

Lare Lautiainen

SATELLIITTIMITTAUKSEN
KÄYTTÖ
RAJAAMISTOIMITUKSISSA

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka


Toukokuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 4.5.2011
Tekijä(t) Lare Lautiainen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Maanmittaustekniikka
Nimeke Satelliittimittauksen käyttö rajaamistoimituksissa		
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tutustua satelliittipaikannusjärjestelmiin (GLONASS, GPS ja Galileo) sekä kävin läpi rajaamistoimitusten maastotyövaiheet. Tarkoitus oli vertailla satelliittimittauksella ja takymetrimittauksella saatavia koordinaatteja keskenään. Pohdin myös, kumpi mittausmenetelmä on nopeampi. Esimerkkikohde on Etelä-Savon maanmittaustoimiston alueella sijaitseva Alamaan maantie. Suoritin tarvittavat mittaukset työn kannalta syksyllä 2009, minkä jälkeen pystyin vertailemaan saatuja tuloksia keskenään. Itse suoritin mittaukset GPS-mittalaitteella ja perässä tuli toinen ryhmä takymetrin kanssa. Näin sainme halutuille pisteille kahdet eri koordinaatit, kahdella eri mittausmenetelmällä. Työstäni käy ilmi, että satelliittipaikannuksella on mahdollista saavuttaa yhtä tarkat mittaukset kuin takymetrillä määritettäessä rajalinjoja. GPS osoittautui myös tehokkaaksi työkaluksi riippuen kuitenkin kohteen sijainnista ja mittausajankohdasta. Käytettäessä GPS-mittalaitetta tulee mittaajan osata arvioida jokaisen mitattavan kohteen osalta, kumpi on tehokkaampi vaihtoehto mitata, satelliittimittaus vai takymetrimittaus. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että satelliittipaikannuksella pääsee yhtä tarkkoihin mittauksiin kuin takymetrillä. Satelliittipaikannuksella on mahdollista suorittaa mittauksia nopeammin, mikäli olosuhteet ovat suotuisat. Opinnäytetyöni antaa käyttö kelpoisen kuvauksen satelliittipaikannuksen käytöstä rajaamistoimitusten yhteydessä.		
Asiasanat (avainsanat) maanmittaus, satelliittipaikannus, vertailu		
Sivumäärä 32 + liitteet 8 s.	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105046012
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Pekka Saikko		Opinnäytetyön toimeksiantaja

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 4.5.2011
Author(s) Lare Lautiainen	Degree programme and option Degree programme in Surveying	
Name of the bachelor's thesis Using satellite measuring at mark out proceedings		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to compare two different surveys measuring methods, satellite measuring and tachymeter measuring. My goal was to see if the satellite measuring would be more accurate and faster way to do measuring than tachymeter. I also wanted to deepen my knowledge to satellite systems.</p> <p>I made needed measuring during in the autumn 2009. During these measuring I got the coordinates I needed to make comparing survey between satellite measuring and tachymeter measuring.</p> <p>The measuring results made believe that it's possible get as accurate coordinates by using satellite measuring than it's when used tachymeter measuring. The results also depend on measuring conditions which can in worst case prevent satellite measuring totally. So satellite measuring is faster than tachymeter, but you must take into account all possible things than can affect either measuring itself or the results.</p>		
Subject headings, (keywords) land surveying, comparison, satellite navigation		
Pages 32 p. + appendices 8 p.	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105046012
Remarks, notes on appendices		
Tutor Pekka Saikko	Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	MAANTIELAKI JA TOIMITUKSET	1
2.1	Maanmittauslaitos	2
2.2	Maantietoimitus	2
3	SATELLIITTIMITTAUKSET	4
3.1	Mittausmenetelmät	4
3.1.1	Absoluuttinen paikanmääritys.....	4
3.1.2	Differentiaalinen paikanmääritys	5
3.1.3	Suhteellinen paikanmääritys	5
3.1.4	VRS-verkko	6
3.2	Satelliittimittaukseen vaikuttavat virhelähteet.....	7
3.2.1	Ilmakehä.....	7
3.2.2	Monitieheijastus	8
3.2.3	Satelliittigeometria.....	8
3.3	GNSS- järjestelmät	9
3.3.1	GPS	10
3.3.2	GLONASS	13
3.3.3	Galileo.....	15
4	RAJAAMISTOIMITUSTEN TYÖVAIHEET.....	19
4.1.1	Etupyykkien etsintä.....	20
4.1.2	Jonon suunnittelu ja rakentaminen.....	20
4.1.3	GPS kynsien mittaus	20
4.1.4	Paalutus ja kartoitus	21
4.1.5	Takapyykkien etsintä ja mittaus.....	22
4.1.6	Rajanselvitykset	23
4.1.7	Kuviointi	24
5	ALAMAAN MAANTIE	24
5.1	Mittaukset	24
5.2	Tulokset	26
6	POHDINTA	27

LÄHTEET	30
---------------	----

LIITTEET

LIITE 1. Rajaamis -prosessin työvaihe kaavio

LIITE 2. RSK-lukusuositukset GPS-mittauksissa

LIITE 3. Takymetrimittausten tarkkuusvaatimukset

LIITE 4. VRS-verkon rakenne

LIITE 5. Alamaan maantien yleiskartta

LIITE 6. Mittausajankohdan DOP-luvut

KÄSITTEITÄ

GPS-mittalaite	Tässä työssä GPS-mittalaitteella tarkoitetaan satelliittimitauksessa käytettävää laitetta, joka pystyy käyttämään sekä GPS-järjestelmän että GLONASS-järjestelmän lähettämiä signaaleja.
RSK	Tunnusluku, joka määräytyy pistekeskivirheen kautta ja saatan jonkin arvon, mikä ilmoittaa sijaintitarkkuuden.
Satelliittialmanakka	Satelliittialmanakasta ilmenee paras mittausajankohta, mikäli kohteelta on käyty keräämässä tarvittavat tiedot. Muuten näyttää ainoastaan, kuinka paljon satelliitteja on käytävissä ja miten ne ovat sijoittuneet kyseisellä alueella. Mahdollisia maastoesteitä ei kuitenkaan huomioida.
Takymetri	Mittalaite, jolla voidaan mitata kulmia ja etäisyyksiä sekä määrittää näiden avulla vaakamatkoja ja korkeuseroja. Kun laite orientoidaan tunnettujen pisteiden suhteen, saadaan myös koordinaatteja.
Rajaamistoimitus	Rajaamistoimitus tehdään jo olemassa olevalle tiealueella, ja tällöin määritetään tiealueen tai liitännäisalueen raja. Rajat tulee merkitä maastoon ja toimituskartalle sekä viedään kiinteistörekisteriin. Toimitus suoritetaan maantielain perusteella ja kyseessä on lunastustoimitus, minkä jälkeen maanomistajalle maksetaan maapohjasta lunastetun alueen osalta korvaukset.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheeksi valitsin satelliitti- ja takymetrimittauksen maantietoimituksissa. Keskityn siinä eritoten olemassa olevien tiealueiden rajaamiseen. Idean aiheeseeni sain oltuani kolmena kesänä töissä Etelä-Savon maanmittaustoimistolla ja juteltuani asiasta tuotantopäällikkö Juha Tuomisen kanssa.

Alamaan maantie sovittiin testikohteeksi, ja suoritan siellä tarvittavat mittaukset johtopäätösten pohjaksi syksyn 2009 aikana. Mittausten välisiä eroja vertaan pääasiassa rajanselvitysvaiheessa, koska Mikkelin toimipisteessä rajanselvitykset on käytännössä tehty takymetrin avulla. Käsityksenä on kuitenkin ollut, että osa tehtävistä mittauksista voitaisiin tehdä nopeammin satelliittimittauksella. Opinnäytetyöni tavoitteena on myös selvittää satelliittipaikannusjärjestelmiä ja satelliittimittaukseen vaikuttavia tekijöitä.

Etsin opinnäytetyössäni vastauksia seuraaviin kysymyksiin: Tarjoaako satelliittimittaus aikaisempaa nopeamman tavan suorittaa mittauksia usein melko peitteisessä ympäristössä? Kannattaisiko rajanselvitysvaiheessa käyttää satelliittimittausta täydentämään takymetrimittausta? Muuttuuko mittausten tarkkuus, jos siirrytään käyttämään satelliittimittausta kokonaan?

2 MAANTIELAKI JA TOIMITUKSET

Uusi maantielaki korvasi 1.1.2006 vanhan yleisistä teistä annetun lain, mikä on ollut käytössä 21.5.1954 asti. Maantielain tarkoitus oli ainoastaan yleistielainsäädännön ajantasaus, jolla koottiin entinen yleistielaki ja laki oikeudesta entiseen tiealueeseen saman lain alle. Maantielain myötä kaikki tiet olisivat maanteitä, joiden ylläpidosta vastaisi valtio. Yleisistä teistä annetun lain aikaan erottamattoman maantien leveys oli metri ojan ulkosyrjästä, mutta maantielain myötä leveys nousi kahteen metriin. /1, s. 1-2./

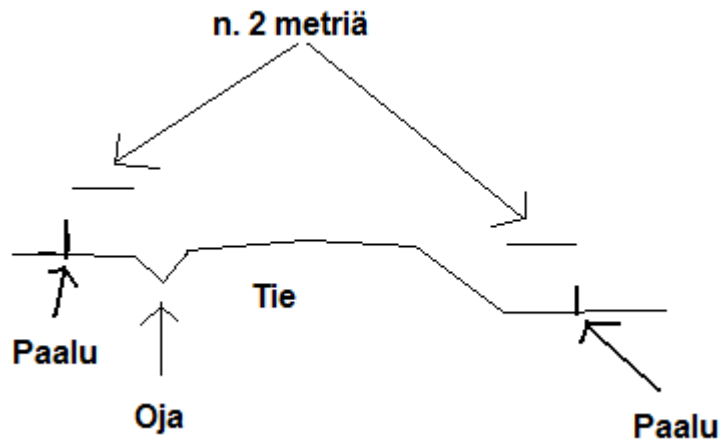
2.1 Maanmittauslaitos

Maanmittauslaitos toimii maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa. Sen tehtävä on huolehtia maamme maanmittaustoimituksista, kartta-aineistoista, kiinteistötiedoista, lainhuudoista ja kiinnityksistä sekä ylläpitää valtakunnallista paikkatietohakemistoa. Maanmittauslaitoksen palveluksessa työskentelee lähes 2 000 osaajaa 35 paikkakunnalla 12 maanmittaustoimistossa ja 6 valtakunnallisessa tuotanto- ja palveluyksikössä. Maanmittauslaitoksen keskushallinto on Helsingissä. Maanmittauslaitoksen suurin asiakasryhmä on kotitaloudet. Kotitalouksien lisäksi muita asiakkaita ovat elinkeinoelämä, valtio ja kunnat. /2./

2.2 Maantietoimitus

Maantietoimitus tiealueen merkitsemiseksi eli rajaamistoimitus perustuu maantielaikiin. Tietoimitus on tarpeen yleisiä teitä rakennettaessa tai parannettaessa, kun kiinteistöstä joudutaan ottamaan maa-alueita tietä varten. Toimitus voidaan pitää myös olemassa olevan tien tiealueen rajojen määrittämiseksi /3, s. 2./

Rajaamistoimitus suoritetaan silloin, kun maastoon merkitään kiinteistön ja valtion omistaman tiealueen välinen raja sekä samassa yhteydessä tehtävä toimituskartta ja muut asiakirjat. Tiealue paalutetaan kahden metrin päähän ojan tai tieluiskan tai leikkauksen ulkosyrjästä (kuva 1). Rajaus voidaan suorittaa myös kapeampana tienpitäjän osoituksen mukaan. Kyse ei ole olemassa olevan tien leventämisestä, vaan olemassa olevan tiealueen rajojen merkitsemisestä. Tiealueen rajan määrittämisen yhteydessä on usein selvitettävä myös tiestä pois päin lähtevien kiinteistöjen väliset rajat. Tien reunasta kadonneet kiinteistöjen väliset rajapyvyt rakennetaan uudelleen kiinteistöjen välisen rajan ja tiealueen rajan leikkauskohtaan. Tietoimituksen yhteydessä pääsääntöisesti vain tällaiset rajat käydään eli vahvistetaan kiinteistöjen välisiksi rajoiksi. /4, s. 2-3./



KUVA 1. Tien paalutus

Yleisemmin tiehallinto on maantietoimituksen hakija, mutta myös yksityinen voi hakea kyseistä toimitusta. Tiehallinto maksaa toimituksesta aiheutuvat kulut. /3, s. 2./

Jottei kenenkään oikeuksia rikota maantietoimitusta tehdessä, maanmittaustoimisto määrää toimitusinsinöörin ja kaksi kunnanvaltuuston valitsemaa uskottua miestä puolueettomaan lunastustoimikuntaan /3, s. 2./ Kunnanvaltuusto nimeää uskotut miehet ja heidän tulee olla paikalliset olot tunteva sekä perehtyneitä kiinteistöasioihin. Uskottuja miehiä on käytettävä maantietoimituksissa, kun kyse on korvauksista. Uskottujen miesten esteellisyydestä päättää toimitusinsinööri. Kussakin toimituksessa tulisi käyttää samoja uskottuja miehiä koko toimituksen ajan, mikäli vain mahdollista. /5./

Rajaamistoimituksessa töihin sisältyy maasto- ja toimistotöitä. Tiealueen rajaamistoimitus alkaa arkistotöillä, minkä jälkeen lähdetään maastoon suunnittelemaan ja rakentamaan jono sekä paaluttamaan tiealue. Ennen kartoitusta on suotavaa etsiä etupyykit, jotta ne voidaan kartoitusvaiheessa kartoitettua. Takapyykkien etsiminen ja mittaaminen on myös hyvä tehdä ennen ajantasakartan laatimista rajanselvitys vaihetta varten. Tämän jälkeen vuorossa onkin rajanselvitys, mikä on tärkeä ja aikaa vievä vaihe. /3, s. 2./ Työvaiheet on kuvattu prosessikaaviossa (liite 1).

