

**LASIESTEEN VAIKUTUS TAKYMETRIN
MITTAUSTARKKUUTEEN**

Pullinen Juhana

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Juhana Pullinen	Vuosi	2019
Ohjaaja	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Lasiesteen vaikutus takymetrin mittaustarkkuuteen		
Sivu- ja liitesivumäärä	35 + 14		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten lasi vaikuttaa takymetrin prismattoman mittauksen sekä kulmanmittauksen tarkkuuteen ja selvittää, voidaan-ko takymetrillä mitata lasin läpi riittävän tarkasti.

Työssä suoritettiin mittauskokeita Lapin AMK:n kellaritilassa. Mittauskokeet suoritettiin Trimble SX10 -keilaintakymetrillä. Mittauskokeissa takymetrillä suoritettiin orientointeja ilman lasiasteita sekä erilaatuisten sekä -paksuisten lasilevyjen ollessa asetettuna tähtäysten eteen eri kulmissa kojeen tähtäyslinjaan nähden. Orientoinnit suoritettiin erikseen mittaamalla etäisyys- sekä kulmahavaintoja liitospisteille. Orientointien jälkeen mitattiin tarkastuspisteelle, jotta selviäisi min-kälaisia virheitä merkintämittaukseen tulisi. Mittauskokeita tehtiin myös mittaamalla yksittäisiä tunnettuja pisteitä lasiasteen läpi. Mittausraporteista saatuja tuloksia tarkasteltiin ja vertailtiin Microsoft Excel -ohjelmassa.

Mittausten tuloksista saatiin selville, millä tavoin lasiasteet vaikuttivat takymetrin prismattoman etäisyydenmittauksen sekä kulmanmittauksen tarkkuuteen. Yleisesti voidaan todeta, että virheet kasvoivat, mitä paksumman tai useamman lasiasteen läpi mittaus tapahtui. Lasiasteen kulmalla tähtäyslinjaan nähden oli myös merkitystä virheiden kannalta. Orientointien tasoituslaskennan vuoksi asemapisteen keskivirheet ja poikkeamat olivat kuitenkin merkittävästi pienempiä kuin yksittäisten havaintojen. Kulmanmittaustapa osoittautui myös etäisyydenmittausta tarkemmaksi menetelmäksi takymetrin orientoinnissa.

Technology, Communication and Transport
Degree Programme of Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Juhana Pullinen	Year	2019
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Effect of a Glass Obstacle on the Total Station's Measurement Accuracy		
Number of pages	35 + 14		

The purpose of this thesis was to study the effect that a glass obstacle has on the accuracy of the tacheometer's direct reflex survey and angle measurement and to determine whether observations can be measured through glass with sufficient accuracy.

The measurement tests were carried out in the basement of the Lapland University of Applied Sciences by using the Trimble SX10 scanning total station. The instrument was set up with and without glass obstacles of different types and thicknesses being placed in front of the control points at different angles in relation to the line of sight of the instrument. The setups were performed by taking both the distance and angle observations to the control points separately. After each setup, observations were taken to a monitoring point. Tests were also carried out by taking observations to a single known point through the glass obstacles. The results gathered from the survey reports were examined and compared in Microsoft Excel.

The effects of the glass obstacles on the accuracy of the tacheometer's direct reflex survey and angle measurement were determined. The errors increased with the thickness and number of glass obstacles that the observations were taken through. The magnitude of the errors was also influenced by the angle of the glass obstacle in relation to the tacheometer's line of sight. Due to the calculations done by the instrument's built-in software, the errors in the setups were significantly smaller than the errors of singular observations. In setting up the instrument, measuring angles proved to be a more accurate method than measuring with direct reflex survey.

Key words

Measurement test, refraction, tacheometer measurement

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 TAKYMETRIMITTAUS	6
2.1 Takymetri	6
2.2 Takymetrin pääosat	7
2.3 Kojeasennot	8
2.4 Elektro-optinen etäisyydenmittaus	8
2.5 Kulmanmittaus	9
2.6 Prismaton etäisyydenmittaus	10
2.7 Takymetrin orientointi vapaalle asemapisteelle	12
3 MITTAUSTARKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
3.1 Mittausperusta	14
3.2 Takymetrin tarkkuus	14
3.3 Takymetrin kalibrointi	16
3.4 Refraktio	18
3.5 Sääkorjaus	19
3.6 Lasi	20
4 MITTAUSKOKEET	24
5 MITTAUSKOKEIDEN TULOSTEN ANALYSOINTI	26
5.1 Mittausten suorittaminen	26
5.2 Orientointikokeet	27
5.3 Yksittäisen pisteen mittaus lasiesteen läpi	31
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, miten takymetrin mittaustarkkuus muuttuu, kun kojeen ja mitattavan kohteen välissä on ikkunalasia. Opinnäytetyössä mitausvirheitä pyritään tarkastelemaan ja arvioimaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten erilaiset lasilaadut ja eripaksuiset lasit vaikuttavat takymetrin etäisyydenmittaukseen sekä kulmanmittaukseen. Tavoitteena oli tutkia aihetta myös fysiikan näkökulmasta.

Idea opinnäytetyölle tuli eräältä mittausalan konsulttiyritykseltä. Yritys tekee rakennusmittauksia talonrakennuskohteissa, joissa lasi-ikkunat ovat usein esteinä mitattaville liitospisteille. Opinnäytetyön mittauskokeiden tuloksista selviää, kuinka paljon lasin ominaisuudet vaikuttavat mittaustarkkuuteen, jos mitaus tapahtuu lasin läpi mitattavaan kohteeseen.

Koeosuudessa takymetrillä suoritettiin mittauksia Lapin AMK:n kellaritullassa. Mittauskokeiden jälkeen tuloksia tutkittiin ja vertailtiin Microsoft Excel -ohjelmassa. Mittauskokeet suoritettiin Trimble SX10 -keilaintakymetrillä käyttäen prisma- ja tasonmittauskoneita. Mittauskokeissa takymetrillä suoritettiin orientointeja ilman lasiesteitä sekä eri lasilevyjen ollessa asetettuna tähysten eteen eri kulmissa kojeen tähtäyslinjaan nähden. Mittauskokeita tehtiin myös mittaamalla yksittäisiä tunnettuja pisteitä lasi- ja lasi-ikkunan läpi. Mittauskokeissa käytettiin kolmea eri lasilaatua, tavallista 3 mm paksua tasolasia, laminoitua turvalasia, joka muodostuu kahdesta 4 mm paksuisesta lasilevystä, joiden välissä on PVB -kalvo sekä kolminkertaista selektiivipinnoitettua eristyslasia, jossa lisäeristeenä argon jalokaasu. Eristyslasin vahvuus on 6 mm.

Opinnäytetyössä käydään läpi suoritettujen mittauskokeiden tuloksia, takymetrin toimintaa, eri mittaustekniikoita etäisyyden ja kulmien määrittämiseen sekä takymetrin mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten lasi, mittaustalusta, refraktio, sääkorjaus, mittauskokeissa käytetyn takymetrin tarkkuus ja kojeen kalibrointi.

2 TAKYMETRIMITTAUS

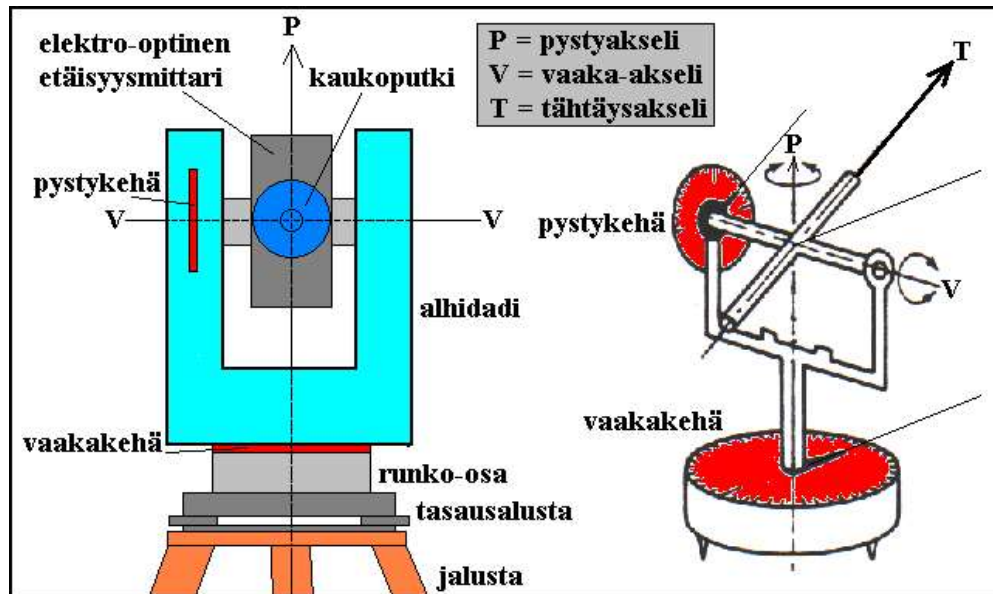
2.1 Takymetri

Takymetri on mittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Takymetrillä voidaan suorittaa erittäin monipuolisia mittauksia, ja takymetria voidaan pitää tärkeimpänä kojeena mittaus- kartoitustekniikassa satelliittimittauskojeiden ohella. Termi takymetri on lähtöisin kreikankielen sanoista taky ja meter. Termi viittaa etäisyydenmittaukseen. Takymetrit ovat syntyneet yhdistämällä teodoliitti ja elektro-optinen etäisyydenmittari ja vuosien myötä takymetrit ovat kehittyneet pitkälti automatisoiduiksi robottitakymetreiksi, jotka mahdollistavat takymetrimittauksen yksin. (Laurila 2012, 237–238.) Seuraavissa kappaleissa käydään läpi takymetrin rakennetta, toimintaperiaatteita sekä etäisyyden- ja kulmanmittaustapoja.

Ensisijaisesti takymetrillä mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Takymetrillä mitatuista havainnoista kojeen on myös mahdollista laskea koordinaatteja, korkeuksia sekä muita suureita kuten tilavuuksia. Vuosien myötä takymetrit ovat kehittyneet pitkälti automatisoiduiksi robottitakymetrikeiksi, jotka mahdollistavat mittaustyön pääosin yksin. Aikanaan takymetrimittaus on vaatinut kaksi mittaajaa; mittaajan operoimaan takymetria ja toisen kantamaan kartoitussauvaan kiinnitettyä prismaa, johon takymetrillä mitatessa tähdätään. Nykyaikaiset takymetrit mahdollistavat takymetrin etäohjauksen maastotallentimella, joka on maastokelpoinen, säänkestävä tietokone, josta löytyy samat toiminnot kuin takymetrillä. Nykyaikaisempia takymetrejä on tarjolla myös tiettyihin käyttötarkoituksiin räätälöityinä, kuten rakennusmittauksiin tai suurta tarkkuutta vaativiin teollisuusmittauksiin. Kehittyneimmillä takymetreillä voidaan myös laserkeilata ja ottaa valokuvia mittauskohteista. (Laurila 2012, 237–238, 244; Wikman 2010, 19.)

2.2 Takymetrin pääosat

Takymetrin rakenteellisiin pääosiin (Kuvio 1) kuuluvat takymetrin runko-osa, mittauskaukoputki, elektro-optinen etäisyysmittari, alhidadi ja tasausalusta. Takymetrin osiin kuuluu myös erilaisia tasaimia, kuten rasiatasain, putkitasain ja elektroniset tasaimet, jalkaruuvit, optinen luoti ja liikeruuvit. (Laurila 2012, 239.)



Kuvio 1. Takymetrin pääosat ja akselit (Laurila 2012, 239)

Takymetri kiinnitetään jalustaan tasausalustan välityksellä. Tasausalusta on erillinen osa muusta kojeesta, johon kuuluu kolme jalkaruuvia, joita säätämällä takymetri tasataan. Tasausalustaan kuuluvasta kuplasta nähdään, mihin suuntaan alustaa on tasattava sen keskittämiseksi. Tasaalustassa on myös usein optinen luoti. (Laurila 2012, 239.)

