

Janne Huotari

AIP-Mittaus Oy:n takymetrikaluston tarkastus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
21.5.2012

Tekijä Otsikko	Janne Huotari AIP-Mittaus Oy:n takymetrikaluston tarkastus
Sivumäärä Aika	34 sivua + 2 liitettä 21.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Pasi Joensuu yliopettaja Vesa Rope
<p>Insinöörityön aiheena oli esitellä yleisesti takymetrin peruskäyttöä, kalibrointia ja käyttäjän mahdollisuuksia takymetrin tarkkuuden valvontaan. Työssä käsitellään myös takymetrin osia ja niiden toimintaa. Tarkoituksena oli perehtyä nimenomaan akselivirheisiin ja etäisyydenmittausvirheisiin ja selvittää, miten ne aiheutuvat. Työssä käsiteltiin yhdeksän eri takymetrin ominaisuuksia ja testattiin niiden soveltuvuus niille tarkoitettuihin työtehtäviin.</p> <p>Työssä kerrotaan yleisesti takymetrin kehityksestä ja sen oikeaoppisesta käytöstä. Työssä tuodaan esille keinot, joilla käyttäjä voi tarkistaa takymetrin mittaustarkkuuden ja mahdolliset akselivirheet. Lisäksi työssä käydään myös läpi mittauksen alussa suoritettavat korjaukset kuten sääkorjaus ja prismavakio. Tässä työssä paneuduttiin lisäksi tarkemmin kalibrointiradan rakentamiseen ja sen käyttöön. Lisäksi työssä on arvioitu lyhyesti käytetyn testimenetelmän käyttökelpoisuutta ja ajankäyttöä suhteessa saatavaan hyötyyn.</p> <p>Työn tulokset perustuvat käytännön kokemuksiin sekä alan kirjallisuudesta saatuihin ohjeisiin koskien takymetrin seurantakalibrointia. Testimittauksen ja työn lopussa esiteltävän testauskäytännön perusteella voidaan todeta, että käyttäjän on syytä tuntea laitteisto jolla hän työskentelee. Työssä käsitelty testimittaus vähentää sellaisten tilanteiden riskiä, jossa joudutaan rahallisesti vastuuseen kojeesta aiheutuvien virheiden takia.</p> <p>Kalibrointiradan rakentaminen ja testaus suoritettiin AIP-mittaus Oy:lle. Työn tuloksista tehtiin jokaista laitetta kohden yhden A4 kokoinen raportti AIP-mittaukselle.</p>	
Avainsanat	takymetri, kalibrointi, akselivirheet

Author(s) Title	Janne Huotari Inspection and use of a tachymeter
Number of Pages Date	34 pages + 2 appendices 21 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Pasi Joensuu, Managing Director Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to introduce the basic use of a Total Station in general as well as some of the calibration process and how the user can monitor the accuracy of a tachymeter. The study also shows the most common parts and features usually found on a tachymeter.</p> <p>The aim of this study was the detailed inspection of the axis errors that occur in a tachymeter and the origin of distance measurement errors. During the project a total of nine different tachymeters were inspected and their accuracy and features were tested. All of this was done while keeping in mind their suitability for their designated work assignments.</p> <p>The thesis describes the development and history of total stations in general, as well as their orthodox use. The work highlights the different ways that the user can check the total stations measurement accuracy and possible errors. In addition, this work will also go through the procedures carried out at the beginning of every survey, mainly the execution of corrections such as the meteorological correction and prism constant.</p> <p>The results of this study are based on practical experience as well as knowledge gained from literature and instructions involving the use of tachymeters. Test measurements presented at the end of this thesis are considered crucial so that the user is familiar with the equipment with which he works.</p>	
Keywords	tachymeter, calibration, axis errors

Sisällys

1	Johdanto	1
2	AIP-Mittaus Oy	2
3	Takymetri	3
3.1	Takymetrin pääosat	3
3.1.1	Tasausalusta	4
3.1.2	Alhidadi	4
3.1.3	Optinen luoti	5
3.1.4	Liikervuorit	5
3.1.5	Mittauskaukoputki	6
3.1.6	Runko	6
3.1.7	Elektroninen etäisyysmittari	6
4	Takymetrimittaus	8
4.1	Hyvä mittaustapa	8
4.2	Parallaksivirheen poistaminen	8
4.3	Kulmahavainnot	9
4.4	Etäisyydenmittaus	10
4.5	Orientointi	12
4.5.1	Orientointi tunnetulle pisteelle	13
4.5.2	Orientointi vapaalle asemapisteelle	13
4.6	Havaintojen korjaukset	14
4.6.1	Prismavakio	14
4.6.2	Sääkorjaus	14
4.7	Sarjahavaintomenetelmä	15
5	Mittausvälineiden käsittely	16
6	Takymetrin virhelähteet	16
6.1	Akselivirheet	17
6.1.1	Tähtäysakselin kollimaatiovirhe	18
6.1.2	Tappikaltevuusvirhe	18
6.1.3	Pystykehän indeksivirhe	18

6.1.4	Pystyakselin kaltevuusvirhe	19
6.2	Epäkeskisyysvirheet ja muut mahdolliset virheet	20
6.2.1	Kaukoputken epäkeskisyys	20
6.2.2	Jakokehien epäkeskisyys	20
6.2.3	Hiusristikon kaltevuus	20
6.2.4	Tasaimen virhe	20
6.3	Etäisyysvirheet	21
7	Kalibrointi	22
7.1	Kalibrointilajit	23
7.1.1	Määrittyskalibrointi	23
7.1.2	Seurantakalibrointi	24
7.2	Kalibrointisuositukset ja huoltorytmi	24
7.3	Kalibrointitahot	25
7.4	Kalibroinnin laboratoriovälineet	25
7.4.1	Suuntakollimaattori	25
7.4.2	Laserinterferometri	27
8	Mittaussuunnitelma	27
8.1	Pisteistö	27
8.2	Koordinaatisto	27
8.3	Korjaukset ja yleiset asiat	28
9	Työn suorittaminen	28
9.1	Etäisyysmittaradan rakentaminen ja havainnot	29
9.2	Akselivirheiden määrittäminen	29
9.3	Tulokset	32
10	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Etäisyydenmittausrata	
	Liite 2. Etäisyysmittaradan tuloksia	

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä on aiheena maanmittauksessa käytettävien laitteiden käyttö, kalibrointi ja käytön aikainen seuranta. Työssä käydään läpi kalibroinnin eri lajit sekä muita yleisiä asioita takymetrikalustosta, sen käytöstä sekä ylläpidosta. Tärkeimpänä osiona ovat käyttäjän mahdollisuudet takymetrin kunnon tarkasteluun ja virheiden toteamiseen. Työssä käsitellään myös mittauksen perusteita, joiden ymmärtäminen on tärkeää sekä laitteen, että virheiden ymmärtämisen kannalta.

Työ suoritettiin tuusulalaiselle AIP-Mittaus Oy:lle. Yrityksellä on varastossaan 9 takymetriä, jotka eivät ole tuotantokäytössä. Työhän kuuluu seurantakalibrointiin käytettävän etäisyysmittaradan rakentaminen sekä näiden vanhojen takymetrien akselivirheiden ja etäisyysmittarien tarkkuuden tutkiminen.

Työn osana on myös valmistajan laitteelle lupaamien arvojen selvittäminen. Jokaisen laitteen poikkeamista arvioitiin mahdollinen huoltotarve.

Testattava laitteisto:

1. Trimble 5605DR
2. Trimble 5605DR 200+
3. Trimble 5503DR 200+
4. Trimble 3605DR
5. Geodimeter 601M
6. Geodimeter 601M
7. Geodimeter 608M
8. Geodimeter 610M
9. Geodimeter 610M

2 AIP-Mittaus Oy

AIP-Mittaus Oy on Arto Parikan vuonna 1980 perustama mittausalan konsulttitoimisto. Yrityksen toimialaan kuuluvat kaikki talonrakentamiseen, saneeraukseen ja kiinteistöjen hallintaan liittyvät mittaukset ja mittakuvien piirtäminen. Tämän lisäksi AIP-Mittauksen toimialaan kuuluvat myös infrarakentamisen työmaamittaukset, massalaskennat sekä erilaiset piirtämistehtävät. [1]

Yritys suorittaa eri teollisuuden aloille tarkkuutta vaativien mittauksia ympäri maailmaa. Mittauksiin kuuluvat mm. laivanrakennusmittaukset, öljynporauslauttojen skannaukset ja 3D-mallinnukset sekä paperikoneiden asennusmittauksia. Liikevaihtoa oli vuonna 2010 n. 1368000€ ja henkilöstöä 19kpl. [1]

Vuonna 2012 AIP-Mittaus Oy on siirtynyt yrityskaupan myötä osaksi MC Groupia (Mätcenter Group). MCG muodostaa näillä näkymin Pohjoismaiden suurimman yksityisomistuksessa oleva maanmittausalan konsulttiyrityksen. Mätcenter AB on 1990-luvun puolivälissä aloittanut yritys, jolla on edustus Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa, Virossa ja Tšekissä. [1]

Mittauskalustona on teollisuudenmittauksiin Leican TCRA1201-tarkkuustakymetrejä, Wildin N3-tarkkavaaituskojeita ja Leican 6200-sarjan laserskanneri. Talon- ja maarakennukseen, sekä yleismittaukseen on käytössä Leica TCRA1200-sarjan robottikalusto, GPS GX1230, Wild- ja Topcon-vaaituskojeet, Leica-tasolaserit sekä Leican 6200 sarjan laserskanneri. Ohjelmistoina käytetään, AutoCad 2010, AutoCad Revit Architecture Suite 2011 ja Microstation V8, TerraModeler- ja TerraSurvey-lisäosin. [2]

3 Takymetri

Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla voidaan mitata pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Takymetrissä on myös tietoteknisiä ominaisuuksia, joten sillä voidaan suorittaa erittäin monipuolisia mittauksia. Kulma- ja etäisyyshavainnoista muodostuvista perushavainnoista voidaan laskea koordinaatteja, korkeuksia ja muita suureita. Tämän lisäksi takymetrillä on mahdollista tallentaa sillä suoritettua mittauksia sähköiseen muotoon jälkikäsittelemistä varten. Takymetri on satelliittimittauksen kojeiden ohella tärkein mittaus- ja kartoitustekniikassa nykyisin käytettävistä kojeista.

Takymetriä voidaan pitää mittaajan yleistyökaluna. Nykyaikaiset takymetrit syntyivät yhdistämällä teodoliitti ja elektro-optinen etäisyysmittari. Teodoliitin ja takymetrin erona on se, että vain takymetrissä on sellaisenaan mahdollisuus mitata etäisyyksiä. Takymetrit yleistyivät 1980-luvun aikana. Tältä aikakaudelta ovat peräisin ensimmäiset Geodimeter-takymetrit, joita tämän insinööritoiminnan tekemisen aikana käsiteltiin. [3]

Vuosien myötä kojeet ovat kehittyneet pitkälle automatisoiduiksi mittausroboteiksi. Kehittyneimmillä takymetreillä voidaan mitata kulmia ja etäisyyksiä sekä skannata ja valokuvata mittauskohdetta. Ennen niin sanottuja robotti-takymetrejä on mittaaminen ollut kahden mittaajan työtä. Nykyaikaiset kojeet mahdollistavat jo kuitenkin useimpien mittausten suorittamisen yhden mittaajan voimin.