3 SATELLIITTIMITTAUKSET

Maanmittaustoimitusten maastotöissä käytetään hyödyksi sekä satelliittimittausta että takymetrimittausta. Satelliittimittaus on nopeutunut viime vuosina, mikä johtuu pääasiassa paikannussatelliittien määrän lisääntymisestä taivaalla sekä mittalaitteiden kehittymisestä. Tästä on seurannut, että maasto-olosuhteissa GPS-mittalaitteista on tullut merkittävä osa mittaustapahtumaa. Mitataanpa takymetrillä tai GPS-mittalaitteelle, aina tulee määrittää pyykille RSK-luku. RSK-luku kertoo mittaajalle, kuinka luotettavina pyykin koordinaatteja voidaan pitää ja onko tarpeellista kyseistä pyykkiä edes käydä mittaamassa. Tästä johtuen on tärkeää mitatessa antaa totuuden mukainen RSK-arvo, koska jos mittaus onnistuu, jatkossa kyseistä pyykkiä ei ole tarpeen mitata, ellei halua suorittaa tarkistusmittauksen. Jos pyykille ei saada kuitenkaan kunnon arvoja, ei RSK-luku kannata määrittää liian hyväksi, jotta mahdollisesti joskus kyseistä pyykkiä tarvitseva mittaaja osaa suhtautua koordinaatteihin varauksella. RSK-lukusuositukset GPS -mittauksissa (liite 2) sekä määräykset takymetri mittausten tarkkuudesta kiinteistötoimituksissa (liite 3) löytyvät liitteistä.

3.1 Mittausmenetelmät

Satelliittimittausta voi tehdä joko reaaliaikaisena tai jälkilaskennan avulla, mutta viimeksi mainitun tulokset saadaan kuitenkin vasta toimistolla käyttöön. Paikkatiedon keruussa käytetään yleensä ottaen reaaliaikaisia mittausmenetelmiä. Satelliittimittaus voidaan jakaa kolmeen erilaiseen paikanmäärittämenetelmään: absoluuttiseen -, differentiaaliseen -, ja suhteelliseen paikanmäärittämiseen. /6, s. 6./

3.1.1 Absoluuttinen paikanmäärittäminen

Absoluuttinen paikanmäärittäminen tapahtuu yhdellä vastaanottimella, esimerkiksi käsinavigaattorilla, satelliittien signaalien C/A -koodihavaintoja hyväksi käyttäen. Jokainen satelliitti lähettää omaa C/A -koodia, johon vastaanotin lukittautuu. Satelliittien paikka on lähetetty navigointiviestissä, mistä seuraa, että vastaanottimen paikka voidaan tällöin laskea. Paikanmäärittäminen vaatii kuitenkin vähintään neljä satelliittia. Tarkkaa paikanmäärittämistä ei kyseessä olevalla mittalaitteella pysty tekemään, sillä tarkkuus pyörii muutamissa metreissä. /6, s. 6./

3.1.2 Differentiaalinen paikanmääritys

Differentiaalisessa paikanmäärityksessä (DGPS) virheiden pienentämiseksi käytetään differentiaalikorjausta. Korjaukset satelliittien etäisyyteen on määritetty jollakin koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä, ja ne välitetään vastaanottimelle radion välityksellä. Suomessa differentiaalikorjausta välittävät muun muassa Digita (www.digita.fi) ja Merenkululaitos (www.fma.fi). DGPS - korjausta välittää myös Geotrim oy GSM/GPRS - yhteyden avulla VRS –verkosta Tarkkuus DGPS mittauksessa on noin 0,5 – 5,0 m luokkaa. /7./

3.1.3 Suhteellinen paikanmääritys

Suhteellinen paikanmääritys perustuu satelliittien kantoaallon hyväksi käyttöön. Jotta paikan määritys onnistuu, tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta, joista toinen sijaitsee tunnetulla pisteellä. Vastaanotin lukittuu satelliitin lähettämään signaaliin, minkä jälkeen vastaanotin mittaan sillä hetkellä tulevan kantoaallon vaiheen ja aloittaa sen jälkeen tulevien kokonaisten aallonpituuksien lukumäärän laskemisen. Mittauksen aloitushetkellä satelliittien ja vastaanottimen välisten kokonaisten aallonpituuksien lukumäärä on tuntematon N , N säilyy vakiona mittauksen ajan, mikäli satelliitin lähettämä signaali ei katkea. Satelliitin liikkeessa radallaan sen etäisyyden muutos voidaan nähdä vastaanottimen laskemien saapuneiden aallonpituuksien lukumäärässä. N voidaan määrittää laskennallisesti, kun on havaittu useampia satelliitteja jonkin aikaa, ja sen avulla voidaan edelleen laskea satelliitin etäisyys vastaanottimesta. /6, s. 7./

Suhteellisen paikanmääritykset tärkeimpinä sovelluksina voidaan pitää staattista GPS-mittausta ja RTK- mittausta. Staattista mittausta käytetään, kun halutaan tehdä tarkkoja kiintopisteverkkojen mittauksia, jolloin tulokset saadaan jälkilaskennan avulla. Staattista mittausta käytetään kohteissa, joissa RTK ei ole saanut fixed-ratkaisua. RTK- mittauksessa (reaaliaikainen kinemaattinen mittaus) laskennat tapahtuvat reaaliajassa ja mitattujen pisteiden koordinaatit voidaan ottaa käyttöön heti. RTK- mittausta käytetään tarkkaan paikkatiedon keruuseen johtuen menetelmän hyvästä tarkkuudesta, ja menetelmä on todettu luotettavaksi. RTK- mittausten tarkkuus on muutaman senttimetrin luokkaa. RTK- mittaus tapaa käytetään esimerkiksi uusien ja vanhojen

rajamerkkien mittaamiseen. Tunnetulla pisteellä olevan vastaanottimen ja kartoitusvastaanottimen välille pitää olla tiedonsiirtoyhteys. /6, s. 7./

3.1.4 VRS-verkko

Jos halutaan tarkkoja mittaustuloksia, tällöin on liikkuvalla laitteella toimitettava korjausdataa. Korjaustiedon välittäminen ja laskeminen vaihtelee vähän sen mukaan, mitä mittausten menetelmää käytetään. Korjausta tarjoavia palveluntarjoajia ovat esimerkiksi Merenkulkulaitos, joka lähettää ilmaista DGPS-korjausta radiotaajuuksilla, Digita, joka tarjoaa maksullista Focus palvelua Radio Suomen verkossa ULA-taajuuksilla RDS-signaalissa Evon metsäoppilaitos, joka tarjoaa ilmaista DGPS-korjausta internetin kautta, ja Geotrim Oy, joka tarjoaa maksullista VRS-DGPS korjausta, jossa korjaus lähetetään käyttäjälle Internet- ja gprs-yhteyden välityksellä. /6, s. 8./

Perinteisen RTK-mittauksen on korvannut kiinteisiin tukiasemiin perustuva verkko RTK-menetelmä. Verkko RTK-menetelmää käytettäessä kartoitusvastaanottimen tarvitsemat korjaukset määritetään useamman kiinteän tukiaseman havainnoista laskentakeskuksessa. VRS (Virtual Reference Station) -verkkoon ei vaikuta mittaajien lukumäärä tai näiden sijainti. Laskentakeskus lähettää kullekin mittaajalle yksilöllistä korjaus dataa GSM:n välityksellä mittaajille. Maanmittauslaitoksella on sopimus Geotrim Oy kanssa VRS-verkon käytöstä. Trimble on kehittänyt VRS -verkon, minkä rakentamisesta on Suomessa vastannut Geotrim Oy. /6, s. 9./ Tukiasemien sijainnit ilmenevät liitteestä 4.

Maanmittauslaitos teki sopimuksen VRS-verkon käytöstä Geotrim Oy kanssa 10.12.2003. Sopimuksen mukaan verkon tuli kattaa koko maa vuonna 2005. /8./ Verkon avulla on mahdollista tehdä mittauksia senttimetrin tarkkuudella ilman erillisiä tukiasemia. Laskentakeskus ohjaa verkkoa, johon kaikki tukiasemat on liitetty. VRS -menetelmä perustuu siihen, että virtuaalinen tukiasema luodaan kiinteiden tukiasemien havaintojen ja erilaisten virhelähteiden mallinnuksen avulla lähelle kartoitusvastaanotinta. /6, s. 9./ Menetelmä vaatii, että seurannassa on oltava vähintään neljä satelliittia. Satelliittien tulisi olla sijoittuneena geometrisesti hyvin taivaalla. Myös maaston peitteisyys voi tuoda omat haasteensa mittauksiin. Joten voidaan todeta, että mitä use-

ampi satelliitti on seurannassa ja mitä paremmin ne ovat levittäytyneet, sitä nopeammin ja tarkemmin mittaukset pystyy yleensä suorittamaan.

VRS -verkon mukaan tulo on helpottanut maamittauslaitoksella mittausten suorittamista. Myös laiteinvestoinnit ovat laskeneet, kun ei tarvita enää omia liikuteltavia tukiasemia. Mittaaminen VRS -verkossa tapahtuu käytännössä seuraavasti: Mittaaja (GPS- laite) lähettää sijaintinsa VRS -laskentakeskukseen GSM/GPRS yhteyttä käyttäen. Tämän jälkeen laskentakeskus laskee käyttäjän viereen virtuaalisen tukiaseman. Laskentakeskus määrittää ja interpoloi havaintoihin ko. paikkaan vaikuttavat virhelähteet. Tämän jälkeen laskentakeskus rupeaa lähettämään RTK -korjausta kartoitusvas-taanottimelle. Tämän jälkeen voidaan aloittaa mittaaminen ja tulokset saadaan reaali-aikaisesti käyttöön, eikä tähän tarvita kuin yksi liikuteltava mittaamiseen käytettävä laite. Edellä mainittu menetelmä tarjoaa perinteistä RTK -mittausta paremman tarkkuuden, koska mittaukseen vaikuttavasta etäisyydestä riippuvasta virheestä päästään lähes kokonaan eroon. /6, s. 9-10./

3.2 Satelliittimittaukseen vaikuttavat virhelähteet

Satelliittimittauksiin, kuten kaikkiin muihinkin mittauksiin, vaikuttavat erilaiset virhelähteet. Käsittelen seuraavaksi merkittävimmät mittauksiin vaikuttavat virhelähteet, joita ovat ilmakehä, monitieheijastukset ja satelliittigeometriaa.

3.2.1 Ilmakehä

Ionosfäärin katsotaan alkavan n. 50 km:stä ja jatkuvan usean tuhannen kilometrin korkeuteen. Ionosfääri pitää sisällään huomattavan määrän vapaita elektroneja. Elektronitiheyden vaikuttaa ajankohta, mittaajan sijainti ja auringon aktiivisuus. Säännöllisten muutosten lisäksi ionosfäärin elektronitiheydessä on havaittavissa suuria ja joskus myös nopeita ja ajallisia vaihteluita, mitkä liittyvät auringon aktiivisuuteen. Ionosfääri on paikannussignaalin kannalta dispersiivinen, eli väliaine on dispersiivinen, kun eri taajuuksilla olevat signaalit etenevät eri nopeuksilla. /9, s. 11./

Kun ionosfääri on aktiivinen, muutosnopeus voi olla kymmeniä senttimetrejä minuutissa, ja tällöin ionosfäärin kokonaisvaikutus signaalin kulkemaan matkaan vaihtelee

vajaasta metristä kymmeneen metriin /9, s. 11/. Kaksitaajuusvastaanottimilla voidaan kuitenkin ionosfäärin virhe määrittää ja eliminoida /7/.

Troposfääri-nimitystä käytetään ionosfäärin alle jäävästä neutraalista ilmakehän osasta. Troposfäärirefraktion suuruuteen vaikuttavat muun muassa vesihöyrynmäärä, lämpötila ja paine. Troposfääristä virhettä on vaikea poistaa, koska vesihöyryn määrä vaihtelee koko ajan ilmakehässä, minkä vuoksi vesihöyryn määrän ennustaminen on käytännössä mahdotonta. Troposfäärin vaikutus on myös huomattavasti paikallisempi kuin ionosfäärin. Troposfäärirefraktion aiheuttama virhe onkin eräs suurimmista virhelähteistä tarkoissa satelliittimittauksissa. /6, s. 12./

3.2.2 Monitieheijastus

Monitieheijastuksessa signaali saapuu jonkin kohteen kautta heijastuneena antenniin. Heijastuminen aiheuttaa vastaanotettuun signaaliin vaihesiirtymän, joka on verrannollinen signaalien kulkumatkan eroon. Koska signaali ei ole kulkenut suoraan antenniin, on siitä lasketun antennin ja satelliitin välinen etäisyys väärä. Heijastuksia voivat aiheuttaa mm. järven rannat, peltikatot, puut, autot ja muut tasaiset pinnat.