Takymetrin runko-osassa sijaitsee vaakakehä, joka on tarkoitettu tähtäyssuunnan ja vaakakulman mittaukseen. Runko-osassa sijaitseva alhidadi kannattaa mittauskaukoputkea. Tämä pyörii kojeen pystyakselin ympäri runkosan suhteen. Alhidadiin kiinnittynyt mittauskaukoputki pyörii kojeen vaaka-akselin ympäri. Alhidadin sisällä, tarkemmin vaaka-akselin päässä, sijaitsee pystykehä, joka on tarkoitettu pystykulmanmittaukseen. Mittauskaukoputkessa ja sen ympärillä sijaitsevat elektro-optisen etäisyysmittarin rakenteelliset osat. (Laurila 2012, 239.)

Takymetrin liikeruuveja säätämällä takymetri tähdätään mittauskohteeseen. Takymetrin mittauskaukoputkea voidaan kiertää kojeen pysty- ja vaaka-akselin ympäri ja liikesuunnille on omat liikeruuvit. Liikeruuveihin kuuluu telkiruuvit, joilla mittauskaukoputki lukitaan haluttuun asentoon ja täsmäruuvit, joilla suoritetaan tarkka tähtäys mitattavaan kohteeseen. Nykyaikaisissa takymetreissa, jotka ovat varustettu servomoottoriohjauksella, on kaukoputken suuntausta varten erityiset liikepyörät. Nämä liikepyörät poistavat aiemmin käytettyjen telkiruuvien tarpeen. (Laurila 2012, 241.)

2.3 Kojeasennot

Takymetrin pyöriminen sekä pysty- että vaaka-akselin ympäri mahdollistaa tähtäyksen mitattavaan kohteeseen kahdessa asennossa. Tähtäysasennot määritetään kulmakehien lukemista ja näitä kutsutaan kojeasenoiksi. Takymetrin ensisijaista mittausasentoa kutsutaan nimityksellä I-asento. I-asennossa takymetrin vaakasuoran tähtäyksen pystykehälukema on 100 gon. Takymetrin kojeasennon määrittäminen perustuu pystykulmaan, mutta vaakakehältä havaittu suunta vaikuttaa myös kojeasentoon. (Laurila 2012, 244.)

Vaativissa mittauksissa kulmahavainnot mitataan myös kojeen II-asennossa mittauksen tarkkuuden parantamiseksi kojeen laskiessa havainnoista keskiarvon. II-asennossa vaakasuoran tähtäyksen pystykehälukema on 300 gon. Molemmissa kojeasennossa mitatessa keskeisimmät kulmamittaukseen vaikuttavat virheet poistuvat ja menettelyllä pyritään poistamaan satunnaisia virheitä. Mittauksessa syntyneille satunnaisille virheille ei ole löydettävissä erityistä syytä, eikä niitä pystytä ennakoimaan. (Laurila 2012, 35, 245.)

2.4 Elektro-optinen etäisyydenmittaus

Takymetrin etäisyydenmittausta kutsutaan tarkemmin elektro-optiseksi etäisyydenmittaukseksi. Etäisyydenmittaus tapahtuu takymetrin lähettämän ja tähtäyspisteestä heijastuvan signaalin vertailun perusteella. Etäisyys mitattavaan koh-

teeseen voidaan määrittää kahteen erilaiseen signaaliin; amplitudimoduloituun tai pulssimoduloituun signaaliin perustuvalla tavalla. (Laurila 2012, 249–250.)

Elektro-optisen etäisyydenmittauksessa yleisimmin käytetään amplitudimoduloituun signaaliin perustuvaa etäisyydenmittausta. Mittaussignaalin kantoaallon muodostaa ihmissilmälle näkymätön infrapunavalo, jonka aallonpituus on 900 nanometriä. Kantoaaltona voidaan myös käyttää näkyvää valoa, jonka aallonpituus vaihtelee 550–630 nanometrin välillä. Amplitudimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa kantoaaltoa moduloidaan pitkäaaltoisella mittausvärähtelyllä, jonka aallonpituus on esimerkiksi 6–20 metriä. Mitattava matka amplitudimoduloidusta signaalista saadaan laskemalla signaalin edestakaisin kulkemaan matkaan sisältyvien aallonpituuksien lukumäärä ja osaaallonpituus. Tätä kutsutaan vaihe-eromittaukseksi. (Laurila 2012, 249–250.)

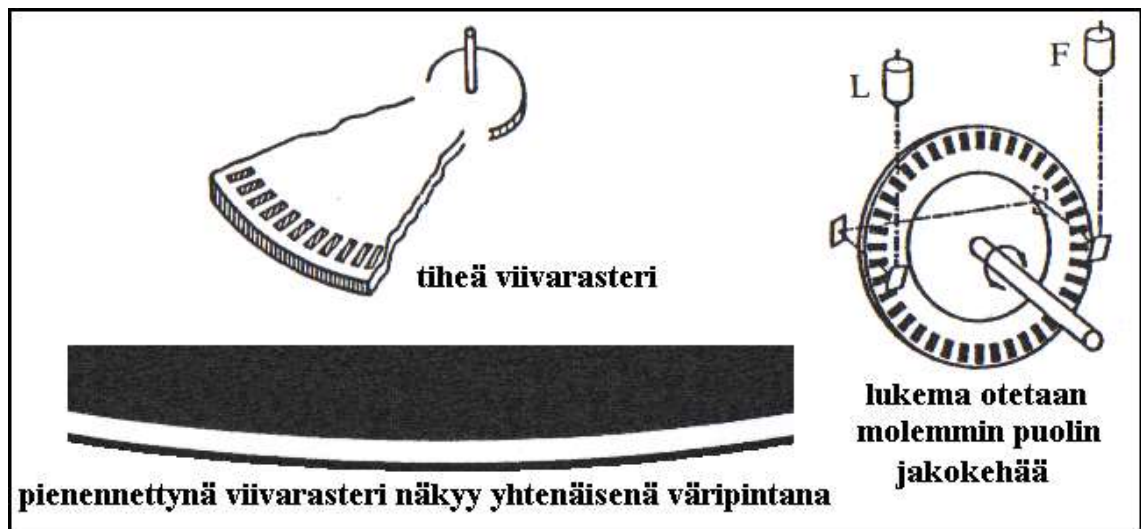
Etäisyyksiä voidaan takymetrillä mitata myös pulssimoduloidun signaalin avulla. Tällöin mitataan signaalin kulkuun käytettyä aikaa takymetrillä mitattavaan kohteeseen ja takaisin. Pulssimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa mittaus tapahtuu näkymättömällä lasersäteellä ja mittauskohteen osoittamiseen käytetään erillistä punaista osoitinlaseria. (Laurila 2012, 250; Wikman 2010, 19.)

Sekä amplitudimoduloituun signaaliin että pulssimoduloituun perustuvassa etäisyydenmittauksissa on sekä hyviä että huonoja puolia. Amplitudimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa mittaussäteen koko on pienempi ja menetelmä on tarkempi kuin pulssimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa. Vaihe-eroon perustuvalla etäisyydenmittauksella on kuitenkin hankalampi mitata yli 400 metrin etäisyydelle, ja se on pulssimoduloitua mittausta hitaampi. (Wikman 2010, 19.)

2.5 Kulmanmittaus

Takymetrillä mitataan etäisyyksien lisäksi kulmia, tarkemmin pysty- ja vaakakulmia. Kulmamittauksessa takymetrillä mitatut havainnot tehdään kojeen pysty-

ja vaakakulmakehiltä automaattisesti, ja kulmakehien on oltava sähköisesti luettavia. Takymetriin kulmakehissä on tavallisesti viivarasteri, jota kutsutaan inkrementaalikehäksi (Kuvio 2). Kojeen pysty- tai vaakakehää liikuteltaessa kehässä sijaitseva anturi laskee lukemakohdan ohittaneiden viivojen lukumäärän. Useimpien takymetriin kulmanlukulaitteet havaitsevat kulmia 0.0001 goonin tai milligooneissa puhuttaessa 0.1 milligoonin tarkkuudella. (Laurila 2012, 247–248.)



Kuvio 2. Anturit mittaavat lukemia sähköisesti luettavalta inkrementaalikehältä (Laurila 2012, 248)

Kojeen vaakakehältä saatuja havaintoja kutsutaan tähtäys suunniksi ja pystykehältä saatuja havaintoja pystykulmiksi. Suuntien välisiä vaakakulmia voidaan laskea tähtäys suuntien erotuksena. Kulmanmittauksessa tarkoitetaankin tarkemmin tähtäys suuntien mittauksesta kulmien ollessa tähtäys suuntien erotuksia. (Laurila 2012, 247–248.)

2.6 Prismaton etäisyydenmittaus

Monissa mittaustöissä on usein vaikeaa tai epäkäytännöllistä asettaa prismaa mitattavaan kohteeseen. Prismattomalla etäisyydenmittaustavalla takymetrillä

voidaan suorittaa mittauksia ilman prismaa. Käytännössä takymetrillä tähdätään kohteeseen ja mitataan suoraan haluttuun pintaan. Mitattavan kohteen paikannus voi usein olla hankalaa takymetrin kaukoputkin läpi katsomalla, joten prismattomassa etäisyydenmittaustavassa hyödynnetään näkyvää osoitinlaseria mittaustarkoituksen osoittamiseen. (Wikman 2010, 19; Uren & Price 2010, 137–138.)

Prismatonta mittauksia voidaan hyödyntää monenlaisissa käyttökohteissa. Seuraavat esimerkit ovat mittaustöitä, missä prismattomasta mittauksesta on hyötyä:

- kartoituskohteet, joihin on vaikeaa tai vaarallista mennä prisman kanssa
- tunneleiden profilointi
- siltojen ja suurten rakennusten kartoitus- tai seurantamittaukset
- louhosten tilavuusmittaukset.

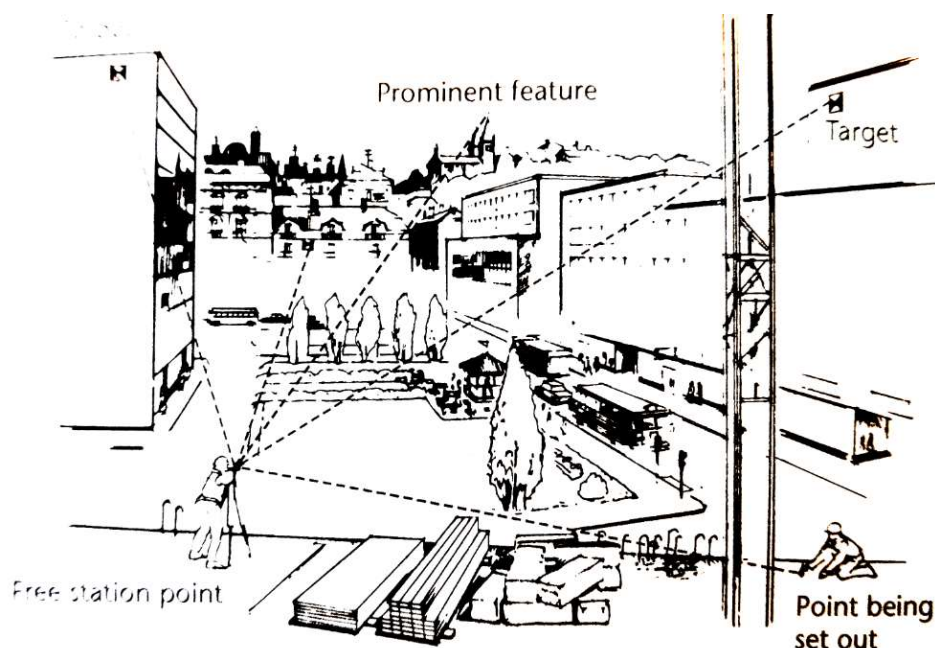
Prismattoman mittauksen maksimietäisyydet ovat usein lyhyempiä kuin mitattaessa prismaan. Vaihe-eromittauksella päästään noin 2–5 kilometrin etäisyyksiin prismaan mitattuna, mutta samalla menetelmällä prismatonta mittauksia käyttäen vain 200–300 metriin. Pulssimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa voidaan mitata pidempiä etäisyyksiä kuin vaihe-eromittauksella ja prismattomalla etäisyydenmittauksella jopa 2 kilometrin päähän. Prismattomassa mittauksessa osoitettavan kohteen pinnan laatu vaikuttaa mittaussignaalin heijastumiseen takaisin kohteeseen, kun taas prisman ja heijastinpintaisten tarratähysten pinta on aina sama. Esimerkiksi mittaukset ilman prismaa vaaleaan pintaan ovat laadukkaampia kuin tummaan pintaan mitattuna. Tasaiset pinnat parantavat myös mittaussignaalin heijastumista kuten myös kuivat pinnat märkien sijaan. (Uren & Price 2010, 139.)

