

Eetu Lappalainen

PRISMATON TAKYMETRIMITTAUS  
MASTOMALLI- JA  
KARTOITUSMITTAUKSISSA  
Tienkeskilinjan mittaus

Opinnäytetyö  
Maanmittaustekniikka

Marraskuu 2009




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  15.11.2009
<b>Tekijä(t)</b>  Eetu Lappalainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Maanmittaustekniikan Koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b>  Prismaton takymetrimittaus maastomalli- ja kartoitusmittauksissa		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää prismattoman takymetrimittauksen hyödyntämistä maastomalli- ja kartoitusmittauksissa. Tutkin opinnäytetyössäni myös voidaanko prismatonta takymetrimittamista käyttämällä parantaa työturvallisuutta. Työ on tehty Destia Oy:lle</p> <p>Päädyin työssäni tutkimaan tarkemmin, voidaanko prismatonta takymetrimittausta käyttää tienkeskilinjan mittaamiseen. Normaalisti tienkeskilinjaa mitataan kävelemällä sitä läpi prisma-auvan avulla. Tällöin mittaajalle voi aiheutua vaaratilanteita liikenteen seassa liikkuessaan. Myös liikenteelle aiheutuu häiriötä, kun joudutaan varomaan tiellä liikkuvaa mittaajaa.</p> <p>Saaduista tutkimustuloksistani voidaan todeta, että tienkeskilinjaa voidaan mitata prismattomasti. Prismattomasti takymetrillä mitattu matka oli kuitenkin niin lyhyt, että se ei välttämättä sovi pitkällä matkalla suoritettavan tienkeskilinjan mittaamiseen.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>		
<b>Sivumäärä</b>  35 s. + 16 s.	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>  URN:NBN:fi:mamk-opinn200929712
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Reijo Aalto	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Destia Oy	

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  15 November 2009
<b>Author(s)</b>  Eetu Lappalainen	<b>Degree programme and option</b>  Survey engineer	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Direct reflex survey with a tachymeter in terrain modelling and mapping		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to study how direct reflex survey of tachymeter can be utilized in terrain modelling and mapping. I also studied can the direct reflex improve the safety of surveyor in field surveys. This thesis was made to Destia Oy.</p> <p>In my thesis I decided to study more specifically if the tachymeter's direct reflex measurement can be used in measuring the centre line of the road. So far the centre line of the road is normally measured by walking it with prism. It can be dangerous for the surveyor to conduct the measurements of road centre line by using prism. It also causes distraction to traffic in the site.</p> <p>The results shows that road centre line can be measured with direct reflex method. However the measured distance was so short that direct reflex does not necessarily suit measuring road centre line over long distances.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>		
<b>Pages</b>  35 p. + app. 16 p.	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>  URN:NBN:fi:mamk-opinn200929712
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Reijo Aalto	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Destia Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TAKYMETRIMITTAUS.....	2
2.1	Koordinaatiston määrittäminen .....	3
2.2	Takymetrin pääosat.....	5
2.3	Prisma .....	5
3	ELEKTRONINEN ETÄISYYDENMITTAUS .....	6
3.1	Elektronisten etäisyysmittareiden kojevirheet .....	7
3.2	Takymetrin elektro-optinen etäisyydenmittaus.....	9
4	TAKYMETRIN PRISMATON ETÄISYYDENMITTAUS.....	10
4.1	Prismattoman matkanmittauksen suorituskyky .....	11
4.1.1	Kodak Gray Card .....	12
4.2	Prismattomanmittauksen mittausaika .....	13
4.3	Mittaussäde .....	14
4.4	Prismattomanmittauksen tarkkuus.....	16
4.5	Pinnan skannaaminen .....	16
5	PRISMATTOMAN TAKYMETRIMITTAUKSEN KÄYTTÄMINEN MAASTOMALLIMITTAUKSISSA .....	17
5.1	ROE – toimintaperiaate .....	18
5.2	Epäkeskinen mittaus .....	19
5.3	Prismattoman takymetrimittauksen vaikutus työturvallisuuteen .....	19
6	PRISMATTOMAN TAKYMETRIMITTAUKSEN TESTIMITTAUS .....	20
6.1	Tienkeskilinjan mittaus.....	21
6.2	Mittausten suunnittelu .....	22
6.3	Testissä käytettävä kalusto.....	23
6.4	Mittausten Toleranssit .....	23
6.5	Mittausten suorittaminen .....	24
7	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
7.1	Prismattomasti mitattujen matkojen pituudet.....	26
7.2	Prismattoman pisteen ero vertailupisteeseen .....	28
7.3	Prismattoman pisteen ero taiteviivaan .....	31

8 PÄÄTÄNTÖ .....	33
LÄHTEET .....	35
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Destia Oy, joka on johtava yritys infra-alan maastotiedon tuottajana ja käsittelijänä. Destia Oy:n mittauspalvelut sisältävät yhdyskunta- ja ympäristösuunnittelun mittauksen lisäksi myös rakentamista palvelevia tehtäviä. Mittauspalveluiden valikoimaan kuuluvat muun muassa laserkeilaukset, runkomittaukset, maasto- ja virtuaalimallit sekä koordinaattimuunnokset. Muita mittauspalveluita ovat laadunvalvonta-, kontrolli- ja merkintämittaukset sekä rata-, tunneli ja muut erikoismittaukset. Pohjakartat ja ortokuvat sekä määrälaskennat ja tilavuusmääritykset kuuluvat myös Destia Oy:n tarjoamiin mittauspalveluihin.

Prismattomasti mitaavia takymetrejä on ollut saatavilla jo useita vuosia. Aiheesta ei kuitenkaan löydy juuri muuta tietoa kuin laitevalmistajien antamat tekniset tiedot. Tästä johtuen Destia Oy:n Palvelupäällikkö Pauli Korpelainen ehdotti, että tutkisin prismatonta takymetrimittausta opinnäytetyössäni. Sovimme myös, että tutkisin voidaanko prismatonta mittaustapaa hyödyntämällä lisätä mittaajan työturvallisuutta liikenneväylien varrella tehtävissä maastomittauksissa sekä vähentää muulle liikenteelle aiheuttavia häiriötekijöitä.

Oma työkokemukseni takymetrimittauksesta on noin kaksi ja puoli vuotta. Viimeiset lähes puolitoista vuotta olen mitannut yksin niin sanottua robottitakymetriä käyttäen. Yksin mitatessa olen hyödyntänyt prismatonta mittaamista erilaisissa maastomalleihin liittyvissä kartoitus kohteissa.

Opinnäytetyössäni tutkin prismattoman takymetrimittauksen vaikutusta työturvallisuuden käytännön kokeen avulla. Tutkittavaksi kohteeksi valitsin tienkeskilinjan mittaamisen, koska se on kokemuksieni mukaan vaarallinen kohde mitata. Kokeen avulla pyrin siis osoittamaan miten takymetrin prismaton mittaaminen soveltuu tienkeskilinjan mittaamiseen. Tarkoituksena on selvittää kuinka pitkälle tienkeskilinjaa voidaan prismattomasti mitata ja vaikuttaako mitattu matka havaintojen tarkkuuteen. Prismattomasti mitattuja tuloksia vertaan perinteisesti prisman kanssa mitattuihin havaintoihin.

## 2 TAKYMETRIMITTAUS

Takymetri on satelliittimittauskojeiden ohella yleisin ja tärkein maastomittauksessa käytettävistä kojeista. Se on kehittynyt versio teodoliitista, jolla pystytään mittaamaan vaaka- ja korkeuskulmia. Teodoliiti on kulmamittauskoje, josta puuttuu kokonaan etäisyydenmittari. Teodoliitilla mitattaessa etäisyydet mitataan mittanauhan avulla ja siksi teodoliiteja käytetään enää harvoin mittaus- ja kartoitustekniikan tehtävissä.

Takymetri on siis kehittynyt versio teodoliitista, koska siihen kuuluu sisäinen elektroninen etäisyydenmittari. Takymetrissä on myös akkuvirralla toimiva sisäinen tallennin eli maastotietokone, joten se soveltuu senkin vuoksi teodoliitia paremmin kartoitusta vaativiin mittaustehtäviin.

Ennen nykyaikaisia robottitakymetrejä mittaamiseen tarvittiin aina vähintään kaksi henkilöä. Toinen henkilöistä kuljetti prisma-auvaa ja toinen operoi takymetriä syöttämällä tarvittavat tiedot mittausohjelmaan sekä tähtäämällä prismaan. Nykyaikaisilla robottitakymetreillä pystytään tekemään kaikki toimenpiteet yksin, käyttäen hyväksi takymetrin kanssa kommunikoivaa etäkäyttölaitetta. Takymetri ja etäkäyttölaite ovat, laitevalmistajasta riippuen, keskenään yhteydessä radiomodeemin tai optisen linkin välityksellä. Etälaite on kiinnitetty prisma-auvan varteeseen ja siinä on samat toiminnot kuin takymetrissä.

Tavanomaisia takymetrillä tehtäviä mittauksia ovat erilaiset kartoitus- ja maastomallimitaukset sekä paikalleen merkintämittaukset. Maastomalli on maaston ja rakennetun ympäristön kolmiulotteinen malli, jota käytetään nykyaikaisen tietotekniikkaan tukeutuvan rakennusteknisen suunnittelun lähtökohtana. Maastomallissa kuvataan maaston korkeuden lisäksi maalajipintoja ja ominaisuuksia sekä jo rakennettuja kohteita kuten taloja ja ilma- ja maanalaisia johtoja.

Merkintämittausta käytetään esimerkiksi rakennuksen suunniteltujen kulmien merkitsemisessä rakennuspaikalle, jolloin rakentaminen tapahtuu ositettujen merkintöjen suhteen. Myös maa- ja tierakentamisessa merkintämittausta käytetään esimerkiksi tien sijainnin ja korkeuden osoittamisessa rakennuskohteessa. Merkintämittaukset vaativat suurta tarkkuutta, koska niissä tehdyt virheet voivat johtaa suuriin taloudellisiin mene-

tyksiin. Takymetrillä mitattaessa merkintämittaus perustuu säteittäiseen mittaukseen. Se soveltuukin tarkkuuden ja monipuolisuutensa takia oikein käytettynä mainiosti merkintämittauksiin.

#### *Perinteinen takymetrimittaus*

Perinteisellä takymetrimittauksella tarkoitetaan mittausta, jossa takymetrin mittaussäde palautetaan takaisin takymetriin heijastimen eli prisman avulla. Mittauksissa tarvitaan siis takymetrin lisäksi prismaa, joka on yleensä kiinnitetty prismalle tarkoitettuun prisma-auvaan. Prismasauvaa voidaan säätää haluttuun korkeuteen, kuitenkin sauvan jatkettavuuden rajoissa. Perinteinen prisma-sauva on säädettävissä 130 senttimetristä 215 senttimetriin. Mitattaessa prismaan, sauva viedään mitattavan kohteen kohdalle ja syötetään prisman korkeus takymetriin. Kartoitettaessa kohdetta täytyy takymetriin syöttää myös kohteen pintatunnus sekä koodikirjasta riippuen kohteelle sovittu koodi. Tarvittavien tietojen ollessa syötettynä takymetrin mittausohjelmaan, voidaan suorittaa kohteen kartoitus.

#### *Prismaton takymetrimittaus*

Prismaton takymetrimittaus tarkoittaa sitä, että mitattaessa ei tarvita prismaa vaan voidaan mitata suoraan mitattavan kohteen pintaan. Prismattomasti mitattaessa takymetri lähettää mittaussignaalin kohteen pintaan, josta se kohtisuoraan palautuu takaisin takymetriin. Prismaton mittaaminen soveltuu hyvin sellaisiin kohteisiin, joissa prisman käyttäminen on hankalaa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi siltojen rakenteet, tunnelit, rakennusten kulmat ja nurkat, kallioseinämät ja kaikki kohteet joihin ei voida jalka mennä.

### **2.1 Koordinaatiston määrittäminen**

Takymetrin koordinaattimuotoisten mittausten edellytyksenä on orientointi. Orientoinnilla tarkoitetaan mittaupaikan koordinaatiston ja korkeustason määrittelyä. Mittaupaikan koordinaatiston määrittelyyn tarvitaan vähintään kaksi runkopistettä. Takymetrin orientointi voidaan suorittaa runkopisteitä käyttäen kahdella eri tavalla: Tunnelulle pisteelle orientoimalla tai vapaalle pisteelle orientoimalla.



### *Tunnetulle asemapisteelle orientointi*

Tunnetulle pisteelle orientoitaessa keskeinen toimenpide on liitossuunnan määrittäminen. Liitossuunnalla tarkoitetaan suuntakulmaa asemapisteeltä toiselle pisteelle. Tunnetulle pisteelle orientointia käytettäessä takymetri keskistetään kolmijalan avulla tunnetulle pisteelle, jota kutsutaan asemapisteeksi. Keskistykseen aluksi kolmijalka eli jalusta laitetaan tukevasti maahan, mahdollisimman tarkasti pisteen päälle ja jalustan pöytälevy asetetaan silmämääräisesti vaakasuoraan. Seuraavaksi koje kiinnitetään jalustaan ja tasataan. Takymetri on keskistetty ja tasattu, kun sen vaakakulmakehä on vaakatasossa ja pystyakseli eli optinen luoti tai laserluoti osoittaa maanpinnalla olevaa runkopistettä. Kun takymetri on keskistetty ja tasattu voidaan mitata kojekorkeus. Kojekorkeus saadaan mittaamalla kojeen etäisyys runkopisteestä. Etäisyys mitataan mitanauhalla runkopisteen päältä kojeen sivussa olevaan vaaka-akselin merkkiin.

Keskistykseen, tasauksen ja kojekorkeuden mittaamisen jälkeen voidaan suorittaa koordinaatiston ja korkeustason määrittely. Ensimmäiseksi kojeeseen syötetään tai koneen muistista haetaan asemapisteen tiedot:  $x$  ja  $y$  koordinaatit ja korkeus  $z$ . Asemapistetietojen jälkeen kojeeseen asetetaan liitospisteen koordinaatit sekä korkeus. Liitospiste on toinen tunnettu runkopiste, joka tarvitaan, kun orientoidaan takymetriä. Liitospisteelle viedään tähys eli yleensä prisma, joka keskistetään keskelle runkopistettä. Prisman ja liitospisteen välinen korkeus yleensä mitataan, jolloin saadaan orientointiin myös kahden korkeuden havaittu korkeus. Kun prisma on tasattu ja sen korkeus mitattu, voidaan takymetrillä tehdä havainto liitospisteelle. Kun kaikki edellä mainittu on suoritettu oikein, on takymetri orientoitu ja voidaan aloittaa itse mittaaminen.

### *Vapaalle asemapisteelle orientointi*

Vapaan asemapisteen orientoinnissa takymetria ei tarvitse sijoittaa runkopisteen päälle, kuten tunnetulle asemapisteelle orientoitaessa. Kojee voidaan siis sijoittaa mittausten kannalta suotuisimpaan kohtaan, kuitenkin niin, että takymetrillä voidaan tehdä havainnot vähintään kahteen runkopisteeseen. Hyvän orientoinnin kannalta olisi myös tärkeää, että tunnetut pisteet sijaitsisivat eri suunnissa, jolloin havaintojen leikkaus olisi kohtisuoraan toisiaan vastaan. (Rantanen 2001, 155, 157.) Vapaalle asemapisteelle orientoitaessa koje tasataan vaakatasoon, kuten tunnetulle orientoitaessa. takymetriä

ei kuitenkaan tarvitse keskistää eikä sen korkeutta tarvitse mitata. Kojeen ollessa tasattu voidaan havaita etäisyydet ja suunnat runkopisteille. Havaintojen ansiosta takymetrin orientointi-ohjelma ratkaisee asemapisteen koordinaatit ja korkeuden.

## **2.2 Takymetrin pääosat**

Takymetrin pääosat ovat tasausalusta, runko-osa, alhidadi, mittauskaukoputki, elektro-optinen etäisyysmittari ja sisäinen maastotallennin. Tasausalusta ei ole kiinteä osa takymetriä, kuten kaikki muut edellä mainitut takymetrin rakenteelliset pääosat. Tasausalustan avulla takymetri kiinnitetään kolmijalan päälle. Tasausalustassa on kolme jalkaruuvia, joiden avulla takymetri voidaan tasata silmämääräisesti vaakasuoraan.

Runko-osa sijaitsee tasaosalustan päällä, johon se myös kiinnittyy. Runko-osassa sijaitsee vaakakehä, joka on tarkoitettu tähtäyssuunnan ja vaakakehäkulman mittaukseen. Alhidadi kannattelee mittauskaukoputkea ja pyörii runko-osaan nähden kojeen pystyakselin ympäri. Alhidadissa sijaitsee myös pystyakselin mittaukseen tarkoitettu pystykehä. Mittauskaukoputki pyörii, alhidadiin kiinnittyneenä, kojeen vaakakselin ympäri. Mittauskaukoputkessa ja sen ympärillä sijaitsee etäisyydenmittaukseen tarkoitettu elektro-optinen etäisyysmittari.

Maastotietokone sijaitsee uudemmissa takymetreissä kojeen sisällä, alhidadissa. Vanhemmissa kojeissa tallentimet olivat erillisiä laitteita, jotka yhdistettiin takymetriin kaapelin avulla. Tallentimeen tallennetaan halutut mittaushavainnot ja niihin liittyvät muut tiedot, kuten koodit. Tallennin sisältää myös mittausohjelmistot, joita on esimerkiksi maastonmerkintä, kartoitus ohjelma ja erilaiset vertailutoiminnot. Tallentimessa voi lisäksi olla valmistajan omia erikoisohjelmia, kuten Leican Tiemies- ohjelma. Maastotallentimesta voidaan myös siirtää tallennetut havainnot tietokoneelle. Tiedon siirto voidaan tehdä laitteesta riippuen muistikortilla, kaapelilla tai bluetoothilla. (Laurila 2008, 224.)

## **2.3 Prisma**

Perinteisessä takymetrimittauksessa käytetään prismaa mittaussäteen palauttajana. Prisma on kuin tavallinen vaatteisiin kiinnitetty heijastin. Kun auton ajovalo osuu hei-

jastimeen, valo kääntyy heijastimesta takaisin tulosuuntaan. Takymetrillä mitattaessa mittaussäde osuu prismaan, josta se kääntyy täsmälleen samaan suuntaan, mistä se tulikin eli takymetriin. Ero vaateheijastimen ja prisman välillä on se, että heijastimessa on tuhansia pieniä prismoja, kun taas takymetrillä mitattaessa prismassa on vain yksi iso prisma. (Rantanen 2001, 101.)