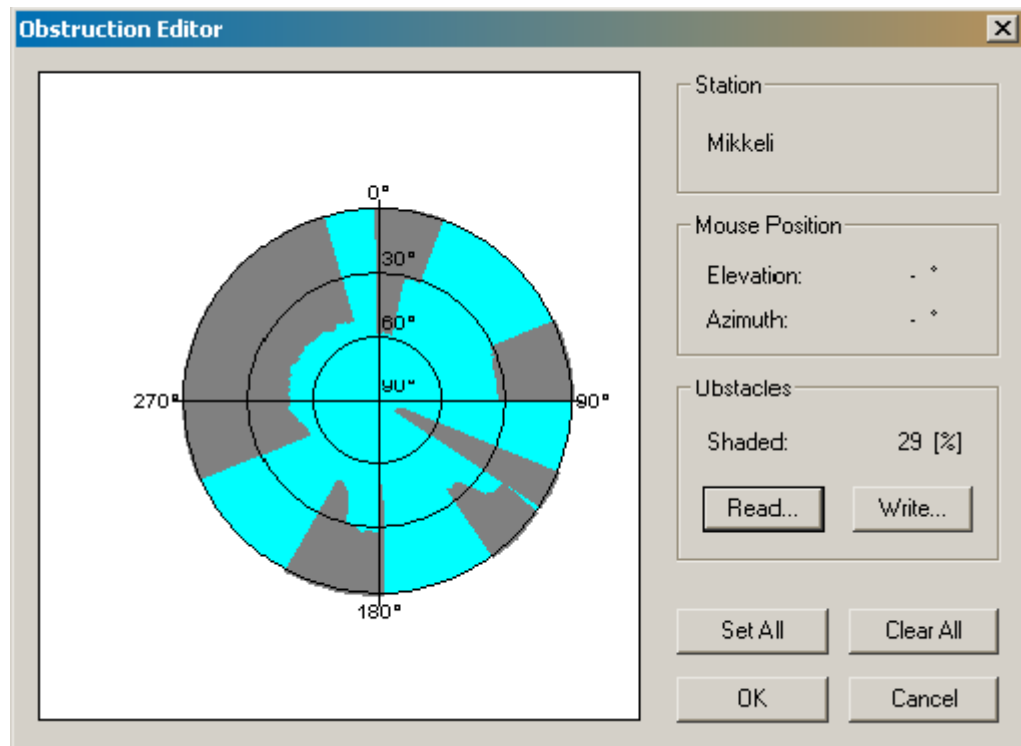
Mikäli satelliitti on lähellä horisonttia, riski heijastukseen maasta tai veden pinnasta kasvaa. Tästä johtuen mittalaitteessa tulisi mittaasetusten korkeuskulma asettaa vähintään 10° .

3.2.3 Satelliittigeometria

Satelliittigeometria ehtii muuttumaan päivän aikana useaan otteeseen ja täten vaikuttaa huomattavasti mittauksiin. Satelliittien huono keskinäinen sijainti taivaalla heikentää paikannuksen tarkkuutta, eli satelliitit ovat yhdessä kasassa tai levittäytyneet vain jollekin tietylle puolelle taivasta, mutta kun satelliitit ovat levittäytyneet tasaisesti ympäri taivasta, parantaa se paikannuksen tarkkuutta. Kun puhutaan satelliittigeometriasta, käytetään usein termiä DOP. Yleisemmin käytettyjä ovat PDOP (Position Dilution Of Precision) ja GDOP (Geometric Dilution Of Precision). Satelliittigeometriaa voidaan pitää hyvänä, kun PDOP on alle 6 ja GDOP alle 8, joten mitä pienempi luku on, sitä vähäisempi sen merkitys paikannus tarkkuuteen on. Jos luvut ovat yli edellä mainitun,

tällöin mittauksia tulisi välttää. Peitteinen maasto vaikuttaa hyvinkin nopeasti DOP-lukuihin, joten vaikka satelliittialmanakan mukaan DOP-lukujen tulisi olla alhaiset. Jos mittausalueella on kaikesta huolimatta esteitä, mitkä estävät signaalin kulun, voivat DOP-luvut olla hyvinkin korkeita. /6, s. 14./

Estepiirroksen (kuva 2) avulla on mahdollista selvittää paras mittausajankohta. Tällöin pisteellä on käytävä etukäteen kartoittamassa mahdolliset esteet. Tämän jälkeen kerätty tieto viedään ohjelmaan, jonne syötetään mitattavan pisteen sijaintitieto ja ajanjakso, jolloin mittaus on tarkoitus suorittaa. Tämän jälkeen ohjelma näyttää todelliset DOP-luvut kyseisellä pisteellä, jonka jälkeen voidaan valita paras mittaus ajankohta. Kyseinen menetelmä soveltuu yksittäisille pisteille, mutta ei pyykeille, koska kyseessä on kuitenkin aikaa vievä toimenpide.



KUVA 2. Estepiirros

3.3 GNSS- järjestelmät

Termiä GNSS (Global Navigate Satellite System) voidaan käyttää puhuttaessa useista eri satelliittipaikannusjärjestelmistä. Merkittävimpinä järjestelminä voidaan pitää GPSää, GLONASSia ja Galileoa. /10, s. 19./ Kaksi edellä mainittua ovat jo toimin-

nassa, mutta Galileo on vasta kehitysasteella, ja ensimmäiset konstellatioon kuuluvat satelliitit on tarkoitus laukaista lokakuussa 2012 /11/.

Paikannus tapahtuu seuraavaan tapaan. Kun signaali lähtee satelliitista, mukana on tieto lähtöajasta, ja tällöin vastaanottimen ajan ja lähtöajan erotuksen avulla voidaan ratkaista kuluaika. Tämän jälkeen kuluaika kerrotaan signaalin nopeudella, jolloin saadaan satelliitin etäisyys. Havaittajan paikka voidaan ratkaista, kun vähintään neljä satelliittia on näkyvissä. /12, s. 22-23./

3.3.1 GPS

GPS (The Global Positioning System) on alkujaan Yhdysvaltain puolustushallinnon kehittämä ja myös ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS-satelliitit on luokiteltu Blokkeihin, missä suurempi järjestysnumero tai kirjain perässä kertoo, kuinka kehittynyt versio on kyseessä. Kyseinen satelliittipaikannusjärjestelmä on vanhin, ja voidaan myös sanoa, että myös se kaikkein tunnetuin. Järjestelmä on myös ainoa GNSS -järjestelmistä, mikä on maailmanlaajuisesti täydessä toiminnassa. /10, s. 19./

Alkuvaiheet

Ensimmäinen Block I GPS -satelliitin laukaisu tapahtui 22.2.1978. Tämän jälkeen laukaistiin vielä 10 muuta Block I GPS-satelliittia, joista yksi tuhoutui laukaisussa. Nämä satelliitit toimivat järjestelmän testipohjana. Vuonna 1979 päätettiin leikkauksista, jolla GPS-järjestelmän rahoituksesta leikattiin 500 miljoonaa dollaria vuosina 1981 – 1986. Tämä johti siihen, että GPS-konstellation kokoa jouduttiin pienentämään 24:stä, 18:sta ja Block II satelliittien kehitys jouduttiin laittamaan jäihin. Tämän lisäksi 1986 GPS-järjestelmä sai takapakkia, kun avaruussukkula Challengerin onnettomuuden vuoksi toisen sukupolven GPS -satelliittien Block II laukaisu viivästyi kahdella vuodella. Lopulta ensimmäinen Block II GPS-satelliitti saatiin laukaistua helmikuussa 1989. Block II GPS-satelliittien myötä mukaan tuli SA-häirintä (full selective availability). Persianlahden kriisi 1990 – 1991 oli GPS-järjestelmän ensimmäinen tosipaikan testi taistelutilanteessa, mihin se oli alkujaan suunniteltu. /13, s. 5-9./

Neuvostoliiton pudotettua Korean Airlines KAL 007 Presidentti Reagan ilmoitti, että GPS-paikannuspalvelu tulisi siviilikäyttöön, kun järjestelmä olisi valmis. Tämä antoi alkusysäyksen kaupallisille sovelluksille, ja 1980-luvun puolivälissä ilmestyi maanmittaus markkinoille ensimmäiset GPS-mittalaitteet siitä huolimatta, että toiminnassa olevia satelliitteja oli vain muutama. Maanmittarit eivät tällöin vielä tarvinneet reaaliaikaista paikkatietoa, vaan heille riitti, että GPS-satelliitteja oli riittävä määrä näkyvisä, jotta pystyttiin mittamaan. GPS-mittalaitteiden myötä aikaa ei mennyt toimituksiin yhtä paljon kuin aikaisemmin, mikä toi huomattavat säästöt mittauksiin. /13, s. 12-13./ SA-häirintä kytkettiin pois päältä 2.5.2000 presidentillisellä ohjeella. Sen myötä tarkkuus parani 10 – 25 metriin, kun se oli ollut huonoimmillaan 100 metrissä. /14./

Nykytila

GPS konstellaatio pitää sisällään tällä hetkellä 32 satelliittia /15/. Nykyään GPS -konstellaatioon kuuluu Blokki II-, Blokki IIA-, Blokki IIR- ja Blokki IIR-M satelliitteista. Eri Blokit ovat eri versioita GPS-järjestelmän satelliitteista. Satelliitit on jaoteltu kuudelle ratatasolle siten, että kullakin ratatasolla on 4 toimivaa satelliittia ja vähintään yksi tai useampi varasatelliitti. GPS:n täysi konstellaatio varmistaa sen, että joka puolella maapalloa on näkyvissä vähintään neljä satelliittia. Ratojen inkliinaatiokulma päiväntasaajaan nähden on 55 astetta. /10, s. 19-20./

Uutena tulokkaan GPS- konstellaatioon on tulossa uuden sukupolven Blokki IIF -satelliitit. Ensimmäinen Blokki IIF -satelliitti laukaistiin 27.5.2010, ja 7.6.2010 ryhmä Saksan ilmailukeskuksesta havaitsi kyseisen satelliitin lähettämää paikannussignaalia. Kuitenkin ennen kuin tavalliset käyttäjät saavat kyseisen satelliitin lähettämään paikannus signaalia, suoritetaan laajamittaiset tutkimukset satelliitin suorituskyvyn, laadun ja toimivuuden suhteen kiertoradalla. /16./



KUVA 3. GPS- konstellation sisältämät kuusi ratatasoa /10/

Tällä hetkellä kaikki käytössä olevat GPS-satelliitit lähettävät signaaleja kahdella taajuudella L1 (1575,420 MHz) sekä (1227,600 MHz). GPS tarjoaa SPS:ää (Standard Positioning Service) sekä PPS:ää (Precise Positioning Service) kantoaaltoihin moduloitujen signaalien avulla. SPS-palvelu on tarkoitettu vapaaseen siviilikäyttöön, ja sen toiminta perustuu C/A -koodiin (Coarse Acquisition code), mikä on moduloitu L1 -taajuudelle. PPS- palvelu perustuu taas puolestaan P -koodiin, joka on suojattu ja moduloitu sekä L1- että L2 -taajuudelle. /10, s. 21./

GPS käyttää geosentristä WGS-84 (World Geodetic System 1984) koordinaattijärjestelmää. WGS-84 on uudistettu vuosien saatossa, ja nykyään sen realisaatio yhtyy ITRF- järjestelmään senttitarkkuudella. /10, s. 20./

Tulevaisuus

Blokki IIF –satelliittien myötä taajuusrintamalla saadaan kolmas kantoaallon taajuus L5 (1176,460 MHz). L5-taajuudella on tarkoitus lähettää vapaaseen siviilikäyttöön tarkoitettua L5C- navigointisignaalia. Täyspainoista käyttöä vaativa L5C, Blokki IIF-, tai Blokki III -satelliittikonstellatiota ei saavuteta kuitenkaan ennen vuotta 2015. Blokki IIF -satelliitteja on tarkoitus laukaista kaiken kaikkiaan 12 kpl. /10, s. 22./

Blokki III -satelliittien laukaisun myötä tullaan käyttöön ottamaan signaali L1C. Kyseessä on L1- taajuudelle moduloitu siviilikoodi, ja sen on määrä toimia rinnan C/A -koodin kanssa. Yhtenä merkittävimmistä ominaisuuksista, minkä L1C tuo, on USA:n ja Euroopan komission väliseen sopimukseen perustuva signaalien yleinen moduloititapa GPS:n L1- ja Galileon E1 -taajuudelle. Edellä mainittu mahdollistaa siviilisignaalien yhteiskäytön. Ensimmäiset Blokki III -satelliitit on tarkoitus laukaista vuonna 2014, ja suunnitelman mukaan täysitoiminnallinen valmius eli FOC (Full Operational Capability) saavutettaisiin vuonna 2021. /10, s. 22./

3.3.2 GLONASS

GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) on entisen Neuvostoliiton kehittämä järjestelmä. Nykyään se on Venäjän asevoimien ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. GLONASS oli vastine amerikkalaisten GPS:lle. GLONASS on satelliitteihin pohjautuva radionavigaatiojärjestelmä, jossa rajoittamaton määrä henkilöitä voi suorittaa kolmiulotteisia paikannus ratkaisuja. Alussa GLONASSin ja GPS:n suurimpana erona voidaan pitää käyttöikä. Kun GLONASS satelliitit oli suunniteltu kestävään 1-2 vuotta, oli taas GPS:n Block 1 -satelliitit suunniteltu kestävään 7 vuotta. /17, s. 1-2./

Alkuvaiheet

GLONASSin kehittäminen alkoi 1976, jolloin tavoitteeksi oli asetettu, että GLONASS kattaisi koko maapallon vuoteen 1991 mennessä. Tämä ei kuitenkaan toteutunut, vaan konstellaation saaminen suunnitelman mukaiseen kuntoon tapahtui vasta vuonna 1995. GLONASS oli tarkoitettu alun perin pääasiassa Neuvostoliiton armeijan käyttöön paikannukseen ja ballististen ohjusten kohteiden määrittämiseen. /18./ Ensimmäiset kolme GLONASS-satelliittia laukaistiin Baikonurin avaruuskeskuksesta 12. loka-kuuta 1982 /19/.

