

ABSOLUUTTISEN PAIKANNUKSEN KÄYTTÖ KARTTA- TUOTANNOSSA

Kultalahti Eetu

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Eetu Kultalahti	Vuosi	2018
Ohjaaja(t)	Sami Porsanger		
Toimeksiantaja	Roll Outdoors		
Työn nimi	Absoluuttisen paikannuksen käyttö kartta- tuotannossa		
Sivu- ja liitesivumäärä	39+ 1		

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia absoluuttisen paikannuksen ominaisuuksien riittävyyttä karttatuotannossa tehtävään paikannukseen. Työn lähtökohtana oli tarve saada luotua opaskartta Rovaniemen maastopyöräilyreiteistä. Työn tarkoituksena oli siis selvittää, riittääkö muun muassa matkapuhelimissa ja urheilukelloissa käytettävän paikannusmenetelmän tarkkuus tällaisen opaskartan reittien kartoittamiseen. Työssä myös pohdittiin menetelmän etuja ja haittoja verrattuna muihin, yleisemmin maanmittaustekniikan alalla, käytettyihin menetelmiin.

Tämän työn teoriaosuudessa käytiin läpi GPS-paikannuksen teoriaa ja erilaisia paikannusmenetelmiä. Teoriaosuuden tarkoitus oli esitellä lukijalle satelliittipaikannuksen perusteet ja yleisesti käytetyt menetelmät ja niiden eroavaisuudet. Käytännön mittaukset suoritettiin käyttäen kahta erilaista paikannusvälinettä, urheilukelloa sekä älypuhelinta. Reitit kartoitettiin asettamalla molemmat paikantimet tallentamaan sijaintiaan sekunnin välein. Näistä peräkkäisistä paikannuksista laitteet muodostivat jäljen eli yhtenäisen viivan, joka kuvaa niiden kulkemaa reittiä. Opaskartta luotiin vapaan lähdetiedon ohjelmalla nimeltä QGIS. Kartan tekemiseen käytettiin Maanmittauslaitoksen tarjoamaa Maastotietokantaa, jota suodattamalla ja visualisoimalla saatiin luotua lopullinen kartta. Lopuksi kartalle sijoitettiin kartoitetut reitit ja luotiin kartasta yhtenäinen, selkeä kokonaisuus.

Lähtökohtaisesti oli tiedossa, että absoluuttisen paikannuksen tarkkuus on heikompi, kuin yleisesti kartoitukseen käytetyissä menetelmissä. Kartoituksien tarkkuutta tarkasteltaessa kuitenkin huomattiin, että paikannuksen virheet pysyvät kohtuullisen pieninä. Paikannukset suoritettiin samanaikaisesti kahdella eri laitteella ja niiden dataa tarkastelemalla todettiin virheiden pysyvän reilusti alle 10m luokassa, joka ei ole tällaisessa kartassa ongelma. Absoluuttista paikannusta käyttävien laitteiden hinnan ja käytön helppouden sekä kartoituksen tarkkuuden perusteella menetelmä on hyvin sovellettavissa tällaiseen karttatuotantoon.

Avainsanat satelliittipaikannus, paikkatieto, kartta, GPS, QGIS, älypuhelin
Muita tietoja Työhön liittyy erillinen kartta.

Technology, Communication and
Transport
Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Eetu Kultalahti	Year	2018
Supervisor	Sami Porsanger		
Commissioned by	Roll Outdoors		
Subject of thesis	Absolute Positioning as a Method for Trail Mapping		
Number of pages	39 + 1		

This thesis was written to study if the positioning accuracy of absolute positioning is accurate enough to use for mapping trails for a mountain biking map. The intention was also to discuss about the pros and cons of the used method.

The thesis began with the basic theory of the GPS positioning. The trails were surveyed with two different GPS receivers to be able to compare the accuracy of the data. The map was then created with an open-source software called QGIS. The downloaded data for the map was filtered and visualized to form an informative map. The surveyed routes were then placed on the map with some other useful information to create a proper map.

It was known that absolute positioning is much less accurate than some other methods. However, the biggest errors found in the data were way under 10 meters which is not a problem in a map like this. When taking account the price and the ease of use of absolute positioning it is a really suitable method for surveying trails for a map.

