalustalla, joka kiinnitetään erikseen jalustaan ja tasataan ennen takymetrin liittämistä. Näin ollen takymetrin runko-osa päättyy ns. kolmihampaiseen soviteosaan, eikä pakkokeskistysalustaa lasketa rungon osaksi. /3/



Kuva 6. Erillinen pakkokeskistysalusta. /14/

2.1.4. Elektroninen etäisyysmittari

Elektroninen etäisyysmittari on vanhemmissa takymetrimalleissa kiinnitetty mittauskaukoputken päälle erilliseksi osaksi. Nykyisin ne on integroitu mittauskaukoputken yhteyteen. Elektroninen etäisyydenmittaus perustuu sähköiseen mittausvärähtelyyn, joka kulkee kantoaaltovärähtelynä prismaan ja palaa takaisin mittalaitteeseen. Toimintaperiaate esitetty kuvassa 7. Kantoaaltovärähtelynä voidaan käyttää radioaaltoja tai valoa. Tämän kantoaaltovärähtelyn avulla saadaan etäisyys määritettyä kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on laskea jatkuva-aaltoisen sähkövärähtelyn vaihe-ero. Toinen tapa on laskea edestakaisin kulkeneen pulssin lentoaika (time of flight).



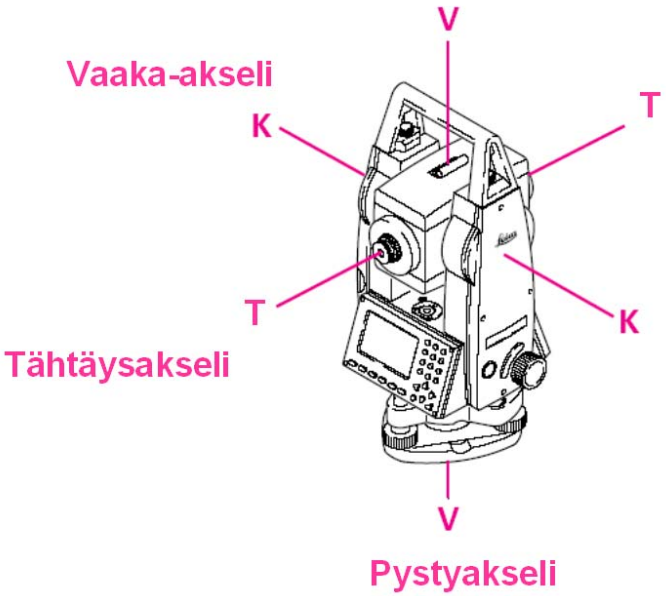
Kuva 7. Elektronisen etäisyysmittarin toimintaperiaate. /7/

2.2. Takymetrin virhelähteet

Kaikissa takymetrimittauksissa esiintyy virheitä. Osa niistä riippuu kojeesta, osa ympäristöstä ja osa taas mittaajasta. Seuraavassa on pyritty selventämään takymetrimittauksen yleisimpien virheiden alkuperää.

Takymetrin akselit ovat pysty-, vaaka- ja tähtäysakseli kuten kuvista 5 ja 8 näkyy. Jotta takymetrin toimisi mittauksissa oikealla tavalla on sen täytettävä seuraavat ns. akselistoehdot:

- Pystyakselin tulee olla tasauksen jälkeen pystysuorassa luotiviivaan (katso 2.1.2 alhidadi) nähden.
- Vaaka-akselin on oltava kohtisuorassa pystyakseliin nähden.
- Tähtäysakselin on oltava kohtisuorassa vaaka-akselia kohtaan.
- Akselien tulee leikata samassa pisteessä./4/



Kuva 8. Takymetrin akselistot./7/

Tarkoista ja huolellisista valmistusmenetelmistä huolimatta esiintyy takymetreissä ns. rakennevirheitä, jotka ilmenevät poikkeamina takymetrin akseliehdoista. Tavallisimpia virheitä ovat poikkeamat akselin välisissä kulmaehdoissa, akselien ja kehien epäkeskisyysvirheet ja jakokehien jaotusvirheet. Pääosa virheiden vaikutuksesta voidaan kuitenkin joko kompensoida tai osittain tasoittaa käyttäen tiettyä havaintojen tekotapaa. Tärkeimpiä havaintojen tekoperiaatteita, joilla virheitä saadaan minimoitua ovat:

- ”Kaikki suunnat havaitaan kahdessa kojeasennoissa I ja II, joiden välillä kojeen kaukoputki käännetään vaaka-akselin ympäri ja alhidadi pystyakselin ympäri 200 gon. Kullekin suunnalle saadaan kaksi lukemaa I ja II, joiden erotus on n. 200 gon ja joiden keskiarvosta tiettyjen kojevirheiden vaikutus kompensoituu kokonaan”. /9/

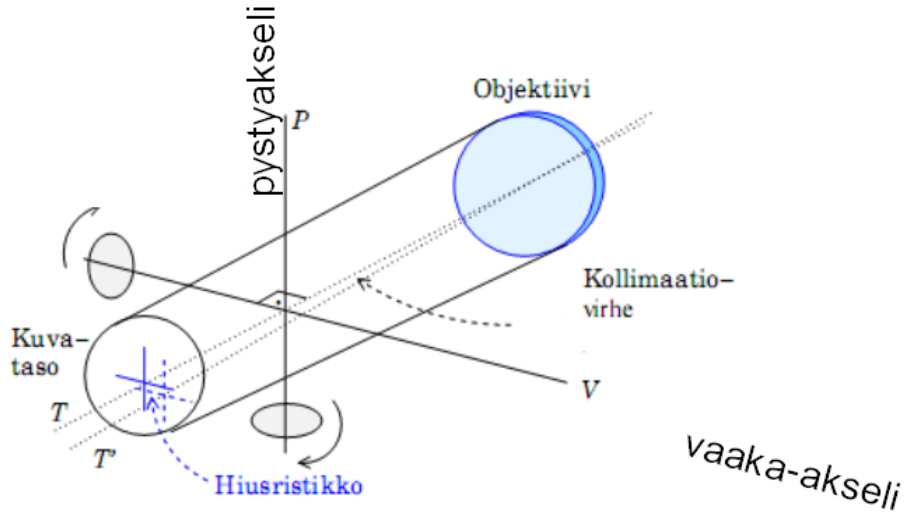
- ”Havaitsemalla kaksipuolisella lukemalaitteella suuntalukemat aina kehän vastakkaisilta laidoilta voidaan vähentää kehien epäkeskisyysvirheen vaikutusta. Käyttämällä integroitua

kehälukumenetelmää voidaan lukeman määrityksen kehien epäkeskisyysvirheen vaikutusta vähentää. Havaitsemalla samat suunnat toistuvasti, välillä jakokehän asentoa kiertämällä, voidaan paikallisten jaotusvirheiden vaikutusta vähentää.” /9/

Kumoutumisperiaatteista huolimatta on havaintojen tekijän tiedostettava kojeessa mahdollisesti esiintyvät virheet ja oltava perillä niiden vaikutuksesta havaintoarvoihin. Seuraavassa esitetään tärkeimpiä rakenteellisia virheitä.

2.2.1. Tähtäysakselin kollimaatiovirhe

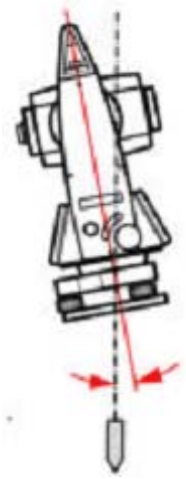
Akselistoehtojen mukaan tähtäysakselin tulee olla kohtisuorassa vaaka-akselia vastaan. Jos tämä ei tarkalleen toteudu, esiintyy kojeissa kollimaatiovirhettä. Normaalisti tämä johtuu siitä, että tähtäämistä varten oleva hiusristikko ei ole keskellä mittauskaukoputkea. Kollimaatiovirheen vaikutus suuntahavaintoihin kumoutuu kahden havaintoasennon keskiarvosta (kts. 2.2.). Virhe voidaan poistaa siirtämällä hiusristikkoa. Tämä on osittain vanhentunutta tietoa, sillä nykyaikaisissa takymetreissä tätä siirtoa ei tehdä itse, vaan kojeeseen asetetaan kollimaatiokorjaus, joka ottaa kollimaatiovirheen automaattisesti huomioon mittauksissa. Kollimaatiokorjaus määritetään takymetrin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Mikäli kollimaatiokorjaus ylittää tietyn valmistajan asettaman rajan, tulee takymetri viedä valmistajan valtuuttamaan huoltopisteeseen, jossa siihen tehdään mekaaniset säädöt kollimaatiovirheen poistamiseksi. /4;9/



Kuva 9. kollimaatiovirheen periaatekuva. /3/

2.2.2. Pystyakselin kaltevuusvirhe

Pystyakselin kaltevuusvirhe tarkoittaa pystyakselin poikkeamaa luotiviivan suunnasta. Virhe johtuu yleisesti epätarkasta tasauksesta. Normaalisti epätarkkuuden aiheuttaa takymetrin liikahtaminen kesken mittausten tai huolimaton tasaaminen, joten pääsääntöisesti virhe on inhimillisen toiminnan syytä. Virheen vaikutusta ei voida poistaa millään havaintojentekojärjestelyllä. Uudemmissa takymetrimalleissa tämä ongelma on ratkaistu kompenssaattorilla, joka hienosäätää tasauksen automaattisesti. /1;4;9/



Kuva 10. Pystyakselin kaltevuusvirheen periaate. /11/

2.2.3. Kaukoputken epäkeskisyys

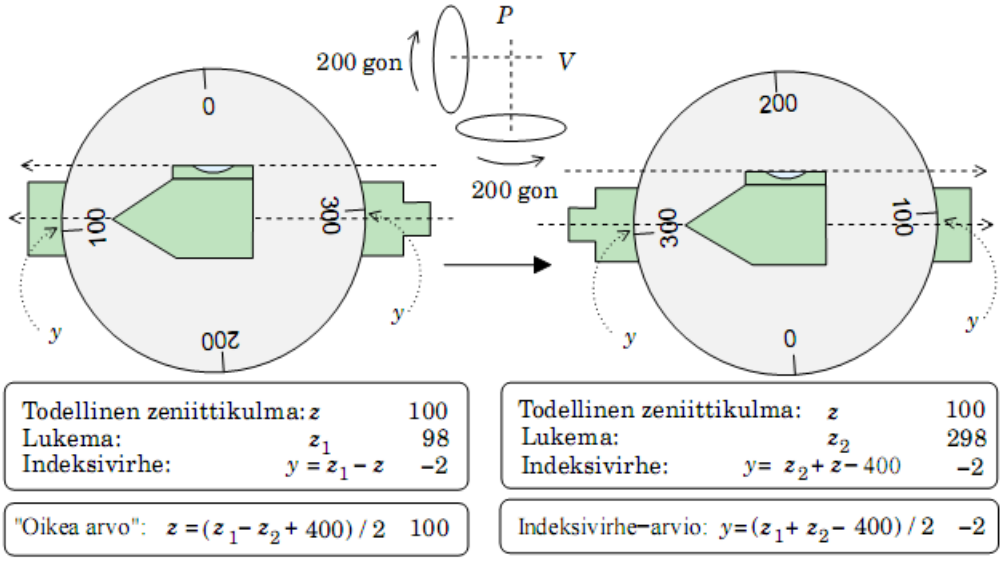
Tähtäysakselin, vaaka-akselin ja pystyakselin tulisi leikata toisensa samassa pisteessä. Jos näin ei kuitenkaan käytännössä tapahdu, on kaukoputki epäkeskinen ja aiheuttaa virhettä havaintoihin. Kaukoputken epäkeskisyysvirheen vaikutus kumoutuu kuitenkin kojeen I- ja II-asennoissa mitattujen kulmien keskiarvosta. /9/

2.2.4. Jakokehien epäkeskisyys

Kuvassa 5 esitetystä takymetrin rakenteesta poiketen saattaa pystyakselin ja vaakajakokehän leikkauspiste poiketa vaakajakokehän keskipisteestä. Samoin vaaka-akselin ja pystyjakokehän leikkauspiste voi poiketa pystyjakokehän keskipisteestä. Kyseinen epäkeskisyys aiheuttaa virhettä suuntahavaintoihin, mutta virhe kompensoituu kojeasennoissa I ja II tehtyjen havaintojen keskiarvosta. /9/

2.2.5. Pystykehän indeksivirhe

Indeksivirhe eli pystykehän 0-pistevirhe ilmaisee poikkeamaa pystykehän 0-suunnan ja luotiviivan suunnan välillä. Takymetrin 0-suunta ilmoittaa milloin kojeen pystykulmanluku on kohdassa 0. Suunnan, jossa pystykulma näyttää arvoa 0 tulisi aina olla yhtenevä luotiviivan kanssa. Mikäli näin ei ole, antaa koje virheellisen pystykulmatuloksen. Virhe voidaan kuitenkin kumota käyttämällä kaksiasentoista havaintojärjestelmää. Lisäksi takymetreissä on yleensä indeksivirhekorjaustoiminto, joka ottaa automaattisesti virheen huomioon ja korjaa mittaustuloksen oikeaksi. Tämä edellyttää useimpien valmistajien takymetreillä käyttömanuaalissa ohjeistettuja testihavaintoja, joilla takymetrille saadaan määritettyä korjauksen suuruus. /1;4;9/



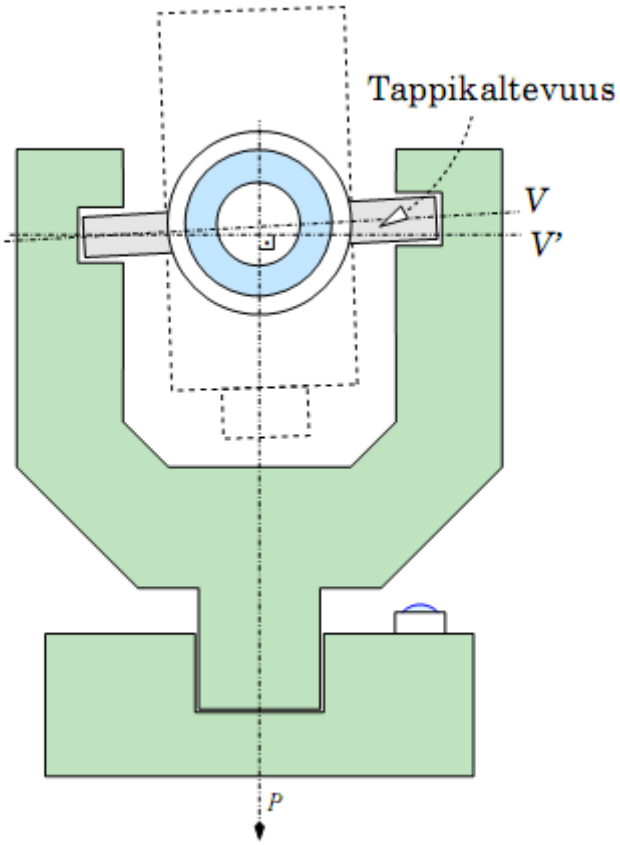
Kuva 11. Pystykehän indeksivirheen periaate. /3/

2.2.6. Hiusristikon kaltevuus

Hiusristikon kaltevuus on havainnontekoa häiritsevä virhe, jolla ei ole vaikutusta havaintoihin, jos tähtäykset suoritetaan ristikon keskikohdalla. Vaakaviivan vaakasuoruuden voi tarkistaa tähtäämällä kohteeseen vuoronperään viivan molemmilla päillä ja vertaamalla näin saatuja pystykehälukemia, joiden tulisi olla samat. /9/

2.2.7. Tappikaltevuusvirhe

Takymetrin vaaka- akselin tulee akselistoehtojen mukaisesti olla kohtisuorassa pystyakselia vastaan. Poikkeama ehdosta ilmenee tappikaltevuusvirheenä. Tappikaltevuusvirheen vaikutus eliminoituu suorittamalla mittaukset kojeen I- ja II-asennoissa, jolloin tappikaltevuusvirhe kumoutuu havaintoarvojen keskiarvosta. Asiaa selvennetty kuvassa 12.

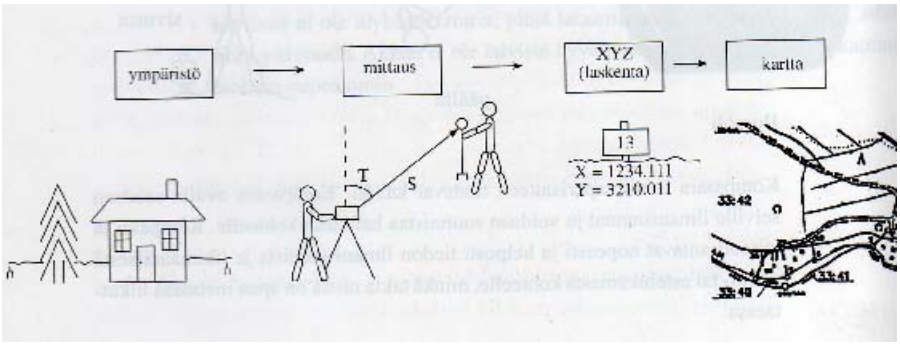


Kuva 12. Tappikaltevuusvirheen periaatekuva. /3/

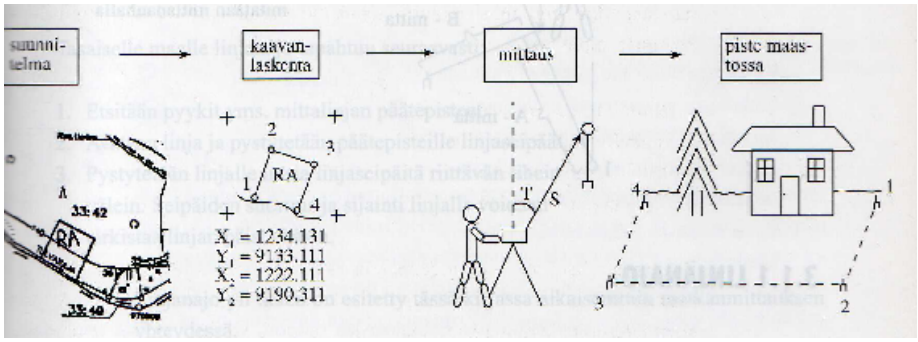
3. Takymetrimittaus

3.1. Mittaustehtävät

Takymetrikalustoa käytetään eniten maastomittaustehtävissä. Maastomittaukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan, joita ovat runko-, kartoitus- ja merkintämittaukset. Runkomittauksilla määritetään maastoon taso- ja korkeuskiintopisteitä, joista saadaan tunnetut koordinaatit muita maastossa suoritettavia mittaustehtäviä varten. Kartoitusmittauksissa kerätään tietoa maaston muodoista sekä olemassa olevista rakenteista. Näitä tietoja käytetään karttojen, sekä suunnitelmien pohjana. Merkintämittauksissa merkitään maastoon suunniteltu kohde esim. katu, rakennus tai vaikkapa tontin raja.



Kuva 13. periaatekuva kartoitusmittauksesta /1/



Kuva 14. periaatekuva merkintämittauksesta /1/

Muita käytössä olevia mittausvälineitä edellä mainittuihin tehtäviin ovat mm. ilmakuvaus, laserkeilaus, satelliittipaikannus, teodoliitti, takymetri sekä suorakulmaprisma ja mittanauha. Periaatteessa teodoliitti ja takymetri ovat sama asia, mutta takymetrissä on lisänä etäisyydenmittausmahdollisuus. /1;2/

3.2. Takymetriryhmä

Normaalissa takymetrimittauksessa mittaushenkilöstöä on 2-4 henkilöä. Henkilöstön määrä vaihtelee mittauskohteesta riippuen. Normaalissa mittaustilanteessa suoriudutaan kahden hengen ryhmällä, jossa toinen mittamies operoi prismalla ja toinen takymetrillä. Suurempia mittausryhmiä käytetään laajoissa ja hankalissa kohteissa, joissa joudutaan esimerkiksi karsimaan kasvustoa tai perustamaan useita asemapisteitä takymetriä varten. Yhteydenpito mittausryhmän sisällä tapahtuu mittausetäisyydestä riippuen joko suullisesti ja käsimerkein tai radiopuhelimilla. Nykyään on käytössä myös

robottitakymetrejä, jotka mahdollistava yhden miehen takymetrimittauksen.

Kuva 15. Mittausryhmä työssä.