Etäisyydenmittaustavasta riippumatta, takymetrien lähettämä mittaussignaali hajaantuu ja siten leviää matkalla kohteeseen. Lasersäteiden kokoa mitattuna pisteessä kutsutaan lasersäteiden jalanjäljeksi. Prismattomassa mittauksessa pitkällä matkalla suuresta laser jalanjäljestä on sekä hyö-

tyä että häiritsee; huonona puoleena on se, että mittaussignaali heikkenee, mutta toisaalta mittaussignaalin hajaantuminen mahdollistaa pienien kappaleiden, kuten voimalinjojen ja antennien mittauksen kaukaa. Pienellä lasersäteellä on taas merkittäviä etuja; merkintämittauksissa pieni säde osoittaa kohteen tarkasti. Sekä amplitudi- että pulssimoduloituun signaaliin perustuvassa prismattomassa etäisyydenmittauksessa mittaustarkkuuden pinnan kaltevuus takymetrin tähtäyslinjaan nähden vaikuttaa suuresti lasersäteiden jalanjäljen kokoon. (Uren & Price 2010, 140.)

2.7 Takymetrin orientointi vapaalle asemapisteelle

Takymetrin orientoinnin tarkoitus on kojeen asemointi käytössä olevaan koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Kojeen orientoinnin jälkeen takymetrillä voidaan suorittaa mittauksia kyseisessä koordinaatistossa ja korkeusjärjestelmässä. Vapaan asemapisteen orientointimenetelmää käytetään usein kartoitus- ja merkintämittauksissa takymetrillä. Vapaan asemapisteen menetelmää käytetään mittauksissa, joissa koje pystytetään tuntemattomaan paikkaan ja asemapisteen sijainti ja korkeus määritetään mittaamalla tunnettuihin liitospisteisiin (Kuvio 3). Vapaan asemapisteen menetelmän etuna on mahdollisuus sijoittaa takymetri tehtävien mittausten kannalta sopivasti. (Laurila 2012, 252, 259–260.)



Kuvio 3. Takymetrin orientointi vapaalle asemapisteelle mittaamalla tunnettuihin liitospisteisiin (Uren & Price 2010, 494)

Kuten muissakin orientointimenetelmissä, orientoidessa takymetria vapaalle asemapisteelle on koje ensin tasattava. Tasauksessa takymetri säädetään vaakasuoraan muuttamalla kolmijalkojen jalkojen pituutta sekä kiertämällä tasausalustan jalkaruuveja. Tasausalustan kuplasta voidaan katsoa karkea tasaus. Nykyaikaisissa takymetreissa on sähköinen tasain, jonka avulla suoritetaan tarkka tasaus edelleen tasausalustan jalkaruuveja säätämällä. (Laurila 2012, 256.)

Vapaan asemapisteen menetelmässä asemapisteen sijainnin laskentaan riittää kaksi etäisyshavaintoa tai kolme suuntahavaintoa tunnetuille liitospisteille. Ylimääräisillä havainnoilla parannetaan kuitenkin asemoinnin laatua ja tarkkuutta. Ylimääräisiä havaintoja mittaamalla saadaan myös selville orientoinnin sijaintivirheet.

3 MITTAUSTARKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

3.1 Mittausperusta

Mittausperustan muodostaa alueelle rakennetut ja mitatut kiintopisteet, joille on mitattu tasokoordinaatit ja korkeudet. Mittausperustaa käytetään, jotta alueella tehtävät mittaukset olisi sidottu käytettävään tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. (Liikennevirasto 2017, 8.)

Takymetrimittauksessa mittausperustalla on merkitystä mittauksen tarkkuuden kannalta. Mittauspaikan koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä määritetään kiintopisteiden avulla, joten virheet kiintopisteiden välillä vaikuttavat jatkossa tehtäviin mittauksiin. Kiintopisteet mitataan runkomittauksella. Runkomittauksella mitausta kiintopisteistä muodostuu runkoverkko, joka toimii mittauksien mittausperustana. (Liikennevirasto 2017, 8; Laurila 2012, 8.)

3.2 Takymetrin tarkkuus

Takymetrientekniikan takia laitteiden välisissä tarkkuuksissa on eroja. Laittevalmistajilla on useimmiten valikoimissaan erilaisia takymetrejä, jotka ovat räätälöity tietyntyyppisille mittauksille. Esimerkiksi suurta tarkkuutta vaativia teollisuusmittauksia varten on eritoten suunniteltuja mittalaitteita, ja vastaavasti rakennusmittauksia varten on niihin tarkoitettuja takymetrejä. (Wikman 2010, 19.)

Alla olevissa taulukoissa on valmistajan ilmoittamia tarkkuuksia SX10 keilaintakymetrin kulmanmittaukselle ja prismattomalle etäisyydenmittaukselle.

Trimblen ilmoittama tarkkuus SX10 keilaintakymetrin kulmanmittaukselle (Taulukko 1):

Taulukko 1. Mittauksen suorituskyky – Kulman mittaus. Trimble SX10 tekniset tiedot-esite (Trimble 2016-2017)

KULMAN MITTAUS		
	Sensoryyppi	Absoluuttinen enkooderi diametrisellä lukemalla
	Kulman mittaustarkkuus ¹	1" (0,3 mgon)
	Kulman näyttö (vähintään)	0,1" (0,01 mgon)

SX10 käyttää kulmanmittauksessa sensorityyppinä absoluuttista enkooderia diametrisellä lukemalla. Absoluuttinen enkooderi on sensori, joka määrittää akselin pyörivän liikkeen absoluuttisina lukemina. Kulman mittaustarkkuus on 0.3 milligoonia. Koje ilmoittaa kulmaluvun 0.01 milligoonin tarkkuudella. (Trimble 2016-2017, SICK AG 2019.)

Trimblen ilmoittama tarkkuus SX10 keilaintakymetrin prismattomalle etäisyydenmittaukselle (Taulukko 2):

Taulukko 2. Mittauksen suorituskyky – etäisyysmittaus. Trimble SX10 tekniset tiedot -esite (Trimble 2016-2017)

ETÄISYYSMITTAUS		
Tarkkuus		
Prisma-tila	Vakio ² Seuranta ^{2,3}	1 mm + 1,5 ppm 2 mm + 1,5 ppm
DR-tila	Vakio ²	2 mm + 1,5 ppm
Mittausaika		
Prisma-tila	Vakio	1,6 s
DR-tila	Vakio	1,2 s
Kantama		
Prisma-tila ⁴	1 prismalla	1 m – 5 500 m
DR-tila	Kodak White Card (Catalog number E1527795) Kodak Grey Card (Catalog number E1527795)	1 m – 800 m 1 m – 450 m

Taulukossa DR-tila tarkoittaa kojeen prismatonta mittaustapaa. SX10:n prismattoman mittauksen tarkkuus on 2 mm + 1.5 ppm ja mittausaika 1.2 sekuntia. Taulukossa on myös ilmoitettu DR-tilan toimintaetäisyydet. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 3) on tarkempia tietoja SX10:n elektro-optisesta etäisyydenmittauksesta. (Trimble 2016-2017.)

Taulukko 3. EDM-määritykset. Trimble SX10 tekniset tiedot -esite. (Trimble 2016-2017)

EDM-MÄÄRITYKSET		
Valon lähde		Pulssilaser 1550 nm; Laserluokka 1M
Mittaus säteen divergenssi DR-tilassa		0,2 mrad
Mittaus säteen halkaisija 100 metrissä (FWHM)		14 mm
Ilmakehän korjaus		Saatavissa maasto- ja toimisto-ohjelman kautta

Trimble SX10 määrittää etäisyyden pulssimoduloidun signaalin avulla. Prismatomassa mittauksessa mittaussäteen divergenssi on 0.2 piirua. 100 metrin päässä mittaussäteen halkaisijan pituus on 14 millimetriä. (Trimble 2016-2017.)

3.3 Takymetrin kalibrointi

Takymetrille säännöllisin aikaväleihin tehtävät kalibroinnit ovat tärkeitä toimenpiteitä kojeen käyttökunnon ja tarkkuuden ylläpidon kannalta. Mittauskojeen kalibrointi tarkoittaa kojeen näyttämän oikeellisuuden testausta. Kalibroimattomalla takymetrillä ei voida taata tarkkuutta mittauksissa, sillä kojeen näyttämät lukemat eivät välttämättä pidä paikkaansa. Kalibroinnin tarkoituksena on määrittää laitteen virheet ja kalibroinnilla selvitetään mittausskojeen tarkkuus. Takymetrin kalibrointitoimenpiteillä selvitetään, miten kojeen antamat lukemat poikkeavat normaalista, johon lukemia verrataan. (Laurila 2012, 364.)

Kalibrointilajeja on kahdenlaisia; määrityskalibrointi ja seurantakalibrointi. Tämän lisäksi takymetrin ohjeiden mukaista käyttöä voidaan pitää myös omana kalibrointilajina. Määrityskalibrointi suoritetaan laboratorio-olosuhteissa ja kalibroinnin tekijällä tulee olla kansallisen tai kansainvälisen mittausalan organisaation valtuutus suorittaa kalibrointeja. Määrityskalibrointi voidaan suorittaa myös luotettavasti laitevalmistajan valtuuttamilla huoltopaikoilla. Suomessa Geotrim Oy on Trimblen valtuuttama huolto. (Laurila 2012, 364; Geotrim Oy 2019.)

Seurantakalibroinnilla tarkoitetaan kojeen käyttäjän tekemää kenttäkalibrointia. Seurantakalibroinnissa kojevirheiden arvojen määrittämisen sijasta seurataan, miten kojeen ominaisuudet ja mittaustulokset ovat muuttuneet edeltävän määrityskalibroinnin aikaisista. (Laurila 2012, 365.)

Trimble SX10:n kenttäkalibrointitoimenpiteisiin kuuluu;

- Kompensaattorin kalibrointi

- Kalibroittoimenpiteen tarkoituksena on varmistaa, että koje pystyy korjaamaan sen kallistumista.
- Autolock-seurantatekniikan kollimointi
 - Kalibroittoimenpiteellä määritetään ja tallennetaan seurantatekniikan kollimaatiovirheiden arvot kojeeseen. Autolock kollimaation korjauksen arvoja sovelletaan kalibroinnin jälkeen kaikille tuleville kulmanmittauksille, kun Autolock on kytkettynä päälle.
- Telekameran automaattitarkennuksen säätö
 - Tämä säätö tallentaa uudet arvot kojeen telekameran automaattitarkennuksen moottorille.
- Automaattisen kameran kollimointi
 - Kalibroittoimenpiteen tarkoituksena on määrittää ja korjata kojeasentojen välisiä virheitä SX10:n telekameroissa. Prosessin aikana koje ottaa kuvia kummassakin kojeasennossa, arvioi kuvien laatua ja vakautta ja laskee kollimaatiovirheen kuvien vertailun avulla.
- Optisen luodin kameran kalibrointi
 - Kalibrointi tehdään optisen luodin kameran rotaation keskuksen määrittämisen ja korjauksen vuoksi. Optisen luodin kameran kuva siirretään sitten vastaamaan kamerasensorin keskipikseliä. Kalibroittoimenpiteellä varmistetaan, että hiusristikot ovat samassa kohdassa kojeen orientoinnista huolimatta.

