

Janne Mikkonen

SELVITYS  
SATELLIITTIMITTAUKSEN  
SOVELTUVUUDESTA  
RAIDEGEOMETRIAN  
MITTAUKSIIN

Opinnäytetyö  
Maanmittaustekniikka


Toukokuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILOLEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 30.5.2010
<b>Tekijä(t)</b> Janne Mikkonen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Maanmittaustekniikka
<b>Nimeke</b> Selvitys satelliittimittauksen soveltuvuudesta raidegeometrian mittauksiin		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Oy VR-Rata Ab on rakennusyhtiö, joka tarjoaa radan rakentamis-, suunnittelu- ja kunnossapitopalveluita valtiolle, kunnille ja teollisuusyrityksille. Näiden palveluiden yhteydessä tarvitaan mittauksia raiteen geometrian oikeaan asentoon saamiseksi. Mittauksista saatavien sijaintitietojen mukaan radalla kulkeva tukemiskone siirtää ja tukee raiteen oikeaan asemaan.</p> <p>Päällysrakennetöiden aikana raide voi olla kymmeniä senttimetrejä väärässä asemassa suunniteltuun geometriaan nähden, minkä vuoksi raidetta voidaan tukea tukemiskoneella monta kertaa. Opinnäytetyön tavoitteena on testata uutta mittaustapaa, jonka tarkoitus on mitata raiteen korkeus- ja sivuttaissiirtymät ensimmäiseen päällysrakennetöiden yhteydessä tapahtuvaan tukemiskertaan. Mittaustapana on mitata raidetta satelliittipaikannuksella sitä varten rakennettavan mittauskelkan kuljettamana.</p> <p>Opinnäytetyössä tehtävät testimittaukset suoritetaan Tornio-Kolari rataosuudella ja niiden avulla selvitetään, soveltuuko satelliittimittaus raiteen geometrian mittauksiin ja ovatko niistä saadut tulokset riittävän luotettavia. Tuloksia verrataan samanaikaisesti mitattuihin takymetrin tuloksiin ja niiden eroavaisuuksien avulla voimme selvittää satelliittimittauksissa vallinneen tarkkuuden.</p> <p>Työssäni tutkin testimittauksista saatuja tarkkuuksia ja pohdin niihin vaikuttavia tekijöitä. Tarkkuuden ja mittauksen käytännöllisyyden puolesta esitän jatkokehitelmiä mittauskelkan rakenteellisiin muutoksiin ja mittaasetusten muokkaamiseen.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Oy VR-Rata Ab, päällysrakennetyöt, raidegeometria, satelliittimittaus, mittauskelkka		
<b>Sivumäärä</b> 39+12	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Erkki Karjalainen		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Oy VR-Rata Ab

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 30.5.2010
<b>Author(s)</b> Janne Mikkonen	<b>Degree programme and option</b> Degree programme in Surveying	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Research of measuring rail geometry by satellite technology		
<b>Abstract</b>  <p>VR- Track Ltd is a construction company that provides services in railway constructing, planning and maintenance. VR-Track's biggest customers are central and local government, ports and industrial enterprises. The company needs means of getting the railway geometrically in the precise position. The geometry information is given to a track-tamping machine, which sets the railway in the correct position. The railway is sometimes out of its geometric position dozen centimetres and therefore the track-tamping machine must tamp the railway several times.</p> <p>The purpose of this diploma work was to test a new measuring system, which measures the positions of the railway to the first tamping time. The idea was to measure the positions by GPS- device, which is mounted in a measuring sleigh.</p> <p>Testing measurements were carried out in the railway of Tornio to Kolari and with their results I decided, if GPS is suitable for the railway measurements and if the results are reliable. The results were compared with the results obtained with a tachymeter. In that way I found out the accuracy of GPS- measurement.</p> <p>As a result I suggest that the measuring sleigh should be further developed and measuring settings should be modified.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  VR- Track Ltd, track super structures, rail geometry, GPS- measuring, measuring sleigh		
<b>Pages</b> 39+12	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Erkki Karjalainen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> VR-Track Ltd	

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	1
2 VR- KONSERNI.....	3
2.1 Oy VR-Rata Ab.....	4
2.2 Rautatie .....	4
2.2.1 Päällysrakennetyöt .....	5
2.3 Rautatien mittaaminen .....	6
2.3.1 Amberg Technologies: Ratamittausjärjestelmät.....	8
3 PAIKANMÄÄRITYS SATELLIITTIEEN AVULLA .....	8
3.1 Signaalin rakenne .....	10
3.2 Koordinaatistot.....	11
3.3 Tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	11
3.3.1 Ilmakehän virheet.....	13
3.4 Käyttöalueet .....	13
4 VIRTUAL REFERENCE STATION.....	15
5 TOTEUTUS .....	16
5.1 Mittauskalusto .....	17
5.1.1 Jatkokehitykset .....	18
5.2 Mittausasetukset.....	19
5.3 Tuloksien käsittely .....	21
5.4 Toisen vaiheen testimittaus .....	22
5.4.1 Mittaussuunnitelma.....	23
6 MITTAUSTULOKSET.....	24
6.1 Ensimmäinen vaihe .....	25
6.1.1 Paaluväli 938+280 -938+430.....	25
6.1.2 Paaluväli 939+680 -940+240.....	27
6.1.3 Paaluväli 943+520 -944+320.....	27
6.1.4 Paaluväli 952+940 -954+000.....	29
6.1.5 Paaluväli 956+600 -958+160.....	29
6.2 Toinen vaihe.....	31
6.2.1 Mittaustulos .....	31

7 POHDINTA.....	33
8 LÄHTEET.....	38
LIITTEET.....	39

## 1 JOHDANTO

Kun rautatietä rakennetaan, tarvitaan myös mittausta. Rautatien mittaaminen ei sinänsä ole muuttuneet rautateiden historian aikana, vaan mittaaminen on lähinnä muuttunut mittauskaluston kehittymisen myötä. Rautatien rakentamisen tai päällysrakenteen vaihtamisen aikaan rata saattaa olla jopa 50 senttimetriä suunnitellusta sijainnista. Rata tuetaan raiteentukemiskoneella oikeaan asemaan ja rataa voidaan tukea monta kertaa. Tukemiskoneelle mitataan raiteen sivu- ja korkeussiirtymät, joiden avulla kone siirtää radan oikeaan sijaintiinsa. Siirtymät yleensä mitataan radan sivulle asennettaviin paaluihin tai merkitään nuottipaperille. Tällainen työmaa vie yleensä kokonaisen mittatyöryhmän resurssit koko työmaan ajaksi.

Olin vuosien 2008 ja 2009 kesinä töissä harjoittelijana Oy VR-Rata Ab Pohjois-Suomessa. Siellä nousi esiin kysymys siitä, olisiko satelliittimittauksesta hyötyä raiteen mittaamisessa ja olisiko se siihen riittävän tarkka. Päätimme ryhtyä suunnittelemaan menetelmää, kuinka raidetta mitattaisiin ja sain siitä itselleni oivan oppinäytetyön aiheen. Kesän aikana saaduista ideoista kokosimme tavan, jolla ryhtyä asiaa selvittämään.

VR-Rata Pohjois-Suomelle GPS- mittaus on aika uutta, koska VR:lle ensimmäinen satelliittimittaukseen soveltuva laite saatiin vuonna 2005. Siitä lähtien sen käyttö on kasvanut suhteessa töiden monipuolisoitumiseen. Tähän mennessä GPS- kalustolla on mitattu enimmäkseen maastomalleja, apu- ja kiintopisteitä.

Tavoitteena on testata uutta mittaustapaa, onko se hyödyllinen ja sovelias rautatien mittauksiin. Sen käyttötarkoitus tulisi lähinnä päällysrakenteenvaihtotyömailla tehtävään ensimmäiseen tukemiseen siirtymien vielä ollessa suuria. Tähän mennessä raiteen mittaamiseen on käytetty pelkästään takymetri- ja vaaituskonekalustoa. Rautatiellä GPS-kaluston kanssa ei enää tarvitsisi olla kokonaista mittaustyöryhmää vaan mittausta pystyisi suorittamaan jopa yksi henkilö.

Testimittauksien tavoitteena on löytää sopiva vaihtoehto käyttäen erilaisia tekniikoita, joiden tuloksia verrataan samanaikaisesti mitattuihin takymetrituloksiin. Mittauksissa

on otettava huomioon sen aikana olleet mittaustarkkuudet, satelliittimäärät ja pistejonon homogeenisuus.

Yhtenä opinnäytetyön tavoitteen osana on saada työtavasta käytännöllinen ja hyväksyttävä tapa mitata rautatien geometriaa. Tärkeintä selvityksessä on saada riittävän tarkkoja mittausarvoja, että mittaukset olisivat luotettavia. Huomioksi nousee, kuinka tarkkoihin mittausarvoihin päästään, kuinka paljon ne eroavat vertailumittausten tuloksista ja millaisilla menetelmillä tarkkuutta voitaisiin parantaa.

Työn menetelmänä on rakentaa eräänlainen mittauskelkka, joka kuljettaa satelliittivastaanotinta. Satelliittimittaukseen päädyimme sen takia, koska rautatien varrella on myös sellaisia alueita, joilla ei pistejonon puuttumisen takia takymetrimittaus onnistu ilman uuden pisteverkon rakentamista. Tällöin satelliittimittauksella työn tekemistä saadaan nopeutettua ilman suurempia alkuvalmisteluja. Satelliittimittauksessa on kuitenkin muutamia haittapuolia – ajankohta on tärkeä saadakseen riittävän tarkkoja arvoja, radan vaativa ympäristö ja sähkölinjat.

Opinnäytetyön suunnittelun aikana tutustuin Jyrki Järvilehdon vuonna 2007 tekemään opinnäytetyöhön Oy VR-Rata Ab:lle. Työn aiheena oli VRS paikannuksella toimivan 3D-ohjausjärjestelmän asentaminen raiteen tukemiskoneeseen. Siinä työn tarkoituksena oli selvittää, voitaisiinko nykyisen paaluihin mitattavan merkintätyön korvata VRS-paikannuksella saatavien korjaustietojen avulla. Tutkin Jyrki Järvilehdon käyttämää lähdeaineistoa, josta löysin tähän opinnäytetyöhön soveltuvia tietolähteitä.

Teoreettisena pohjana käytän opinnäytetyössä kirjallisuutta GPS-järjestelmästä, sen rakenteesta ja järjestelmän toiminnasta. Käytän teoriaa GPS-järjestelmän avulla tehtävistä mittausmenetelmistä, tarkkuuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä tavoitteiden täsmentämisessä ja ohjaamisessa.

Käytän teoriapohjana jo olemassa olevaa tietoa täsmentääkseni opinnäytetyössä käytettävää tekniikkaa. Saadakseni opinnäytetyölle vahvan teoriapohjan kerron Markku Poutasen GPS-paikanmääritys – kirjan avulla GPS-järjestelmän historiasta,

rakenteesta, toiminnasta ja miten niiden lähettämää signaalia voidaan käyttää hyväksi maanmittauksessa käytettävissä tekniikoissa.

Opinnäytetyössä käytettävän Virtuaali-RTK paikannustekniikan tarkkuudesta ja sen taustalla tapahtuvasta toiminnasta havainnollistan Geodeettisen laitoksen julkaiseman Virtuaali RTK (VRS) -tutkimuksen avulla. Rautatien määritelmän, rautatiellä tarvittavien työmenetelmien ja mittauksien selventämisessä käytän Liikenneviraston rautatieosaston julkaisemia ratateknisiä määräyksiä ja ohjeita.

## **2 VR- KONSERNI**

Rautatien rakentamiselle on jo pitkät perinteet Suomessa. Ensimmäisen kerran rautatieliikenne alkoi jo vuonna 1862. Suomen rataverkko oli pääosin valmis Suomen itsenäistymiseen mennessä, joka käsitti rautatien pohjois- etelä ja länsi- itä suunnassa. Seuraava suurempi uudistus tapahtui 1960 -luvulla jolloin suuri rautatien perusparannus käynnistyi. Tämä tarkoitti sitä, että ensimmäiset sähköjunat saatiin lähiliikenteeseen. Tähän päivään mennessä noin puolet rautatieverkostosta on sähköistetty. /1/.

VR-konserni on kuljetusalan yritys, joka harjoittaa sekä rautatie- että maantieliikennettä. Vuonna 2008 VR konsernin liikevaihto oli 1530 miljoonaa euroa ja koko yhtiön palveluksessa toimii noin 12 500 henkilöä. VR – konsernin liikevaihdosta noin 51 % on rautatieliikenteen osuutta ja autoliikenteen noin 20 %./1/.

VR –konserni jakaantuu viiteen eri liiketoiminta-alueeseen. Rautatieliikennettä hoitaa VR osakeyhtiö ja ratojen rakentamisesta ja kunnossapidosta vastaa Oy VR-Rata Ab. Autoliikennettä hoitaa Pohjolan liikenne –konserni, catering – ja ravintolatoimintaa AVECRA Oy ja telepalveluita Corenet Oy. VR – konsernin emoyhtiö on VR – yhtymä Oy, joka on kokonaan valtion omistuksessa./1/.



## 2.1 Oy VR-Rata Ab

Ratojen rakentamisesta ja kunnossapidosta vastaa Oy VR- Rata Ab, joka on Suomen suurimpia rakennusyhtiöitä. Sen palveluksessa on 2340 henkilöä ja vuoden 2008 liikevaihto oli noin 340 miljoonaa euroa. Siitä noin kaksikolmasosaa kertyy päällysrakenne- ja insinöörirakentamisesta. Noin kolmasosa koostuu radan sähkörakentamisesta./2;3/.

Oy VR-Rata Ab tarjoaa radan suunnittelu-, rakentamis- ja kunnossapitopalveluita valtiolle, kunnille, satamille sekä teollisuuslaitoksille. Suurimpia asiakkaita ovat Liikenneviraston rautatieosasto, kunnat ja teollisuusyritykset. /2/

## 2.2 Rautatie

Rautatie niin kuin nimensä mukaisesti on rautakiskoista muodostettu rata, jossa junat kulkevat. Suomen rataverkon kokonaispituus on tällä hetkellä 5 919 kilometriä, josta 3076 kilometriä on sähköistettyä. Rataverkon ylläpito, kehittäminen ja kunnossapito ovat Liikenneviraston rautatieosaston vastuulla. Vuosittain radan kunnossapitoon käytetään noin 135 miljoonaa euroa./4/.

Rautatie koostuu alusrakenteesta, johon kuuluu suodatinkerros, eristyskerros ja välikerros. Suodatinkerroksen tehtävänä on estää pohjamaan ja eristyskerroksen sekoittuminen. Eristyskerroksen tehtävänä on estää tai vähentää sen alla olevien maakerrosten routimista ja muodostaa välikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan sekä siirtää ja jakaa junien kuormasta johtuva paine maanpintaan. Välikerroksen tehtävänä on muodostaa tasainen ja kantava alusta päällysrakenteelle ja suojata sen sekoittumista muuhun maa-ainekseen./5/

Alusrakenteen päällä on päällysrakenne johon kuuluu tukikerros, ratapölkkyt ja kiskot. Tukikerroksen tarkoituksena on pitää raiteet geometrisesti oikeassa asemassaan ja jakaa junista kohdistuva kuorma tasaisesti alusrakenteelle./5/

Tukikerroksen päällä on ratapölkkyt ja kisko. Ratapölkkyjä on kahdenlaisia, joko puu- tai betonipölkkyjä. Nykyisin käytetään enimmäkseen betonipölkkyjä sen parempien

ominaisuuksien takia. Niiden tehtävänä on antaa kestävä alusta kiskon kiinnityksille, kiskon jalalle ja suurentaa tukikerrokseen kohdistuvan kuormituksen pinta-alaa. /6/

Ratapölkkyjen päälle kiinnitettäviä kiskoja käytetään neljällä eri profiililla saatavia K30-, K43-, 54 E1 ja 60 E1 – ratakiskoja. Merkinnät tulevat Eurooppalaisen standardointijärjestön CEN:n mukaan, jossa kiskoprofiilit merkitään kiskon massaa kilogrammoina metriä kohti, kirjaimella E ja standardin määrittävällä versioluvulla, kuten esimerkiksi 60 E1. Muita kuin CEN:n standardeimia kiskoprofiileja merkitään K-kirjaimella ja numerolla, joka kertoo kiskopainon metriä kohden, esim. K43./6/

### **2.2.1 Päällysrakennetyöt**

Päällysrakennetöiden yhteydessä puhutaan joko uudisrakentamisesta tai vanhan päällysrakenteen vaihtamisesta. Työssä käytettävä tapa riippuu työmaan suuruudesta ja taloudellisesta hyödystä. Päällysrakennetöiden yksi osa-alue on sepelinpuhdistus, jossa vanha ja likainen sepeli vaihdetaan koneellisesti. Raidetta ei tarvitse purkaa vaan kaivu tapahtuu sepelinpuhdistuskoneella sen alla liikkuvien kaivuterien avulla. Ne irrottavat tukikerrosmateriaalin pölkkyjen alta ja vetävät sen kuljetinhihnalle ja siitä kiviaineksen seulontalaitteeseen. Sepeli puhdistetaan, koska pienempirakeiseksi hioutunut ja likainen sepeli routii paljon helpommin jolloin sen kantavuus heikkenee. Seulottu sepeli palautuu takaisin ja seulonnasta tullut jäte poistuu. Seulonnan aikana tarvittavat routaeristyslevyt voidaan asentaa samanaikaisesti./7/

Toinen tapa vaihtaa päällysrakenne on tehdä se kaivamalla. Tämä tapa on yleensä tarkoitettu pienemmille työmaille, kuten vaihteenvaihoissa, tasoristeyksissä ja sillan päissä tapahtuvan tukikerroksen uusimiseen./7/

On myös raiteenvaihtokone, jolla pystytään vaihtamaan pölkkyt ja kiskot samanaikaisesti. Koneella voidaan vaihtaa myös pelkästään pölkkyt tai sillä voidaan rakentaa kokonaan uusi rata. Raiteenvaihtokone siirtää vanhat kiskot sivuun ja kerää vanhat pölkkyt pois. Kunnes tukikerros on aurattu, kone jakaa uudet pölkkyt ja ohjaa uudet kiskot pölkkyjen kiinnityskohtiin. Työnopeus vaihdettaessa raidetta on noin 250 metriä tunnissa./2/.