3.3. Mittauskalusto

Mittausryhmien kalusto vaihtelee mittaustehtävien mukaan, mutta takymetrillä mitattaessa kalusto on melko vakio. Takymetriryhmä tarvitsee ainakin seuraavat välineet mittauksien suorittamiseen:

- mittanauhan kojekorkeuden määritystä varten
- lämpömittarin
- ilmanpainemittarin
- kirveen tai vesurin umpeenkasvaneiden mittalinjojen karsimiseen,
- muistiinpanovälineet
- radiopuhelimet pitkien etäisyyksien yhteydenpitoa varten
- kolmijalkoja takymetriä ja prismoja varten
- pakkokeskistysalustoja (kuva 6) takymetrin ja prismojen kiinnitystä varten
- prismoja
- prismasauvan
- takymetrin ja sen oheislaitteet (akku, datakaapelit, manuaali…)

Kuva 16. Takymetrin ja prismojen jalustana toimiva kolmijalka /15/

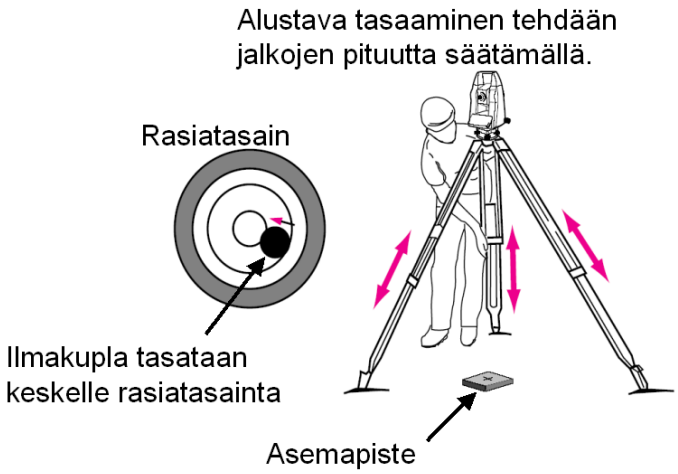
Kuva 17. Geodimeterin ja trimblen takymetreihin yhteensopiva prisma

3.4. Mittauksen periaate

3.4.1. Mittauksen valmistelu ja alustus

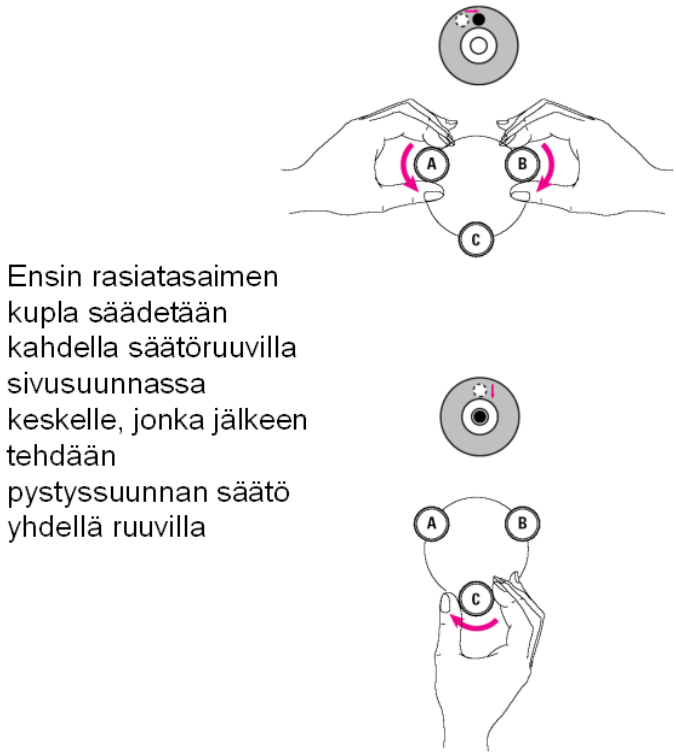
Takymetrimittaus alkaa mittauksen valmistelulla. Valmistelevilla toimenpiteillä takymetri saatetaan mittausvalmiuteen. Ensiksi varmistetaan, että takymetri ja sen kalusto ovat toimintakuntoisia. Tässä yhteydessä on hyvä tarkastaa, että mahdolliset mittaustehtävässä tarvittavat koordinaateiltaan tunnetut pisteet on syötetty takymetrin muistiin.

Mittauspaikalle saapumisen jälkeen valmistelua jatketaan pystyttämällä jalustat. Yleisin jalustatyyppi on kuvassa 16 esitetty kolmijalka, mutta mittauskohteissa, joiden mittaushavainnot tehdään samoilta pisteiltä, voidaan käyttää myös kiinteitä jalustoja. Nämä kiinteät jalustat ovat yleensä betoniin valettuja ja niihin saa kiinnitettyä pakkokeskistysalustan vain yhteen kohtaan. Tämä estää keskistämisen virheitä. Tärkeintä jalustoissa on, että ne pystytetään tukevasti ja oikealle korkeudelle mittaajaa varten. Jalustat tulee pystyttää asemapisteen päälle sillä tarkkuudella, että takymetri pystytään keskistämään ja tasaamaan pakkokeskistysalustan säätövarojen avulla. Mikäli mitataan ns. vapaalta kojeasemalta tarvitsee huomioon ottaa pelkkä tasaus.

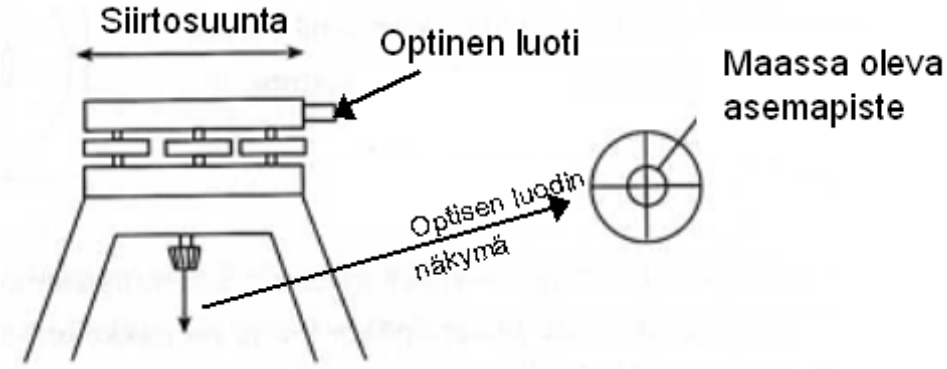


Kuva 18. Kolmijalan alustava tasaaminen asemapisteen päälle pakkokeskistysalustan (kuva 6.) rasiatasaimen avulla.

Kun jalusta on alustavasti tasattu asemapisteen päälle, tehdään pakkokeskistysalustan säätöruuveilla tasauksen hienosäätö kuvan 18 mukaisesti. Tasaamisen jälkeen keskistetään pakkokeskistysalustan keskusta optisella luodilla maassa olevan pisteen päälle.



Kuva 19. Tasauksen hienosäätö.



Kuva 20. Pakkokeskistysalustan keskistäminen asemapisteen päälle.

Keskistämisen jälkeen tarkistetaan rasiatasaimen kupla. Mikäli se on siirtynyt, suoritetaan kuvien 19 ja 20 toimenpiteet uudestaan.

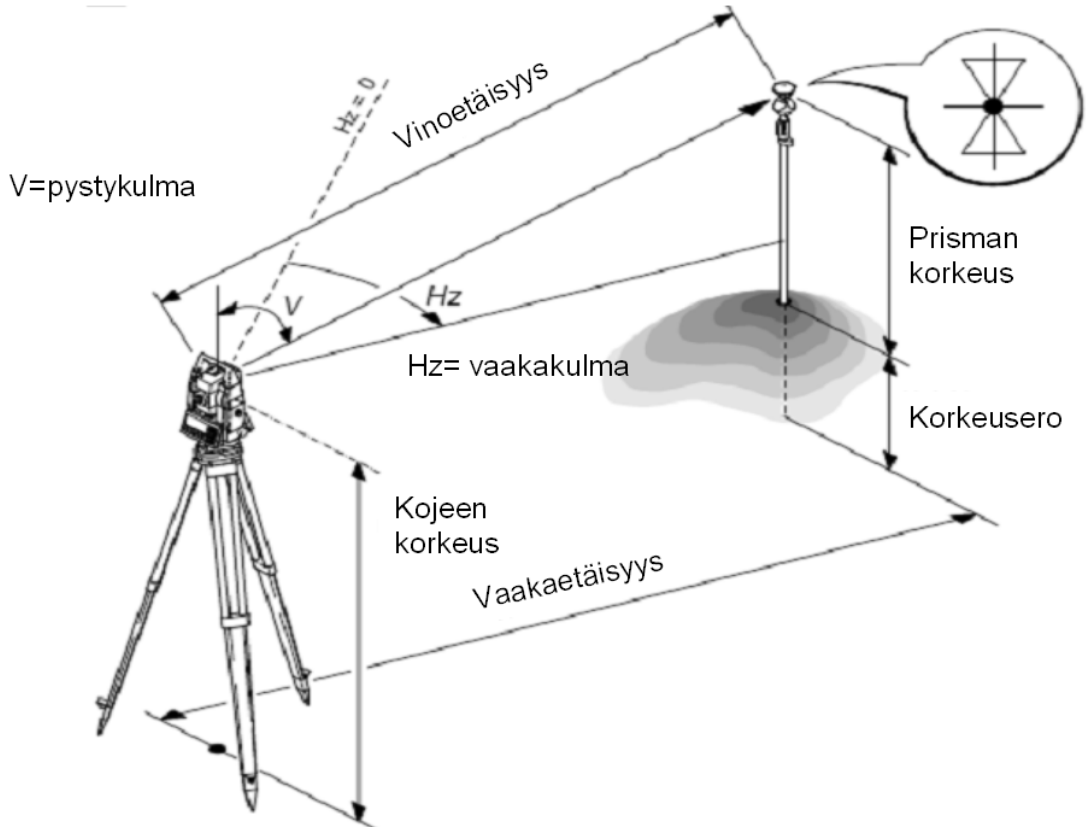
Kun jalusta ja pakkokeskistysalusta ovat paikoillaan sekä takymetri kiinnitetty, voidaan suorittaa mittauksen alustus. Ensinnä koje käynnistetään ja suoritetaan kojeen vaatima kompensaattoreilla tapahtuva tasaus. Tämän jälkeen kojeelle syötetään kojeen ja prisman

korkeudet, jotka on mitattu mittanauhalla tai muulla vähintään saman tarkkuuden omaavalla mittalaitteella. Mikäli halutaan mitata todellisia koordinaatteja joudutaan suorittamaan takymetrin orientointi, eli piste sidotaan tunnettuun koordinaatistoon. Orientointia ei tarvitse suorittaa, jos tarkoituksena on mitata pelkkiä sisäisesti tarkkoja mittauksia tai kulmia.

Orientoinnilla määritetään asemapisteen koordinaatit ja sekä karttapohjoinen todellisuutta vastaaviksi. Mikäli orientointi suoritetaan vapaalta kojeasemalta, tarvitaan määritystä varten havainnot vähintään kahdelta tunnetulta pisteeltä eli ns. liitospisteiltä. Jos orientointi suoritetaan tunnetulta pisteeltä, ei koordinaatteja tarvitse määrittää. Tällöin riittää suunnan määrittäminen, jota varten tarvitaan havainto yhdeltä tunnetulta liitospisteeltä. /1;8;14/

3.4.2. Mittauksen suoritus

Mikäli takymetri on orientoitu, mitataan sillä ns. suuntakulmia. Tämä tarkoittaa, että vaakakulma on nolla kun tähdätään karttapohjoista kohti ja kasvaa kun vaakakehää käännetään myötäpäivään. Kun tunnetaan asemapisteen x- ja y-koordinaatit, havainnon vaakakulma sekä vaakaetäisyys, voidaan laskea trigonometrian avulla havaitun pisteen x- ja y-koordinaatit. Havaitun pisteen z- koordinaatti lasketaan myös trigonometrian avulla. Tähän laskentaan päästään, kun tunnetaan asemapisteen z- koordinaatti, pystykulma, kojekorkeus, prismakorkeus sekä vinoetäisyys. Asiaa on selvennetty kuvassa 21.



Kuva 21. takymetrin mittaushavainnon periaate

4. Seurantakalibroinnin teoriaa

Kalibrointitoiminta jaetaan kahteen osaan. Nämä ovat määritys- ja seurantakalibrointi.

Määrityskalibroinnissa tutkitaan kojevirheiden arvot, tarkoituksena todeta:

- onko kojeen mittaustarkkuus määräysten mukainen
- vastaako kojeen mittaustarkkuus mittaustehtävien edellyttämää tarkkuutta
- onko kojeen mittaustarkkuus valmistajan ilmoituksen mukainen.

Määrityskalibrointi suoritetaan laboratorio-olosuhteissa. Sen suorittajalla tulee olla jonkin kansallisen tai kansainvälisen mittausalan

organisaation valtuutus. Suomessa tällainen organisaatio on Mittatekniikan keskus (MIKES), joka antaa kalibrointilaboratorioille valtuutukset tehdä virallisia määrityskalibrointeja. Valtuutettuja määrityskalibrointien tekijöitä löytyy Mittatekniikan keskuksen internet-sivuilta.

Määrityskalibrointi on maksullista toimintaa. Se on syytä tehdä kojeen hankinnan yhteydessä, suurimpien huoltotoimenpiteiden jälkeen ja kojeille, joiden tarkkuuden on seurantakalibroinnissa todettu oleellisesti huonontuneen.

Seurantakalibrointi on kenttäkalibrointia. Siinä ei määritetä kojevirheiden arvoja, vaan ainoastaan seurataan, pysyvätkö kojeen ominaisuudet ja mittaustulokset samoina kuin ne ovat olleet seurantakalibrointia edeltävässä määrityskalibroinnissa. Seurantakalibrointia hyvin lähellä on järjestelmäkalibrointi, jolla tarkistetaan kokonaisen mittausjärjestelmän toimivuus ja tulosten oikeellisuus. Tässä työssä ei käsitellä järjestelmäkalibrointia tarkemmin.

Seurantakalibroinnin menetelmissä voidaan tukeutua kansainvälisiin rakennusalan standardeihin SFS-ISO 8322-1,…,8. Edellä mainitut standardit on kumottu vuonna 2005, mutta niiden seuraajaa ei ole vielä Suomen standardisoimisliiton (SFS) taholta vahvistettu, joten vanhoja standardeja voidaan vielä soveltaa käytäntöön. International Organization for Standardization (ISO) on ottanut käyttöön kumottujen ISO 8322-1,…,8 standardien tilalle tehdyt päivitetyt standardit ISO 17123-1,…,7. Nämä päivitetyt standardit tulevat olemaan tulevaisuudessa Suomessa tehtävien seurantakalibrointien tukena SFS:n vahvistettua ne.

Kaikkien edellä mainittujen standardien menetelmät ovat sellaisia, että niissä tulee esille myös havaitsijan kyky käyttää kojeita ja menetelmiä. Näin ollen standardien mukaisilla kalibrointimittauksilla saadaan esille

kojeiden käytön tarkkuus. Näistä standardeista on valittu kolme, joita tässä työssä sovelletaan. Nämä valitut standardit ovat ISO 8322-4, 17123-4 ja 17123-5.

Sovellettavien standardien valinta on tehty sen mukaan, mitä informaatiota niistä saadaan irti ja millaisia mittaussuorituksia tulosten eteen joudutaan tekemään. Valituilla standardeilla saadaan selville etäisyysmittauksen virhe, kulmanluvun virhe sekä yksittäisen mitattavan pisteen koordinaattitarkkuus. Toisena perusteena juuri kyseisten standardien valitsemiselle oli niiden vaatimat mittaukset. Mittausrutiinit ovat jokaisessa standardissa sen luontoisia, että standardien vaatimat havainnot pystytään mittaamaan samalla mittauskerralla, samassa mittauspaikassa.

4.1. Takymetriltä vaadittavat mittatarkkuudet

Suurin osa Tampereen kaupungin takymetrillä suoritettavista mittatöistä ovat kaavoitusmittauksia. Näiden osalta mittauksissa tulee noudattaa kaavoitusmittausohjeita. Näiden lisäksi Tampereen kaupungilla on Tiehallinnolle ja Ratahallinkeskukselle tehtäviä mittaustöitä, joissa käytetään infraryll-ohjeita. Tampereen kaupunki toimii myös erilaisissa urheilukisoissa mittaustehtävissä. Tässä opinnäytetyössä vaadittavat mittaustarkkuudet otetaan kuitenkin kaavoitusmittausohjeesta, jossa on ”määrätty maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 206 §:n 3 momentissa tarkoitetut, kaavoitusmittauksen teknistä suorittamista koskevat määräykset”.

Kaavoitusmittausohjeiden johdannossa sanotaan seuraavaa: ”Kaavoitusmittauksella tarkoitetaan asemakaavan pohjakarttaa sekä tonttijaon pohjakarttaa ja kaavan maastoon merkitsemistä varten suoritettavaa mittausta ja kartan laatimista. Kaavoituksen lisäksi kaavoitusmittauksella kerättyjä maastotietoja sekä niistä laadittuja karttoja ja muita tuotteita käytetään yleisemminkin kuntien teknisessä suunnittelussa sekä kiinteistötoimituksissa.

Kaavoitusmittauksia suorittavien henkilöiden on oltava ammattitaitoisia ja mittaukset on suoritettava hyvää mittaustapaa ja kaavoitusmittauksista annettuja ohjeita noudattaen. Kaavoitusmittauksissa käytettävien mittauslaitteiden on oltava tarkkuudeltaan työhön soveltuvia ja asianmukaisesti huollettuja ja kalibroituja.”/5/

Takymetriltä vaadittava mittatarkkuus vaihtelee mitattavan kohteen mukaan. Kaavoitusmittausohjeessa on esitetty kolme mittausluokkaa, jotka on määritelty seuraavasti ” Kartoitusalueet jaetaan kolmeen mittausluokkaan seuraavasti. Mittausluokka määrää mittaus- ja kuvaustarkkuuden.

Mittausluokka 1:
Taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta, rakennusoikeudet suuria ja yhdyskuntarakenne kaupunkimaista. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on sitova tonttijako. Yleensä tämän tyyppisillä alueilla ylläpidetään kantakarttaa tai numeerista maastotietojärjestelmää, jonka laatu on vähintään tämän ohjeen suosittamaa tasoa. Jos karttatietokantaa on tarkoitus käyttää osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa, suositellaan käytettäväksi tarkempaa vaatimustasoa (mittausluokka 1e).

Mittausluokka 2:
Taajama-alueet, joilla maa on arvokasta, rakentaminen pientalovaltaista mutta suhteellisen intensiivistä. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on yleensä ohjeellinen tonttijako. Näitä ovat pienempien kuntien keskusta-alueet ja muut taajamat. Näihin kuuluvat myös loma-asumista tarkoittavat kaava-alueet, joille suunnitellaan runsaasti rakennusoikeutta.

Mittausluokka 3:
Muut alueet, joille laaditaan yleiskaavaa yksityiskohtaisempi mutta vain vähäistä rakennusoikeutta tarkoittava kaava. Tällaisia voivat olla alueet, joille laaditaan ranta-asemakaava, kaatopaikka-alueet ja muut erityisalueet, joiden kaavoittaminen ei edellytä kunnallisteknisen rakentamisen suunnittelua.”/5/. Ohjeessa esitetyt tarkkuudet löytyvät liitteestä 5.

Mittauksesta saatuja virheitä on hyvä verrata myös valmistajan antamiin tarkkuuksiin. Nämä tarkkuudet on esitetty liitteissä 1-4.

4.2. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 17123-5

Tukeuduttaessa ISO Standardiin 17123-5 (Elektronic tacheometers) pystytään seurantakalibrointi suorittamaan vain elektronisella takymetrillä, jossa on laskenta- ja muistikapasiteettia. Standardissa on kaksi vaihtoehtoa mittalaitteen testaamiselle. Vaihtoehtoina ovat yksinkertaistettu testikäytäntö (Simplified test procedure) sekä kokonainen testikäytäntö (full test procedure), jota käytetään tässä työssä.

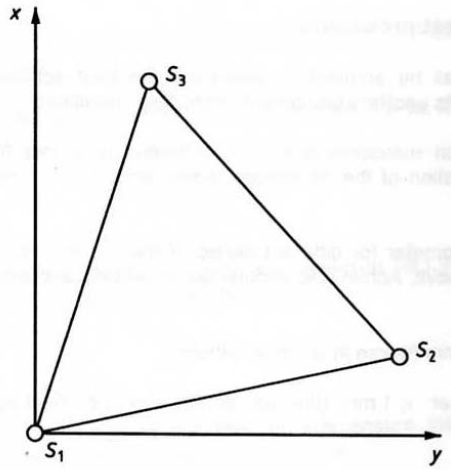
Kokonaista testikäytäntöä käytetään elektronisen takymetrin ja sen kaluston parhaan mahdollisen tarkkuuden mittaamiseksi kenttäolosuhteissa. Käytäntö pohjautuu koordinaattien mittaamiseen testiradalla ilman tunnettuja koordinaatteja. Yksittäisen pisteen koordinaattien mittaamisen kokeellinen keskivirhe (experimental standard deviaton) määritetään pienimmän neliösumman tasoituksella (least squares adjustment).