SX10:n kenttäkalibrointeja varten kojeen tulee olla tasattuna ja asemoituna tasisella alustalla sekä kompensaattorin tulee olla kytkettynä päälle. Jos suoritettava kalibroittoimenpide epäonnistuu, tulee varmistaa, että kojeen aseointiin ei ole tullut virheitä, ja tämän jälkeen toistaa kalibrointi. Kalibroinnin epäonnistuessa uudelleen, tulee olla Trimbleen yhteydessä. (Trimble 2018.)

3.4 Refraktio

Valon taittumista kutsutaan refraktioksi. Refraktion ja Maan kaarevuuden vuoksi takymetrin lähettämä mittaussäde kaareutuu ilmakehässä, eikä siten kulje suoraviivaisesti. Refraktio aiheuttaa takymetrimittauksessa systemaattisen virheen, joka tulee ottaa laskennassa huomioon, erityisesti mitattaessa yli 200 metrin etäisyyksiä. Yleisimmissä mittauksissa refraktiokertoimelle käytetään arvoa $k = 0.13$. Refraktiokerroin k saadaan kaavalla:

$$k = \frac{R}{R_\alpha}$$

missä

k	on	refraktiokerroin
R	on	Maan kaarevuussäde (n. 6380 km)
R_α	on	tähtäyssäteen kaarevuussäde. (Laurila 2012, 62, 337.)

Tähtäyssäteen kaarevuussäde R_α saadaan selville kaavalla:

$$R_\alpha = \frac{v_{12}}{2\alpha_R}$$

missä

R_α	on	tähtäyssäteen kaarevuussäde
v_{12}	on	vinoetäisyys asemapisteeltä tähtäyspisteeseen
α_R	on	refraktiokulma (Laurila 2012, 337).

Trimble SX10 -keilaintakymetrissa voidaan määrittää refraktiokerroin kojeelle määritettävissä korjauksissa, jolloin koje ottaa refraktion huomioon laskennassa.

3.5 Sääkorjaus

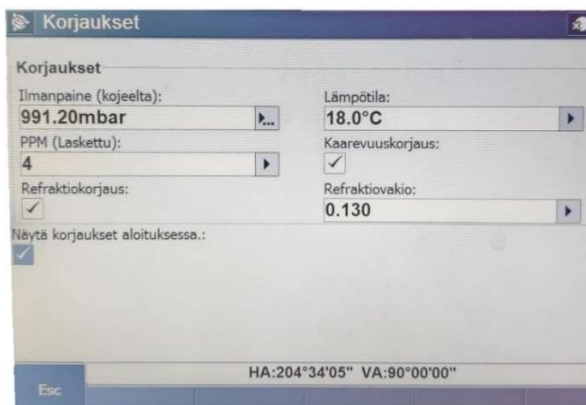
Elektro-optisessa etäisyydenmittauksessa säätilalla on vaikutus mittauksen tarkkuuteen. Sääkorjaus tulee määrittää, sillä ilman paine ja lämpötila vaikuttavat mittauskojeen etäisyydenmittauksessa käytettävän mittaussignaalin kantoaaltoon. Ilmanpaine voidaan mitata barometrilla, joissa on usein myös lämpömittari. Takymetrin mittausohjelmisto laskee ilmoitetun ilmanpaineen ja lämpötilan perusteella mittaukselle korjauksen. (Laurila 2012, 332.)

Takymetreissa ilmanpaineen yksikkönä käytetään millibaaria (mbar), hehtopascalia (hPa) tai elohopeamillimetriä (mmHg). Vertailun vuoksi:

1000 mbar = 1000 hPa = 750 mmHg.

Takymetreissa sääkorjaus ilmoitetaan suhteellisena korjauksena ja korjauksen yksikkönä käytetään ppm (parts per million eli miljoonasosa matkasta) -arvoa. Ppm -arvo on laaduton luku, esimerkiksi sääkorjauksen arvon ollessa 10 ppm, sadan metrin matkaan tehdään 1 mm:n korjaus ja vastaavasti kilometrin matkaan 10 mm:n korjaus. (Laurila 2012, 333.)

Tämän opinnäytetyön mittauskokeissa käytetyssä SX10 -keilaintakymetrissa sääkorjaus määritetään kojeen korjaukset -osiossa ennen mittauksia. Käyttäjän tulee ilmoittaa ilmanpaine millibaareissa ja lämpötila celsiusasteissa. Kojelase laskee ilmoitetun ilmanpaineen ja lämpötilan perusteella korjauksen ppm arvon (Kuvio 4).

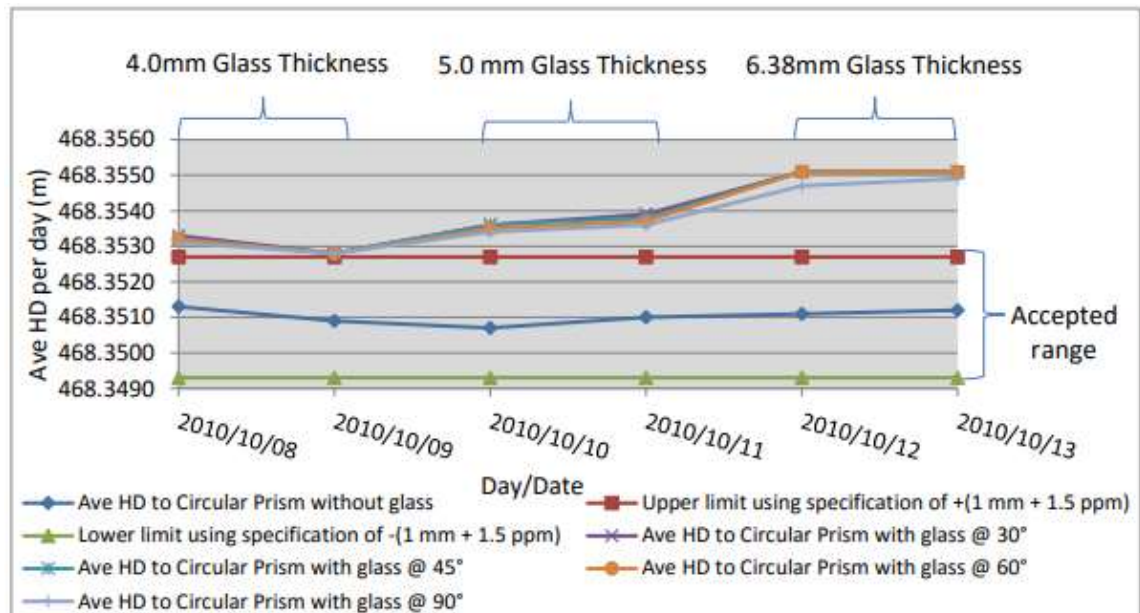


Kuvio 4. Trimble SX10 korjaukset

3.6 Lasi

Lasiesteen vaikutuksesta takymetrin mittaustarkkuuteen ei ole paljon tutkimustietoa. Jotain tutkimuksia on kuitenkin tehty ja esimerkiksi Thomas B. Afenin ja Frederickin T. Cawoodin vuonna 2016 julkaisemassa tutkimuksessa, "Total Station Survey Monitoring Through an Observation Window: A Systematic Error Correction to Remove the Effects of Glass Properties" tutkittiin, miten takymetrillä, joka on sijoitettu lasikoppiin, voidaan suorittaa seurantamittauksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin minkälainen vaikutus eri sävyisillä ja paksuisilla lasi-ikkunoilla on takymetrillä mitattuun vaakamatkaan mitatessa lasiестeen läpi prismaan. Tutkimuksessa tuotettiin korjauskaava lasiестeestä johtuvalle systemaattiselle virheelle, ja kaava todettiin toimivaksi. Tutkimuksessa todettiin myös, että sävytetyillä lasilla oli suurempi vaikutus mittaustarkkuuteen kuin sävyttämättömällä lasilla lasilevyn ollessa jyrkemmässä kulmassa koheen tähtäyslinjaan nähden. Tutkijat olivat sitä mieltä, että aihetta tulisi tutkia tarkemmin lasin eri sävyjen osalta. (Afeni & Cawood 2016, 135.)

Alla on esimerkki Afenin ja Cawoodin tuottaman korjauskaavan tuloksista (Kuviot 5 & 6).



Kuvio 5. Vaakamatkojen keskiarvot mitattuna pyöröprismaan. Tuloksissa on korjaukset prismavakiolle, mittakaavalle, refraktiolle ja säätilalle, muttei lasin paksuudesta johtuvalle vaikutukselle. (Afeni & Cawood 2016, 130.)



Kuvio 6. Vaakamatkojen keskiarvot mitattuna pyöröprismaan. Tuloksissa on korjaukset prismavakiolle, mittakaavalle, refraktiolle ja säätilalle sekä lasin paksuudelle. (Afeni & Cawood 2016, 130.)

Lasiesteillä on vaikutus takymetrin mittaustarkkuuteen. Lasiesteen läpi tapahtuvassa mittauksessa syntyvät virheet johtuvat muun muassa lasin laadusta, sen taitekertoimesta, lasin vahvuudesta ja sävystä sekä mittaussignaalin tulokulmasta lasiin.

Mittaussignaalin kulkiessa ilmasta lasiin, sen kulkusuunta ja nopeus muuttuvat. Fysiikassa valon tunnetaan olevan sähkömagneettista aaltoliikettä. Sähkömagneettisessa aaltoliikkeessä sähkökenttä ja magneettikenttä värähtelevät valon etenemissuuntaa ja kohtisuoraisesti toisiaan vastaan. Tämän vuoksi kyseessä on poikittainen aaltoliike. Muiden aaltoliikkeiden tavoin, myös valo heijastuu ja taittuu. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194.)

Valon taittumisessa valoaltorintaman kulkusuunta vaihtuu, kun valo kulkee väliaineesta toiseen. Valon taittumista kuvataan matemaattisesti Snellin lailla, joka on tulokulman ja taitekulman välinen yhtälö:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha^2} = \frac{c_1}{c_2}$$

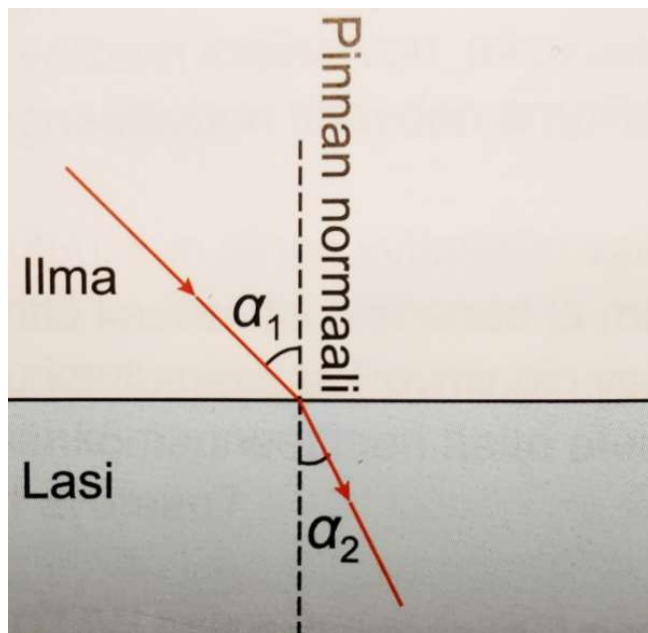
missä

α_1 on tulokulma

α_2 on taitekulma

c_1 & c_2 ovat valon nopeus eri väliaineissa. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194.)