Prismaan mitattaessa mittaussäde kääntyy siis samaan suuntaan mistä se tulikin. Mittaussäde ei kuitenkaan käänny prismassa suoraan tulosuuntaan, vaan tekee pienen mutkan prismaan sisällä. Mittaussäteen käännöksestä johtuen säteen kulkema matka kasvaa. Jos ylimääräistä matkaa ei mitattaessa oteta huomioon, niin mitatuista matkoista tulee tuon käännöksen verran liian pitkiä. Ylimääräinen matka voidaan ottaa huomioon ennen mittausten suorittamista, kun tiedetään käytettävän prisman prismavakio. Prismavakiolla tarkoitetaan ylimääräisen matkan pituutta ja se vaihtelee erilaisien prismojen välillä. Jos prisman prismavakio on 17,5 millimetriä, niin takymetriin täytyy syöttää kyseinen prismavakio tai muuten se mittaa aina 17,5 millimetriä liian pitkiä matkoja. (Rantanen 2001, 101.)

### **3 ELEKTRONINEN ETÄISYYDENMITTAUS**

Elektronisessa etäisyydenmittauksessa käytetään sähköistä mittausvärähtelyä, joka moduloituna eli kantoaaltovärähtelylle yhdistettynä etenee mittalaitteesta kohdepisteeseen ja takaisin. Elektroniset etäisyydenmittauslaitteet voidaan jakaa kantoaaltovärähtelyn mukaan kahteen ryhmään: Elektro-optisiin kojeisiin, joissa kantoaaltona on näkyvä valo ( $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ ), infrapunavalo ( $\lambda = 0,9\mu\text{m}$ ) tai laservalo (näkyvä- tai infrapunavalo), sekä radioteknillisiin kojeisiin, joissa kantoaaltona toimii mikroaaltoja, joiden aallonpituus on 8-100 millimetriä. (Salmenperä 2004, 42.)

Yleisin elektronisten mittauslaitteiden käyttämä kantoaaltolähde on infrapunadiodi tai infrapunalaser. Mittalaitteen säde kulkee mittausvälin toiseen päätepisteeseen, josta se heijastuu takaisin mittauslaitteeseen. Matkan mittaamiseen elektroniset mittauslaitteet käyttävät ainakin yhtä kolmesta mittaustavasta: Pulssimittaus, vaihe-eromittaus tai taajuusmodulointi. (Salmenperä 2004, 42.)

Pulssimittauksessa määritetään kojeen lähettämän mittausvärähtelyn edestakainen kulku-aika  $t$ . Vielä kun tunnetaan värähtelyn etenemisnopeus  $c$ , voidaan matka  $s$  laskea kaavalla  $s = \frac{1}{2} \times ct$ . Aaltojen etenemisnopeus, noin 300 000 kilometriä sekunnissa, asettaa aikaeron mittaamiseen käytettäville laitteille suuret vaatimukset. Tätä menetelmää käytetäänkin vain uusimmissa takymetreissä ja nimenomaan prismattomaan kohteeseen mitattaessa. (Salmenperä 2004, 42.) Pulssimittauksessa käytetään näkymättömyyden lasersädettä. Mittauskohde osoitetaan erillisellä punaisella osoitinlaserilla. (Wikman 2004.)

Vaihe-eromittaus perustuu lähtevän ja palaavan etäisyydenmittaussignaalin vaiheeroon. Siinä määritetään edestakaiseen matkaan sisältyvien kokonaisten mittausaaltojen lukumäärä  $\lambda n$  sekä osa-aallonpituus  $\Delta\lambda$ , joka saadaan lähetetyn ja vastaanotetun aaltoliikkeen vaihe-eroa käyttäen. Vaihe-eromittauksen kaava on siis:  $s = \frac{1}{2}(n\lambda + \Delta\lambda)$ . (Salmenperä 2004, 42.) Vaihe-eromittauksessa käytetään näkyvän valon aallonpituudella toimivaa punaista laseria, jota voidaan käyttää myös mittauskohteen osoittamiseen (Wikman 2004). Vaihe-eromittaus voi tapahtua kolmella menetelmällä: välittömällä menetelmällä, vaihesiirtomenetelmällä tai viivytysmenetelmällä (Salmenperä 2004, 42).

Elektro-optisissa etäisyysmittauslaitteissa käytetään siis kantoaaltona valoa tai sitä lähellä olevaa infrapunasäteilyä. Valon voimakkuuden eli amplitudin säätelyyn voidaan käyttää pulssivärähtelyä tai jatkuva-aaltoista sähkövärähtelyä. Elektro-optisilla laitteilla mittaaminen tapahtuu siten, että tähdätään ja mittaustoimintoja käyttäen mitataan haluttuun kohteeseen (prismaan tai tasaiseen pintaan), mistä mittaussäde palautuu mittauskojeeseen vastaanottimeen. (Salmenperä 2004, 42.)

Mikroaaltojen tai näkyvän valon käyttö nykyisillä laitteilla on harvinaista. Radiotekniikka käytetään vielä RTK satelliittimittauksissa, joissa tukiasema ja mittausyksikkö kommunikoivat keskenään mikroaaltojen avulla.

### 3.1 Elektronisten etäisyysmittareiden kojevirheet

Elektronisen etäisyysmittarin kojevirheet voidaan jakaa systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin. Etäisyysmittarin systemaattiset virheet voidaan korjata säännöllisesti teh-

dyillä kalibroinneilla ja satunnaisvirheet voidaan ottaa huomioon tilastollisilla menetelmillä.

### *Systemaattinen virhe*

Takymetrien etäisyysmittareiden systemaattisia virheitä ovat nollapistevirhe eli vakiovirhe, syklinen virhe ja mittakaavavirhe eli taajuusvirhe. Systemaattiset virheet voidaan määrittää kalibroinnin avulla.

Elektronisen etäisyysmittarin nollapistevirhe johtuu takymetrin ja heijastimen elektronisesta ja mekaanisesta epäkeskisyydestä. Elektronisen etäisyysmittarin nollapistevirhe aiheutuu siitä, että koneen sähköinen keskus ei ole samassa paikassa kuin sen merkitty paikka. Etäisyysmittarin sisällä signaali voi kulkea siten, että sen tiellä voi olla useita tuntemattomia viiveitä. Vakiovirhe esiintyy myös heijastimessa eli prismassa ja sen vuoksi yleensä ilmoitetaan kojeen ja heijastimen yhteen laskettu vakiovirhe. Nollapistevirhe eli vakiovirhe voi johtua lämpötilasta tai muuttua hitaasti ajan myötä. Se voi myös muuttua tehtäessä koneeseen korjaustoimenpiteitä. Sen vuoksi on tärkeää tehdä etäisyysmittareille säännöllisesti kalibrointi. Nollapistevirhe aiheuttaa mittaustuloksiin aina yhtä suuren virheen ja se eliminoidaan joko säätämällä kojetta tai jälkikäteen laskemalla. (Salmenperä 2004, 47.)

Syklinen virhe johtuu vaihe-eromittauksen epätarkkuudesta ja siitä johtuen kojeen jokaiselle yksikköajanalle toistuu samanlainen systemaattinen virhe. Syklinen virhe on yleensä hyvin pieni ja vaikutus mittaustuloksiin on samaa luokkaa kuin satunnaisvirheet. (Salmenperä 2004, 47.)

Mittakaavavirheen eli taajuusvirheen aiheuttaa elektronisen etäisyysmittarin mittaustaajuuden poikkeama oikeasta arvosta. Elektronisen etäisyysmittarin taajuusvirhe määritetään taajuuskalibroinnin avulla. Kalibrointi suoritetaan laboratoriossa käyttäen tarkkaa taajuusstandardia. Kalibroinnin tuloksena saadaan laitekorjaus etäisyysmittarille. (Vermeer 2008, 117.)

Elektronisen etäisyysmittarin systemaattisia virheitä voidaan selvittää kalibroimalla kojetta. Kalibrointi pitäisi suorittaa toistuvasti tietyin määräajoin, koska kojeen syste-

maattiset virheet muuttuvat ajan myötä. Kojeen kalibrointi voidaan suorittaa joko laboratoriokalibrointina tai kenttäkalibrointina. Jälkimmäisessä tavassa kalibrointi suoritetaan kojeen käyttäjän toimesta, jolloin määritetään yleensä vain nollapistevirhe. Laboratoriokalibroinnissa voidaan määrittää nollapistevirhe, taajuusvirhe, kojeen epätarkkuus sekä syklinen virhe. Kalibroinnin lisäksi olisi suotavaa, että kojeen käyttäjä seuraisi säännöllisin väliajoin kojevirheiden muutosta omalla testiradallaan. (Salmenperä 2004, 47.)

### *Satunnaisvirhe*

Kojeen systemaattisten virheiden lisäksi jokainen mitattu havainto sisältää myös satunnaisvirheen, joka voi johtua esimerkiksi sääolosuhteista, mittaustaajuuden satunnaisesta vaihtelusta, vaihe-eromittauksen virheistä, vaihe-epähomogeenisuudesta sekä epätarkasta suuntauksesta. Satunnaisvirheitä ei voida poistaa yksittäisistä havainnoista, mutta niitä pystytään analysoimaan tilastollisilla menetelmillä. (Salmenperä 2004, 47.)

## **3.2 Takymetrin elektro-optinen etäisyydenmittaus**

Takymetrillä tapahtuvaa etäisyydenmittausta kutsutaan elektro-optiseksi etäisyydenmittaukseksi. Elektro-optisessa mittauksessa takymetri laskee etäisyyden takymetrin lähettämän ja prismasta tai pinnasta heijastuneen signaalin perusteella. Mittaustarkkuus on yleensä 1-5 millimetriä. Takymetri käyttää kahdenlaista elektro-optista etäisyydenmittausta: amplitudimoduloitua tai pulssimoduloitua mittaussignaalia. (Laurila 2008, 235.)

Etäisyysmittarit käyttävät yleensä hyväksi kantoaallolle amplitudimoduloitua mittaussignaalia. Kantoaallon muodostaa näkymätön infrapunainen valo, jonka aallonpituus on 900 nanometriä (1 nanometri =  $10^{-9}$ m). Kantoaallona voidaan käyttää myös näkyvää valoa, jonka aallonpituus on 550–630 nanometriä. Amplitudimoduloitua signaalia käyttävät etäisyysmittarit määrittävät mitatun etäisyyden vaihe-eromittauksella. Vaihe-eromittaus on monimutkainen asia ja sen suorittamiseen voi kojeelta kulua aikaa useita sekunteja. Mittauksessa etäisyysmittari laskee amplitudimoduloitun signaalin edestakaisen matkaan lukeutuvien kokonaisten aallonpituuksien lukumäärän sekä osa-

aallonpituuden eli vaihe-eron. Osa-aallonpituus mitataan esimerkiksi pulssilaskimella ja sen mittaaminen on ongelmattomaa verrattuna kokonaisten aallonpituuksien määrittämiseen. Etäisyydenmittarit määrittävät kokonaisia aallonpituuksia yleensä dekadisten taajuuksien avulla. Aallonpituudet ja dekadiset taajuudet ovat toisiinsa nähden kymmenkertaisia. Ensimmäiseksi suoritetaan karkea mittaaminen, jossa käytetään niin pitkää yksikköjanoa, että osa-aallonpituus määrittää mitatun etäisyyden yksikäsitteisesti. Seuraavaksi aallonpituutta lyhennetään vaiheittain. Lopullinen mittaaminen eli hienomittaus suoritetaan mahdollisimman lyhyellä yksikköjanalla. Takymetrin antama lopputulos on keskiarvo sadoista mittauksista. (Laurila 2008, 235.)

Pulssimoduloituun signaaliin perustuvassa etäisyydenmittauksessa etäisyysmittari muodostaa erittäin lyhytkestoisesta valopulssista, jonka kulku-aika mitataan. Mittaussignaali etenee valonnopeudella (300000 km/s), joten signaalin kulkuajan mittaamiseen tarvitaan erittäin tarkkaa kellolaitetta. Pulssimoduloituun signaaliin perustuva etäisyydenmittaus on yksinkertaisempaa kuin amplitudimoduloituun signaaliin perustuva, koska siinä mitataan vain mittaussignaalin kulku-aikaa. Pulssimoduloitua signaalia käytetään yleensä ilman prismaa mittaavissa takymetreissä sekä vapaan käden etäisyysmittareissa. Vapaan käden etäisyysmittarit ovat käteviä ja niitä käytetään muun muassa erilaisissa sisätilamittauksissa. (Laurila 2008, 235.)

Laitevalmistajien ilmoittama etäisyysmittareiden tarkkuus on yleensä 1-5 millimetriä. Mittaustarkkuus annetaan muodossa:  $a \text{ mm} + b \text{ ppm}$ , esimerkiksi  $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$  ( $1 \text{ ppm} = 10^{-6} \text{ m}$ ), jossa  $a$  on matkasta riippumaton virhe ja  $b$  on matkasta riippuva virhe. Tarkkuuden matkasta riippumattomat virheet liittyvät yleensä vaihe-eromittaukseen ja nollapistevirheisiin (prismavakio). Matkasta riippuvat virheet liittyvät mittaustaajuuden vaihteluihin ja refraktiokertoimeen (sääkorjaukseen). (Laurila 2008, 235.)

#### 4 TAKYMETRIN PRISMATON ETÄISYYDENMITTAUS

Takymetrit käyttävät prismattomassa mittauksessa kahta erilaista elektronista etäisyydenmittaustekniikkaa: Pulssimittausta tai vaihe-eromittausta. Joillakin laitevalmistajilla on tarjota takymetrejä kummallakin etäisyydenmittaustekniikalla, kun taas toiset laitevalmistajat käyttävät vain toista tekniikkaa. Molemmilla etäisyydenmittaustekniikoilla

on omat hyvät ja huonot puolensa. Lisäksi jokaisella laitevalmistajalla on niin sanotut omat sovelluksensa, jotka parantavat takymetrissä käytettyä etäisyydenmittaustekniikka. Näitä sovelluksia ei käsitellä tässä sen enempää, vaan keskitytään niin sanottujen perustekniikoiden havainnollistamiseen.

Elektroninen pulssimittaus perustuu useaan lyhyeen infrapuna- tai lasersädepulssiin, jotka kulkevat takymetrin etäisyydenmittarista kohteeseen ja siitä heijastuneena takaisin etäisyydenmittariin. Vaihe-eromittausta käyttävän etäisyydenmittarin matkan mittausta perustuu lähtevän ja palaavan etäisyydenmittaussignaalin vaihe-eroon. Siinä määritetään edestakaiseen matkaan sisältyvien kokonaisten mittausaaltojen lukumäärä sekä osa-aallonpituus, joka saadaan lähetetyn ja vastaanotetun aaltoliikkeen vaihe-eroa käyttäen. Vaihe-eromittausta käyttävät laitteet ovat yleensä olleet hieman pulssimittausta käyttäviä laitteita tarkempia. Pulssimittausta käyttävät laitteet ovat puolestaan mitanneet yleensä pidemmälle, kuin vaihe-eromittausta käyttävät laitteet. Pidempi mittaaminen johtuu siitä, että pulssimittaukseen perustuvan etäisyydenmittarin lähettämät pulssit ovat monta kertaa voimakkaampia, kuin vaihe-eromittaukseen perustuvan laitteen lähettämä signaali. (Höglund & Large 2005, 3.)

#### **4.1 Prismattoman matkanmittauksen suorituskyky**

Takymetriä elektronisten etäisyydenmittareiden mittaama matka vaihtelee useasta eri syystä. Eri laitevalmistajien valmistamissa laitteissa on eroja jo pelkästään laitteissa käytettyjen elektronisten mittaustapojen vuoksi. Laitteiden käyttämiä mittaustapoja on kaksi: Pulssimittaus ja vaihe-eromittaus. Mitattuun matkaan vaikuttaa myös mitattavan kohteen pinta. Seuraavassa taulukossa on esimerkki, kuinka Trimblen pulssimittausta käyttävän takymetrin (DR 300+) matkanmittaus eroa saman valmistajan vaihe-eromittausta käyttävästä takymetrillä (DR Standard). Taulukosta voidaan todeta, että pulssimittausta käyttävä takymetri mittaa selvästi pidemmälle, kuin vaihe-eromittausta käyttävä takymetri. Siitä nähdään myös, kuinka eri pintoihin mittaaminen vaikuttaa mitattuun matkaan.



**TAULUKKO 1. Trimblen prismattoman pulssi- ja vaihe-eromittauksen vertailu.**  
(Höglund & Large 2005, 6)

Surface	DR300+	DR Standard
Kodak 90%	>800 m (2,625 ft)	>240 m (787 ft)
Kodak 18%	>300 m (984 ft)	>120 m (393 ft)
Concrete	>400 m (1,312 ft)	>100 m (328 ft)
Wood	>400 m (1,312 ft)	>200 m (656 ft)
Light Rock	>300 m (984 ft)	>150 m (492 ft)
Dark Rock	>200 m (656 ft)	>80 m (262 ft)

#### 4.1.1 Kodak Gray Card

Takymetrien prismaton matkanmittaaminen riippuu käytettävästä etäisyydenmittarista. Siksi onkin tärkeää, että eri laitteiden prismatonta etäisyydenmittausta voidaan vertailla luotettavasti. Tähän onkin löytynyt ratkaisu Kodak Gray Card-kortista, jota käytetään tavallisesti ammattilaisvalokuvaajien parissa. Se on kortti, joka on toiselta puolelta harmaa ja toiselta puolelta valkoinen. Harmaa puoli tunnetaan nimellä Kodak Gray ja se heijastaa takaisin 18 prosenttia siihen kohdistuvasta valosta. Valkoinen puoli on taas nimeltään Kodak White ja se heijastaa takaisin 90 prosenttia siihen osuvasta valosta. Testauksia tehtäessä onkin tärkeä, että kaikki mittaukset tehdään joko Kodak valkoiseen tai Kodak harmaaseen, koska Kodak valkoinen on paljon heijastavampi kuin Kodak harmaa. Valkoiseen pintaan voidaan siis mitata kauempaa, koska mittaus säde heijastuu siitä paremmin takaisin etäisyydmittariin. (Höglund & Large 2005, 5.)