Standardin mittausohjeita noudattaen voidaan määrittää:

- Yhden mittaryhmän mittauksien tarkkuus käytössä, saman elektronisen takymetrin ja kaluston kanssa, tietyllä hetkellä,
- Tietyn kojeen käytön tarkkuuden muuttuminen ajan myötä,
- Useiden eri takymetrien tarkkuus käytössä. /16/.

4.2.1. Testikentän vaatimukset

Standardin 17123-5 mukaan testiradalla tulee olla kolme pistettä siten, että pisteiden välisistä tähtäyslinjoista muodostuu teräväkulmainen kolmio. Kolmion kylkien pituuksiksi on suositeltu sellaisia pituuksia, joita testattavalla kojeella normaalisti mitataan. Pisteiden korkeuserojen tulisi olla mahdollisimman suuret.



Kuva 22. Standardin 17123-5 mukainen testikenttä.

4.2.2. Mittaus

Ennen mittausten aloittamista tulee kojeen olla tarkistettu valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kaikki kojeen mittaukset tulee suorittaa samana päivänä. Ilman lämpötila ja paine tulee mitata jokaisella kojeasemalla erikseen, jotta kojeen etäisyysmittaukselle saadaan asetettua oikea säästä johtuva korjaus. Kojeelle tulee asettaa prismavakio, joka on määritetty käytettävien prismojen mukaiseksi.

Mittaukset suoritetaan kolmena sarjana siten, että testattavalla kojeella tulee mitattua kolme havaintosarjaa molemmin päin (kojeasennot I ja II), jokaiselta kuvassa 22 esitetyltä pisteeltä. Kojeasento II tarkoittaa sitä, kun vaaka ja pystykulmaa käännetään 200 goonia. Taulukossa 1 on esitetty mittaukseen kulku. Testattavaa kojetta ei tule yrittää orientoida tiedossa oleviin koordinaatteihin, vaan jokaisella pisteellä kojeen asemapisteen koordinaateiksi määritetään seuraavat koordinaatit X=0, Y=0 ja Z=0. Jokaisella asema- ja tähyspisteellä määritetään takymetriin kojeen ja prismojen korkeus, jotta pystykulmahavainnoista saadut z-koordinaatit ovat todenmukaisia.

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
S1 --> S2	1	S1	S2
S1 --> S3	1	S1	S3
S2 --> S1	1	S2	S1
S2 --> S3	1	S2	S3
S3 --> S1	1	S3	S1
S3 --> S2	1	S3	S2

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
S1 --> S2	2	S1	S2
S1 --> S3	2	S1	S3
S2 --> S1	2	S2	S1
S2 --> S3	2	S2	S3
S3 --> S1	2	S3	S1
S3 --> S2	2	S3	S2

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
S1 --> S2	3	S1	S2
S1 --> S3	3	S1	S3
S2 --> S1	3	S2	S1
S2 --> S3	3	S2	S3
S3 --> S1	3	S3	S1
S3 --> S2	3	S3	S2

Taulukko 1. Standardin 17123-5 mukainen mittausjärjestys

4.2.3. Kaavat

Laskennassa käytettävät x- ja y-koordinaattihavainnot saadaan kojeasennoissa I ja II havaittujen koordinaattien keskiarvosta. Kaikki tässä osiossa käytetyt kaavat löytyvät nimen mukaisista standardeista.

$$x_{i,j,k} = \frac{1}{2}\left(x_{i,j,k,\mathrm{I}} + x_{i,j,k,\mathrm{II}}\right)$$
$$y_{i,j,k} = \frac{1}{2}\left(y_{i,j,k,\mathrm{I}} + y_{i,j,k,\mathrm{II}}\right)$$
$$z_{i,j,k} = \frac{1}{2}\left(z_{i,j,k,\mathrm{I}} + z_{i,j,k,\mathrm{II}}\right)$$
$$i = 1, 2, 3;\ \ j = 1, 2, 3;\ \ k = 1, 2, 3 \qquad (1)$$

Jotta saadaan kolmelta mittaussarjalta vertailukelpoisia mittaushavaintoja, on tärkeää muuntaa kaikkien sarjojen havainnot samaan asentoon kuin ensimmäisessä sarjassa. Koska pisteen S1 x- ja y-koordinaattien tulee olla (0,0), tulee jokaiselle mittaussarjalle lukuun ottamatta ensimmäistä, laskea koordinaattimuunnos seuraavasti.

$$x'_{i,j,k} = x_{i,j,k} - x_{i,j,1}$$
$$y'_{i,j,k} = y_{i,j,k} - y_{i,j,1}$$
$$i = 1, 2, 3;\ j = 1, 2, 3;\ k = 1, 2, 3 \quad (2)$$

Koska kojetta ei orientoida tunnettujen pisteiden kanssa, pitää sarjojen 2 ja 3 muunnetut koordinaatit kääntää samaan suuntaan kuin sarjassa 1. Helpoin tapa on tehdä ensimmäisen sarjan havainnoista sisäinen koordinaatisto, jonka suhteen muiden sarjojen mittausten koordinaatit käännetään.

$$t'_{i,j,k} = \arctan\frac{y'_{i,j,k}}{x'_{i,j,k}}$$, suuntakulma (3)

$$s_{i,j,k} = \sqrt{x'^2_{i,j,k} + y'^2_{i,j,k}}$$, etäisyys (4)

Mittaushavaintojen orientointi sisäiseen koordinaatistoon lasketaan keskiarvon avulla.

$$t'_{i,j} = \frac{1}{2}\left(t'_{i,j,2} + t'_{i,j,3}\right) \quad (5)$$

Kaavaan viisi pohjautuen lasketaan kääntökulma.

$$\varphi_{i,j} = t'_{1,1} - t'_{i,j};\quad i = 1, 2, 3;\quad j = 1, 2, 3 \quad (6)$$

Edellisestä seuraa, että uusi orientointikulma on.

$$t_{i,j,k} = t'_{i,j,k} + \varphi_{i,j};\quad i = 1, 2, 3;\quad j = 1, 2, 3;\quad k = 2, 3 \quad (7)$$

Uuden orientointikulmien mukaiset koordinaatit lasketaan seuraavasti.

$$x''_{i,j,k} = s_{i,j,k} \times \cos t_{i,j,k};\quad i = 1, 2, 3;\quad j = 1, 2, 3;\quad k = 2, 3$$
$$y''_{i,j,k} = s_{i,j,k} \times \sin t_{i,j,k};\quad i = 1, 2, 3;\quad j = 1, 2, 3;\quad k = 2, 3 \quad (8)$$

Sovitettu X- ja Y- koordinaatti saadaan edellisten keskiarvosta

$$\overline{x''}_k = \frac{1}{9}\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} x''_{i,j,k}; \quad k = 2,3$$

$$\overline{y''}_k = \frac{1}{9}\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} y''_{i,j,k}; \quad k = 2,3 \qquad (9)$$

Sovitettujen koordinaattien 36 jäännösarvoa lasketaan seuraavasti

$$r_{x,i,j,k} = \overline{x''}_k - x''_{i,j,k}; \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 2,3$$

$$r_{y,i,j,k} = \overline{y''}_k - y''_{i,j,k}; \quad i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 2,3 \qquad (10)$$

Jäännösarvojen neliöiden summa

$$\sum r_{XY}^2 = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=2}^{3}\left(r_{x,i,j,k}^2 + r_{y,i,j,k}^2\right) \qquad (11)$$

Pisteiden S2 ja S3 koordinaattien määrityksessä on 8 muuttuvaa osatekijää ja 4 keskimääräistä koordinaattia. Näin ollen tuntemattomia tekijöitä on 12. Täten saadaan vapausaste.

$$\nu_{XY} = 36 - 12 = 24 \qquad (12)$$

Yhden X- tai Y-koordinaatin keskivirhe kojeen molemmissa asennoissa mitattuna on.

$$s_{XY} = \sqrt{\frac{\sum r_{XY}^2}{24}} \qquad (13)$$

Virallinen X- ja Y-koordinaattien keskivirhemerkintä

$$s_{ISO\text{-}TACH\text{-}XY} = s_{XY} \qquad (14)$$

Seuraavaksi esitetään Z-koordinaatin tarkkuuden määrittämisessä tarvittavia kaavoja. Koska pisteen S1 Z-koordinaatti on asetettu nollaan, ovat virheenmäärittämismenetelmän tuntemattomat tekijät pisteiden S2 ja S3 Z-koordinaatit sekä kojekorkeuden ja

prismakorkeuden erotus δ. Tässä tapauksessa pienimmän neliösumman korjauksella saadaan normaaliyhtälöt, jonka avulla saadaan täsmälliset ratkaisut.

Pisteen S2 tuntematon tekijä Z2.

$$z_2 = \frac{1}{18}\begin{pmatrix} 2z_{1,1,2} + z_{1,1,3} - 2z_{1,2,1} - z_{1,2,3} - z_{1,3,1} + z_{1,3,2} \\ +2z_{2,1,2} + z_{2,1,3} - 2z_{2,2,1} - z_{2,2,3} - z_{2,3,1} + z_{2,3,2} \\ +2z_{3,1,2} + z_{3,1,3} - 2z_{3,2,1} - z_{3,2,3} - z_{3,3,1} + z_{3,3,2} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Pisteen S3 tuntematon tekijä Z3.

$$z_3 = \frac{1}{18}\begin{pmatrix} z_{1,1,2} + 2z_{1,1,3} - z_{1,2,1} + z_{1,2,3} - 2z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ +z_{2,1,2} + 2z_{2,1,3} - z_{2,2,1} + z_{2,2,3} - 2z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ +z_{3,1,2} + 2z_{3,1,3} - z_{3,2,1} + z_{3,2,3} - 2z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Kojekorkeuden ja prismakorkeuden erotus δ.

$$\delta = \frac{1}{18}\begin{pmatrix} -z_{1,1,2} - z_{1,1,3} - z_{1,2,1} - z_{1,2,3} - z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ -z_{2,1,2} - z_{2,1,3} - z_{2,2,1} - z_{2,2,3} - z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ -z_{3,1,2} - z_{3,1,3} - z_{3,2,1} - z_{3,2,3} - z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Edellä esitettyjen kolmen kaavan avulla voidaan laskea 18 sovituksen jäännökset.

$$\begin{array}{lll} r_{1,1,2} = z_2 - \delta - z_{1,1,2} & r_{2,1,2} = z_2 - \delta - z_{2,1,2} & r_{3,1,2} = z_2 - \delta - z_{3,1,2} \\ r_{1,1,3} = z_3 - \delta - z_{1,1,3} & r_{2,1,3} = z_3 - \delta - z_{2,1,3} & r_{3,1,3} = z_3 - \delta - z_{3,1,3} \\ r_{1,2,1} = -z_2 - \delta - z_{1,2,1} & r_{2,2,1} = -z_2 - \delta - z_{2,2,1} & r_{3,2,1} = -z_2 - \delta - z_{3,2,1} \\ r_{1,2,3} = -z_2 + z_3 - \delta - z_{1,2,3} & r_{2,2,3} = -z_2 + z_3 - \delta - z_{2,2,3} & r_{3,2,3} = -z_2 + z_3 - \delta - z_{3,2,3} \\ r_{1,3,1} = -z_3 - \delta - z_{1,3,1} & r_{2,3,1} = -z_3 - \delta - z_{2,3,1} & r_{3,3,1} = -z_3 - \delta - z_{3,3,1} \\ r_{1,3,2} = z_2 - z_3 - \delta - z_{1,3,2} & r_{2,3,2} = z_2 - z_3 - \delta - z_{2,3,2} & r_{3,3,2} = z_2 - z_3 - \delta - z_{3,3,2} \end{array} \quad (18)$$

Jäännösten neliöiden summa.

$$\sum r_Z^2 = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq j}}^{3} r_{i,j,k}^2 \quad (19)$$

Vapausaste.

$$\nu_Z = 18 - 3 = 15 \tag{20}$$

Yhden z-koordinaatin keskivirhe kojeen molemmissa asennoissa mitattuna on.

$$s_{ISO\text{-}TACH\text{-}Z} = \sqrt{\frac{\sum r_Z^2}{15}} \tag{21}$$

Kun koordinaattien keskivirheet on saatu laskettua, tutkitaan nollahypoteesin avulla täyttääkö tulos vaatimukset. Seuraavissa kaavoilla saadaan selville voidaanko mittaukset hyväksyä. Niiden perustana on oletus, jossa keskivirhe s on pienempi tai yhtä suuri kuin sallittu mittavirhe σ. Sallitut mittavirheet ovat joko teoreettisia tai ennalta määrättyjä.

$$s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(\nu_{XY})}{\nu_{XY}}} \qquad s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(\nu_Z)}{\nu_Z}} \tag{22}$$

$$s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(24)}{24}} \qquad s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(15)}{15}} \tag{23}$$

$$\chi^2_{0,95}(24) = 36,42 \qquad \chi^2_{0,95}(15) = 25,00 \tag{24}$$

$$s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{36,42}{24}} \qquad s \leqslant \sigma \times \sqrt{\frac{25,00}{15}} \tag{25}$$

$$s \leqslant \sigma \times 1,23 \qquad s \leqslant \sigma \times 1,29 \tag{26}$$

Mikäli yllä olevat ehdot eivät täyty, ei mittalaite täytä sille asetettuja ehtoja./16/

4.3. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 8322-4

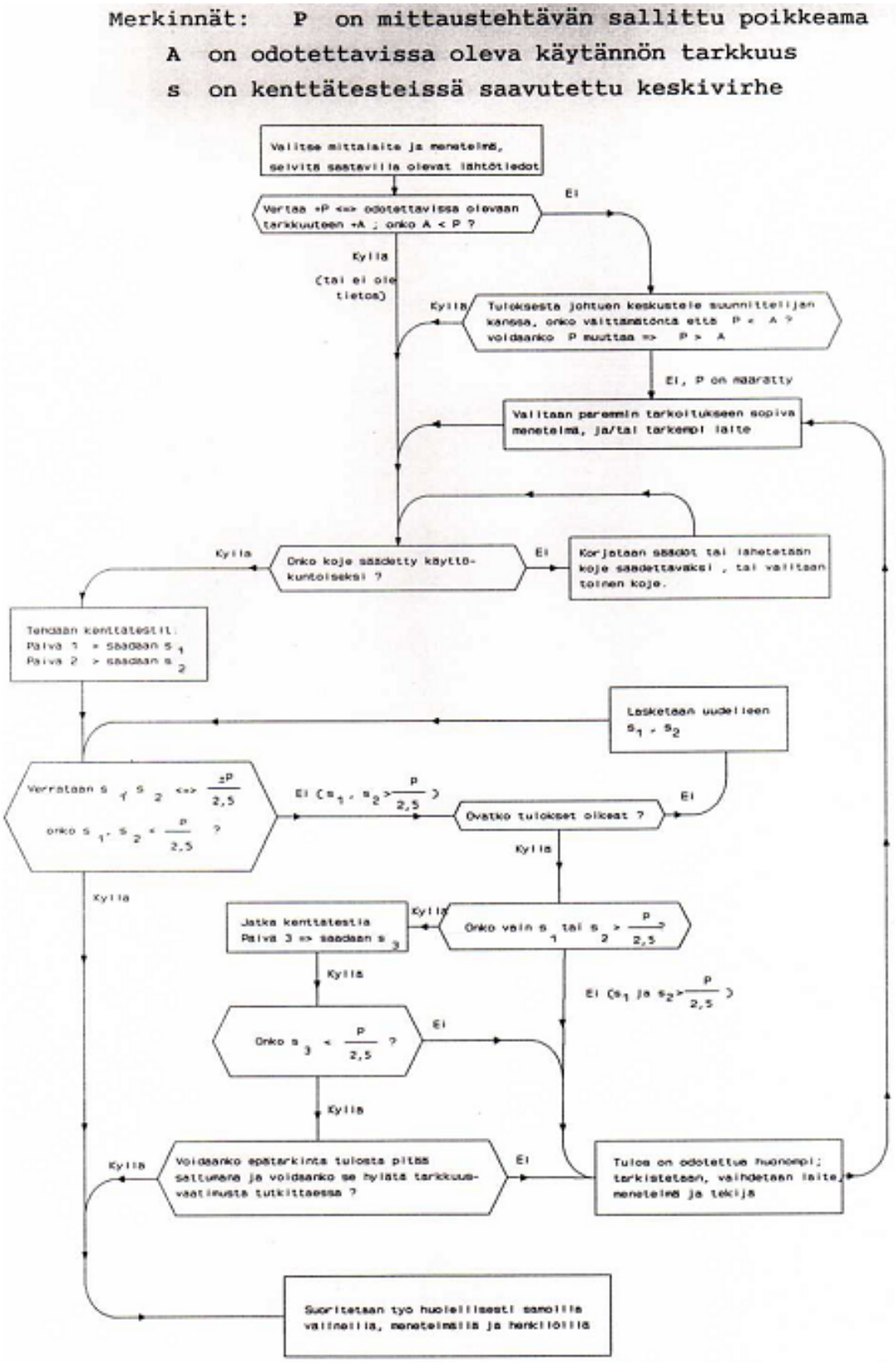
Tukeuduttaessa ISO Standardiin 8322-4 (Theodolites) testataan takymetrin kulmanlukutarkkuuden keskivirhettä. Tämä standardi on tehty teodoliiteille, joten mittalaitteessa ei tarvitse olla laskenta- tai

muistikapasiteettia. Kunhan vain saadaan selville kulmalukema kullekin tähtäyspisteelle.

Lähteen 10 seurantakalibrointiohjeessa mainitaan seuraavaa: ”Standardin esittämässä kenttätestissä systemaattiset virheet eliminoidaan ja testattavan kojeen tulisi olla säädetty tehtaan laatiman käyttöohjeen mukaan. Lisäksi edellytetään, että testien mukaiset toistomittaukset tekee sama havaitsija samalla kojeella ja menetelmällä eri olosuhteissa lyhyellä aikavälillä kahtena eri päivänä. Näistä mittauksista saadaan kummaltakin päivältä oma hajonta, joiden tulisi täyttää testattava ehto.

Jos toinen eri päivien hajonnoista toteuttaa testattavan ehdon, mutta toinen ei, tehdään testimittaukset vielä kolmantena päivänä. Jotta koje, menetelmä ja havaitsija voidaan hyväksyä, täytyy kolmannen päivän hajonnan olla testattavan ehdon mukainen.

Seuraavalla sivulla on esitetty vuokaavio käytännön seurantakalibroinnin etenemisestä. Vuokaaviossa sekä ± P, että ± A katsotaan sisältävän ± 2,5 kertaiseen keskivirheeseen δ liittyvän mittavaihtelun”. /10/

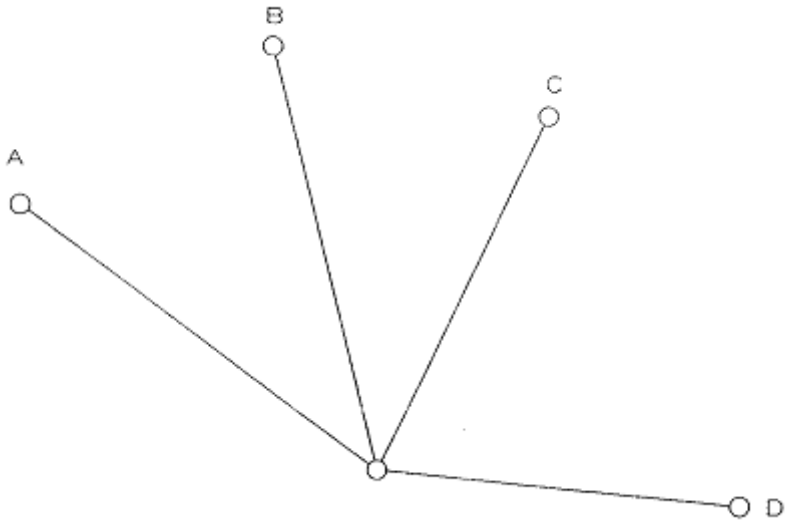


Kuva 23. Vuokaavio tarkkuuden määrittämisestä käytännön testeillä.

/10/

4.3.1. Testikentän vaatimukset

Standardin 8322-4 mukaan testiradalla tulee olla 4 tähtäyspistettä siten, että pisteiden välisten sektorin tulisi olla 100-200 goonia ja pisteiden välisten etäisyyksien normaaleja mittaushavainnointietäisyyksiä. Alla on esitetty havainnollistava kuva testiradasta. Kojeen ja prismojen tulisi pysyä tiukasti paikoillaan mittaussuorituksen ajan.



Kuva 24. Esimerkki Standardin vaatimasta mittausradasta. /10/

4.3.2. Mittaus

Standardin mukaisessa kuvan 24 mukaisessa mittausradassa suoritetaan 4 havaintosarjaa tähyspisteisiin A, B, C ja D. Mittaukset tulee suorittaa molemmissa kojeasennoissa ns. viuhkamenetelmällä. Tämä tarkoittaa, että havainnot tehdään jokaisella sarjalla järjestyksessä siten, että ensin mitataan kaikki pisteet asennossa I (A-B-C-D). Tämän jälkeen koje käännetään asentoon II ja suoritetaan havainnot käänteisessä järjestyksessä (D-C-B-A).