Päällysrakennetöiden yhteydessä raide tuetaan oikeaan asemaan raiteentukemiskoneella. Tukemiskoneessa olevat hakut siirtävät raidesepeliä pölkkyjen alle tukeakseen ne. Junaliikenteestä ja routavaurioista johtuvia raiteen epäsymmetrisyyksiä korjataan myös tukemiskoneella, jotka liittyvät kunnossapitotöihin./2/

### 2.3 Rautatien mittaaminen

Rautatien mittaamisessa käytetään erilaisia tapoja riippuen siitä millainen on työkohte. Rakennetaanko uutta raidetta, vaihdetaanko päällysrakenne vai tehdäänkö kunnossapitotöitä?

Yleisin tapa on merkitä radan geometria raiteen sivuun sijoitettuihin paaluihin. Paaluihin mitataan radan korkeusviivan paikka ja keskilinja. Korkeusviivalla tarkoitetaan radan kiskon aluslevyn alapinnassa kulkevaa geometristä korkeutta kiskon kulkureunan kohdalla. Raiteen keskilinja kulkee radan kiskojen välissä. Keskilinja määritetään kiskon kulkureunasta. /8/

Mittaustyyli myös riippuu osaltaan raidetyömaalla olevasta tukemiskoneesta. Uudemmat tukemiskoneet käyttävät laser- ja tietokonetekniikkaa paljon hyväkseen, jolloin paaluista saatava informaatio käy jo sangen turhaksi. Tämän takia on olemassa paaluton mittaustapa jota nimitetään nuotin tekemiseksi. Mittauksesta saadut tiedot merkitään nuottipaperille, josta tukemiskoneen kuljettaja kirjoittaa tiedot tietokoneelle ja ohjaa koneen siirtämään raiteen oikeaan asemaan. Nuotti sisältää raiteen paaluluvun ja sijainnin keskilinjaan sekä korkeuteen nähden. Paaluluku muodostuu helsinkikilometristä eli kuinka paljon on matkaa raiteen keskilinjaan pitkin helsinkiin. Esimerkiksi paaluluku 938 + 280 tarkoittaa 938 kilometriä ja 280 metriä.

Tässä opinnäytetyössä testattava mittaustapa olisi tarkoitettu lähinnä pitkille päällysrakenteenvaihtotyömaille. Päällysrakenteenvaihto työmaille normaalisti mitataan geometria raiteen sivulle sijoitettaviin paaluihin, mutta tällä mittaustavalla tiedot merkittäisiin raportin muotoon. Yleensä hankaluutena näillä työmaille on ollut paalujen sijoittaminen, mittaamisen kiire ja pelko siitä että takana tuleva kone tai ihminen vahingossa kaataisi paalun.

Liikenneviraston rautatieosasto on määritellyt rautatielle tietyt sijaintitoleranssit ja rautatien mittaamisessa käytettävät tarkkuudet. Taulukossa 1 on määritelty korkeuspoikkeaman toleranssi eri nopeuksisilla raiteilla.

**TAULUKKO 1. Korkeuspoikkeama./9/**

Suurin sallittu nopeus $V_{\max}$ [km/h]	Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk-/Pk-raide
$120 < V_{\max} \leq 220$	+ 10, -20	
$V_{\max} \leq 120$	+ 10, -30	+20, -50

Korkeusviivan poikkeama uusilla raiteilla on yllä olevan taulukon mukaan +10-20 millimetriä ja raiteessa ei saa olla yli 10 millimetrin hajontaa kahden vähintään 30 metrin päässä toisistaan olevan pisteen välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että raide saa olla enintään 10 millimetriä suunniteltua korkeammalla ja 20 millimetriä alempana suunniteltuun korkeusviivaan nähden. Taulukossa Jk – raide tarkoittaa jatkuvakisko raidetta ja Lk- /Pk – raide lyhyt kiskoista- ja pitkäkiskoista raidetta./9/.

**TAULUKKO 2. Vaakapoikkeama./9/**

Suurin sallittu nopeus $V_{\max}$ [km/h]	Vaakapoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk-/Pk-raide
$120 < V_{\max} \leq 220$	$\pm 20$	
$V_{\max} \leq 120$	$\pm 30$	$\pm 50$

Taulukossa 2 on raiteen vaakapoikkeama millimetreinä. Sijaintitoleranssi vaakasuunnassa uusilla raiteilla on +-20 millimetriä – tarkoittaen sitä, että raide saa olla todelliseen keskilinjaan nähden sivussa enintään 20 millimetriä. /9/.

Liikenneviraston rautatieosasto määrittelee raiteen mittaamiselle laatutavoitteet geodeettiset mittaukset julkaisussa. Edellisissä taulukoissa määrittelystä vaaka- ja korkeuspoikkeamasta saa mittauspöikkeama olla yksi kolmasosa. Se tarkoittaa, että uusille maksimissaan 120 km/h määritellyille radoille mittauspöikkeaman arvot ovat +10...-10 millimetriä. Alle 250 km/h olevilla uusilla rataosuuksilla poikkeama saa

olla ainoastaan +6,7...-6,7 millimetriä. Vastaavat arvot korkeuden suhteen ovat alle 120 km/h nopeuden uusilla radoilla +3,3...-10 millimetriä ja alle 250 km/h nopeuden +3,3...-6,7 millimetriä./8/.

### **2.3.1 Amberg Technologies: Ratamittausjärjestelmät**

Opinnäytetyötä suunniteltaessa löysimme tässä opinnäytetyössä rakennettavan mittauskelkan kaupallisen version. Sen on kehitellyt Amberg Technologies yhdessä Leican mittalaitteiden rakentajan kanssa. Amberg Technologies käyttää mittaussensoreinaan Leican takymetri- ja GPS/GNSS satelliittivastaanottimia./10/.

Mittausvaunu sisältää myös monenlaisia muita mittareita. Se mittaa raidevälin, radan kallistuksen ja se sisältää myös matkamittarin. Näitä sensoreita hallinnoi tietokonejärjestelmä joka tallentaa ja analysoi mittaustulokset. Mittausohjelmistonaan se käyttää Amberg rail 2.0:a, joka suoritettujen mittausten jälkeen analysoi tiedot ja tulostaa ne raportin muotoon./10/.

## **3 PAIKANMÄÄRITYS SATELLIITTIEIN AVULLA**

Kaikki nykyaikana varmasti tuntevat käsitteen GPS ja mitä se tarkoittaa sen monipuolisten palveluidensa takia. GPS (*Global positioning system*) on alun perin yhdysvaltain armeijan käyttöön tarkoitettu paikannusjärjestelmä, jossa käytetään satelliiteilta tulevia signaaleja apuna määrittämään oma sijaintinsa lähes missä tahansa. Kuitenkaan GPS- järjestelmä ei ainoastaan ole jäänyt sotilaskäyttöön vaan maanmittaustekniikka on ottanut myös palvelun käyttöönsä ja tehnyt siitä monia eri sovelluksia erilaisiin mittauksiin./11, s.11,19/.

GPS:n suunnittelu ja toteuttaminen voidaan sanoa alkaneen jo vuonna 1960 yhdysvaltain laivaston ja ilmaston projekteista, mutta järjestelmän lopullinen valmistuminen useiden viivästysten takia syntyi vuonna 1994. GPS- järjestelmä käsittää 21 satelliittia ja kolme varasatelliittia. Satelliittien inkliinaatio eli kulma päiväntasaajasta on 55 astetta, satelliittien radan säde on noin 26 560 km ja kiertoaika puoli vuorokautta./11, s.11,19/.

Järjestelmä on kolmiosainen joka käsittää satelliitit, kontrolliverkon ja itse käyttäjät. Kontrolliverkon tarkoituksena on päivittää satelliittien antamia tietoja ja tarkkailla niiden tilaa, kellojen virheitä ja määrittää satelliittien rataelementit. Kontrolliverkko on jakaantunut viiteen maa-asemaan ympäri maapalloa./11, s.20/.

GPS- järjestelmä ei kuitenkaan ole ainut satelliittipaikannukseen käytettävä järjestelmä vaan on myös GLONASS- niminen entisen Neuvostoliiton aikana aloitettu satelliittinavigointijärjestelmä ja tulevaisuuden Eurooppalainen järjestelmä Galileo. Glonassin historia, tavoitteet ja toteutustapa ovat hyvin paljon Yhdysvaltalaisen GPS - järjestelmän kaltaisia. Eli järjestelmä on alun perin tarkoitettu sotilaskäyttöön. /11, s.25/

Hanke käynnistyi vuonna 1982, mutta se valmistui vasta vuoden 1996 alussa. Järjestelmä käsittää 21 satelliittia ja kolme varasatelliittia kolmella ratatasolla, niiden inkliinaatio on 64,8 astetta eli satelliittigeometria pohjoisilla alueilla on parempi kuin GPS- järjestelmällä. Satelliittien rata on 19 100 km ja kiertoaika 11 tuntia 15,7 minuuttia./11, s.25/

Paikannääritys yksinkertaisuudessaan tapahtuu siten, että satelliitista lähtevän signaalin lähtöaika ja vastaanottimeen tulleen signaalin tuloaika vähennetään toisistaan, jolloin saadaan aika mikä signaalilla kesti matkata maankamaralle asti. Tämä aika kerrotaan sitten signaalin kulkemalla nopeudella kuluneeseen aikaan ja tästä tuloksena on vastaanottimen ja satelliitin välinen etäisyys. Ongelmana vain on se, että maan pinnalle olevan kellon aika ja satelliitissa olevan kellon aika ei täsmääkään vaan on tiedettävä tarkat kellojen virheet jotka huomioidaan jälkilaskennassa tai reaaliaikaisesti. /11, s.22-23/.

Havaintajan paikka maapallolla voidaan laskea neljän satelliitin yhtäaikaisesta havainnosta. Tarkkaan paikannukseen ei vielä kuitenkaan päästä, vaan olemassa on vielä monta ongelmaa, joiden häivyttämiseen tarvitaan monenlaisia keinoja. Signaalin suoraan kulkuun vaikuttaa myös eri ilmakehän kerrokset, joista pahimmat ovat ionos- ja troposfääri. Tästä syystä paikannus maapallolla ei ole piste vaan kolmiulotteisen virhe-ellipsoidin sisään jäävä alue. Ellipsoidin koko ja muoto riippuu paljon satelliittigeometriasta eli kuinka satelliitit ovat jakaantuneet taivaalle. Esimerkiksi jos

satelliitit ovat jonomaisessa muodostelmassa tai ovat jakaantuneet vain tietylle taivaankannelle - tällöin mitä todennäköisimmin virhe-ellipsoidin koko on suurempi kuin että satelliitit olisivat jakaantuneet tasaisesti jokaiselle taivaankannelle. /11, s.22-23/.

Satelliittigeometriaa kuvataan yleisimmin käytettävillä GDOP- ja PDOP- arvoilla. Geometria on sitä parempi, mitä pienempi DOP-luku on. PDOP:n raja-arvo on 6 ja GDOP:n 8 - sitä suurempia arvoja ei tulisi sallia mittauksissa. Yleinen sääntö on, että satelliittimittauksissa korkeustarkkuus on huonompi kuin tasotarkkuus. Tämä johtuu satelliittigeometriasta, koska vaakasuunnassa satelliitteja on 360 asteen alueella, mutta pystysuunnassa satelliittigeometria on vain 180 asteen alueella. /12, s.26/.

### 3.1 Signaalin rakenne

Jokainen satelliitti lähettää kahdella eri taajuudella olevaa L1 ja L2 kantaaltoa, joiden taajuudet ovat 1575.42 MHz (aallon pituus 19cm) ja 1227,6 MHz (aallon pituus 24cm). Taajuus on itse asiassa vähän pienempi otettaessa huomioon keskimääräisestä suhteellisuusteoriasta tehtävä korjaus. L1-kantaallon mukaan on moduloitu navigointiviesti 50 MHz taajuudella.. Kantaaltojen mukaan on moduloitu kaksi pseudosatunnaista sekvenssiä C/A – ja P- koodit sekä satelliittien ratatiedot. P-koodi on moduloitu sekä L1- että L2-taajuuteen./11, s.118/

Signaalien ja niiden koodien monimutkaiseen rakenteeseen on olemassa useita syitä. Koska järjestelmä on kehitetty aluksi sotilaskäyttöön, järjestelmän tulee toimia yksisuuntaisesti eli käyttäjä vain vastaanottaa eikä kommunikoi satelliitteihin päin. P- ja C/A koodit eivät itsessään sisällä mitään informaatiota, ne ovat pseudosatunnaisia +1 ja -1 tilan sisältäviä sekvenssejä, joilla moduloidaan kantaaltoa. Sarjat ovat kuitenkin jonkin tietyn toistettavissa olevan algoritmin tuottamia. Näiden koodien tarkoituksena on tunnistaa signaalin lähettänyt satelliitti. /11, s.118/

GPS -mittauksissa vastaanottimien havaitut havaintosuureet ovat etäisyyksiä vastaanottimen ja satelliitin välillä. Tällöin tarvitaan vähintään 4 satelliitin etäisyystiedot, joista voidaan laskea vastaanottimen paikka. Etäisyydet voidaan laskea kahdella eri tavalla. Ensimmäinen on C/A – ja P-koodin lähettämien taajuuksien ja

aallonpituuksien kautta. Tätä kutsutaan koodipseudoetäisyydeksi. Toisena keinona on mitata kantoaaltojen L1 – ja L2-vaiheet, mutta ongelmaksi tulee, että ei tiedetä kuinka monta kokonaista aallonpituutta vastaanottimen ja satelliitin väliin mahtuu, jolloin täytyy ratkaista havaintoyhtälöiden kokonaistuntemattomat. Tätä kantoaallon avulla saatua etäisyyttä kutsutaan vaihepseudoetäisyydeksi./11, s.122/.