Keywords satellite positioning, mapping, GPS, QGIS, smartphone
Special remarks The thesis includes an separate map.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 GPS-PAIKANNUS	7
2.1 GPS-paikannuksen toimintaperiaate	7
2.2 GPS-järjestelmän osat.....	9
2.3 Paikannusmenetelmät	11
2.4 GPS-paikannuksen virheet.....	14
3 PAIKKATIETO	18
4 KÄYTÄNNÖN KARTOITUS.....	19
4.1 Reittien kartoittaminen	19
4.2 Kartan luominen.....	20
4.3 Kartoituksen tarkkuus	25
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
6 POHDINTA.....	35
LÄHTEET.....	37
LIITE	39

ALKUSANAT

Haluan kiittää Roll Outdoorsin Heikki Stöckelliä ja Johannes Perkkiötä kiinnostuksesta tämän projektin aloittamiseen. Kiitos myös avusta ja ajoseurasta reittejä kartoittaessa. Ilman teidän reittituntemusta poluista olisi jäänyt ehkä parhaat löytymättä. Kiitos myös Joel Kauppinen korvaamattomasta avusta, neuvoista ja kommentteista koskien QGIS:n käyttöä sekä yleisesti karttojen tekemistä. Kiitos Sami Porsanger ja muut opettajat kommentteista ja neuvoista koskien opinnäytetyön aihetta ja sisältöä.

1 JOHDANTO

Rovaniemellä harrastetaan paljon erilaista ulkoilua aina päiväkävelyistä ja koiran ulkoiluttamisesta polkujuoksuun ja maastopyöräilyyn. Suuri osa ulkoilusta tapahtuu metsissä ja vaaroilla, jolloin maastoon syntyy polkuja. Näitä polkuja risteileekin esimerkiksi Ounasvaaran alueella lähes loputtoman paljon ja isoa osaa niistä ei löydy kartoilta. Harrastajan voikin olla hankala löytää näistä poluista parhaat omaan käyttöön. Tätä taustaa vasten lähdimme yhdessä ohjelmopalveluita tarjoavan Roll Outdoors -yrityksen kanssa kehittämään opaskarttaa Ounasvaaran maastopyöräilypoluista. Tarkoituksena oli kartoittaa muutamia eritasoisia reittejä Ounasvaaran alueelta ja esittää ne kartalla, jota voi hyödyntää niin paikalliset pyöräilijät kuin Roll Outdoorsin pyöriä vuokraavat asiakkaat. Alueelta ei ollut tarkoitus kartoittaa kaikkia polkuja vaan muutama yhtenäinen lenkki, jotka sisältävät parhaita tarjolla olevia reittejä.

Karttojen tekeminen on ollut jo vuosisatoja yksi maanmittareiden tärkeimmistä taidoista. Nykyaikana kartan tekemistä ei tarvitse aloittaa kuitenkaan täysin tyhjästä, vaan tehtävää helpottaa vuonna 2012 vapaaseen käyttöön avattu Maanmittauslaitoksen Maastotietokanta. Maastotietokanta sisältää kaiken karttapohjaan tarvittavan tiedon ja sitä pystyy itse visualisoimaan ja valikoimaan omaan käyttöön sopivaksi. Tätä karttaa luodessa haluttiin tarjota käyttäjälle tarkkaa tietoa maastosta, jossa polut kulkevat, joten kartta sisältää esimerkiksi kaikki kartoitetut polut, kivikot, avokalliot ja korkeuksien hahmottamista helpottavan vinovalovarjostuksen.

Tässä opinnäytetyössä on opaskartan luomisen lisäksi tarkoitus tutkia absoluuttisen paikannuksen tarkkuuden riittävyttä tällaisen paikkatiedon keruuseen käyttäen mobiili-GPS -laitteita, kuten urheilukelloa ja matkapuhelinta. Tiedossa on, että laiteilla ei päästä läheskään maanmittaustasoiseen muutamien senttien tai millien tarkkuuteen vaan tarkkuus on metrien, jopa kymmenien metrien luokassa. Työssä pohditaan sitä, millaisia ongelmia tämä epätarkkuus saattaa tuoda ja toisaalta sitä, kuinka tarkemmat mittaukset nostaisivat kuluja ja kartoitukseen käytettävää aikaa.