Ammattilaisvalokuvaajien parissa standardiksi on tullut käyttää 18 prosenttia heijastavaa Kodak Gray korttia kameran valotusta säädettäessä. Tämä perustuu siihen, että suurin osa valokuvauksista tapahtuu noin 18 prosentin valon heijastuvuudessa. Myös yleisimmät takymetrimittaukset tapahtuvat noin 18 prosentin valon heijastuvuudessa, joten Kodak Gray kortin käyttö on järkevämpää, kun halutaan tietää miten etäisyydmittari toimii tavanomaisissa mittausolosuhteissa. Kodak White korttia käytettäessä saa-

daan laitteen maksimaalinen etäisyydenmittaustulos, mutta vain erittäin hyvin heijastavasta pinnasta. (Höglund & Large 2005, 5.)

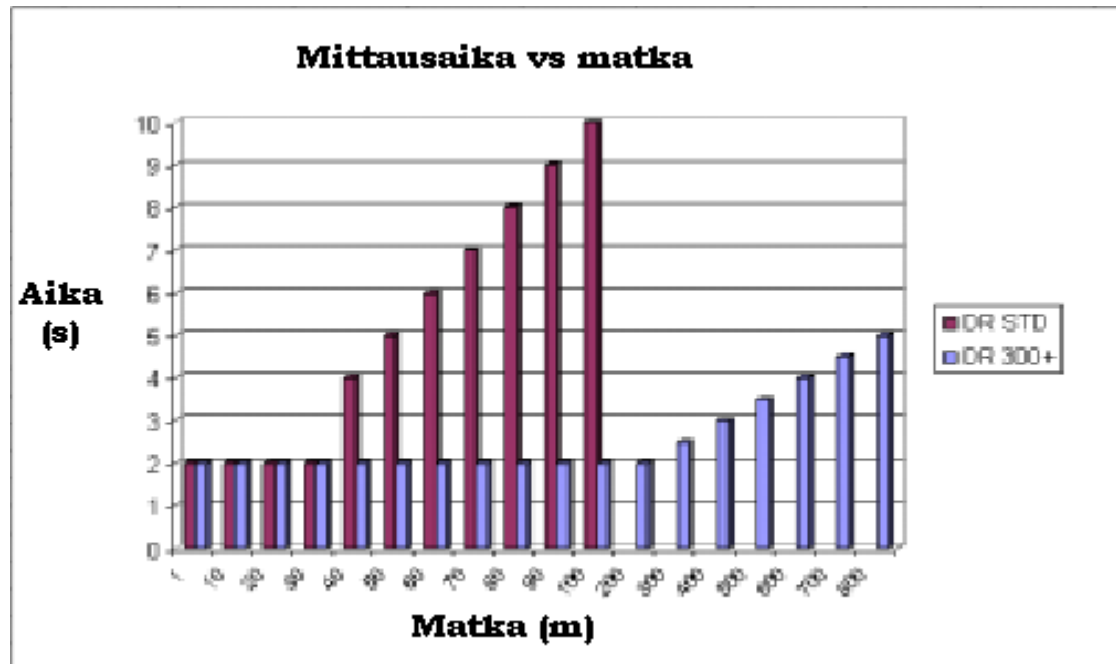
Takymetrejä tuottavat laitevalmistajat käyttävät Kodak Gray Card-korttia ilmoittaessaan laitteidensa prismattoman etäisyydenmittauksen mittaamaa matkaa. Laitevalmistajien ilmoittamat prismattomasti mitatut matkat on kuitenkin monesti esitetty 90 prosenttia heijastavan Kodak white kortin mukaisesti. Eli jos laite lupaa mitata esimerkiksi 400 metriä prismattomasti, niin se saattaa pitää paikkansa vain sellaisissa olosuhteissa, joissa mitatulla pinnalla on 90 prosentin heijastuvuus. Samalla laitteella mitattaessa niin sanotuissa normaaleissa olosuhteissa, joissa mitatun pinnan heijastuvuus on 18 prosenttia, voi laitteen mittaama matka olla jopa puolet vähemmän.

#### **4.2 Prismattomanmittauksen mittausaika**

Vaihe-eromittauksen ja pulssimittauksen eroja voidaan tarkastella myös mittaamiseen kuluvan ajan avulla. Mittaamiseen käytetty aika on hyvä mittari takymetrin elektronisen etäisyydsmittaustapojen vertailussa, koska mitä nopeammin mittaaminen voidaan suorittaa, sitä tehokkaampaa on mittauskohteessa tapahtuva toiminta. Täytyy kuitenkin aina pitää mielessä, että havaintojen luotettavuus ei saa kärsiä mittausnopeuden vuoksi.

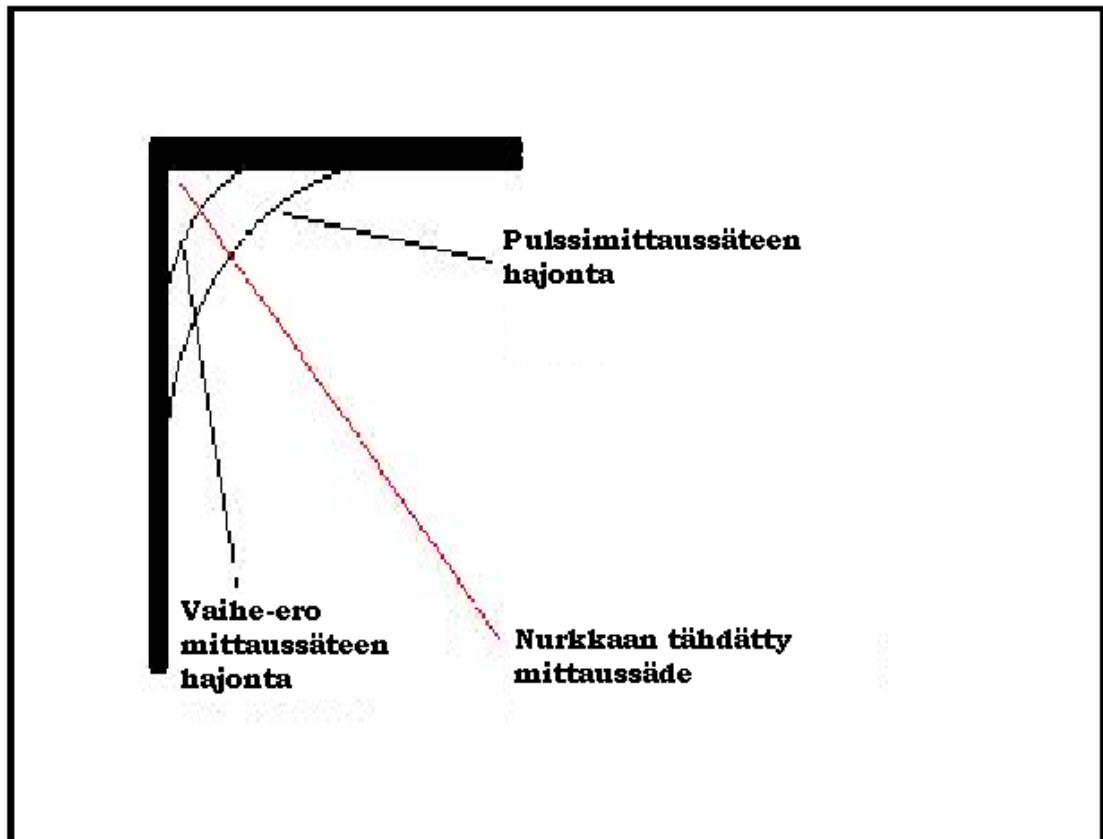
Pulssimittaus on yleensä huomattavasti nopeampi kuin vaihe-eromittaus. Seuraava kaavio 1 osoittaa miten esimerkiksi Trimblen vaihe-eromittaustapaa käyttävä DR Standard laite eroaa pulssimittausta käyttävästä DR300+ laitteesta. Kaaviosta voidaan todeta, että vaihe-eromittausta hyödyntävän Standard laitteen maksimimittausetäisyydellä, pulssimittausta käyttävä DR300+ on noin viisi kertaa nopeampi. (Höglund & Large 2005, 8.)

**KAAVIO 1. Pulssimittauksen ja vaihe-eromittauksen mittausaika verrattuna matkaan. (Höglund & Large 2005, 8)**



### 4.3 Mittaussäde

Elektronisesta etäisyydenmittarista lähtevä mittaussäde laajenee lähdettyään etäisyydenmittauslaitteesta. Mittaussäteen koko siis kasvaa sen mukaan kuinka pitkälle täytyy mitata. Mittaussäteen koko ei kuitenkaan välttämättä vaikuta mittaustulokseen, kun mitataan selkeään kohteeseen, koska kohteen tulos tulee kuitenkin mittaussäteen keskipisteestä. Vaikeuksia aiheuttavat kuitenkin kohteet, kuten rakennuksen sisäseinän nurkka. Tällaisessa tilanteessa mittaustuloksessa on virheen vaara, koska osa mittaussäteestä heijastuu takaisin seinistä ennen kuin säde kulkee seinän nurkkaan asti. (Höglund & Large 2005, 11.) Kuvassa 1 on havainnollistettu tilanne nurkkaan mittaamisen vaikutuksesta.



**KUVA 1. Nurkan mittaaminen. (Höglund & Large 2005, 11)**

Kuvasta 1 nähdään kuinka vaihe-eromittausta käyttävä mittaussäde pääsee lähemmäksi nurkkaa, kuin pulssimittausta käyttävä mittaussäde. Vaihe-eromittausta käyttävä mittaussäde onkin yleensä pienempi, kuin pulssimittausta käyttävä mittaussäde (Höglund & Large 2005, 9). Voidaankin todeta, että vaihe-eromittausta käyttävä etäisyydenmittauslaite soveltuu pulssimittausta paremmin esimerkiksi sisällä tehtäviin mittauksiin, joissa tarkasti tehtävät nurkkamittaukset on olennainen osa tehtäviä kartoituksia.

Pienempi mittaussäde ei kuitenkaan ole aina pelkästään hyvä asia. Esimerkiksi kartoitettaessa ilmassa olevia voimalinjoja voi pienellä mittaussäteellä mittaaminen olla vaivalloisempaa kuin isolla mittaussäteellä varustetulla etäisyydenmittauslaitteella. Mittaussäteen ollessa isompi myös ilmassa olevan voimajohdon heilumisesta aiheutuva mittaussäteen palautumisen ongelmallisuus pienenee.

#### 4.4 Prismattomanmittauksen tarkkuus

Prismattoman mittauksen tarkkuus ilmoitetaan yleensä muodossa: a mm + b ppm, esimerkiksi 2mm + 2 ppm. Ilmoitetussa tarkkuudessa a on matkasta riippumaton virhe ja b on matkasta riippuva virhe. Kuten aikaisemmin luvussa 3.2 on todettu, tarkkuuden matkasta riippumattomat virheet liittyvät yleensä vaihe-eromittaukseen ja nolllapiste- virheisiin. Matkasta riippuvat virheet liittyvät mittaustaajuuden vaihteluihin ja refraktiokertoimeen. Seuraavassa taulukossa 2 on esitetty kahden eri laitevalmistajan ilmoittamia tarkkuuksia mitatun matkan mukaisesti. Kantomatkat ja tarkkuudet on ilmoitettu Kodak Gray Card-korttia käyttäen, joten tarkkuudet ovat keskenään vertailtavissa.

**TAULUKKO 2. Laitevalmistajien ilmoittamia mittaustarkkuuksia.**

<b>Valmistaja ja malli</b>	<b>Kantomatka ja tarkkuus</b>	<b>Kantomatka ja tarkkuus</b>
	<b>Kodak harmaa</b>	<b>Kodak valkoinen</b>
Leica TPS1200+ R400	200m / 2mm + 2ppm	400M / 2mm + 2ppm
Leica TPS1200+ R1000	500m / 2mm + 2ppm	1000m / 4mm + 2ppm
Trimble S6 DR300+	300m / 3mm + 2ppm	800m / 5mm + 2ppm
Trimble S3 Total Station	250m / 3mm + 2ppm	400M / 3mm + 2ppm

#### 4.5 Pinnan skannaaminen

Laitevalmistajat ovat tuoneet uusimpiin takymetreihinsä niin sanotun pinnan tai tason skannaamisen. Se on ikään kuin laserkeilain, joka on takymetrin mukana. Skannaamisen avulla takymetrin mittausohjelmaan voidaan määrittää alue, jolta se mittaa prismattomasti havainnot halutun pistevälin mukaan. Sitä voidaan hyödyntää jos halutaan mitata esimerkiksi kallioleikkauksen ylä- ja alareunan väliltä pisteitä. Liitteessä 2 on havainnollistettu seinämän mittaaminen skannaustekniikan avulla. Myös isojen sorakasojen mallintamiseen voisi skannaamista käyttää, jolloin riittäisi, että kartoitettaisiin vain sorakasan ylä- ja alareunat. Tällöin ei tarvitse erikseen kävellä sorakasan rinteessä, joka voisi olla vaivalloista.

Laitemarkkinoille on myös tullut takymetrejä, jotka hyödyntävät pinnan skannaamisessa digitaalikameroita. Tällaisella takymetrillä voidaan ottaa mitattavasta kohteesta kuva, jonka jälkeen takymetrin mittausohjelma ehdottaa mitattavia kohteita kuvasta tai kovalta voidaan itse valita mitkä kohteet halutaan kartoittaa.

## **5 PRISMATTOMAN TAKYMETRIMITTAUKSEN KÄYTTÄMINEN MAASTOMALLIMITTAUKSISSA**

Takymetrillä suoritettavaa kolmiulotteista kartoitusta kutsutaan maastomallimittaukseksi. Maastomallilla tarkoitetaan numeerista maastoaineistoa, josta voidaan erilaisilla ohjelmilla muodostaa maanpintaa jäljittelevä kuva. Tiesuunnittelussa maastomallia tarvitaan vaaka- ja pystygeometrian suunnittelussa, tierakenteen mallintamisessa, tilavuuslaskennoissa, kuivatuksen suunnittelussa sekä lunastettavan tiealueen suunnittelussa (Tiehallinto 2002, 18). Maastomalliin voidaan mitata maanpinnan lisäksi maanpäällisiä kohteita, kuten rakennuksia, sähkö- ja puhelinpylväitä, siltoja ja muita tärkeiksi koettuja ja suunnittelijan tai tilaajan pyytämiä kiinteitä kohteita.

Prismaton takymetrimittaus ei sovellu yksin maastomallinmittaamiseen, koska lähes aina maanpinnan muodot aiheuttavat sen ettei mallia voida tehdä järkevästi ilman prismasauvan käyttämistä. Prismatonta mittaamista voidaan kuitenkin hyödyntää kohteissa, joihin pääseminen jalan on vaikeaa. Tällaisia kohteita voisi olla esimerkiksi kallioleikkaus, jonka epätasaisuuden takia olisi ala- ja yläreunan väliäkin syytä mallintaa. Myös sora-alueilla voidaan prismattomasti mitata sorakasojen pintoja. Yläreunan mittaamista prismattomasti voisi harkita kohteissa, joissa esimerkiksi hiekkaisen rinteiden yläreuna on muodostanut niin sanotun lipan. Tällaisessa kohteessa on vaarana, että perinteisesti prisman kanssa mitattaessa yläreuna voi sortua mitaajan alta.

Nykyään isoja maastomalleja pyritään tekemään ilmasta käsin laserkeilaamalla. Tällöin saadaan isoja alueita kolmiulotteisesti mallinnettua hyvinkin nopeasti. Ilmasta käsin laserkeilaamisessa on kuitenkin se ongelma, että kaikkia kohteita, kuten pylväitä ja siltoja ei saada keilatusta aineistosta luotettavasti havaittua. Takymetrillä voidaan suorittaa kaikki maastomalliin sisältyvien kohteiden mittaaminen (Tiehallinto 2008, 11).

Prismatonta mittaamista voidaan hyödyntää laserkeilausten täydennysmittauksissa. Pylväät, sillat, liikennemerkkit, hirviaidat, meluaidat, sähkökaapit ja ilmajohdot ovat kohteita, joita ei saada laserkeilausaineistosta luotettavasti havaittua. Edellä mainitut kohteet ovat kuitenkin kartoitettavissa prismattomasti takymetrillä. Prismatonmittaus säästää myös huomattavasti aikaa, kun kohteet voidaan mitata yhdestä paikasta, ilman että jokainen kohde pitäisi käydä jalan mittaamassa. Myös työturvallisuus mittauskohdeissa paranee, kun voidaan välttää esimerkiksi vilkkaasti liikennöidyn tien ylittämiset.

### **5.1 ROE – toimintaperiaate**

ROE - toiminnan (remote object elevation) avulla voidaan määrittää prisman kanssa samalla pystysuoralla olevien luoksepääsemättömien kohteiden korkeus. ROE – toiminnan avulla voidaan mitata esimerkiksi voimajohdon korkeus siten, että sijoitetaan prisma voimajohdon alapuolelle ja mitataan takymetrillä prisman vinoetäisyys ja korkeuskulma (pelkkä matka). Tämän jälkeen käännetään takymetrin tähtäin voimajohdtoon, jolloin koje ilmaisee näytöllä voimajohdon todellisen korkeuden. Seuraavaksi voidaan havainto rekisteröidä, jolloin saadaan voimalinjan sijainti ja korkeus kartoitettua. (Salmenperä 2004, 52.) Kyseinen toimenpide on havainnollistettu liitteessä 1.

ROE – toiminnan hyödyntäminen on hidasta, kun mitataan yksin robottitakymetriä käyttäen. Esimerkiksi voimajohtoja mitattaessa takymetrin käyttäjä joutuu ensin vieämään prisman voimajohdon alle ja mittaamaan pelkän matkan. Tämän jälkeen mittaja joutuu kävelemään takaisin takymetrin luokse ja kääntämään tähtäimen voimajohtoon ja tallentamaan mittauksen. Jos ilmassa meneviä johtoja on useita ja ne ovat sijainniltaan kaukana takymetristä voi ROE – toiminnan käyttäminen olla aikaa vievää.

Prismatonta mittaustapaa käyttäen voidaan mitata suoraan voimajohtoon ja näin säästetään turhalta kävelemiseltä. Lisäksi ilmassa menevän johdon sijainti tallentuu tarkemmin, kun voidaan mitata suoraan kohteeseen, eikä jouduta arvioimaan maasta käsin ilmassa menevän johdon sijaintia. Mitattaessa prismattomasti ilmassa oleviin johdoin täytyy mittajan ottaa kuitenkin huomioon vallitsevat sääolot. Huonon näkyvyyden lisäksi mittaamista vaikeuttava tekijä on tuuli, joka heiluttaa ilmassa olevia

johtoja. Jos johto heiluu huomattavasti, on mittaussäteen osuminen johtoon lähes mahdotonta.