### **3.2 Koordinaatistot**

Kun paikkaa määritetään satelliittien avulla, tarvitsemme siihen koordinaatteja ja koordinaattien määrittäminen on yksi GPS:n perustehtävistä. Kun erilaisia koordinaatistoja on todella suuri määrä maailmassa, siksi GPS- järjestelmään on kehitetty WGS84 -niminen globaalinen koordinaatisto. GPS on käyttänyt vuodesta 1987 lähtien referenssijärjestelmänään WGS84:ää. Satelliitit lähettävät ratatietonsa tässä järjestelmässä ja siksi GPS- paikannuksessa on käytettävä tämän kanssa yhteensopivia koordinaatistoja. Tämän takia esimerkiksi kkj – koordinaatteja ei tulisi käyttää GPS- havaintojen laskennassa, koska WGS84:n määritelmässä todetaan, että järjestelmä on yhteneväinen vain kansallisten tai alueellisten koordinaatistojen kanssa, jotka perustuvat suoraan ITRF- koordinaatistoon. Tällöin EUREF-FIN koordinaatteja voidaan käyttää käytännön mittauksissa, koska se on realisaatio Euroopan alueellisesta ETRS89 koordinaatistosta. GPS- mittauksin määritetty EUREF-FIN- koordinaatisto on sisäisesti tarkempi kuin perinteisesti määritetty kartastokoordinaattijärjestelmä. Järkevintä olisi tehdä mittaukset ensin EUREF-FIN koordinaatistossa ja tehdä vasta sen jälkeen tarvittava muunnos. /11, s.31,57,59–60; 12, s.34/.

### **3.3 Tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä**

Mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa suuresti satelliittien näkyvyys. Mittauspaikan valinta siksi onkin ensiarvoisen tärkeää mittauksen suunnittelussa, koska satelliitista tuleva signaali ei pääse esteiden läpi tai siihen tulee häiriöitä. Esimerkiksi puut voivat aiheuttaa joidenkin satelliittien puuttumisen tai aiheuttaa signaaliin kohinaa. Joka kerta kun satelliitti häviää näkyvistä, joudutaan alkutuntematon ratkaisemaan uudelleen. Tämä vaikuttaa suoraan vastaanottimen alustamiseen ja sen luotettavuuteen. Pääsääntönä olisi hyvä pitää sitä että mittaukset pyrittäisiin tekemään sellaisissa paikoissa, joissa ei esteitä ole 20 asteen korkeuskulman yläpuolella.



Yleensä hyvän satelliittigeometrian saamiseksi joudutaan Suomessa vastaanottimen katkaisukulma pitämään 10–15 asteen välillä. /12, s.23,26/.

Tarkkuuteen ja mittaamiseen ehkä pahin vaikuttaja on monitieheijastuminen, joka tarkoittaa, että signaali antenniin saapuu useampaan kuin yhtä reittiä. Esimerkiksi lähistöllä olevat rakennukset ja veden pinta aiheuttavat signaaliin vaihesiirtymän, joka on verrannollinen signaalien kulkumatkan eroon. Samanlaisen ilmiön voi huomata esimerkiksi radion äänen säröilyinä. /12, s.137/

Monitieheijastumisen vaikutus voi olla pahimmillaan se, että vastaanotin hukkaa signaalin kokonaan. Monitieheijastumisen esiintyvyys on suurimmillaan matalalta tulevilta signaaleilta. Tämän takia monitieheijastusta nähdään paljon Suomessa, koska satelliitit ovat täältä katsottuna matalalla. Suuri osa maaheijastuksista pystytään poistamaan nykytekniikan antennien rakenteella. Antennivalmistajat pyrkivät eliminoimaan heijastuksen antennielementin alapuolella olevalla maalevyllä ja mahdolliset rengasmuotoiset rakenteet poistavat osan maaheijastuksista.

Nykykokemus on osoittanut, että vaimennusrenkailla varustetut vastaanottimet ovat parempia kuin maalevyllä varmistetut. Tämä johtuu siitä, että maalevyn kohdatessaan signaali kääntyy sen sähkömagneettisen säteilynsä ansiosta. /12, s.138–139/

Myös sähkömagneettiset kentät voivat aiheuttaa signaaliin häiriötä. Voimakkaimpia kenttiä aiheuttavat suurjännitelinjat, radiolähtimet ja mastot. /11, s.25/. Rautatiellä mitattaessa tästä voi tulla ongelma, koska radan yläpuolella sijaitseva suurjännitelinja voi aiheuttaa signaaliin häiriötä sen säteilynsä johdosta. Jännitelinja sijaitsee kuitenkin suoraan mittajaan yläpuolella, joten vaikutus voi jäädä pienemmäksi täällä pohjoisessa satelliittikulmien takia riippuen kuitenkin siitä, kuinka suuren kentän linja aiheuttaa. Päällysrakennetöiden yhteydessä työskenneltäessä jännite kuitenkin katkaistaan työmaan ajaksi, joten sähkömagneettista kenttää siinä vaiheessa ei pitäisi syntyä. Siksi olisi hyvä tutkia radan voimalinjojen vaikutusta, kuinka paljon se mittaamiseen vaikuttaa.

Jälkilaskennassa monitieheijastuksia ei pystytä tarkkaan poistamaan, koska jokainen hetki ja paikka poikkeavat geometrialtaan muista. Kunnes ilmakehä- ja kellovirheet on poistettu, yleensä jäljelle jäänyt virhe muodostuu ainoastaan kohinasta ja

monitieheijastuksista. Kohinaa syntyy esimerkiksi vastaanottimessa olevasta elektroniikasta ja sille ei käyttäjä voi tehdä mitään. /11, s.139/.

### 3.3.1 Ilmakehän virheet

Koska satelliitit kulkevat maapallon ulkoavaruudessa, signaali joutuu kulkemaan ilmakehän eri kerroksien läpi. Ilmakehässä sijaitsee kaksi kerrosta jotka vaikuttavat GPS- signaaliin niiden ominaisuuksiensa takia. Alimpaa ilmakehän kerrosta kutsutaan troposfääriksi ja tämän yläpuolella olevaa ionosfääriksi. Ionosfäärissä olevien elektronien määrä ja sen muutos vaikuttavat haitallisesti signaaliin. Ionosfääri vaikuttaa GPS- signaaliin dispersiivisesti eli kerroksen väliaine vaikuttaa signaalin koodiin, vaiheeseen ja eri taajuuksiin eri tavalla. Siksi ionosfäärin vaikutus voidaan poistaa kaksitaajuushavaintojen avulla laskennassa. Troposfääri taas vaikuttaa molempiin taajuuksiin samalla tavalla joten sen vaikutus joudutaan eliminoimaan jollain troposfäärimallilla. Virheen suuruuteen vaikuttavat ilmanpaine, lämpötila ja vesihöyryn määrä ilmakehässä. Troposfäärin virheen vaikutus satelliitin ja antennin väliseen etäisyyteen on noin 2 metriä, kun ionosfäärin vaikutus on 1-50 metriä zenitissä eli antennin pystysuoran komponentin arvona. Troposfäärin vaikutus pystytään useimmilla malleilla poistamaan 90 prosenttisesti. /12, s. 18,28/.

### 3.4 Käyttöalueet

Varmaan tunnetuimpia GPS-järjestelmän käyttöalueita ovat paikkatietoon liittyviä menetelmiä. Tällaisia ovat paikan määrittämiseen tarkoitettut navigointi menetelmät kuten autoissa olevat navigointijärjestelmät ja oman sijaintinsa löytäminen kartalta esimerkiksi kännykällä. Maanmittauksessa yksikäytettävä menetelmä on differentiaalinen paikannus (DGPS), jossa tuntemattoman pisteen koordinaatit määritetään tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen suhteen esimerkiksi radiolinkin välityksellä. Tämän menetelmän avulla päästään muutaman metrin tarkkuuteen ja sen takia se on hyvä menetelmä juuri sellaisiin käyttökohteisiin jossa tarkkuuden ei tarvi olla kovin hyvä./11, s.202/.

Tätä palvelua Suomessa tarjoavat esimerkiksi Merenkululaitos merellä navigointiin ja Geotrim Oy. DGPS- palvelu on käyttökelpoinen moniin GIS-sovelluksiin kuten

metsä- ja maankäyttösuunnittelussa ja esimerkiksi kaapeleiden sijaintimittauksiin./12 s. 10-11/.

Tarkempiin mittauksiin käytettävä menetelmä liittyy kinemaattisiin suhteellisiin mittauksiin. Siinä havaintosuurena käytetään kantoaallon vaiheen mittaamista, jossa ratkaistaan antennin ja satelliitin väliin jäävät alkutuntemattomat eli niiden väliin jääneet kokonaiset aallonpituudet. Yleisimmin kinemaattisen suhteellisen mittauksen menetelmä on RTK, jossa alkutuntemattomat ratkaistaan reaaliaikaisesti. Tukiasema lähettää liikkuvalla yksikölle havaintonsa ja koordinaattinsa jolloin liikkuva yksikkö yhdistää ne omien havaintojensa kanssa erotushavainnoiksi. Niiden avulla pystytään eliminoimaan useita GPS:ään liittyviä virheitä kuten ratavirheet, kellovirheet ja ilmakehän virheet. RTK- data lähetetään useimmiten joko radioteitse tai GSM-verkon välityksellä. RTK- menetelmän käyttösoveltuvuus sopii erilaisiin kartoitusmittauksiin ja sellaisiin mittauksiin jossa tukiaseman ja liikkuvan yksikön väliin ei jää esteisiä maastonkohteita kuten suuret mäet tai peitteiset metsät, jolloin signaali voisi katketa./12, s.11/

RTK –menetelmänä mittaaminen voi koitua ongelmalliseksi rautatiellä, koska etäisyydet kasvavat nopeasti mitattaessa rataa eteenpäin. Rata-alue on myös kapea, jolloin pitkällä etäisyyksillä tukiaseman ja liikkuvan yksikön väliin saattaa ilmaantua mäkiä ja metsiä. Tällöin tukiasemaa jouduttaisiin siirtämään mittauksen edetessä ettei väliin tule esteisiä maastonkohteita.

Kiintopistemittauksiin tarkin vaihtoehto on Staattinen suhteellinen mittausta, jossa tuntemattoman pisteen paikka määritetään tunnetun pisteen suhteen vektoreiden avulla. Siinä käytetään vähintään kahta vastaanotinta samanaikaisesti koko mittauksen ajan. Tällöin voidaan olettaa, että vastaanottimet havaitsevat samoja satelliitteja samanaikaisesti./11, s.207/

Staattisessa suhteellisessa mittaukset havaintoaajat ovat pitkiä verrattuna muihin GPS -mittauksiin. Havaintoaika riippuu siitä, kuinka pitkä vektori lasketaan vastaanottimien välille. Lyhyillä vektoreilla kuten alle 10 km pituisilla, mittausaika olisi 30 - 60 minuuttia. Havaintoaika riippuu myös siitä, kuinka tarkkoja arvoja halutaan saada, esimerkiksi 2 tunnin pituiset havaintoaajat ovat aika yleisiä. Samalla pisteellä on myös

syitä olla enemmän kuin yhden havaintojakson ajan, jotta virheet voidaan paremmin mallintaa. /11, s.207,208/.

#### 4 VIRTUAL REFERENCE STATION

Uusimpia reaaliaikaisen GPS-mittauksen kehitelmiä ovat verkko-RTK-menetelmät, jossa yhden tukiaseman sijasta käytetään kokonaista tukiasemaverkkoa laajentamaan toimintaympäristöä ja vähentämään satelliittimittaukseen liittyviä virheitä. *Virtual Reference Station(VRS)* eli virtuaali-RTK on yksi näistä menetelmistä, joka on Trimble Ltd:n kehittelemä konsepti. Suomessa tätä palvelua tarjoaa Geotrim Oy./12, s.9,13/.

VRS:ssä tukiasemaverkko on linkitetty laskentakeskukseen, joka reaaliajassa laskee verkon alueelle virheparametrit. Ajatuksena on luoda käyttäjän läheisyyteen oma virtuaalinen tukiasema, jolloin toiminta-alueita voidaan laajentaa ja mittaus onnistuu aina senttimetritasolla. Mittauksia voidaan suorittaa yhdellä vastaanottimella pysymällä tukiasemaverkon alueella. /12, s.9/.

VRS muodostuu monesta eri komponentista. Ensimmäisenä osana on VRS-konseptin runkona toimiva pysyvä GPS-tukiasemaverkko. Toisen tärkeän osan muodostavat tietoliikenneyhteydet, joiden avulla GPS-data lähetetään laskentakeskukseen. Ne ovat myös tärkeä osa järjestelmän toimivuudessa, koska datan tulee siirtyä reaaliajassa, jotta virhemallinnus voi toimia. Kolmantena tärkeänä osana on laskentakeskus, joka kokoaa tukiasemaverkon lähettämän datan, tarkistaa niiden laadun, mallintaa GPS-virheiden vaikutukset ja muodostaa käyttäjälle virtuaalista GPS-dataa. Viimeisenä osana ovat käyttäjät itse. /12, s.13/.

VRS:n käytön periaate on, että käyttäjä lähettää likimääräiset koordinaattinsa laskentakeskukseen NMEA-viestinä, jonka jälkeen laskentakeskus muodostaa mittajaan läheisyyteen virtuaalisen tukiaseman ja tuottaa tukiasemaverkon avulla sille virtuaalista dataa. Data lähetetään esimerkiksi RTCM- tai CMR-formaateissa. Tämän jälkeen käyttäjä voi aloittaa mittauksensa ratkaistuaan alkutuntemattomat ja virtuaaliaseman ja vastaanottimen väliset vektorit. VRS-konseptin toiminta on

käyttäjälle suhteellisen näkymätöntä ja helppoa, joka voi asettaa harhaluuloja mittaajan omasta vastuusta. Kun halutaan päästä senttimetrin tarkkuuteen, on VRS paras vaihtoehto satelliittimittauksen sovelluksista käytettäväksi tässä opinnäytetyössä. /12, s.14/.

Oy VR-Rata Ab Pohjois-Suomella satelliittimittaukseen soveltuvat välineet toimivat VRS verkossa ja kokemuksena on todettu sen olevan käyttökelpoinen. Sen myötä tässä opinnäytetyössä tullaan käyttämään tätä paikannustekniikkaa. Sen tarkkuus ja helppokäyttöisyys johtavat siihen, että sitä voidaan pitää parhaana vaihtoehtona testimittauksissa ja myös tulevaisuudessa tehtäviin mittauksiin.

## **5 TOTEUTUS**

Opinnäytetyössä tehtävien testimittauksen toteutuspaikaksi valitsimme Tornio-Kolari välisen rautatietyömaan. Paikka oli sopiva siksi, koska opinnäytetyön toteuttamisen aikaan kyseiselle raideosuudelle oli suurin työpaine Pohjois-Suomen alueella. Muita hyviä puolia olivat suhteellisen uusi katkeamaton pisteistö, tarkkavaaitut korkeudet pisteille ja lähes koko alueelle saatava raidegeometria. Mittaukset tehtiin muiden töiden ohella häiritsemättä pääasiallisia töitä.

Mittaukset tehtiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa testimittauksia tehtiin kahdella eri asetuksella ja tuloksia analysoitiin tutkimalla mittauksien välisiä eroavaisuuksia. Ensimmäisten mittauksien ja tulosten analysoimisen jälkeen suunnittelimme, kuinka tarkkuutta ja käytännöllisyyttä saataisiin parannettua. Toisessa vaiheessa tehtiin lopullinen testimittaus, jossa edellisten tulosten analysoimisen aikana tulleet asiat otettiin huomioon. Tavoitteeksi asetimme toisen vaiheen mittaukseen saada lisää kokemusta mittaustavasta, kehittämisideoita ja pyrkiä saamaan tuloksista vähintään yhtä hyviä kuin ensimmäisessä vaiheessa.

Ensimmäiseksi esittelen millaista kalustoa ja asetuksia mittauksessa tullaan käyttämään ja kerron, kuinka tuloksia käsitellään ja mitä ongelmia niissä voi syntyä. Viimeiseksi olen kerännyt ensimmäisen ja toisen vaiheen mittauksista saadut tulokset

mittaustulokset osioon, jossa kerron niistä yksityiskohtaisemmin ja analysoin niistä saamiani tuloksia.

## 5.1 Mittauskalusto

Toteuttaminen käynnistyi siitä, että ryhdyttiin rakentamaan mittauskelkkaa, joka kuljettaisi Trimble R8 GNSS -satelliittivastaanotinta ja Trimble S6 robottitakymetrin 360 asteista prismaa. Mittauslaitteiden kuljettamiseen saimme VR-Radan varikolta kuvassa 1 olevan rullakon, joka on ennen toiminut kiinnitysruuvien pulttauskoneen runkona. Rullakko liikkuu kolmen muovirattaan avulla kiskojen päällä ja rattaat ovat muovia sen takia, ettei se katkaise raiteella kulkevaa virtapiiriä.