2 GPS-PAIKANNUS

2.1 GPS-paikannuksen toimintaperiaate

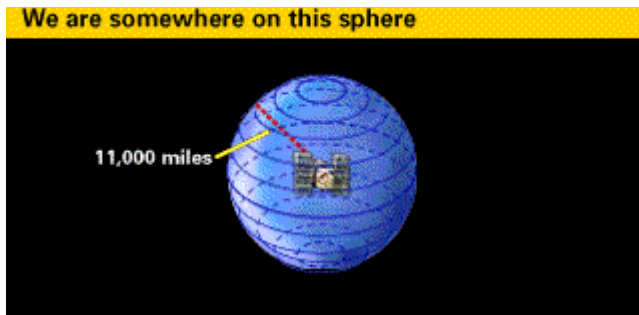
Kirjainyhdistelmä GPS tulee sanoista Global Positioning System. Nimensä mukaisesti se on tarkoitettu maailmanlaajuiseksi paikannus- ja navigointijärjestelmäksi. GPS-paikannuksen historia alkaa vuodesta 1973, jolloin USA:n puolustusministeriö päätti alkaa kehittää uutta paikannusjärjestelmää sotilaalliseen käyttöön. Vuoteen 1984 asti GPS-järjestelmä olikin pelkästään USA:n armeijan käytössä, kunnes se avattiin yleiseen käyttöön. Kuitenkin, vuoteen 2000 asti oli käytössä SA-häirintä (selective availability), joka heikensi paikannuksen tarkkuutta huomattavasti. (Miettinen 2006, 9, 23–26.)

Tällä hetkellä GPS-järjestelmä sisältää 32 satelliittia, jotka kiertävät maata kuudella, lähes ympyrän muotoisella, radalla (GPS Constellation Status 2017). Tämä järjestely takaa vähintään neljän satelliitin näkyvyyden käyttäjälle avoimessa ympäristössä (Federal Aviation Administration 2016a). Arkipäiväisessä puheessa GPS-kirjainyhdistelmää käytetään puhuttaessa yleisesti satelliittipaikannuksesta. Nykyään käytössä on kuitenkin USA:n järjestelmän lisäksi muun muassa venäläinen GLONASS, kiinalainen Beidou ja vielä hieman kesken oleva eurooppalainen Galileo. Nykyään monet GPS-paikantimet pystyvät käyttämään paikannuksessa GPS-satelliittien lisäksi GLONASS-satelliitteja. Tämä mahdollistaa tarkemman ja luotettavamman paikannuksen, sillä paikantamiseen käytettäviä satelliitteja on enemmän saatavilla. (Laurila 2012, 289–291.)

Paikannukseen on käytettävissä muutamia eri havaintosuureita. Riippuen käytetystä menetelmästä, paikannuksessa hyödynnetään joko paikannuskoodeja tai kantoaaltoja. Käytettävissä olevat suureet ja niiden pituuden ovat:

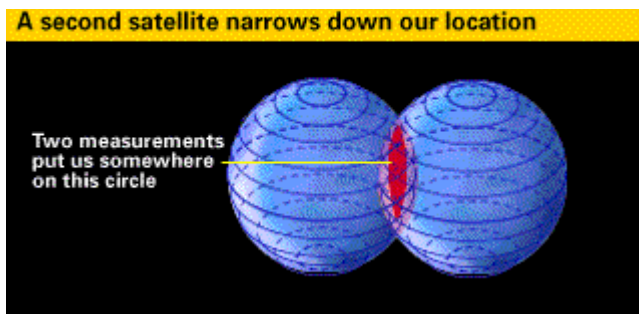
- P-koodi (29,3 m)
- C/A-koodi (293 m)
- L1-kantoaalto (0,19 m)
- L2-kantoaalto (0,24 m). (Laurila 2012, 292.)

Satelliittipaikannus perustuu paikantimen ja satelliittien välisen etäisyyden mittaamiseen. Ensimmäisessä vaiheessa paikannin mittaa etäisyyden yhteen satelliittiin, jolloin saadaan määriteltyä pallopinta satelliitin ympärille. Tämän pallon säde on saman suuruinen kuin paikantimen mittaama etäisyys ja paikannin sijaitsee jossain tällä pallopinnalla. Ensimmäinen vaihe on esitetty kuviossa 1. (Trimble 2017.)



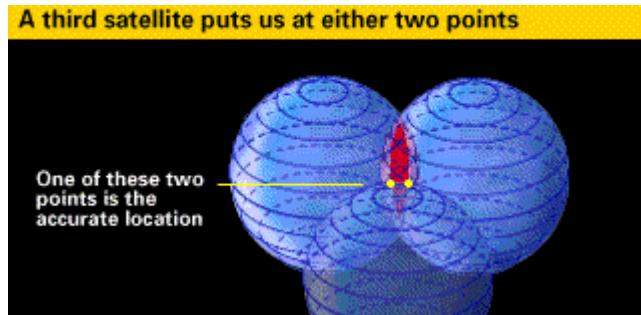
Kuvio 1. Ensimmäinen vaihe (Trimble 2017)

Seuraava mittaus määrittää toisen samanlaisen pallon, joka leikkaa osittain ensimmäisen pallon kanssa. Paikannin sijaitsee jossain näiden kahden leikkaavan pallon muodostaman ympyrän alueella. Toinen vaihe on esitetty kuviossa 2. (Trimble 2017.)