3.1 Takymetrin pääosat

Takymetrin rakenteelliset pääosat (kuva 1) ovat tasausalusta, runko-osa, alhidadi, mittauskaukoputki ja elektro-optinen etäisyysmittari. Tämän lisäksi takymetrissä on:

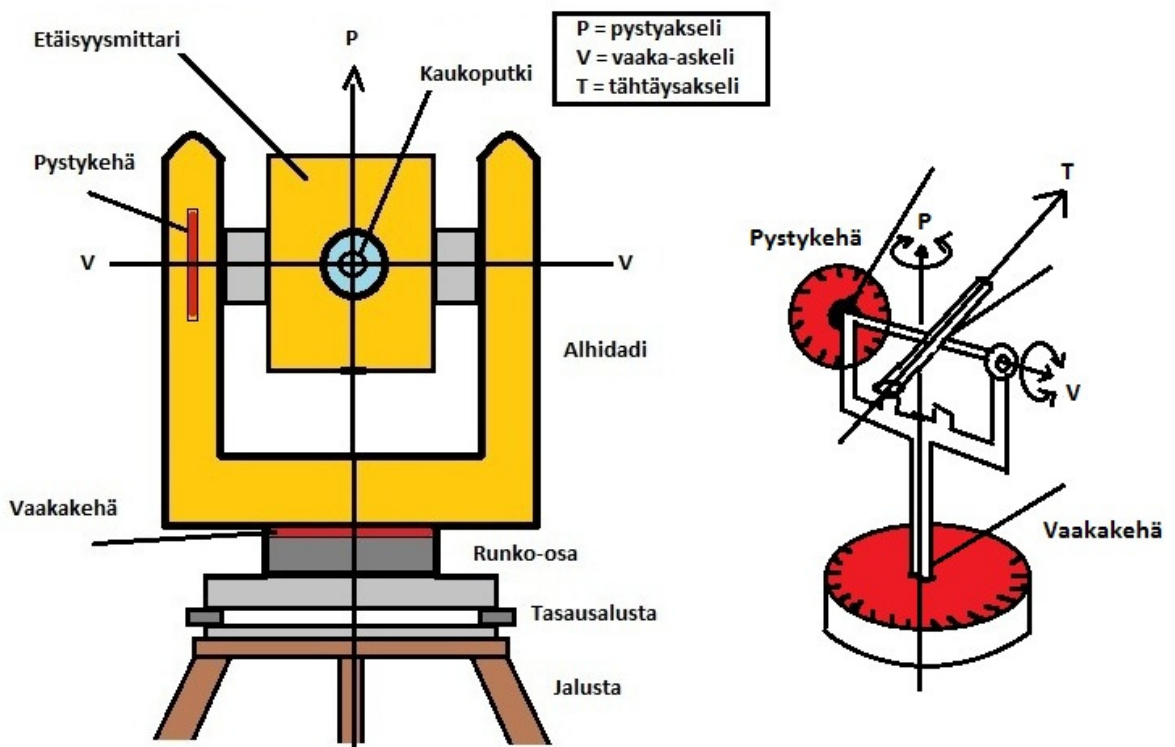
- erilaisia tasaimia, kuten rasiatasain ja putkitasain
- elektroniset tasaimet eli kompensattorit, joiden tehtävä on tasauksen hienosäätäminen tarkemmaksi
- jalkaruuvit, joiden avulla koje asetetaan vaakasuoraan
- optinen luoti kojeen keskistystä varten
- liikeruuvit kojeen suuntaamista varten.

3.1.1 Tasausalusta

Tasausalusta on kojeesta irrallinen osa, jolla koje kiinnitetään jalustaan. Tasausalustassa on kolme jalkaruuvia, joiden avulla takymetrin tasausta voidaan muuttaa. Alustassa on usein myös optinen luoti. Takymetrin runko-osa kiinnitetään tasausalustaan.

3.1.2 Alhidadi

Alhidadi on osa, joka kannattaa mittauskaukoputkea. Käytännössä siihen kuuluu suurin osa vaakakehän yläpuolisesta takymetristä, lukuun ottamatta osia, jotka pyörivät vaak-akselin ympäri. Alhidadi pyörii runko-osan suhteen kojeen pystyakselin ympäri. Mittauskaukoputki on kiinnitetty alhidadiin ja pyörii kojeen vaak-akselin ympäri. Pystykulmanmittaukseen tarkoitettu pystykehä sijaitsee alhidadin sisällä, vaak-akselin päässä. Yleensä alhidadi sisältää tasaimen, jolla takymetri saadaan luotiviivan suuntaiseksi (luotiviiva on linja, jota pitkin painovoima vetää putoavaa kappaletta puoleensa). Se sisältää usein myös kompensattorin, pysty- ja vaakakulmanlukemalaitteet sekä takymetrin hallintalaitteet. [3]



Kuva 1. Takymetrin osat ja niiden sijainti. Kojeen akselit ovat pysty-, vaak- ja tähtäysakselit. (Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet 2008)

3.1.3 Optinen luoti

Kojeen tasaaminen tapahtuu tasainten, jalkaruuvien ja optisen luodin avulla. Optista luotia käytetään, kun koje halutaan maanpinnalla olevan pistemerkin päälle. Kun koje tasataan tietyn pisteen päälle, kutsutaan toimenpidettä kojeen keskistykseksi ja tasaukseksi. Pisteelle keskistämistä käytetään tunnetun pisteen orientointimenetelmässä. Optinen luoti on samanlainen kuin takymetrin mittauskaukoputki. Sitä on mahdollista tarkentaa lyhyille matkoille, ja siinä on mittauskaukoputken tapaan hiusristikko. Pisteelle tasaamisessa katsotaan optisella luodilla kojeen alapuolelle ja hiusristikon avulla koje pystytään keskistämään tarkasti pisteelle. Takymetreissä optinen luoti sijaitsee alhidadissa. Vastaavasti se voi olla myös tasausalustassa, koska joissakin mittauksissa tähykset ja prismat keskistetään ja tasataan mittauspisteille jalustalle asennettuina. [3]

Joissain uudemmissa takymetreissä voi optisen luodin lisäksi olla myös laserosoitin, joka ajaa samaa asiaa kuin optinen luoti. Vanhemmissa kojeissa voidaan vielä tämän lisäksi käyttää optisen luodin asemasta myös riippuluotia. Optinen luoti on riippuluotiin nähden kuitenkin tarkempi keskistyslaite.

3.1.4 Liikeruuvit

Takymetrin suuntaaminen kohteeseen tapahtuu käyttämällä liikeruuveja. Liikeruuveja on kahdenlaisia; telkiruuveja ja täsmäruuveja. Koska mittauskaukoputkea voi kiertää sekä kojeen pysty- että vaaka-akselin ympäri, kummallekin liikesuunnalle on omat liikeruuvinsa. Telkiruuveja käyttävissä kojeissa tapahtuu mittauskaukoputken karkea suuntaaminen kohteeseen liikuttelemalla kojetta käsin. Kun kohde näkyy mittauskaukoputkessa, telkiruuveja käytetään lukitsemaan kaukoputki haluttuun asentoon. Tämän jälkeen voidaan kaukoputkea siirtää hitaasti täsmäruuvien avulla. Täsmäruuvien tehtävä on siis tähdätä kaukoputki tarkasti mittauskohteeseen. Täsmäruuvien kääntämisellä ei kuitenkaan ole vaikutusta kojeeseen, mikäli telkiruuvit ovat lukitsematta. [8]

Moderneissa takymetreissä harvemmin on telkiruuveja, vaan niissä on vain täsmäruuvit tai vastaavat säätöruuvit. Tällöin on kyse servomoottoriohjauksella varustetuista kojeista. Servomoottoriohjatuissa koneissa voi liikeruuvissa olla kaksi kehää, joista

toisella laite pyörii hitaasti ja toinen ruuvi on laitteen nopeaan liikuttamiseen. Toinen vaihtoehto on, että laitteessa on vain yksi ruuvi, ja mitä enemmän ruuvia kierretään, sitä nopeammin laite vaihtaa suuntaa. [3]

Telkiruuvien kanssa tulee toimia varovaisesti. Jos telkiruuvit on lukittu, ei kojetta tai kaukoputkea saa kääntää väkisin. Lukittujen telkiruuvien liikuttelu voi johtaa ruuvien rakenteiden löystymiseen tai vaurioitumiseen. Vaurioituttuaan telkiruuvit eivät lukitse kojetta. Tällöin on kojeen tarkka tähtääminen kohteeseen vaikeaa tai jopa mahdotonta. Telkiruuvit lukittuina kojetta saa siis kääntää vain täsmäruuveista. [8]

3.1.5 Mittauskaukoputki

Kaukoputken okulaarissa on hiusristikko, jolla suoritetaan tähtäys prismaan tai muuhun tähykseen. Lisäksi kaukoputkessa on fokusointiosa, jota kääntämällä saadaan näkymä tarkaksi eri etäisyyksille. Takymetrin mittauskaukoputki fokusoidaan okulaarin ympäri kiertyvän fokusointirenkaan avulla. Toisissa laitteissa fokusointi tapahtuu laitteen sivussa olevasta ruuvista. Viivaristikko tarkennetaan okulaarin silmäkappaletta kiertäen. Elektro-optisen etäisyydenmittarin rakenteelliset osat sijaitsevat usein mittauskaukoputkessa ja sen ympärillä.

3.1.6 Runko

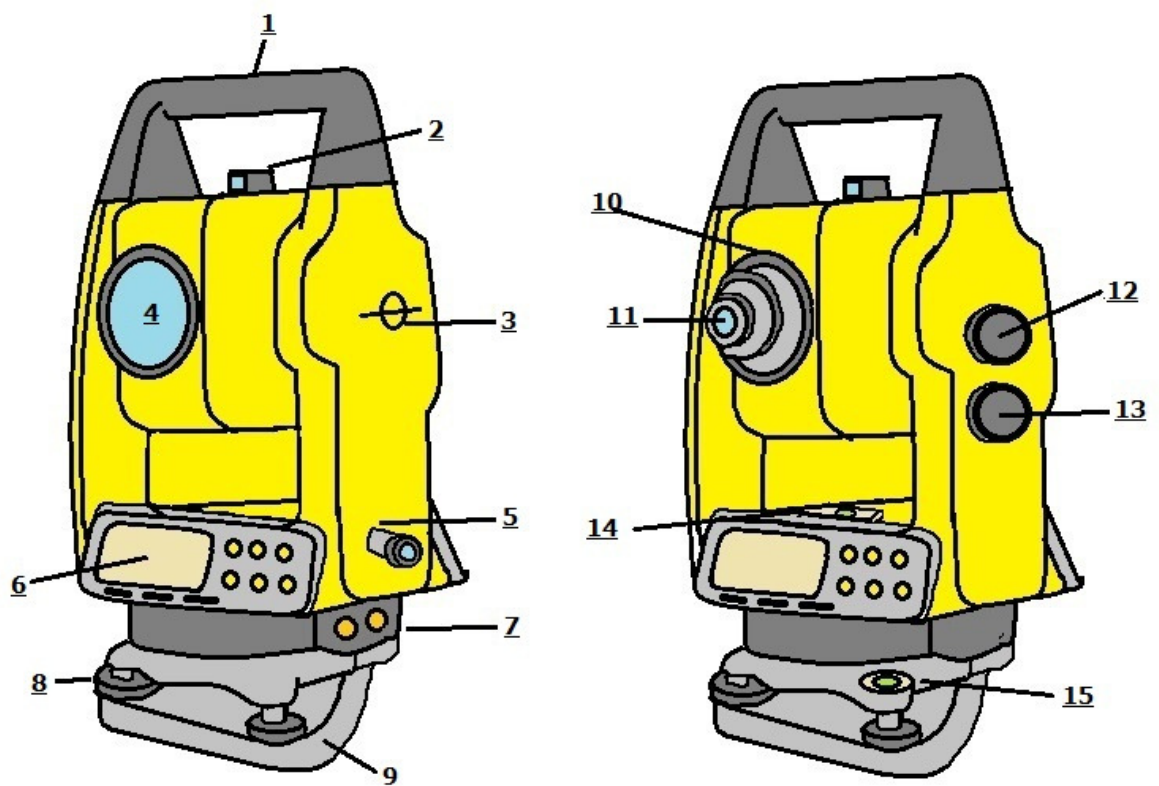
Runkoon kuuluvat takymetrin vaakakehän alapuoliset osat, joihin vaakakehä kiinnittyy ja alhidadi on laakeroitu. Runko-osassa on tähtäyssuunnan mittaukseen ja vaakakulmanmittaukseen tarkoitettu vaakakehä. Se tulee säätää kojeen tasauksen yhteydessä vaakatasoon. Vanhemmissa malleissa pakkokeskistys on kiinteä osa runkoa. Uudemmissa malleissa pakkokeskistys hoidetaan pakkokeskistysalustalla, joka on erillinen jalustaan kiinnittyvä osa. Tässä tapauksessa runko-osa loppuu soviteosaan, jolla takymetri kiinnittyy pakkokeskistys alustaan. Pakkokeskistysalustaa ei tässä tapauksessa lasketa rungon osaksi.