**KUVA 1**

Satelliittivastaanotin ja prisma asennettiin rullakon toiselle puolella missä sijaitsevat kaksi ratasta. Alimmaiseksi asensimme 360 asteisen prismaa. Tällainen prisma oli hyvä vaihtoehto sen takia, että robottitakymetrin säde pystyi kiinnittymään siihen mistä suunnasta tahansa. Samaan kiinnityskohtaan prismaa päälle asennettiin satelliittivastaanotin. Korkeus mitattiin radassa kulkevaan korkeusviivaan, jotta tuloksena syntyisi suoraan raiteelle mitattu nostokorkeus. Kuvassa 2

havainnollistetaan, kuinka satelliitivastaanotin ja prisma on asennettu mittauskelkkaan.



**KUVA 2**

### **5.1.1 Jatkokehitykset**

Kehitysideoita mittauskelkan rakenteesta johtuviin virhelähteisiin opinnäytetyön aikana tuli suhteellisen paljon. Rakennetta tulisi muuttaa sillä tavalla, että kelkkaa työnnettäessä tapahtuva kääntyminen eliminoiduiksi. Kelkan toiselle puolelle olisi hyvä saada yhden rullan lisäksi vähintään toinen samanlainen. Jotta kelkasta tulisi vakaa, rullan voisi rakentaa sillä tavalla, että se erotetaan omalle rungolleen, joka olisi kiinnitettynä kelkan päärungon keskelle. Tällöin mittauskelkan toisesta puolesta muodostuisi kolmio ja kelkan kuljettaminen olisi vakaampaa. Kelkkaan muodostuisi sen ansiosta samalla hyvä alusta mittauksessa käytettävien tarvikkeiden ja mittausvälineiden laatikoiden kuljettamiseen mukana.

Työntövarren paikan voisi muuttaa reunasta keskelle, jonka ansiosta työntövoima jakaantuisi keskelle mittauskelkkaa ja vähentäisi lisää kelkan liikkumista sivuttain. Työntövarteen olisi myös hyvä saada kiinnitettyä maastotietokone, jotta havaintojen tekeminen ja mittauskelkan työntäminen onnistuisi samanaikaisesti. Tällöin näytöstä pystyisi lukemaan mittauksen aikana sen antamia arvoja.

Koska nykyinen työntövarren paikka on toisessa reunassa, missä sijaitsee myös satelliitivastaanotin, aiheuttaa mittaaja mittaukselle monitieheijastusta ja vaikeuttaa

satelliittien havainnoimista. Eli tästä voidaan päätellä, että työntövarren paikka mittauskelkan keskelle parantaisi myös huomattavasti satelliittien havainnoimista ja tätä myöten vaikuttaisi suoraan mittauksen laatuun.

Satelliittivastaanottimen asennuskohtaa tulisi myös parantaa, koska tämänhetkisessä versiossa asennustappi on ainoastaan yhdessä asennossa, jolloin ei voida tietää, onko satelliittivastaanotin aina suorassa mitattaessa. Varsinkin radan kallistus kaareutuvilla rataosuuksilla vaikuttaa vastaanottimeen sillä seurauksella, ettei se enää olekaan täysin suorassa. Asennustapin suoruutta pitäisi pystyä kääntämään mittaushetkellä, jotta havainto olisi luotettava. Asennustapin kylkeen voisi laittaa esimerkiksi tasaimen, jonka avulla katsotaan sen suoruus.

Koska tämän mittauskelkan käyttötarkoitus tulisi lähinnä päällysrakennetöiden ensimmäisen tukemisen sijaintitietojen mittaamiseen, aiheuttaa asennustapin epäsuoruus tällöin vääriä lukemia. Ennen ensimmäistä tukemiskertaa, radan kiskot eivät aina ole täsmälleen vaakatasossa toisiinsa nähden, joten asennustapin suoruutta olisi muokattava jokaisen mittauksen kohdalla. Asennustapin suoruutta pitäisi saada muokattua niin, ettei se huomattavasti hidastaisi mittauksen kulkua.

Täydellinen vaihtoehto tähän olisi muokata mittauksessa saatuja tuloksia sen mukaan, kuinka epäsuorassa satelliittivastaanotin on. Ainoa ratkaisu olisi jonkinlainen kallistusmittari, jonka ilmoittamat arvot maastotietokone laskisi mukaan radan geometrian laskentaan. Tämä olisi kuitenkin liian vaikeaa kehitellä ilman asiantuntevia mittausvälineiden rakentamiseen perehtyneitä ammattilaisia.

Yksi turvallisuuteen liittyvä asia mittaustapaan tuli esiin opinnäytetyön aikana, joka olisi nostoripojen asentaminen kelkkaan. Esimerkiksi liikennöitävillä rataosuuksilla mittauskelkan nostaminen olisi nopeaa ja turvallista sekä itselle että mittauslaitteistolle.

## **5.2 Mittausasetukset**

GNSS -vastaanottimen ja takymetrin mittausasetuksina käytettiin kahta eri asetusta. Ensimmäinen oli jatkuva mittaus, jossa havaintovälit valitaan matkan pituuden tai ajan



mukaan. Asetus oli hyvä siinä mielessä että mittausta pystyi jatkamaan ilman pysähtymättä painamaan havaintopainiketta. Asetuksina kokeilimme 1 metrin välein, kahden sekunnin välein ja 20 metrin välein.

Jatkuvassa mittauksessa oli yksi puute, koska mittausvälineeseen asennettua raidegeometriaa ei saanut asetuksessa näkymään, siitä johtuen jouduimme havainnot laskettamaan toimistossa erikseen. Jotta jatkuva mittausasetus olisi käytännöllinen, pitäisi siihen ohjelmoida geometria, koska ilman sitä radan geometrian poikkeamia ei työmaalla oltaessa pystyttäisi suoraan tukemiskoneelle antamaan.

Toisena asetuksena käytettiin tien merkintäasetusta, jossa havainto mitattiin pysähtymällä tietyin paaluvälein. Tätä asetusta käytetään normaalistikin raidetta mitattaessa, jossa näytöltä luetaan juokseva paalulukku ja siirtymät. Oikean paaluvälin löydettyä havainto tallennetaan koneelle.

Yleensä raiteen mittaamisessa havaintoväleinä käytetään suorilla osuuksilla 40–100 metriä riippuen sääolosuhteista tai siitä kuinka epäsymmetrinen raide on ollut mittaushetken aikaan. Kaareutuivissa rataosuuksissa määräyksenä on mitata raidetta 20 metrin välein. Havaintovälit testimittauksissa vaihtelivat 10:stä 40 metriin.

Tien merkintäasetus on hitaampi kuin jatkuva mittaus, mutta mittaus vaikuttaa luotettavammalta, koska havainnot tehdään itse. Ennen havainnon tekemistä, satelliittimääriä ja tarkkuuksia pystyy seuraamaan, mikä vähentää epäluotettavien arvojen joutumista tuloksiin. Tässä vaiheessa tien merkintä – moodi vaikuttaisi olevan parempi vaihtoehto kuin jatkuva mittaus.

Ennen varsinaista mittausta oli takymetri asetettava näkyvälle paikalle ja orientoida se koordinaatistoon. Tornio-Kolari välillä olevan pistejonon avulla saimme takymetrin orientoitua yleensä jopa 3 pisteelle, jolloin orientointivirheet pysyivät suhteellisen pieninä, mikä taas tarkoittaa sitä, että vertailupisteiden pitäisi olla luotettavia. Pistejonon järjestelmä Tornio-Kolari välillä on kartastokoordinaattijärjestelmän kaista 2 ja korkeusjärjestelmänä N60. Satelliittivastaanottimeen on tehty paikallinen muunnos jonosta valituilta pisteiltä.

Tämän jälkeen mittauskelkka asetetaan lähtöpaalulle ja kunnes vastaanotin on alustanut onnistuneesti, mittaus voidaan aloittaa. Jatkuva mittausmoodissa, mittausnopeutena käytettiin normaalia kävelynopeutta ja kunnes loppupaalu saavutettiin, kelkka pysäytettiin ja lopetettiin mittaus. Tien merkintä moodissa lähtöpaalulta saadun havainnon jälkeen kelkka kuljetettiin seuraaville paaluille ja pysähdyttiin tekemään havainto. Mittauksien pituudet vaihtelivat muutamasta sadasta metrissä yli kilometrin pituisiin matkoihin.

### 5.3 Tuloksien käsittely

Mittauksista saadut tulokset käsiteltiin yksinkertaisesti vertailemalla satelliittimittauksien ja takymetri tulosten kesken Microsoft Officen Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla. Mittaustulokset sisälsivät paaluluvun, X-, Y -ja Z koordinaatit, sivusiirtymän ja nostomäärän, joten oli järkevää vertailla jokaista näistä. Mittausten tarkkuudet on määritetty GPS- ja takymetrituloksien erotuksien itseisarvon keskiarvona. Jatkuva mittausmoodilla mitatut koordinaatit lasketettiin radan geometrian kanssa 3D-Win ohjelmistolla, koska mittausvaiheessa radan tietoja ei saanut käyttöön.

Mitattaessa raidetta esimerkiksi takymetri mittaa havainnon ja vertaa sitä radan geometriaan. Koska raiteen teoreettinen leveys on 1,524 metriä, on raiteen kulkureunasta matkaa keskilinjaan 0,762 metriä. Siksi raiteen kulkureuna toimii mittauksissa havaintokohtana. Tuloksia käsitellessä takymetri- ja GPS-havainnot on ensiksi vähennettävä luvusta 0,762 metriä, jotta saadaan lukema kuinka monta millimetriä tai senttimetriä havaintokohta eroaa suunnitellusta keskilinjasta.

Tämän jälkeen lasketaan vertailutulos takymetri- ja GPS-tuloksista. Jäljelle jäänyt erotus on tällöin mittausten välinen virhe. Ja koska takymetrin tuloksia pidetään tämän selvityksen nollavirhearvoina, havaintojen erotuksista muodostuu GPS-mittauksessa vallinnut virhe. Erotuksista lasketaan itseisarvo, jonka jälkeen saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo. Itseisarvo oli laskettava sen takia, ettei erotuksien negatiiviset ja positiiviset arvot kumoaisi toisiaan keskiarvon laskemisesta.

Lopputulos eli GPS-mittauksen tasotarkkuus on täten havaintojen erotuksien itseisarvon keskiarvo. Sama laskutoimitus tehdään myös mittauksessa saaduista nostoarvoista, mistä saadaan GPS-mittauksen korkeustarkkuus.

Laskutoimituksista saadut lopulliset arvot olen lisännyt mittaustulos taulukkoon, johon on merkitty Paalulukku, tasotarkkuus ja korkeustarkkuus. Osassa taulukoista olen myös tutkinut paaluluvun ja X, Y ja Z-koordinaattien erotuksia. GPS -havaintojen erot on merkitty taulukkoon ja alimmaisena niistä laskettu keskiarvo. Ensimmäisen ja toisen vaiheen mittauksista saatuja tuloksia analysoin yksityiskohtaisemmin edempänä luvussa 6.

#### **5.4 Toisen vaiheen testimittaus**

Toisen vaiheen testimittauspäivämääräksi valitsimme maanantain 26.4.2010. Mittauspaikkana toimii Ylitornion rata-alue. Tarkoituksena on mitata raidetta Trimble R8 GNSS vastaanottimella rakentamamme mittauskelkan kuljettamana. Tärkeintä tässä mittauksessa on tehdä mittaukset huolellisesti ja tarkasti, että tuloksista pyrittäisiin saamaan luotettavia. Takymetrillä emme ryhtyneet mittaamaan, koska alueelta on jo aiemmin tehty tarkemittaus, joten käytämme siitä saatuja arvoja tuloksien käsittelyssä.

Ennen mittausta tehdään suunnitelma, jossa tutkitaan satelliittigeometrialtaan hyvä ajankohta mittaukselle. Mittauspaikaksi valitaan sellainen rata-alue, jossa edellisten mittausten perusteella rata olisi lähellä suunniteltua geometriaa. Tällöin mittauksen tuloksissa ei tulisi näkyä suuria geometriasta poikkeavia lukemia. Suurimpia poikkeavia lukemia voidaan sen perusteella pitää mittauksessa tulleina virheinä.

Mittauksen menetelmänä käytetään kahta asetusta, jatkuva mittaus- että tien merkintämoodia kuten ensimmäisessä vaiheessa. Tärkein tavoite tässä testimittauksessa on saada vähintään yhtä hyviä mittaustarkkuuksia kuin ensimmäisen vaiheen mittauksissa ja saada lisää kehitysideoita testimittauksen tyylistä ja käytännöllisyydestä.

#### 5.4.1 Mittaussuunnitelma

Suunnitelmana on valita aluksi rata-alue missä mittaus suoritetaan. Rata-alueella tehdyissä edellisissä mittauksissa ei tulisi olla suuria poikkeamia geometriassa, mikä helpottaa tuloksia käsitellessä. Seuraavaksi valitulle rata-alueella katsotaan suotuinen ajankohta hyvän satelliittigeometrian vallitessa. Peitekuvia almanakkaan ei voida laittaa, koska peitteisyys vaihtelee koko ajan mittauksen edetessä. Peitteisyys on katsottava mittauksen aikana ja määritellä siten sopiva katkaisukulma vastaanottimeen.

Tarkoituksena on mitata paaluväli 945+800 – 946+180 ja mitata se kahteen kertaan tien merkintä- että jatkuva mittausmoodilla. Paaluvälillä sijaitsee alku- ja loppupäässä suoraosuus ja niiden välissä kaari. Kummassakin asetuksessa käytetään havaintovälinä 20 metriä. Näin tulemme saamaan mittauksista ilmi, kuinka paljon eri asetuksilla mitatut arvot poikkeavat toisistaan ja voimme päätellä siitä kumpi moodi tulevaisuudessa olisi mahdollisesti parempi vaihtoehto.

Käytin Trimble Geomatics Office Planning sovellusta laskeakseni mittaukselle suotuisen ajankohdan. Ohjelmaan aukaisin GPS-almanakan, jonka latasin GPSnet.fi WWW-sivulta. Ensiksi oli määriteltävä tietty asemapaikka, jonka koordinaattien mukaan ohjelma laskee sille alueelle satelliittien näkyvyydet. Asemapaikaksi asetin Ylitorniolla sijaitsevan GPS-tukiaseman, jonka koordinaatit katsoin GPSnet.fi sivuilta. Valitsin satelliitit myös GLONASS-järjestelmästä, koska mittausväline, jolla mittaus tullaan tekemään, havaitsee satelliitteja myös tästä järjestelmästä.

Satelliittigeometrialtaan hyvä ajankohta mittauspäivälle (26.4) alkaa klo 10:00 aamupäivällä. Aikaisin aamulla arvot ovat korkealla, mutta klo 10:00 alkaen se pysyy alle 3,5:n PDOP:n seuraavan päivän aamukuuteen asti. Liitteessä 1 on nähtävillä kaaviokuva DOP- arvoista päivän kelloaikojen mukaan.

Asemapaikan katkaisukulmaksi asetin 15 astetta, koska yleensä mittausvälineissä tämä on valmiiksi asetettuna. Katkaisukulma pitää määrittää mittaushetkellä tarkemmin. 15 asteen katkaisukulmasta huolimatta liitteessä 2 nähdään, että satelliittien näkyvyys säilyi hyvänä, ainoastaan pohjoistaivaalla satelliitit painuvat 30 asteen korkeudelle horisonttiin. Länsi- ja itätaivaalla satelliitit kiertävät noin 45 astetta horisontin

yläpuolella ja etelätaivaalla lähes 90 asteessa. Näkyvydet ovat näin hyvät, koska asemapaikalle ei ole asetettu minkäänlaisia peitteitä kuten suuria puita ja rakennuksia.

Liitteessä 3 voidaan nähdä, että suurin osa satelliiteista sijaitsee 30–50 asteen vyöhykkeellä horisontista. Tässä huomataan, millainen satelliittigeometria pohjoisessa sijaitsee, koska satelliitit tulevat näkyviin 20 asteen kohdalla horisontista ja osa satelliiteista vain käyvät taivaalla 30 asteen kohdalla ja laskeutuvat takaisin horisonttiin.