GLONASSin tultua satelliittipaikannus markkinoille avautui melko pian mahdollisuus ottaa sekä GPS- että GLONASS-signaaleja. 1990-luvun puolen välin tienoilla ilmesivivät monisatelliittisovellukset, jotka käyttivät yksitaajuista GPS + GLONASS signaalia. /17, s. 1./

Venäjän talouden romahdettua alkoi GLONASS- järjestelmä ”rapistua”, mikä johtui pitkälti satelliittien lyhyestä käyttöiästä. Vuonna 2001 Venäjä sitoutui palauttamaan järjestelmän toimintakuntoon. /18./ Vuonna 2001 Venäjän hallitus hyväksyi Federal GLONASS Mission Oriented Program –nimisen ohjelman, minkä varaan GLONASSin tulevaisuuden voidaan sanoa rakentuvan. Ohjelman yksi tavoite oli satelliittien modernisointi. Ohjelma takasi myös rahoituksen vuoteen 2011 asti. /10, s. 24./

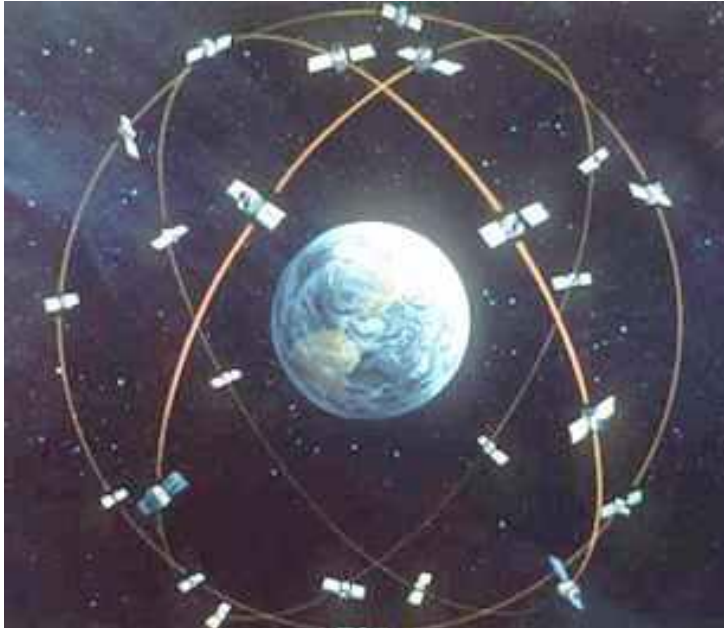
Nykytila

Tänä päivänä GLONASS konstellaatio käsittää kaiken kaikkiaan 23 satelliittia, joista kaksi on vara-satelliitteja ja loput 21 käytössä. Satelliitit kiertävät kolmella eri ratatasolla. Suunnitelman mukainen konstellaatio pitäisi sisällään 24 satelliittia. /20./ GLONASS -satelliittien inkliinaatiokulma eli kulma päiväntasaajaan nähden on 64,8 astetta ja kiertoaika on 11h 15min. GLONASS -satelliittien lähettämä L1 -signaali toimii taajuuksilla $1602 \text{ MHz} + k * 9/16 \text{ MHz}$ ja L2 -signaali taajuuksilla $1246 \text{ MHz} + k * 7/16 \text{ MHz}$. Todellinen taajuus voidaan täten selvittää, kun vain tiedetään kanava numero k. /21./

GLONASS -satelliitit lähettävät jatkuvasti kahta signaalia, C/A -koodia ja P -koodia. C/A -koodi on peruspaikannussignaali, mikä on tarkoitettu vapaaseen siviilikäyttöön ja sitä lähetetään L1 -taajuudella. P-koodi on puolestaan tarkempaa paikannussignaalia, joka on tarkoitettu armeijan käyttöön, ja sitä lähetetään L1- ja L2 -taajuuksilla. GLONASSin käyttämässä FDMA (Frequency Division Multiple Access) -menetelmässä jokaisen taajuusalueen 12 taajuutta on jaoteltu siten, että samalla ratatasolla vastakkaisilla puolilla maapalloa jakavat yhden taajuuden. GPS ja Galilea käyttävät taas CDMA (Code Division Multiple Access)-menetelmää. Kyseisessä menetelmässä kaikilla satelliiteilla voi olla samat taajuudet, ja signaalit erotetaan niihin moduloituilla koodeilla. /10, s. 24./

Venäjä laukaisi viimeisimmät kolme GLONASS-M satelliittia 2.3.2010, ja ne alkoivat lähettää käyttökelpoista navigointisignaalia 28.3.2010. Vuoden 2010 aikana on tarkoitus laukaista vielä kuusi satelliittia lisää, mukaan lukien uusi GLONASS-K satelliitti. /22./

”GLONASSin koordinaattijärjestelmä on maakeskinen PE-90-järjestelmä (Parameters of the Earth 1990). Perustuen 90-luvun lopulla suoritettuun globaaliin The International GLONASS Experiment -mittauskampanjaan ja siitä saatuihin muunnosparametreihin, PE-90:n realisaatio yhtyy metrin tarkkuudella sekä ITRF:ään että GPS:n käyttämään WGS-84-järjestelmään.” /10, s. 23./



KUVA 4. GLONASSin konstellaatio /10/

Tulevaisuus

GLONASS-K -satelliitit pohjautuvat uuteen tekniikkaan, ja nämä on tarkoitus ottaa käyttöön lähivuosina. GLONASS-K -satelliittien käyttöikä on 10-12 vuotta, kun se aikaisemman version M kohdalla oli vain 7 vuotta. GLONASS-K -satelliittien myötä tulee yksi taajuus lisää L3, ja sen myötä tulee siviilikäyttöön C/A₂-koodi ja armeijan käyttöön P₂-koodi. GLONASS-K -satelliittien jälkeen on tulossa GLONASS-KM -sarja, mutta se on vasta suunnitteluasteella. /10, s. 25./

3.3.3 Galileo

Galileo on siviilien ylläpitämä Euroopan oma maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Järjestelmän tarkoitus on tarjota korkea tasoista paikannuspalvelua. Järjestelmä tulee toimimaan yhdessä GLONASSin ja GPS:n kanssa. Järjestelmä tarjoaa re-

aaliaikaista paikannuspalvelua tarkkuudelta aina metriin asti. Palvelun saatavuus on taattu muuten paitsi kaikkein äärimmäisissä olosuhteissa. Järjestelmää suunniteltaessa on otettu huomioon mahdolliset satelliittien mahdolliset hajoamiset tai muut ennalta arvaamattomat tapahtumat satelliiteissa. Edellä mainitunlaisessa tapauksessa käyttäjälle pitäisi tulla ilmoitus muutamassa sekunnissa satelliitin hajoamisen johdosta. /23./

Alkuvaiheet

Alkusysäyksenä Galileolle voidaan pitää vuotta 1994, jolloin Euroopan neuvosta teki Euroopan komissiolle esityksen, jonka mukaan Euroopan tulisi vastata informaatiotekniikan haasteisiin ja alkaisi ottaa osaa satelliittipaikannukseen ja sen kehittämiseen. EU ajoi asiaa edelleen eteenpäin, ja vuonna 1999 aloitettiin Galileon määrittelyvaihe Euroopan avaruusjärjestön ESA:n (European Space Agency) toimesta. Tällöin päätettiin, että Galileosta tulisi globaali, luotettava ja vapaassa käytössä oleva itsenäinen järjestelmä, joka pystyisi toimimaan yhdessä muiden GNNS:ien kanssa. Määrittelyvaihe saatiin päätökseen vuonna 2003. /10, s. 26./

Ensimmäinen testisatelliitti GIOVE-A laukaistiin avaruuteen kiertoradalle 28.12.2005, jossa sitä käytettiin satelliitin laitteistojen testauksessa sekä maa-asemien toiminnan testauksessa. Toinen testi satelliitti GIOVE-B laukaistiin 27.4.2008, ja se jatkoi testi-toimintaa siitä, mihin GIOVE-A oli jäänyt. GIOVE-B muistutti teknilliseltä suunnittelulta enemmän aikanaan toimintaan tulevia Galileo satelliitteja. /23./

Nykytila

Tällä hetkellä avaruudessa olevat Galileo-satelliitit ovat olleet IOV (in-orbit validation), mitkä on suunniteltu teknologian testaukseen ja varaamaan palvelun taajuusalueet /24/.

Tulevaisuus

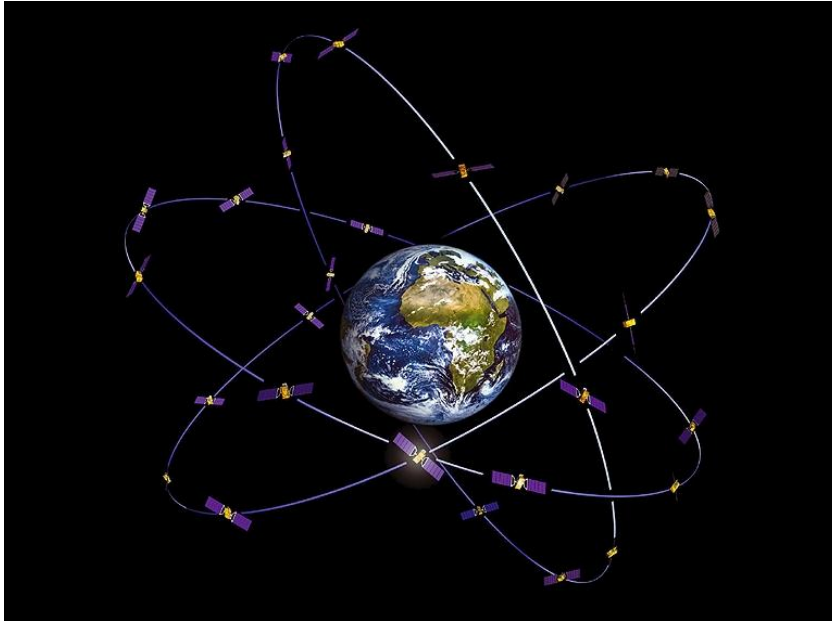
Ensimmäiset neljä toiminnallista Galileo-satelliittia on tarkoitus laukaista Euroopan komission (EK) mukaan 2010 - 2011. EK on myös ilmoittanut, että aikaisintaan vuonna 2014 Open Service, the Public Regulated Service ja the Search And Rescue Service

saadaan käyttöön, Vaikkakaan tuolloin ei vielä ole saavutettu täydellistä satelliittipeitteisyyttä joka puolelle maapalloa. /24./

Kun Galileo-konstellaatio (kuva 5) on täysin toimintavalmis, sen on tarkoitus pitää sisällään 30 satelliittia kolmella ratatasolla siten, että 30 satelliitista kullakin ratatasolla on yksi satelliitti varalla ja loput 27 toiminnassa. Ratatasojen kallistuskulma päiväntasaajaan nähden on 56 astetta, ja satelliitin ratakiertos maapallon ympäri kestää 14 h 4 min 45 sekuntia. /10, s. 27./

Galileon käyttämä koordinaattijärjestelmä on GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame). Järjestelmä on sidottu ITRF -koordinaatistoon niin, että GTRF saa poiketa uusimmasta ITRF -koordinaatistosta korkeintaan kolme senttimetriä. /10, s. 27./ Kun Galileo saavuttaa täyden konstellaation, se tarjoaa pohjoisella pallonpuoliskolla peitteisyyden, jopa 75 leveyspiirille asti /23/.

Galileo satelliitit tulevat lähettämään signaaleja neljällä kantoaallon taajuudella E1, E6, E5a ja E5b, ja jokainen Galileo -satelliitti lähettää kyseisillä taajuuksilla 10:tä eri navigointisignaalia. Signaalinen suuri määrä johtuu siitä, että tällöin voidaan mahdollistaa kaikkien Galileon tarjoamien palveluiden käyttö, ja se tarjoaa myös paremmat mahdollisuudet monipuolisten sovellusten käyttöön eri käyttäjille. Galileon tarjoaa seuraavat palvelut, kun järjestelmä aikanaan saadaan käyttöön: avoin palvelu OS (Open Service), kaupallinen palvelu CS (Commercial Service), turvallisuuspalvelut SoL (Safety-of-Life Service) ja julkinen rajoitettu palvelu PRS (Public Regulated Service). Edistääkseen GNNSien yhteiskäyttöä on Galileon taajuudet E1 ja E5b samat GPS:n ja GLONASSin kanssa. Galileon E1 taajuus on sama, kuin GPS:n L1 -taajuus (1575,420). Galileon E5b -kantoaalto toimii taas samalla taajuudella GLONASSin kantoaallon L3 kanssa. /10, s. 28./ Seuraavaan taulukkoon 1 sivulla 18 on koottu kolmen edellä käsitellyn satelliittipaikannusjärjestelmän tietoja.