Edellä mainittu mittaussuorite tulisi standardin mukaan tehdä kahtena eri päivänä samalla tavalla, jotta saadaan kaksi vertailtavissa olevaa

keskivirhettä. Ensimmäisen päivän mittauksissa saatu keskivirhe on S1 ja toisen päivän keskivirhe S2.

4.3.3. Kaavat

Mittaushavainnot tulee muuntaa saamaan asentoon, jotta havaitulla kulmalla pystyy suorittamaan keskivirheen määrittämisessä tarvittavat laskut. Tämä onnistuu kun asemapisteeltä pisteeseen A (kuva 24) havaittu kulma muutetaan nollaksi. Muiden pisteiden osalta muunnos tarkoittaa, että niiden kulmahavainnoista vähennetään alkuperäinen pisteelle A tehty kulmahavainto. Näin saadaan vertailukelpoisia kulmalukuja. I- ja II-asentojen havainnot saadaan yhteneväisiksi vähentämällä asennon II havainnosta 200 goonia.

Havaintojen erotus d saadaan, kun oikeaan asentoon muunnetusta havainnosta asennossa I vähennetään muunnettu havainto asennossa II.

(27)

Mittauksista saatujen erotusten keskiarvo jokaiselle sarjalle.

$$\bar{d} = \frac{\Sigma d}{4} \tag{28}$$

Havaintojen erotuksen poikkeama v saadaan, kun kaavan 27 tuloksesta vähennetään kaavan 28 tulos. (29)

Poikkeamien v neliöiden summa saadaan korottamalla jokaisen sarjan v toiseen potenssiin ja laskemalla näin saadut tulokset yhteen.

$$\Sigma v^2 \tag{30}$$

Molempien kojeasentojen havaintojen keskivirhe S1 saadaan ottamalla neliöjuuri em. neliösumma jaettuna yhdeksällä (korvattujen

havaintojen määrä). S2 lasketaan samoin kuin S1, mutta eri päivän mittaushavainnoilla.

$$s_1 = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{9}} \tag{31}$$

Lopullinen keskivirhe S saadaan S1:n ja S2:n arvoista

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}} \tag{32}$$

Kahden kojeasennon kulmamittauksen keskivirhe./17/

$$s_{angle} = s \times \sqrt{2} \tag{33}$$

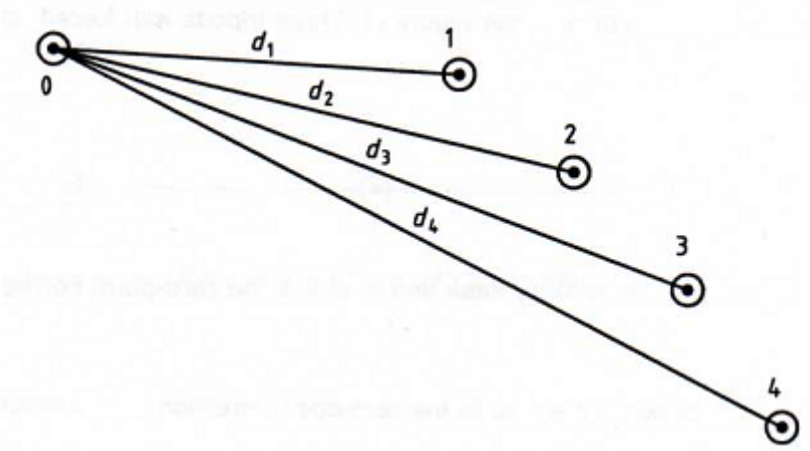
4.4. Takymetrin seurantakalibrointi perustuen standardiin ISO 17123-4

Standardissa ISO 17123-4 (Elektro-optical distance meters (EDM instruments)) on esitetty seurantakalibrointikäytäntö elektronisiin etäisyysmittareihin. Myös tässä standardissa on vaihtoehtoina kokonainen ja yksinkertaistettu testikäytäntö.

Tähän työhön valitaan yksinkertaistettu käytäntö, koska sen mukaan kalibroitaessa voidaan käyttää samoja mittauspisteitä ja -havaintoja muiden kalibrointien kanssa. Yksinkertaistetun vaihtoehdon tarkkuus on riittävä kertomaan, pysyvätkö kojeen etäisyysmittarin poikkeamat määrätyissä rajoissa. Lisäksi kokonainen käytäntö vaatisi erillisen testiradan pystyttämisen. Testillä ei saa suoraan tulosta testattavan takymetrin etäisyysmittarin nolla-pistevirheestä, mutta mikäli poikkeamat eivät pysy annetuissa rajoissa, on syytä tukia etäisyysmittarin virheet tarkemmin. menetelmä esitetty kappaleessa 4.4. /18/

4.4.1. Mittaus

Standardin vaatimalla testiradalla tulisi olla asemapisteen lisäksi neljä tähyspistettä. Suositeltavat etäisyydet asemapisteeltä tähyspisteille ovat ohjeen mukaan välillä 20-200 m. Pääperiaatteena on etäisyyksiä valittaessa, että ne ovat normaaleiden mittaustehtävien mukaisia. Pisteille suoritetaan vähintään 3 havaintosarjaa. Muut vaadittavat toimenpiteet ovat samoja kuin edellä mainitussa standardin 17123-5 vaatimat toimenpiteet.



Kuva 25. Esimerkki Standardin vaatimasta mittausradasta. /18/

4.4.2. Kaavat

Etäisyyshavaintojen keskiarvo lasketaan seuraavasti. /18/

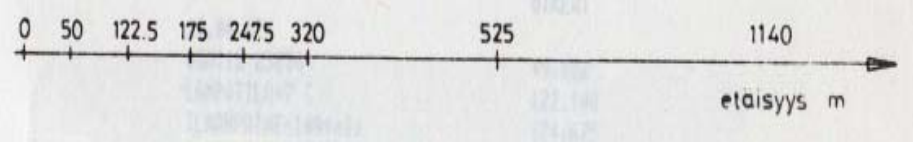
$$x_j = \frac{\sum_{k=1}^{3} x_{j,k}}{3} \tag{34}$$

4.5. Elektronisen etäisyysmittarin 0-pistevirheen testaaminen

Tähän on ohjeet myös edellisessä kappaleessa esitetyssä standardissa, mutta määritys tehdään TTY:n hervannan valtaväylän varrella sijaitsevalla testiradalla. Tämä siksi, koska vuonna 2005 suoritimme

kaikilla Tampereen kaupungin Maastotieto- ja geotekniikkapalvelun takymetreilla nollapistevirheen määrityksen em. radalla. Tähän liittyen loimme taulukkolaskennan kyseisen radan mittaustulosten laskennalle, joten taulukot löytyivät valmiina.

Määritys ei perustu standardeihin vaan Markku Taavitsaisen lisensiaattityöhön, jossa on esitetty elektronisen etäisyysmittarin tarkistaminen TTY:n (silloinen TTKK) testiradalla. Testiradalla on kahdeksan pistettä. Yksi on betonipilari, joka toimii asemapisteenä. Muut ovat kallioon upotettuja putkipisteitä, jotka toimivat tähyspisteinä. Pisteiden väliset etäisyydet on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 26. Hervannan valtaväylä testiradan mittausetäisyydet.

4.5.1. Mittaus

Nollapistevirheen tarkistamismittauksissa tehdään kymmenen etäisyyshavaintoa kullekin tähyspistelle. Mittauksissa otetaan huomioon prisma- ja kojekorkeudet, jotta etäisyyshavainnot ovat varmasti pisteiden välisiä etäisyyksiä. Havintoja verrataan tunnettuihin etäisyyksiin.

4.5.2. Kaavat

Nollapistevirhe a saadaan laskettua, kun vertailuetäisyyksien (li) ja havaintoetäisyyksien (li´) erotuksien summa jaetaan havaintojen lukumäärällä. Eli käytännössä nollapistevirhe on keskiarvo vertailuetäisyyksien (li) ja havaintoetäisyyksien (li´) erotuksista. /19/

$$a = \frac{\Sigma(l_i - l_i')}{n} \qquad (35)$$

5. Seurantakalibrointien suorittaminen

Seurantakalibrointien käytännön suorittaminen on pyritty tekemään mahdollisimman kevyeksi, jotta mittaryhmille ei aiheudu kohtuuttoman pitkäkestoista mittausurakkaa, koska testaamiseen käytetty aika on pois jokapäiväisistä mittaustehtävistä. Tästä syystä mittausten suorittamisessa käytettyjä ISO- standardeja 17123-4, 17123-5, 8322-4 on sovellettu siten, että niiden vaatimat mittaukset voidaan suorittaa yhdellä kertaa. Tämä vaatii mittauspaikalta paljon, sillä pisteiden välisten etäisyyksien ja kulmien tulee olla sellaisia, että havaintoja voidaan käyttää standardeissa osoitetulla tavalla.

Nollapistevirheen testaamiseen vaadittavia mittauksia ei pystytä suorittamaan samalla kertaa, koska kappaleessa 4.4. esitetty ohje on tehty tietylle mittausradalle, joka taas ei sovellu standardien vaatimiin mittauksiin. Muita perusteluita nollapistevirheen testaamisen erillisille mittauksille ovat ohjeessa vaadittujen pisteiden suurempi määrä, niiden erilainen sijainti verrattuna edellä mainittuihin Standardeihin. Lisäksi vaadittujen havaintojen määrä on monikertainen verrattuna standardeissa esitettyihin määriin.

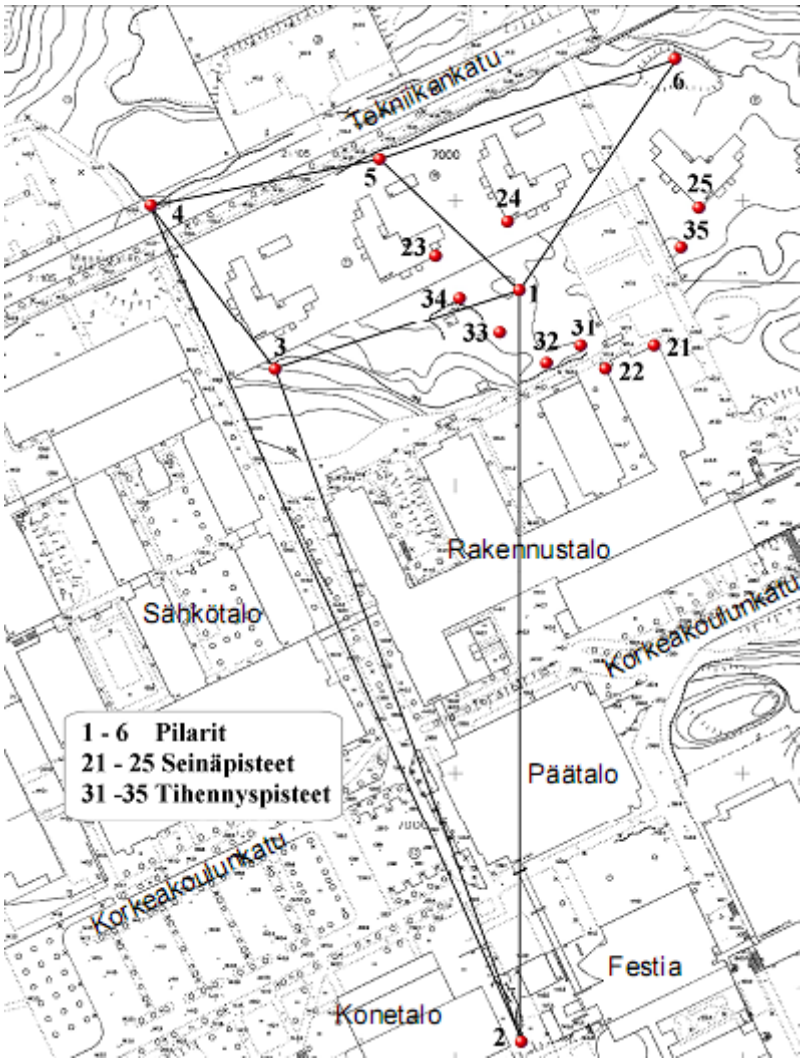
5.1. Mittausten ajankohta ja toistuvuus

Jotta mittaustarkkuuden muutosta pystyttäisiin tehokkaasti seuraamaan, tulisi jokaisella mittauskäytössä olevalla takymetrilla suorittaa seurantakalibrointia toistuvasti tietyn ajanjaksoin. Tässä työssä suositellaan kahta kertaa vuodessa. Kaupungin kanssa käydyn keskustelun perusteella suositeltaviksi ajankohdiksi on valittu kevät ja syksy, sillä kesä on mittaustöiden kiireisintä aikaa ja helteet vaikuttavat huomattavasti mittaustuloksiin. Talvella taas mahdollinen kylmyys vaikuttaa tuloksiin.

5.2. Mittauspaikat

5.2.1. TTY:n koekenttä

Standardeihin 17123-4, 17123-5, 8322-4 perustuvat mittaukset tapahtuvat TTY:n yhteyteen rakennetulla mittausharjoitusradalla. Rataan sisältyy kuusi pilaripistettä, viisi tihennyspistelaattaa ja viisi seinäpistettä. Näiden sijainnit ja nimeäminen selviävät tarkemmin kuvasta 27.



Kuva 27. TTY:n koekenttä

Pilaripisteet (pisteet 1-6) ovat betonista valmistettuja suoria ympyrälieriöitä, joiden päässä on ruuvi pakkokeskistysalustaa varten. Pisteen 2 ja pisteen 1 välinen mittalinja on katkennut TTY:n päätalon

laajennuksen yhteydessä, mutta se ei vaikuta tarvittaviin mittauksiin. Mittauksissa tarvitaan ainoastaan pilaripisteitä 1, 5 ja 6. Näiden välisten mittalinjojen tulisi olla havaittavissa. Mikäli kasvusto estää havaintojen teon näillä pisteillä, tulee kasvustoa raivata.

Kuva 28. Pilaripiste

Tihennyspistelaatat (pisteet 31-35) ovat n. 20 cm korkean betonialustan päällä olevia alumiinilevyjä, joiden keskellä on läpimitaltaan n. 1 mm:n suuruinen reikä merkitsemiskohtana.

Kuva 29. Tihennyspistelaatta

Seinäpisteet (pisteet 21-25) ovat rakennusten seinissä sijaitsevia, n. 10 cm korkeita levyjä, joihin saa ruuvattua seinäpistetelineen kiinni yhteen asentoon.

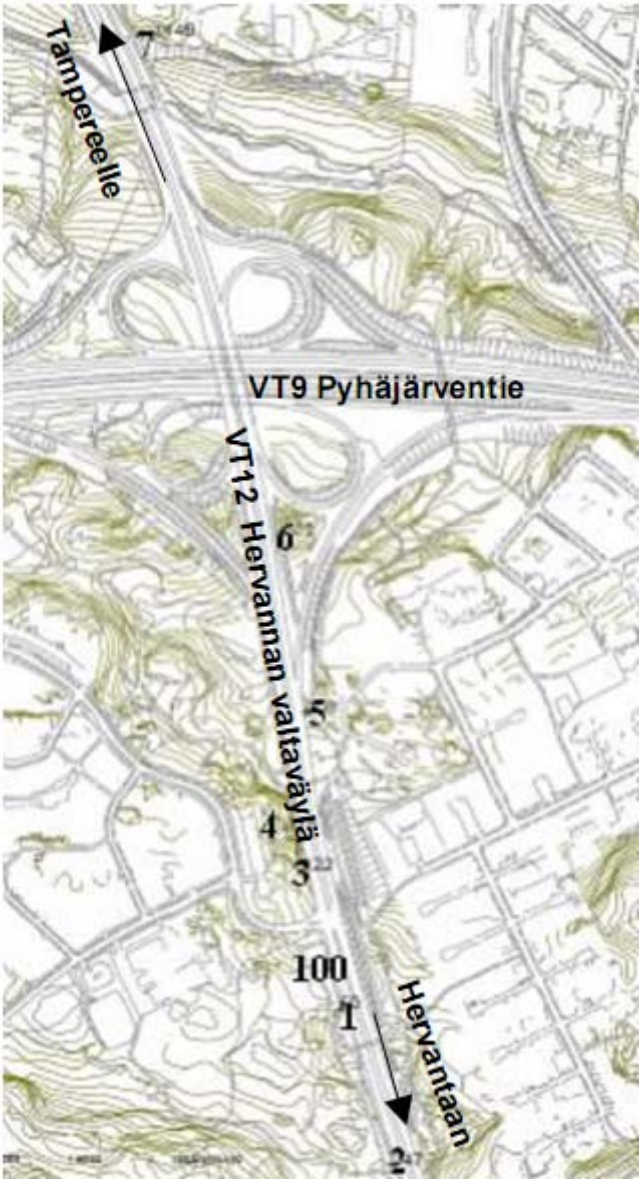
Kuva 30. Seinäpiste

Kuva 31. Seinäpisteteline

Mittauksissa tarvitaan ainoastaan pilaripisteitä 1, 5 ja 6 sekä seinäpisteitä 23, 24. Näiden pisteiden välisten mittalinjojen tulisi olla havaittavissa. Mikäli kasvusto estää havaintojen teon näillä pisteillä, tulee kasvustoa raivata.

5.2.2. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinja

Elektronisen etäisyysmittarin nollapistevirheen testaaminen tapahtuu Hervannan valtaväylän varrella sijaitsevalla elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalla, jossa on 8 pistettä. Piste 100 on kallioon valettu betonipilari, joka toimii testattavan takymetrin kojeasemana. Pilarilla on aluslevy johon takymetrin pakkokeskistysalusta voidaan suoraan kiinnittää. Pisteet 1-7 ovat putkipisteitä kalliossa, joihin keskistetään ja tasataan kolmijalkoihin kiinnitetyt prismat tähyspisteiksi .



Kuva 32. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinja.

5.3. Mittalaitteet

Testattavina takymetreinä ovat Tampereen kaupungin Geodimeterin, Trimblen ja Leican takymetrit. Valmistajien ilmoittamat tarkkuudet on esitetty liitteissä 1-4. Prismojen tulee olla valmistajan kullekin takymetrille hyväksymää mallia. Käytettävien kolmijalkojen, pakkokeskistysalustojen sekä seinäpistetelineiden tulee olla ehjiä. Seinäpisteisiin sopivat telineet saa lainaksi TTY:n rakennustekniikan osastolta. Pitkien etäisyyksien yhteydenpitoon käytetään radiopuhelimia.

5.4. Mittalaitteiden käsittely

Mittauslaitteiden käsittelyssä tulee ottaa huomioon ainakin seuraavia asioita:

- Laitteita käsiteltäessä tulee noudattaa valmistajan ohjeita.
- Mittauslaitteita tulee aina käsitellä varovasti. Erityisesti kojetta liikutettaessa tulee varovaisuus ottaa huomioon.
- Mittauslaitteita ei tule jättää vartioimatta paikkaan, jonne sivullisilla on vapaa pääsy ja jossa on liikennettä.
- Mittauslaitteiden tulee antaa tasaantua ympäristön lämpötilaan. Nopeat lämpötilan muutokset ja kojeiden epätasainen lämpeneminen häiritsevät erityisesti kojeiden tasausta.
- Laitteiden optisia osia on käsiteltävä erityisen varovaisesti. Niihin koskeminen paljain käsin ei ole suotavaa.
- Kostunutta mittauslaitetta ei saa säilyttää kuljetuskotelossaan, vaan sisätiloissa ilmavassa ja kuivassa paikassa.

5.5. Mittausten alustus

5.5.1. Mittausten alustus TTY:n koekentällä

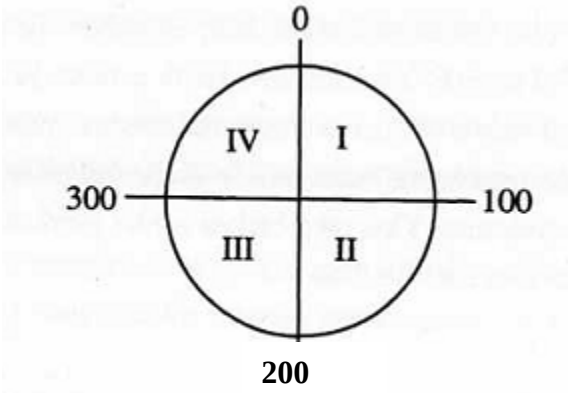
Alustukset tehdään Tampereen maastotieto- ja geotekniikkapalveluiden käyttämillä menetelmillä, joten mittauksista ja laitteesta syntynyt virhe on yhtä suuri kuin normaaleissa työolosuhteissa tehtyjen mittauksien virhe olisi. Mittauskentän asemapisteet, eli kojeasemat on määritelty siten, että asemapisteinä toimivat TTY:n koekentällä pilaripisteet 1, 5 ja 6. Samat pisteet toimivat myös tähyspisteinä riippuen kojeasemasta. Pelkästään tähyspisteinä toimivat seinäpisteet 23 ja 24.