3.1.7 Elektroninen etäisyydsmittari

Elektroninen etäisyydenmittari on vanhemmissa takymetrimalleissa kiinnitetty mittauskaukoputken päälle erilliseksi osaksi. Nykyisin se on kuitenkin integroitu mittauskaukoputken yhteyteen. Elektroninen etäisyyden mittaus perustuu sähköiseen

mittausvärähtelyyn. Se kulkee kantoaaltovärähtelynä prismaan ja palaa takaisin laitteeseen. Kuvaan 2 on merkitty takymetrin osien paikat numeroin:

1. Kantokahva
2. Karkeatähtäin
3. Vaaka-askelin merkki
4. Objektiivi
5. Optinen luoti
6. Näyttö ja näppäimistö
7. Ulkoisen virranlähteen pistoke
8. Tasausruuvi
9. Pohjalevy
10. Fokusointirengas
11. Okulaarin silmäkappale
12. Pystysuunnan säätöruuvi
13. Vaakasuunnan säätöruuvi
14. Putkitasain
15. Rasiatasain



Kuva 2. Takymetrin säätöruuvit, tasaimet ja näytöt.

4 Takymetrimittaus

4.1 Hyvä mittaustapa

Laadunvalvonnan tehtävänä on varmistaa mittausten tarkkuus ja tulosten yleinen luotettavuus. Tätä varten ovat muun muassa mittaushjeet. Laadunvalvonta perustuu myös hyvään mittaustapaan. Hyvä mittaustapa tarkoittaa sitä, että mittauksissa sovelletaan käytännössä hyviksi koettuja mittausmenetelmiä ja yleisesti hyväksyttyä mittausteknillistä tietämystä. Hyvän mittaustavan sisältöä voidaan kuvata seuraavasti:

- Mittausten yhteydessä käytettävien käsitteiden ja esitystavan tulee olla alan käytännön mukaista. Näin muutkin kuin nimenomaisen mittauksen suorittanut, ymmärtävät mm. mittausten tuloksia ja pystyvät hyödyntämään alan ohjeita ja kirjallisuutta.
- Mittauksissa käytettävät kojeet tulee tarkistaa eli kalibroida säännöllisesti.
- Havaintojen teossa kiinnitetään huomiota mittausten toistoon ja sellaisten havaintomenetelmien käyttöön, joilla mittausten virheitä voidaan hallita. [4]

4.2 Parallaksivirheen poistaminen

Mittauskaukoputki on takymetrin tärkein osa, jonka avulla pystytään havaitsemaan mittauskohde pitkälläkin etäisyyksillä. Kaukoputken okulaarissa on hiusristikko, jolla suoritetaan tähtäys prismaan tai muuhun tähykseen. Lisäksi kaukoputkessa on fokusointi osa jolla mittaussäky näydaan teräväksi eri matkoille. Fokusointi voi tapahtua joko mekaanisesti tai elektronisesti. Aina mittauksen alussa tulee fokusointiosa ja okulaari säätää siten, että sekä mitattava kohde ja hiusristikko näkyvät tarkasti. Mikäli tätä ei ole tehty huolellisesti, voi syntyä ns. parallaksivirhettä.

Parallaksivirhe aiheuttaa sen, että mitattava kohde liikkuu suhteessa hiusristikkoon, kun mittaaja liikuttaa päätänsä suhteessa okulaariin. Tämä aiheuttaa epätarkkuutta kohteen havaitsemisessa. Parallaksivirhe poistetaan kohdistamalla mittauskaukoputki ensin esim. valkoista seinää päin ja kohdentamalla näkymä äärettömyyteen. Tämän jälkeen tarkennetaan hiusristikko mahdollisimman teräväksi. Kun hiusristikko näkyy terävästi, voidaan kaukoputki fokusoida kohteeseen ja mitata.

4.3 Kulmahavainnot

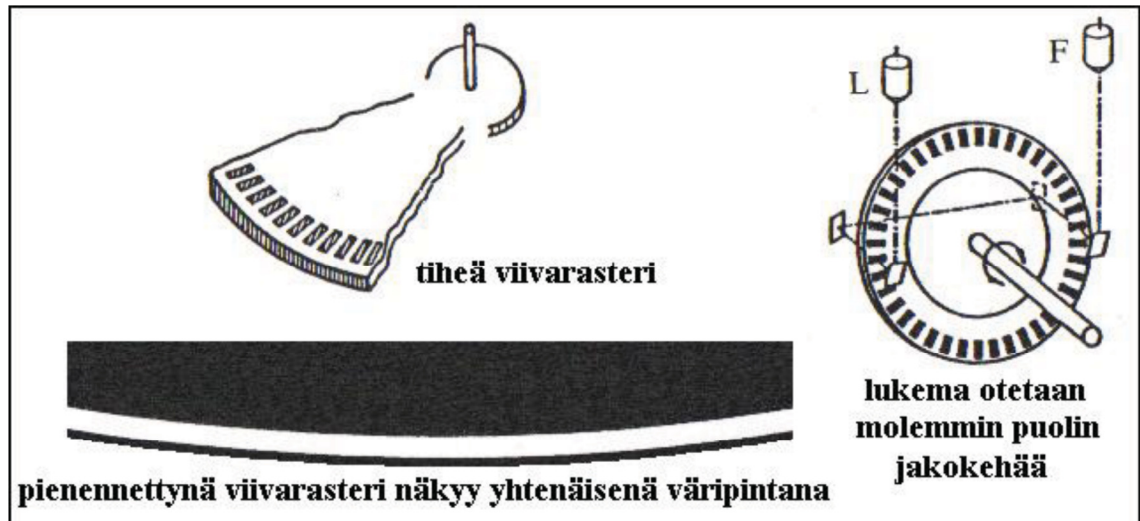
Maanmittaustekniikka on erikoisala, jossa käytetään kulman yksikkönä goonia. Maanmittausalalla goonia käytetään yleisesti, mutta muilla tekniikan aloilla sen käyttö on harvinaista. Milligooni on yleisimmin käytetty yksikkö näistä pienten kulmien esitystavoista. Goonien ja asteiden erona on että täydessä ympyrässä on 360° :n sijaan 400 gon. Ympyrä on siis jaettu useampaan osaan kuin asteissa. Vastaavasti oikokulma on 200 gon (180°) ja suorakulma on 100 gon (90°).

Koska takymetri ja teodoliiti pyörivät sekä pysty- että vaaka-akselin ympäri, niillä voidaan tähdätä mittaushavainnointiin kahdessa asennossa. Näitä asentoja kutsutaan kojeasennoiksi. Kojearasentojen määrittely tapahtuu kulmakehien lukemien perusteella. Takymetri on I-kojeasennossa, kun vaakasuoran tähtäyksen pystykehälukema on 100 gon. Kojearasento on II-kojeasennossa, kun vaakasuoran tähtäyksen pystykehälukema on 300 gon. Kojearasentojen määrittely perustuu siis takymetrin pystykehäkulmaan. Kuitenkin kojeasento vaikuttaa myös vaakakehältä havaittaviin suuntiin. Jos mittaus on virheetön, tulisi I- ja II-asentojen tähtäyssuuntien erota toisistaan oikokulman verran (200 gon). Samaan pisteeseen mitattujen I- ja II-asentojen pystykehäkulmien summaksi puolestaan tulisi täysi kulma eli 400 gon.

Takymetrin normaali mittausasento on pääasiallisesti I-asento. Vaativissa mittauksissa kulmahavainnot tehdään kuitenkin molemmissa kojeasennossa. Tämä sen takia, että toiston avulla parannetaan mittausten tarkkuutta. Tarkkuuden paraneminen perustuu osaksi siihen, että toiston kautta saadaan eliminoidua satunnaiset virheet ja osaksi sen takia, että mittausmenettelyssä eliminoidut keskeisimmät kulmanmittaukseen vaikuttavat systemaattiset kojevirheet (akseli- ja epäkeskisyysvirheet).

Kulmahavainnot tehdään takymetrin pysty- ja vaakakulmakehiltä yleensä automatisoidusti. Tämän vuoksi kulmakehien tulee olla sähköisesti luettavia. Sähköisesti luettavat kulmakehät rakentuvat yleensä eräänlaisesta viivarasterista (kuva 3). Viivarasteri puolestaan muodostaa niin sanotun inkrementiaalikehän, joka on sähköisesti luettavissa. Kehän jakoviivat ovat symmetrisiä, saman levyisiä ja vuoron perään valoa läpäiseviä ja ei-läpäiseviä viivoja. Vaihtoehtoisesti jakoviivat voivat olla myös magneettisia tai galvaanisia juovia. Kehällä on aina tietty määrä viivoja. Kehän lukema otetaan antureilla, jotka sijaitsevat usein molemmin puolin jakokehää tai

useammassakin kohtaa kehällä. Kehään liittyvä anturi laskee lukemakohdan ohittaneiden viivojen lukumäärän aina, kun takymetriä kierretään joko pysty- tai vaak akselin ympäri. Anturia kutsutaan pulssilaskimeksi. Anturin ohittaneiden viivojen lukumäärä muunnetaan tämän jälkeen kulmalukemaksi. Tarkkuuden takaamiseksi on antureita yleensä ainakin kaksi ja ne sijaitsevat kehän vastakkaisilla puolilla. [3]



Kuva 3. Jakokehän viivarasteri. (Laurila, Pasi, 2008)

Tavallisten takymetrien kulmanlukemalaitteiden erotuskyky on luokkaa 0.0001 gon. Parhaimmillaan se voi olla jopa kymmenesosa tästä eli 0.00001 gon. Kun pienten kulmien yksikkönä käytetään usein milligoonia, on 0.0001 gon yhtä kuin 0.1 mgon. Niinpä takymetrien tyypillinen kulmanmittauksen erotuskyky on siis 0.1 mgon luokkaa. [3]

4.4 Etäisyydenmittaus

Takymetrin etäisyydenmittaustapaa kutsutaan elektro-optiseksi etäisyydenmittaukseksi. Elektro-optisessa etäisyydenmittauksessa etäisyysmittaus tapahtuu takymetrin lähettämän ja mittauspisteellä olevasta prismasta heijastuneen signaalin mittauksella. Yleensä mittauksessa käytetään hyväksi kantoaallolle amplitudimoduloitua mittausvärähtelyä. Kantoaallon muodostaa ihmissilmälle näkymätön infrapunainen valo. Joskus kantoaaltona käytetään myös näkyvää valoa. Elektroninen etäisyydenmittaus perustuu siis sähköiseen mittausvärähtelyyn, joka kulkee kantoaaltovärähtelynä prismaan ja palaa takaisin mittalaitteeseen.

Etäisyyden laskeminen tapahtuu laskemalla jatkuva-aaltoisen sähkövärähtelyn vaihe-ero. Mittauksessa lasketaan signaalin edestakaisin kulkemaan matkaan sisältyvien kokonaisten aallonpituuksien lukumäärä ja osa-aallonpituus eli vaihe-ero. Osa-aallonpituus aiheutuu siitä, että matka ei yleensä ole kokonaisen aallonpituuden pituinen. Osa-aallonpituuden mittausta on yksinkertainen toimenpide. Se mitataan esim. pulssilaskimella. [3]

Mittauksessa käytetyt taajuudet ja aallonpituudet ovat toisiinsa nähden kymmenkertaisia. Mittaus aloitetaan karkealla mittauksella, jossa käytetään niin pitkää yksikköjанаа, että osa-aallonpituus määrittää mitattavan matkan kokonaisen aallonpituuksien. Tämän jälkeen aallonpituutta lyhennetään vaiheittain. Lopullinen mittausta eli hienomittaus tehdään mahdollisimman lyhyellä yksikköjанаalla. Mittaus siis tarkennetaan vähä vähältä, kunnes saadaan lopullinen havaintojen keskiarvolukema. Vaihe-eromittaus on kokonaisuutena melko monimutkainen asia, ja sen suorittamiseen kuluu moderniltakin kojeelta aikaa muutaman sekunnin verran. Lopputulos, jonka takymetri näyttää, on siis keskiarvo sadoista mittauksista. [3]

Etäisyys voidaan määrittää myös pulssimoduloidun signaalin avulla. Tällöin etäisyysmittari muodostaa hyvin lyhytkestoisen valopulssin, jonka kulkuaika mitataan. Pulssimodulointia käytetään esim. ilman prismaa mittaavissa takymetreissä. Vastaava mittaustapa on myös käytössä kannettavissa etäisyysmittareissa (esim. Leica Disto-mittarit). Pulssimoduloitua mittaustapaa kutsutaan usein pintaan mittaukseksi. Elektro-optinen etäisyydenmittaus onnistuu siis ilman prismaakin. Pulssimoduloituun signaaliin perustuva etäisyydenmittaus on yksinkertaisempaa kuin vaihe-eromittaus. Siinä yksinkertaisesti määritetään mittaussignaalin kulkuaika.