Tulokulmat ja taitekulmat ovat säteen ja rajapinnan normaalin välisiä kulmia (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194).



Kuvio 7. Valon taittuminen ilman ja lasin rajapinnassa (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194)

Taitekerroin kuvaa aineen optista tiheyttä, ja se riippuu valon nopeudesta väliaineessa. Taitekerroin on myös erilainen eri aallonpituuksille. Taitekertoimen riippuvuutta valon aallonpituudesta nimitetään dispersioksi. Ilman taitekerroin on esimerkiksi 1,00. Lasin taitekerroin riippuu taas lasilaadusta sen optisen tiheyden vuoksi. Matemaattinen kaava taitekertoimelle n_1 on

$$n_1 = \frac{c}{c_1}$$

missä

n_1 on taitekerroin

c on valon nopeus tyhjiössä = $2,997792458 \cdot 10^8$ m/s

c_1 on valon nopeus väliaineessa. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194–195; Haarto & Karhunen.)

Taittumislaki voidaan esittää Snellin lain mukaisesti, kun otetaan huomioon aineen taitekerroin:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

missä

n_1 ja n_2 ovat taitekertoimet

α_1 on tulokulma

α_2 on taitekulma (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2007, 194).

4 MITTAUSKOKEET

Suorittamieni mittauskokeiden tavoitteena oli tutkia, miten erilaiset lasilaadut ja eripaksuiset lasit vaikuttavat takymetrin kulmanmittaukseen sekä prismattomaan etäisyydenmittaukseen. Mittauskokeissa orientoin takymetrin mitatuista tähyksistä ensin ilman, että tähysten edessä oli lasia ja tämän jälkeen niin, että tähyksien eteen oli asetettu erilaisia lasilevyjä. Jokaisen orientoinnin jälkeen mittasin tunnetulle tarkastuspisteelle.

Laadin aluksi mittaussuunnitelman mittauskokeita varten (Liite 1). Mittaussuunnitelmasta selviää mm. mittauksen tarkoitus, käytettävä mittauskalusto, mitausalue, lähtöpisteet ja uudet pisteet sekä miten orientoinnit tullaan suorittamaan.

Suoritin opinnäytetyön mittauskokeet Lapin AMK:n kellaritilassa. Kellaritilassa on oma koordinaatisto, jota ei ole sidottu mihinkään valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Ennen mittauksia käytettävät liitospisteet tuli kiinnittää paikoilleen ja mitata pisteille koordinaatit ja korkeudet. Pisteinä käytin seinään kiinnitettäviä tarratähyksiä. Pisteiden mittausta edelsi mittauskojeen orientointi kellaritilan olemassa olevista pisteistä.

Mittaukset suoritin Trimble SX10 -keilaintakymetrillä, prismattomalla mitaustavalla mitaten. Lasiesteinä mittauskokeissa käytin kolmea eri lasilaatua; tavallista tasolasia, turvalasia sekä selektiivipinnoitettua eristyslasia. Alla on esitetty tarkempia tietoja lasilevyistä:

Tasolasi

Lasin vahvuus	3 mm
Sävy	kirkas
Mitat	30 x 30 cm

Laminoitu turvalasi

Lasin vahvuus	4 + 4 mm, välissä PVB kalvo
Sävy	kirkas

Mitat 30 x 30 cm

Selektiivipinnoitettu eristyslasi (lasielementissä 3 lasilevyä)

Lasin vahvuus 6 mm
Sävy kirkas
Mitat 30 x 30 cm
Välilistan leveys 9 mm

Lasielementissä lasilevyjen välissä on käytetty Argon (Ar) jalokaasua lisäeristeenä.

Mittauskokeissa orientoin aluksi takymetrin mittaamalla etäisyshavaintoja liittospisteille ilman, että tähyksien edessä oli lasia. Seuraavaksi orientoin takymetrin uudelleen mittaamalla samat liittospisteet, mutta tällä kertaa niin, että tähyksien eteen oli asetettu lasilevy. Orientointeja suoritettiin eri lasilevyjen läpi mitaten ja myös lasilevyjen ollessa eri kulmissa kojeen tähtäyslinjaan nähden. Suoritin samat orientoinnit myös mittaamalla ainoastaan kulmahavaintoja liittospisteille.



Kuvio 8. Keilaintakymetrillä mittaus lasilevyelementin läpi liittospisteelle

5 MITTAUSKOKEIDEN TULOSTEN ANALYSOINTI

5.1 Mittausten suorittaminen

Jotta mittauskokeiden tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia, pyrin hallitsemaan ja rajaamaan mittauskokeissa syntyviä virheitä lasiesteestä johtuviin virheisiin seuraavin menetelmin:

- Orientoinnit suoritettiin aina samalta sijainnilta.
- Takymetrin kalibroitiedot selvitettiin ennakkoon.
- Kojeelle määritettiin säätilakorjaus sekä refraktiokerroin.
- Mittausten lopuksi tarkastettiin kojeen taseus ja määritettiin sulkuvirhe.

Mittauskokeet onnistuivat hyvin ja ongelmitta. Mittausten järjestelyt olivat kohtalaisen työläät, sillä lasilevyjen siirtelyyn ja asetteluun meni melko paljon aikaa. Suoritin mittauskokeet kolmen päivän aikana. Kokeiden jälkeen siirsin mitatut pisteet ja mittausraportin tietokoneelle ja järjestelin saatua mittausdataa taulukoiksi Microsoft Excel -ohjelmassa.



Kuvio 9. Mittauskokeissa käytetty keilantakymetri Trimble SX10 sekä maastotalennin

Seuraavissa taulukoissa on pyritty esittämään mitatut havainnot selkeästi, jotta lasilevyistä johtuvia virheitä voidaan vertailla keskenään.

Taulukko 4. Orientointikokeissa käytetyt liitospisteet sekä niiden koordinaatit ja korkeudet

Liitospisteet

Tunnus	x	y	z
tp1	2020.068	1004.54	75.229
tp2	2027.471	1017.32	75.391
tp3	2024.524	1028.17	75.117
tp4	2003.418	1025.65	75.158

5.2 Orientointikokeet

Tuloksista nähdään, miten erilaiset lasilevyt vaikuttivat takymetrin orientointiin, sekä minkälainen vaikutus oli lasilevyn kulmalla tähtäyslinjaan nähden. Asemapisteen sijainteja on taulukoissa verrattu aina ensimmäisen orientoinnin havaintoihin, joka suoritettiin mittaamalla tähyksiin ilman, että niiden edessä oli lasiastetta. Asemapisteen nimestä selviää, mikä lasilevy oli orientoinnin aikana asetettu liitospisteiden eteen. Asteluku kertoo missä kulmassa lasilevy oli suurin piirtein kojeen tähtäyslinjaan nähden.

Taulukko 5. Orientoinnit etäisyshavainnoilla

Orientoinnit etäisyshavainnoilla

Asemapiste	Asemapisteen sijainti		
	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2023.331	1019.468	76.005
Tasolasi 3mm - 90°	2023.331	1019.469	76.005
Tasolasi 3mm - 60°	2023.332	1019.468	76.005
Tasolasi 3mm - 45°	2023.332	1019.468	76.005
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2023.332	1019.468	76.005
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2023.333	1019.468	76.006
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2023.331	1019.469	76.006

Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2023.331	1019.469	76.007
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2023.329	1019.471	76.007
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2023.329	1019.47	76.007

Taulukko 6. Orientoinnit etäisyshavainnoilla

Keskivirheet			Poikkeamat asemapisteen sijainnissa		
Δx	Δy	Δz	x	y	z
0	0	0			
0	0.001	0	0	0.001	0
0.001	0.001	0	0.001	0	0
0.001	0.001	0	0.001	0	0
0.001	0.001	0	0.001	0	0
0.001	0.001	0	0.002	0	0.001
0.002	0.002	0	0	0.001	0.001
0.005	0.005	0	0	0.001	0.002
0.005	0.005	0	-0.002	0.003	0.002
0.004	0.005	0	-0.002	0.002	0.002

Tuloksista voidaan yleisesti huomata, että tasolasilla sekä turvalasilla ei ollut yhtä huomattava merkitys takymetrin asemoinnin tarkkuuteen kuin taas kolminkertaisella eristyslasilla.

Takymetrin orientoinnin jälkeen mittasin tarkastuspisteelle aina uudelleen, jotta selviäisi minkälaisia virheitä merkintämittaukseen tulisi. Tarkastuspistettä ei mitattu lasiестeen läpi. Taulukossa 7 on edellä olevilta asemapisteiltä mitatut havainnot tarkastuspisteelle.

Taulukko 7. Havainnot tarkastuspisteelle

Havainnot tarkastuspisteelle s1						
Asemapiste	Tarkastuspisteen sijainti			Poikkeamat tarkastuspisteen sijainnissa		
	x	y	z	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2021.992	1004.198	76.411			
Tasolasi 3mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0.001
Tasolasi 3mm - 60°	2021.992	1004.198	76.411	0	0	0
Tasolasi 3mm - 45°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2021.992	1004.199	76.412	0	0.001	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2021.994	1004.198	76.412	0.002	0	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2021.993	1004.199	76.412	0.001	0.001	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2021.993	1004.199	76.413	0.001	0.001	0.002
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2021.992	1004.2	76.414	0	0.002	0.003
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2021.992	1004.199	76.413	0	0.001	0.002

Seuraavissa taulukoissa (Taulukot 8 & 9) on tulokset toistetuista mittauskokeista, tällä kertaa mittaamalla liitospisteille vain suuntahavainnoin.

Taulukko 8. Orientoinnit kulmahavainnoilla

Orientoinnit kulmahavainnoilla

Asemapiste	Asemapisteen sijainti		
	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2023.133	1019.653	76.015
Tasolasi 3mm - 90°	2023.132	1019.653	76.015
Tasolasi 3mm - 60°	2023.132	1019.653	76.015
Tasolasi 3mm - 45°	2023.132	1019.653	76.015
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2023.131	1019.653	76.015
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2023.133	1019.653	76.015
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2023.13	1019.655	76.015
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2023.132	1019.653	76.016
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2023.13	1019.655	76.016
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2023.128	1019.656	76.016

Taulukko 9. Orientoinnit kulmahavainnoilla

Keskivirheet			Poikkeamat asemapisteen sijainnissa		
Δx	Δy	Δz	x	y	z
0	0	0			
0	0	0	-0.001	0	0
0	0	0	-0.001	0	0
0	0	0	-0.001	0	0
0	0	0	-0.002	0	0
0	0	0	0	0	0
0.001	0.001	0	-0.003	0.002	0
0	0	0	-0.001	0	0.001
0.001	0.002	0	-0.003	0.002	0.001
0.002	0.003	0	-0.005	0.003	0.001

Tuloksista selvisi, että orientointien tarkkuudet paranivat mittaamalla liitospisteet kulmahavainnoilla. Mittaamalla etäisyyksiä lasiестeen läpi, mittaussignaalin kulku hidastuu lasissa, lasin taitekertoimen ollessa suurempi. SX10 käyttää pulssimoduloitua signaalia etäisyyden määrittämiseen, joten mittaussignaalin kulkiessa lasiестeen läpi, signaalin kulkuun käytetty aika kasvaa, jolloin myös mitattu etäisyys kasvaa. Mittaamalla kulmahavaintoja lasiестeen läpi, tätä virhettä ei tapahdu.