## 5.2 Epäkeskinen mittaus

Epäkeskisellä mittauksella voidaan esimerkiksi mitata valaisinpylvään keskipisteen sijainti. Epäkeskisessä mittauksessa mitataan ensin valaisinpylvään viereen asetettuun prismaan pelkkä matka, jolloin koje mittaa matkan valaisinpylvään arvioituun keskipisteeseen. Tämän jälkeen käännetään kojeen tähtäin osoittamaan valaisinpylvään keskipisteeseen, jolloin koje ilmoittaa valaisinpylvään keskipisteen koordinaatit. Tämän jälkeen suoritetaan rekisteröinti toiminto, jolloin koje tallentaa valaisinpylvään keskipisteen sijainnin. (Salmenperä 2004, 53.) Valaisinpylvään keskipisteen koordinaatit saadaan siis mittaamalla suunta ja matka eriaikaisesti.

Prismatonta mittaustapaa käyttäen ei prismaa tarvitse viedä esimerkiksi valaisinpylvään viereen, vaan pylväs voidaan mitata suoraan takymetrin luota. Näin säästetään aikaa ja vältetään esimerkiksi turhia valtateiden ylityksiä. Mitattaessa prismattomasti pylväitä täytyy mittaajan aina tietää pylvään sädemitta. Tämä toimenpide täytyy yleensä tehdä kävelemällä lähimmän pylvään luokse ja mitata sen säde tai halkaisija. Koska valaisinpylväät ovat yleensä toistensa kopioita, samalla alueella, ei ole syytä mennä mittaamaan erikseen jokaisen pylvään halkaisijaa. Kun tiedetään pylvään säde, voidaan mitata pylvään keskipiste. Mittaus tapahtuu siten, että lisätään a-mittaan eli matkaan pylvään sädettä vastaava matka ja mitataan suoraan keskelle pylvään pintaan. Takymetri lisää pintaan mitattuun matkaan annetun a-mitan, jolloin pylvään sijainti tulee kartoitetuksi.

## 5.3 Prismattoman takymetrimittauksen vaikutus työturvallisuuteen

Prismatonta takymetrimittamista käyttämällä voidaan parantaa mittaajan työturvallisuutta ja vähentää liikenteelle aiheutuvaa häiriötä, kohteesta riippuen, huomattavasti. Nykyaikaisilla yhden miehen robottitakymetreillä mitattaessa mittaajan havainnointikyky esimerkiksi liikennettä kohtaan on heikompaa, kuin kahden henkilön mittaryhmässä. Tämä perustuu siihen, että kaksi silmäparia näkee yleensä enemmän, kuin yksi. Varsinkin tienkeskilinjan mittaaminen turvallisesti voi olla hankalaa vilkkaasti liikenne-



nöidyllä tieosuudella. Yksin mitattaessa mittaajan täytyy hoitaa yksin kaikki mittaamiseen liittyvä toiminta. Se tarkoittaa sitä, että mittaajan täytyy esimerkiksi tienkeskilinjaa mitattaessa seurata pysyväksi prisma niin sanotusti lukittuna vai joudutaanko prismaa hakemaan manuaalisen tai automaattisen toiminnon avulla. Molemmat hakutoimenpiteet lisäävät mittaamiseen ja tienvarressa olemiseen käytettyä aikaa. Lisäksi mittaajan täytyy tehdä mitattavan kohteen tunnuksien syöttö sekä havainnot itse. Tämä kaikki toiminta häiritsee mittaajan havainnointikykyä liikennettä kohtaan. Mittaajia ollessa kaksi voi prisman kanssa liikenteen seassa liikkuva henkilö keskittyä paremmin ympärillä tapahtuvaan liikenteeseen, kun takymetrin luona oleva henkilö hoitaa prismaan tähtäämisen sekä tunnuksien ja havaintojen tallentamisen.

Prismattomasti mitatessa tielle ei tarvitsisi mennä, vaan mittaukset voidaan hoitaa takymetrin luota. Testimittauksissani tulen selvittämään pystytäänkö prismatonta mittaamista hyödyntämään järkevästi tienkeskilinjan mittaamisessa.

Kallioleikkauksen yläreuna ja syvä kaivanto ovat vain esimerkkejä, joissa prismatonta mittaamista voisi käyttää työturvallisuuden parantamiseksi. Myös hienonsoranottoalueilla voi olla syytä käyttää prismatonta mittaamista korkean ja jyrkän rinteen yläreunan mittaamiseen. Tällaisessa kohteessa rinteen yläreunaan on saattanut muodostua niin sanottu lippa, joka voi sortua mittaajan alta kohtalokkain seurauksin.

Prismatonta mittaamista käyttäen voidaan myös vähentää mittaajan kulkemaa matkaa mittaustapahtumassa. Tällöin voidaan olettaa, että mittaajan vireystila ja sitä myötä havainnointikyky säilyy parempana, kun ei tarvitse ponnistella niin paljon työpäivän aikana. Maastomallia tehdessä mittaaja saattaa kävellä useita kilometrejä päivän aikana. Ennen kaikkea vaikeasti kuljettavassa maastossa olisi tärkeää, jos prismatonta mittaamista käyttäen voisi liikkumista vähentää. Tällöin voitaisiin vähentää tapaturman vaaraa.

## **6 PRISMATTOMAN TAKYMETRIMITTAUKSEN TESTIMITTAUS**

Tämän testin tarkoituksena on selvittää prismattoman takymetrimittauksen soveltuvuutta päällystetyn tienpinnan mittaamiseen. Tiellä mittaaminen on välttämätöntä, kun

halutaan selvittää jo olemassa olevan tien nykytilaa. Tien keskilinja ja päällysteenreuna ovat tyypillisimmät kohteet mitä päällysteenpinnasta täytyy mitata. Päällystepinnasta voidaan myös mitata maaliviivoja tarpeen mukaan. Laitteiden kehityksen myötä, tiellä mittaaminen tapahtuu nykyään yleensä yksin, niin sanottua robottitakymetriä käyttäen. Yksin mittaaminen tiellä asettaa mittaajalle suuren vastuun, ei pelkästään oman turvallisuuden vaan myös muiden tielläliikkujien takia. Oikeaoppisella varoituskylttien ja suojavaatteiden käyttämisellä voidaan parantaa autoilijoiden mahdollisuutta havaita tiellä tai tienvarressa liikkuva mittaaja. Mitkään vaatteet ja kyltit eivät kuitenkaan takaa sitä, että autonratin takana istuva henkilö tai tiellä mittaamassa oleva huomaisivat toisensa.

## 6.1 Tienkeskilinjan mittaus

Paneudun tässä testissä tienkeskilinjan mittaamiseen. Se on kuitenkin mittaajalle hankalin kohde, jota tiellä täytyy mitata. Varsinkin vilkkaasti liikennöidyillä teillä keskilinjan mittaaminen turvallisesti on erittäin hankalaa. Turvallisella mittaustavalla tarkoitan tilannetta, jossa mittaaja voi käydä kartoittamassa keskilinjalta pisteen siten, ettei autoja kulje ohi sinä aikana. Olen huomannut työharjoituspaikoissani, että tien keskilinjan mittaamiseen on hyvin monenlaisia toimintatapoja. Perussääntö näyttäisi olevan, että mittaat siten, kuin itse uskallat. Minusta olisikin tarpeellista luoda tällaisiin tapauksiin paremmat pelisäännöt, koska nyt sellaisia ei näyttäisi olevan.

Testimittaukset suoritan siten, että mittaan prisman kanssa vertailupisteet, joiden avulla vertailen prismattomasti mitattujen havaintojen tarkkuutta. Mittaan vertailupisteet ja prismattomat havainnot keskilinjan maaliviivojen kulmiin. Valitsen jokaisesta maaliviivasta yhden kulman johon vertailupiste ja prismatonmittaus kohdistetaan. Suoritan kaikki mittaukseni tien yhteen suuntaan. Maaliviivojen kulmat pyrin valitsemaan siten, etteivät ne vaikuttaisi saatuihin mittaustuloksiin. Teen mittaukset neljältä eri kojeesemalta, jolloin saan mielestäni riittävän otoksen tulosten luotettavuuden takaamiseksi.

Saatujen tulosten avulla tulen arvioimaan, kuinka pitkälle tienkeskilinjaa voidaan mitata prismattomasti ja vaikuttaako mitattu matka tulosten tarkkuuteen. Saatujen havaintojen tarkkuutta tulen arvioimaan kahdella tavalla: Paljonko prismattomasti mitattujen pisteiden ero on vertailupisteisiin, sekä paljonko prismattomasti mitatut pisteet

poikkeavat vertailupisteistä muodostettuun taiteviivaan. Pisteitä keskenään vertailemalla pyrin osoittamaan kuinka kauas voidaan mitata, että yksittäisen kohteen, kuten kaivonkannen mittaaminen prismattomasti on kannattavaa. Tulen myös vertailemaan prismattomasti mitattuja pisteitä vertailupisteistä muodostettuun taiteviivaan. Tällä tavalla pyrin osoittamaan, kuinka prismatonmittaus soveltuu tienkeskilinjan mittaamiseen.

## 6.2 Mittausten suunnittelu

Mittausten suunnittelu alkoi testiin sopivan mittauskohteen etsimisellä. Sopivan kohteen etsimistä helpotin siten, että päätin tehdä testimittaukset erilliskoordinaatistossa. Tällöin minun ei tarvinnut valita testikohdetta sen mukaan, onko siellä jo olemassa olevia pisteitä. Mahdollisuutena olisi ollut myös mitata kohteeseen pisteet esimerkiksi staattisella gps mittauksella, mutta se olisi vienyt mielestäni liikaa aikaa ja sillä ei olisi ollut varsinaista vaikutusta testituloksiin. Erilliskoordinaatistoon mittaaminen ei vaikuta testituloksiin ja se on myös paikanvalinnan ja ajankäytön kannalta paras vaihtoehto.

Päädyin tutkimukseen etsimään vain yhtä testiin sopivaa mittauskohdetta. Tulin siihen johtopäätökseen, että pystyn tekemään luotettavan testin takymetrin paikkaa vaihtamalla vain yhdessä kohteessa. Paikanvalinnan kriteereinä oli, että sieltä löytyy tarpeeksi pitkä, tasainen ja suora tieosuus. Tieosuudelta täytyi myös löytyä hyväkuntoiset maaliviivat, johon mittaukseni kohdistaisin. Suoran tieosuuden pituuden kriteeriksi asetin 200 metriä, koska uskoin sen riittävän testimittauksiini. Tien täytyi olla myös pinnaltaan silmämääräisesti tasainen, koska en halunnut maaliviivojen jäävän kumppareen taakse piiloon tai, että olisin joutunut mittaamaan ylä- tai alamäkeen. Tieosuuden laidalta täytyi myös löytyä tienpintaa selvästi korkeampi kohta, koska Destia Oy:n suunnalta tuli pyyntö, että tutkisin myös prismatonta mittaamista eri korkeuksilta.

Koska mittaukseni ei ollut sidottu mihinkään tiettyyn kohteeseen, tulimme Pauli Korpelaisen kanssa siihen tulokseen, että pyrkisin tekemään mittaukseni mahdollisimman turvallisessa ympäristössä. Sovimme, että valitsisin kohteen alueelta, jossa nopeusrajoitukset olisivat alhaiset ja myös liikennevolyyymi olisi pieni. (Korpelainen, 2009).

### 6.3 Testissä käytettävä kalusto

Kokeissa käytän Destia Oy:n mittauspalveluiden omaa mittauskalustoa. Takymetrinä on Leican TCPR 1203+, jossa on 400 metriin mittaava prismatonmittaus. Laite on kalibroitu Destia Oy:n toimesta. Lisäksi takymetrin mukana on Leican RX1250 ohjainyksikkö kiinnitettynä 1.45 metrin prismaauvaan. Prismana on Leican 360° prisma. Testeissä tarvitaan myös muuta kalustoa, kuten esimerkiksi statiivi, sekä tarvittavat turvavarusteet.

Mittauksissa käytän Leican takymetrissä olevaa Tiemies ohjelmaa. Kaikki mittaustoiminnot voisi tehdä myös takymetrin perus mittausohjelmalla, mutta käytän testimitauksissani Tiemies ohjelmaa, koska sen on minulle tutumpi. Kaikki mittaukset tallentuvat muistikortille, jonka sisällön tulen purkamaan Laatumies ohjelman avulla. Laatumies on Tiemies-aineiston muunnos- ja käsittelyohjelma, jolla voidaan myös tehdä sijainninlaadun analysointia (Tiemies TPS 1200, 2007). Mittaustuloksia tulen käsittelemään 3DWin-ohjelman avulla. Mittaustuloksia voisi tietävästi käsitellä myös Laatumies-ohjelman käyttäen, mutta minulla ei ole ohjelmasta käytännön kokemusta, joten työstän tuloksia minulle tutumman 3DWin-ohjelman avulla. Prismattomasti mitattujen pisteiden tuloksia tulen vertailemaan prisman kanssa mitattuihin vertailupisteisiin. Tulosten vertailuun käytän 3DWin-ohjelman tarkemittaustoimintoa, jolla voidaan laskea teoreettisen ja mitatun pisteen eromitat. Tarkemittaustoiminnon avulla voidaan myös laskea mitatun pisteen eromittoja taiteviivasta tehdyn vaakageometrian suhteen. Saaduista eromitoista voidaan tulostaa selkeitä taulukkoja, halutuista arvoista, kuten koordinaattierot, korkeuden erot tai mitattujen pisteiden sivumitta vaakageometriasta. Tarkemittaustoiminnosta saadut tulokset aion viedä Excel-ohjelmaan, jonka avulla voin tehdä tuloksista selventäviä kaavioita.

### 6.4 Mittausten Toleranssit

Prismattomasti mitattujen pisteiden oikeellisuutta tulen arvioimaan vertailupisteiden avulla. Vertailupisteet mittaan prisman avulla valitsemistani maaliviivojen kulmista ja ne numeroidaan ykkösestä eteenpäin. Saatuja x, y ja z arvoja tulen käyttämään vertailuarvoina prismattomasti mitattuihin pisteisiin.

Prismattomasti mitattujen pisteiden poikkeamia vertailupisteisiin tulen käsittelemään entisen Tielaitoksen maastomallimittaus ohjeessa annettujen tarkkuuksien mukaisesti. Ohjeessa annetut pisteiden tarkkuusvaatimukset ovat siis mittaustuloksieni toleranssi arvot. Maastomallimittaus ohjeen mukaan pisteet täytyy mitata siten, että verrattujen pisteiden koordinaattien keskivirhe on 50 millimetriä ja maksimivirhe 125 millimetriä. Korkeudessa sallitaan alle 100 millimetrin keskipoikkeama ja 250 millimetrin maksimipoikkeama (Tielaitos 1994, 9-10). Päätin kuitenkin itse, että korkeuden toleranssina käytän 10 millimetrin keskipoikkeamaa, 25 millimetrin maksimipoikkeamaa.

## 6.5 Mittausten suorittaminen

Aloitin testien mittaamisen perjantaina 9.10.2009 kello 16:00. Kohteeksi olin aiemmin valinnut Mikkelissä sijaitsevan Vuolingonkadun uuden tieosuuden, joka yhdistää Mikkelin Rantakylän ja Tuskun kaupunginosat. Alustavien tiedustelujeni mukaan se sopisi parhaiten testikohteekseni. Koska kello oli jo neljä Lokakuussa, oli odotettavissa, että voisin mitata valoisan aikaan enää vain kaksi, korkeintaan kolme tuntia. Olisin voinut mitata myös pimeällä, mutta en nähnyt sitä järkeväksi, koska mittaukset yleensä pyritään suorittamaan valoisan aikaan. Lisäksi kohteessa ei ollut katuvaloja, joten mittausten kohdistaminen maaliviivan kulmaan olisi ollut lähes mahdotonta. Ajanvähyden vuoksi päätin tehdä vain yhden kojeaseman mittaukset kyseisen päivän aikana.

Ensimmäiseksi suunnittelin ja rakensin alueelle muutaman pisteen omaa paikallista koordinaatistoa varten. Pisteiden rakentamisen jälkeen tasasin takymetrin ensimmäisiä testimittauksiani varten suunnittelemaani kohtaan. Orientoin takymetrin tunnetulle pisteelle orientointitapaa käyttäen. Takymetrin koordinaateiksi asetin arvot:  $x = 1000.000$  ja  $y = 1000.000$ . Seuraavaksi keskitin prisman yhdelle rakentamistani pisteelle ja havaitsin siihen matkan. Mitattuani matkan kyseiselle pisteelle, määritin sen koordinaateiksi:  $x = 1000.000 + \text{mitattu matka}$  ja  $y = 1000.000$ . Tiedettyäni liitospisteen koordinaatit pystyin orientoimaan koneen omaan koordinaatistoon. Asetin myös liitospisteen korkeudeksi 100.000, jolloin määritin myös koordinaatistolleni korkeustason (Liite 3). Saatuaani takymetrin orientoitua mittasin myös muille rakentamilleni apupisteille koordinaatit, jotta voisin mitata seuraavatkin kojeasemat samaan koordinaatistoon. Uusien apupisteiden kartoittamisen suoritin statiivin avulla.

Orientoituani takymetrin, pystyin aloittamaan varsinaisen testaamisen. Testiä suunnitelllessani olin päättänyt mitata testikohteen jokaisen keskiviivan yhden kulman noin 200 metrin matkalta. Valitsin jokaisesta viivasta saman kulman, mittausten helpottamiseksi. Valitut kulmat olivat terävät, koska valittu tienpätkä oli vasta rakennettu. Jokainen mitattu kulma on mittausten kulkusuuntaan nähden maaliviivan oikea alakulma. Mittasin viivojen kulmat ensin perinteisesti prisman kanssa. Mittasin jokaisen kulman mittaushjelman keskiarvomittausta käyttäen, jolloin koje havaitsi pisteen kolme kertaa ja laski niistä keskiarvon, mitatunpisteen koordinaatiksi. Prisman kanssa mitatuista pisteistä tuli vertailupisteet kaikkiin prismattomasti mittaamiini tuloksiin. (Liite 4)

Mitattuani maaliviivojen kulmien vertailuarvot prisman kanssa, pystyin aloittamaan mittaamisen prismattomasti. Ensimmäinen prismattomasti mittaamani kojeasema oli sama mistä prisman kanssa mittasin tuloksieni vertailuarvot. Aloitin prismattoman mittaamisen takymetrillä nähden lähimmästä viivankulmasta. Jatkoin maaliviivojen kulmien mittaamista niin kauas yhteen suuntaan, kuin takymetri mittasi. Suoritin samojen pisteiden mittaamisen vielä kaksi kertaa, jolloin sain kolme havaintoa yhdelle maaliviivan kulmalle. Mittasin kolme kertaa jokaisen pisteen, koska halusin näin varmistaa, ettei vertailupisteisiin verrattujen pisteiden mahdollinen poikkeama johtuisi väärästä kohdistamisesta. Mitattuani maaliviivojen kulmat prismattomasti ensimmäiseltä kojeasemalta oli kello sen verran paljon, että päätin jatkaa mittaamista seuraavana päivänä.