Tyypillisen elektro-optisen etäisyydenmittauksen tarkkuus on noin 1–5 mm, laitteiden tarkkuudet ilmoitetaan muodossa $a \text{ mm} + b \text{ ppm}$, esim. $3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$. Näin ilmoitetussa tarkkuudessa a on tarkkuuden matkasta riippumaton osa. Matkan osa b on tarkkuuden matkasta riippuva osa, jonka laadun yksikkö on ppm eli parts per million. ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$). Luku kertoo, kuinka monta miljoonasosaa matkasta arvioitu virhe on. Jos esim. virhe on 1 mm kilometrin matkalla ($1 \text{ km} = 1\,000\,000 \text{ mm}$), suhteellinen tarkkuus on 1 ppm. Kilometrin matkalla 10 ppm:n virhe arvo on yhtä kuin 10 mm:n etäisyysvirhe. Tarkkuus ilmaisee todennäköisten virheiden arvioidun suuruuden.

Matkasta riippumattomat virheet (a) liittyvät vaihe-eromittaukseen ja nollapistevirheisiin (esimerkiksi prismavakio). Matkasta riippuvat virheet (b) liittyvät refraktiokertoimeen (sääkorjaukseen) ja mittaustaajuuden (yksikköjangan) vaihteluihin. [3]

4.5 Orientointi

Takymetrillä tehtävien mittausten ensimmäiset toimenpiteet ovat kojeen ja tähysten keskistys ja taseaus mittauspisteille, koje- ja tähyskorkeuksien mittaaminen ja kojeen orientointi koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Näiden toimenpiteiden jälkeen takymetrillä voidaan tehdä kulmien ja etäisyyksien mittauksia ja erityisesti orientoinnin jälkeen sijaintimittauksia mittausta paikan koordinaatistossa.

Ensiksi koje keskistetään ja tasataan. Tällä tarkoitetaan takymetrin asettamista kolmijalan varaan siten, että koje tulee vaakasuoraan. Sama toimenpide suoritetaan tähyksille. Kun kojeen vaaka-akseli on tasattu, tulee myös kojeen pystyakseli pystysuoraan. Keskistys ja taseaus suoritetaan optista luotia ja tasaimia apuna käyttäen. Optisella luodilla seurataan kojeen asentoa maassa olevan pistemerkin päällä ja tasaimilla vaakatason suhteen. Kojeen asentoa säädetään kolmijalan jalkojen ja taseausalustan jalkaruuvien avulla. Optisen luodin asemasta keskistys voidaan suorittaa myös riippuluodin avulla, mutta optinen luoti on riippuluotiin nähden tarkempi keskistyslaite.

Kun takymetrillä mitataan kohteiden korkeuksia, tulee tuntee kojeen ja tähysten korkeudet. Kojekorkeudet mitataan yleensä taskumitalla. Kojen- ja tähyskorkeuksien mittaaminen on jossain määrin epävarma toimenpide, koska taskumitalla ei voida mitata suoraan kojeen vaaka-akselin ja pistemerkin välistä pystysuoraa etäisyyttä. Kuitenkin esim. runkomittauksissa kojekorkeudet tulisi mitata noin 1 mm:n tarkkuudella. Jotta tähän päästäisiin, tulee mittaukset ja mitatun vinomitan korjaaminen pystysuoraksi etäisyydeksi tehdä huolellisesti. Toisissa laitteissa on myös useampi korkeusviiva joihin korkeus voidaan mitata. Niinpä korkeuksia määritettäessä on myös oltava perillä mitä korkeuden määritelmää koje kullakin hetkellä käyttää. [8]

4.5.1 Orientointi tunnetulle pisteelle

Orientointi tarkoittaa mittauspaikan koordinaatiston ja korkeustason määrittelyä. Orientointi on edellytys mittauksen suorittamiselle haluttuun koordinaatistoon. Koordinaatisto voidaan määrittää, jos mittauspaikalla on vähintään kaksi tasorunkopistettä. Orientointi voidaan suorittaa runkopisteiden avulla seuraavasti:

1. Takymetri pystytetään tunnetulle pisteelle, jota kutsutaan asemapisteeksi.
2. Toiselle tunnetulle pisteelle viedään tähyt. Tätä pistettä kutsutaan liitospisteeksi.
3. Kaukoputki tähdätään liitospisteellä olevaan tähykseen.
4. Tähtäyksen vaakakehälukemaksi asetetaan koordinaateista laskettu suuntakulma.

Koska orientointi vaikuttaa sen jälkeen tehtävien mittauksen luotettavuuteen ja tarkkuuteen, on orientointi syytä tarkistaa kartoittamalla heti orientoinnin jälkeen jokin tunnettu piste. Jos muita tunnettuja pisteitä ei ole lähettyvillä, voidaan kartoittaa orientoinnin liitospiste. Jos mitatut koordinaatit ovat vaaditun tarkkuuden sisällä samat kuin tunnetut koordinaatit, voidaan orientointi hyväksyä. Orientoinnin luotettavuutta voidaan myös parantaa käyttämällä mittauksissa useampaa kuin kahta runkopistettä. [8]

4.5.2 Orientointi vapaalle asemapisteele

Vapaan asemapisteen käyttö mittauksissa tarkoittaa menettelyä, jossa takymetri pystytetään koordinaattien kannalta sijainniltaan tuntemattomaan paikkaan. Asemapisteen koordinaatit ja mahdollisesti myös korkeus määritetään tähtäämällä runkopisteisiin. Kojelase laskee asemapisteen koordinaatit automaattisesti ja orientoi vaakakehänsä koordinaatiston pohjoissuunnan suhteen. Tämän jälkeen päästään suorittamaan varsinainen mittaustyö. Vapaan asemapisteen menetelmää suositetaan yleisesti kartoitus- ja merkintämittauksissa helppoutensa takia. Vapaan asemapisteen menetelmällä voidaan asemapisteen paikka valita mittauksen kannalta tarkoituksenmukaiseen paikkaan. [8]

4.6 Havaintojen korjaukset

4.6.1 Prismavakio

Elektro-optisessa etäisyydenmittauksessa tarvitaan takymetrin lisäksi mitattavan etäisyyden toisessa päässä olevaa heijastinta. Mittauksissa käytettävä heijastin ei ole tavallinen peili, vaan prisma, joka heijastaa takymetrin lähettämän signaalin takaisin tulosuuntaan. Näin signaali palaa varmasti takaisin etäisyysmittariin. Etäisyydenmittauksessa on käytettävä nimenomaan prismaa, sillä jos heijastin olisi tasopeili, se täytyisi suunnata aina täsmällisesti takymetriin. Prismaa käytettäessä riittää kuitenkin se, että se suunnataan mahdollisimman hyvin takymetriin. Prismen tarkka suuntaaminen ei ole välttämätöntä etäisyydenmäärityksen kannalta, mutta tarkalla suuntaamisella on merkitys kulmanmittauksen ja suuntien mittauksen tarkkuuteen. [3]

Takymetriä käytettäessä on aina muistettava prismavakioksi sanottu etäisyydenmittauksen korjaus. Etäisyyttä mitattaessa on tarkoitus mitata etäisyys takymetrin pystyakselilla olevasta pisteestä prismen pystyakselilla olevaan pisteeseen. Keskistykseen ja tasaukseen yhteydessä kojeen ja prismen pystyakselit on asetettu kulkemaan maanpinnalla olevien mittauspisteiden kautta. Etäisyydenmittauksen aloituskohta takymetrissä ja signaalin heijastuskohta prismassa eivät kuitenkaan välttämättä sijaitse kojeiden pystyakseleilla. Kojet ja prismat voivat olla etäisyydenmittauksen kannalta epäkeskisiä. Prismavakiolla korjataan laitteiden epäkeskisyys. Prismavakio on elektro-optisen etäisyydenmittauksen havaintojen vakiokorjaus. Jokaiseen mitattuun etäisyyteen tehdään samansuuruinen korjaus.

Kun elektro-optisen etäisyydenmittauksen tyypillinen tarkkuus on muutamia millimetrejä, väärä prismavakio voi aiheuttaa useiden senttimetrien systemaattisen virheen. Prismavakio liittyy siis sekä takymetriin että prismaan. Jos mittauksessa on mukana erilaisia kojeita ja prismoja, mittaajan tulee olla erityisen tarkkana käytettävien prismavakioiden kanssa.

4.6.2 Sääkorjaus

Prismavakion ohella sääkorjaus on toinen elektro-optisessa etäisyydenmittauksessa yleisesti käytetty korjaus. Sääkorjaus tehdään, koska etäisyydenmittauksessa

käytettävän mittaussignaalin etenemiseen vaikuttaa ilmanpaine ja lämpötila. Tämän vuoksi puhutaan sääkorjauksesta. Korjausta varten ilmanpaine ja lämpötila tulee mitata. Mittausten perusteella lasketaan sääkorjaus.

Yleensä takymetreissä on toiminto ilmanpaineen ja lämpötilan kirjaamiseksi ja sääkorjauksen laskemiseksi. Ilmanpaineen mittauksessa käytettävää mittaria kutsutaan barometriksi. Usein ilmanpainemittareissa on myös lämpömittari, jolloin sääkorjauksen määrittystä varten ei tarvita erillistä lämpömittaria. Ilmanpaineen yksikkönä käytetään takymetreissä joko millibaaria (mbar), hehtopascalia (hPa) tai elohopeamillimetriä (mmHg). Näiden yksiköiden välinen yhteys on seuraava: $1000 \text{ mbar} = 1000 \text{ hPa} = 750 \text{ mmHg}$. Usein puhutaan normaalista ilmanpaineesta, merenpinnan tasolla normaali ilmanpaine on $1013.3 \text{ mbar} = 1013.3 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg}$.

Kun merenpinnan tasolta nousee ylemmäksi, ilmanpaine laskee. Tämän vuoksi voidaan korkeuseroja arvioida mittaamalla kohteiden ilmanpaine-eroja. Ilmanpaineen mittaamiseen perustuvaa korkeudenmittausmenetelmää sanotaan barometriseksi korkeudenmittaukseksi. Barometrisen korkeudenmittauksen tarkkuus on kuitenkin huono verrattuna muihin korkeudenmittausmenetelmiin, eikä tämä menetelmä ole yleisesti käytössä maanmittauksen piirissä. [3]

Sääkorjaus annetaan suhteellisena korjauksena, jolloin sen ”yksikkö” on ppm. Kyseessä on laaduton suhdeluku ppm, joka tarkoittaa parts per million eli miljoonasosa matkasta. Yleensä mittausten yhteydessä ei kannata miettiä korjausten merkittävyyttä, vaan takymetrimittauksen yhteydessä on syytä ottaa tavaksi tehdä sääkorjaus. Se määritetään normaalissa mittausrutiinissa takymetrin orientoinnin yhteydessä. Sääkorjaus ei normaaleissa mittausolosuhteissa kuitenkaan ole yhtä kriittinen korjaus mittauksen tarkkuuden kannalta kuin prismavakio.