Liitteessä 4 on merkitty satelliittien lukumäärä tietylle ajanhetkelle ja kello 10:00 jälkeen satelliitteja yhteensä taivaalla pitäisi olla noin 10 -16 kappaletta, joka on hyvinkin riittävä määrä mittaukseen. Ainoastaan jos mittauspaikka on kovin peitteistä, voi satelliittimäärä mennä alhaisemmaksi. Koska liitteen 3 avulla nähdään, että suurin osa satelliiteista sijaitsee 30–50 asteen korkeudella horisontista, voi metsäinen alue tai rakennus peittää osan satelliiteista. Tästä syystä on hyvä, että satelliitteja voi parhaimmillaan olla jopa 16 kappaletta, koska muutaman satelliitin häviäminen näkyvistä ei vaikuta radikaalisti mittaukseen. Oy VR-Rata Ab:n GNSS laitteisiin on asetettu satelliittien vähimmäismäärä 6 kappaleeseen, jotta mittaus onnistuu, joten 16 kappaleesta on varaa häivyttää alhaisimmat satelliitit pois parempien arvojen saamiseksi.

## **6 MITTAUSTULOKSET**

Tähän olen kerännyt ensimmäisen vaiheen ja toisen vaiheen mittauksista saadut tulokset ja analysoin niistä saatuja tarkkuuksia ja ongelmia. Ensimmäisen vaiheen mittaukset on suoritettu Oy VR-Rata Ab Pohjois-Suomen mittaustyöntekijöiden toimittamana ja toisen vaiheen mittauksissa olen itse myös mukana. Mittaustulokset on kerätty jokaisesta mittauksesta olevaan erilliseen taulukkoon ja ne on nähtävillä tämän työn lopussa liitteinä.

## 6.1 Ensimmäinen vaihe

Yhteensä ensimmäisessä vaiheessa mittauksia kertyi 6 kappaletta ja kaikki mittaukset on suoritettu Tornio- Kolari radan välillä. 4 kappaletta on mitattu tien merkintämoodilla ja 2 kappaletta jatkuvalla mittauksella. Mittaukset olen erottanut toisistaan otsikoimalla ne mittauksen paaluvälin mukaan.

### 6.1.1 Paaluväli 938+280 -938+430

Ensimmäisenä tarkastelin tuloksia paaluväliltä 938+280 - 938+430, jolta mitattiin sekä tien merkintä- että jatkuva mittausmoodilla. Tien merkinnässä käytettiin havaintovälinä 10 metriä ja jatkuvan mittauksen asetuksena 2 sekuntia. Tarkasteltaessa tuloksia huomioksi nousi, ettei aika-asetuksella paaluluvusta tule tasainen ilman että nopeus pysyisi samana mittauksen ajan. Koska tukemiskoneelle annettavassa raiteen sijaintitiedoissa on tärkeää olla tasaiset paaluvälit, pidän parempana vaihtoehtona ohjelmoida asetukset tietylle metrimäärälle. Kuitenkaan tässä mittauksessa paalulukemien epätasaisuus ei vaikuttanut mittauksista saatuihin tuloksiin.

Koska vain tien merkintäasetuksella raidetta on mitattu samanaikaisesti sekä takymetrillä että satelliittivastaanottimella, käytetään takymetrimittauksia vertailutuloksina myös erikseen mitatussa jatkuva mittausasetuksessa.

GPS-mittauksen tasokorkeudeksi tien merkintämoodissa paaluväliltä 938+280-938+430 saatiin 32 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 15 millimetriä. Kumpikin mittaus osoitti raiteen olevan sivusuunnassa suora ja havainnot erosivat toisista lähes saman verran jokaisessa mittauksen kohdassa. Kun GPS-mittaus näytti raiteen olevan koko havaintovälillä ainoastaan 0-10 millimetriä sivusuunnassa oikealla, takymetri – mittaus osoitti raiteen olevan 20-30 millimetriä vasemmalla. Vaikuttaa siltä kuin virhe olisi koko ajan sama joka mittaushetkellä. Koska paaluluvulle tarkkuudeksi saatiin ainoastaan 3 millimetriä, vastaanottimen ja prisman pitäisi olla samassa kohdassa. Tasainen virhe vaikuttaa siltä, että GPS-vastaanottimeen tehty paikallinen muunnos eroaa takymetrimittauksiin 20-30 millimetriä.

Kuten aiemmin kerroin, yleensä GPS-mittauksissa tarkkuus vaakatasossa on parempi kuin korkeussuunnassa, huomataan että tässä tuloksessa korkeustarkkuus oli 2 kertaa parempi kuin tasotarkkuus. Oli hämmästyttävää kuinka vähän GPS-mittausten korkeushavainnot erosivat takymetrihavainnosta. Tätä mittausta voidaan pitää tästä johtuen onnistuneena.

Tässä mittauksessa vertailin myös mittalaitteiden havainnoimia koordinaatteja. GPS-mittauksen laskemat X-koordinaatit erosivat takymetrin laskemiin 16 millimetriä. Suurin eroavaisuus syntyi Y-koordinaatissa, jossa eroa syntyi 28 millimetriä. Z – koordinaatin tarkkuus on tietenkin sama, koska Z-koordinaatilla maastotietokone vertaa suoraan raiteen geometriassa olevaan korkeusviivaan. Tässä vaiheessa olin jo varsin tyytyväinen saatuihin tuloksiin. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 5.

Seuraavaksi analysoin samalta alueelta mitattuja jatkuvan mittauksen moodin havaintoja. Jatkuvan mittauksen aika-asetuksena oli 2 sekuntia, josta seurasi, että havaintoja oli 150 metrin matkalle kertynyt jo suhteellisen runsaasti. Havaintovälille havaintoja kertyi 74 kappaletta, kun tien merkintäasetuksessa niitä oli 16 kappaletta.

Koska takymetrihavainnot oli mitattu yhdessä tien merkinnän kanssa, täytyi minun aluksi etsiä GPS-havainnoista paaluluvut, jotka olisivat lähimpänä takymetrimittauksen paalulukuja. Koska kahden sekunnin aika-asetuksella paaluluvut eivät täsmänneet täysin tarkalleen, en ryhtynyt niiden virheitäkään tässä tarkastelemaan. Eroavaisuudet suurimmillaan olivat ainoastaan metrin luokkaa, joka ei vaikuta raiteen geometriaan millään tavalla, koska rautakisko ei metrin matkalla muutu juuri ollenkaan.

Jatkuvan mittauksen tasotarkkuudeksi muodostui 21 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 26 millimetriä. Tasotarkkuus tässä mittauksessa on parempi kuin edellisessä ja korkeustarkkuuskaan ei ole mikään huono saavutus. Mutta mittauksen loppupään kaksi viimeisintä korkeushavaintoa erosivat todella paljon takymetrituloksista ja uskon siinä tapahtuneen jotain normaalista poikkeavaa. Tuloksista näkee selvästi, kuinka mittauksen virhe ryhtyy kasvamaan kolmanneksi viimeisimmästä arvosta eteenpäin. Luulen, että tässä vaiheessa vastaanotin on jostain syystä menettänyt alustuksen tai satelliittien määrä on pudonnut nopeasti eikä sitä ole huomattu kelkkaa työntäessä. Kuitenkaan tasotarkkuudessa ei ole huomattavissa

virheen nousua. Peitteisyys on voinut myös vaikuttaa loppupään havaintoihin, vaikka liitteen 5 mittaustuloksessa sellaista ei ole havaittavissa. Koska jatkuva mittaus on suoritettu eri aikaan kuin tien merkinnällä, ovat jatkuvan mittauksen aikana havaitut satelliitit voineet laskeutua lähemmäs horisonttia, jolloin mittauksen loppupään peitteisyys on vaikuttanut arvoihin. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 6.

### **6.1.2 Paaluväli 939+680 -940+240**

Seuraavaksi tarkastelin kolmelta eri paaluväliltä tien merkinnällä mitattuja tuloksia. Ensimmäinen on mitattu väliltä 939+680-940+240, jonka havaintovälinä on käytetty 40 metriä. Tämän mittauksen tasotarkkuudeksi saatiin ainoastaan 11 millimetriä, joka on huikea suoritus. Korkeustarkkuudeksi saatiin 27 millimetriä, joka ei sekään keskiarvona huono ole. Korkeushavainnoissa eroavaisuuksia oli ainoastaan muutamassa yksittäisessä arvossa, joiden uskon olevan seurausta mittauspaikan peitteisyydestä tai sen aiheuttamasta monitieheijastuksesta, koska samalla mittauspaikalla tasotarkkuuden virhekin nousi. Havaintokohdissa olisi ollut hyvä tarkastella ympäristöä, onko alue kuinka peitteinen ja mitä vastaanottimen ilmoittamat arvot kertovat.

Tarkastelin tässä tuloksessa myös mittausvälineillä laskettujen koordinaattien erotuksia. Niiden keskiarvot olivat pohjoissuunnassa 11 millimetriä ja itäsuunnassa 9 millimetriä, joiden ansiosta GPS-vastaanottimen laskemat sivusiirtymät eivät juurikaan poikenneet takymetrin laskemista.

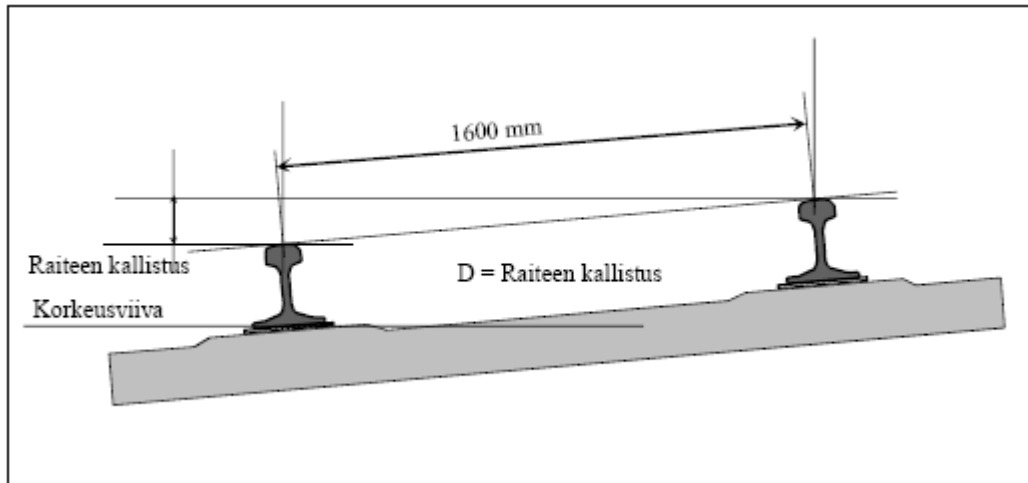
Lopputuloksena tästä mittauksesta saadut tulokset olivat mielestäni erinomaisia ja luulen, että huolellisemmalla ympäristön tarkastelulla tulokset olisivat voineet olla parempiakin. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 7.

### **6.1.3 Paaluväli 943+520 -944+320**

Toinen tien merkintämoodilla tarkasteltu mittaus on 943+520-944+320 paaluväliltä raiteen ollessa kaarteessa. Kaarteessa rataa joudutaan kallistamaan, koska se vähentää liike-energian vaikutusta junaan sen kääntyessä. Tällöin kaarteeseen ulommainen kisko joudutaan rakentamaan ylempiä kuin sisäkisko. Kallistus määräytyy rata-alueella



sallitusta nopeusrajoituksesta ja kaarteen säteestä. Kuvassa 3 on havainnollistettu, kuinka raide on kallistuksessa.



**KUVA 3. /13/.**

Mittauksessa kaartein sisäpuolen kisko eli kuvassa 3 vasemman puoleista on pidettävä määräävänä puolena, koska raiteen geometrian korkeusviiva on määritettävissä ainoastaan tältä puolelta. Tästä syystä mittauskelkkakin on kaarteissa samassa kallistuksessa kuin raide. Sen johdosta kelkkaan asennetut mittausvälineet eivät olekaan enää pystysuorassa vaan kallistuneet. Tämä aiheuttaa sen, että mittavälineiden mittaama radan geometria ei ole täysin oikea vaan havainnot hiukan eroavat todellisesta. Tämän virheen minimoimiseksi mittakelkassa tulisi olla kallistusmittari tai havainnoista vähennettäisiin kallistuksen aiheuttama mittavirhe.

Mittauksen havaintoväleinä käytettiin suorilla osuuksilla 40 metriä ja kaarteissa 20 metriä. Tämän lisäksi havainnot on mitattu myös raiteissa sijaitsevista siirtymäkaaren alku- ja loppupäästä. Tuloksiksi tässä mittauksissa saatiin tasotarkkuudeksi 29 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 27 millimetriä. Paaluluvut erosivat 17 millimetriä ja X-Y koordinaatit 9 ja 33 millimetriä. Kaikki arvot olivat hieman suuremmat mitä muissa mittauksissa ja varsinkin X –Y –koordinaattien ero on silmiin pistävä. Tästä syystä tasotarkkuuskin on sen verran huonompi.

Koska virhe on itäsuunnassa, Tornio- Kolari välin raide etelä- pohjoissuunnassa ja mittauksen hetkellä olleen kaartein sisäkisko itäpuolella, voidaan osan

mittausvirheestä olettaa syntyvän kaarteessa olevasta kallistuksesta. Tässä vaiheessa tällä mittaustavalla kaarten mittaaminen voi tuottaa ongelmia varsinkin suuremmissa kallistuksissa, koska mittaukset antaisivat väärää tietoa radan geometriasta.

Mittaustulostaulukko on nähtävissä liitteenä 8 ja siinä olevat merkinnät SA ja SL tarkoittavat siirtymäkaaren alkua ja loppua.

#### **6.1.4 Paaluväli 952+940 -954+000**

Kolmantena tutkin tien merkinnällä mitattuja tuloksia paaluväliltä 952+940-954+000. Tällä välillä alkupää on mitattu kaarteessa ja loppupäässä on mitattu myös raiteella sijaitseva vaihde. Havaintovälinä on mitattu 20 metriä kaarteessa, 40 metriä suoralla ja vaihdealue 20 metrin välein.

Tasotarkkuudeksi tässä mittauksessa saatiin 11 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 24 millimetriä. Tasotarkkuus on toistamiseen näin hyvä ja korkeustarkkuuskin on suhteellisen hyvä. Korkeustarkkuuden suurimmat eroavaisuudet olivat mittauksen puolessa välissä 140 metrin matkalla. Koska tasotarkkuus tällä välillä on kuitenkin hyvä, uskon peitteisyyden vaikuttaneen satelliittimäärän vähenemiseen, jolloin korkeustarkkuus huononee. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 9.

Tuloksissa merkintä 'EJ' tarkoittaa vaihteen etujatkosta, joka tarkoittaa vaihde-elementin alkupään liitântäkohtaa raiteeseen. Merkintä "TJ" tarkoittaa taas vaihteen takajatkosta, joka on viimeisen vaihde-elementin loppupään liitântäkohta.

#### **6.1.5 Paaluväli 956+600 -958+160**

Viimeisimpänä ensimmäisen vaiheen mittauksen tuloksista käsittelin paaluväliltä 956+600 -958+160. Tällä paaluvälillä GPS -mittauksen jatkuvan mittauksen asetuksena oli mitata 1 metrin välein. Tälle mittaukselle havaintoja kertyi yhteensä 1394 kappaletta. Mittaus alkaa suoralla rataosuudella ja päättyy ylikäytävään. Suoran ja ylikäytävän välissä sijaitsee myös kaari.

Vertailumittaukset on suoritettu takymetrillä suoralla osuudella 40 metrin ja kaareissa 20 metrin välein. Tämän takia jokaista GPS-havaintoa ei pystytä vertaamaan, vaan havainnoista etsitään takymetrin havaintoja vastaava paaluku. Siitä syystä mittaustuloksiin muodostui 56 kappaletta havaintoja 1394:sta.

Tässä mittaustuloksessa en ryhtynyt vertailemaan paaluluvun ja koordinaattien eroja, koska oikean havainnon etsimiseen menisi liian kauan aikaa. Tästä syystä keskityin ainoastaan tasotarkkuuteen ja korkeustarkkuuteen, jotka tässä selvityksessä ovat kuitenkin tärkeimpiä. Tasotarkkuudeksi saatiin 28 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 16 millimetriä.

Koska tarkkuus lasketaan keskiarvona näin suuresta havaintojoukosta, yksittäiset suuret eroavaisuudet eivät tarkkuuteen pääse paljoa vaikuttamaan. Havaintojoukkoa tutkimalla huomaa muutaman yksittäisen arvon, jotka eroavat vertailumittauksista paljon. Syynä tähän voi olla maaston peitteisyys tietyssä kohdassa ja se, että kuinka 1 metrin välein tehtävä havainto vaikuttaa GPS-havaintojen laskemiseen.