Taulukko 10. Havainnot tarkastuspisteelle

Havainnot tarkastuspisteelle s1						
Asemapiste	Tarkastuspisteen sijainti			Poikkeamat tarkastuspisteen sijainnissa		
	x	y	z	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2021.992	1004.198	76.411			
Tasolasi 3mm - 90°	2021.992	1004.198	76.411	0	0	0
Tasolasi 3mm - 60°	2021.992	1004.199	76.411	0	0.001	0
Tasolasi 3mm - 45°	2021.992	1004.199	76.411	0	0.001	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2021.991	1004.198	76.412	-0.001	0	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2021.992	1004.2	76.412	0	0.002	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2021.991	1004.2	76.412	-0.001	0.002	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2021.991	1004.201	76.412	-0.001	0.003	0.001

Jokaisen orientoinnin jälkeen mittasin uudelleen tarkastuspisteelle etäisyshavainnoilla. Tarkastuspisteen sijainnin poikkeamissa (Taulukko 10) ei ollut merkittävää parannusta verrattuna aikaisempiin tuloksiin.

Orientointien tasoituslaskennan vuoksi asemapisteen keskivirheet ja poikkeamat ovat melko pieniä, tasolasin läpi mitattuna maksimissaan yhden millimetrin luokkaa ja suurimmat virheet ollessaan viittä millimetriä, kun koje orientoitiin mittaamalla eristyslaselementin läpi liitospisteille. Mittausraportissa asemapisteen residuaaleja tarkastellessa nähdään kuitenkin liitoshavaintojen jäännösvirheet, joista saadaan parempi kuva, miten lasiasteet vaikuttivat mittaukseseen. Trimblen mittausraporteissa on ilmoitettu residuaalit jokaiselle orientoinnissa tehdylle liitoshavainnolle pysty- ja vaakakulman, etäisyyden, tasokoordinaattien sekä korkeuden osalta.

Yhdensuuntaissiirtymän vuoksi havaintojen jäännösvirheet pysty- ja vaakakulmissa kasvoivat mitä paksumman lasiasteen läpi mittaus oli tapahtunut. Tämä selittää myös sen miksi jäännösvirheet kasvoivat mitä vinommassa kulmassa lasilevy oli tähtäyslinjaan nähden. Jäännösvirheet etäisyydessä kasvoivat myös lasiasteen vahvuuden mukaan. Mitä paksumman lasiasteen läpi mitattiin, virheet mitatussa etäisyydessä kasvoivat. Trimble SX10 käyttää etäisyyden määrittämiseen pulssimoduloitua signaalia, jolloin koje laskee etäisyyden signaalin kulkuun käytetystä ajasta mitattavaan kohteeseen ja takaisin. Virheet etäisyydessä kasvavat, sillä valon nopeus pienenee valon siirtyessä ilmasta lasiin. Jäännösvirheet liitoshavaintojen pysty- ja vaakakulmissa sekä etäisyyksissä johtavat koheen virheelliseen laskentaan tasokoordinaateille ja korkeuksille.

5.3 Yksittäisen pisteen mittaus lasiasteen läpi

Halusin tarkastella lasiasteen vaikutusta takymetrin orientoinnin lisäksi myös yksittäisen tunnetun pisteen merkintään lasiasteen läpi mittaamalla. Mittauskokeissa orientoin takymetrin mittaamalla liitospisteille ilman, että niiden edessä oli lasilevyä. Takymetrin asemoinnin jälkeen mittasin etäisyshavainnoin yhdelle

liitospisteistä lasilevyjen läpi. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 11) on esitetty mittausraportin havainnoista poikkeamat pisteen sijainnissa.

Taulukko 11. Poikkeamat havainnoissa

Poikkeamat

	x	y	z	HA	VA	SD
Normaali orientointi - ei lasilevyä						
Tasolasi 3mm - 90°	0	-0.001	0	0.0000	0.0008	0.002
Tasolasi 3mm - 60°	0	-0.001	0	0.0017	0.0003	0.002
Tasolasi 3mm - 45°	0.001	-0.001	0	0.0031	0.0011	0.002
Turvalasi 4+4 mm - 90°	-0.001	-0.003	0	-0.0006	0.0017	0.004
Turvalasi 4+4 mm - 60°	0.001	-0.004	0	0.0053	0.0014	0.005
Turvalasi 4+4 mm - 45°	0.001	-0.005	0	0.0086	0.0014	0.005
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	-0.002	-0.011	0.001	-0.0006	0.0028	0.012
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	0.001	-0.014	0.001	0.0119	0.0033	0.014
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	0.002	-0.014	0.001	0.0189	0.0033	0.014

Taulukossa ilmoitetut poikkeamat on laskettu vertailemalla lasilevyjen läpi mitattuja havaintoja havaintoihin, jotka mitattiin pisteelle ilman lasiestettä. Kuten asemapisteen liitoshavaintojen residuaaleissa, myös mitattaessa yksittäiselle pisteelle lasiesteen läpi virheissä yleisesti toistuu sama kaava, eli virheet kasvavat mitä paksumman lasiesteen läpi mittaus tapahtuu, sekä mitä jyrkemmässä kulmassa lasieste on kojeen tähtäyslinjaan nähden.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, millä tavoin lasieste vaikuttaa takymetrin mittaustarkkuuteen, kun mittaus tapahtuu lasiестeen läpi mitattavaan kohteeseen. Työn tavoitteena oli selvittää miten erilaiset lasilaadut sekä eripaksuiset lasin vaikuttavat takymetrin prismattomaan etäisyydenmittaukseen ja kulmanmittaukseen. Aihetta tutkittiin sekä teorian, että käytännön kokeiden avulla.

Aihetta tutkittiin mittauskokeiden avulla. Tuloksista saatiin selville lasiестeiden aiheuttamat virheet mittauksissa. Orientointikokeissa takymetrin orientoinnin tasoituslaskennan vuoksi lasiестeistä johtuvat keskivirheet ja poikkeamat orientoinneissa jäivät melko pieniksi. Lasiестeiden läpi mitatuissa yksittäisissä havainnoissa virheet kasvoivat kuitenkin merkittävästi. Virheet kasvoivat myös mitä paksumman lasiестeen läpi mittaus tapahtui sekä mitä vinommassa kulmassa lasiестe oli takymetrin tähtäyslinjaan nähden. Tämän vuoksi voidaan sanoa, että tasalaatuinen lasiестe aiheutti mittaukseen systemaattisen virheen.

Mittauskokeiden tulosten perusteella takymetri on mahdollista orientoida tarkasti vapaan asemapisteen menetelmällä mittaamalla liitospisteille lasiестeen läpi. Parhaimpana esimerkkinä, mittaamalla kulmahavaintoja kolminkertaisen eristyslasin läpi elementin ollessa noin 90° kulmassa takymetrin tähtäyslinjaan nähden, orientoinnin ja tarkastuspisteelle mitatun havainnon virheet jäivät nolnaan – yhteen millimetriin. Edellytyksenä orientoidessa lasiестeen läpi mitaten, mitattavia liitospisteitä tulisi olla riittävästi, eikä lasipinnan tulisi olla kovin kaltevassa kulmassa takymetrin tähtäyslinjaan nähden.

Suurta tarkkuutta vaativissa mittauksissa virheet saattavat joissain tapauksissa kuitenkin kasvaa liian isoiksi muiden tekijöiden lisäämien virheiden vuoksi, kuten jos liitospisteille on mitattu sijainnit eri asemapisteiltä. Yksittäisiä havaintoja mitatessa lasiестeen läpi, virheet kasvoivat myös jopa moninkertaisiksi orientointivirheisiin verrattuna. Kojeen ollessa liki samassa tasossa mitattavan pisteen kanssa, korkeuden mittaus pystyttiin tehdä kuitenkin tarkasti.

Opinnäytetyössä on käyty läpi takymetrinmittausta ja takymetrin pääosia yleisesti, takymetrin kojeasentoja ja orientointia vapaalle asemapisteele. Työssä on esitelty myös takymetrin elektro-optisen etäisyydenmittauksen, prismattoman etäisyydenmittauksen sekä kulmanmittauksen periaatteita ja tekniikoita. Opinnäytetyössä on myös kuvattu takymetrin mittaustarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä lasiasteen lisäksi mittausperustan, takymetrin tarkkuuden ja kalibroinnin merkitystä, refraktiota ja sääkorausta.

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin ja mittauskokeiden tulokset rajaavat mitauksissa ja orientoinneissa syntyneet virheet lasiasteista johtuviin virheisiin. Tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia ja pätevät myös ainoastaan kyseisissä mittauskokeissa käytetyille lasilaaduille ja mitattuina Trimble SX10 -keilaintakymetrillä.

LÄHTEET

Afeni, T.B. & Cawood, F.T. 2016. Total Station Survey Monitoring Through an Observation Window: A Systematic Error Correction to Remove the Effects of Glass Properties. Johannesburg: Witwatersrandin yliopisto.

Geotrim Oy 2019. Huoltopalvelut. Viitattu 29.3.2019
<https://geotrim.fi/palvelut/huoltopalvelut>.

Haarto, A. & Karhunen, M. Valo-oppia. Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 29.1.2019 http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/Infya/8_optiikka.pdf.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen AMK julkaisusarja D nro 3.

Liikennevirasto 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. Viitattu 14.1.2019 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf.

Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2007. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 2. 7. painos. Lahden Teho-Opetus.

SICK AG 2019. Enkooderien ja kaltevuusantureiden yleiskatsaus ja sovellukset. Viitattu 19.3.2019 <https://www.sick.com/fi/fi/enkooderien-ja-kaltevuusantureiden-yleiskatsaus-ja-sovellukset/w/encoders-definition/>.

Trimble 2018. SX10SCANNINGTOTALSTATION:IN-FIELDCALIBRATION. Viitattu 1.3.2019 http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-898094/SX10_In-Field_Calibration_Guide_Oct2018.pdf.

Trimble 2016-2017. SX10 Keilaintakymetri tekniset tiedot. Viitattu 18.2.2018 http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-836670/022516-241-FIN_TrimbleSX10_DS_A4_1016_LR.pdf.

Uren, J. & Price, B. 2010. Surveying for Engineers. 5. painos. Hampshire: Palgrave Macmillan.

Wikman, E. 2004. Nykyaikaisen takymetrin anatomia. Maankäyttö, 4/2004. Viitattu 15.1.2019 http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk404/mk404_75_wikman.pdf.

Wikman, E. 2010. Takymetri - Mittaustyökalu moneen käyttöön. Maankäyttö, 4/2010. Viitattu 15.1.2019
http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1416_wikman.pdf.

LIITTEET

Liite 1. Mittaussuunnitelma

Liite 2. Mittauskokeiden tulokset – Excel taulukot

Orientointikokeiden mittaussuunnitelma

Mittausten tavoitteena on tutkia, miten erilaiset lasilaadut ja eripaksuiset lasit vaikuttavat takymetrin etäisyydenmittaukseen ja kulmanmittaukseen. Mittauskokeissa takymetri orientoidaan mitatuista tähyksistä ensin ilman, että tähyksen edessä on lasia ja tämän jälkeen niin, että tähyksien eteen on asetettu lasilevy tai lasilevyjä. Orientointien jälkeen mitataan tarkastuspisteelle.

Takymetri

Mittaus suunnitellaan tehtäväksi Trimble SX10 -keilaintakymetrilla. Mittauksissa käytetään kojeen prismatonta mittaustapaa. Mittaukset suoritetaan aina samalta sijainnilta mittausten laadun ja luotettavuuden parantamisen vuoksi.

Mittausalue, lähtöpisteet ja uudet pisteet.

Mittaukset suoritetaan Lapin AMK:n kellaritilassa. Kellaritilassa on oma koordinaatisto, jota ei ole sidottu mihinkään valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Takymetri orientoidaan aluksi kellaritilassa olemassa olevista pisteistä. Tämän jälkeen mitataan varsinaisissa orientointikokeissa käytettäville pisteille koordinaatit ja korkeudet. Uusia liitospisteitä mitataan neljä kappaletta ja yksi tarkastuspiste. Pisteinä käytetään seinään kiinnitettäviä tarratähyksiä.