4.7 Sarjahavaintomenetelmä

Yksinkertaisessa kulmanmittauksessa suuntahavainnot tehdään vain kojeen I-asennossa. Tarkkoja mittauksia tehtäessä tehdään havainnot kuitenkin molemmissa kojeasennossa. Kun havainnot tehdään kummassakin kojeasennossa sanotaan, että tehdään sarjahavaintoja. Sarjahavaintoja käytetään erityistä tarkkuutta vaativissa mittauksissa, kuten runkomittauksissa. Sarjahavaintoja tehtäessä mittauksia toistetaan

määrätyssä järjestyksessä kojeen I- ja II-asennoissa. Kahden tähtäyssuunnan erotusta kutsutaan muunnoskulmaksi. Perinteisesti vaakasuuntien sarjahavainnot on suoritettu seuraavasti:

1. Valitaan vertailusuunta, jonka suhteen muunnoskulmat määritetään.
2. Havaitaan kojeen I-asennossa vertailusuunnasta alkaen myötäpäivään kiertäen kaikkien tähtäyspisteiden vaakakehälukemat. Nämä havainnot muodostavat 1. puolisarjan.
3. Käännetään koje II-asentoon ja havaitaan viimeisestä tähtäyspisteestä vastapäivään kiertäen kaikkien tähtäyspisteiden vaakakehälukemat. Nämä havainnot muodostavat 2. puolisarjan.
4. Lasketaan I- ja II-asentojen lukemien keskiarvot.
5. Lasketaan keskiarvoista muunnoskulmat vertailusuunnan suhteen vähentämällä alkusuunnan keskiarvo muista keskiarvoista.
6. Mitataan tarvittaessa toinen tai useampi sarja ja lasketaan lopuksi muunnoskulmien keskiarvot. Muunnoskulmien keskiarvoja kutsutaan sarjakeskiarvoiksi. [3]

5 Mittausvälineiden käsittely

Avaa kojeen kotelo aina käytön jälkeen. Muuten kojeen pintaan ja sisälle voi kondensoitua vettä. Pidä optiikka puhtaana. Varo kuitenkin naarmuttamasta optiikkaa. Seuraa vaaka- ja pystykehälukitusten pitävyyttä. Pienintäkään luistamista ei voida sallia. Varo kojeen kääntämistä telkiruuvit lukittuina. Testaa vaaka- ja pystysuunnan paikallaan pysyvyys merkitsemällä tähtäyspiste. Tämän jälkeen käännä kevyesti tähtäysputkea lukittuna alaspäin ja vaakakehää lukittuna vastapäivään. Laite joustaa kummassakin asennossa hiukan ja palaa perusasentoon. Tarkista tähtäys. Suorita testimittaus aina kun laitetta mahdollisesti kolhitaan. [8]

6 Takymetrin virhelähteet

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

6.1 Akselivirheet

Takymetrin akselit ovat pysty-, vaaka-, tähtäys- ja tasaimen akselit. Kulmanmittauksen tarkkuuteen vaikuttavat mittauskojeen (takymetri tai teodoliitti) kulmanlukujärjestelmän tarkkuus, kojeen rakenteelliset tekijät, havaintojen suoritustekniikka ja havaitsija. Tarkoista valmistusmenetelmistä huolimatta esiintyy takymetreissä rakennevirheitä, jotka ilmenevät poikkeamina takymetrin akselistossa (kuva 4).

Tavallisimpia tarkkuuteen vaikuttavia poikkeamia ovat kojeen akseli- ja epäkeskisyysvirheet, akselien ja kehien epäkeskisyysvirheet ja jakokehien jaotusvirheet. Jotta kulmanmittauskoje toimisi rakenteensa puolesta virheettömästi, tulee seuraavien ehtojen täyttyä:

- Pystyakselin tulee olla tasauksen jälkeen pystysuorassa luotiviivaan nähden.
- Vaaka-akselin on oltava kohtisuorassa pystyakselia vastaan.
- Tähtäysakselin on oltava kohtisuorassa vaaka-akseliin nähden.
- Kaikkien akselien tulee leikata samassa pisteessä
- Pystyakselin tulee kulkea vaakakehän keskipisteen kautta
- Vaaka-akselin tulee kulkea pystyakselin keskipisteen kautta.

Jos vaaka-akseli ei ole kohtisuorassa pystyakselia vastaan, on kojeessa tappikaltevuusvirhe (w). Jos tähtäysakseli ei ole kohtisuorassa vaaka-akselia vastaan, on kojeessa kollimaatiovirhe (c). Jos akselit eivät leikkaa samassa pisteessä tai ne eivät kulje jakokehien keskipisteiden kautta, on kojeessa erilaisia epäkeskisyysvirheitä. Epäkeskisyysvirheillä voi olla merkitystä lyhyillä tähtäyksillä. Vain pystykulmanmittauksessa vaikuttava kulmanmittauskojeen rakenteellinen virhe on pystykehän nollapistevirhe eli pystykehän indeksivirhe. [3]

Pääosa rakenteellistenvirheiden vaikutuksista voidaan kompensoida tai tasoittaa tietyin tavoin mitatessa. Akseli- ja epäkeskisyysvirheet eivät aiheuta ongelmia, jos havainnot toistetaan kahdessa kojeasennossa ja lasketaan havaintojen keskiarvot. Pystyakselin kaltevuusvirhe ei poistu I- ja II- kojeasennossa. Tarkoituksena on parantaa lopputulosten tarkkuutta sekä toistoon perustuen että eliminoimalla (poistamalla)

kulmanmittauskojeen rakenteellisten virheiden vaikutukset. Osa kojevirheistä voidaan myös säätää pois niiden määrittämisen yhteydessä.

Kumoutumisperiaatteista huolimatta on havaintojen tekijän tiedostettava kojeessa mahdollisesti esiintyvät virheet ja oltava perillä niiden vaikutuksista havaintoihin. Epäkeskisyysvirheitä ei ole mahdollista määrittää muutoin kuin laboratoriossa erikoisvälinein. Sen sijaan akselivirheet on, pystyakselin kaltevuusvirhettä lukuun ottamatta, mahdollista määrittää normaalissa käyttöympäristössä.

6.1.1 Tähtäysakselin kollimaatiovirhe

Akselistoehdojen mukaan tähtäysakselin tulee olla kohtisuorassa vaaka-akselia vastaan. Jos tämä ei toteudu, on kojeessa kollimaatiovirhettä. Normaalisti tämä johtuu siitä, että tähtäämistä varten oleva hiusristikko ei ole keskellä mittauskaukoputkea. Kollimaatiovirheen vaikutus suuntahavaintoihin kumoutuu havaitsemalla kohde I- ja II- asennoissa. Virhe voidaan poistaa siirtämällä hiusristikkoa. Tämä ei sinänsä ole enää tarpeellista, sillä nykyaikaisissa takymetreissä voidaan kollimaatiokorjaus asettaa suoraan takymetriin, jolloin koje ottaa kollimaatiovirheen automaattisesti huomioon mittauksissa. Kollimaatiokorjauksen määrittämiseen on usein ohjeet valmistajan käyttöohjekirjassa. Mikäli takymetri ylittää valmistajan asettaman rajan, tulee takymetri viedä valmistajan valtuuttamaan huoltoon.

6.1.2 Tappikaltevuusvirhe

Takymetrin vaaka-akselin tulee akselistoehdojen mukaan olla kohtisuorassa suhteessa pystyakseliin. Jos näin ei kuitenkaan ole, on kyseessä tappikaltevuusvirhe. Tappikaltevuuden vaikutus voidaan poistaa suorittamalla mittaus molemmissa kojeasennoissa, jolloin virhe kumoutuu havaintojen keskiarvosta.

6.1.3 Pystykehän indeksivirhe

Indeksivirhe eli pystykehän 0-pistevirhe ilmaisee poikkeamaa pystykehän 0-suunnan ja luotiviivan suunnan välillä. Takymetrin 0-suunta ilmoittaa milloin kojeen pystykulma on kohdassa 0. Suunnan, jossa pystykulman arvo on 0, tulisi aina olla yhtenevä luotiviivan kanssa. Jos näin ei kuitenkaan ole, antaa koje virheellisen pystykulmatuloksen. Takymetrin ja teodoliitin pystykehä on orientoitu niin, että kojeen tasauksen jälkeen kehän 0-piste osoittaa suoraan ylöspäin eli zeniittiin.

6.2 Epäkeskisyysvirheet ja muut mahdolliset virheet

Kuten useimpien takymetrin rakenteellisten virheiden kohdalla, niin epäkeskisyysvirheiden tapauksessakaan ne eivät aiheuta ongelmia, jos havainnot toistetaan kahdessa kojeasennossa ja lasketaan havaintojen keskiarvot. Epäkeskisyysvirheiden määrittäminen on mahdollista vain laboratorio-olosuhteissa, joten käyttäjällä ei ole mahdollisuutta vaikuttaa näiden virheiden korjaamiseen.

6.2.1 Kaukoputken epäkeskisyys

Tähtäysakselin, vaaka-akselin ja pystyakselin tulisi leikata toisensa samassa pisteessä jos näin ei kuitenkaan ole, on kaukoputki epäkeskinen ja aiheuttaa virhettä havaintoihin. Kaukoputken epäkeskisyyden vaikutus saadaan kumottua havaitsemalla kohde I- ja II-kojeasennossa.

6.2.2 Jakokehien epäkeskisyys

Pystyakselin ja vaakajakokehän leikkauspiste voi poiketa vaakajakokehän keskipisteestä. Samoin vaaka-akselin ja pysty jakokehän leikkauspiste voi poiketa pystyjakokehän keskipisteestä. Tällainen epäkeskisyys aiheuttaa virhettä suuntahavaintoihin, mutta tämäkin virhe saadaan kompensoitua, jos mittaus suoritetaan molemmissa kojeasennossa.

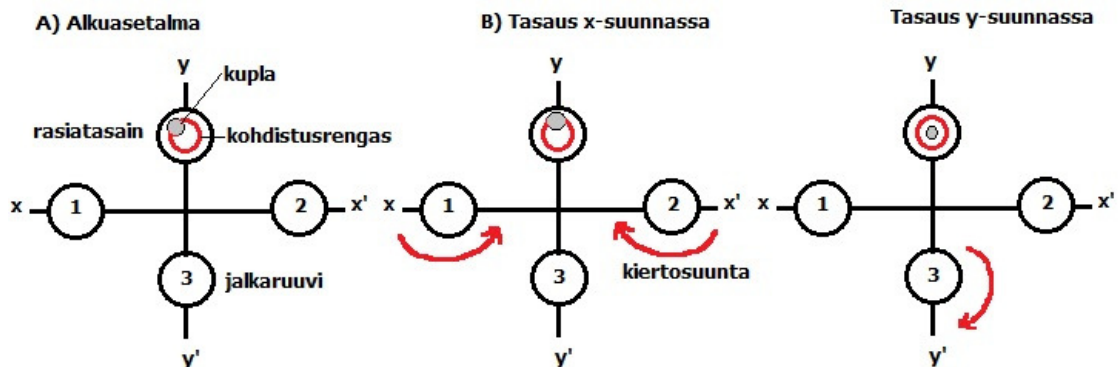
6.2.3 Hiusristikon kaltevuus

Hiusristikon kaltevuus on havainnontekoa häiritsevä virhe, joka ei vaikuta havaintoihin, jos tähtäyksen kohteeseen suoritetaan ristikon keskikohdalla. Vaakaviivan vaakasuoruuden voi tarkistaa tähtäämällä kohteeseen vuoronperään viivan molemmilla päillä ja vertaamalla pystykehälukemia. Lukemien tulisi luonnollisesti olla yhteneviä.

6.2.4 Tasaimen virhe

Takymetrin tasaimen toiminta pitää tarkistaa säännöllisin väliajoin. Tasaimen tehtävänä on auttaa havaitsijaa saamaan vaaituskojeen tähtäysakseli vaakasuoraan, siis kohtisuoraan paikallisen painovoiman (luotiviivan) suuntaa vastaan. Jos tasaimessa on virhettä, vaikuttaa se mittauksiin.

Tietyin välein on tarkistettava, että tähtäysakseli on samansuuntainen tasaimen akselin eli horisontin kanssa. Ympäristön vaikutuksesta jokainen koje "elää" ja muuttuu mm. lämpötilan ja ilmanpaineen vaihtelujen sekä käsittelyn ja kulumisen seurauksena.



Kuva 5. Ohje takymetrin tasaamiseen.