GPS-vastaanottimen prosessointinopeus ei luultavasti riitä mittaamaan näin lyhyellä välillä kovin tarkasti. Tämän huomaa siitä, että kun tutkii 1 metrin välein olevia havaintoja, joidenkin havaintojen välillä saattaa olla eroa monta senttimetriä. Ja koska tiedetään, että rautakisko ei pysty taipumaan metrin matkalla luonnollisista voimista niin paljon, täytyy sen johtua GPS –mittauksesta. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 10

Kuitenkin lopputulos on tutkimisen arvoinen ja tässä huomattiin taas, että korkeustarkkuus oli huomattavasti parempi kuin tasotarkkuus. Ehkä parempi vaihtoehto jatkuvalla mittaukselle olisi asettaa pidemmät havaintovälit, jolloin mittaukset olisivat luotettavampia. Mitattu aineisto on lyhyillä havaintovälillä liian laaja ja sen käsittelemiseen menee paljon aikaa.

Hyvänä vaihtoehtona pitäisin käyttää 10 metrin havaintoväliä tai sitä suurempia, koska tukemiskoneelle mitattavien havaintojen ei tarvitse olla kovin lyhyin välein. Esimerkiksi jos 40 metrin suoralle rataosuudelle annettaisiin tukemiskoneelle 40 eri havainnon sijaintitiedot, tukemiskoneen kuljettaja käyttäisi luultavasti siitä vain

ensimmäisen ja viimeisen arvon. Se tarkoittaisi sitä, että mittaja on mitannut turhaan 38 havaintoa.

Tuloksien analysoimisen aikana esille nousi mittaustarkkuuden rajan asettaminen mittaukseen. Maastotallentimelle voisi asettaa toleranssirajan, jonka suuremmilla virheillä mittauksia ei pystyisi jatkamaan. Tämä olisi hyvä siksi, koska mittauskelkkaa kuljetettaessa tallentimen ilmoittamia arvoja ei pystytä tarkkaan havainnoimaan ja silloin havaintojoukkoon saattaa joutua epäluotettavia tuloksia.

## **6.2 Toinen vaihe**

Toisen vaiheen testimittaus suoritettiin Ylitornion rata-pihalla paaluvälillä 945+800 – 946+180. Mittaus suoritettiin klo 13:50-15:30 välisellä ajalla. Paaluväli mitattiin tien merkintä- että jatkuva mittausasetuksella. Tällä havaintovälillä sijaitsee kahden suoran välissä kaari, jonka pituus on 97 metriä. Kaaren kallistus on 60 millimetriä ja säde 1386 metriä.

Vastaanotin sijoitettiin 0,785 metrin korkeudelle radan korkeusviivasta ja sen vuoksi katkaisukulmaksi asetettiin 20 astetta. Vaikka katkaisukulmaa nostettiin, satelliittimäärä pysyi 10–13 kappaleen välillä niiden ollessa tasaisesti jakaantuneet taivaankannelle.

Takymetrillä emme lähteneet tekemään vertailumittauksia, koska vuoden 2009 syksyllä samalta alueelta on tehty tarkemittaukset ja luotimme siihen, että radan geometria ei ole muuttunut kuluneen talven aikana.

### **6.2.1 Mittaustulos**

Tien merkintäasetuksella tasotarkkuudeksi saatiin 28 millimetriä ja korkeustarkkuudeksi 11 millimetriä. Todella hyvä tulos varsinkin korkeustarkkuuden puolesta, koska suurin yksittäisen havainnon eroavaisuus oli 27 millimetriä. Tämä havainto oli ensimmäinen mitattu arvo tältä paaluväliltä ja tällä kohdalla oli lievästi peitteistä, joka luultavasti vaikutti tulokseen.

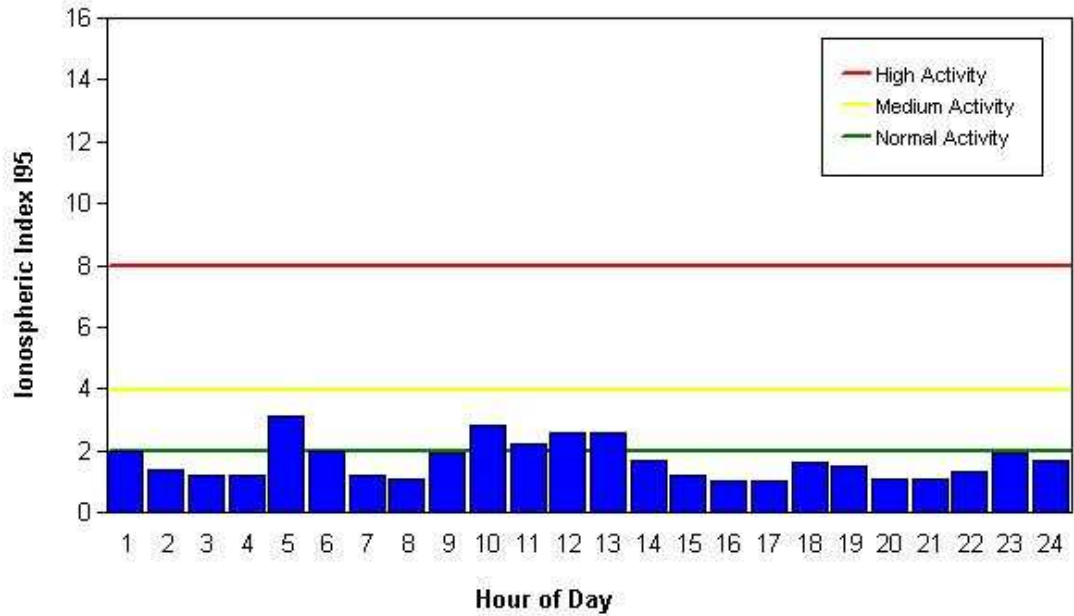
Tasotarkkuuden suuret eroavaisuudet eivät kuitenkaan vakuuta, koska muutamat yksittäiset havaintojen eroavaisuudet ovat aivan liian suuria ollakseen luotettavia. Tien merkintäasetuksella saadut tulokset olivat kuitenkin huomattavasti parempia kuin samalta alueelta mitatulla jatkuvalla mittauksella. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 11.

Jatkuvan mittauksen tasotarkkuudeksi saatiin 32 millimetriä, joka ei kovin paljon eroa tien merkinnästä, mutta korkeustarkkuudeksi saatiin 32 millimetriä, joka eroaa tien merkinnällä saatuihin tuloksiin melkein kolminkertaisesti. Voisiko jatkuvan mittauksen asetuksella saadut korkeuslukemat olla epäluotettavia sen takia, että mittauskelkka on koko ajan liikkeessä vai oliko tien merkinnällä saadut tulokset silkkää onnea? Jotta tähän kysymykseen saataisiin vastaus, olisi hyvä jatkaa testimittauksia ja tarkkailla korkeustarkkuuden käyttäytymistä. Itse arvioisin korkeustarkkuuden epäsäännöllisyyden johtuvan osaksi kummastakin asiasta. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 11.

Koska vertailutulokset oli mitattu syksyllä 2009, mittauksen tarkkuuden varmistamiseksi olisi hyvä tehdä takymetrillä kontrollimittaukset tältä alueelta, jos rata onkin muuttunut talven aikana. Tasotarkkuuden eroavaisuus voi johtua osaksi myös satelliittivastaanottimeen tehdystä muunnoksesta.

Vertasin myös GPS-mittauksen kahdella eri asetuksella mitattuja arvoja keskenään. Siinä tasotarkkuudeksi saatiin ainoastaan 7 millimetriä, josta voidaan päätellä, että alustus on luotettava ja mittauksen havainnot eivät ole sattumia. Korkeushavainnot erosivat kuitenkin toisistaan todella paljon, niiden erotuksien keskiarvoksi tuli 37 millimetriä. Tästä voidaan päätellä, että jatkuvalla mittauksella saadut arvot ovat epäluotettavia, koska tie merkinnällä saadut arvot olivat hyviä verrattuna takymetrimittauksiin. Mittaustulostaulukko, ks. LIITE 12.

Tarkastin myös mittauksen jälkeen ionosfääri-virheet mittauspäivämäärälle. Taulukon kävin lataamassa GPSnet.fi WWW-sivulta. Taulukosta 3 voidaan nähdä, ettei ilmakehä ollut normaalia aktiivisempi mittausajankohdan aikaan. Mittaus suoritettiin klo 13:50–15:30 välisenä aikana.

**TAULUKKO 3. Ionosfääri indeksi./14/**

Mittauksia tehdessä huomioksi nousi, voisiko tulivuoren tuhkan hiukkaspitoisuus vaikuttaa GPS-mittauksiin, koska mittauspäivämäärää ennen Islannissa oli tulivuorenpurkaus, joka vaikutti koko Pohjois-Euroopan lentoliikenteeseenkin. Tuhka kuitenkin lisää hiukkaspitoisuutta ilmakehässä jonka täten pitäisi vaikuttaa silloin GPS-mittauksiin. Tuhka levisi ilmakehän alimpiin kerroksiin, muttei kuitenkaan troposfäärin yläpuolelle. Silloin tuhkan vaikutus ei näy yllä olevassa ionosfäärivirhetaulukossa, koska Ionosfääri sijaitsee n. 50–1000 kilometrin välillä./11, s.117/.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteiksi oli asetettu testata uutta mittaustapaa, saada lisää kokemusta satelliittimittauksista ja sen soveltuvuudesta rautatien geometrian mittaamiseen rakentamamme mittauskelkan kautta. Tavoitteet saavutettiin siinä määrin, että saimme suoritettua testimittauksia yhteensä kahdeksan kappaletta, jatkokehitelmiä asian pohjalta saatiin lisää ja mittaustuloksista saatiin verrattain hyviä.

Yhteen tavoitteeseen opinnäytetyössä ei päästy, joka oli saada mittaustavasta käytännöllinen ja hyväksyttävä tapa mitata raidegeometriaa. Luvussa 2.3 esitettyjen Liikenneviraston rautatieosaston määrittämien raiteensijaintitaulukoiden mukaan mittausspoikkeama on niin pieni, ettei testimittauksissa saatujen tuloksien mukaan siihen toleranssiin voida vielä päästä. Mittaustapa ei myöskään vielä ole tarpeeksi käytännöllinen mittauksiin, vaan kelkkaan pitää tehdä muutoksia, jotta mittauksen kulku olisi sujuvampaa.

Itselleni testimittauksista saatujen tuloksien analysoiminen oli mielenkiintoista ja yllätyin mittauksista saatujen tuloksien laadusta. Tuloksissa yllätyin hyvästä korkeustarkkuudesta, joka monessa mittauksessa oli parempi kuin tasotarkkuus. Kaikkien mittauksien keskimääräiseksi tarkkuudeksi saatiin taso- ja korkeustarkkuudeksi 24 ja 22,4 millimetriä. Tulos on mielestäni vakuuttava varsinkin korkeustarkkuuden osalta, joka oli keskimääräisesti parempi kuin tasotarkkuus.

Käytin tässä opinnäytetyössä mittauksen tarkkuutena vertailumittausten erotuksista laskettua keskiarvoa eli mittauksen keskivirhettä. Se ei kuitenkaan kerro koko totuutta tarkkuudesta, koska yksittäiset huonot arvot jäävät keskiarvon laskemisessa piiloon. Yksittäiset havainnot ovat kuitenkin yhtäläillä tärkeitä kuin koko mittauksen onnistuminen.

Aihe lopulta on varsin mielenkiintoinen ja tässä työssä saadut tulokset raapaisivat vain pintaa. Jatkotavoitteita tulevaisuudelle olisi tehdä testimittauksia lisää, koska jokaisesta mittauksesta saadaan enemmän kokemusta. Kunnes otanta on tarpeeksi laaja, satelliittimittauksen tarkkuuden käyttäytymisestä tiedetään enemmän ja siitä voidaan ryhtyä tutkimaan tapoja, kuinka sitä parannetaan. Tarkkuuden perusteella voidaan päätellä, kuinka vaativiin mittauksiin sitä käytettäisiin. Testimittaukset tarkkuuden selville saamiseksi olisi parempi suorittaa ainoastaan suorilla rataosuuksilla, koska ilman mittausskelkan rakenteellisia muutoksia radan kaareissa mittaaminen ei tuota tarpeeksi luotettavia tuloksia.

Tarkkuuden parantamiseksi työn aikana esiin tulleita asioita olivat tarkempi suunnittelu ja mittauksen aikana tehtävät ratkaisut, kuten katkaisukulmien määrittäminen ja mittauksen luotettavuuden ja ympäristön seuraaminen. Koska VR-

Radalla työmaasta ja sen aloittamisen ajankohdasta kuitenkin tiedetään tarkoin jo hyvissä ajoin, työmaan tarkistaminen ja mittauksen suunnittelu ehkäisisivät tällöin osan mittauksissa tulleista virheistä.

Tuloksissa oli nähtävissä, että tasotarkkuuteen osaksi vaikuttaa mittausalueelle tehdyt muunnokset, koska muunnosta tehdessä sille tulee joka kerta jonkinlainen jäännösvirhe, joka vaikuttaa radan geometrian sijaintiin.

Näiden muunnosten kautta tulleet virheet saataisiin osaksi eliminoitua, jos rata-alueille tehdyt mittausjonot muutettaisiin nykyisestä Euref-fin koordinaatistoon. VRS-verkossa tehdyistä mittauksista saataisiin suoraan Euref-fin koordinaatteja ja tällöin GPS-mittauksiin tehtyjä muunnoksia ei enää tarvitsisi tehdä. Mutta koordinaattijärjestelmää ei VR-Rata pysty muuttamaan, koska Suomen rataverkon omistaa Liikenneviraston rautatieosasto. Tämä tarkoittaa sitä, että rata-alueen mittausperusta on Liikenneviraston omistama, joten koordinaattijärjestelmän muuttamisen tai sen suunnittelemisen aloittaminen olisi lähdettävä Liikenneviraston intressistä.

Mittauskelkan rakenteeseen ja käyttömukavuuteen tuli kehitysideoita varsin paljon. Rakenteen muutoksilla ja parannuksilla saadaan eliminoitua tiettyjä karkean virheen lähteitä, kuten mittauskelkan kääntyminen työnnettäessä ja vastaanottimen heiluminen kuljetettaessa. Kaareutuivissa rataosuuksissa mittaamiseen tulisi kehittää jonkinlainen järjestelmä, joka häivyttäisi kallistuksissa esiin tulevat virheet. Käyttömukavuuteen liittyviä kehitysideoita olivat lähinnä työntövarren ja maastotietokoneen sijoittaminen paremmin mittauskelkkaan, joka nopeuttaisi ja parantaisi työskentelyä.

Mittausasetuksiin jatkokehitelmiä syntyi varsinkin tulosten analysoimisen aikana. Koska mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa suuri määrä tekijöitä ja sen takia varsinkin paikkatiedon tarkka määrittäminen voi testimittauksissa käytetyllä jatkuvalla mittauksella tuottaa ongelmia. Osa ongelmista saadaan häivytettyä muokkaamalla jatkuvan mittauksen havaintovälien pituutta ja määrittämällä mittaustarkkuudelle toleranssi. Tarkkuutta voitaisiin mittausvaiheessa parantaa valitsemalla sopiva katkaisukulma esteiden osaksi pois jäämiseksi. Katkaisukulmaa ei kuitenkaan tulisi laittaa niin



suureksi, että se häivyttää satelliitit taivaalta, koska Suomessa suurin osa satelliiteista sijoittuu 45 asteen kulmaan horisontista ja siitä alaspäin.

Tieto satelliittijärjestelmien teoriasta ja sen soveltamisesta maanmittauksessa lisääntyi opinnäytetyön aikana runsaasti. Tuloksia analysoitaessa teorian ymmärtäminen ja edelliskesien saamani työkokemus oli tärkeää, että ongelmien ja tarkkuuteen vaikuttavien asioiden käsitteleminen oli helpompaa. Yhdessä näiden kanssa sain aiheeseen uusia näkökulmia ja jatkokehitelmiä.

Mikkelin Ammattikorkeakoululta saamani opetuksen avulla oli helpompi tutustua ja ymmärtää satelliittimittaukseen liittyvää kirjallisuutta. Opintoja olivat lähinnä geodesia ja matemaattiset aineet. Geodesian kautta oli helpompi ymmärtää satelliittimittauksissa käytettäviä termejä ja yksiköitä ja hallita tämän työn mittaussuunnitelmassa käytettävää ohjelmistoa. Matemaattisten aineiden saamani opetuksen kautta tuloksien käsitteleminen ja niihin tarvittavien ohjelmien hallitseminen oli ensiarvoisen tärkeää.