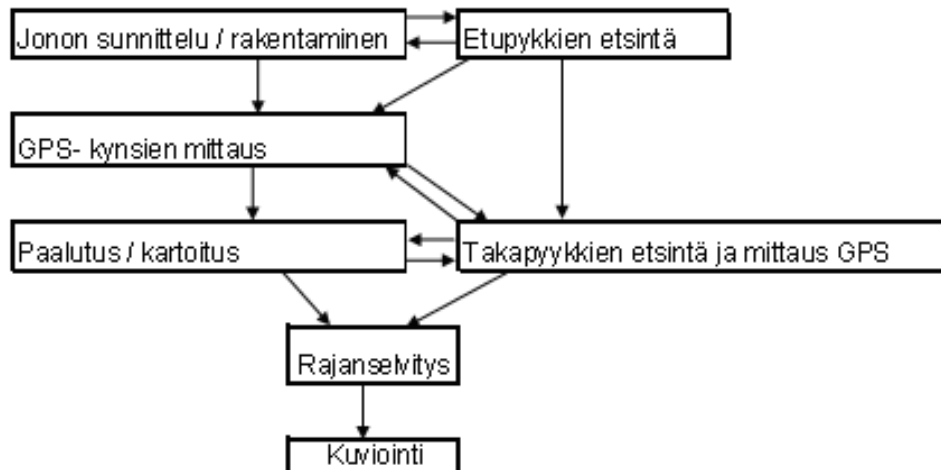
KUVA 5. Galileon satelliitti konstellatio /10/

Taulukko 1. Satelliittijärjestelmien tiedot /10/

Ominaisuus	GPS	GLONASS	Galileo
1. laukaisu	21.2.1978	12.8.1982	27.12.2005
Täysi toiminnallinen valmius (FOC)	16.7.1995	18.1.1996	2013 (ennuste)
Rahoitus	julkinen	julkinen	julkinen ja yksit.
Satelliittien nominaalimäärä	24	24	27
Ratatasot	6	3	3
Ratatasojen kallistuskulma	55°	64,8°	56°
Isoakselin puolikas	26 560 km	25 508 km	29 601 km
Ratatasojen väli	60°	120°	120°
Tasojen välinen vaihe	epäsäännöllinen	± 30°	± 40°
Satelliitin kiertoaika	11 t 57 min 58 s	11 t 15 min 44 s	14 t 4 min 45 s
Geodeettinen koordinaattijärjestelmä	WGS-84	PE-90	GTRF
Aikajärjestelmä	GPS-aika, UTC (USNO)	GLONASS-aika, UTC (SU)	Galileo system time
Signaalien erotustapa	CDMA	FDMA	CDMA
Taajuuksien määrä	3: L1, L2, L5	yksi kahta vastakkaista satelliittia kohti	3(4): E1, E6, E5 (E5a, E5b)
Taajuus (MHz)	L1: 1 575,420 L2: 1 227,600 L5: 1 176,450	G1: 1 602,000 + 0,5625 · k G2: 1 246,000 + 0,4375 · k G3: 1 204,704 + 0,4230 · k (k = -7, -6, ... +5, +6)	E1: 1 575,420 E6: 1 278,750 E5: 1 191,795
Signaalit	C/A, L2C, L5, L1C, P, M	C/A, C/A ₂ , P, P ₂	E1, E6, E5
Etäisyyskoodien (PRN) lukumäärä	11	6	10
Luotettavuustietojen lähetys	ei (GPS III: kyllä)	ei (GLONASS-K: kyllä)	kyllä

4 RAJAAMISTOIMITUSTEN TYÖVAIHEET

Seuraavassa selvitän rajaamistoimituksen työvaihe prosessin. Prosessin etenemistä voi kuvata seuraavalla kaaviolla (kuva 6).



KUVA 6. Maastotöiden työvaihe kaavio

Kun keväällä lumi on sulanut siten, että se ei häiritse kulkemista maastossa eikä pyykkien etsimistä, tällöin lähtevät ensimmäiset Etelä-Savon maanmittaustoimiston kartoitustiimin konkarit maastoon. Maastoon pääsee lähtemään jo huhtikuun puolella, jos sisätyöt ovat sillä mallilla (arkistotyöt tehty), että pyykkien etsintä sujuu jouhevasti, kun tarvittavat tilakartat ovat matkassa. Vasta toukokuun alussa alkaa maastokausi pyöriä täydellä teholla, kun kesätyöntekijät tulevat töihin ja maastoon saadaan useampi ryhmä liikkeelle.

Ensimmäiset viikot menevät aika lailla etu- ja takapyykkejä etsiessä, ja takapyykit pyritään mittaamaan myös samalla kertaa. Jonojen suunnittelu ja rakentaminen aloitetaan myös niillä teillä, mitkä on tarkoitus loppukevään aikana paaluttaa ja kartoittaa. Satelliittimittaukset suunnitellaan siten ryhmien kesken, että ne ryhmät saavat GPS - vastaanottimet maastoon, jotka ovat ehtineet varaamaan laitteistot. Tietysti suunnitelmat elävät aina, ja voi hyvinkin olla, että kun päivä lopulta koittaa, suunnitelmat ovat jo täysin muuttuneet.

4.1.1 Etupyykkien etsintä

Alustava etupyykkien etsintä tehdään melko nopeaan tahtiin, koska yleensä, jos pyykki ei löydy suhteellisen nopeasti tienpenkalta, voidaan olettaa, että se on hautautunut maan sisään tai hävinnyt kokonaan. Löytyneet pyykit merkitään mukana olevalle kartalle sekä maastoon metsäkepillä. Löytymättä jääneen pyykin paikka määritetään aikaan, kun rajoja tullaan selvittämään.

4.1.2 Jonon suunnittelu ja rakentaminen

Jonon suunnittelu voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä maastotyövaiheista. Jos suunnittelija ei ajattele, mitä on tekemässä, ja tekee pisteitä vähän miten sattuu, voi olla, että kun tietä tullaan aikanaan kartoittamaan, kolmijalkojen ajaja voi joutua raivaamaan pistevälejä enemmän tai vähemmän auki, mistä kyllä tulee heti kiitosta. Ei ole myöskään ennen kuulumatonta, että on jouduttu rakentamaan kokonaan uusi piste, kun ei ole ollut mahdollista saada näköyhteyttä pisteeltä pisteelle. Yleisemmin ongelmia aiheuttaa liian lähellä tienreunoja suunnitellut linjat, koska jos mittaamaan ei olla tulossa suhteellisen nopeasti jonon rakennuksen jälkeen, voi käydä, että varsinkin keväällä eteen on kasvanut oksia ja lehtiä. Jos pisteet on suunniteltu mäen yli siten, että juuri ja juuri edellinen piste on näkynyt tienpinnan ylläpuolella niin, tällöin siihen on todennäköisesti kasvanut kesän aikana heinää eteen. Kartoitusvaiheessa näyttäjät voivat joutua tekemään paljonkin siirtoja, jos pisteiden suunnittelussa ei ole otettu huomioon kartoituksen sujuvuutta. Tämä taas hidastaa kartoitusprosessia. Jonon suunnittelu ja rakentaminen tapahtuu yleensä samanaikaisesti, ja se tapahtuu yleensä kahden hengen ryhmässä.

4.1.3 GPS kynsien mittaus

Jonosta mitataan yksittäisiä pisteitä noin 1-1,5 km välein, jotta aikanaan kartoitetuille kohteille saadaan koordinaatit. Pisteet tulee valita siten, että mitattavat pisteet sijaitsivat mahdollisimman avoimilla paikoilla ja ovat tukevasti paikoillaan. GPS-mittalaite pystytetään pisteelle statiivin avulla, ei siis pidetä käsivaralla kuplaa keskellä. Tämän jälkeen odotetaan, että mittaus on alustettu eli vastaanotin on ratkaissut sijaintinsa, minkä jälkeen voidaan aloittaa mittaus. Tämän jälkeen alustus hävitetään, ja odotetaan

uudelleen, että mittaus on alustettu. Sama toistetaan vielä kerran, minkä jälkeen saatuja tuloksia verrataan, ja mikäli mittaukset on 2 cm sisään, voidaan jatkaa matkaa seuraavalle pisteelle, missä sama kuvio toistuu.

4.1.4 Paalutus ja kartoitus

Paalutuksessa tiealueen rajat merkitään maastoon oransseilla muoviputkilla. Paalutuksessa mukana on kolvaaja, joka merkitsee paalut yksilöllisillä numeroilla, sekä kaksi paaluttajaa. Paalut lyödään n. 2 m päähän rakenteen reunasta eli ojan takareunasta tai jos kyseessä on luiska, silloin luiskan alareunasta. Paaluttaja voi kuitenkin tarvittaessa paaluttaa kapeammalle, esimerkiksi piha-alueiden kohdalla, jos rakenne on ennestään leveä tai halutaan jättää rakennukset tiealueen ulkopuolelle. Myös metsämaan kohdalla on mahdollista käyttää harkintaa leveyden suhteen, mikäli rakenne on valmiiksi normaalia leveämpi.

Kartoitus voidaan tehdä vasta paalutuksen jälkeen. Kartoitukseen tarvitaan mittaja, jalkojen ajaja sekä 2-3 mittamiestä, jotka näyttävät prismalla kartoitettavia kohteita. Kartoitus olisi paras tehdä heti paalutuksen perään. Tällöin paalut näkyvät helpommin heinikosta, eikä aikaa mene paalujen etsimiseen. Kesällä ja syksyllä paaluja on vaikea havaita runsaan heinän ja pusikoiden takia, jos paalutuksesta on kulunut jo aikaa. Kartoituksen yhteydessä kartoitetaan paalut, keskitie, liittymät, sähkölinjat, pensasaidat, etupyykit sekä muut erikoiskohteet. Kartoitus tapahtuu takymetrin avulla, ja takymetri on pystytetty aina jonopisteellä. Tällöin ei tarvita jonopisteille vielä ollenkaan koordinaatteja. Jonopisteeltä mitatessa täytyy kuitenkin aina mitata havainnot kultakin pisteeltä edellisellä ja seuraavalle pisteeltä kojeen I- ja II asennossa. Lyhyillä rajattavilla teillä voi kartoituksen tehdä mittaamalla ”vaparilta” eli vapaalta asemapisteeltä. Tällöin tarvitaan kuitenkin jono. Jonon kaikki pisteet on oltava mitattu etukäteen, ja mitattujen pisteiden koordinaatit on oltava takyssä. Kyseinen menetelmä on hitaampi, mistä johtuu, että sitä ei juurikaan käytetä. Plussapuolena siinä on, että takyn voi pystyttää periaatteessa mihin vain, kunhan vähintään kaksi tunnettua pistettä näkyy. Tällöin voidaan mitata vaikeissa paikoissa olevia kartoitettavia kohteita.

Kartoitusta ei kannata ainakaan Etelä-Savon puustoisissa olosuhteissa suorittaa GPS:n avulla, vaan mittaus on nopeampi suorittaa takymetrillä, vaikka siitä seuraa ns. ylimääräisiä työvaiheita, mutta silti se on nopeampi vaihtoehto.

4.1.5 Takapyykkien etsintä ja mittaus

Takapyykit (kuva 7) on kierrettävä ja mitattava, jotta rajan paikka voidaan määrittää myöhempanä ajankohtana rajanselvitysvaiheessa. Ilman kunnollisia arvoja takapyykkeillä, tien reunaan ei voitaisi lyödä uusia pyykkejä, mikäli sille olisi tarvetta. Myöskään mikäli kyseessä on vain yli menevä raja, tällöin ei pystyittäisi paalujen paikkaa määrittämään. Jos takapyykkeillä on signaali-RSK 0,25 -arvot, tällöin ei ole välttämättöntä mitata kyseisiä pyykkejä, vaan pelkkä identifiointi riittää. Tietysti, jos GPS-mittalaitteita on käytettävissä, niin olisi ainakin suotavaa tarkistaa maastossa joko merkinnän avulla, jos vain maastossa olevien pyykkien koordinaatit on siirretty mittalaitteeseen. Tällöin pyykki voitaisiin tarvittaessa mitata heti paikan päällä, jos sille olisi tarvetta. Jos koordinaatteja ei ole siirretty mittalaitteeseen, pyykki mitattaisiin maastossa ja tarkistettaisiin vasta toimistolla koordinaattien erot. Pyykkeitä mitattaessa otetaan joko kaksi erillistä mittausta, eli saadaan kahdet eri koordinaatit samalle pyykille tai mitataan kerran, minkä jälkeen suoritetaan alustus uudelleen ja merkitään juuri mitattua pyykkiä. Jos GPS-mittalaite on edelleen samassa kohtaa ja ensimmäinen mittaus on onnistunut, tällöin merkinnässä eron mitattuihin koordinaatteihin tulisi olla vain muutamia senttejä. Jos ero on suuri yli 10 cm, tällöin joudutaan mittaus suorittamaan uudestaan, jotta saadaan todennäköisesti oikeat koordinaatit selville.