Teodoliitin tarkka tasaus alhidaditasaimen avulla suoritetaan seuraavissa vaiheissa (kuva 5):

1. Ensin suoritetaan karkea tasaus rasiatasaimen avulla.
2. Tasataan ensin jalkaruuvien 1–2 suuntaan. Otetaan tarvittaessa huomioon tasaimen nollavirhe vaiheesta 4.
3. Käännetään alhidadi 100 gon, ja tasataan myös tähän suuntaan.
4. Käännetään alhidadi 200 gon. Jos alhidaditasain on kunnossa, pitäisi kuplan olla taas keskellä. Mikäli näin ei ole, tasataan kupla siirtymäkohdan puoleenväliin, siis tasapainoasemaan jalkaruuveilla. Tasaimen nollavirhe on puolet kuplan siirtymästä vaiheiden 3 ja 4 välillä.
5. Toistetaan 2–4, kunnes tasaus ei enää muutu. Varmista, että kupla liikkuu vapaasti eikä sen pää ota tasaimen reunaan kiinni. Mikäli kohdassa 4 löytynyt poikkeama on kovin suuri, on alhidaditasain säädön tarpeessa.

6.3 Etäisyysvirheet

Etäisyysmittarin rutiinikalibroinnissa virheen arvoina määritetään vakiovirhe sekä taajuusvirheestä johtuva mittakaavavirhe. Taajuusvirhe mitataan suoraan säteestä ilmaisinta ja taajuuslaskuria käyttäen. [5]

7 Kalibrointi

Kalibrointiin liittyvät asiat vaikuttavat kojeiden käyttökunnon ja tarkkuuden ylläpitoon. Nämä ovat tärkeitä asioita, koska mittauslaitteilla pitää pystyä tekemään erittäin tarkkoja mittauksia pitkiäkin matkoja. Mittauskojeet ovat arvokkaita, hienomekaanisia, optisia ja elektronisia kojeita. Mittauskojeita tulee käsitellä asianmukaisesti, jotta ne säilyvät toimintakuntoisina ja tarkkoina. Kalibroinnilla voidaan säilyttää mittauslaitteen/-järjestelmän alkuperäinen tarkkuustaso ja taloudellinen arvo.

Kalibroinnilla tarkoitetaan mittauslaitteen näyttämän oikeellisuuden testausta. Se käsittää kaikki toimenpiteet, joiden tarkoituksena on laitteen virheiden määrittäminen. Kalibrointiin voi kuulua myös kalibroitavan laitteen säätö. Sillä saadaan selville systemaattiset virheet ja satunnaisten virheiden aiheuttama hajonnan arvo. Vain kalibroinnin avulla voidaan määrittää mittauslaitteen tarkkuus. Kun havaintoa tai mittaustulosta korjataan kalibrointitodistuksessa ilmoitetulla systemaattisen virheen arvolla, saadaan mittaustuloksen todennäköinen arvo ja oikea arvo yhtymään. [3]

Kalibroinnin tarkoitus voi olla myös edellistä määrittelyä laajempi. Tällöin kalibroinnin kohde voi olla paitsi mittauslaite myös mittausmenetelmä ja laskentaohjelma tai näiden muodostama mittausjärjestelmä. Tällöin puhutaan järjestelmäkalibroinnista. Siinä kalibroinnin kohteeksi voi tulla myös mittausvälineitä käyttävä henkilöstä. Järjestelmäkalibrointiin liittyvä toiminta on kuitenkin viime vuosina vähentynyt.

Nykyisin yhä useampien yritysten toimintoja ohjaa laatujärjestelmä. Laatujärjestelmä dokumentoidaan laatukäsikirjassa. Yksi tehokkaan laatujärjestelmän tunnusmerkeistä on se, että tuotteiden ja palvelujen laadulle on asetettu mitattavissa olevia ja seurattavia tavoitteita. Laadukkaat mittaukset edellyttävät asiakasvaatimusten täytymistä. Edellä oleva kalibroinnin määritelmä tarkoittaa käytännössä sitä, että panostamalla kalibrointiin saavutetaan mittatarkkuus ja luotettavuus, jotka ovat laadun takeita. [5]

Geodeettisten kojeiden kalibroinnista on maininta esimerkiksi kaavoitusmittausasetuksessa ja kaavoitusmittausohjeissa. Ilman virallisia määräyksiäkin on selvää, että mittauslaitteiden tarkkuudesta on pidettävä huolta. Ilman kalibrointia

mittauskojeiden tarkkuutta ei voi taata. Kalibroinnissa on kyse mittausten laadunvalvonnasta ja siihen liittyvän hyvän mittaustavan noudattamisesta. [3]

7.1 Kalibrintilajit

Kalibrintitoiminta voidaan jakaa kahteen osaan. Nämä ovat määrityskalibrointi ja seurantakalibrointi. Määrityskalibrointi tehdään laboratoriossa ja tätä seuraavasti seurantakalibrointia kentällä. Lisäksi voidaan ajatella, että mittauskojeiden ohjeiden mukainen käyttö on kalibrintitoiminnan kolmas taso, eräänlainen kalibrintitoiminnan minimitaso.

7.1.1 Määrityskalibrointi

Määrityskalibrointi suoritetaan aina laboratorio-olosuhteissa. Sen suorittajalla tulee olla jonkin kansallisen tai kansainvälisen mittausalan organisaation valtuutus. Määrityskalibroinnit ovat maksullista toimintaa. Määrityskalibrointi on hyvä tehdä kojeen hankinnan yhteydessä, suurempien huoltotoimenpiteiden jälkeen ja kojeille, joiden tarkkuuden on todettu oleellisesti muuttuneen. Määrityskalibroinnissa määritetään mittauslaitteen kojevirheiden arvot tarkoituksena todeta:

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

Määrityskalibroinnilla määritetään kojevirheiden arvot korjausta varten. Määrityskalibrointi tehdään uudelle mittauskojeelle ja sellaiselle kojeelle, joka on ollut huollossa. Lisäksi määrityskalibrointi tehdään yleensä ennen kenttäkautta ja suuremman mittausprojektin edellä. Ensimmäinen seurantakalibrointi suoritetaan välittömästi määrityskalibroinnin jälkeen. Koje voi olla seurantakalibroinnin piirissä niin pitkään, kunnes mittaustuloksen muutos ylittää tehtaan sille salliman arvon tai on muutoin syytä epäillä mittaustuloksen oikeellisuutta. Seurantakalibroinnissa kalibrintiväli on säännöllinen, ja sen pituus riippuu kojeesta, käyttötarkoituksesta ja käyttöasteesta. Jos/kun koje joudutaan toimittamaan huoltoon, tulee huollon kanssa sopia määrityskalibroinnin suorittamisesta, jotta kojeen kulloinenkin tarkkuus on aina mittaajan tiedossa. [5]

7.1.2 Seurantakalibrointi

Seurantakalibrointi on ns. kenttäkalibrointia, jota tekee kojeen käyttäjä. Siinä ei määritetä kojevirheiden arvoja vaan ainoastaan seurataan, pysyvätkö kojeen ominaisuudet ja mittaustulokset samoina kuin ne olivat edeltävässä määrittyskalibroinnissa. Seurantakalibroinnissa testilinjalla tai -kentällä tehdään toistomittauksia säännöllisin väliajoin ja seurataan kojeen toiminnallista kuntoa, mittaustuloksen muutosta verrattuna tehtaan kojeelle ilmoittamiin sallittuihin muutosarvoihin.

Ensimmäinen seurantakalibrointimittaus tulee tehdä heti määrittyskalibroinnin jälkeen. Jos sallittu muutosarvo ylittyy, toimitetaan koje normaalisti huoltoon, josta se palaa sovitusti – määrittyskalibroinnin kautta – takaisin käyttöön ja taas seurantakalibroinnin piiriin. Näin mittaaaja on jatkuvasti tietoinen kojeen tarkkuudesta ja voi arvioida sen käytettävyyttä kulloiseenkin mittaustehtävään.

Erilaisia seurantakalibroinnin menetelmiä on kuvattu kojeiden käyttöohjeissa, mittaushjeissa ja -standardeissa ja yleisessä ammattikirjallisuudessa. Varsinaisten kalibrointien (määrittys- ja seurantakalibrointien) lisäksi mittauskojeiden valmistajien antamien mukainen käyttö, tarkastaminen ja säätö ovat kalibrointitoimintaan kuuluvia asioita. Ohjekirjan mukaiset tarkastus- ja säätömenettelyt voidaan rinnastaa seurantakalibrointiin. Kojien ohjeiden mukainen käyttö on kalibrointitoimintaa minimitasolla. [3]

7.2 Kalibrointisuositukset ja huoltorytmi

Suurin osa mittauskojeissa ilmenneistä huoltotarpeista voitaisiin välttää, mikäli laitteiden ylläpidossa noudatettaisiin säännöllistä kalibrointi- ja huoltorytmiä. Taulukossa 1 on esitetty vaatuskojeiden ja takymetrien ohjeelliset kalibrointi- ja huoltovälit. Taulukossa mainittu helppo ympäristö tarkoittaa, että kojetta käytetään normaaleissa mittausolosuhteissa. Vaativassa ympäristössä esiintyy tavallista enemmän kosteutta, pölyä, tärinää jne.

Taulukko 1. Kalibroinnin esimerkkiaikataulu.

Käyttökohde	Toimenpide	Aika
Helppo ympäristö	Kalibrointi	kerran vuodessa
	Ulkoinen puhdistus	kerran vuodessa
	Täydellinen puhdistus	joka viides vuosi
Vaativa ympäristö	Kalibrointi	2 kertaa/vuosi
	Ulkoinen puhdistus	2 kertaa/vuosi
	Täydellinen puhdistus	kerran vuodessa

7.3 Kalibroitahot

Suomessa Mittatekniikan keskus (MIKES) on keskeinen kalibrintipalveluita välittävä ja koordinoiva organisaatio. Määrityskalibrointeja voidaan teknisesti suorittaa laitteiden huoltopaikoissa, mutta niillä ei ole välttämättä virallisen, puolueettoman kalibrintipaikan asemaa. Laitevalmistajien valtuuttamia huoltopaikkoja voidaan kuitenkin pitää luotettavina toimijoina kalibrintiasioissa.

7.4 Kalibroinnin laboratoriovälineet

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti välineitä joita käytetään määrityskalibroinnissa. Luonnollisesti tämän insinööriyön aikana ei ollut mahdollisuutta käyttää tällaisia välineitä, joten mittaussuunnitelman ja työnsuorittamisen osioissa on kerrottu, miten laitteiden puute saatiin korjattua.

7.4.1 Suuntakollimaattori

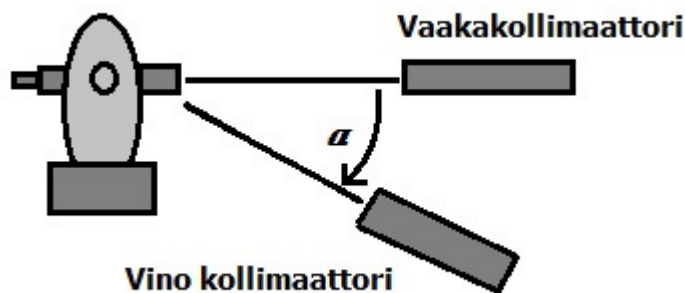
Suuntakollimaattori on laboratorioke, jonka tarkoitus on toimia tähtäyspisteenä määritettäessä kulmanmittauskojeiden kojevirheitä. Osa kojevirheistä voidaan myös säätää pois määrityksen yhteydessä. Kollimaattori on pitkäpolttovälinen kaukoputki, jonka okulaarin polttopisteessä on pistemäinen valolähde. Valolähteestä lähtevät valonsäteet läpäisevät polttotasossa olevan viivaristikon ja jatkavat objektiivin läpäistyään matkaansa yhdensuuntaisena sädekimppuna. Kollimaattori on siis fokusoitu äärettömyyteen.

Kollimaattoria käytetään siten, että tutkittava koje asetetaan kojepöydälle ja suunnataan kollimaattorin viivaristikoon. Sitten molempien, sekä kojeen että kollimaattorin, viivaristikot fokusoidaan teräviksi. Tämän jälkeen kohdistetaan koje kollimaattoriin. Kun kummankin kojeen viivaristikot näkyvät päällekkäin, ovat kaukoputkien tähtäysakselit yhdensuuntaiset.