Mittauspisteet on valittu tähän työhön standardien mukaisesti. Standardi ISO 17123-5 tarvitsee mittausten suorittamiseen kolme asemapistettä kuvan 21 mukaisesti. Tämän perusteella työn pilaripisteiksi valittiin kuvan 26 kartasta pisteet 1, 5 ja 6. Kuitenkin

standardien ISO 8322-4 ja 17123-4 mittauskentät vaativat neljä tähyspistettä, joten työhön valittiin pilaripisteiden lisäksi kaksi seinäpistettä (pisteet 23 ja 24), jotka täyttivät pilaripisteisiin nähden standardin 8322-4 sijaintivaatimukset (kuva 24.).

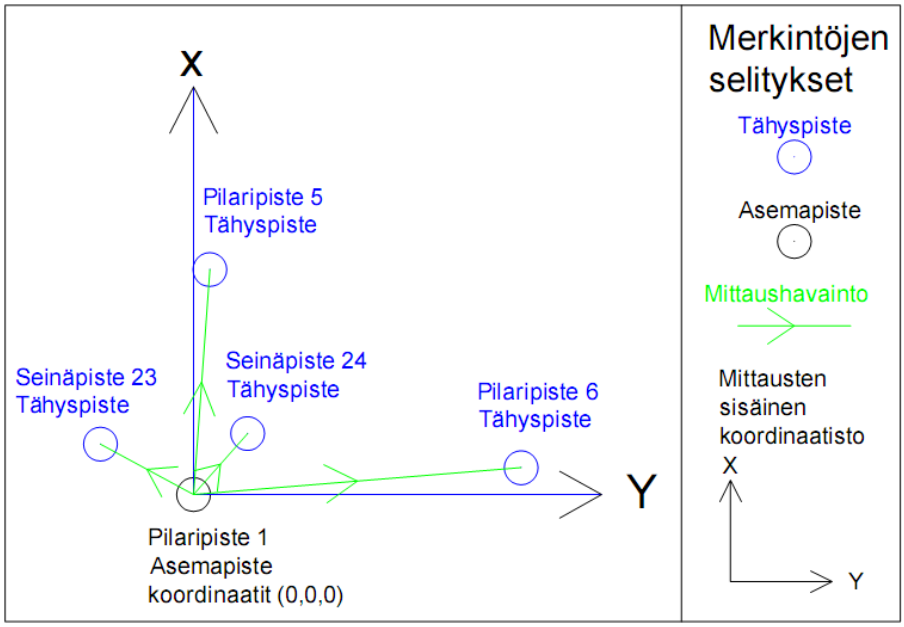
Mittausten alustus aloitetaan viemällä tarvittavat prismat tähyspisteille. Tähyspisteinä toimiville pilaripisteille prisma tasataan pakkokeskistysalustan päälle ja otetaan prismakorkeus mittanauhalla. Seinäpisteillä prisma tasataan seinäpistetelineessä olevan rasiatasaimen avulla, jonka jälkeen mitataan prismakorkeus mittanauhalla.

Asemapisteellä koje alustetaan siten, että se asetetaan pilaripisteelle pakkokeskistysalustalleen, jonka rasiatasaimella takymetri tasataan likimääräisesti. Standardin 17123-4 laskentakaavojen toimimisen vouksi on tärkeää, että takymetri on käynnistettäessä asennossa jossa tähyspisteinä toimivat pilaripisteet jäävät ns. 1. neljännekselle.



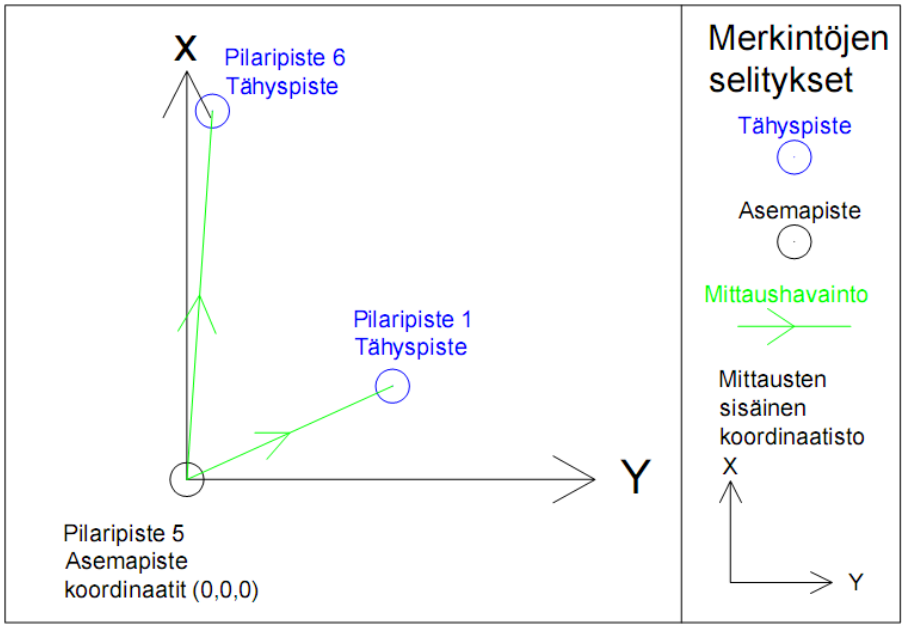
Kuva 33. Suuntakulmien neljännekset. /20/

Tämä pystytään varmistamaan helposti ottamalla suunta asemapisteeltä katsottuna vasemman puoleisen pilaritähyspisteen pilarin vasempaan reunaan ja nollaamalla mittaussuunta. Alla on esimerkit sisäisen koordinaatiston asennosta asemapisteiltä 1, 5 ja 6.



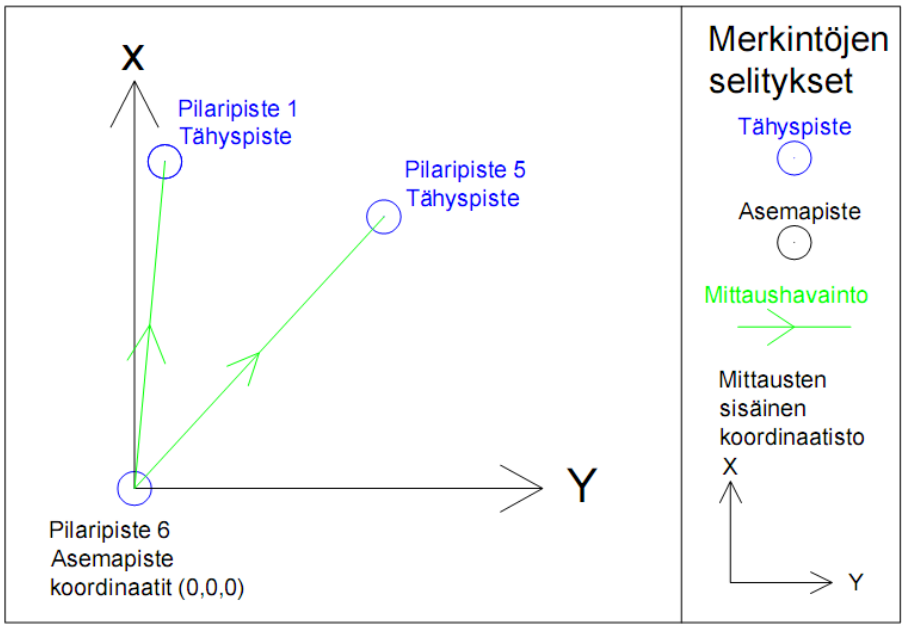
Kuva 34.

Esimerkki sisäisen koordinaatiston asennosta asemapisteellä 1.



Kuva 35.

Esimerkki sisäisen koordinaatiston asennosta asemapisteellä 5.



Kuva 36.

Esimerkki sisäisen koordinaatiston asennosta asemapisteellä 6.

Tämän suuntaamisen jälkeen takymetri käynnistetään ja tasaus suoritetaan loppuun kojeen sisäisellä tasaimella, joka on normaalisti putkitasain. Takymetrille määrittään mittauksessa tarvittavia tietoja, joita ovat prismatyyppi, lämpötila, ilmanpaine, päivämäärä, mittauksen suorittaja. Seuraavaksi määritetään valittu kojeasema asemapisteeksi koordinaateilla (X=0, Y=0 ja Z= nolla). Kojeasemaa ei orientoida minkään pisteen suhteen, vaan mittaukset tapahtuvat jokaisella asemapisteellä sisäisessä koordinaatistossa. Takymetriin asetetaan myös kojekorkeus, joka mitataan mittanauhalla sekä prismakorkeus, joka vaihtelee tähyspisteen mukaan.

5.5.2. Alustus Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalla

Alustus aloitetaan viemällä kolmijalat tähyspisteille 1-7. Kolmijalkoihin kiinnitetään pakkokeskistysalustat, joiden optisten luotien avulla prisma keskistetään ja tasataan tähyspisteen päälle. Mikäli alustassa ei ole optista luotia, käytetään luotilankaa. Prisma suunnataan asemapistettä kohti ja siitä otetaan prismakorkeus.

Seuraavaksi alustetaan asemapiste, jona toimii pilaripiste 100. Koje tasataan alustavasti pakkokeskistysalustan rasiatasaimella. Koje käynnistetään ja suoritetaan lopullinen tasaus, jonka jälkeen takymetrille määritetään mittauksessa tarvittavia tietoja, joita ovat prismatyyppi, lämpötila, ilmanpaine, päivämäärä, mittauksen suorittaja. Kojeesta otetaan kojekorkeus, mutta alustuksen yhteydessä kojeelle ei
aseteta koje tai prismakorkeuksia.

5.6. Mittausjärjestys

5.6.1. Mittausjärjestys TTY:n koekentällä

Mittausjärjestys ei ole sama kaikissa standardien ohjeissa, joten mittausjärjestystä on jouduttu tässä työssä soveltamaan. Lähtökohtana on pidetty sitä, että vaaditut havainnot tulee suoritettua. Näiden havaintojen järjestys on asetettu toissijaiseen asemaan. Tärkeää on kuitenkin järjestyksen johdonmukaisuus ja helppo toistettavuus. Mittausten suoritus on määritelty seuraavien vaatimusten perusteella. Standardi 17123-5 vaatii kaikilta kolmelta asemapisteeltä (pisteet 1, 5 ja 6) mitattavaksi kolme havaintosarjaa kahdelle tähyspisteelle (pisteet 1, 5 ja 6). Muut käytetyt standardit vaativat yhden asemapisteen (piste 1) ja neljä tähyspistettä (pisteet 23, 5, 24 ja 6). Standardi 8322-4 vaatii 4 havaintosarjaa, kun taas 17123-4 vaatii vain kolme havaintosarjaa.

Kaikki mittaukset suoritetaan molemmissa kojeasennoissa ns. pistepois- menetelmällä, jossa jokaiselle tähyspisteelle mitataan havainnot molemmissa kojeasennoissa ennen siirtymistä seuraavan tähyspisteen mittaamiseen. Asennossa I koje on normaaliasennossa ja asennossa II kojetta käännetään pysty- ja vaaka-akselinsa ympäri 200 goonia.

Alla olevassa taulukossa esitetään mittausjärjestys, johon tässä työssä on päädytty. Asemapisteeltä 1 mitataan neljä havaintosarjaa

molemmissa asennoissa tähyspisteille 23, 5, 24, 6. Asemapisteeltä 5 mitataan kolme havaintosarjaa molemmissa asennoissa tähyspisteille 6 ja 1.

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
1 --> 23	1	1	23
1 --> 5	1	1	5
1 --> 24	1	1	24
1 --> 6	1	1	6
5 --> 6	1	5	6
5 --> 1	1	5	1
6 --> 1	1	6	1
6 --> 5	1	6	5

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
1 --> 23	3	1	23
1 --> 5	3	1	5
1 --> 24	3	1	24
1 --> 6	3	1	6
5 --> 6	3	5	6
5 --> 1	3	5	1
6 --> 1	3	6	1
6 --> 5	3	6	5

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
1 --> 23	2	1	23
1 --> 5	2	1	5
1 --> 24	2	1	24
1 --> 6	2	1	6
5 --> 6	2	5	6
5 --> 1	2	5	1
6 --> 1	2	6	1
6 --> 5	2	6	5

Pisteet	Sarja (i)	Kojeasema (j)	tähyspiste (k)
1 --> 23	4	1	23
1 --> 5	4	1	5
1 --> 24	4	1	24
1 --> 6	4	1	6

Taulukko 2. Mittausjärjestys TTY:n koekentällä.

Jokainen mittaus suoritetaan siten, että tuloksena on tähyspisteen X-, Y- ja Z-koordinaatit mittauksen sisäisessä koordinaatistossa. Yksi vaihtoehto tähän on kartoittaa tähyspisteet. Kartoitettujen pisteiden nimeäminen tulee tapahtua selkeästi, jotta havaintojen jatkokäsittely on mahdollisimman vaivatonta. Esimerkkinä kartoitetun pisteen numeroon voi yhdistää sarjan, kojeaseman, tähyspisteen ja asennon. Kartoituksessa on tärkeää muistaa määrittää aina tähyspisteen prismakorkeus.

Toinen vaihtoehto on käyttää havaintosarja- ohjelmaa, mikäli takymetristä sellainen löytyy. Ainakin Leica TCRA 1205 -takymetristä sellainen löytyy. Myös Geodimeterin ja Trimblen takymetreihin on mahdollista ohjelmoida havaintosarjaohjelma ns. UDS-kyselyrutiinin avulla. UDS-kyselyrutiinin ohjelmointi on esitetty liitteessä 6. Ainoastaan Leican 1100 -sarjan takymetreissä ei ole mitään erillistä havaintosarjaohjelmaa.

5.6.2. Mittausjärjestys Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalla

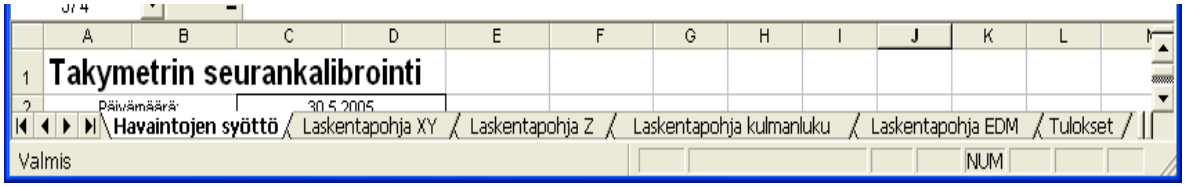
Mittausjärjestys on tällä kalibrointilinjalla hyvin yksinkertainen. Asemapisteeltä 100 mitataan jokaiseen tähyspisteeseen (pisteet 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 7) kymmenen etäisyyshavaintoa. Järjestyksellä ei ole niin väliä kunhan kaikki havainnot saadaan merkittyä havaintopöytäkirjaan, jota käsitellään lisää osiossa mittaustulosten käsittely.

6. Mittaustulosten käsittely

6.1. TTY:n koekentältä saatujen mittaushavaintojen käsittely

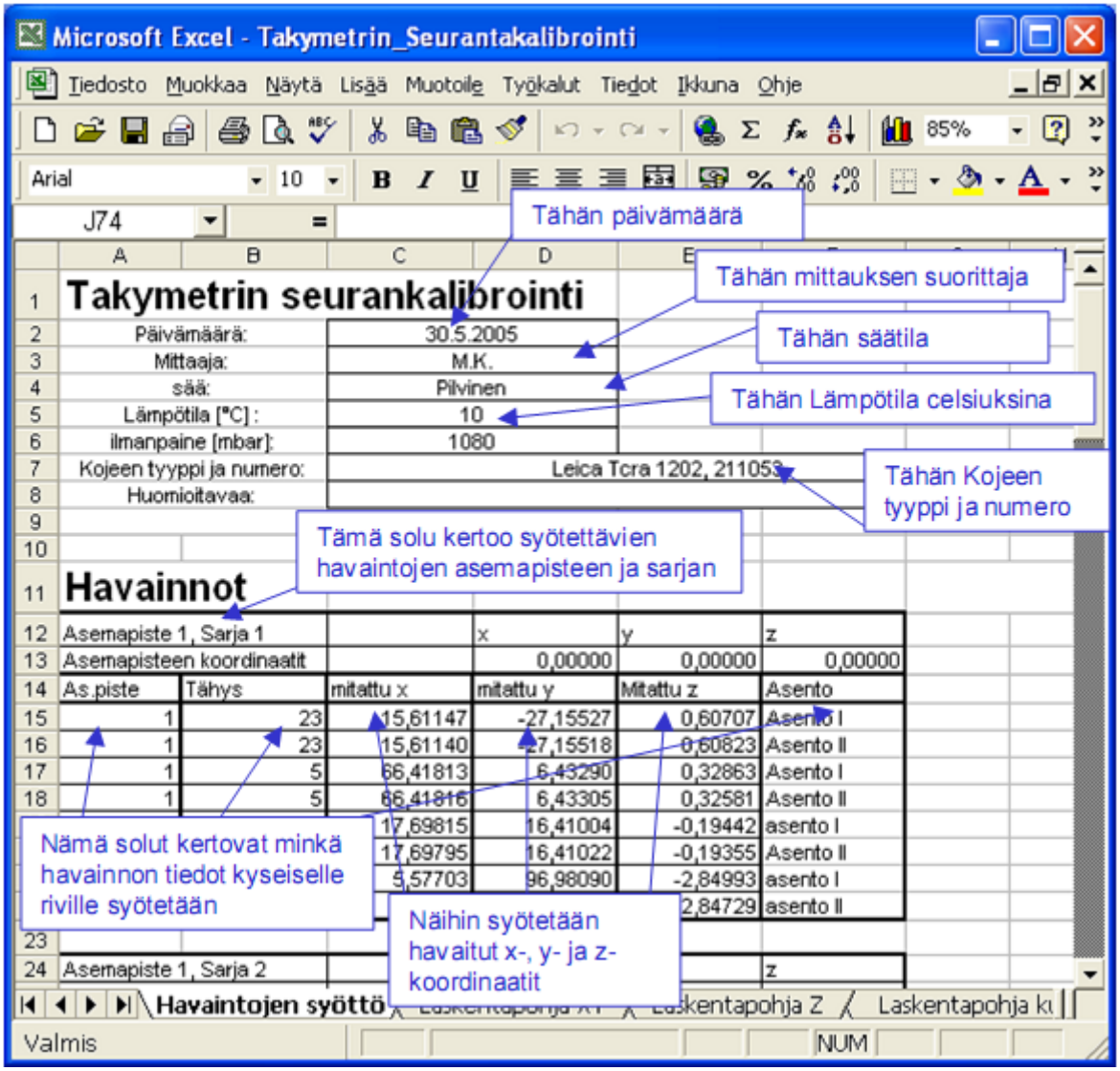
Mittaushavainnot tulee käsitellä sellaiseen numeeriseen muotoon, että tiedostosta on mahdollista saada mitatut X-, Y-, ja Z-koordinaatit jatkokäsittelyä varten. Tämä muuntaminen tapahtuu 3D- win -ohjelmalla, joka on Tampereen kaupungin yleisesti käyttämä mittausdatan käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Takymetrin tuottama mittaustiedosto avataan 3D-winissä, jossa havainnot muutetaan 3D-winin käyttämään XD-havaintoformaattiin. Tämän jälkeen XD-muotoiset havainnot voidaan laskea koordinaateiksi toiminnon laskenta- havaintokirja- laskenta kautta.

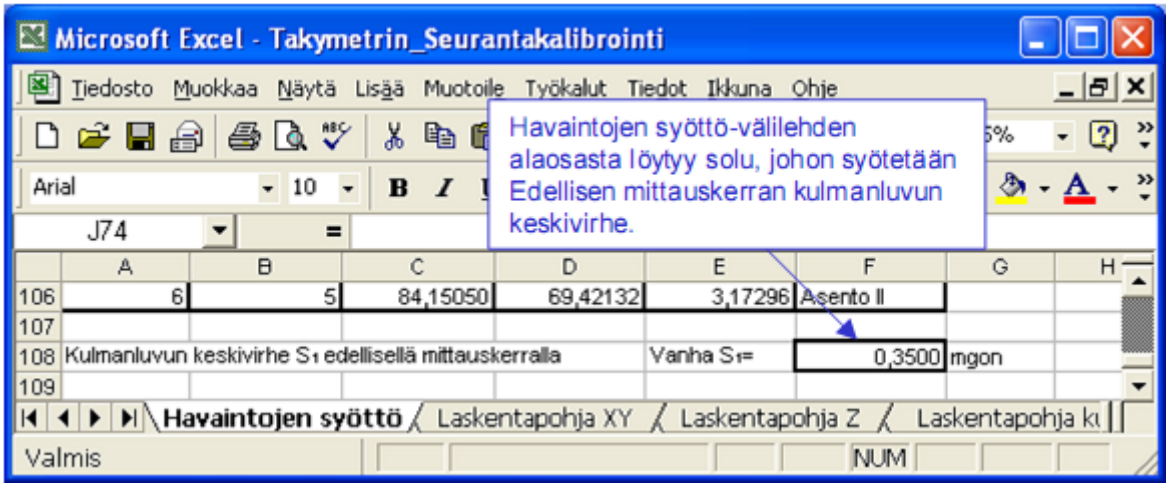
Havainnoista saadut koordinaatit syötetään tätä työtä varten tehtyyn seurantakalibrointi- taulukkoon. Se on excel -taulukko, jolla lasketaan X-, Y- ja Z- koordinaattihavaintojen avulla tässä työssä käsiteltyjen standardien mukaiset virheet. Taulukossa on kuusi välilehteä, jotka ovat havaintojen syöttö, laskentapohja XY, laskentapohja Z, laskentapohja kulmanluku, laskentapohja EDM ja tulokset.