KUVA 7. Takapyykki

4.1.6 Rajanselvitykset

Rajanselvitysvaihetta voidaan pitää kaikkein aikaa vievimpänä ja tärkeimpänä. Aikaa kuluu jo huomattavasti löytymättä jääneiden pyykkien etsintään. Sillä ne tiet, missä etupyykit ovat edes suurimmaksi osaksi tallessa, ovat hyvin harvassa, mikä johtuu pitkälti teiden leviämisestä aikojen saatossa. Löytymättä jääneille pyykeille määritetään koordinaatit toimistolla. Tätä varten on mitattava muita samalla toimituskartalla näkyviä pyykejä, ja mitattujen pyykkien tulisi olla mielellään vielä samassa toimituksessa rakennettu. Koordinaatit voidaan määrittää esimerkiksi tapittamalla, tällöin tarvitaan vähintään 3 tunnettua pistettä. Myös rajamitat leikkaamalla voidaan saada pyykin paikka määritettyä, mutta tämä on täysin riippuvainen siitä, että aikanaan mittaukset on tehty huolella, eikä rajamittaan ole tullut useamman metrin heittoja. Tämän jälkeen alkaa pyykin etsiminen, mikäli näyttää, että pyykki voisi olla tallessa. Vanhat konkarit osaavat kyllä sanoa hyvin äkkiä, jos on ihan turha kaivella. Toisaalta, jos pyykin pitäisi kaiken järjen mukaan olla tallessa, voidaan käydä samassa paikkaa useampana päivänä etsimässä kyseistä pyykkiä. Joskus käytetty aika tuottaa tulosta ja pyykki löytyy lopulta, ja taas toisinaan ei auta muu kuin todeta pyykki kadonneeksi.

Jos etupyykkiä ei löydy, tällöin uusi pyykki lyödään kadonneen pyykin määritetyn kohdan ja takapyykin väliselle suoralle n. 2 m päähän rakenteen reunasta. Mittaukset tapahtuvat yleensä aina rajanselvityksissä takymetrillä, ja tämä koskee nyt ainoastaan Mikkelin toimipistettä. Muissa toimipisteissä voi olla erilaisia käytäntöjä.

Mikäli etupyykkeitä ei ole, vaan raja menee suoraan tien yli, tällöin määritetään ainoastaan rajapiste, missä tiealueen ja tilojen rajat leikkaavat. Määritettyyn kohtaan lyödään tämän jälkeen uusi paalu, tai mikäli lähelle rajaa on lyöty paalu paalutusvaiheessa käytetään tällöin jo maastossa olevaa paalua. Maastossa olevaa paalua siirrettäessä pitää kuitenkin huomioida, ettei tiealue kapene tai leveene kohtuuttomasti toisessa kohtaan.

4.1.7 Kuviointi

Kuviointi suoritetaan siinä vaiheessa, kun kaikki muut maastotyövaiheet on suoritettu. Tällöin kartalle merkitään esim. liittymien leveydet ja maan tiluslaji lunastettavien alueiden osalta, mikä vaikuttaa aikanaan maksettaviin korvauksiin.

5 ALAMAAN MAANTIE

Alamaan maantietoimitusnumero (2009–307484) sijaitsee noin 10 km päässä Mikkelistä, Hiirilassa (liite 5). Opinnäytetyöhön liittyvät rajanselvitysvaiheen mittaukset kävin suorittamassa 2009 marraskuun aikana. Kartoitus, jonon- ja takapyykkien mittaukset, oli suoritettu jo aikaisemmin kesän ja syksyn 2009 aikana.

5.1 Mittaukset

Takapyykit olin käynyt mittaamassa jo aikaisemmin kesällä 2009 Trimblen R8 GNSS vastaanottimella, mikä on takapyykkien mittauksessa ehdottomasti kätevin ja nopein tapa. Takapyykit, joita ei pystytä mittaamaan GPS:n avulla, voi laskea yhden käden sormilla kullakin tieosuudella erikseen, sillä harvoin on niin tukkoisia paikkoja metsässä, ettei mittaus onnistu. Peitteinen mittauspaikka yhdistettynä huonoon ajankohtaan aiheutti Alamaan maantiella sen, että jouduttiin käymään samalla pyykillä pariin otteeseen ennen kuin pyykki saatiin mitattua. Metsien hoitamatta jättäminen lisää tällaisten paikkojen määrää entisestään. Alamaan maantien varrella oli ainoastaan yksi välttämätön takapyykki, joka olisi pitänyt mitata takyllä, koska sen mittaaminen oli ollut mahdotonta vielä kesällä GPS-mittalaitteen avulla. Onneksi syksyn aikana viereinen metsä oli hakattu aukoksi, mikä mahdollisti pyykin mittaamisen lopulta GPS:n avulla, kun olimme selvittämässä rajoja. Pyykin olisi voinut mitata tarvittaessa myös suoraan tieltä takyn avulla, jos GPS:ää ei olisi ollut käytettävissä.

Alamaan maantien kartoitus oli tapahtunut ns. vanhalla tavalla, eli takymetri oli pystytettyä aina jonopisteellä, josta havainnot suoritettiin. Itse en ollut mukana Alamaan maantien kartoituksessa.

Tein tarvittavat uusien pyykkien ja paalujen määritykset rajoille rajanselvitysvaiheessa Trimblen R8 GNSS -vastaanottimella, mikä käyttää sekä GLONASSin ja GPS:n satelliitteja paikanmäärityksessä. Mittaaminen itsessään tapahtui siten, että kävin kolmena päivänä mittaamassa 30–31.10.2009 ja 2.11.2009 Trimblen R8 kanssa. 30.10.2009 ja 2.11.2009 mukana oli mittaamassa myös maanmittausinsinööri Huovinen ja maanmittausteknikko Lintunen. Huovinen oli nimetty vastuuhenkilöksi kyseisen tien osalta, ja hänen vastuulla oli huolehtia, että hommat tulevat tehtyä ajallaan. He tekivät rajanselvitykset Leican takymetrillä, ja samalla tarkistivat Trimble R8:lla mittaamani pisteet.

Rajanselvittelyn yhteydessä, kun rupesimme paikallistamaan löytymättä jääneitä etu-pyykkejä ja määritettäessä uusien pyykkien paikkaa, tulivat jälleen kerran ilmi GPS:n heikkoudet peitteisillä alueilla huonona ajankohtana. Hyvin usein, jos jokin puoli tai-vaasta on esimerkiksi puuston peitossa, mittaukseen käytettävä aika mitattavaa kohdetta kohden kasvaa. GPS-mittalaitetta ei pysty käyttämään esteen taakse jääviä satelliitteja hyväksi paikanmäärityksessä. Yleensä maastossa ollessa ainoita esteitä ovat puut. Joten se, kuinka tiheää puusto kyseisellä kohtaa on vaikuttaa merkittävästi siihen, miten moni satelliitti jää puuston taakse piiloon. Tämä puolestaan aiheuttaa sen, että kun satelliitit puuttuvat kyseiseltä puolelta, satelliittigeometria on huono, mistä seuraa, että GPS- mittalaite ei saa ratkaistua sijaintiaan yhtä nopeasti ”alustettua” kuin avoimella. Myös väärän ratkaisun riski kasvaa. Alustuksen lopulta onnistuttua saadaan selville, kuinka paljon ollaan sivussa rajasta. Tämän jälkeen GPS-mittalaite tulee siirtää siihen suuntaa missä raja on. GPS-mittalaitteen siirtäminen aiheuttaa metsäisellä alueella sen, että alustus menetetään yleensä, minkä jälkeen on odotettava uutta alustusta. Kun oikea kohta on löytynyt voidaan pyykki / paalu lyödä paikalleen.

Mittauksia suorittaessa tuli ajanjaksoja, jolloin mittauksesta ei tullut mitään johtuen huonoista PDOP-arvoista. Mittausajankohdan DOP-arvot (liite 6). Tällaisten tilanteiden välttämiseksi tulisi ennen mittaamaan lähtöä tarkistaa satelliittialmanakasta, mihin aikaan päivästä on se hetki, jolloin mittaus ei todennäköisesti suju, ja pitää tauko samaan aikaan huonon mittausajankohdan kanssa, jolloin ns. hyvää mittaus aikaa ei mene hukkaan. Yleensä Suomessa huono mittausajankohta sattuu johonkin aikaan klo 11–14 välillä.

5.2 Tulokset

Seuraavaan taulukkoon 2 on koottu JAKO -kiinteistöjärjestelmästä otetut koordinaatit, takymetrillä mitatut koordinaatit sekä Trimble R8:lla mitatut koordinaatit.

TAULUKKO 2. Koordinaattien vertailu

numero	laatu		JAKO:ssa		GPS:llä mitatut		Takymetrillä mitatut	
62	rajapiste	x	6856008.682	x	6856008,695	x	6856008,690	
		y	3518964.151	y	3518964,153	y	3518964,159	
61	rajapiste	x	6856020.106	x	6856020,113	x	6856020,128	
		y	3518952.990	y	3518952,999	y	3518953,013	
88	putkipyykki	x	6855829.040	x	6855829,062	x	6855829,052	
		y	3518885.037	y	3518885,028	y	3518885,048	
71	putkipyykki	x	6856981.198	x	6856981,205	x	6856981,211	
		y	3519382.869	y	3519382,881	y	3519382,886	
44	putkipyykki	x	6856969.189	x	6856969,180	x	6856969,207	
		y	3519392.131	y	3519392,146	y	3519392,155	
56	putkipyykki	x	6857388.478	x	6857388,475	x	6857388,504	
		y	3519796.549	y	3519796,568	y	3519796,572	
71	putkipyykki	x	6857462.391	x	6857462,401	x	6857462,391	
		y	3519806.059	y	3519806,047	y	3519806,059	
97	putkipyykki	x	6856986.402	x	6856986,415	x	6856986,381	
		y	3519428.378	y	3519428,382	y	3519428,356	
70	putkipyykki	x	6858058.724	x	6858058,734	x	6858058,715	
		y	3520792.841	y	3520792,838	y	3520792,817	

Erotus takymetrin ja GPS:n tuloksista

62	x	0,005 cm
	y	0,006 cm
61	x	-0,015 cm
	y	0,014 cm
88	x	0,010 cm
	y	0,020 cm
71	x	-0,006 cm
	y	0,005 cm
44	x	-0,027 cm
	y	0,009 cm
56	x	-0,029 cm
	y	0,004 cm
71	x	0,010 cm
	y	0,012 cm
97	x	0,034 cm
	y	-0,026 cm
70	x	0,019 cm
	y	-0,021 cm

Rajanselvityksen yhteydessä mitattavat koordinaatit pyykeille ja rajapisteille muuttuvat vielä hiukan toimistolla. Syy tähän on, että käytännössä on mahdoton maastossa lyödä pyykki tai paalua vanhalle rajalle millilleen, joten toimistolla koordinaatteja on hiukan muutettava, jotta JAKO –järjestelmässä pyykki saadaan asetettua vanhalle rajalle. Käytännön merkitystä sillä ei ole, vaikka pyykki olisikin muutaman sentin sivussa vanhasta rajalinjasta. Jos maastossa haluaa saada jo ns. oikeat koordinaatit, mitkä

osuvat suoraan vanhalle rajalle, tällöin täytyy laskea takymetrin löytyvien laskentatoimitusten avulla tai laskimella oikeat koordinaatit. Tämän jälkeen voidaan kyseistä paikkaa merkitä takyn tai GPS mittalaitteen avulla ja lyödä pyykki paikalleen.

Kuten tuloksista käy, ilmi satelliittimittauksilla on mahdollista päästä riittävän lähelle rajan paikkaa ja pyykin voisi lyödä paikalleen ilman tarkistusta takymetrillä. Taulukoon kerätyt pyykit ja paalut sijaitsivat täysin aukeista paikoista aina peitteisempiin paikkoihin. Taulukossa ei ole yhtään pyykkiä tai rajapistettä, mikä olisi ollut täysin peitteisellä paikalla. Koska kyseisellä tieosuudella ei ollut yhtään täysin peitteistä paikkaa missä, mittaus olisi onnistunut ja olisi ollut mahdollista saada luotettavia tuloksia, en nähnyt tarpeelliseksi ruveta ottamaan ”huonoja” koordinaatteja mukaan taulukkoon. Mahdollisesti, jos kyseisiltä paikoilta olisi tehnyt estepiirrokset, olisi ollut mahdollista löytää sopiva mittausajankohta, mutta johtuen kyseisen menetelmän epäkäytännöllisyydestä juurikin sen aikaa vievän vaikutuksen takia en pitänyt sitä tarpeellisenä.

Tuloksista näkyy myös, että GPS:llä saadut koordinaatit eroavat takymetrillä saaduista muutamasta millistä aina muutama senttiin. Vaikutuksen mittaustuloksiin tuovat GPS mittauksissa mahdolliset esteet mitattavan kohteen ympärillä ja satelliittien sijoittuminen. Takymetrimittauksissa mittaustuloksien suurimmat virheet johtuvat yleensä mittaajasta tai mahdollisesti huonoista liitospisteistä, joiden avulla taky on orientoitu.

6 POHDINTA

Työni tarkoituksena oli soveltaa satelliittipaikannusta uuteen työkohteeseen ja suorittaa vertailevaa tutkimusta satelliittimittauksen ja takymetrimittauksen välillä. Työni keskittyy rajaamistoimituksen rajanselvitysvaiheen mittauksiin. Itselle oli muodostunut jo jonkinlainen kuva rajaamistoimitusten mittaustapahtumista kesien 2007 - 2009 aikana ollessani Etelä-Savon maanmittaustoimistolla töissä. Tänä aikana oli tullut jonkinlainen käsitys siitä, mitä ja missä kannattaa mitata takymetrillä sekä missä mittauksen voisi suorittaa sujuvammin ja nopeammin GPS-mittalaitteen avulla.