Kuva 6. Seinälle kiinnitetty kollimaattori. Kuvassa on nähtävissä johto, jolla saadaan virta kaukoputken päässä olevalle valonlähteelle. [6]

Teodoliitin ja takymetrin akselivirheitä tarkastettaessa kollimaattorin päätehtävä on tarjota äärettömän kaukana oleva täsmällinen tähtäyspiste. Kollimaattorin valaistu viivaristikko muodostaa täsmällisen ja selkeästi erottuvan tähtäyspisteen. Akselivirheiden määrittämiseksi tarvitaan sekä vaakasuorassa että vinossa olevat kaukoputket. Akselivirheitä määritettäessä vaakasuoran kollimaattorin ei tarvitse olla täsmälleen vaakasuorassa. Myöskään vinon kollimaattorin ei tarvitse olla missään tietyssä kaltevuudessa.



Kuva 7. Vinon- ja vaakakollimaattorin sijoitus suhteessa takymetriin.

Akselivirheiden määrittäminen perustuu kohteen havaitsemiseen I- ja II-asennoissa. Ensiksi määritetään kollimaatiovirhe ja pystykehän nolapistevirhe käyttäen lähellä vaakatasoa olevaa mittauskohdetta. Sitten mitataan jokin jyrkässä kulmassa näkyvä kohde. Sen avulla määritetään tappikaltevuus. Normaalisissa mittausympäristöissä voi riittävän jyrkän muodostaminen olla hankalaa, varsinkin kun kohteiden pitäisi olla mahdollisimman kaukana kojeesta. Syy miksi määrittämisessä käytettävien mittauskohteiden tulisi olla

mahdollisimman kaukana, on se, että tällöin kojeen epäkeskisyydevirheillä ei ole merkitystä mittaustulosten kannalta. Jos akselivirheiden määrittämisessä on mahdollista käyttää suuntakollimaattoria, ei pisteiden valintaan liittyviä ongelmia ole.

7.4.2 Laserinterferometri

Laboratio-olosuhteissa etäisyydenmittauksen vertailumatkan määrittäminen tapahtuu laserinterferometrillä. Laserinterferometrillä saavutetaan parhaimmillaan noin 30 nanometrin standardiepävarmuus yhden metrin mittaisen siirtonormaalien kalibroinnissa. Nanometri (nm) on miljardiosa metrillä ($10 \cdot 10^{-9}$ m). Laserinterferometrillä havaitaan samaa matkaa kuin takymetrillä, jonka jälkeen verrataan takymetrin tuloksia interferimetrin tuloksiin. Etäisyyssmittarin rutiinikalibroinnissa virheen arvoina määritetään vakiovirhe sekä taajuusvirheestä johtuva mittakaavavirhe. Taajuusvirhe mitataan suoraan säteestä ilmaisinta ja taajuuslaskuria käyttäen. [5]

8 Mittaussuunnitelma

8.1 Pisteistö

AIP:llä käytettävien tilojen luonteesta johtuen pisteitä ei voi rakentaa kovin kiinteästi (liite 1). Pisteiden rakentamisessa on tärkeää saada ne mahdollisimman liikkumattomiksi ja sellaisille paikoille, joista ne on helppo havaita. Pisteinä käytetään tarraprismoja seinillä, lattiassa tarramerkkiä ja lisäksi laitteille, joissa on prismattoman mittauksen mahdollisuus, merkittiin seinälle maalarinteippiin kynällä risti. Lattiapisteiden sijoittaminen tarrapisteillä johtuu siitä, että tällöin asiasta tietämätönkin voi olettaa, että kyseessä on jotain tärkeää, eikä vain tahra lattiassa. Tarroilla merkittävien pisteiden ympärille merkkasin lyijykynällä tarran ääriviivat, jotta tulevaisuudessa voidaan heti havaita, jos tarra on päässyt liikkumaan. Lattiapisteet on tehty kolmijalalla pystytettävien prismojen käyttöä silmälläpitäen.

8.2 Koordinaatisto

Laitteiden etäisyyssmittaukseen osalta käytetään AIP:n toimiston ohi kulkevaa käytävää. Koordinaatisto muodostetaan tunnetun asemapisteen menetelmällä. Ensin merkitään lattiaan yksiselitteinen piste, jolle tuotantokäytössä oleva takymetri keskistetään. Pisteen koordinaatit ovat tässä tapauksessa järjestelmän origossa (500,100). Origon on

hyödyllistä määrittää johonkin muuhun muotoon kuin 0,0, koska näin voidaan suoraan koordinaattilistaa katsomalla todeta, mihin suuntaan koordinaatistossa liikutaan. Tältä origopisteeltä mitataan edelleen koordinaatit muille käytettäville pisteille. Tässä tapauksessa liitospiste tulee kontrollin vuoksi vastakkaiseen suuntaan kuin määrittämisessä käytettävät etäisyyspisteet.

8.3 Korjaukset ja yleiset asiat

Mitatessa tulee muistaa seuraavat korjaukset ja asiat: mittaajan ja allekirjoitus, kojekorkeuden mittausta, ennen käyttöä mittauskojeiden tulee antaa tasaantua ympäristön lämpötilaan. Nopeat lämpötilan muutokset ja kojeiden epätasainen lämpeneminen häiritsevät erityisesti kojeiden tasausta. Lämpötila mitataan lämpötilamittarilla ja ilmanpaine- ja korjaukset ilmatieteen laitokselta, tai laitekohtaisesti korjaus voidaan ottaa sisäisestä ilmanpainemittarista, jos laitteessa on tällainen ominaisuus.

9 Työn suorittaminen

Käytössä ei ole laserinterferometriä, joten etäisyydenmäärittäminen tapahtuu seuraavasti. Vertailumatkat määritetään Metropolian tarkimmalla takymetrillä (Trimble S6), tämän jälkeen testattavien takymetri tuloksia verrataan tähän tulokseen. Takymetri on keskistetty lattiatarran päälle jolloin matkat voidaan aina määrittää samasta pisteestä. Etäisyyden määrittäminen ja vertaaminen tapahtuu käyttämällä kolmea sarjaa jokaista pistettä kohden. Tässä tapauksessa tähyksiä oli kolmen mallisia (prisma, tarra ja teippi) ja lisäksi mitattavia etäisyyksiä oli myös kolme (n. 5 m, n. 10 m ja n. 18 m).

Huomioitavaa tämän mallisessa etäisyyden määrittämisessä on laitteen keskistämisen aiheutuva epävarmuus. Kun prisma ja koje molemmat keskistetään pisteelle, voidaan keskiarvona pitää 1 mm virhettä molemmissa päissä mittauksista. Näin ollen on keskistämisen aiheutuva virhe mitattavaan matkaan n. 1–2 mm. Lisäksi vertailutakymetrin mittaustarkkuudesta johtuva epävarmuus on 1 mm. Näin toimimalla ei siis luonnollisesti päästä laboratoriotuloksiin, mutta karkeiden virheiden toteaminen on kyllä mahdollista. Rata täyttää siis tarkoitetun tehtävän mukaiset vaatimukset.

Akselivirheiden määrittämisessä ei ollut käytettävissä suuntakollimaattoria, joten turvauduin vaihtoehtoiseen keinoon saadakseni täsmällisiä tähtäyspisteitä. Yksi tapa olisi ollut käyttää prismoja tarvittavien tähtäysten tekemiseen. Tämä menettelytapa vaatisi kuitenkin hyvin kaukana olevia pisteitä (yleisesti ohjeissa puhutaan 100 m:n matkoista), ja sopivan jyrkkien kulmien löytäminen olisi ollut vaikeaa. Lopulta parhaaksi vaihtoehdoksi jäi takymetrin käyttäminen kollimaattorina (katso akselivirheiden määrittäminen). Määrityksessä käytettävien mittauskohteiden tulisi olla mahdollisimman kaukana, koska tällöin kojeen epäkeskisyysvirheillä ei ole merkitystä mittaustulosten kannalta. Jos akselivirheiden määrittämisessä on mahdollista käyttää suuntakollimaattoria, ei pisteiden valintaan liittyviä ongelmia ole.

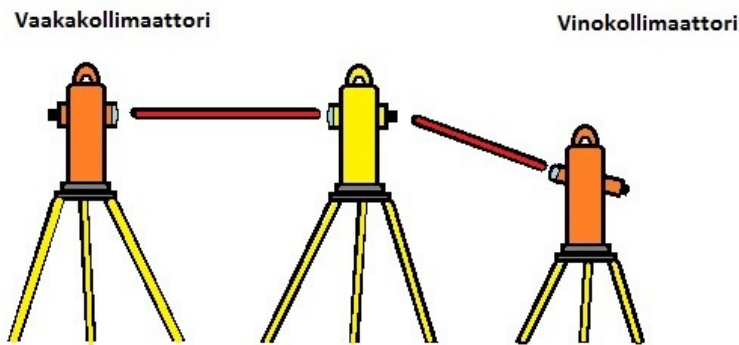
9.1 Etäisyysmittaradan rakentaminen ja havainnot

Kun koordinaatistolle on määritetty origo ja tarvittavat pisteet orientoimista varten, mitataan etäisyyksiä niille pisteille, joilla suoritetaan etäisyysmittarin testausta. Koska kojevirheillä ei ole merkitystä, kun mitataan sarjahavaintoina, tehtiin määrittäminen kolmena sarjana. Määrityksessä käytettävien mittauskohteiden tulisi olla mahdollisimman kaukana, koska tällöin kojeen epäkeskisyysvirheillä ei ole merkitystä mittaustulosten kannalta. Kuitenkin nyt oli tyydyttävä siihen, mitä pystyttiin järkevästi käyttämään. Etäisyyden määrittämiseen käytettiin kolmea eri matkaa. Etäisyysmittarin testauksessa käytetään tarrapisteitä seinällä, teippi pisteitä sekä lattiapisteitä, joille on pystytetty prisma. Prismat ovat pisteillä, joille on jo aikaisemmin määritetty etäisyydet mittaradan origosta lähtien, käyttäen tuotantokäytössä olevaa takymetriä (liite 2). Liitteistä nähdään, että näinkin yksinkertaisella mittaradalla pystytään todentamaan virheitä, jotka vaikuttavat mittauksen lopputulokseen huomattavasti.

9.2 Akselivirheiden määrittäminen

Koska saatavilla ei ole laboratoriokäyttöön suunniteltua suuntakollimaattoria, voidaan toisia takymetrejä käyttää kollimaattoreina. Tämä tapahtuu siten, että apuna olevat takymetrin kohdistetaan äärettömyyteen ja ristikko kohdistetaan mittaajan silmälle sopivaksi. Tämän jälkeen testattavalla takymetrillä tähdätään apuna olevan takymetrin objektiivin (kuva 8). Apuna olevan takymetrin okulaariin voi joko näyttää valoa, tai riittävän huonevalaistuksen tapauksessa voidaan okulaarin taakse asettaa valkoinen paperi niin että hiusristikko on selkeästi erotettavissa.

Teodoliitin ja takymetrin akselivirheitä tarkastettaessa kollimaattorin päätehtävä on tarjota äärettömän kaukana oleva täsmällinen tähtäyspiste. Kollimaattorin valaistu viivaristikko muodostaa täsmällisen tähtäyspisteen. Akselivirheiden määrittämiseksi tarvitaan sekä vaakasuorassa että vinossa olevat kaukoputket.



Kuva 8. Toinen kollimaattori on suunnilleen vaakasuorassa ja toinen on noin ± 10 gon vaakatasosta.

Kyseessä ei nyt ole kiinteä kollimaattoriasetelma, joten takymetrit voidaan pystyttää tarkoituksen mukaisella tavalla pieneenkin tilaan. Vaakakaukoputkena toimiva takymetri ja tutkittava takymetri tulee asettaa suunnilleen samalle korkeudelle. Akselivirheiden määrittäminen suoritetaan 5 sarjahavainnolla molempiin kollimaattoreihin. Näin saadaan mittaukselle tarkempi arvo, kun näistä havainnoista lasketaan keskiarvo, jota käytetään sitten virheiden laskemiseen.