Jatkoin testimittauksiani Lauantaina 10.10.2009 eli seuraavana päivänä noin kello 11:00. Näkyvyys kohteessa oli hyvä. Mittasin lauantaina maaliviivojen kulmia vielä kolmelta eri kojeasemalta samalla tavalla kuin perjantaina eli kolme kertaa per maaliviivankulma. Lauantain mittausten jälkeen olin mitannut prismattomasti neljältä eri kojeasemalta (Liite 5). Mittausten luotettavuutta tarkastin mittaamalla jokaisen kojeaseman lopuksi, johonkin tunnetuista apupisteistäni. Mittaukset tein statiivin kanssa ja kaikissa tarkistuksissa x ja y virheet olivat korkeintaan yhden senttimetrin luokkaa. Korkeudessa eroa tuli korkeintaan muutama millimetri.

Kaksi mittaamistani kojeasemista sijaitsi tienvieressä, jolloin takymetrin jalat olivat pystytettyinä tienpinnan tasolle. Kaksi muuta kojeasemaa mittasin tienveressä sijain-

neilta kumpareilta, jolloin sain mittaustuloksia myös tienpintaa korkeammalta tasolta mitattaessa. Suoritin mittaukset tien kummaltakin puolelta, jolloin molemmille puolille tuli yksi kojeasema tienreunassa sekä toinen korkeammalta tasolta.

Testimittaukset sujuivat kaikin puolin ongelmitta. Liikennettä ei ollut paljoa, joten jouduin harvoin varomaan, etteivät prismattomat mittaukset heijastuisi autonpinnasta. Eniten aikaa vei vertailupisteiden määrittäminen, mikä oli odotettavissa, koska mittaukset oli tehtävä perinteisesti prisman kanssa kävelemällä. Prismattomasti mitattaessa pisteiden kartoittaminen kävi nopeasti lukuun ottamatta kauempia pisteitä, jolloin kohdistaminen vaikeutui ja sitä kautta mittaaminen hidastui.

## **7 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Testimittauksistani saamia tuloksia käsittelen kolmelta eri kantilta, jotka ovat prismattomasti mitatun matkan pituus, prismattomasti mitatun pisteen ero vertailupisteeseen, sekä mitatun pisteen ero taiteviivaan. Mitatun matkan pituudella pyrin selvittämään, kuinka pitkien matkojen tienmallintamiseen, prismatonta mittaamista voisi käyttää.

Prismattomasti mitatun pisteen vertailulla vertailupisteeseen halusin tutkia, kuinka prismatonmittaus soveltuu yksittäisen tienpinnasta mitatun kohteen mittaamiseen. Tällainen maastomalliin kartoitettava kohde voisi olla esimerkiksi sadevesikaivonkan- si. Prismattomasti mitattujen pisteiden vertaaminen vertailupisteiden taiteviivan antaa suuntaa, miten prismatonmittaaminen soveltuu tienkeskilinjan ja tien maaliviivojen mittaamiseen.

### **7.1 Prismattomasti mitattujen matkojen pituudet**

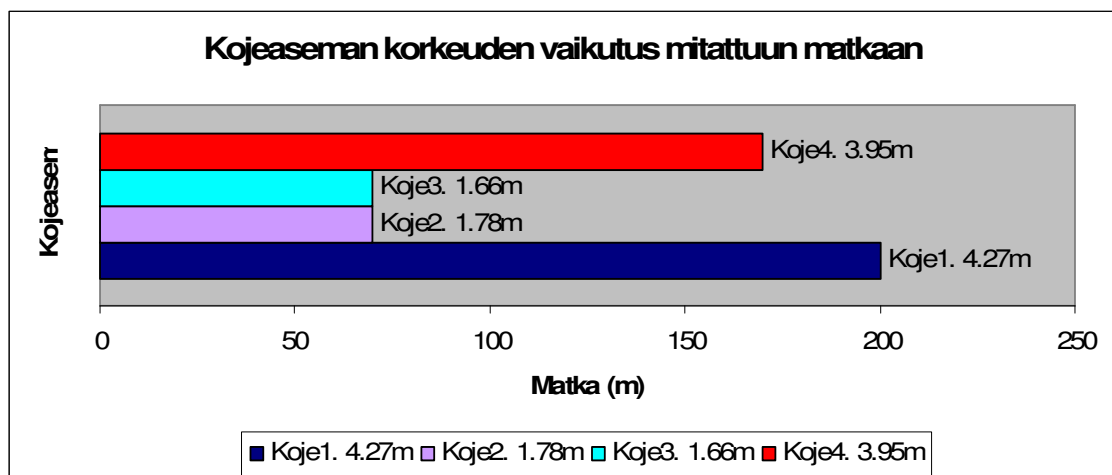
Testissä prismattomasti mittaamistani maksimi matkan tuloksista ei voida todeta, että ne olisivat käytetyn kojeen suorituskyvyn maksimi tuloksia. Tämä johtuu siitä, että kohdistin mittaamani pisteet aina maaliviivojen yhteen kulmaan. Tällöin ei voida tietää mikä olisi ollut laitteen mittaama maksimi matka, kyseisellä kojeasemalla, jos mittauksia olisi tehty tiheämmällä otoksella. Taulukossa 3 esitetyt maksimi matkat ovat siis enemmänkin suuntaa antavia, kuinka pitkälle prismattomasti voidaan tienpintaa mitata. Taulukon 3 tuloksista on nähtävissä, että kojeasemilta 1 ja 4 on mitattu huo-

mattavasti pidemmälle, kuin kojeasemilta 2 ja 3. Tämä johtuu siitä, että kojeasemat 1 ja 4 olivat pystytetty tienvieressä olleille kumpareille, kun taas kojeasemat 2 ja 3 olivat pystytetty tienpinnan tasolle.

**TAULUKKO 3. Prismattomasti mitattu maksimi matka ja havainnon mittauskulma.**

	Kojeasema 1	Kojeasema 2	Kojeasema 3	Kojeasema 4
<b>Matka (m)</b>	198,411	73,777	71,295	166,160
<b>Mittauskulma</b>	-0,020	-0,027	-0,026	-0,023

Koska testissä oli tarkoitus myös selvittää vaikuttaako takymetrin sijoittaminen mitattuun matkaan, voidaan taulukon 3 tuloksista todeta, että kyllä vaikuttaa. Taulukosta 3 on nähtävissä, että tienpinnan tasolle sijoitetuilta kojeasemilta 2 ja 3 on mitattu yhteen suuntaan tietä lähestulkoon sama matka eli noin 70 metriä. Kojeeasemilta 1 ja 4, jotka sijaitsivat tienvieressä sijainneilla kumpareilla, on mitattu jopa lähes 200 metriä tien yhteen suuntaan. Kaaviossa 2 on havainnollistettu kojeasemien korkeuksien vaikutusta mitattuun matkaan. Korkeudet ovat kojeasemien korkeuksia tienpinnasta.



**KAAVIO 2. Kojeeaseman korkeuden vaikutus mitattuun matkaan.**

Kojeeaseman korkeuden vaikuttaessa prismattomasti mitattuun matkaan, voidaan päätellä, että mittauskulmalla on vaikutusta matkan mittauksessa. Taulukossa 3 on esitetty paljonko etäisyysmittarin ja mitatun pisteen välinen kulma on ollut mitatun maksimi matkan kohdalla. Taulukosta on havaittavissa, että takymetri on mitannut tienpintaan aina 0.02 mittauskulmaan asti. Taulukossa 3 esitetyt minimi mittauskulmat on jälleen



vai suuntaa antavia, koska mitatut matkat on suoritettu tässä luvussa aikaisemmin esitettyjen tarkkuuksien mukaisesti.

Tässä testissä mitattuun matkaan on varmastikin vaikuttanut myös valkoisten maaliviivojen heijastuvuus. Aikaisemmin luvussa 4.1.1 esitettyjen heijastuvuuteen liittyvien lainalaisuuksien mukaan voidaan päätellä, että mitatessa valkoiseen maaliviivaan on pystytty mittaamaan pidemmälle, kuin jos testit olisi suoritettu tummaan asfaltinpintaan. Tämän testin tulokset ovat siis valkoiseen maaliviivaan saatuja tuloksia.

## 7.2 Prismattoman pisteen ero vertailupisteeseen

Prismattomasti mitattujen pisteiden tarkastelussa päädyin vertaamaan erikseen prismattoman pisteen ja vertailupisteen keskinäistä tasoeroa, sekä prismattoman pisteen ja vertailupisteen korkeuseroa.

### *Tasovirhe*

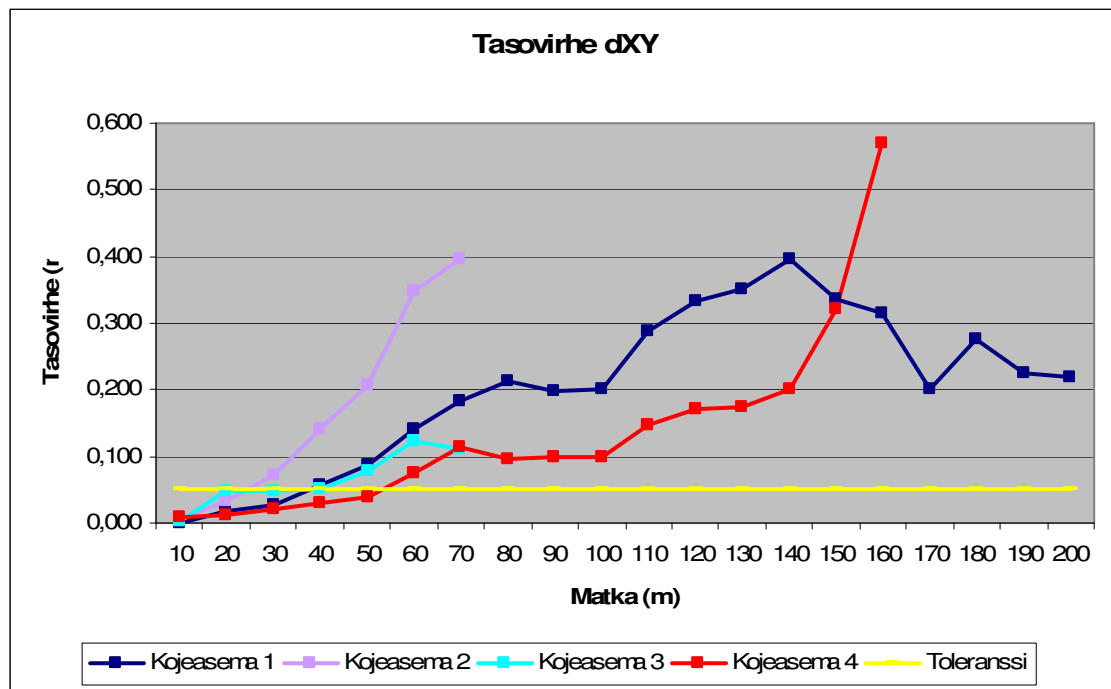
Taulukosta 4 nähdään, että kojeasemilta 1, 2 ja 4 prismattomasti mitattujen pisteiden yhteenlasketut tasovirheen keskivirheet ja maksimivirheet ylittävät selvästi toleranssirajat, jotka olivat 0,050 metrin keskivirhe sekä 0,125 metrin maksimivirhe. Poikkeuksena on kojeasema 3, jonka mitattujen pisteiden keskivirhe ylittää vain 0,011 metriä annetun rajan ja maksimivirhe pysyy niukasti annetuissa toleransseissa.

### **TAULUKKO 4. Prismattomasti mitattujen pisteiden tasovirheet.**

<b>Virhe</b>	<b>Kojeasema 1</b>	<b>Kojeasema 2</b>	<b>Kojeasema 3</b>	<b>Kojeasema 4</b>
Minimi	0,017	0,006	0,004	0,009
Maksimi	0,395	0,396	0,122	0,570
Keskiarvo	0,205	0,172	0,061	0,139
Keskihajonta	0,123	0,153	0,046	0,147

Mittaustuloksia tarkastellessa on kuitenkin todettava, että tasovirheet kasvavat mitatun matkan myötä (Liite 6). Siksi tasovirheitä pitäisikin tarkastella mitatun matkan mukaan siten, että kuinka pitkälle prismattomasti voisi mitata, että tasovirheet pysyvät toleranssien rajoissa. Kaaviossa 3 on havainnollistettu, kuinka prismattomasti mitatun

pisteen tasovirhe kasvaa mitatun matkan kasvaessa. Mitattujen pisteiden matkat on pyöristetty lähimpään kymmeneen metriin havainnollistamisen helpottamiseksi.



**KAAVIO 3. Prismattomasti mitattujen pisteiden tasovirhe.**

Kaaviosta 3 nähdään, että kojeasemilta 2 ja 3 mitatut pisteet näyttäisivät pysyvän annetussa tasovirheen keskivirheen toleranssissa noin 25–35 metriin asti. Kojeasemilta 1 ja 4 mitatut pisteet ylittävät toleranssirajan noin 35–50 metriin päässä. Näyttäisikin siltä, että korkeammalta mitatessa ei saada mitattua tarkasti selvästi pidemmälle, kuin kojeen ollessa pystytettynä tienpinnan tasolle.

Luotettaessa siihen, että takymetrissä ei ole ollut mitään vikaa ja että vertailupisteet on mitattu luotettavasti, on tasovirheen syytä etsittävä prismattomasti mitatuista havainnoista. Liitteessä 7 on havainnollistettu, kuinka kojeasemilta tehdyt prismattomat havainnot poikkeavat vertailupisteistä. Kojeasemien mitattujen pisteiden tasovirheistä on nähtävissä, että varsinkin pidemmälle mitatessa ovat prismattomat havainnot menneet pituussuunnassa pidemmälle, kuin missä maaliviivan kulmat eli vertailupisteet ovat oikeasti sijainneet. Liitteestä 7 on siis nähtävissä, että prismattomasti mitaamani havainnot ovat kojeelta katsottaessa pysyneet sivuttaissuunnassa lähellä vertailupistettä, mutta menneet pituussuunnassa yli tähtäämästäni maaliviivan kulmasta.

Koska kaikilla kojeasemilla tulokset ovat samansuuntaiset ja jokainen prismaton havainto on kolmen havainnon keskiarvo, voidaan olettaa että mitatut tasovirheet johtuvat tähtäämisen vaikeudesta pituussuunnassa.

### *Korkeuden virhe*

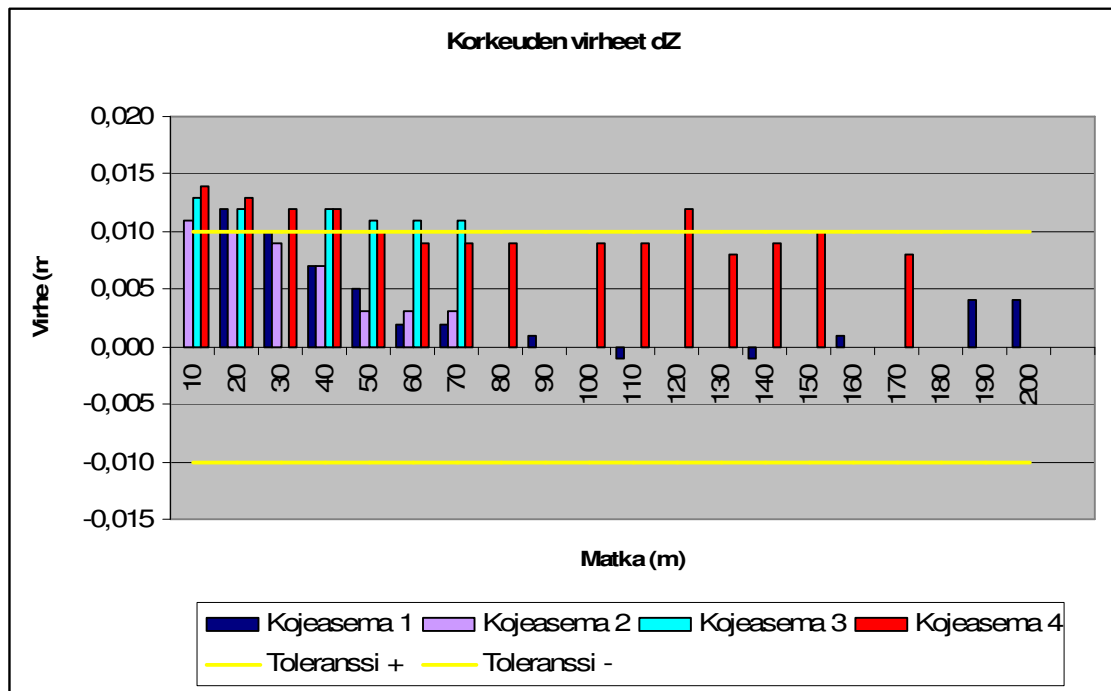
Korkeuden virheen toleranssiksi asetin 10 millimetrin keskivirheen, joka ylittyi vain kojeasemalla kolme ja siinäkin vain 2 millimetriä (Taulukko 5). Maksimivirheen toleranssiksi asetin 25 millimetriä, joka alittui jokaisella kojeasemalla.

**TAULUKKO 5. Prismattomasti mitattujen pisteiden korkeuden virheet.**

<b>Virhe</b>	<b>Kojeasema 1</b>	<b>Kojeasema 2</b>	<b>Kojeasema 3</b>	<b>Kojeasema 4</b>
Minimi	0,000	0,003	0,011	0,008
Maksimi	0,012	0,011	0,013	0,014
Keskiarvo	0,003	0,007	0,012	0,010
Keskihajonta	0,004	0,004	0,001	0,002

Korkeuden virheitä tarkastellessa huomasin, että lähes jokainen prismattomasti mitattu piste oli korkeammalla, kuin vertailupiste. Tajusin heti, että olin jättänyt tarkistamatta oliko prismauva kulunut ennen vertailupisteiden mittaamista. Prismasauva oli kohtuullisen uusi, mutta ollut nähtävästi kovassa käytössä, koska jälkepäin tarkastaessa selvisi, että sauvankärki oli kulunut noin 5 millimetriä. Näin ollen kaikki mitaamani vertailupisteet mittasin 5 millimetriä todellista korkeutta alemmaksi. En nähnyt syytä lähteä laskemaan korkeudenvirheitä uusiksi prismauvan virheen vuoksi, koska tulosten loppunäkymä ei olisi muuttunut paljoakaan.