GPS-mittaus löi itsensä läpi nopeana sekä tarkempaa ja reaaliaikaista paikannustietoa tarjoavana mittausmenetelmänä Maanmittauslaitoksessa 2000 luvulla. Sen jälkeen on alkanut GPS-laitteiden nopea yleistyminen ja takymetrimittaus on pikkuhiljaa vähentynyt. GPS-mittalaitteiden käyttöä tulisikin kouluttaa laitoksen työntekijöille esimerkiksi niin että kaikki, jotka tarvitsevat GPS-laitteita mittauksissa, tietäisivät, miten laitteet toimivat. Lisäksi heidän tulisi osata myös käyttää mittalaitteiden tarjoamia ominaisuuksia mittausten tukena.

Kun Galileo -järjestelmä aikanaan saadaan satelliittipaikannusmarkkinoille, tulee se edelleen nopeuttamaan satelliittimittauksia. Vastaanottimet suunniteltaneen siten, että ne voivat käyttää kaikkien kolmen eli GPS, GLONASS ja Galileo järjestelmän tarjoamia signaaleja paikanmääritykseen. Tällöin satelliittigeometria paranee, ja se on tietysti käyttäjän kannaltakin hyvä asia. Tällöin mittalaite saa ratkaistua sijaintinsa nopeammin ja tätä kautta mittauksiin käytetty aika pienenee, ja myös mahdollisuus väärään ratkaisuun pienenee.

Toisaalta tulevaisuudessa satelliittimittauksen yhdeksi haasteeksi maastossa voi muodostua metsien hoitamatta jättäminen. Kun metsä pääsee kasvamaan umpeen johtuen huonosta hoidosta, voidaan saman tien unohtaa nopeat ja tarkat satelliittimittaukset. Vaikka taivas olisi täynnä paikannussatelliitteja, niistä ei ole iloa, sillä paikannussignaali ei läpäise kiinteitä esteitä. Tällaisia tapauksia on tullut aina muutama kesässään vastaan, että mitattavan kohteen ympärille on kasvanut runsas roskapuusto. Tällöin voidaan yrittää ratkaista ongelma lievällä metsänraivauksella. Myös uudistuskypsä metsä voi estää mittauksen täysin, mikäli pyykki sattuu olemaan keskellä tällaista aluetta. Mainittakoon myös, että notkoissa ja muissa vastaavissa painanteissa mittaaminen voi olla haasteellista, koska tällöin suuri osa taivaasta on esteiden peitossa (puiden), mutta kyseessä on sellainen ongelma, mihin käyttäjän on mahdoton vaikuttaa. Ainoa asia, mitä käyttäjä voi tehdä, on tarkistaa satelliittialmanakasta paras mittausajankohta ja luottaa, että mittaus onnistuu.

Rajaamistoimituksen rajanselvitysvaiheessa tehokkain lopputulos saavutettaisiin, mikäli mittausryhmällä olisi käytössä sekä GPS-mittalaite että takymetri. Kullakin rajalla voisi tällöin kokenut mittaaja sanomaan, kummalla mittausmenetelmällä voitaisiin saavuttaa haluttu lopputulos nopeammin. Tässä tulee kuitenkin vastaan se, onko ta-

loudellisesti kannattavaa hommata joka mittaryhmälle omaa GPS-mittalaitetta. Pari GPS-mittalaitetta saattaisi riittää, jos ne olisi nimetty tietyille ryhmille. Lisäksi töiden etukäteen suunnittelulla voitaisiin huolehtia, että rajanselvittäjillä olisi matkassa aina GPS-mittalaite takymetrin ohella.

Mahdollisia jatkoselvitysaiheita voisi olla ajansäästö toimituksissa esimerkiksi joko pelkästään GPSää tai GPSää yhdessä takymetrin kanssa. Vertailukohtena olisi pelkkään takymetrimittaukseen perustuva menetelmä. Myös lisääntyvien paikannussatelliittien kautta olisi mahdollista tulevaisuudessa tutkia, miten peitteisille alueille kannattaa mennä mittamaan GPS:n kanssa. Samalla selvitettäisiin tarkkuutta kyseisillä paikoilla tehtävissä mittauksissa. Lisäksi voitaisiin tutkia, kuinka paljon keskimäärin yhden pyykin mittaamiselle tulee hintaa satelliittimittauksella.

Itselleni opinnäytetyö antoi lisää tietoa satelliittipaikannusjärjestelmistä ja niiden toiminnasta. Työstä saadut johtopäätökset vastasivat tosin melko pitkälle ennen työn aloittamista olleita olettamuksia, mutta nyt sain niille mielestäni asianmukaiset perustelut.

LÄHTEET

1. Kaasinen, Seppo. Maankäyttö 2/2004. Pdf- artikkeli.

http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk204/mk204_84_kaasinen.pdf Julkaistu 21.2.2005. Päivitetty 2.3.2005. Viitattu 15.11.2010

2. Maanmittauslaitos: Toiminta ja tehtävät.

http://www.maanmittauslaitos.fi/Maanmittaus_laitos/Toiminta_ja_tehtavat/ Ei julkaisutietoja. Päivitetty 12.5.2010. Viitattu 12.5.2010.

3. Kurri, Leena. Maantietoimitus. Mikkelin Ammattiopisto. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2006.

4. Maantietoimitus tiealueen merkitsemiseksi (rajaamistoimitus). Pdf-dokumentti [www.maanmittauslaitos.fi/Maantietoimitus_tiealueen_merkitsemissiksi_\(rajaamistoimitus\).pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/Maantietoimitus_tiealueen_merkitsemissiksi_(rajaamistoimitus).pdf) Julkaistu 2.4.2009. Ei päivitystietoja. Viitattu 12.5.2010.

5. Toimitusmenettelyn käsikirja. Verkkodokumentti.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/node/1690> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 16.11.2010. Viitattu 16.11.2010

6. Turpeinen, Janne. RTK-mittausten vaikutus lohkomisiin ja niiden tehostamien. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2007.

7. Satelliittipaikannus. Verkkodokumentti.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=929> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 24.5.2010. Viitattu 24.5.2010.

8. Maanmittauslaitos ottaa käyttöön VRS -verkon GPS-mittauksissa. Verkkodokumentti.

<http://www.geotrim.fi/News.asp?id=89> Julkaistu 10.12.2003. Päivitetty 15.6.2010. Viitattu 15.6.2010

9. Penttinen, Jaakko. Selvitys VRS –järjestelmän toiminnasta, rakenteesta ja paikallista hyödyntämisestä. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2004.
10. Ritakallio, Samuel. Suomen pysyvän GPS-verkon uudistaminen GNSS-yhteensopivaksi.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3542/suomenpy.pdf?sequence=1> Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Insinööriö. 2009.
11. Satelliittipaikannus ohjelma. Verkkodokumentti.
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/galileo/programme/index_en.htm Ei julkaisutietoja. Ei päivitystietoja. Viitattu 9.6.2010.
12. Poutanen, Markku. GPS-paikanmäärittäminen. Hämeenlinna. Karisto Oy kirjapaino. 1998.
13. Scott Pace, Gerald P. Frost, Irving Lachow, Dave Frelinger, Donna Fossum, Don Wassem, Monica M. Pinto. GPS history, chronology, and budgets. Pdf- dokumentti.
http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR614/MR614.appb.pdf Julkaistu 20.12.2005. Päivitetty 7.2.2006. Viitattu 16.6.2010
14. GPS Development and GPS information. Verkkodokumentti.
<http://yellowairplane.com/Telescopes/GPS-Development-information.htm> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 8.6.2010. Viitattu 13.6.2010.
15. Navigation Center. Verkkodokumentti.
<http://www.navcen.uscg.gov/navinfo/Gps/Activenanu.aspx> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 9.6.2010. Viitattu 9.6.2010
16. DLR, Stanford Track First GPS IIF Signals. Verkkodokumentti.
<http://www.insidegnss.com/node/2135> Julkaistu 7.6.2010. Päivitetty 7.6.2010. Viitattu 9.6.2010.

17. Ilmonen, Mikko. Maankäyttö 1/2006. Pdf- artikkeli.

http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk106/mk106_904_ilmonen.pdf Julkaistu 27.2.2006. Päivitetty 27.2.2006. Viitattu 17.5.2010.

18. Global Navigation Satellite System (GLONASS) Overview. Verkkodokumentti.

http://www.positim.com/glonass_overview.html Julkaistu 10/2009. Päivitetty 5/2010. Viitattu 1.6.2010.

19. MIT/Lincoln Laboratory Satellite Navigation Group. Glonass deployment history.

Verkkodokumentti. www.geocomp.at/wux/news/Glohist.doc Ei julkaisutietoja. Päivitetty 12.1.1999. Viitattu 19.5.2010.

20. Federal Space Agency Information-Analytical Centre. Verkkodokumentti.

<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:2259327877004178::NO> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 1.6.2010. Viitattu 1.6.2010.

21. Introduction to the Russian GLOBAL NAVIGATION Satellite System GLONASS.

Verkkodokumentti. <http://ibank.tripod.com/lecture/GPS90.HTM> Ei julkaisutietoja. Päivitetty 1.6.2010. Viitattu 1.6.2010.

22. Russia Launches Three More GLONASS-M Space Vehicles. Gibbons Media &

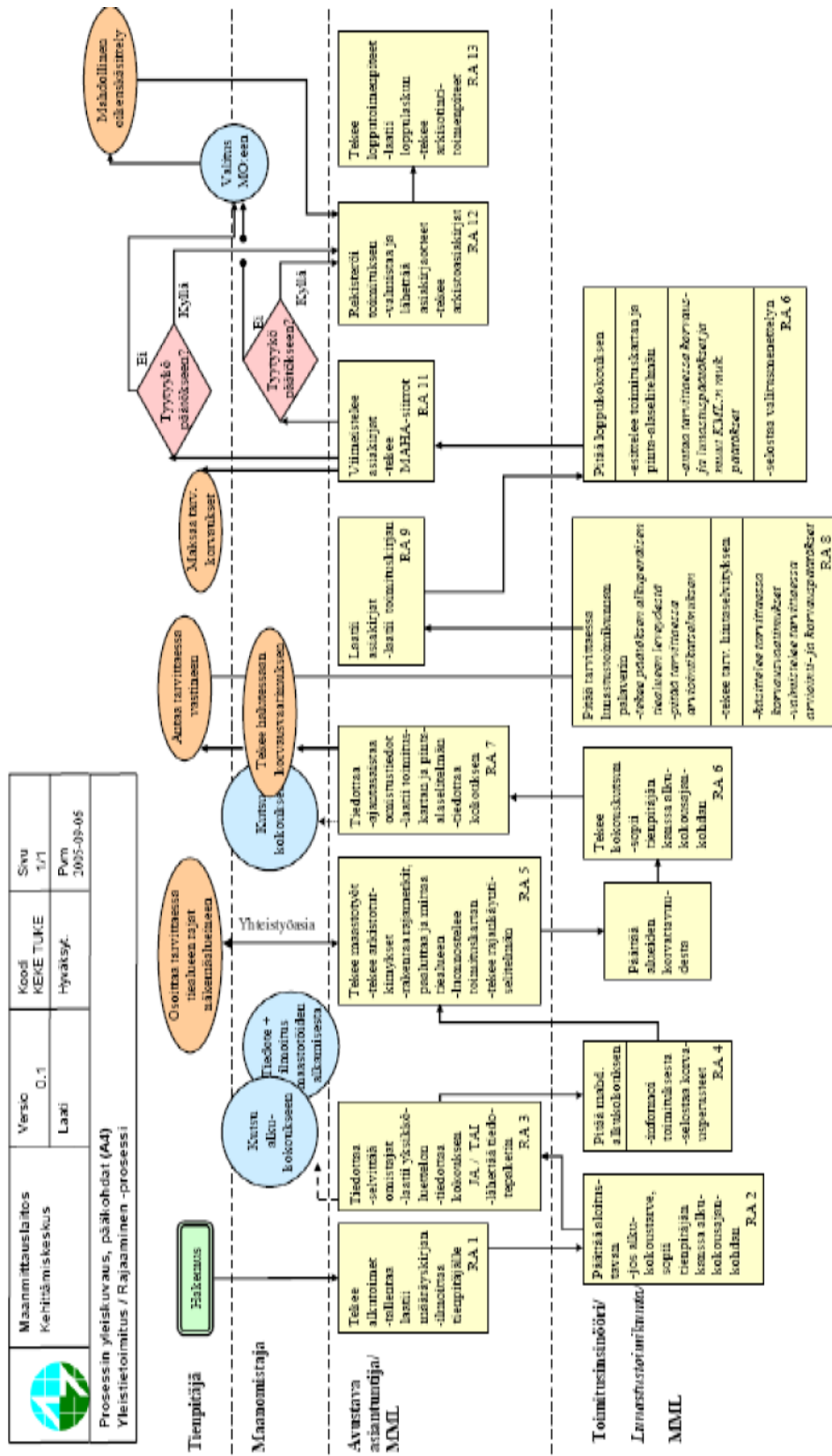
Research LLC. Verkkoartikkeli. <http://www.insidegnss.com/node/2013> Julkaistu 28.3.2010. Päivitetty 1.6.2010. Viitattu 1.6.2010.

23. What is Galileo. Verkkodokumentti.

http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html Ei julkaisutietoja. Päivitetty 11.5.2010. Viitattu 14.6.2010.

24. Page, Lewis. Galileo sat-nav contracts, startup dates announced. Verkkodokumentti

http://www.theregister.co.uk/2010/01/07/galileo_contracts/ Julkaistu 7.1.2010. Päivitetty 14.6.2010. Viitattu 14.6.2010.