Testimittausten kokemusten perusteella voidaan esittää johtopäätöksiä, että mittauskelkalla suoritettava satelliittimittaus voisi olla käytännöllinen tapa päällysrakennetöiden ensimmäisellä tukemiskerralla, jonka ansiosta seuraavaa mittausta voisi jo ryhtyä valmistelemaan takymetrikalustolla. Koska keskimääräinen tarkkuus testimittauksissa oli vaaka- ja korkeustasossa 24 ja 22,4 millimetriä, ensimmäiselle tukemiskerralle annettavista korkeuden sijaintitiedoista voisi vähentää 30 millimetriä jättäen varaa toiseen tukemiskertaan. Tämä siksi, että raiteen rakentamisessa korkeusasema on tärkeä ja raide ei saa ylittää suunniteltua korkeutta. Seuraavat mittaukset suoritettaisiin takymetrikalustolla, minkä tuloksena lopullinen geometria saataisiin selville ja tukemiskone siirtäisi raiteen suunniteltuun sijaintiinsa.

Opinnäytetyön tekemisen aikaan heräsi kysymyksiä siitä, voisiko mittaaja ja tukemiskone kommunikoida sähköisesti toistensa välillä ja voisiko tämä tapahtua reaaliaikaisesti työmaalla. Mitatut raiteen sijaintitiedot voitaisiin siirtää esimerkiksi langattoman verkon kautta suoraan tukemiskoneen tietokoneeseen. Toinen vaihtoehto olisi siirtää tiedot tiedonsiirtokaapeleiden välityksellä suoraan maastotietokoneesta. Jatkossa mittaajan ja tukemiskoneen välistä yhteyttä voisi tutkia tarkemmin ja

selvittää, onko tukemiskoneen käyttämä ohjelmisto yhteensopiva mittauksesta saatujen formaattien kanssa.

Tärkeimpänä prioriteettinä jatkokehitysmien pohjalta olisi aluksi mittauskelkan rakenteesta johtuvien karkeiden virheiden eliminoiminen. Tämän jälkeen mittauskelkan käyttömukavuutta ja mittauksen käytännöllisyyttä voitaisiin ryhtyä kehittämään. Uskon että näiden jatkokehitysmien pohjalta voidaan mittauksesta saada käytännöllinen ja päätellä sen tarkkuuksien mukaan sille sopiva käyttökohteiden raidegeometrian mittauksissa.

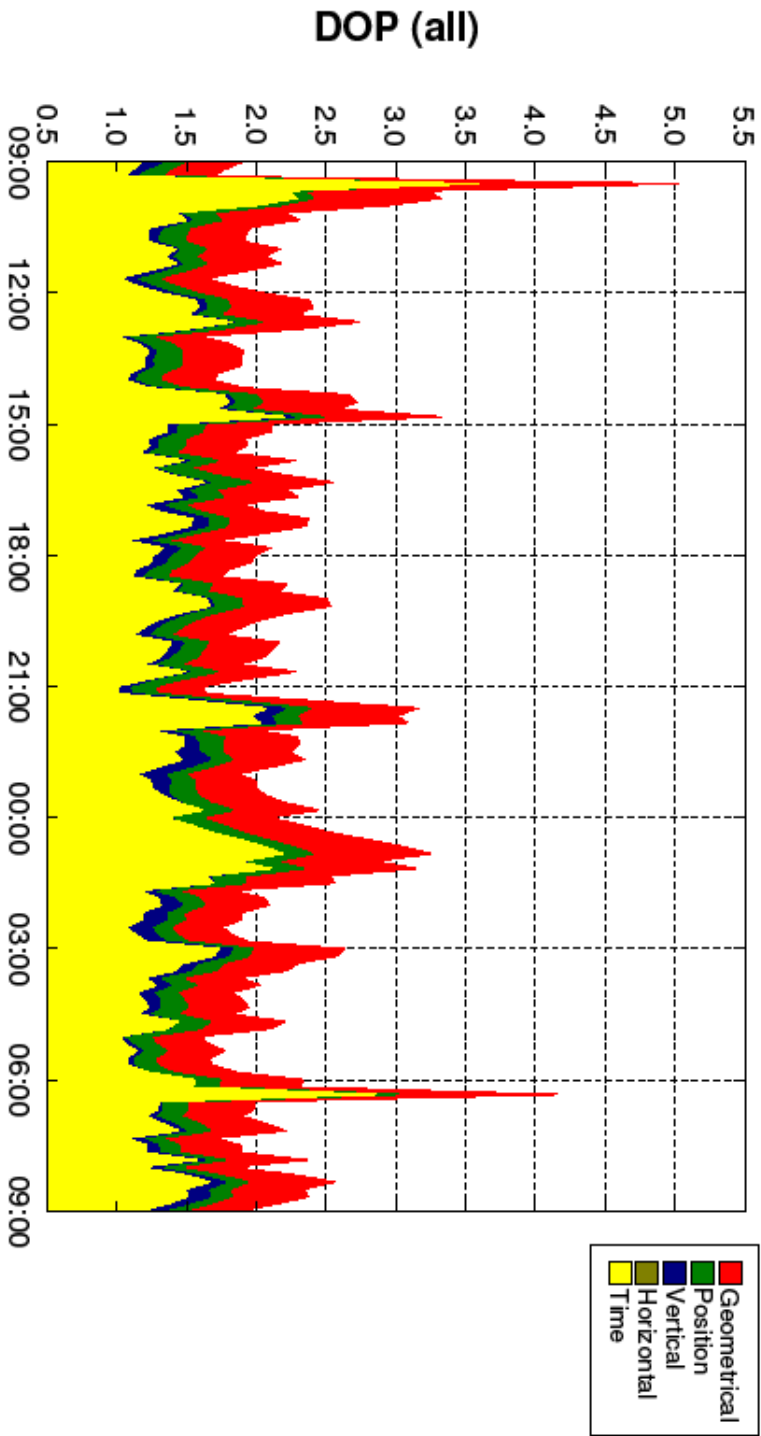
## 8 LÄHTEET

1. VR-Yhtymä Oy 2010. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.vr-konserni.fi/>. Luettu 22.4.2010
2. VR-Rata. Näin me sen teemme.
3. VR-Rata 2009. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.vr-rata.fi/>. Luettu 22.4.2010
4. Liikennevirasto rautatieosasto 2009. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.rhk.fi/>. Luettu 9.2.2010
5. Liikennevirasto rautatieosasto 2008. Ratatekniset ohjeet – radan rakenne. PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> Luettu 9.2.2010
6. Liikennevirasto rautatieosasto 2002. Ratatekniset ohjeet – radan päällysrakenne. PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> Luettu 9.2.2010
7. Liikennevirasto rautatieosasto 2004. Päällysrakennetöiden yleinen työselitys. PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> Luettu 9.2.2010
8. Liikennevirasto rautatieosasto 2003. Geodeettiset mittaukset. PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> Luettu 9.2.2010
9. Liikennevirasto rautatieosasto 2006. Radan tarkastus. PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> Luettu 29.4.2010
10. Nilomark Oy 2009. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.leica.fi/>. Luettu 22.3.2010.
11. Poutanen, Markku 1998. GPS – paikanmääritys. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa
12. Häkli, Pasi & Koivula, Hannu 2004. Virtuaali- RTK (VRS) tutkimus. Masala: Geodeettinen laitos.
13. Liikennevirasto rautatieosasto 2010. Radan geometria, PDF-dokumentti. <http://www.rhk.fi/> luettu 29.4.2010
14. Trimble 2010. GPS/GNSS Webservice. <http://gpsnet.fi/>. Luettu 28.4.

**LIITTEET**

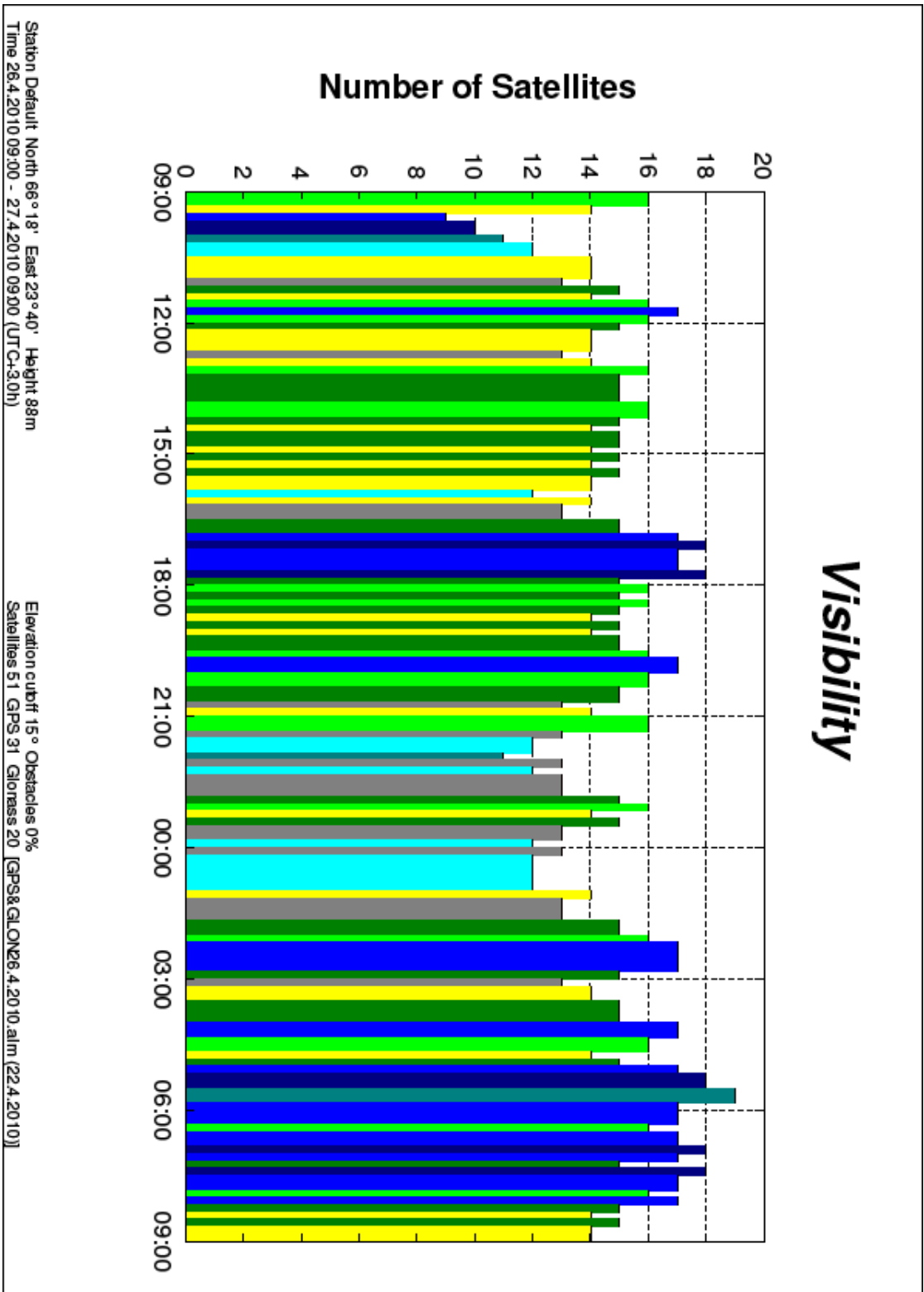
1. DOP- arvo -kaaviokuva
2. Visibility -kaaviokuva
3. Sky Plot -kartta
4. Elevation -kaaviokuva
5. Mittaustulos. Tien merkintä. Paaluväli 938+280-938+430.
6. Mittaustulos. Jatkuva mittaus. Paaluväli 938+280-938+430
7. Mittaustulos. Tien merkintä. Paaluväli 939+680-940+240
8. Mittaustulos. Tien merkintä. Paaluväli 943+520-944+320
9. Mittaustulos. Tien merkintä. Paaluväli 952+940-954+000
10. Mittaustulos. Jatkuva mittaus. Paaluväli 956+600-958+160
11. Mittaustulos. Jatkuva mittaus & tien merkintä. Paaluväli 945+800-946+160
12. Mittaustulos. Jatkuva mittaus & tien merkintä erotus. Paaluväli 945+800-946+160

# DOP (all)

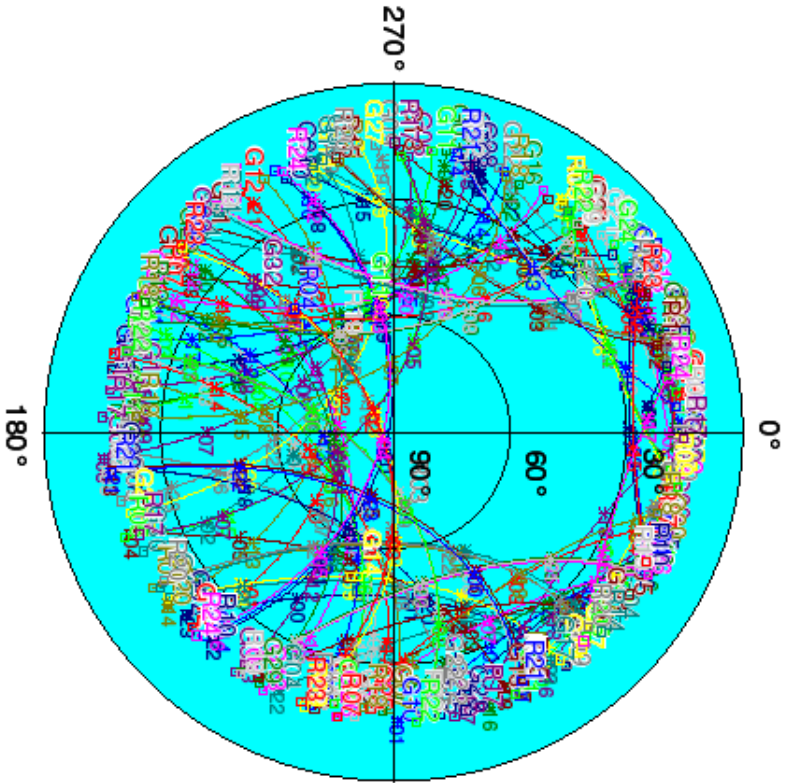


Station Default North 66° 18' East 23° 40' Height 88m  
Time 26.4.2010 09:00 - 27.4.2010 09:00 (UTC+3:0h)

Elevation cutoff 15° Obstacles 0%  
Satellites 51 GPS 31 Glonass 20 (GPS&GLON26.4.2010.alm (22.4.2010))



# Sky Plot

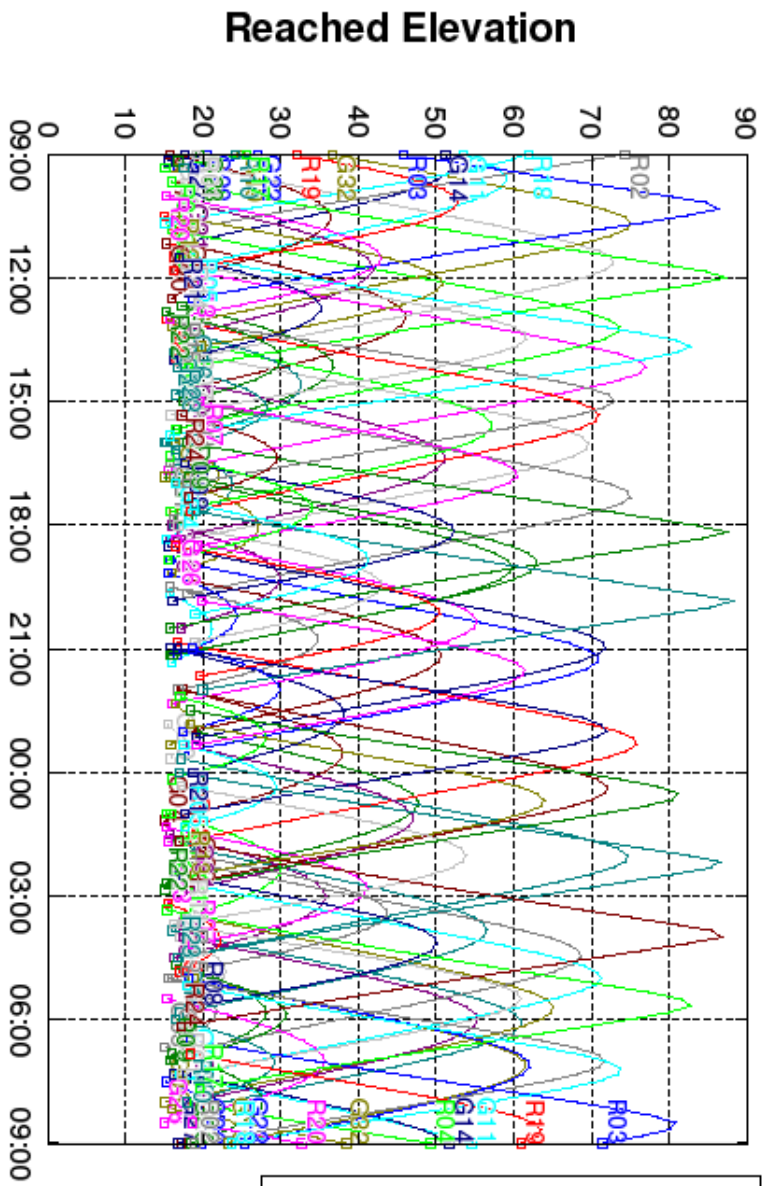


G02	G19	R04
G03	G20	R05
G04	G21	R07
G05	G22	R08
G06	G23	R09
G07	G24	R10
G08	G25	R13
G09	G26	R14
G10	G27	R15
G11	G28	R17
G12	G29	R18
G13	G30	R19
G14	G31	R20
G15	G32	R21
G16	R01	R22
G17	R02	R23
G18	R03	R24