Kuva 37. Seurantakalibrointi- taulukon välilehdet.

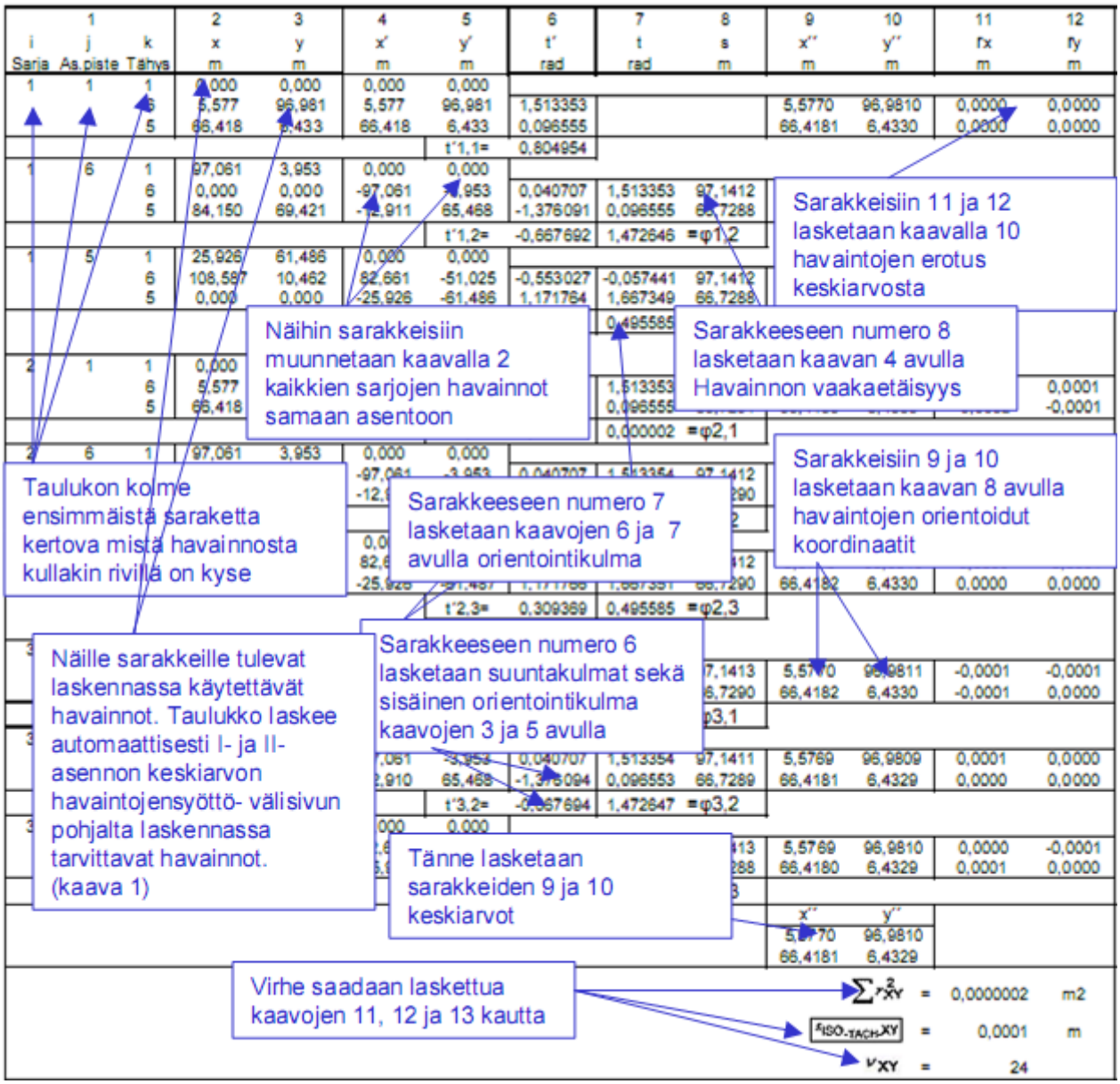
Ensimmäisenä näistä välilehdistä on havaintojen syöttö. Tämä on mittaajan kannalta tärkein ja työläin taulukon osa. Havaintojen syöttöön kirjataan mittauksista saadut koordinaatit, mittauksen päivämäärä, mittaaja, lämpötila, ilmanpaine, kojeentyyppi ja numero, muut mittauksessa huomiotavat asiat sekä edellisestä seurantakalibrointimittauksesta saatu kulmaluvun keskivirhe S1. Asiaa on pyritty havainnollistamaan kuvissa 38 ja 39, joissa havaintojen syöttämistä on havainnollistettu esimerkkihavaintojen kanssa. Esimerkkinä käytetty havaintotaulukko on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6.





Kuvat 38 ja **39.** Havaintojen syöttämistä seurantakalibrointi-taulukkoon ohjeistavat kuvat.

Kun havainnot on syötetty, laskee taulukon jokainen laskentapohja-välilehti nimensä mukaisen suureen virheen. Kaikki välilehdet hakevat automaattisesti laskentaan tarvitut havainnot havaintojen syötöstä. Tästä syystä laskennan onnistumiselle on erittäin tärkeää, että havainnot on syötetty oikeaan soluun. Alla käydään tarkemmin laskentataulukon välisivujen käytäntöä. Nämä laskennat tapahtuvat automaattisesti havaintojen syötön yhteydessä.



Kuva 40. Seurantakalibrointi- taulukon automaattisen x- ja y – koordinaatin virheen laskemisen periaate.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	j	k	$Z_{i,j,k}$ m	Z_2	Z_3	δ	-2,8476 m	0,3282 m	0,0006 m	$r_{i,j,k}$ m
1	1	6	-2,84861	2	1	-1	1	0	-1	0,0004
	1	5	0,32722	1	2	-1	0	1	-1	0,0003
1	6	1	2,84616	-2	-1	-1	-1	0	-1	0,0007
	6	5	3,175935	-1	1	-1	-1	1	-1	-0,0008
1	5	1	-0,32903	-1	-2	-1	0	-1	-1	0,0002
	5	6	-3,17493	1	-1	-1	1	-1	-1	-0,0015
2	1	6	-2,84885	2	1	-1	1	0	-1	0,0006
	1	5	0,327295	1	2	-1	0	1	-1	0,0003
2	6		2,846435	-2	-1	-1	-1	0	-1	0,0005
	6	5	3,174135	-1	1	-1				-0,0010
2	5	1	-0,32863	-1	-2	-1				-0,0002
	5	6	-3,1761	1	-1	-1				-0,0003
3	1	6	-2,84904	2	1	-1				0,0008
					2	-1	0	1	-1	0,0000
					-1	-1	-1	0	-1	0,0007
					1	-1	-1	1	-1	-0,0007
					-2	-1	0	-1	-1	0,0006
	5	6	-3,17577	1	-1	-1	1	-1	-1	-0,0006
Tuntemattomat osatekijät				-2,8476 m	0,3282 m	0,0006 m	$\sum r_Z^2$		0,0000081 m2	
							$s_{ISO\text{-}TACH\text{-}Z}$		0,0007 m	
							ν_Z		15	

Sarakkeeseen 11 lasketaan kaavalla 18 havaintojen jäännökset.

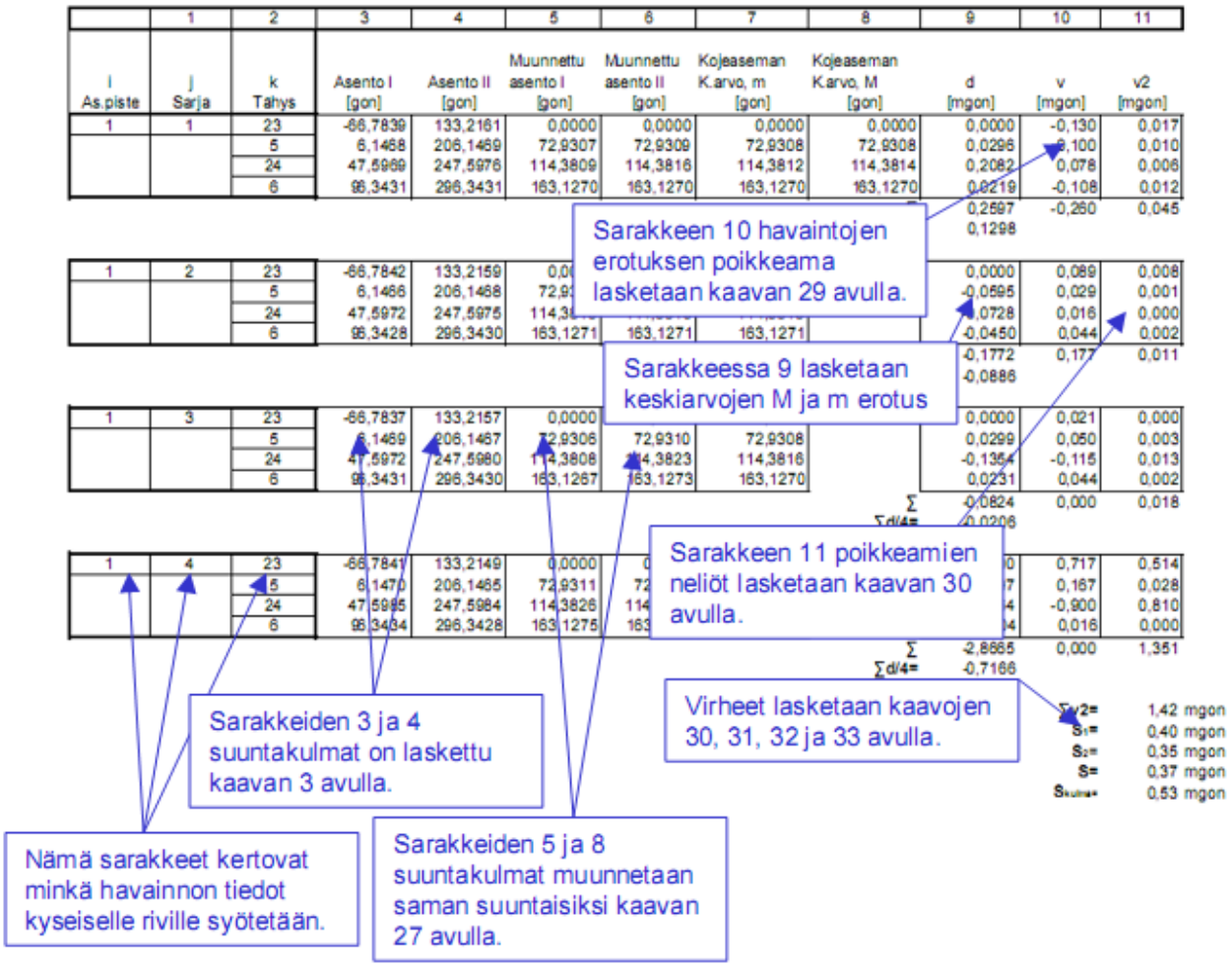
Nämä solut kertovat minkä havainnon tiedot kyseiselle riville syötetään

Näille sarakkeille tulevat laskennassa käytettävät havainnot. Taulukko laskee automaattisesti I- ja II-asennon keskiarvon havaintojensyöttö- välisivun pohjalta laskennassa tarvittavat havainnot. (kaava 1)

Näihin kohtiin lasketaan pisteiden 6 ja 5 tuntemattomat tekijät sekä koje- ja prismakorkeuden erotus (kaavat 15, 16, 17)

Virhe lasketaan kaavojen 19, 20 ja 21 kautta.

Kuva 41. Z-koordinaatin virheen laskenta.



Kuva 42. Kulmanluvun keskivirheen laskenta

Pisteet	Mitattu vaakamatka	Mitattu vaakamatka Ka	TTY:n mittaama vaakamatka	poikkeama
	m	m	m	mm
1 --> 24	24,1353253	24,13537	24,13496	-0,4
1 --> 24	24,135301			
1 --> 24	24,1354979			
1 --> 23	31,3229418	31,32291	31,32111	-1,8
1 --> 23	31,3228289			
1 --> 23	31,3229514			
1 --> 5	66,7289307	66,72898	66,72971	0,7
1 --> 5	66,728975			
1 --> 5	66,7290338			
1 --> 6	97,1411253	97,14105	97,14115	0,1
1 --> 6	97,141224			
1 --> 6	97,1408025			

Kuva 43. Etäisyysmittarin poikkeamat.

Kun havainnot on saatu syötettyä seurantakalibrointitaulukkoon, suoritetaan nopea tarkastus karkeiden mittausvirheiden takia. Mikäli tuloksissa ei esiinny mitään outoa, voidaan tulostaa taulukon viimeinen välilehti, jonne on kerätty tulokset. Näitä tuloksia verrataan edellisiin tuloksiin ja sallittuihin virheisiin. Mikäli tulokset ovat muuttuneet radikaalisti edellisiin verrattuna ja mittaustarkkuuden vaatimukset eivät täyty, tulisi seurantakalibrointi suorittaa uudestaan karkeiden virheiden mahdollisuuden poistamiseksi. Jos tulos pysyy yhä heikkolaatuisena, tulisi koje viedä huoltoon.

Takymetrin seurankalibrointi

Päivämäärä:	30.5.2005
Mittaaja:	M.K.
sää:	Pilvinen
Lämpötila [°C] :	10
ilmanpaine [mbar]:	1080
Kojeen tyyppi ja numero:	Leica Tcra 1202, 211053
Huomioitavaa:	0

Yhden x- tai y-koordinaatin keskivirhe kojeen molemmissa asennoissa mitattuna		
$s_{ISO\text{-}TACH\text{-}XY}$	=	0,1 mm

Yhden z-koordinaatin keskivirhe kojeen molemmissa asennoissa mitattuna		
$s_{ISO\text{-}TACH\text{-}Z}$	=	0,7 mm

kahden kojeasennon kulmamittauksen keskivirhe S1 yhden mittauspäivän perusteella		
S1=		0,40 mgon

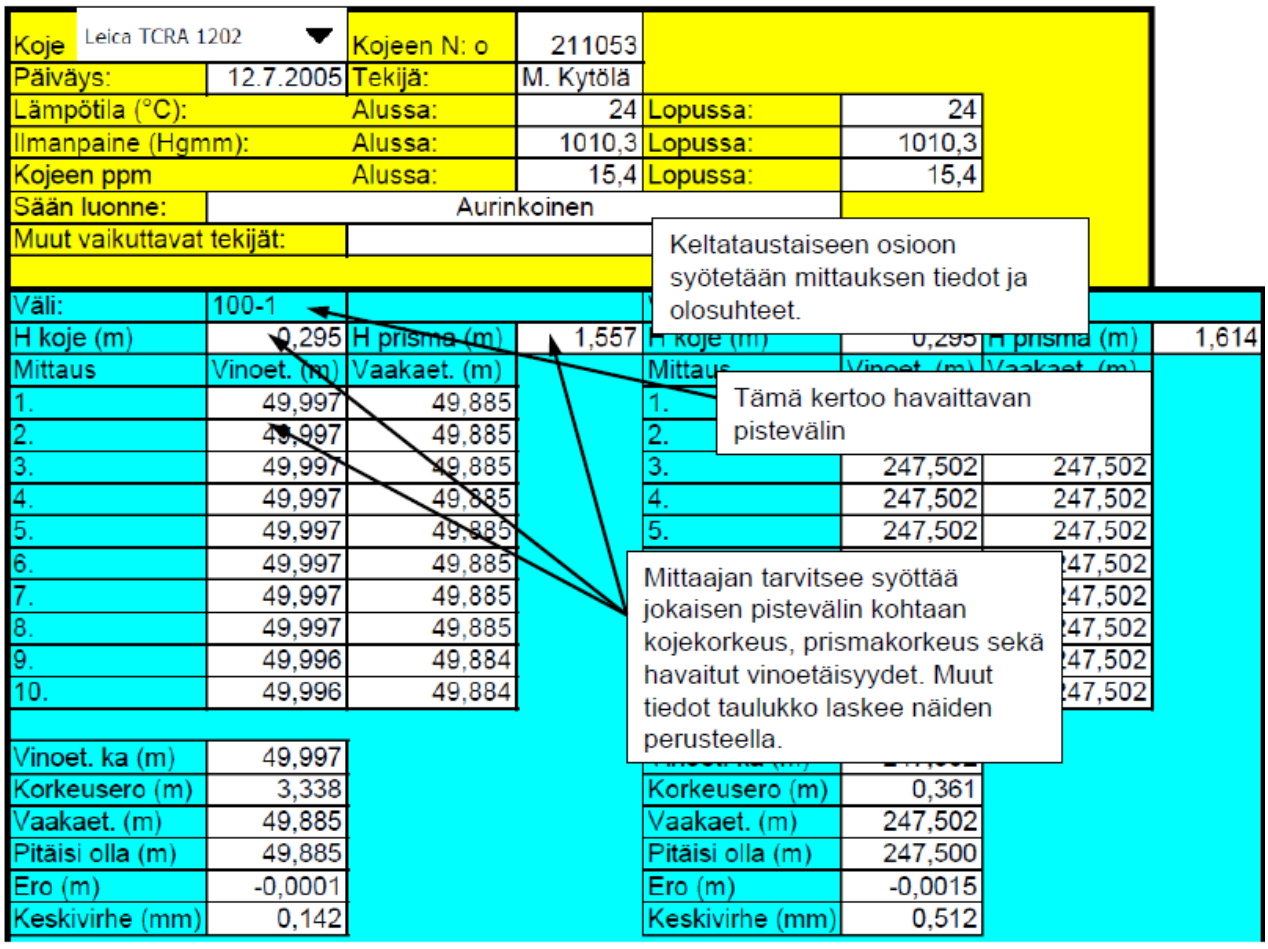
Lopullinen kahden kojeasennon kulmamittauksen keskivirhe Skulma kahden mittauspäivän perusteella		
Skulma=		0,53 mgon

Etäisyyshavaintojen poikkeamat		
1 --> 24	-0,4	mm
1 --> 23	-1,8	mm
1 --> 5	0,7	mm
1 --> 6	0,1	mm

Kuva 44. Seurantakalibroinnin tulokset

6.2. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjalta saatujen mittaushavaintojen käsittely

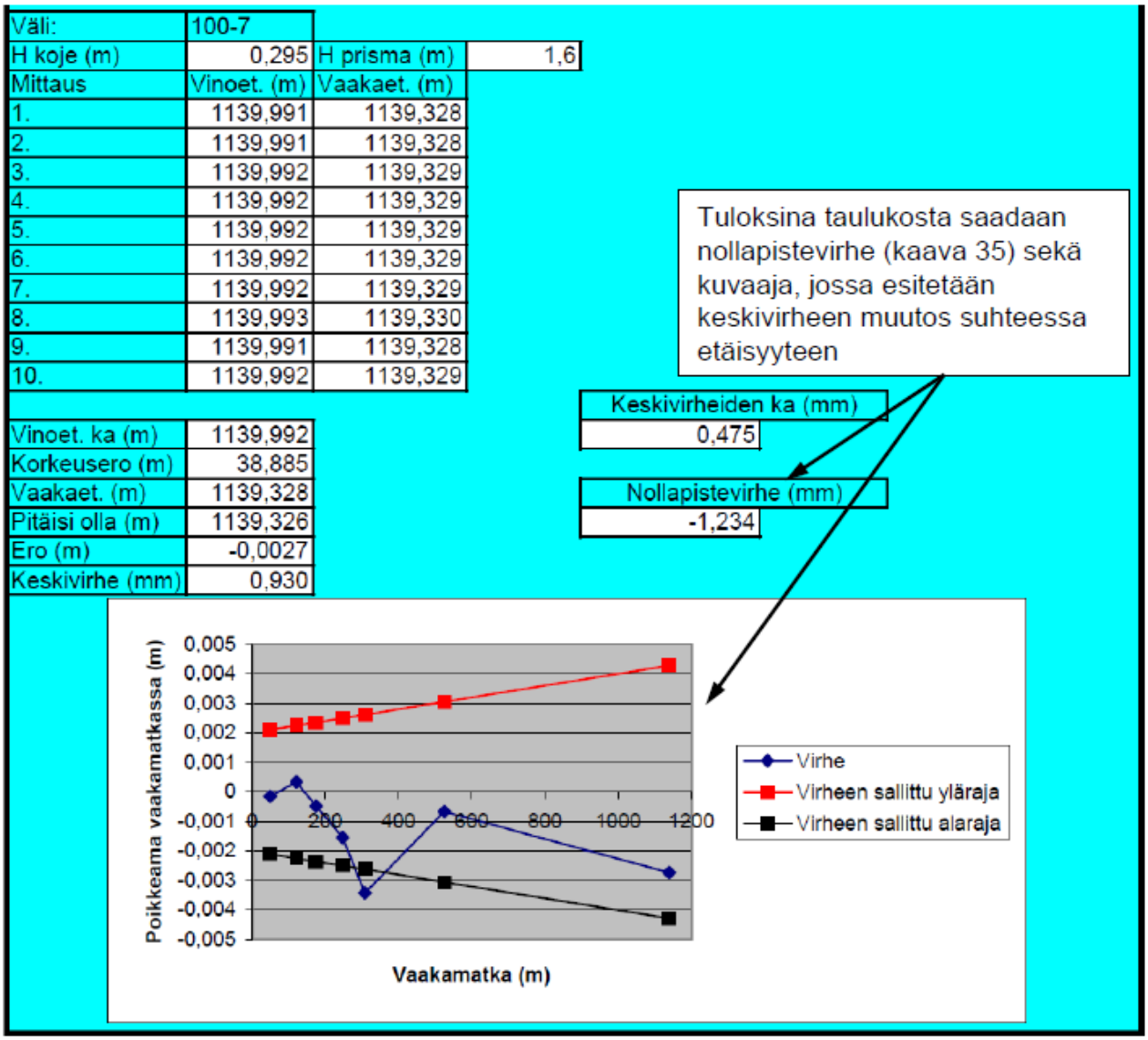
Mittaushavaintoja ei tarvitse erikseen käsitellä mihinkään tiettyyn muotoon. mittauksesta saatu etäisyyshavainto kirjataan sellaisenaan havaintopöytäkirjaan. Havainnoista saadaan laskettua nollapistevirhe. Tämä laskenta suoritetaan Etäisyysmittaus_nollapistevirhe- nimisellä excel-taulukolla. Taulukkoon syötetään mitatut havainnot, joiden perusteella se laskee nollapistevirheen. Alla olevissa kuvissa on esitetty taulukon toimintaa.