Orientointikokeet

Mittauskokeissa käytetään kolmea eri lasilaatua, tavallista tasolasia, turvalasia sekä selektiivipinnoitettua eristyslasia. Ensimmäisissä mittauskokeissa takymetri orientoidaan etäisyshavainnoin mitatuista tähyksistä ensin ilman, että niiden edessä on lasia ja tämän jälkeen niin, että tähyksien eteen on asetettu lasilevy. Orientoinnit suoritetaan myös lasilevyjen ollessa eri kulmissa kojeeseen nähden. Seuraavaksi toistetaan samat orientoinnit, mutta tällä kertaa kulmahavainnoin. Orientoinnit suoritetaan aina samalta sijainnilta. Alla olevassa listoissa on esitetty orientointikokeet:

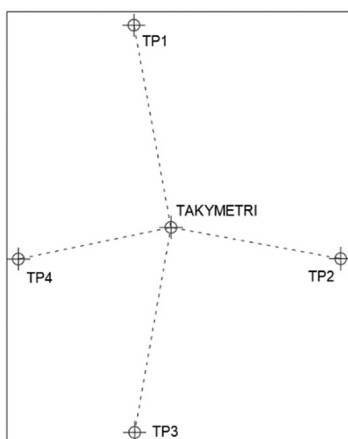
Etäisyshavainnoin

1. Normaali orientointi, ei lasia
2. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 90°
3. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 60°
4. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 45°
5. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 90°
6. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 60°
7. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 45°
8. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 90°
9. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 60°
10. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 45°

Kulmahavainnoin

1. Normaali orientointi, ei lasia
2. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 90°
3. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 60°
4. 1 levy 3 mm paksuista tasolasia 45°
5. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 90°
6. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 60°
7. 1 levy 8 mm paksuista turvalasia 45°
8. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 90°
9. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 60°
10. 3 levyä selektiivinen eristyslasi 6 mm paksuista lasia 45°

Seuraavassa kuvassa on esitetty, miten mittauksissa käytettävät pisteet sijoitetaan kellaritilassa.



Ennen mittauksia

Ennen mittauksia mittaussuunnitelma tarkistetaan ja valitaan lopulliset paikat uusille pisteille. Pisteet rakennetaan käyttäen tarratähyksiä pistemerkkeinä. Lasilevyille tulee myös rakentaa alusta, joka pitää levyt suorassa.

Lasilevyt

Orientointikokeissa käytetään kolmea eri lasilaatua, tavallista tasolasia, turvalasia sekä selektiivipinnoitettua eristyslasiä.

Tasolasi

Lasin vahvuus	3 mm
Sävy	kirkas
Mitat	30 x 30 cm

Laminoitu turvalasi

Lasin vahvuus	4 + 4 mm, välissä PVB kalvo
Sävy	kirkas
Mitat	30 x 30 cm

Selektiivipinnoitettu eristyslasi (lasielementissä 3 lasilevyä)

Lasin vahvuus	6 mm
Sävy	kirkas
Mitat	30 x 30 cm
Välilistan leveys	9 mm

Lasien välissä on käytetty Argon (Ar) jalokaasua lisäeristeenä.

Orientoinnit etäisyshavainnoilla									
Asemapiste	Asemapisteen sijainti			Keskivirheet			Poikkeamat		
	x	y	z	Δx	Δy	Δz	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2023.331	1019.468	76.005	0	0	0			
Tasolasi 3mm - 90°	2023.331	1019.469	76.005	0	0.001	0	0	0.001	0
Tasolasi 3mm - 60°	2023.332	1019.468	76.005	0.001	0.001	0	0.001	0	0
Tasolasi 3mm - 45°	2023.332	1019.468	76.005	0.001	0.001	0	0.001	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2023.332	1019.468	76.005	0.001	0.001	0	0.001	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2023.333	1019.468	76.006	0.001	0.001	0	0.002	0	0.001
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2023.331	1019.469	76.006	0.002	0.002	0	0	0.001	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2023.331	1019.469	76.007	0.005	0.005	0	0	0.001	0.002
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2023.329	1019.471	76.007	0.005	0.005	0	-0.002	0.003	0.002
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2023.329	1019.47	76.007	0.004	0.005	0	-0.002	0.002	0.002

Havainnot tarkastuspisteelle s1						
Asemapiste	Tarkastuspisteen sijainti			Poikkeamat		
	x	y	z	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2021.992	1004.198	76.411			
Tasolasi 3mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0
Tasolasi 3mm - 60°	2021.992	1004.198	76.411	0	0	0
Tasolasi 3mm - 45°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2021.992	1004.199	76.412	0	0.001	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2021.994	1004.198	76.412	0.002	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2021.993	1004.199	76.412	0.001	0.001	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2021.993	1004.199	76.413	0.001	0.001	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2021.992	1004.200	76.414	0	0.002	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2021.992	1004.199	76.413	0	0.001	0

Orientoinnit kulmahavainnoilla									
Asemapiste	Asemapisteen sijainti			Keskivirheet			Poikkeamat		
	x	y	z	Δx	Δy	Δz	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2023.133	1019.653	76.015	0	0	0			
Tasolasi 3mm - 90°	2023.132	1019.653	76.015	0	0	0	-0.001	0	0
Tasolasi 3mm - 60°	2023.132	1019.653	76.015	0	0	0	-0.001	0	0
Tasolasi 3mm - 45°	2023.132	1019.653	76.015	0	0	0	-0.001	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2023.131	1019.653	76.015	0	0	0	-0.002	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2023.133	1019.653	76.015	0	0	0	0	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2023.13	1019.655	76.015	0.001	0.001	0	-0.003	0.002	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2023.132	1019.653	76.016	0	0	0	-0.001	0	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2023.13	1019.655	76.016	0.001	0.002	0	-0.003	0.002	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2023.128	1019.656	76.016	0.002	0.003	0	-0.005	0.003	0.001

Havainnot tarkastuspisteelle s1						
Asemapiste	Tarkastuspisteen sijainti			Poikkeamat		
	x	y	z	x	y	z
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2021.992	1004.198	76.411			
Tasolasi 3mm - 90°	2021.992	1004.198	76.411	0	0	0
Tasolasi 3mm - 60°	2021.992	1004.199	76.411	0	0.001	0
Tasolasi 3mm - 45°	2021.992	1004.199	76.411	0	0.001	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2021.991	1004.198	76.412	-0.001	0	0
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2021.992	1004.2	76.412	0	0.002	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2021.992	1004.198	76.412	0	0	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2021.991	1004.2	76.412	-0.001	0.002	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2021.991	1004.201	76.412	-0.001	0.003	0

Asemapisteiden residuaalit				
Orientoinnit etäisyshavainnoilla				
Orientointi ilman lasilevyä				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'02"	-0°00'05"	0°00'03"	-0°00'02"
Kojeasento II	0°00'02"	-0°00'02"	0°00'03"	-0°00'01"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'04"	0°00'04"	0°00'01"	-0°00'03"
Kojeasento II	0°00'01"	-0°00'03"	0°00'02"	0°00'05"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	0
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	0
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	0
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	-0.001

Orientoinnit kulmahavainnoilla				
Orientointi ilman lasilevyä				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'01"	-0°00'09"	0°00'04"	-0°00'01"
Kojeasento II	0°00'03"	-0°00'01"	0°00'02"	-0°00'02"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'05"	0°00'01"	-0°00'01"	-0°00'04"
Kojeasento II	0°00'02"	0°00'03"	0°00'02"	0°00'04"

Liite 2 3(10)

Tasolasi 3mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'01"	-0°00'03"	-0°00'03"	0°00'01"
Kojeasento II	0°00'00"	-0°00'01"	-0°00'01"	0°00'00"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'01"	0°00'10"	0°00'02"	-0°00'00"
Kojeasento II	0°00'03"	0°00'03"	0°00'02"	0°00'06"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
Kojeasento II	-0.002	-0.001	-0.002	-0.001
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	-0.002	0	0.002
Kojeasento II	0	-0.001	0	0.001
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.002	0.001	-0.002	-0.001
Kojeasento II	0.002	0.001	-0.002	0
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	-0.001

Tasolasi 3mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'08"	0°00'12"	-0°00'10"	0°00'06"
Kojeasento II	-0°00'07"	0°00'14"	-0°00'08"	0°00'05"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'00"	0°00'08"	0°00'02"	-0°00'01"
Kojeasento II	0°00'02"	0°00'01"	0°00'03"	0°00'07"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
Kojeasento II	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	-0.002	0	0.002
Kojeasento II	0	-0.001	0	0.001
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.002	0.001	-0.002	-0.001
Kojeasento II	0.002	0.001	-0.002	-0.001
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	-0.001

Tasolasi 3mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'01"	0°00'00"	-0°00'02"	-0°00'00"
Kojeasento II	-0°00'02"	0°00'01"	0°00'01"	0°00'01"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'04"	0°00'01"	-0°00'01"	0°00'01"
Kojeasento II	-0°00'01"	-0°00'08"	-0°00'01"	0°00'05"

Tasolasi 3mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	0°00'08"	-0°00'05"	0°00'01"
Kojeasento II	-0°00'04"	0°00'09"	-0°00'04"	0°00'03"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	-0°00'02"	0°00'01"	-0°00'01"
Kojeasento II	-0°00'02"	-0°00'10"	-0°00'00"	0°00'07"

Tasolasi 3mm - 45° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'11"	0°00'24"	-0°00'14"	0°00'07"
Kojeasento II	-0°00'11"	0°00'27"	-0°00'13"	0°00'07"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	0°00'09"	0°00'02"	0°00'01"
Kojeasento II	0°00'04"	0°00'02"	0°00'04"	0°00'05"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
Kojeasento II	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	-0.002	0	0.002
Kojeasento II	0	-0.001	0	0.002
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.002	0.002	-0.002	-0.001
Kojeasento II	0.002	0.001	-0.002	-0.001
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	0

Turvalasi 4+4 mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'01"	0°00'05"	0°00'01"	0°00'00"
Kojeasento II	-0°00'02"	0°00'06"	0°00'04"	0°00'00"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'01"	0°00'14"	0°00'06"	0°00'03"
Kojeasento II	0°00'05"	0°00'08"	0°00'05"	0°00'09"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004
Kojeasento II	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.001	-0.004	-0.001	0.004
Kojeasento II	0.001	-0.003	-0.001	0.004
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.004	0.002	-0.005	-0.001
Kojeasento II	0.004	0.002	-0.004	-0.001
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	-0.001

Tasolasi 3mm - 45° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'06"	0°00'15"	-0°00'10"	0°00'04"
Kojeasento II	-0°00'06"	0°00'18"	-0°00'07"	0°00'04"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'04"	-0°00'05"	0°00'01"	0°00'01"
Kojeasento II	0°00'01"	-0°00'10"	-0°00'01"	0°00'05"

Turvalasi 4+4 mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'00"	-0°00'01"	0°00'01"	-0°00'00"
Kojeasento II	-0°00'00"	0°00'01"	-0°00'01"	0°00'00"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	0°00'02"	-0°00'04"	0°00'01"
Kojeasento II	0°00'00"	-0°00'05"	-0°00'06"	0°00'05"

Liite 2 5(10)

Turvalasi 4+4 mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'11"	0°00'43"	-0°00'44"	0°00'12"
Kojeasento II	-0°00'11"	0°00'49"	-0°00'43"	0°00'11"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'02"	0°00'24"	0°00'08"	0°00'02"
Kojeasento II	0°00'07"	0°00'16"	0°00'05"	0°00'09"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.004	-0.006	-0.005	-0.004
Kojeasento II	-0.004	-0.006	-0.005	-0.004
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	-0.005	0.001	0.004
Kojeasento II	0	-0.004	0.001	0.003
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.004	0.004	-0.005	-0.002
Kojeasento II	0.004	0.004	-0.005	-0.002
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0	0	-0.001