Vaakakollimaattori			
Vaakakehä:		Pystykehä:	
$l' \text{ I} =$	0,00162	$z' \text{ I} =$	99,68928
$l' \text{ II} =$	200,00188	$z' \text{ II} =$	300,30996
$\Delta l' = l' \text{ I} - l' \text{ II} + 200 =$		$e'_o = (z' \text{ I} + z' \text{ II} - 400)/2 =$	-0,00038
Kollimaatiovirhe:			
$c = \Delta l' / 2 =$	-0,00013		
Vino kollimaattori			
Vaakakehä:		Pystykehä:	
$l'' \text{ I} =$	398,94820	$z'' \text{ I} =$	106,38916
$l'' \text{ II} =$	198,94884	$z'' \text{ II} =$	293,61414
$\Delta l'' = l'' \text{ I} - l'' \text{ II} + 200 =$		$e''_o = (z'' \text{ I} + z'' \text{ II} - 400)/2 =$	0,00165
		$\alpha = 100 - z'' \text{ I} + e''_o =$	-6,38751
Tappikaltevuus:		Pystykehän nollapistevirhe:	
$w = \frac{\Delta l'' - \frac{2c}{\cos \alpha}}{2 \tan \alpha} =$		$e_o = (e'_o + e''_o)/2 =$	0,000635

Kuva 9. Akselivirheiden laskentakaavan esimerkki.

Ensin havaitaan vaakakollimaattoriin molemmissa asennoissa. Havainnoista kirjoitetaan ylös vaak- ja pystykehälukemat molemmissa kojeasennoissa. Jos mittaus on virheetön, tulisi I- ja II-asentojen tähtäys-suuntien erota toisistaan oikokulman verran (200 gon). Samaan pisteeseen mitattujen I- ja II-asentojen pystykulmien summaksi puolestaan tulee täysi kulma eli 400 gon. Akselivirheiden määrittäminen perustuu tästä säännöstä poikkeavien arvojen laskemiseen.

Vaakakehälukemat on merkitty l' & l'' ja pystylukemat ovat z' & z'' . Samat havainnot toistetaan vinokollimaattoriin. Tämän jälkeen on laskeminen yksikertaisesti yllä olevaan kaavaan sijoittelua (kuva 9). Tehtaalta lähtiessä on virheiden arvot normaalisti saatu vastaamaan tarkkuutta 0.00 gon. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteet ovat virheettömiä kahden desimaalin tarkkuudella. Virheiden sallitut rajat löytyvät laitteen ohjekirjasta. Esimerkkinä olisi, että jos vaakakollimaatiovirhe (c) ylittää 0.1 goonia, tappikaltevuuden virhe ylittää 0.1 goonia tai pystykehän-indeksivirhe (e_o) ylittää 1 goonin, on mittaukset

toistettava. Jos virheet ylittävät sallitut rajat toistuvasti, on laite toimitettava valmistajan valtuuttamaan huoltoon.

9.3 Tulokset

Insinööriyössä käsiteltyjen laitteiden osalta ei merkittäviä akselivirheitä löytynyt. Suurin osa laitteista myös täytti valmistajan niille asettamat vaatimukset. Ainoastaan yhdestä laitteesta löytyi merkittävää virhettä etäisyysmittarin osalta (liite 2). Työn hyötynä AIP-mittaukselle oli pääasiassa inventaario paikalla olevista ja toimivista koneista. Yhtä laitetta ei voitu testata, koska sen näppäimistöeläkkeä oli haljennut. Tämän lisäksi kyseisessä laitteessa oli viallinen rasiatasain. Koska monet testattavista laitteista ovat seisseet pitkän aikaa varastossa, ovat juuri tällaiset tiedot tärkeitä laitteiden toimintakuntoa ajatellen.

Akseli- ja etäisyysmittausvirheiden tulokset eivät kalibroimattomissa laitteissa ole kovinkaan tärkeitä, kun huomioidaan se seikka, että laitteet tulisi joka tapauksessa kalibroida vuosittain. Seurantakalibroinnista olisi enemmän hyötyä, jos laitteet olisi juuri kalibroitu, mutta nyt laitteiden kalibroitodistukset olivat keskimäärin 3 vuotta vanhoja. Työnantajalle työstä koituva hyöty on siis lähinnä tieto laitteiden yleisestä kunnosta ja paikalla olevista laitteista ja niiden varusteista.

Ehdottomasti suurin hyöty työstä tuli oppimiskokemuksena. Käsittelin erilaisia laitteita ja sain kokemusta seurantakalibroinnin suorittamisesta ja teoriasta. Ottaen huomioon, että laitteiden käytönaikainen valvonta on ensisijaisen tärkeää, oli insinööriyöstä mittava hyöty työelämää ajatellen. Asiakkaalle toimitettavat tulokset ovat loppujen lopuksi vain niin tarkkoja, kuin laite ja mittaaja yhdistelmänä pystyvät tuottamaan. Hyväkään mittaaja ei saa toimimattomalla laitteella aikaan luotettavia tuloksia.

10 Yhteenveto

Tämän työn tarkoitus oli tutustua takymetrin käyttöön, kalibrointiin, ja laitevirheiden määrittämiseen. Työssä käsiteltiin myös tämän lisäksi takymetrin pääosat ja rakenne.

Takymetrilaitteiston oikealla käytöllä taataan kojeiden pitkäikäisyys ja käyttövarmuus. Mittauskojeet ovat arvokkaita, hienomekaanisia, optisia ja elektronisia kojeita, joiden

pitää pystyä suorittamaan tarkkoja mittauksia pitkilläkin matkoilla. Kalibroinnilla ja takymetrin oikealla käytöllä on tärkeä rooli mittausten oikeaoppisessa suorittamisessa. Vaikka kalibointi onkin minimivaatimuksena suoritettava vuosittain, tulee laitteen käyttäjän olla perillä sen suhteellisesta tarkkuudesta myös kalibroitien välisenä aikana. Takymetri suositellaan kalibroitavaksi kolhujen, isompien huoltojen ja uuden takymetrin tapauksessa oston yhteydessä.

Huollon ulkopuolisten tarkistusmittausten suorittaminen on ajallisesti ja rahallisesti nopeaa ja halpaa toimintaa, jolla on kuitenkin huomattava hyöty laitteen käyttäjälle. Työssä käsitelty akselivirheiden määrittystapa kolmea takymetriä käyttäen on helppo ja nopea keino tarkistaa laitteen toimivuus. Tämän lisäksi kyseinen menetelmä ei vaadi paljoa tilaa ja on toteutettavissa melkein missä vain. On kuitenkin huomioitava, että laitteet eivät saa liikkua mittauksen aikana. Ongelmaksi voi muodostua riittävän valaistuksen hankkiminen. Jos kuitenkin on mahdollisuus suorittaa tarkistus kahden mittaajan voimin, voi toinen hoitaa valaisemisen esimerkiksi taskulampulla. Tämä vähentäisi testaamiseen kuluva aikaa entisestään, kun laitteiston pystytykseen ei menisi niin pitkää aikaa. Lisäksi toinen mittaajista voi kirjoittaa havainnot muistiin samalla, kun toinen suorittaa havainnot.

Etäisyysmittaradan rakentaminen on huomattavan helppoa, mutta se vaatii käyttöön tarkan takymetrin ja pitkän suoran tilan, jossa suorittaa mittauksia. Jos kyseessä on kuitenkin tietyn takymetrin muutosten seuraaminen, voidaan rata mitata tuolla tietyllä takymetrillä kalibroinnin jälkeen. Tämän jälkeen seurataan takymetrin tuottamien mittaustulosten muutoksia, kunnes on havaittavissa syytä huoltoon.

Kaiken kaikkiaan kalibroinnin ulkopuolinen testaaminen on suositeltavaa huomioiden siitä saatava hyöty, suhteessa siihen tarvittavaan aikaan ja kustannuksiin.

Lähteet

- 1 Yritys. Verkkodokumentti. AIP-Mittaus Oy.
<<http://www.aip-mittaus.palvelee.fi/>> Luettu 1.3.2012
- 2 Mittauskalusto. 2012. Verkkodokumentti. AIP-Mittaus Oy.
<<http://www.aip-mittaus.palvelee.fi/11>> Luettu 1.3.2012
- 3 Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Julkaisusarja D 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Luettu 27.3.2012
- 4 Kaavoitusmittausohjeet 2003. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf> Luettu 2.4.2012
- 5 Järvinen, Jaana. 2005. Mikes – nanometristä gigahertsiin ja kaikkea siltä väliltä. Maankäyttö 2/2005. Luettu 2.4.2012
- 6 The Compact Method of Testing Total Stations. 2003. Verkkodokumentti. Leica Geosystems.
<http://www.leicaadvantage.com/support/TPS1200/TechPapers/CompactMethod.pdf>. Luettu 29.2.2012
- 7 Rakennusmittaustehtäviin sovelletut käyttöohjeet. Verkkodokumentti. M-Mies Oy. Luettu 5.3.2012

Liite 1. Etäisyydenmittausrata

Tilojen ahtauden vuoksi piti takymetrin asettelussa olla huolellinen. Liikkumattomuuden takaamiseksi oli kolmijalan lattiajalusta kiinnitettävä lattiaan tiukasti ilmastointiteipillä.



Etäisyydenmittausradan tuloksia

Tässä on esimerkkinä laite, jonka etäisyydenmittauksessa on selkeästi jotain vikaa. Suhteessa määritettyyn vertailumatkaan tämä laite tuottaa systemaattisesti 14–21 mm virheen.

	Prisma	Diff (m)	Tarra	Diff (m)	Pinta	Diff (m)
Vertailu matka						
1000	6,206		5,045		5,041	
2000	12,051		11,045		11,043	
3000	18,698		17,208		17,209	
Sarja 1						
1/1000	6,185	0,021	5,027	0,018		5,041
1/2000	12,037	0,014	11,030	0,015		11,043
1/3000	18,680	0,018	17,193	0,015		17,209
2/3000	18,680	0,018	17,193	0,015		17,209
2/2000	12,037	0,014	11,030	0,015		11,043
2/1000	6,185	0,021	5,027	0,018		5,041
Sarja 2						
1/1000	6,185	0,021	5,027	0,018		5,041
1/2000	12,037	0,014	11,030	0,015		11,043
1/3000	18,680	0,018	17,193	0,015		17,209

Tässä on tuloksia laitteesta, jonka arvot ovat hyväksyttäviä. Keskistysten ja vertailussa käytetyn takymetrin yhteenlaskettu virhe on noin 3 mm. Tässä takymetrissä oli etäisyysmittarin tarkkuus 3 mm+ 3 ppm. Suurimmat sallitut virheet siis ovat 6 mm, joten laite on testin perusteella käyttökuntoinen.

	Prisma	Diff (m)	Tarra	Diff (m)	Pinta	Diff (m)
Vertailu matka						
1000	6,206		5,045		5,041	
2000	12,051		11,045		11,043	
3000	18,698		17,208		17,209	
Sarja 1						
1/1000	6,206	0,000	5,042	0,003	5,042	-0,001
1/2000	12,051	0,000	11,043	0,002	11,043	0,000
1/3000	18,694	0,004	17,205	0,003	17,206	0,003
2/3000	18,693	0,005	17,206	0,002	17,208	0,001
2/2000	12,051	0,000	11,044	0,001	11,043	0,000
2/1000	6,206	0,000	5,043	0,002	5,043	-0,002
Sarja 2						
1/1000	6,205	0,001	5,042	0,003	5,042	-0,001
1/2000	12,051	0,000	11,045	0,000	11,042	0,001
1/3000	18,694	0,004	17,206	0,002	17,207	0,002
2/3000	18,692	0,006	17,206	0,002	17,208	0,001
2/2000	12,050	0,001	11,045	0,000	11,043	0,000
2/1000	6,207	-0,001	5,043	0,002	5,042	-0,001
Sarja 3						
1/1000	6,206	0,000	5,043	0,002	5,041	0,000
1/2000	12,051	0,000	11,044	0,001	11,043	0,000
1/3000	18,693	0,005	17,206	0,002	17,207	0,002
2/3000	18,694	0,004	17,206	0,002	17,208	0,001
2/2000	12,050	0,001	11,043	0,002	11,044	-0,001
2/1000	6,206	0,000	5,043	0,002	5,042	-0,001