Seuraavassa kaaviossa 4 on havainnollistettu miten kaikki prismattomasti mitatut pisteet asettuvat korkeuden keskivirheen toleranssiin verrattuna. Kaaviossa olevien mitattujen pisteiden matkat on pyöristetty lähimpään kymmeneen metriin havainnollistamisen helpottamiseksi.



**KAAVIO 4. Prismattomasti mitattujen pisteiden korkeuden virhe.**

Kaavion 4 arvoissa on mukana prisma-auvan virhe, joten todellisuudessa kaikki kaavion pylväät pitäisi olla 5 millimetriä alempana. Tällöin kaikki mitatut arvot asettuisivat keskivirheen toleranssiviivojen sisäpuolelle.

Kaiken kaikkiaan voidaankin päätellä, että korkeuden mittaaminen tienpinnasta prismattomasti on annettu toleransseihin nähden luotettavaa kaikilla matkoilla.

### 7.3 Prismattoman pisteen ero taiteviivaan

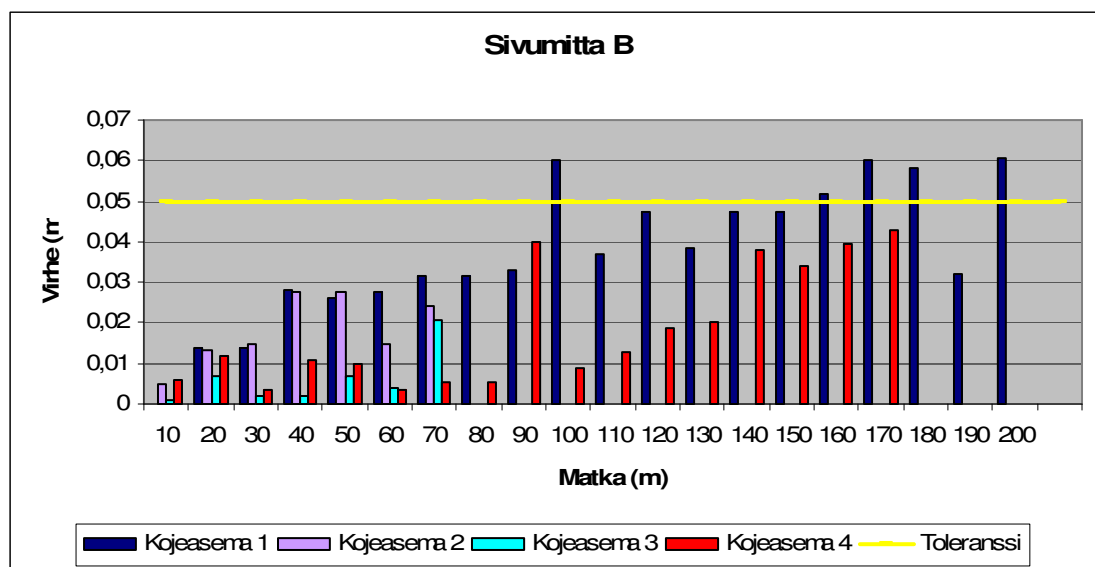
Tienkeskilinja kuvataan maastomallissa viivana. Siksi tienkeskilinjaa mitatessa täytyy yksittäisistä pisteistä muodostaa taiteviiva. Edellisessä luvussa oli nähtävissä, että tähtäminen yksittäiseen tienpinnan pisteeseen on pituussuunnassa jokseenkin vaikeaa. Luvussa verrattiin prismattomasti mitattua pistettä sitä vastaavaan vertailupisteeseen. Tienkeskilinjaa mitatessa ei kuitenkaan yksittäisen pisteen tasosijainnin tarkkuudella ole samanlaista merkitystä, kuin edellisessä luvussa. Taiteviivaa mitatessa on tärkeää, että maastomallin viivamainen kohde mallintuu oikein. Siksi mitattaessa viivaa tasaisella pinnalla, kuten tiellä on tärkeää, että mitattu piste tulee viivaan nähden sivuttaisuunnassa oikein. Viivan pituussuunnassa mitatulla pisteellä ei siis ole tasosijainnin suhteen niinkään väliä, kunhan viivaan tulee yksittäisiä pisteitä suunnilleen tarvittavan pistevälin mukaisesti. Taulukosta 6 voidaan nähdä, kuinka prismattomasti mitatut pis-

teet eroavat vertailupisteistä muodostettuun taiteviivaan nähden. Kaikkien kojeasemien prismattomasti mitattujen pisteiden yhteenlasketut keskiarvo ja maksimi virheet alittavat annetut toleranssiarvot. Saadut tulokset ovat siis aivan toista luokkaa, kuin edellisen luvun pisteiden tasovirheet.

**TAULUKKO 6. Prismattomasti mitattujen pisteiden sivumitta vertailupisteistä muodostettuun taiteviivaan.**

Virhe	Kojeasema 1	Kojeasema 2	Kojeasema 3	Kojeasema 4
Minimi	-0,014	-0,005	0,001	0,003
Maksimi	-0,061	-0,028	-0,021	-0,043
Keskiarvo	-0,036	-0,018	-0,004	-0,014
Keskihajonta	0,014	0,009	0,009	0,014

Kaaviossa 5 on esitetty kaikkien prismattomasti mitattujen pisteiden sivumitta eli virhe vertailupisteistä muodostettuun taiteviivaan. Virheet kasvavat taas matkan mukaan, mutta pysyvät kuitenkin toleranssiarvon alapuolella lukuun ottamatta kojeasemaa 1. Kaikki prismattomasti mitatut tulokset on nähtävissä myös liitteen 8 taulukoista.



**KAAVIO 5. Prismattomasti mitattujen pisteiden virhe taiteviivan suhteen.**

Tuloksista voidaan päätellä, että tienkeskilinjaa pystytään mittaamaan luotettavasti ilman prismaa. Tärkeänä tekijänä on kuitenkin takymetrin pystyttäminen lähelle tienreunaa, jolloin tienkeskilinjaa voidaan mitata viivan suuntaisesti. Prismaton mittaaminen ei sovellu tienkeskilinjan mittaamiseen, jos joudutaan mittaamaan kaukana tien-

reunasta. Silloin havainnoiden mennessä pituussuunnassa liian pitkälle ei tienkeskilinja välttämättä mallinnu toleranssien mukaisesti. Sama pätee myös kaarteissa mitatesa.

## 8 PÄÄTÄNTÖ

Opinnäytetyöni tutkimusosassa oli tarkoitus selvittää voidaanko prismattoman takymetrimittauksen avulla parantaa mittaajan työturvallisuutta. Valitsin tutkittavaksi kohteeksi tienkeskilinjan mittaamisen, koska se on omien kokemuksieni perusteella vaarallisimpia kohteita mitata. Se on myös hyvin yleinen kohde, joka täytyy mitata, kun tehdään infra-rakentamiseen liittyviä suunnitelmia.

Testimittausteni tuloksista voidaan nähdä, että prismatonta takymetrimittausta voidaan käyttää tienkeskilinjan mittaamiseen. Tuloksista on kuitenkin nähtävissä, että mitattaessa prismattomasti tienpintaa on tähtääminen kohteeseen pituussuunnassa vaikeaa. Siksi tienkeskilinjaa mitattaessa prismattomasti on tärkeä sijoittaa takymetri lähelle tienreunaa, jolloin voidaan mitata tienkeskilinjan suuntaisesti. Tällöin viivamaisesti mallinnetun tienkeskilinjan tarkkuus ei kärsi, koska tasovirheet eivät ole viivasta sivusuunnassa poikkeavia vaan viivansuuntaisia. Tämä ei kuitenkaan päde mutkaisella tienosuudella, jolloin viivansuuntaisesti mittaaminen on vaikeaa. Mittaustuloksistani oli myös havaittavissa, että jos takymetriä ei saada pystytettyä tienpintaa korkeammalle, niin yhteen suuntaan prismattomasti mitattu matka on vain noin 70 metriä. Eli jos takymetrillä voidaan mitata prismattomasti tienkeskilinjaa noin 140 metriä, niin silloin prismatonta mittausta ei välttämättä ole järkevää käyttää kohteissa, jossa tietä täytyy mallintaa useita kilometrejä. Prismatonta mittaamista voisi hyödyntää kuitenkin kohteissa, joissa tietä täytyy mallintaa vain lyhyt matka. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi tiessä tapahtunut paikallinen painuminen, joka täytyy mitata tienkorjaamiseen tarvittavia suunnitelmia varten. Tällöin tienkeskilinjaa ei tarvitsisi mennä prisman kanssa mittaamaan tai esimerkiksi ajonopeuksia alentaa, koska mittaukset voitaisiin suorittaa takymetrin luota. Kaiken kaikkiaan voidaankin todeta, että takymetrin prismatonta mittausta käyttämällä voidaan mittaajan työturvallisuutta parantaa mitattaessa tienkeskilinjaa, mutta samalla yhdeltä kojeasemalta mitattu matka lyhenee.

Mittaustuloksistani voi myös nähdä, että yksittäisen kohteen mittaaminen prismattomasti on tienpinnasta vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että kohteen havaitseminen on vaikeaa pituussuunnassa. Kaikista mittaamistani kojeasemista oli nähtävissä, että vaikka tähtäsin useamman kerran samaan viivankulmaan, niin virheet olivat aina kuitenkin samansuuntaiset. Eli mitä kauempana viivankulma oli, sitä enemmän mittaukseni meni pituussuunnassa yli, vaikka olin mittaavani viivankulmaan.

Takymetrin prismattomasta mittaamisesta löytyy varmasti lisää tutkimisen kohteita, jos kiinnostusta aiheeseen löytyy. Yksi tutkimisen aihe voisi olla esimerkiksi prismattoman mittaamisen ajallisen hyödyn tutkiminen. Minulla oli alun perin ajatuksena tutkia kyseistä aihetta, mutta jätin sen kuitenkin pois, koska koin, että työstä tulee sekava, jos yritän tutkia liian monta asiaa. Toinen selvittämistä kaipaava asia voisi olla esimerkiksi kalliroleikkauksen tai vastaavan kohteen yläreunan mittaaminen prismattomasti. Myös pinnan skannaamisen hyödyntäminen kaipaisi mielestäni lisätutkimusta.

## LÄHTEET

Höglund, R & Large, P 2005. Direct reflex EDM technology for the surveyor and civil engineer. Trimble, engineering and construction group.

Korpelainen, Pauli. Destia Oy:n palvelupäällikkö. Keskustelu, 5.10.2009.

Laurila, Pasi 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2.painos. Rovaniemi: Tornion kirjapaino.

Rantanen, Pasi 2001. Maastomittauksen perusteet. Opetushallitus. Vammalan Kirjapaino Oy

Salmenperä, Hannu 2004. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto, opetusmoniste.

Tiehallinto 2002. Tiesuunnittelun laatujärjestelmä. Maastotietojen hankinta. Toimintaohjeet. Helsinki.

Tiehallinto 2008. Maastomallit ja pohjakartat. Laatimisohteet. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. Helsinki.

Tielaitos, 1994. Maastomallimittaukset. Kehittämiskeskus. Helsinki

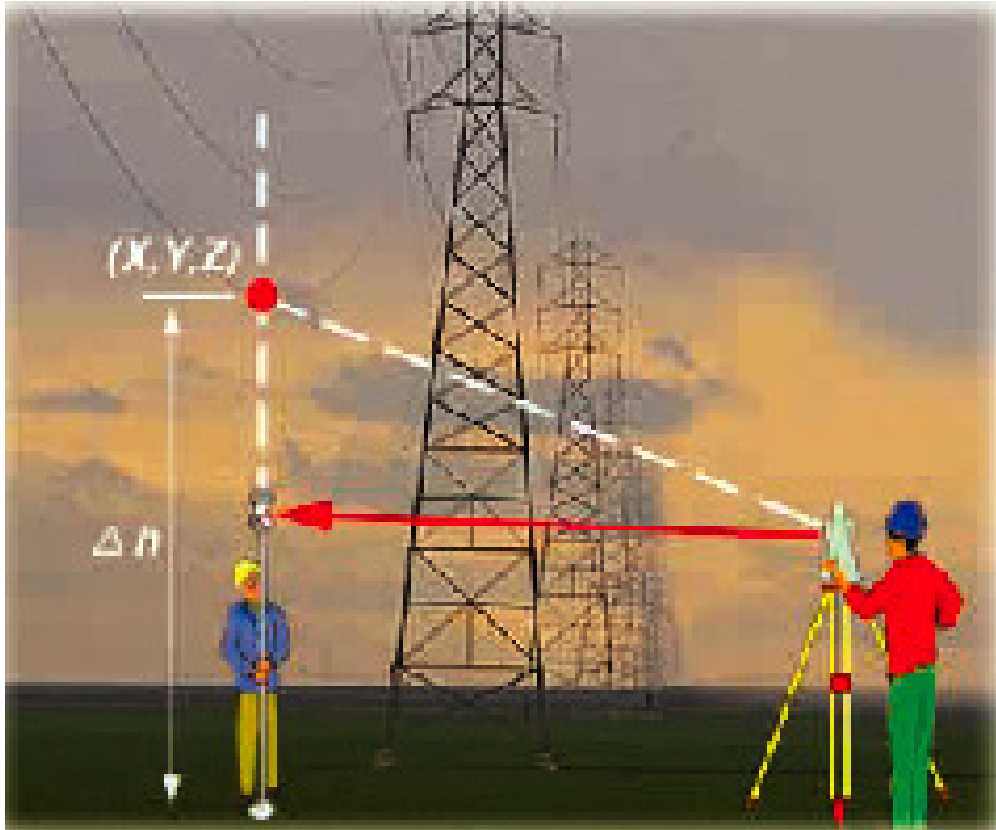
Tiemies TPS 1200, 2007. versio 2.0. Leica Nilomark Oy. Tiemies-ohjelman ohje.

Vermeer, Martin 2008. Johdatus geodesiaan. Teknillinen Korkeakoulu, opetusmoniste.

Wikman, Esa 2004. Nykyaikaisen takymetrin anatomia. Maankäyttölehti. 4/2004.

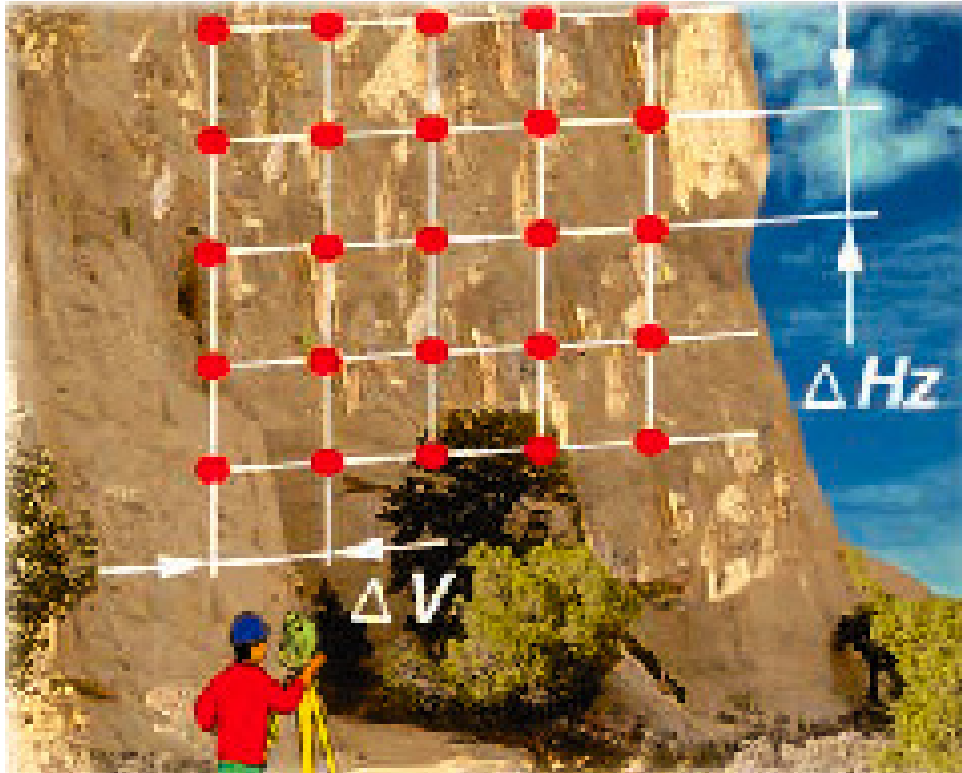


**LIITE 1.**  
**ROE – toiminta-**  
**periaate**



**KUVA 2. Voimajohdon mittaaminen ROE – toimintaperiaatteen avulla.**

**LIITE 2.**  
**Pinnan**  
**skannaaminen**



**KUVA 3. Seinämän mittaaminen skannaustekniikalla.**

## LIITE 3.

## Orientoinnit

```

-----
! Tunnettu asemapiste , 3D orientointi
! 0
! Asemapiste      x      y      H      Kojekor      mP      mH
!                1000.000    1000.000    102.487    0.000    0.000    0.000
! Delta           0.000      0.000      0.000
! Hz= 0.0000 g      ppm= 0.000
! Liitospisteet
! 2      1036.097      1000.000    100.000      0.000    0.000
! Havainnot      Hz      V      SD      TH
! LIP      2      0.0002    101.8301    36.097    1.450
-----
! Vapaa asemapiste , 3D orientointi
! 0
! Asemapiste      x      y      H      Kojekor      mP      mH
!                982.576      961.712    100.001    0.000    0.000    0.003
! Delta           0.005      0.003     -0.002
! Hz= 39.5324 g      ppm= -87.341
! Liitospisteet
! 4      989.814      938.704    100.016      0.004    0.004
! 2      1036.097      1000.000    100.000      0.000    0.000
! Havainnot      Hz      V      SD      TH
! LIP      4      20.9868    96.1315    24.162    1.450
! LIP      2      141.1153    98.6006    65.817    1.450
-----
! Vapaa asemapiste , 3D orientointi
! 0
! Asemapiste      x      y      H      Kojekor      mP      mH
!                993.438      955.737    99.874    0.000    0.000    0.001
! Delta           0.005      0.005      0.001
! Hz= 51.1748 g      ppm= -114.894
! Liitospisteet
! 8      981.761      974.233    100.253      0.004    0.004
! 2      1036.097      1000.000    100.000      0.000    0.000
! Havainnot      Hz      V      SD      TH
! LIP      8      101.1424    98.8953    21.874    0.000
! LIP      2      16.4663    98.3688    61.487    1.450
-----
! Vapaa asemapiste , 3D orientointi
! 0
! Asemapiste      x      y      H      Kojekor      mP      mH
!                1020.096    978.255    102.165    0.000    0.000    0.000
! Delta          -0.007      0.008      0.000
! Hz= 59.6137 g      ppm= -353.665
! Liitospisteet
! 9      1000.000      1000.000    101.005      0.004    0.004
! 2      1036.097      1000.000    100.000      0.000    0.000
! Havainnot      Hz      V      SD      TH
! LIP      9      191.2290    99.3749    29.600    1.450
! LIP      2      103.3516    101.6857    26.998    1.450