Station Default North 66° 18' East 23° 40' Height 89m  
Time 26.4.2010 09:00 - 27.4.2010 09:00 (UTC+3.0h)

Elevation cutoff 15° Obstacles 0%  
Satellites 51 GPS 31 Glonass 20 [GPS&GLON&6.4.2010.alm (22.4.2010)]

# Elevation



Station Default North 66° 18' East 23° 40' Height 88m  
Time 26.4.2010 09:00 - 27.4.2010 09:00 (UTC+3.0h)

Elevation cutbrf 15° Obstacles 0%  
Satellites 51 GPS 31 Glorass 20 (GPS&GLON&A.2010.alm (22.4.2010))



MITTAUSTULOS						
PAALULLA	PAALULUKU	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS	X	Y	Z
938280	0,004	0,026	0,015	0,008	0,025	0,014
938290	0,009	0,028	0,019	0,02	0,022	0,019
938300	0	0,026	0,001	0,012	0,023	0
938310	0	0,025	0,001	0,011	0,022	0,001
938320	0	0,023	0,008	0,01	0,021	0,008
938330	0,005	0,028	0,001	0,008	0,028	0,002
938340	0,001	0,036	0,016	0,015	0,033	0,016
938350	0,001	0,035	0,016	0,014	0,032	0,016
938360	0	0,033	0,009	0,015	0,029	0,009
938370	0,005	0,034	0,026	0,018	0,028	0,025
938380	0,004	0,036	0,019	0,019	0,03	0,019
938390	0,008	0,034	0,022	0,022	0,027	0,022
938400	0,003	0,035	0,024	0,018	0,029	0,024
938410	0,007	0,034	0,017	0,021	0,027	0,017
938420	0,005	0,037	0,02	0,02	0,03	0,02
938430	0,003	0,039	0,018	0,02	0,034	0,019
	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m
	0,003	0,032	0,015	0,016	0,028	0,014

<b>MITTAUSTULOS</b>		
<b>PAALULUKU</b>	<b>TASOTARKKUUS</b>	<b>KORKEUSTARKKUUS</b>
938280	0,027	0,018
938290	0,019	0,016
938300	0,018	0,029
938310	0,017	0,045
938320	0,013	0,021
938330	0,02	0
938340	0,021	0,011
938350	0,025	0,002
938360	0,029	0,015
938370	0,025	0,019
938380	0,019	0,021
938390	0,022	0,004
938400	0,019	0,021
938410	0,024	0,04
938420	0,02	0,06
938430	0,021	0,101
	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>
	0,021	0,026

MITTAUSTULOS						
PAALULLA	PAALULUKEMA	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS	X	Y	Z
939+680	0,001	0,009	0,019	0	0,01	0,02
939+720	0,005	0,002	0,01	0	0	0,01
939+760	0,007	0,004	0,006	0	0,01	0,01
939+800	0,019	0,006	0,034	0,01	0,01	0,03
939+840	0,013	0,003	0,008	0,01	0,01	0,01
939+880	0,009	0,009	0,005	0	0,01	0
939+920	0,01	0,01	0,04	0	0,01	0,04
939+960	0,01	0,018	0,074	0,02	0,01	0,07
940+000	0,008	0,005	0,001	0,01	0	0
940+040	0,023	0,017	0,008	0,03	0	0,01
940+080	0,014	0,026	0,097	0,02	0,02	0,1
940+120	0,01	0,017	0,008	0,02	0,01	0,01
940+160	0,007	0,002	0,049	0,01	0	0,05
940+200	0,007	0,018	0,023	0,01	0,01	0,02
940+240	0,012	0,024	0,019	0,02	0,02	0,02
	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m	Keskiarvo m
	0,010	0,011	0,027	0,011	0,009	0,027

		MITTAUSTULOS					
PAALULLA		PAALULURKU	TASOTARKKUUUS	KORKEUSTARKKUUUS	X	Y	Z
	943+520	0,021	-0,041	0,002	0,002	-0,046	0,001
	943+540	0,039	-0,046	0,018	0,015	-0,058	0,018
	943+560	0,037	-0,044	0,021	0,014	-0,055	0,021
SA	943+581,509	0,041	-0,037	0,036	0,021	-0,051	0,036
	943+600	0,030	-0,021	0,022			
	943+640	0,028	-0,021	0,020	0,016	-0,031	0,020
	943+680	0,017	-0,010	0,021	0,011	-0,017	0,021
	943+720	0,017	-0,015	0,029	0,008	-0,022	0,029
	943+760	0,018	-0,006	0,034	0,013	-0,014	0,033
SA	943+794,967	0,012	-0,020	0,040	0,002	-0,023	0,041
	943+800	0,037	0,000	0,067			
	943+820	0,026	-0,024	0,034	0,013	-0,033	0,034
	943+840	0,021	-0,020	0,032	0,010	-0,026	0,032
	943+860	0,014	-0,040	0,026	0,003	-0,043	0,026
	943+880	0,017	-0,041	0,030	0,001	-0,045	0,030
SL	943+890	0,021	-0,027	0,048	0,010	-0,033	0,048
	943+891,858	0,015	-0,036	0,013	0,001	-0,039	0,012
	943+900	0,008	-0,037	0,013	0,004	-0,039	0,012
	943+940	0,012	-0,039	0,001	0,000	-0,040	0,001
	943+960	0,005	-0,046	0,001	0,007	-0,046	0,001
	943+980	0,005	-0,049	0,002	0,006	-0,048	0,001
	943+998,979	0,003	-0,047	0,013	0,005	-0,046	0,012
	944+020	0,008	-0,042	0,005	0,001	-0,043	0,005
	944+040	0,006	-0,038	0,023	0,011	-0,036	0,023
	944+060	0,033	-0,041	0,062	0,037	-0,038	0,062
	944+080	0,007	-0,042	0,007	0,010	-0,041	0,006
	944+100	0,010	-0,021	0,065	0,011	-0,020	0,065
	944+120	0,006	-0,033	0,047	0,004	-0,033	0,047
	944+140	0,001	-0,028	0,079	0,001	-0,028	0,079
	944+156,072	0,008	-0,025	0,092	0,006	-0,025	0,093
	944+180	0,014	-0,033	0,033	0,010	-0,036	0,033
	944+220	0,030	-0,022	0,004	0,061	-0,008	0,004
	944+240	0,004	-0,032	0,001	0,001	-0,027	0,001
	944+260	0,000	-0,026	0,001	0,005	-0,024	0,001
	944+280	0,006	-0,018	0,005	0,001	-0,023	0,006
SA	944+300	0,005	-0,002	0,002	0,000	-0,018	0,002
	944+320	0,016	-0,016	0,036	0,011	-0,016	0,036
		Keskiluvu m	Keskiluvu m	Keskiluvu m	Keskiluvu m	Keskiluvu m	Keskiluvu m
		0,017	0,029	0,027	0,009	0,033	0,026

Y  
m  
p  
y  
f  
a  
k  
a  
a  
f  
i

		MITTAUSTULOS					
PAALULLA	PAALULUKU	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS	X	Y	Z	
	952+940	0,305	0,012	0,024	0,303	0,030	0,027
	952+960	0,018	0,015	0,023	0,018	0,015	0,022
	952+980	0,003	0,015	0,045	0,003	0,015	0,045
	953+000	0,022	0,014	0,013	0,022	0,014	0,012
	953+020	0,020	0,015	0,018	0,020	0,016	0,018
	953+040	0,027	0,020	0,023	0,026	0,022	0,022
	953+060	0,013	0,027	0,048	0,012	0,028	0,048
	953+080	0,015	0,028	0,031	0,013	0,030	0,031
	953+100	0,025	0,026	0,051	0,022	0,028	0,050
	953+120	0,035	0,013	0,020	0,033	0,018	0,019
	953+140	0,045	0,016	0,026	0,042	0,023	0,026
	953+160	0,041	0,012	0,030	0,038	0,019	0,030
	953+180	0,058	0,018	0,001	0,053	0,029	0,001
	953+200	0,038	0,004	0,009	0,037	0,012	0,010
SL	953+205,978	0,025	0,005	0,025	0,026	0,002	0,024
	953+220	0,027	0,005	0,023	0,028	0,001	0,023
	953+240	0,019	0,004	0,009	0,018	0,007	0,009
	953+260	0,019	0,001	0,019	0,018	0,007	0,019
	953+280	0,017	0,002	0,022	0,015	0,007	0,022
	953+300	0,016	0,001	0,033	0,014	0,006	0,033
	953+320	0,014	0,012	0,021	0,013	0,008	0,022
SA	953+330,956	0,013	0,002	0,034	0,013	0,005	0,034
	953+360	0,004	0,037	0,021	0,007	0,007	0,022
	953+400	0,002	0,014	0,020	0,006	0,010	0,019
	953+440	0,008	0,000	0,005	0,011	0,010	0,005
	953+480	0,021	0,004	0,009	0,023	0,001	0,009
	953+520	0,016	0,025	0,014	0,023	0,018	0,015
	953+560	0,017	0,026	0,019	0,023	0,016	0,020
SA	953+580,639	0,014	0,011	0,037	0,020	0,016	0,037
	953+600	0,026	0,016	0,058	0,033	0,018	0,058
	953+620	0,025	0,008	0,041	0,030	0,011	0,041
	953+640	0,009	0,004	0,052	0,011	0,002	0,052
SL	953+658,66	0,006	0,014	0,054	0,003	0,014	0,055
	953+680	0,005	0,012	0,040	0,004	0,006	0,040
SL	953+689,044	0,007	0,004	0,021	0,007	0,003	0,021
	953+700	0,000	0,001	0,052	0,002	0,006	0,052
	953+720	0,008	0,012	0,008	0,008	0,001	0,009
	953+740	0,008	0,013	0,008	0,008	0,002	0,008
	953+760	0,016	0,008	0,002	0,016	0,002	0,002
	953+767,09	0,003	0,004	0,026	0,003	0,001	0,025
SA	953+796,974	0,010	0,018	0,006	0,013	0,005	0,004
EJ	953+825,309	0,007	0,005	0,001	0,008	0,007	0,003
TJ	953+840	0,006	0,001	0,030	0,005	0,008	0,030
	953+860	0,006	0,001	0,035	0,005	0,002	0,036
	953+920	0,013	0,003	0,001	0,013	0,003	0,000
	953+960	0,009	0,003	0,016	0,008	0,010	0,015
	954+000	0,885	0,008	0,020	0,000	0,017	0,020
	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>	<b>Keskiarvo m</b>	
	<b>0,041</b>	<b>0,011</b>	<b>0,024</b>	<b>0,023</b>	<b>0,011</b>	<b>0,024</b>	

MITTAUSTULOS		
PAALULUKU	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS
956600	0,021	0,01
956640	0,015	0,023
956680	0,029	0,012
956720	0,028	0,017
956760	0,032	0,006
956800	0,005	0,018
956840	0,024	0,006
956880	0,032	0,066
956920	0,028	0,011
956960	0,018	0,057
957000	0,029	0,002
957040	0,042	0,005
957080	0,041	0,025
957120	0,032	0,027
957160	0,047	0,011
957200	0,041	0,028
957240	0,050	0,005
957280	0,048	0,041
957320	0,043	0,009
957360	0,044	0,002
957400	0,038	0,01
SA 957412	0,048	0,027
957420	0,044	0,003
957440	0,033	0,004
957460	0,038	0,027
SL 957480	0,020	0,006
957485	0,027	0,017
957500	0,025	0,001
957520	0,022	0,006
957540	0,020	0,018
957560	0,009	0,016
957580	0,018	0,015
957600	0,022	0,023
957620	0,021	0,023
957640	0,017	0,014
957660	0,012	0,02
957680	0,019	0,01
957700	0,022	0,015
957720	0,027	0,025
957740	0,034	0,006
957760	0,018	0,001
957780	0,024	0,007
957800	0,020	0,014
957840	0,020	0,037
957880	0,024	0,004
957900	0,022	0,017
957920	0,034	0,012
957940	0,019	0,011
957960	0,017	0,02
SL 957980	0,017	0,015
958000	0,021	0,009
958040	0,022	0,025
958080	0,040	0,016
SA 958094	0,038	0,002
958120	0,039	0,005
YK 958160	0,043	0,016
	Keskiarvo m	Keskiarvo m
	0,028	0,016

## JATKUVA MITTAUS

MITTAUSTULOS			
	PAALULUKU	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS
	945799,109	0,051	0,01
	945839,495	0,053	0,085
	945879,622	0,048	0,049
SA	945895,700	0,037	0,026
	945919,478	0,041	0,009
	945939,600	0,03	0,058
	945959,749	0,021	0,078
	945980,003	0,019	0,025
SL	945992,694	0,015	0,052
	946000,000	0,018	0,031
	946019,925	0,024	0,034
	946039,952	0,006	0,028
SL	946048,236	0,001	0,019
	946059,616	0,032	0,038
	946079,791	0,039	0,012
	946099,813	0,046	0,02
	946119,917	0,023	0,041
SA	946145,287	0,089	0,006
	946160,357	0,037	0,006
		Kesklarvo m	Kesklarvo m
		0,032	0,032

## TIEN MERKINTÄ

MITTAUSTULOS			
	PAALULUKU	TASOTARKKUUS	KORKEUSTARKKUUS
	945+800	0,051	0,027
	945+840	0,047	0,023
	945+880	0,045	0,009
SA	945+895,7	0,028	0,004
	945+920	0,025	0,003
	945+940	0,02	0,02
	945+960	0,016	0,012
	945+980	0,011	0,015
SL	945+992,7	0,017	0,006
	946+000	0,009	0,013
	946+020	0,008	0,001
	946+040	0,012	0,013
SL	946+048,3	0,002	0,004
	946+060	0,02	0,007
	946+080	0,032	0,009
	946+100	0,038	0,006
	946+120	0,04	0,008
SA	946+145,2	0,061	0,01
	946+160	0,042	0,016
		Kesklarvo m	Kesklarvo m
		0,028	0,011

<b>MITTAUSTULOS</b>			
	<b>PAALULUKU</b>	<b>TASOTARKKUUS</b>	<b>KORKEUSTARKKUUS</b>
	945799	0	0,017
	945819	0,001	0,066
	945839	0,006	0,042
	945860	0,006	0,067
	945880	0,003	0,04
<b>SA</b>	945896	0,009	0,03
	945919	0,016	0,012
	945940	0,01	0,078
	945960	0,005	0,09
	945980	0,008	0,04
<b>SL</b>	945993	0,002	0,046
	946000	0,009	0,044
	946020	0,016	0,033
	946040	0,006	0,015
<b>SL</b>	946048	0,001	0,023
	946060	0,012	0,031
	946080	0,007	0,003
	946100	0,008	0,026
	946120	0,017	0,049
<b>SA</b>	946145	0,008	0,004
	946160	0,005	0,01
	946180	0,001	0,04
		<b>Kesklarvo m</b>	<b>Kesklarvo m</b>
		<b>0,007</b>	<b>0,037</b>