Koje	Leica TCRA 1202	Kojeen N: o	211053		
Päiväys:	12.7.2005	Tekijä:	M. Kytölä		
Lämpötila (°C):		Alussa:	24	Lopussa:	24
Ilmanpaine (Hgmm):		Alussa:	1010,3	Lopussa:	1010,3
Kojeen ppm		Alussa:	15,4	Lopussa:	15,4
Sään luonne:		Aurinkoinen			
Muut vaikuttavat tekijät:					

Väli:	100-1						
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,557	H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,614
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)		Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	49,997	49,885		1.			
2.	49,997	49,885		2.			
3.	49,997	49,885		3.	247,502	247,502	
4.	49,997	49,885		4.	247,502	247,502	
5.	49,997	49,885		5.	247,502	247,502	
6.	49,997	49,885				247,502	
7.	49,997	49,885				247,502	
8.	49,997	49,885				247,502	
9.	49,996	49,884				247,502	
10.	49,996	49,884				247,502	
Vinoet. ka (m)	49,997						
Korkeusero (m)	3,338			Korkeusero (m)	0,361		
Vaakaet. (m)	49,885			Vaakaet. (m)	247,502		
Pitäisi olla (m)	49,885			Pitäisi olla (m)	247,500		
Ero (m)	-0,0001			Ero (m)	-0,0015		
Keskivirhe (mm)	0,142			Keskivirhe (mm)	0,512		

Kuva 45. Etäisyysmittauksen nollapistevirheen laskemiseen tarkoitetun taulukon täyttäminen.



Kuva 46. Etäisyysmittauksen nollapistevirheen laskemiseen tarkoitetun taulukon antamat tulokset.

7. Johtopäätökset

Tässä tutkintotyössä on laadittu ohjeistus takymetriryhmän seurantakalibroinnin suorittamiselle. Tältä osalta tutkintotyön tehtävänanto on mielestäni täytetty. Ohjeistuksen mukaan suoritettujen mittausten havainnoista saa tätä työtä varten luotujen laskentataulukoiden avulla selville takymetrin käytön tarkkuuden. Näin ollen Tampereen kaupunki pystyy todentamaan soveltuuko tietty mittausryhmä kalustoineen suoritettavaan mittaustehtävään.

Tampereen kaupungilla oli toive, että kalibroinnin mittausten mittaustiedostot voisi muokata sellaiseen muotoon, josta tarvittavat tulokset saisi automaattisesti. Tältä osin työhän jäi kehittämistarve, sillä mittauksista saadut havainnot joudutaan kopioimaan tai syöttämään manuaalisesti laskentataulukoihin. Tämä taas lisää inhimillisen virheen mahdollisuutta.

Työn aikataulu venyi moninkertaiseksi alun perin suunnitellusta, mutta kiitän työn tilaajan ja valvovan opettajan sekä kotijoukkojen pitkäjänteisyyttä. Koin pitkän tutkintotyörupeaman aikana oppineeni melkoisesti hyödyllisiä asioita mittaustekniikan teoriasta ja käytännöstä. Mittaustekniikan tietämyksen olen kokenut erittäin hyödyllistä infra-alan suunnittelutehtävissä, joita olen toteuttanut tämän työn edetessä. Suurin syy tähän on suunnitelmien pohjana olevien maastomallien tarve jokaisessa suunnittelun vaiheessa esisuunnitelmista rakennussuunnitelmiin.

8. Jatkotoimenpiteet

Työstä tehdään tiivistelmä, joka toimii kaupungin mittamiesten kalibrointimittausten kenttäohjeena. Tampereen kaupunki alkaa toteuttaa ohjeistuksen mukaista seurantakalibrointia käytännössä. Ensimmäisten käytännön kalibrointien jälkeen tutkitaan löytyykö ohjeistuksessa puutteita tai parannettavaa. Kaupungin olisi hyvä kouluttaa yksi mittamies seurankalibroinnista vastaavaksi henkilöksi, joka pystyisi opastamaan mittaryhmiä mittausten suorittamisessa ja hoitaisi kojetarkkuuksien seurantaa. Mittaushavainnoista saatujen mittaustiedostojen muokkausta käsittelyä voidaan tehostaa sopivalla ohjelmoinnilla, joten kaupunki voi aloittaa kehitysprojektin tähän liittyen.

9. Lähteet

1. Rantanen Pasi, Maastomittauksen perusteet. Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy 2001. 331s.
2. Salmenperä hannu, maasto- ja rakennusmittauksen perusteet, TTKK geoinformatiikka, Tampere 2002, 197s.
3. Vermeer Martin, Johdanto geodesiaan, [www-sivu], 27.9.2007, saatavilla: http://users.tkk.fi/~mvermeer/johd.pdf
4. Laurila Pasi, Mittausvälineiden käsittely ja mittausten suoritus. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere 1992. 70 s.
5. Kaavoitusmittausohjeet. Maanmittauslaitoksen julkaisuja nro 94. Edita Prima Oy, Helsinki 2003, 57 s.
6. Tasanen Ilkka, Teodoliitin ja etäisyysmittarin tarkistus ja seurantakalibrointi. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere 1993, 32 s.
7. USAID's Land Titling and Economic Restructuring Program in Afghanistan (Afganistanin kiinteistöjärjestelmän ja talouden jälleenrakentamisprojekti), Advanced courses on land survey and mapping, session 1.3. [www-sivu], saatavilla: http://www.ltera.org/Documents/Polytechnical/Session_13_Measuring_angles_and_distances_with_a_total_station.ppt
8. Tasanen Ilkka, Mittaustekniikka. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Yhdyskuntatekniikka. Tampere 2005
9. Kärkäs Esa, Teodoliittihavaintojen laskennallinen käsittely 3D-koordinaatistoissa. Lisensiaattityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Tampere 1992. 87 s.
10. Tasanen Ilkka, seurantakalibrointiohjeet, Opintomateriaalia. Tampereen ammattikorkeakoulu. Yhdyskuntatekniikka. Tampere.
11. Oregon department of Transportation, Instrument Care and Maintenance, Odot Surveyor´s Conference. [www-sivu], saatavilla: http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/GEOMETRONICS/docs/InstrumentCareandMaintenance.pdf

12. Leica Geosystems, Leica TPS1200 User manual. Leica TPS1200-takymetrin käyttöohjeet. 225 s.
13. Trimble, Trimble 5600 series User manual. Trimble 5600- sarjan takymetrien käyttöohjeet.
14. Lekman Lare, www-ohjelma mittaustekniikan opiskeluun., Evtek. [www-sivu] saatavilla: http://maanmittaus.evtek.fi
15. Leica geosystems, Leican tuoteluettelot. [www-sivu], saatavilla: www.leica.fi
16. ISO, Optics and optical instruments- 17123: Field procedures for testing geodetc and surveying instruments- part 5: Electronic tacheometers, Standardi
17. ISO, Building construction- 8322: Measuring instruments- Procedures for determing accuracy in use- part 4: theodolites
18. ISO, Optics and optical instruments- 17123: Field procedures for testing geodetc and surveying instruments- part 5: Electro-optical distance meters (EDM instruments), Standardi
19. Taavitsainen Markku, Rakennustyömaan runko- ja paikalleenmittausten tarkkuus. Lisensiaattityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Tampere 1986. 106 s.
20. Rantanen Pasi, Maastomittauslaskennan perusteet. Opetushallitus. Oy Edita Ab 2000. 243 s.

10.Liitteet

1. Valmistajan ilmoittamat Geodimeter 600-sarjan takymetrien virheet.
2. valmistajan ilmoittamat Trimble 5600-sarjan takymetrien virheet.
3. valmistajan ilmoittamat Leica 1100-sarjan takymetrien virheet.
4. valmistajan ilmoittamat Leica 1200-sarjan takymetrien virheet.
5. Yhteenveto kaavoitusmittausohjeessa määritellyistä kohteista, niiden mittausmenetelmistä ja tarkkuusvaatimuksista.
6. UDS- kyselyrutiinin ohjelmointi Geodimeter ja Trimble-takymetreihin.
7. TTY:n koekentän excel-laskentataulukon havaintojen syöttö-kaavake vuonna 2005 suoritetuilla mittaushavainnoilla.
8. Hervannan valtaväylän elektronisten etäisyydenmittauskojeiden kalibrointilinjan mittaushavaintojen käsittelyyn tarkoitettu excel-taulukko.

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

valmistajan ilmoittamat Geodimeter 600-sarjan takymetrien virheet

Accuracy

	7 650S PRO	1 640S PRO	2 620S PRO	3 610S PRO	4 608S PRO
Angle Measurement					
Accuracy *(Standard deviation based on DIN 18723)*	0.3 mgon = 3cc (1")	0.3 mgon = 3cc (1")	0.5 mgon = 5cc (2")	1.0 mgon = 10cc (3")	1.5 mgon = 15cc (5")
Angle reading (least count) *Number of decimals can be specified by the user*					
Arithmetic mean value (D-bar):	0.01 mgon = 0.1cc (0.1") *(horizontal angle)*	0.01 mgon = 0.1cc (0.1") *(horizontal angle)*	0.1 mgon = 1cc (1")	0.1 mgon= 1cc (1")	0.1 mgon= 1cc (1")
Standard measurement:	0.1 mgon = 1cc (1")	0.1 mgon = 1cc (1")	0.1 mgon = 1cc (1")	0.1 mgon= 1cc (1")	0.1 mgon= 1cc (1")
Fast tracking:	0.5 mgon = 5cc (2")	0.5 mgon = 5cc (2")	0.5 mgon = 5cc (2")	0.5 mgon= 5cc (2")	0.5 mgon= 5cc (2")
Automatic level compensator					
Dual-axis compensator with a working range of:	±100 mgon = 10c (6')	±100 mgon = 10c (6')	±100 mgon = 10c (6')	±100 mgon = 10c (6')	±100 mgon = 10c (6')
Distance Measurement					
Accuracy M.S.E.					
Arithmetic mean value (D-bar):	±(1 mm + 1 ppm)	±(2 mm + 2 ppm)	±(2mm + 2 ppm)	±(2 mm + 2 ppm)	±(3 mm + 3 ppm)
Standard measurement (STD):	±(2 mm + 2 ppm)	±(3 mm + 2 ppm)	±(3 mm + 2 ppm)	±(3 mm + 2 ppm)	±(5 mm + 3 ppm)
Fast standard (FSTD)	±(4 mm + 2 ppm)	±(8 mm + 2 ppm)	±(8 mm + 2 ppm)	±(8 mm + 2 ppm)	±(8 mm + 3 ppm)
Fast tracking - max 4m/sec. (TRK):	±(6mm + 2 ppm)	±(10 mm + 2 ppm)	±(10 mm + 2 ppm)	±(10 mm + 2 ppm)	±(10 mm + 3 ppm)
Shortest possible range:	0.2 m	0.2 m	0.2 m	0.2 m	0.2 m
Least count					
Arithmetic mean value (D-bar):	0.1 mm	0.1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Standard measurement (STD):	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Fast standard (FSTD):	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Fast tracking (TRK):	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
Measuring time:					
Arithmetic mean value (D-bar):	Users decision	Users decision	Users decision	Users decision	Users decision
Standard measurement (STD):	3.5 sec.	3.5 sec.	3.5 sec.	3.5 sec.	3.5 sec.
Fast standard (FSTD):	1.3 sec.	1.3 sec.	1.3 sec.	1.3 sec.	1.3 sec.
Fast tracking (TRK):	0.4 sec.	0.4 sec.	0.4 sec.	0.4 sec.	0.4 sec.
Light source:	Infrared GaAs diode	Infrared GaAs diode	Infrared GaAs diode	Infrared GaAs diode	Infrared GaAs diode
Beam divergence:	1.6 mrad (16 cm/100 m)	1.6 mrad (16 cm/100 m)	1.6 mrad (16 cm/100 m)	1.6 mrad (16 cm/100 m)	1.6 mrad (16 cm/100 m)
Atmospheric correction:	-60 till 195 ppm continuously	-60 till 195 ppm continuously	-60 till 195 ppm continuously	-60 till 195 ppm continuously	-60 till 195 ppm continuously

Range

	1 Module 1	2 Module 2	3 Module 3	4 Module 4	5 Module 5
Range using Geodimeter prism 571 125 021. Standard clear*					
With one prism:	2500 m (1.6 miles)	2000 m (1.2 miles)	1500 m (0.9 miles	1800 m (1.1 miles)	1200 m (0.7 miles)
1 prism long range mode:	3500 m (2.2 miles)	2800 m (1.7 miles)		2500 m	1800 m
With triple prism:	3500 m (2.2 miles	2800 m (1.7 miles)	2100 m (1.3 miles		

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

Liite 2

valmistajan ilmoittamat Trimble 5600-sarjan takymetrien virheet

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Angle measurement

Accuracy (Standard deviation based on DIN 18723)

5603	3" (1.0 mgon)
5605	5" (1.5 mgon)

Angle reading (least count)

Horizontal & vertical	
Standard measurement	1" (0.1 mgon)
Fast Standard	1" (0.1 mgon)
Tracking	2" (0.5 mgon)

Arithmetic mean value (D-bar)

5603–5605	
Horizontal & vertical angle	1" (0.1 mgon)

Automatic level compensator — Dual-axis compensator ±6' (±100 mgon)

Distance measurement

Accuracy (standard deviation)

Prism, high-precision DR Standard EDM*	
Standard measurement	±(2 mm + 2 ppm) ±(0.007 ft + 2 ppm)
Fast Standard	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Tracking	±(5 mm + 2 ppm) ±(0.016 ft + 2 ppm)
Arithmetic mean value (D-bar)	±(1 mm + 1 ppm) ±(0.003 ft + 1 ppm)
Prism, DR Standard EDM	
Standard measurement	±(2 mm + 2 ppm) ±(0.007 ft + 2 ppm)
Fast Standard	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Tracking	±(5 mm + 2 ppm) ±(0.016 ft + 2 ppm)
Arithmetic mean value (D-bar)	±(2 mm + 2 ppm) ±(0.007 ft + 2 ppm)
Reflective foil	
Standard measurement	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Fast Standard	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Tracking	±(5 mm + 2 ppm) ±(0.016 ft + 2 ppm)
Arithmetic mean value (D-bar)	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Direct Reflex mode	
Standard measurement	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)
Fast Standard	±(5 mm + 2 ppm) ±(0.016 ft + 2 ppm)
Tracking	±(10 mm + 2 ppm) ±(0.032 ft + 2 ppm)
Arithmetic mean value (D-bar)	±(3 mm + 2 ppm) ±(0.01 ft + 2 ppm)

Shortest possible range

To prism	1.5 m (4.9 ft)
Direct Reflex	1.5 m (4.9 ft)
Reflective foil	2.5 m (8.2 ft)

Measuring time

Prism mode	
Standard measurement	2 s
Fast Standard	1.8 s
Tracking	0.5 s
Arithmetic mean value (D-bar)	3.5 s per measurement. Repeats until stopped manually (or after 99 measurements)

Direct Reflex mode

Standard measurement	3 s up to 30 m (98.4 ft) +1 s/10 m (32.8 ft)
Fast Standard	2 s up to 30 m (98.4 ft) +1 s/10 m (32.8 ft)
Tracking	0.8 s up to 30 m (98.4 ft) +1 s/10 m (32.8 ft)
Arithmetic mean value (D-bar)	3.5 s per measurement. Repeats until stopped manually (or after 99 measurements)

Range (under standard clear conditions**)

Range using prism	
1 prism	3,000 m (9,840 ft)
1 prism Long Range mode (for measurements >1000 m only)	5,000 m (16,400 ft)
3 prisms	5,000 m (16,400 ft)
3 prisms Long Range mode (for measurements >1000 m only)	7,500 m (24,600 ft)
Range using reflective foil	
Reflective foil 20 mm	100 m (328 ft)
Reflective foil 20 mm Long Range mode	200 m (656 ft)
Reflective foil 60 mm	250 m (820 ft)
Reflective foil 60 mm Long Range mode	800 m (2,625 ft)
Range Direct Reflex measurement (typically)	
Kodak Gray Card (18% reflective)***	50 m (164 ft)
Kodak Gray Card (90% reflective)***	70 m (230 ft)
Concrete	40–50 m (131–164 ft)
Wood construction	40–60 m (131–197 ft)
Metal construction	40–60 m (131–197 ft)
Light rock	40–50 m (131–164 ft)
Dark rock	30–40 m (98–131 ft)

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

valmistajan ilmoittamat Leica 1100-sarjan takymetrien virheet

Overview of the models and options	TC	TCR	TCRM+	TCA+	TCRA+	TCRA+ Power Search
Angle measurement	•	•	•	•	•	•
Distance measurement (IR)	•	•	•	•	•	•
Reflectorless and Long Range distance measurement (RL)	–	•	•	–	•	•
Motorized			•	•	•	•
Automatic Target Recognition (ATR)			–	•	•	•
PowerSearch (PS)				–	–	•
Electronic Guide Light (EGL)	○	○	○	•	•	•
Remote Control RCS1100	○	○	○	○	○	○

• Standard ○ Optional – Retrofit possible – Option: standard range + plus

Angle measurement

Accuracy	*Type 1101*	*Type 1102*	*Type 1103*	*Type 1105*
Hz, V (ISO 17123-3):	1.5" (0.5 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
Display resolution:	1" (0.1 mgon)	1" (0.1 mgon)	1" (0.5 mgon)	1" (0.5 mgon)
Method	absolute, continuous, diametric			

Distance measurement (IR)

Range (average atmospheric conditions)	
Round prism (GPR1):	3000 m / 9,800 ft
360° reflector (GRZ4):	1500 m / 4,900 ft
Mini prism:	1200 m / 3,900 ft
Reflective tape (60 mm x 60 mm):	250 m / 820 ft
Shortest measurable distance:	0.2 m to round prism (GPR1) / 1.5 m to a 360° reflector
Accuracy (ISO 17123-4) / Measuring time	
Standard mode:	2 mm + 2 ppm / 1.0 sec
Fast mode:	5 mm + 2 ppm / 0.5 sec
Tracking mode:	5 mm + 2 ppm / 0.3 sec
Fast mode tracking:	10 mm + 2 ppm / < 0.15 sec
Display resolution:	1 mm
Method	Principle of phase measurement (coaxial, invisible infrared laser)

Reflectorless and Long Range distance measurement (RL)