```

**LIITE 4.****Vertailupisteet**

Vertailupisteet						
T1	T2	T3	T4	X	Y	Z
9	0	121	1	988.991	959.715	98.371
9	0	121	2	995.747	969.363	98.307
9	0	121	3	1002.789	978.813	98.267
9	0	121	4	1010.016	988.126	98.217
9	0	121	5	1017.511	997.216	98.161
9	0	121	6	1025.290	1006.048	98.081
9	0	121	7	1033.345	1014.661	98.016
9	0	121	8	1041.490	1023.134	97.972
9	0	121	9	1049.736	1031.551	97.896
9	0	121	10	1057.925	1039.974	97.841
9	0	121	11	1066.085	1048.446	97.833
9	0	121	12	1074.293	1056.864	97.875
9	0	121	13	1082.535	1065.262	97.927
9	0	121	14	1090.731	1073.672	97.977
9	0	121	15	1098.910	1082.148	98.035
9	0	121	16	1107.080	1090.643	98.137
9	0	121	17	1115.157	1099.171	98.242
9	0	121	18	1122.922	1107.996	98.309
9	0	121	19	1130.330	1117.118	98.356
9	0	121	20	1137.235	1126.650	98.447
9	0	121	21	1143.598	1136.543	98.550
9	0	121	22	1149.600	1146.656	98.609
9	0	121	23	1155.112	1157.043	98.658
9	0	121	24	1160.154	1167.682	98.747

## LIITE 5(1).

Keskiarvot ja  
keskihajonnat

## Kojeasema 1. Prismattomasti mitattujen havaintojen keskiarvot ja keskihajonta

	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	4	1010,021	988,110	98,229
	1	0	2	4	1010,019	988,105	98,229
	1	0	3	4	1010,020	988,111	98,229
<b>Keskiarvo</b>					1010,020	988,109	98,229
<b>Keskihajonta</b>					0,001	0,003	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	5	1017,523	997,201	98,171
	1	0	2	5	1017,521	997,203	98,171
	1	0	3	5	1017,528	997,203	98,170
<b>Keskiarvo</b>					1017,524	997,202	98,171
<b>Keskihajonta</b>					0,004	0,001	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	6	1025,315	1006,056	98,091
	1	0	2	6	1025,313	1006,054	98,091
	1	0	3	6	1025,319	1006,054	98,091
<b>Keskiarvo</b>					1025,316	1006,055	98,091
<b>Keskihajonta</b>					0,003	0,001	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	7	1033,391	1014,674	98,023
	1	0	2	7	1033,401	1014,679	98,022
	1	0	3	7	1033,409	1014,681	98,023
<b>Keskiarvo</b>					1033,400	1014,678	98,023
<b>Keskihajonta</b>					0,009	0,004	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	8	1041,573	1023,177	97,977
	1	0	2	8	1041,573	1023,179	97,976
	1	0	3	8	1041,555	1023,170	97,977
<b>Keskiarvo</b>					1041,567	1023,175	97,977
<b>Keskihajonta</b>					0,010	0,005	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	9	1049,858	1031,630	97,899
	1	0	2	9	1049,840	1031,620	97,898
	1	0	3	9	1049,854	1031,636	97,898
<b>Keskiarvo</b>					1049,851	1031,629	97,898
<b>Keskihajonta</b>					0,009	0,008	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	10	1058,074	1040,085	97,843
	1	0	2	10	1058,062	1040,076	97,842
	1	0	3	10	1058,082	1040,088	97,843
<b>Keskiarvo</b>					1058,073	1040,083	97,843
<b>Keskihajonta</b>					0,010	0,006	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	11	1066,250	1048,573	97,833
	1	0	2	11	1066,248	1048,571	97,832
	1	0	3	11	1066,267	1048,585	97,833
<b>Keskiarvo</b>					1066,255	1048,576	97,833
<b>Keskihajonta</b>					0,010	0,008	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	12	1074,446	1056,977	97,875
	1	0	2	12	1074,456	1056,981	97,876
	1	0	3	12	1074,458	1056,982	97,876
<b>Keskiarvo</b>					1074,453	1056,980	97,876
<b>Keskihajonta</b>					0,006	0,003	0,001

## LIITE 5(2).

## Kojeasema 2. Prismattomasti mitattujen havaintojen keskiarvot ja keskihajonnat

	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	1	988,996	959,715	98,382
	1	0	2	1	988,997	959,714	98,381
	1	0	3	1	988,997	959,715	98,382
<b>Keskiarvo</b>					988,997	959,715	98,382
<b>Keskihajonta</b>					0,001	0,001	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	2	995,772	969,378	98,317
	1	0	2	2	995,772	969,377	98,317
	1	0	3	2	995,780	969,381	98,317
<b>Keskiarvo</b>					995,775	969,379	98,317
<b>Keskihajonta</b>					0,005	0,002	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	3	1002,837	978,855	98,276
	1	0	2	3	1002,847	978,862	98,276
	1	0	3	3	1002,847	978,862	98,276
<b>Keskiarvo</b>					1002,844	978,860	98,276
<b>Keskihajonta</b>					0,006	0,004	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	4	1010,111	988,204	98,225
	1	0	2	4	1010,135	988,221	98,223
	1	0	3	4	1010,132	988,222	98,224
<b>Keskiarvo</b>					1010,126	988,216	98,224
<b>Keskihajonta</b>					0,013	0,010	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	5	1017,647	997,332	98,165
	1	0	2	5	1017,697	997,379	98,164
	1	0	3	5	1017,657	997,341	98,164
<b>Keskiarvo</b>					1017,667	997,351	98,164
<b>Keskihajonta</b>					0,026	0,025	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	6	1025,500	1006,253	98,083
	1	0	2	6	1025,590	1006,342	98,084
	1	0	3	6	1025,523	1006,277	98,084
<b>Keskiarvo</b>					1025,538	1006,291	98,084
<b>Keskihajonta</b>					0,047	0,046	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	7	1033,640	1014,935	98,019
	1	0	2	7	1033,632	1014,929	98,020
	1	0	3	7	1033,635	1014,922	98,019
<b>Keskiarvo</b>					1033,636	1014,929	98,019
<b>Keskihajonta</b>					0,004	0,007	0,001

## LIITE 5(3).

## Kojeasema 3. Prismattomasti mitattujen pisteiden keskiarvo ja keskihajonta

	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	1	988,995	959,721	98,384
	1	0	2	1	988,992	959,715	98,384
	1	0	3	1	988,994	959,715	98,384
<b>Keskiarvo</b>					988,994	959,717	98,384
<b>Keskihajonta</b>					0,002	0,003	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	2	995,753	969,376	98,320
	1	0	2	2	995,755	969,374	98,319
	1	0	3	2	995,754	969,372	98,319
<b>Keskiarvo</b>					995,754	969,374	98,319
<b>Keskihajonta</b>					0,001	0,002	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	3	1002,810	978,849	98,279
	1	0	2	3	1002,812	978,855	98,279
	1	0	3	3	1002,815	978,857	98,279
<b>Keskiarvo</b>					1002,812	978,854	98,279
<b>Keskihajonta</b>					0,003	0,004	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	4	1010,045	988,155	98,229
	1	0	2	4	1010,049	988,163	98,229
	1	0	3	4	1010,056	988,173	98,229
<b>Keskiarvo</b>					1010,050	988,164	98,229
<b>Keskihajonta</b>					0,006	0,009	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	5	1017,564	997,266	98,172
	1	0	2	5	1017,563	997,260	98,171
	1	0	3	5	1017,574	997,280	98,172
<b>Keskiarvo</b>					1017,567	997,269	98,172
<b>Keskihajonta</b>					0,006	0,010	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	6	1025,355	1006,116	98,091
	1	0	2	6	1025,379	1006,133	98,092
	1	0	3	6	1025,395	1006,152	98,092
<b>Keskiarvo</b>					1025,376	1006,134	98,092
<b>Keskihajonta</b>					0,020	0,018	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	7	1033,429	1014,723	98,027
	1	0	2	7	1033,435	1014,727	98,027
	1	0	3	7	1033,444	1014,729	98,027
<b>Keskiarvo</b>					1033,436	1014,726	98,027
<b>Keskihajonta</b>					0,008	0,003	0,000

## LIITE 5(4).

## Kojeasema 4. Prismattomasti mitattujen pisteiden keskiarvot ja keskihajonta

	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	4	1010,018	988,118	98,231
	1	0	2	4	1010,011	988,119	98,231
	1	0	3	4	1010,019	988,114	98,231
<b>Keskiarvo</b>					1010,016	988,117	98,231
<b>Keskihajonta</b>					0,004	0,003	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	5	1017,520	997,208	98,174
	1	0	2	5	1017,519	997,208	98,174
	1	0	3	5	1017,519	997,205	98,173
<b>Keskiarvo</b>					1017,519	997,207	98,174
<b>Keskihajonta</b>					0,001	0,002	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	6	1025,307	1006,057	98,093
	1	0	2	6	1025,305	1006,060	98,093
	1	0	3	6	1025,306	1006,062	98,093
<b>Keskiarvo</b>					1025,306	1006,060	98,093
<b>Keskihajonta</b>					0,001	0,003	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	7	1033,370	1014,668	98,028
	1	0	2	7	1033,373	1014,675	98,028
	1	0	3	7	1033,371	1014,672	98,027
<b>Keskiarvo</b>					1033,371	1014,672	98,028
<b>Keskihajonta</b>					0,002	0,004	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	8	1041,523	1023,149	97,982
	1	0	2	8	1041,526	1023,158	97,982
	1	0	3	8	1041,523	1023,156	97,982
<b>Keskiarvo</b>					1041,524	1023,154	97,982
<b>Keskihajonta</b>					0,002	0,005	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	9	1049,783	1031,594	97,905
	1	0	2	9	1049,787	1031,607	97,905
	1	0	3	9	1049,791	1031,623	97,904
<b>Keskiarvo</b>					1049,787	1031,608	97,905
<b>Keskihajonta</b>					0,004	0,015	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	10	1058,003	1040,063	97,850
	1	0	2	10	1057,996	1040,049	97,849
	1	0	3	10	1058,005	1040,068	97,850
<b>Keskiarvo</b>					1058,001	1040,060	97,850
<b>Keskihajonta</b>					0,005	0,010	0,001
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	11	1066,154	1048,516	97,842
	1	0	2	11	1066,159	1048,509	97,842
	1	0	3	11	1066,151	1048,508	97,842
<b>Keskiarvo</b>					1066,155	1048,511	97,842
<b>Keskihajonta</b>					0,004	0,004	0,000
	Pinta	Viiva	Havainto	Koodi	x	y	z
	1	0	1	12	1074,354	1056,908	97,883
	1	0	2	12	1074,365	1056,925	97,884
	1	0	3	12	1074,384	1056,950	97,885
<b>Keskiarvo</b>					1074,368	1056,928	97,884
<b>Keskihajonta</b>					0,015	0,021	0,001



**LIITE 6(1).****Eromitat.****Kojeasemat 1-4.****Kojeasema 1. Takymetri pystytetty tienvieressä sijainneelle kumpareelle.**

Vino matka	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Virhe dX	Virhe dY	Virhe dXY	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
16,122	4	1010,020	988,109	0,004	-0,017	0,017	98,229	0,012	-0,274
18,263	5	1017,524	997,202	0,013	-0,014	0,019	98,171	0,010	-0,243
26,399	6	1025,316	1006,055	0,026	0,007	0,027	98,091	0,010	-0,169
36,755	7	1033,400	1014,678	0,055	0,017	0,058	98,023	0,007	-0,122
47,804	8	1041,567	1023,175	0,077	0,041	0,087	97,977	0,005	-0,095
59,216	9	1049,851	1031,629	0,115	0,078	0,139	97,898	0,002	-0,078
70,716	10	1058,073	1040,083	0,148	0,109	0,184	97,843	0,002	-0,066
82,286	11	1066,255	1048,576	0,170	0,130	0,214	97,833	0,000	-0,057
93,868	12	1074,453	1056,980	0,160	0,116	0,198	97,876	0,001	-0,049
105,608	13	1082,762	1065,442	0,227	0,180	0,290	97,926	-0,001	-0,043
117,293	14	1090,993	1073,876	0,262	0,204	0,332	97,977	0,000	-0,039
129,003	15	1099,180	1082,373	0,270	0,225	0,351	98,035	0,000	-0,035
140,756	16	1107,384	1090,895	0,304	0,252	0,395	98,136	-0,001	-0,031
152,371	17	1115,412	1099,389	0,255	0,218	0,335	98,242	0,000	-0,029
163,995	18	1123,160	1108,206	0,238	0,210	0,317	98,310	0,001	-0,026
175,545	19	1130,535	1117,302	0,205	0,184	0,275	98,356	0,000	-0,024
187,010	20	1137,381	1126,818	0,146	0,168	0,223	98,451	0,004	-0,022
198,411	21	1143,758	1136,694	0,160	0,151	0,220	98,554	0,004	-0,020

Min	0,004	0,007	0,017	0,000
Max	0,304	0,252	0,395	0,012
Mean	0,158	0,126	0,205	0,003
Mean Abs	0,158	0,129		0,009
StdD	0,094	0,088	0,123	0,004

**Kojeasema 2. Takymetri pystytetty tienpinna tasolle.**

Vino matka	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Virhe dX	Virhe dY	Virhe dXY	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
6,917	1	988,997	959,715	0,006	0,000	0,006	98,382	0,011	-0,241
15,357	2	995,775	969,379	0,028	0,016	0,032	98,317	0,010	-0,110
26,605	3	1002,844	978,860	0,055	0,047	0,072	98,276	0,009	-0,065
38,270	4	1010,126	988,216	0,110	0,090	0,142	98,224	0,007	-0,047
50,049	5	1017,667	997,351	0,156	0,135	0,206	98,164	0,003	-0,037
61,941	6	1025,538	1006,291	0,248	0,243	0,347	98,084	0,003	-0,031
73,777	7	1033,636	1014,929	0,291	0,268	0,396	98,019	0,003	-0,027

Min	0,006	0,000	0,006	0,003
Max	0,291	0,268	0,396	0,011
Mean	0,128	0,114	0,172	0,007
MeanAbs	0,128	0,114		0,007
StdDev	0,110	0,107	0,153	0,004

## LIITE 6(2).

## Kojeasema 3. Takymetri pystytetty tienpinna tasolle

Vino matka	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Virhe dX	Virhe dY	Virhe dXY	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
6,149	1	988,994	959,717	0,003	0,002	0,004	98,384	0,013	-0,250
13,919	2	995,754	969,374	0,007	0,011	0,013	98,319	0,012	-0,112
24,996	3	1002,812	978,854	0,023	0,041	0,047	98,279	0,012	-0,064
36,472	4	1010,05	988,164	0,034	0,038	0,051	98,229	0,012	-0,045
48,063	5	1017,567	997,269	0,056	0,053	0,077	98,172	0,011	-0,035
59,691	6	1025,376	1006,134	0,086	0,086	0,122	98,092	0,011	-0,030
71,295	7	1033,436	1014,726	0,091	0,065	0,112	98,027	0,011	-0,026

Min	0,003	0,002	0,004	0,011
Max	0,091	0,086	0,122	0,013
Mean	0,043	0,042	0,061	0,012
MeanAbs	0,043	0,042		0,012
StdDev	0,036	0,029	0,046	0,001

## Kojeasema 4. Takymetri pystytetty tienvieressä sijainneelle kumpareelle.

Vino matka	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Virhe dX	Virhe dY	Virhe dXY	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
14,640	4	1010,016	988,117	0,000	-0,009	0,009	98,231	0,014	-0,279
19,538	5	1017,519	997,207	0,008	-0,009	0,012	98,174	0,013	-0,209
28,580	6	1025,306	1006,060	0,016	0,012	0,020	98,093	0,012	-0,144
38,981	7	1033,371	1014,672	0,026	0,011	0,028	98,028	0,012	-0,107
49,926	8	1041,524	1023,154	0,034	0,020	0,039	97,982	0,010	-0,084
61,207	9	1049,787	1031,608	0,051	0,057	0,076	97,905	0,009	-0,070
72,631	10	1058,001	1040,060	0,076	0,086	0,115	97,850	0,009	-0,060
84,119	11	1066,155	1048,511	0,070	0,065	0,096	97,842	0,009	-0,052
95,674	12	1074,368	1056,928	0,075	0,064	0,099	97,884	0,009	-0,045
107,321	13	1082,648	1065,359	0,113	0,097	0,149	97,936	0,009	-0,039
118,956	14	1090,863	1073,781	0,132	0,109	0,171	97,989	0,012	-0,035
130,641	15	1099,046	1082,260	0,136	0,112	0,176	98,043	0,008	-0,032
142,368	16	1107,244	1090,761	0,164	0,118	0,202	98,146	0,009	-0,028
154,175	17	1115,393	1099,388	0,236	0,217	0,321	98,252	0,010	-0,025
166,160	18	1123,314	1108,410	0,392	0,414	0,570	98,317	0,008	-0,023

Min	0,000	-0,009	0,009	0,008
Max	0,392	0,414	0,570	0,014
Mean	0,102	0,091	0,139	0,010
Mean	0,102	0,093		0,012
StdD	0,104	0,108	0,147	0,002

**LIITE 6(3).**

Min	sarakkeen pienin arvo
Max	sarakkeen suurin arvo
Mean	sarakkeen lukujen keskiarvo
MeanAbs	sarakkeen lukujen itseisarvojen keskiarvo
StdDev	sarakkeen lukujen keskihajonta