	Maanmittauslaitos Kehittämiskeskus	Koodi KEKE TUKE	Sivu 1/1
	Versio 0.1	Hyväksy. Pvm	2005-09-05
Prosessin yleiskuvauksen, pääkohdat (A4) Yleistietoitus / Rajaaminen -prosessi			

Tienpitäjä

Muunnostyö

Toimitusinsinööri/
Luvantarkastaja/luonnittelija
MML

MAANMITTAUSLAITOS
Kehittämiskeskus
Maastotiimi

RSK-LUKUSUOSITUS
GPS-mittauksissa
2005-02-23

1

RSK-lukusuositus GPS-mittauksissa

1. Yleistä

Tämän suosituksen tarkoituksena on antaa ohjeet RSK-luvun tallentamiseksi rajamerkkien mittauksissa silloin, kun käytetään RTK-GPS-laitteistoa.

2. Fixed-tilassa mitatut

▪ RSK 0.1

Rajamerkki tallennetaan 0.1 rsk:n luvulla, kun kohde on selvä yksiselitteinen mittauskohde. Esim. jämerästi oleva putkipyykki, piikattu ympyrä, jossa suuntaurien riisteyskohde, betonipyykin päässä oleva harjaterästanko, tms.

▪ RSK 0.2

Käytetään, kun alusta on kivenmöhkäle tai heiluva putkipyykki tai kallioon piikattu pelkkä nro tms. "ei niin yksiselitteinen" mittausta paikka kohteessa.

3. Piilopistemittaus (epäkeskiset mittaukset)

▪ RSK 0.3-0.5

Piilopiste mittauksessa apulinjan (pisteiden) ollessa hyvä(t) voidaan piilopisteenä mitattu rajamerkki tallentaa min 0.3 rsk-luvulla. Tästä kuitenkin mittaajan arvion mukaan huonontaan kohteen rsk-lukua aina 0.5:een saakka.

Piilopistemittauksissa rsk-luvun määrittelemisessä tulee huomioida apuna käytettyjen pisteiden tarkkuus sekä geometria (kaarileikkaukset jne.).

Ei kuitenkaan anneta kahden desimaalin tarkkuuksia, vrt. 0.25→ilmakuvatut.

4. Float-tilassa mitatut

▪ RSK 0.8-2.0

Mikäli satelliitteja on kiinni L1:ssä ja L2:ssa vähintään 6 kpl ja kone näyttää tarkkuudeksi selvästi parempaa kuin 0.8 (esim. 0.3-0.6), rsk-luvuksi voidaan hyväksyä min. 0.8.

Muutoin käytetään rsk-lukua 1.0-2.0 paitsi, jos satelliitteja on L1:ssä tai L2:ssa kiinni alle 5 kpl, ei hyväksytä ollenkaan.

Laitteiden antamaan float-sijainnin tarkkuuteen ei voida tukeutua suoraan, vaan mitatuille pisteille tulee antaa selkeästi huonommat lukemat kuin mitä laite antaa.

5. Staattisesti mitatut

▪ RSK 0.1, 0.2

Silloin, kun jälkilaskennassa on saatu fixed-ratkaisu, käytetään samaa periaatetta kuin RTK-fixed-ratkaisussa. Rsk-luvuksi annetaan 0.1 tai 0.2, kohdan 2 mukaisesti.

Rsk-luku tulee antaa kuitenkin heikompana silloin, kun laskija on ilmoittanut ratkaisun olevan epävarma.

Takymetrimittausten tarkkuusvaatimukset

MAANMITTAUSLAITOS
Keskushallinto

MÄÄRÄYS

5(12)

2004-05-31

4 Toimitusmittaukset

4.1 Rajamerkkien mittaus

4.1.1 Rajamerkkien keskinäisen sijainnin määrittelyn tarkkuus

Mittausluokissa 1 ja 2 noudatetaan pyykkien mittauksessa kaavoitusmittausohjeissa mainittuja virherajoja.

Mittausluokissa 3, 4 ja 5 on pyykin sijainti mitattava sellaisella tarkkuudella, että koordinaateista tai mittaustuloksista lasketut rajamerkkien väliset etäisyydet saavat erota maastossa tarkistusmitatuista etäisyyksistä enintään:

Mittausluokka	ero enintään
3	$0,40 + 0,02 \times \text{SQR}(L)$
4	$1,00 + 0,05 \times \text{SQR}(L)$
5	$1,50 + 0,15 \times \text{SQR}(L)$

L on pisteiden välinen etäisyys metreinä.

Sama tarkkuusvaatimus koskee liitospisteiden ja rajamerkkien välisiä etäisyyksiä.

Mittausluokka 3:

Muut alueet, joille laaditaan yleiskaavaa yksityiskohtaisempi mutta vain vähäistä rakennusoikeutta tarkoittava kaava.

Tällaisia voivat olla alueet, joille laaditaan ranta-asemakaava, kaatopaikka-alueet ja muut erityisalueet, joiden kaavoittaminen ei edellytä kunnallisteknisen rakentamisen suunnittelua sekä haja-asutusalueet, joilla maa on maa- ja metsätalousmaata selvästi arvokkaampaa.

Mittausluokka 4:

Haja-asutusalueet, joilla maan arvo on maa- ja metsätalousmaan keskimääräistä tasoa.

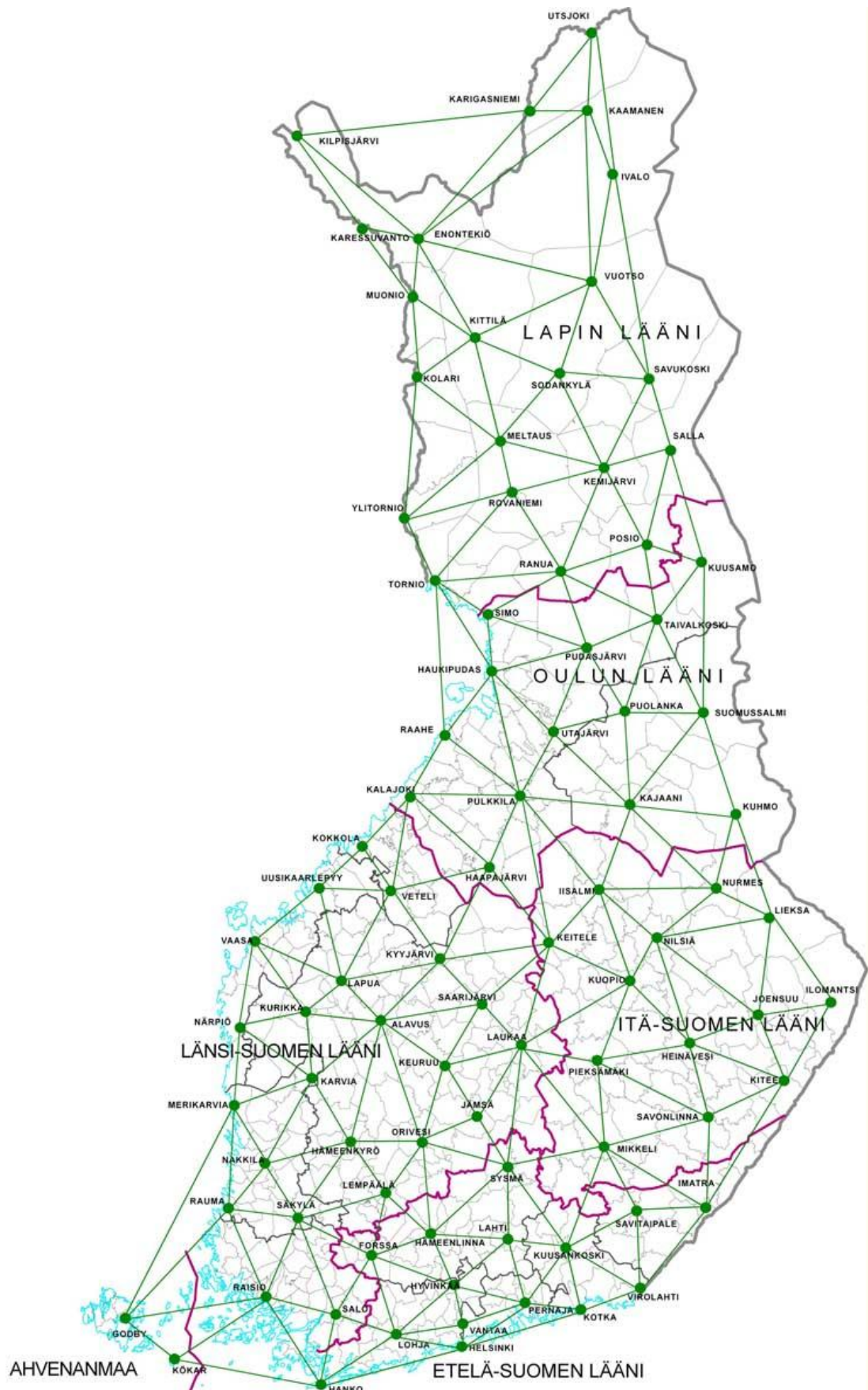
Tällaisia voivat olla myös ranta-asemakaava-alueet, joille voidaan rakentaa vähäistä ja väljää loma-asutusta.

Mittausluokka 5:

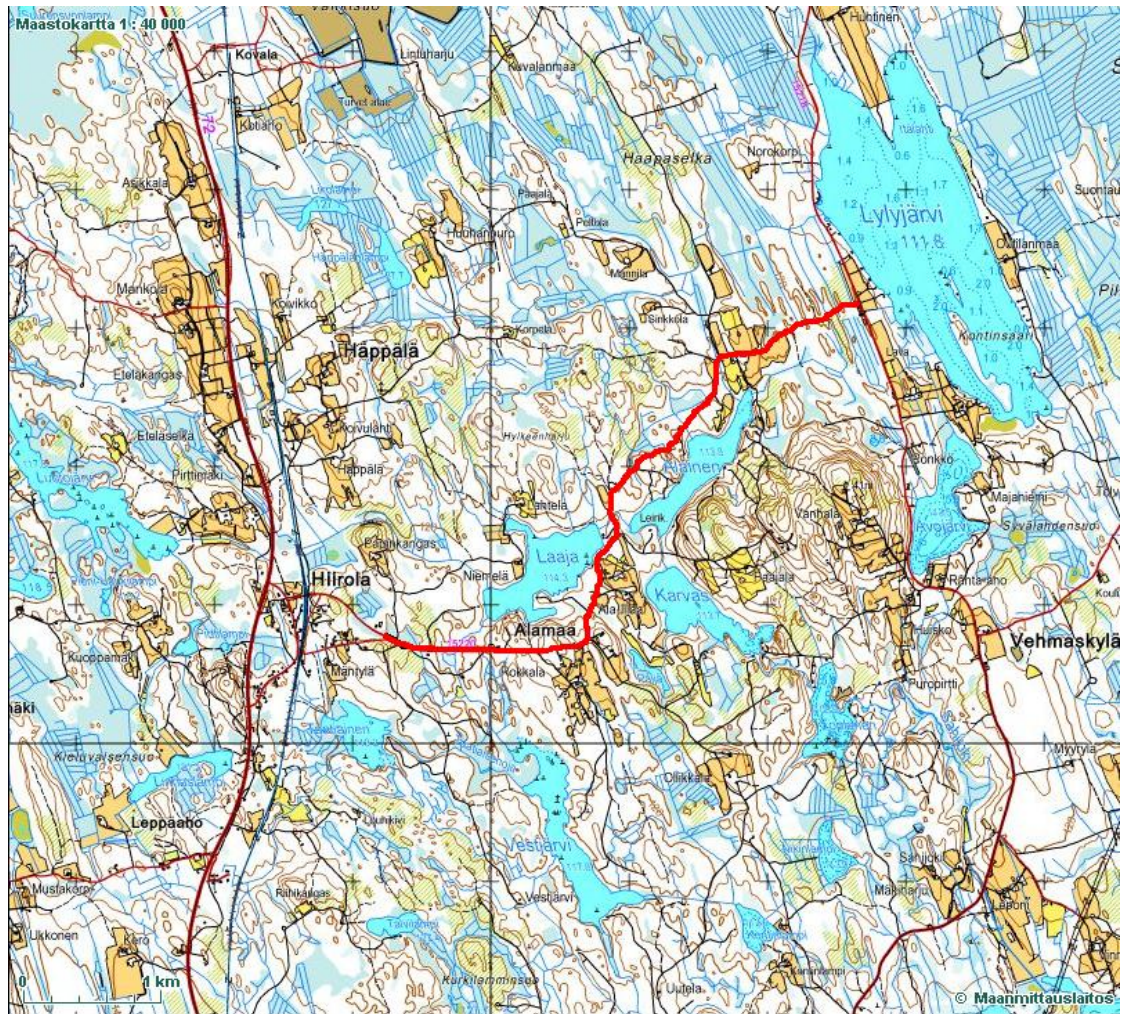
Alueet, joilla maan arvo on maa- ja metsätalousmaan keskimääräistä tasoa alempi tai maalla on vain metsätalousmaan arvo.

Tällaisilla alueilla ei yleensä ole mittausluokan 4 tai tarkemmat vaatimukset täydennysmittauksista täyttävää numeerista karttaa.

Mittausluokat 1,2 ja 3 vastaavat kaavoitusmittausohjeissa mainittuja mittausluokkia.



Alamaan maantien yleiskartta



karttapaiikka.fi