Range (average atmospheric conditions)	
Reflectorless (extended range):	170 m / 550 ft (Kodak Gray Card, white side)
Reflectorless (standard range):	80 m / 260 ft (Codak Gray Card, white side)
Shortest measurable distance:	1.5 m
Long Range on to round prism (GPR1):	1000 m – 5000 m
Accuracy (ISO 17123-4) / Measuring Time	
Reflectorless (standard mode):	3 mm + 2 ppm / typ. 3–6 sec, max. 12 sec
Reflectorless (tracking mode):	10 mm + 2 ppm / typ. 3–6 sec, max. 12 sec
Laser dot size:	5 mm + 2 ppm / typ. 2.5 sec, max. 8 sec
Laser dot size	
At 50 m:	approx. 10 mm x 20 mm
At 100 m:	approx. 15 mm x 30 mm
At 200 m:	approx. 30 mm x 60 mm
Method	Principle of phase measurement (coaxial, visible red laser)

Motorized (M)

Maximum speed	
Rotating speed:	50 gon / sec (45 deg / sec)

Automatic Target Recognition (ATR)

Range ATR mode / LOCK mode (average atmospheric conditions)	
Round prism (GPR1):	1000 m / 800 m (3300 ft / 2600 ft)
360° reflector (GRZ4):	800 m / 500 m (1900 ft / 1600 ft)
Mini prism:	500 m / 400 m (1600 ft / 1300 ft)
Reflective tape (60 mm x 60 mm):	65 m / -- (200 ft / --)
Shortest measurable distance:	1.5 m to 360° reflector (GRZ4)
Accuracy / Measuring Time	
Distances < 300 m:	3 mm / 3 sec
Distances > 300 m:	1.5", 2", 3", 5" (equivalent type) / 3–4 sec
Maximum speed (LOCK mode)	
Tangential (standard mode):	25 m / sec at 100 m
Tangential (tracking mode):	18 m / sec at 100 m
Radial (tracking mode):	4 m / sec
Method	Digital image processing (laser beam)

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

Liite 4

valmistajan ilmoittamat Leica 1200-sarjan takymetrien virheet

Angle measurement

		Type 1201+	Type 1202+	Type 1203+	Type 1205+
Accuracy (std.dev., ISO 17123-3)	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
	Display resolution:	0.1'' (0.1 mgon)	0.1'' (0.1 mgon)	0.1'' (0.1 mgon)	0.1'' (0.1 mgon)
Method	absolute, continuous, diametrical				
Compensator	Working range:	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Setting accuracy:	0.5'' (0.2 mgon)	0.5'' (0.2 mgon)	1.0'' (0.3 mgon)	1.5'' (0.5 mgon)
	Method:	centralized dual axis compensator			

Distance measurement (IR-Mode)

Range	Round prism (GPR1):	3000 m
(average atmospheric conditions)	360° reflector (GRZ4):	1500 m
	Mini prism (GMP101):	1200 m
	Reflective tape (60 mm x 60 mm)	250 m
	Shortest measurable distance:	1.5 m
Accuracy / Measurement time	Standard mode:	1 mm + 1.5 ppm / typ. 2.4 s
(standard deviation, ISO 17123-4)	Fast mode:	3 mm + 1.5 ppm / typ. 0.8 s
	Tracking mode:	3 mm + 1.5 ppm / typ. <0.15 s
	Display resolution:	0.1 mm
Method	Special phase shift analyzer (coaxial, visible red laser)	

PinPoint R400/R1000 reflectorless distance measurement (RL-Mode)

Range	PinPoint R400:	400 m / 200 m (Kodak Gray Card: 90 % reflective / 18 % reflectiv
(average atmospheric conditions)	PinPoint R1000:	1000 m / 500 m (Kodak Gray Card: 90 % reflective / 18 % reflecti
	Shortest measurable distance:	1.5 m
	Long Range to round prism (GPR1):	1000 m – 7500 m
Accuracy / Measurement time	Reflectorless < 500 m:	2 mm + 2 ppm / typ. 3 – 6 s, max. 12 s
(standard deviation, ISO 17123-4)	Reflectorless > 500 m:	4 mm + 2 ppm / typ. 3 – 6 s, max. 12 s
(object in shade, sky overcast)	Long Range:	5 mm + 2 ppm / typ. 2.5 s, max. 12 s
Laser dot size	At 20 m:	approx. 7 mm x 14 mm
	At 100 m:	approx. 12 mm x 40 mm
Method	PinPoint R400 / R1000:	System analyzer (coaxial, visible red laser)

Motorized

Maximum speed	Rotating speed:	45° / s

Kohde	Suositeltava mittausmenetelmä	Muut hyväksyttävät mittausmenetelmät	Tarkkuusvaatimukset
Tasokiintopisteet - Peruskiintopiste	Satelliittimittaus (staattinen)	Jonomittaus	Suhteellinen tasotarkkuus: ≤ 20 ppm.
- Käyttökiintopiste	Jonomittaus	Satelliittimittaus (staattinen)	Suhteellinen tasotarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (15 mm, kun sivunpituus l ≤ 300 m) - mittausluokka 3: ≤ 80 ppm (25 mm, kun l ≤ 300 m). Suhteellinen korkeustarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (5 mm, kun l ≤ 100 m) - mittausluokka 3: ≤ 80 ppm (8 mm, kun l ≤ 100 m).
Korkeuskiintopisteet	Tarkkavaaitus	Jonovaaitus, satelliittimittaus (staattinen)	Korkeuseron suhteellinen tarkkuus ≤ 5 ppm.
Rajamerkit - Kartoitusmittaus	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Analyyttinen ja digitaalinen kuvamittaus	Pistekeskivirhe laskettuna määrityksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 120 mm - mittausluokka 2: ≤ 180 mm - mittausluokka 3: ≤ 250 mm.
- Merkintä	Satelliittimittaus (RTK, takymetrimittaus	Muut vaivojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus.	Pistekeskivirhe laskettuna määrityksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 40 mm - mittausluokka 2: ≤ 80 mm - mittausluokka 3: ≤ 160 mm.
Rakennukset - Kartoitusmittaus	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Ilmakuvakartoitus (stereodigitointi)	Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997.
- Merkintä	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus.	Tasotarkkuusvaatimus määritellään ennakkoon tapauskohtaisesti. Korkeuden määrityksen sulkuvirhe: ≤ 10 mm × $\sqrt{L}$, missä L on jonon pituus kilometreinä.
Muut kohteet	Ilmakuvakartoitus (stereodigitointi)	Takymetrimittaus, satelliittimittaus (RTK), muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan Karttakohdemallin 1997 edellyttämä tarkkuus.	Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997.

Liite 5

Geodimetrin ja Trimblen havaintosarjan UDS-kyselyrutiinin luonti

Geodimeter ja Trimble takymetreihin luodaan 3 uutta käyttäjän määräämää UDS-ohjelmaa, jotta takymetri käyttää ja tallentaa havaintosarjoissa tarvittavia tietoja.

Ohjelmoinnin kulku

(Huom. tarkasta ennen ohjelmointia löytyykö kojeesta ohjelmia numeroilla 10, 12, 13. Mikäli jollekin numerolle on jo tehty ohjelma, niin etsi ohjelmista 1-19 tyhjä numero tilalle ja käytä sitä.)

Ensimmäinen ohjelma

Valitaan PRG 40 →
valitaan ensimmäisen luotavan ohjelman numero → OHJELMA = 10 → hyväksy ENT:llä
Annetaan ohjelmalle nimi → NIMI = SARJA → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy LOGON ? → Hyväksy ENT:llä

Annetaan 1. kysymys → LABEL NO = 51 (päivämäärä) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 1. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 2. kysymys → LABEL NO = 53 (mittaaja) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 2. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 3 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 3. kysymys → LABEL NO = 55 (kojeen numero) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 3. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 3 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 4. kysymys → LABEL NO = 56 (lämpötila) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 4. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 3 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 5. kysymys → LABEL NO = 74 (ilmanpaine) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 5. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 3 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 6. kysymys → LABEL NO = 30 (mittaaja) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 6. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 7. kysymys → LABEL NO = 79 (lopetus) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 7. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 7 → hyväksy ENT:llä
Yhdistetään seuraavaan ohjelmaan → YHD OHJ = 12 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Toinen ohjelma

Valitaan PRG 40 uudestaan →
valitaan toisen luotavan ohjelman numero → OHJELMA = 12 → hyväksy ENT:llä
Annetaan ohjelmalle nimi → NIMI = ASP → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy LOGON ? → Hyväksy ENT:llä

Annetaan 1. kysymys → LABEL NO = 2 (asemapisteen numero) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 1. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 2. kysymys → LABEL NO = 4 (asemapisteen koodi) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 2. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 3. kysymys → LABEL NO = 3 (kojekorkeus) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 3. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 4. kysymys → LABEL NO = 79 (lopetus) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 4. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 7 → hyväksy ENT:llä
Yhdistetään seuraavaan ohjelmaan → YHD OHJ = 13 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Kolmas ohjelma

Valitaan PRG 40 uudestaan →
valitaan toisen luotavan ohjelman numero → OHJELMA = 13 → hyväksy ENT:llä
Annetaan ohjelmalle nimi → NIMI = HAV → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy LOGON ? → Hyväksy ENT:llä

Annetaan 1. kysymys → LABEL NO = 62 (liitospisteen numero) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 1. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 2. kysymys → LABEL NO = 4 (liitospisteen koodi) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 2. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 3. kysymys → LABEL NO = 6 (Prismakorkeus) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 3. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 1 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 4. kysymys → LABEL NO = 17 (II-asennon vaakakulma) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 4. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 5. kysymys → LABEL NO = 18 (II-asennon pystykulma) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 5. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 6. kysymys → LABEL NO = 24 (I-asennon vaakakulma) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 6. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 7. kysymys → LABEL NO = 25 (I-asennon pystykulma) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 7. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 8. kysymys → LABEL NO = 9 (Vinoetäisyys) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 8. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 9. kysymys → LABEL NO = 16 (I- ja II asennon vaakakulmien ero) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 9. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 10. kysymys → LABEL NO = 16 (I- ja II asennon pystykulmien ero) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 10. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 11. kysymys → LABEL NO = 37 (x-koordinaatti) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 11. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 12. kysymys → LABEL NO = 38 (y-koordinaatti) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 12. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 13. kysymys → LABEL NO = 39 (z-koordinaatti) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 13. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 0 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Annetaan 14. kysymys → LABEL NO = 79 (lopetus) → hyväksy ENT:llä
Annetaan 14. kysymyksen tyyppi → TYYPPI = 5 → hyväksy ENT:llä
Ohjelma kysyy OK? → hyväksy ENT:llä

Takymetrin seurantakalibrointi

Päivämäärä:	30.05.2005
Mittaaja:	M.K.
sää:	Pilvinen
Lämpötila [°C] :	10
ilmanpaine [mbar]:	1080
Kojeen tyyppi ja numero:	Leica Tcra 1202, 211053
Huomioitavaa:	

Havainnot

Asemapiste 1, Sarja 1			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
1	23	15,61147	-27,15527	0,60707	Asento I
1	23	15,61140	-27,15518	0,60823	Asento II
1	5	66,41813	6,43290	0,32863	Asento I
1	5	66,41816	6,43305	0,32581	Asento II
1	24	17,69815	16,41004	-0,19442	asento I
1	24	17,69795	16,41022	-0,19355	Asento II
1	6	5,57703	96,98090	-2,84993	asento I
1	6	5,57701	96,98100	-2,84729	asento II

Asemapiste 1, Sarja 2			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
1	23	15,61135	-27,15535	0,60696	Asento I
1	23	15,61139	-27,15526	0,60839	Asento II
1	5	66,41825	6,43273	0,32895	Asento I
1	5	66,41833	6,43299	0,32564	Asento II
1	24	17,69820	16,41024	-0,19467	asento I
1	24	17,69806	16,41024	-0,19377	Asento II
1	6	5,57732	96,98056	-2,85059	asento I
1	6	5,57715	96,98112	-2,84710	asento II

Asemapiste 1, Sarja 3			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
1	23	15,61159	-27,15519	0,60680	Asento I
1	23	15,61123	-27,15522	0,60843	Asento II
1	5	66,41808	6,43305	0,32877	Asento I
1	5	66,41836	6,43283	0,32640	Asento II
1	24	17,69802	16,41005	-0,19545	asento I
1	24	17,69786	16,41032	-0,19420	Asento II
1	6	5,57703	96,98114	-2,85054	asento I
1	6	5,57715	96,98101	-2,84754	asento II

Asemapiste 1, Sarja 4			x	y	z
Asemapisteen koordinaatit			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
1	23	15,61131	-27,15515	0,60680	Asento I
1	23	15,61115	-27,15586	0,60843	Asento II
1	5	66,41820	6,43315	0,32877	Asento I
1	5	66,41842	6,43266	0,32640	Asento II
1	24	17,69750	16,41025	-0,19545	asento I
1	24	17,69782	16,41049	-0,19420	Asento II
1	6	5,57650	96,98118	-2,85054	asento I
1	6	5,57736	96,98085	-2,84754	asento II

Asemapiste 5, Sarja 1			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
5	6	108,58701	10,46157	-3,17163	asento I
5	6	108,58718	10,46150	-3,17823	Asento II
5	1	25,92586	61,48627	-0,33152	asento I
5	1	25,92599	61,48653	-0,32653	asento II

Asemapiste 5, Sarja 2			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
5	6	108,58688	10,46175	-3,17387	asento I
5	6	108,58709	10,46151	-3,17832	Asento II
5	1	25,92581	61,48657	-0,33035	asento I
5	1	25,92598	61,48665	-0,32690	asento II

Asemapiste 5, Sarja 3			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
5	6	108,58715	10,46132	-3,17332	asento I
5	6	108,58700	10,46189	-3,17821	Asento II
5	1	25,92590	61,48684	-0,33181	asento I
5	1	25,92571	61,48612	-0,32714	asento II

Asemapiste 6, Sarja 1			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
6	1	97,06058	3,95318	2,84406	asento I
6	1	97,06079	3,95334	2,84826	asento II
6	5	84,15036	69,42117	3,17851	asento I
6	5	84,15000	69,42131	3,17336	Asento II

Asemapiste 6, Sarja 2			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
6	1	97,06082	3,95321	2,84438	asento I
6	1	97,06086	3,95325	2,84849	asento II
6	5	84,15030	69,42137	3,17847	asento I
6	5	84,15021	69,42145	3,17380	Asento II

Asemapiste 6, Sarja 3			x	y	z
Asemapisteen koordinaati			0,00000	0,00000	0,00000
As.piste	Tähys	mitattu x	mitattu y	Mitattu z	Asento
6	1	97,06068	3,95325	2,84312	asento I
6	1	97,06066	3,95321	2,84925	asento II
6	5	84,15015	69,42134	3,17860	asento I
6	5	84,15050	69,42132	3,17296	Asento II

Kulmanluvun keskivirhe S_1 edellisellä mittauskerralla Vanha S_1 = 0,3500 mgon

Koje	Leica TCRA 1202	Kojeen N: o	211053		
Päiväys:	12.7.2005	Tekijä:	M. Kytölä		
Lämpötila (°C):		Alussa:	24	Lopussa:	24
Ilmanpaine (Hgmm):		Alussa:	1010,3	Lopussa:	1010,3
Kojeen ppm		Alussa:	15,4	Lopussa:	15,4
Sään luonne:	Aurinkoinen				
Muut vaikuttavat tekijät:					

Väli:	100-1			Väli:	100-2		
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,557	H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,614
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)		Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	49,997	49,885		1.	247,502	247,502	
2.	49,997	49,885		2.	247,502	247,502	
3.	49,997	49,885		3.	247,502	247,502	
4.	49,997	49,885		4.	247,502	247,502	
5.	49,997	49,885		5.	247,502	247,502	
6.	49,997	49,885		6.	247,502	247,502	
7.	49,997	49,885		7.	247,502	247,502	
8.	49,997	49,885		8.	247,502	247,502	
9.	49,996	49,884		9.	247,502	247,502	
10.	49,996	49,884		10.	247,502	247,502	

Vinoet. ka (m)	49,997
Korkeusero (m)	3,338
Vaakaet. (m)	49,885
Pitäisi olla (m)	49,885
Ero (m)	-0,0001
Keskivirhe (mm)	0,142

Vinoet. ka (m)	247,502
Korkeusero (m)	0,361
Vaakaet. (m)	247,502
Pitäisi olla (m)	247,500
Ero (m)	-0,0015
Keskivirhe (mm)	0,512

Väli:	100-3			Väli:	100-4		
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,67	H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,642
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)		Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	122,464	122,106		1.	174,977	174,675	
2.	122,464	122,106		2.	174,977	174,675	
3.	122,464	122,106		3.	174,977	174,675	
4.	122,464	122,106		4.	174,977	174,675	
5.	122,464	122,106		5.	174,977	174,675	
6.	122,464	122,106		6.	174,977	174,675	
7.	122,464	122,106		7.	174,977	174,675	
8.	122,464	122,106		8.	174,977	174,675	
9.	122,463	122,105		9.	174,977	174,675	
10.	122,464	122,106		10.	174,976	174,674	

Vinoet. ka (m)	122,464
Korkeusero (m)	9,355
Vaakaet. (m)	122,106
Pitäisi olla (m)	122,106
Ero (m)	0,0003
Keskivirhe (mm)	0,150

Vinoet. ka (m)	174,977
Korkeusero (m)	10,283
Vaakaet. (m)	174,674
Pitäisi olla (m)	174,674
Ero (m)	-0,0005
Keskivirhe (mm)	0,190

Väli:	100-5		
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,469
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	308,661	308,307	
2.	308,661	308,307	
3.	308,661	308,307	
4.	308,661	308,307	
5.	308,661	308,307	
6.	308,661	308,307	
7.	308,661	308,307	
8.	308,661	308,307	
9.	308,661	308,307	
10.	308,661	308,307	

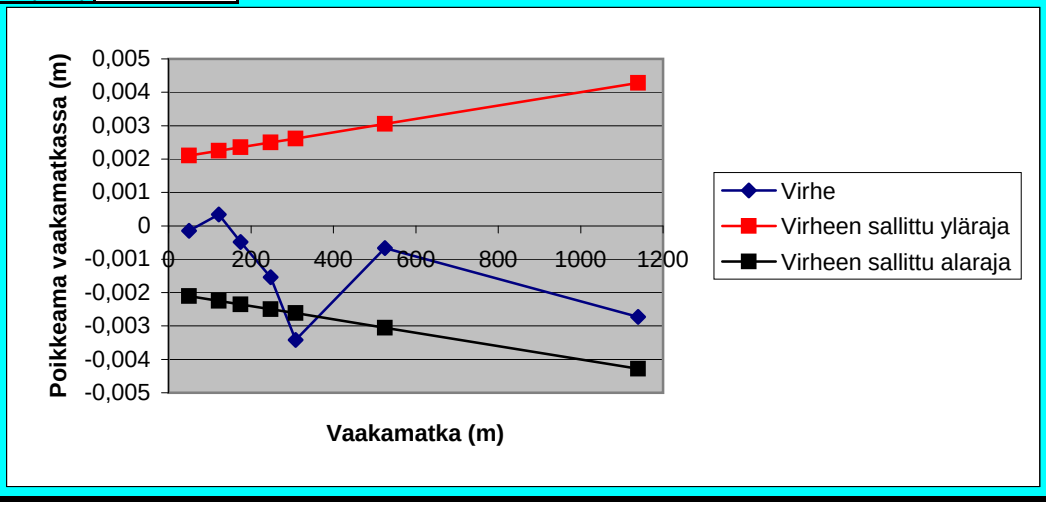
Vinoet. ka (m)	308,661
Korkeusero (m)	14,774
Vaakaet. (m)	308,307
Pitäisi olla (m)	308,304
Ero (m)	-0,0034
Keskivirhe (mm)	1,140

Väli:	100-6		
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,604
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	524,995	524,745	
2.	524,995	524,745	
3.	524,995	524,745	
4.	524,995	524,745	
5.	524,995	524,745	
6.	524,995	524,745	
7.	524,995	524,745	
8.	524,994	524,744	
9.	524,994	524,744	
10.	524,995	524,745	

Vinoet. ka (m)	524,995
Korkeusero (m)	16,201
Vaakaet. (m)	524,745
Pitäisi olla (m)	524,744
Ero (m)	-0,0007
Keskivirhe (mm)	0,259

Väli:	100-7		
H koje (m)	0,295	H prisma (m)	1,6
Mittaus	Vinoet. (m)	Vaakaet. (m)	
1.	1139,991	1139,328	
2.	1139,991	1139,328	
3.	1139,992	1139,329	
4.	1139,992	1139,329	
5.	1139,992	1139,329	
6.	1139,992	1139,329	
7.	1139,992	1139,329	
8.	1139,993	1139,330	
9.	1139,991	1139,328	
10.	1139,992	1139,329	

Vinoet. ka (m)	1139,992
Korkeusero (m)	38,885
Vaakaet. (m)	1139,328
Pitäisi olla (m)	1139,326
Ero (m)	-0,0027
Keskivirhe (mm)	0,930

Keskivirheiden ka (mm)
0,475

Nollapistevirhe (mm)
-1,234