Vinomatka = Etäisyydenmittarin ja mitatun pisteen välinen matka

Vertailupiste = Prisman kanssa mitattu piste

X = Prismattomasti mitattu X-koordinaatti

Y = Prismattomasti mitattu Y-koordinaatti

dX = Vertailupisteen ja prismattoman pisteen X-koordinaattierot

dY = Vertailupisteen ja prismattoman pisteen Y-koordinaattierot

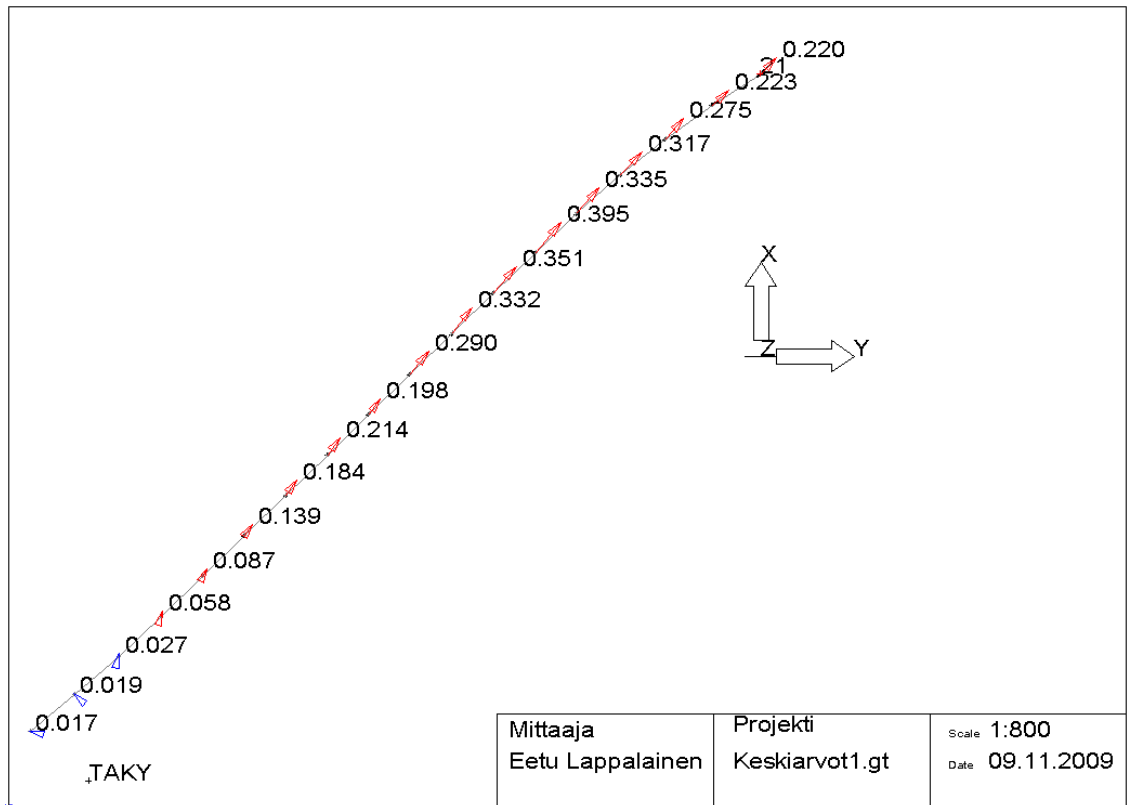
dXY = Vertailupisteen ja prismattoman pisteen välinen vinomatka

Z = Prismattomasti mitattu korkeus

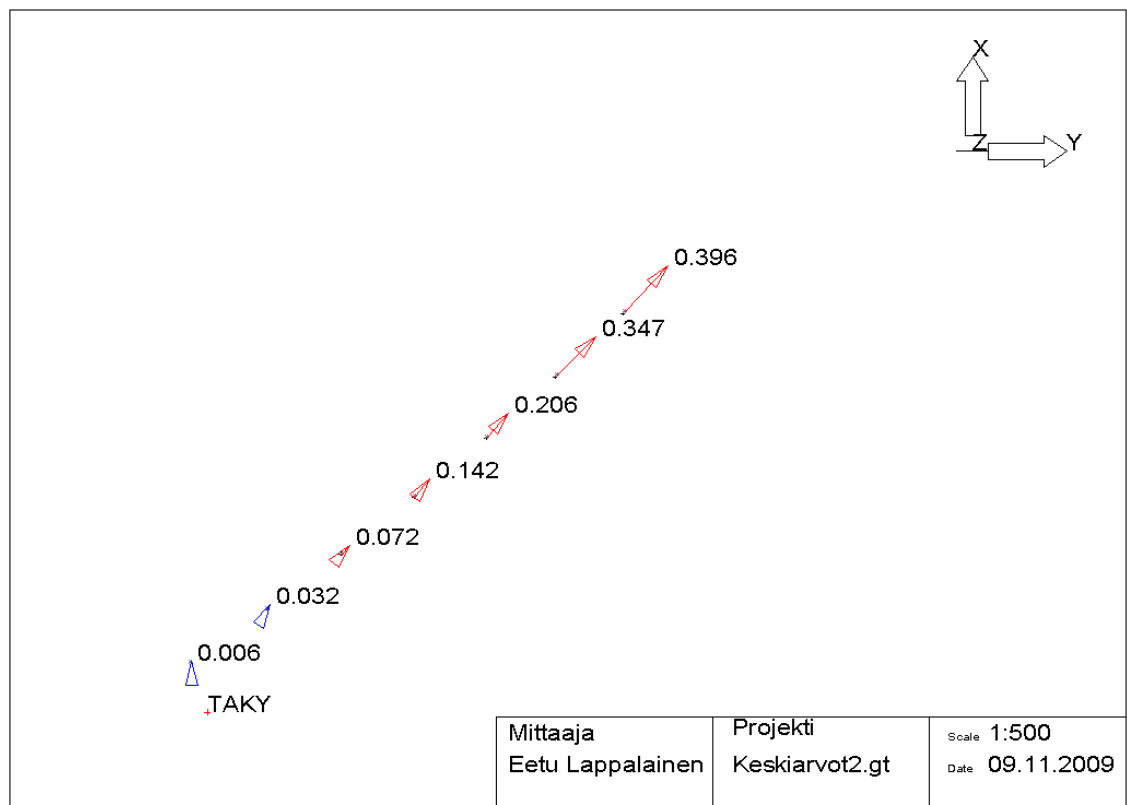
dZ = Vertailupisteen ja prismattoman pisteen korkeusero

Mittaussäteen kulma = Mittaussäteen tulokulma mitattuun pisteeseen

**LIITE 7(1).**  
**Tasovirheiden**  
**suunta.**

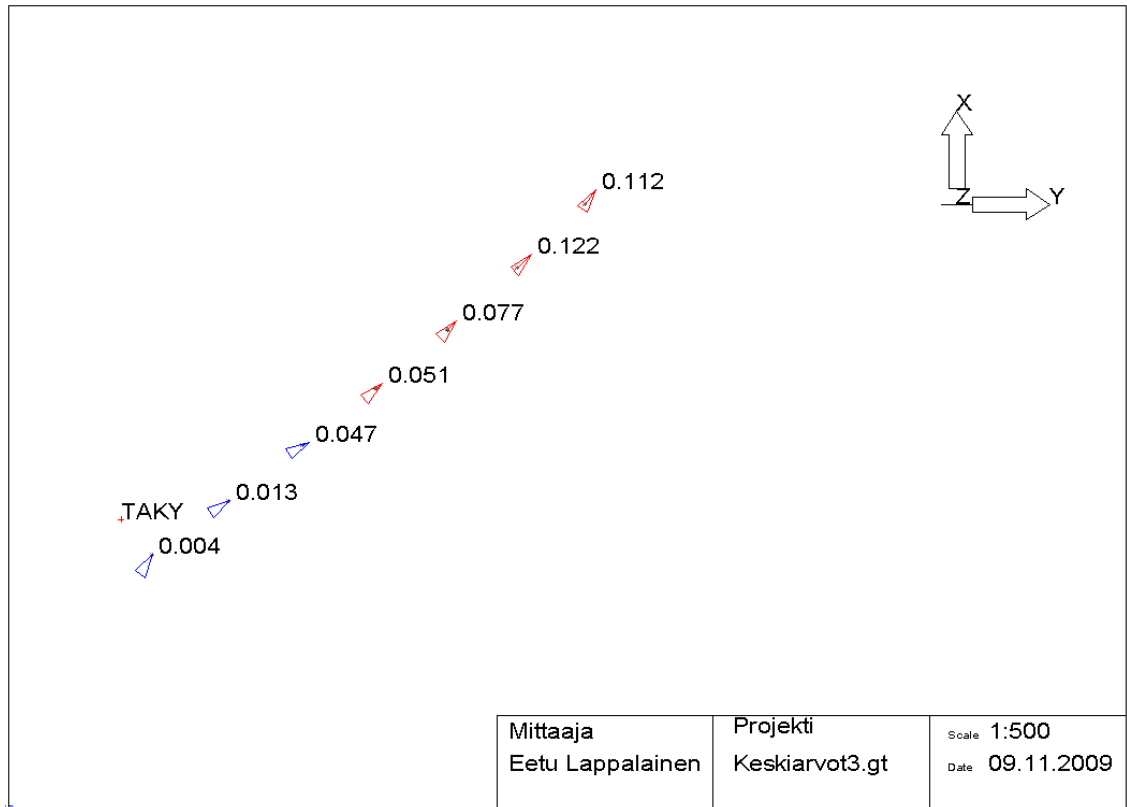


**Kojeasema 1. Prismattomien pisteiden virheen suuntaa vertailupisteisiin nähden.**

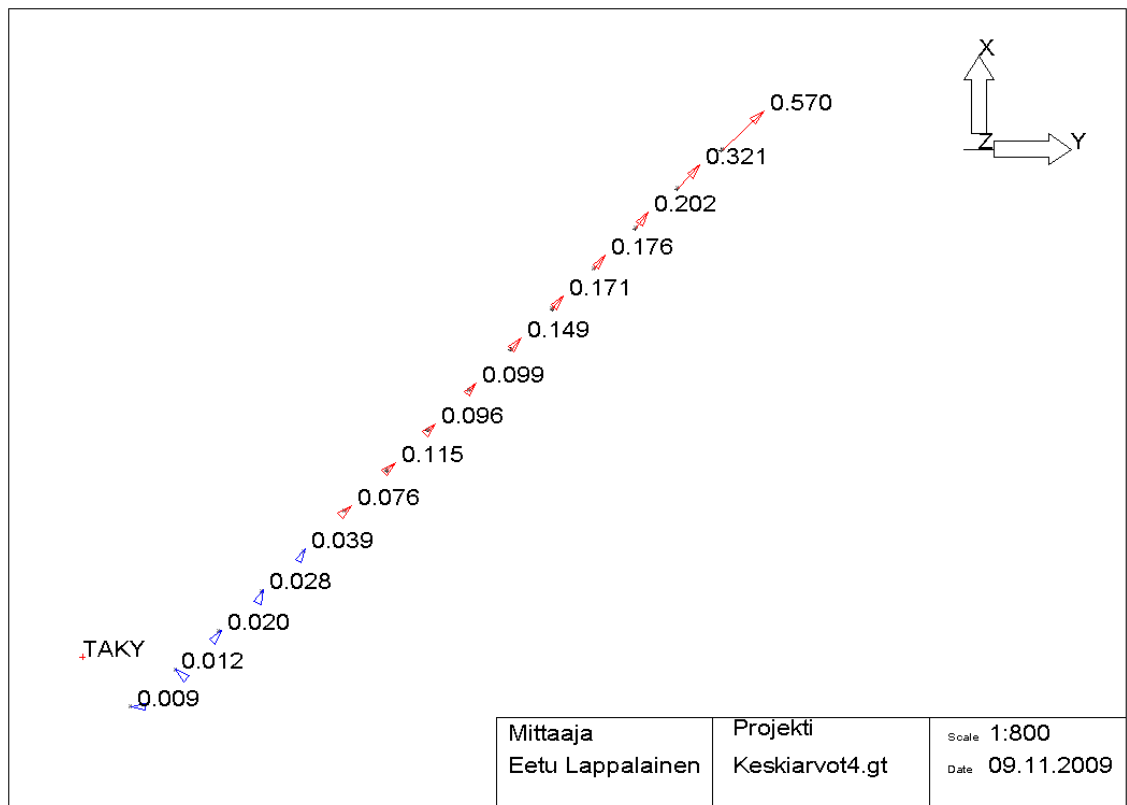


**Kojeasema 2. Prismattomien pisteiden virheen suuntaa vertailupisteisiin nähden.**

## LIITE 7(2).



**Kojeasema 3. Prismattomien pisteiden virheen suuntaa vertailupisteisiin nähden.**



**Kojeasema 4. Prismattomien pisteiden virheen suuntaa vertailupisteisiin nähden.**

## LIITE 8(1).

## Sivumitta

Kojeasema 1. Prismattomasti mitattujen pisteiden vertailu taiteviivaan.

Vino- matka (m)	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Sivumitta B	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
16,122	4	1010,020	988,109	-0,014	98,229	0,012	-0,274
18,263	5	1017,524	997,202	-0,019	98,171	0,010	-0,243
26,399	6	1025,316	1006,055	-0,014	98,091	0,010	-0,169
36,755	7	1033,400	1014,678	-0,028	98,023	0,007	-0,122
47,804	8	1041,567	1023,175	-0,026	97,977	0,005	-0,095
59,216	9	1049,851	1031,629	-0,028	97,898	0,002	-0,078
70,716	10	1058,073	1040,083	-0,031	97,843	0,002	-0,066
82,286	11	1066,255	1048,576	-0,031	97,833	0,000	-0,057
93,868	12	1074,453	1056,980	-0,033	97,876	0,001	-0,049
105,608	13	1082,762	1065,442	-0,037	97,926	-0,001	-0,043
117,293	14	1090,993	1073,876	-0,047	97,977	0,000	-0,039
129,003	15	1099,180	1082,373	-0,039	98,035	0,000	-0,035
140,756	16	1107,384	1090,895	-0,047	98,136	-0,001	-0,031
152,371	17	1115,412	1099,389	-0,047	98,242	0,000	-0,029
163,995	18	1123,160	1108,206	-0,052	98,310	0,001	-0,026
175,545	19	1130,535	1117,302	-0,058	98,356	0,000	-0,024
187,010	20	1137,381	1126,818	-0,032	98,451	0,004	-0,022
198,411	21	1143,758	1136,694	-0,061	98,554	0,004	-0,020

Min	-0,014	0,000
Max	-0,061	0,012
Mean	-0,036	0,003
Mean Abs		0,009
StdDev	0,014	0,004

Kojeasema 2. Prismattomasti mitattujen pisteiden vertailu taiteviivaan.

Vino- matka (m)	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Sivumitta B	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
6,917	1	988,997	959,715	-0,005	98,382	0,011	-0,241
15,357	2	995,775	969,379	-0,013	98,317	0,010	-0,110
26,605	3	1002,844	978,860	-0,015	98,276	0,009	-0,065
38,270	4	1010,126	988,216	-0,028	98,224	0,007	-0,047
50,049	5	1017,667	997,351	-0,028	98,164	0,003	-0,037
61,941	6	1025,538	1006,291	-0,015	98,084	0,003	-0,031
73,777	7	1033,636	1014,929	-0,024	98,019	0,003	-0,027

Min	-0,005	0,003
Max	-0,028	0,011
Mean	-0,018	0,007
MeanAbs		0,007
StdDev	0,009	0,004

## LIITE 8(2).

## Kojeasema 3. Prismattomasti mitattujen pisteiden vertailu taiteviivaan.

Vino- matka (m)	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Sivumitta B	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
6,149	1	988,994	959,717	-0,001	98,384	0,013	-0,250
13,919	2	995,754	969,374	0,001	98,319	0,012	-0,112
24,996	3	1002,812	978,854	0,007	98,279	0,012	-0,064
36,472	4	1010,05	988,164	-0,002	98,229	0,012	-0,045
48,063	5	1017,567	997,269	-0,007	98,172	0,011	-0,035
59,691	6	1025,376	1006,134	-0,004	98,092	0,011	-0,030
71,295	7	1033,436	1014,726	-0,021	98,027	0,011	-0,026

Min	0,001	0,011
Max	-0,021	0,013
Mean	-0,004	0,012
MeanAbs		0,012
StdDev	0,009	0,001

## Kojeasema 4. Prismattomasti mitattujen pisteiden vertailu taiteviivaan.

Vino- matka (m)	Vertailu piste	Prismaton X	Prismaton Y	Sivumitta B	Prismaton Z	Virhe dZ	Mittaussäteen kulma
14,640	4	1010,016	988,117	-0,006	98,231	0,014	-0,279
19,538	5	1017,519	997,207	-0,012	98,174	0,013	-0,209
28,580	6	1025,306	1006,060	-0,003	98,093	0,012	-0,144
38,981	7	1033,371	1014,672	-0,011	98,028	0,012	-0,107
49,926	8	1041,524	1023,154	-0,010	97,982	0,010	-0,084
61,207	9	1049,787	1031,608	0,003	97,905	0,009	-0,070
72,631	10	1058,001	1040,060	0,005	97,850	0,009	-0,060
84,119	11	1066,155	1048,511	-0,005	97,842	0,009	-0,052
95,674	12	1074,368	1056,928	-0,009	97,884	0,009	-0,045
107,321	13	1082,648	1065,359	-0,013	97,936	0,009	-0,039
118,956	14	1090,863	1073,781	-0,019	97,989	0,012	-0,035
130,641	15	1099,046	1082,260	-0,020	98,043	0,008	-0,032
142,368	16	1107,244	1090,761	-0,038	98,146	0,009	-0,028
154,175	17	1115,393	1099,388	-0,034	98,252	0,010	-0,025
166,160	18	1123,314	1108,410	-0,043	98,317	0,008	-0,023

Min	0,003	0,008
Max	-0,043	0,014
Mean	-0,014	0,010
MeanAbs		0,012
StdDev	0,014	0,002

**LIITE 8(3).**

Min = sarakkeen pienin arvo

Max = sarakkeen suurin arvo

Mean = sarakkeen lukujen keskiarvo

MeanAbs = sarakkeen lukujen itseisarvojen keskiarvo

StdDev = sarakkeen lukujen keskihajonta

Vinomatka = Etäisyydenmittarin ja mitatun pisteen välinen matka

Vertailupiste = Prisman kanssa mitattu piste

X = Prismattomasti mitattu X-koordinaatti

Y = Prismattomasti mitattu Y-koordinaatti

Sivumitta B = Prismattomasti mitatun pisteen etäisyys taiteviivaan

Z = Prismattomasti mitattu korkeus

dZ = Vertailupisteen ja prismattoman pisteen korkeusero

Mittaussäteen kulma = Mittaussäteen tulokulma mitattuun pisteeseen