Turvalasi 4+4 mm - 45° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'37"	0°01'27"	-0°00'02"	0°00'16"
Kojeasento II	-0°00'38"	0°01'28"	-0°00'02"	0°00'16"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'04"	0°00'12"	0°00'09"	0°00'03"
Kojeasento II	0°00'07"	0°00'04"	0°00'07"	0°00'10"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.004	-0.005	-0.005	-0.007
Kojeasento II	-0.004	-0.005	-0.005	-0.006
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.002	-0.003	-0.001	0.006
Kojeasento II	-0.002	-0.003	-0.001	0.006
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.005	0.004	-0.005	-0.004
Kojeasento II	0.004	0.004	-0.005	-0.003
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0	0	0
Kojeasento II	0	0.001	0	-0.001

Turvalasi 4+4 mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'07"	0°00'17"	-0°00'10"	0°00'04"
Kojeasento II	-0°00'06"	0°00'18"	-0°00'09"	0°00'04"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'03"	-0°00'06"	-0°00'03"	-0°00'01"
Kojeasento II	0°00'04"	-0°00'10"	-0°00'05"	0°00'08"

Turvalasi 4+4 mm - 45° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'19"	0°00'53"	-0°00'28"	0°00'13"
Kojeasento II	-0°00'19"	0°00'52"	-0°00'28"	0°00'12"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'01"	-0°00'14"	0°00'03"	0°00'01"
Kojeasento II	0°00'02"	-0°00'18"	0°00'01"	0°00'05"

Eristyslasi 6+6+6 mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	-0°00'50"	-0°00'15"	0°00'06"
Kojeasento II	-0°00'02"	-0°00'49"	-0°00'12"	0°00'06"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'16"	0°01'02"	0°00'26"	0°00'15"
Kojeasento II	0°00'19"	0°00'53"	0°00'23"	0°00'20"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.015	-0.016	-0.017	-0.017
Kojeasento II	-0.017	-0.018	-0.018	-0.013
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.003	-0.015	-0.002	0.016
Kojeasento II	0.004	-0.016	-0.002	0.012
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.015	0.006	-0.017	-0.006
Kojeasento II	0.017	0.007	-0.018	-0.004
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0	0.001	0.001	-0.001
Kojeasento II	-0.001	0.001	0.001	-0.002

Eristyslasi 6+6+6 mm - 90° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	0°00'06"	-0°00'04"	0°00'02"
Kojeasento II	-0°00'03"	0°00'09"	-0°00'04"	0°00'02"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'02"	-0°00'00"	-0°00'07"	0°00'02"
Kojeasento II	0°00'02"	-0°00'04"	-0°00'10"	0°00'06"

Eristyslasi 6+6+6 mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'30"	0°01'31"	-0°00'37"	0°00'18"
Kojeasento II	-0°00'30"	0°01'33"	-0°00'36"	0°00'18"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'19"	0°00'49"	0°00'33"	0°00'15"
Kojeasento II	0°00'24"	0°00'40"	0°00'32"	0°00'21"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.014	-0.021	-0.019	-0.019
Kojeasento II	-0.014	-0.018	-0.017	-0.017
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.001	-0.017	-0.001	0.017
Kojeasento II	0.001	-0.015	-0.001	0.016
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.014	0.011	-0.019	-0.007
Kojeasento II	0.014	0.01	-0.017	-0.007
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.001	0.002	0	-0.001
Kojeasento II	-0.001	0.002	0	-0.001

Eristyslasi 6+6+6 mm - 60° tähtäysuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'31"	0°01'21"	-0°00'47"	0°00'21"
Kojeasento II	-0°00'31"	0°01'31"	-0°00'45"	0°00'20"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'03"	-0°00'22"	-0°00'02"	0°00'04"
Kojeasento II	0°00'00"	-0°00'27"	0°00'02"	0°00'09"

Eristyslasi 6+6+6 mm - 45° tähtäyssuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°01'08"	0°02'39"	-0°00'05"	0°00'30"
Kojeasento II	0°01'08"	0°02'40"	-0°00'05"	0°00'30"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0°00'17"	0°00'34"	0°00'24"	0°00'14"
Kojeasento II	0°00'21"	0°00'24"	0°00'22"	0°00'19"
ΔSD	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.014	-0.012	-0.018	-0.016
Kojeasento II	-0.014	-0.013	-0.016	-0.015
ΔX	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.002	-0.009	-0.002	0.015
Kojeasento II	-0.002	-0.01	-0.002	0.014
ΔY	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	0.015	0.009	-0.017	-0.008
Kojeasento II	0.015	0.009	-0.016	-0.007
ΔZ	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0.001	0.001	0.001	-0.001
Kojeasento II	-0.001	0.001	0.001	-0.001

Eristyslasi 6+6+6 mm - 45° tähtäyssuuntaan nähden				
ΔHA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'45"	0°02'01"	-0°01'06"	0°00'30"
Kojeasento II	-0°00'43"	0°02'03"	-0°01'04"	0°00'28"
ΔVA	tp1	tp2	tp3	tp4
Kojeasento I	-0°00'00"	-0°00'31"	0°00'03"	0°00'02"
Kojeasento II	0°00'02"	-0°00'37"	0°00'01"	0°00'11"

Tarkastuspisteelle mitattujen havaintojen poikkeamat vaaka- ja pystykulmissa sekä etäisyydessä

Orientoinnit etäisyshavainnoilla					
HA Havainnot					
Asemapiste	asteluku °	minuuttiluku '	sekunttiluku "	kulma desimaaliasteina	Poikkeama desimaaliasteina
Normaali orientointi - ei lasilevyä	264	59	11	264.9864	
Tasolasi 3mm - 90°	264	59	14	264.9872	0.0008
Tasolasi 3mm - 60°	264	59	14	264.9872	0.0008
Tasolasi 3mm - 45°	264	59	15	264.9875	0.0011
Turvalasi 4+4 mm - 90°	264	59	13	264.9869	0.0006
Turvalasi 4+4 mm - 60°	264	59	29	264.9914	0.0050
Turvalasi 4+4 mm - 45°	264	59	36	264.9933	0.0069
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	264	59	21	264.9892	0.0028
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	264	59	49	264.9969	0.0106
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	264	59	53	264.9981	0.0117

VA Havainnot					
Asemapiste	asteluku °	minuuttiluku '	sekunttiluku "	kulma desimaaliasteina	Poikkeama desimaaliasteina
Normaali orientointi - ei lasilevyä	88	28	53	88.4814	
Tasolasi 3mm - 90°	88	28	52	88.4811	-0.0003
Tasolasi 3mm - 60°	88	28	53	88.4814	0.0000
Tasolasi 3mm - 45°	88	28	49	88.4803	-0.0011
Turvalasi 4+4 mm - 90°	88	28	53	88.4814	0.0000
Turvalasi 4+4 mm - 60°	88	28	51	88.4808	-0.0006
Turvalasi 4+4 mm - 45°	88	28	50	88.4806	-0.0008
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	88	28	51	88.4808	-0.0006
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	88	28	51	88.4808	-0.0006
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	88	28	50	88.4806	-0.0008

SD Havainnot		
Asemapiste	SD	Poikkeama
Normaali orientointi - ei lasilevyä	15.334	
Tasolasi 3mm - 90°	15.334	0
Tasolasi 3mm - 60°	15.334	0
Tasolasi 3mm - 45°	15.334	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	15.334	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	15.334	0
Turvalasi 4+4 mm - 45°	15.334	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	15.334	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	15.335	0.001
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	15.334	0

Orientoinnit kulmahavainnoilla					
HA Havainnot					
Asemapiste	asteluku °	minuuttiluku '	sekunttiluku "	kulma desimaaliasteina	Poikkeama desimaaliasteina
Normaali orientointi - ei lasilevyä	265	46	41	265.7781	
Tasolasi 3mm - 90°	265	46	43	265.7786	0.0006
Tasolasi 3mm - 60°	265	46	52	265.7811	0.0031
Tasolasi 3mm - 45°	265	46	53	265.7814	0.0033
Turvalasi 4+4 mm - 90°	265	46	45	265.7792	0.0011
Turvalasi 4+4 mm - 60°	265	46	55	265.7819	0.0039
Turvalasi 4+4 mm - 45°	265	47	10	265.7861	0.0081
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	265	46	49	265.7803	0.0022
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	265	47	14	265.7872	0.0092
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	265	47	35	265.7931	0.0150

VA Havainnot						
Asemapiste	asteluku °	minuuttiluku '	sekunttiluku "	kulma desimaaliasteina	Poikkeama desimaaliasteina	
Normaali orientointi - ei lasilevyä	88	32	7	88.5353		
Tasolasi 3mm - 90°	88	32	6	88.5350	0.0536	
Tasolasi 3mm - 60°	88	32	8	88.5356	0.0542	
Tasolasi 3mm - 45°	88	32	6	88.5350	0.0536	
Turvalasi 4+4 mm - 90°	88	32	6	88.5350	0.0536	
Turvalasi 4+4 mm - 60°	88	32	7	88.5353	0.0539	
Turvalasi 4+4 mm - 45°	88	32	9	88.5358	0.0544	
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	88	32	8	88.5356	0.0542	
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	88	32	7	88.5353	0.0539	
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	88	32	9	88.5358	0.0544	

SD Havainnot		
Asemapiste	SD	Poikkeama
Normaali orientointi - ei lasilevyä	15.502	
Tasolasi 3mm - 90°	15.502	0
Tasolasi 3mm - 60°	15.502	0
Tasolasi 3mm - 45°	15.502	0
Turvalasi 4+4 mm - 90°	15.502	0
Turvalasi 4+4 mm - 60°	15.502	0
Turvalasi 4+4 mm - 45°	15.502	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	15.502	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	15.502	0
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	15.502	0

Yksittäisen pisteen mittaus lasiastian läpi

Havainnot						
	x	y	z	HA desimaaliasteina	VA desimaaliasteina	SD
Normaali orientointi - ei lasilevyä	2020.068	1004.54	75.228	257.6694	92.9092	15.3
Tasolasi 3mm - 90°	2020.068	1004.539	75.228	257.6694	92.9100	15.302
Tasolasi 3mm - 60°	2020.068	1004.539	75.228	257.6711	92.9094	15.302
Tasolasi 3mm - 45°	2020.069	1004.539	75.228	257.6725	92.9103	15.302
Turvalasi 4+4 mm - 90°	2020.067	1004.537	75.228	257.6689	92.9108	15.304
Turvalasi 4+4 mm - 60°	2020.069	1004.536	75.228	257.6747	92.9106	15.305
Turvalasi 4+4 mm - 45°	2020.069	1004.535	75.228	257.6781	92.9106	15.305
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	2020.066	1004.529	75.227	257.6689	92.9119	15.312
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	2020.069	1004.526	75.227	257.6814	92.9125	15.314
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	2020.07	1004.526	75.227	257.6883	92.9125	15.314

Poikkeamat						
	x	y	z	HA desimaaliasteina	VA desimaaliasteina	SD
Normaali orientointi - ei lasilevyä						
Tasolasi 3mm - 90°	0	-0.001	0	0.0000	0.0008	0.002
Tasolasi 3mm - 60°	0	-0.001	0	0.0017	0.0003	0.002
Tasolasi 3mm - 45°	0.001	-0.001	0	0.0031	0.0011	0.002
Turvalasi 4+4 mm - 90°	-0.001	-0.003	0	-0.0006	0.0017	0.004
Turvalasi 4+4 mm - 60°	0.001	-0.004	0	0.0053	0.0014	0.005
Turvalasi 4+4 mm - 45°	0.001	-0.005	0	0.0086	0.0014	0.005
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 90°	-0.002	-0.011	0.001	-0.0006	0.0028	0.012
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 60°	0.001	-0.014	0.001	0.0119	0.0033	0.014
Selektiivipinnoitettu eristyslasi 6+6+6 mm - 45°	0.002	-0.014	0.001	0.0189	0.0033	0.014