Kuvio 2. Toinen vaihe (Trimble 2017)

Kolmas mittaus määrittää vielä kolmannen pallon, joka leikkaa kaksi ensimmäistä palloa, antaen kaksi leikkauspistettä, joista toisessa paikannin sijaitsee. Kolmas vaihe on esitetty kuviossa 3. (Trimble 2017.)



Kuvio 3. Kolmas vaihe (Trimble 2017)

Jo näiden kolmen mittauksen perusteella pystytään päätellä paikantimen sijainti, sillä yleensä toinen näistä mahdollisista pisteistä sijaitsee kaukana maapallon pinnasta, jolloin se voidaan hylätä. Neljäs mittaus on kuitenkin tarpeen paikan varmistamiseksi ja mittauksen tarkentamiseksi. (Trimble 2017.)

Etäisyys satelliitteihin saadaan laskettua signaalin nopeuden ja sen kulkuun käyttämän ajan tulona. Radioaallot kulkevat tyhjiössä valonnopeutta, joten tätä käytetään kaavassa nopeutena. Aika saadaan asettamalla sekä satelliitin, että paikantimen samalla ajanhetkellä tuottama PRN-koodi (Pseudo Random Noise code) päällekkäin ja vertaamalla niiden viivettä. Viiveen selvittämiseksi on tarvitsee tietää tarkasti se ajanhetki, jolloin PRN-koodi lähetettiin satelliitista sekä aika, jolloin vastaanotin loi vastaavan koodin. Mahdollisimman tarkan ajan määrittelyä satelliiteissa on käytössä atomikellot, jonka lisäksi niiden käyntiä seurataan jatkuvasti tarkkailu-aseilla ja mahdolliset viiveet välitetään korjaustietoina navigointisignaalien mukana. Tarkan ajanhetken määrittelyn tärkeyttä kuvaa se, että yhden sekunnin sadasosan virhe kulkuajan laskemisessa aiheuttaa sijainninmäärittelyyn jopa 2800 km virheen. (Miettinen 2006, 44–47.)

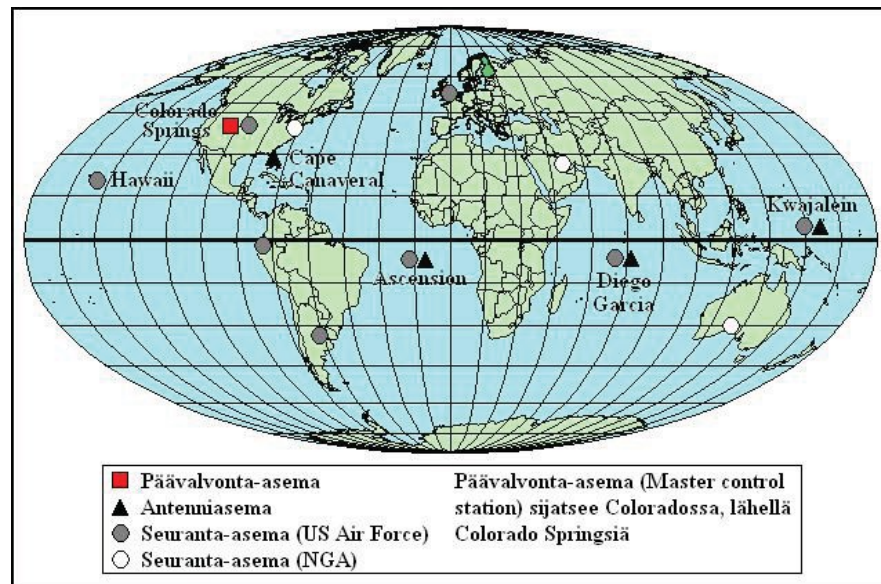
2.2 GPS-järjestelmän osat

GPS-järjestelmän voidaan ajatella koostuvan kolmesta osasta. Nämä osat ovat avaruusosio, valvontaosio ja käyttäjäosio. (Federal Aviation Administration 2016b.)

Avaruusosioon kuuluu jo edellä mainitut satelliitit. Niitä on toiminnassa jatkuvasti vähintään 24, yleensä kuitenkin enemmän. Näistä 21 ovat varsinaisia satelliitteja ja 3 varasatelliittia. Satelliittien kiertoradat ovat noin 20 200 km korkeudella

maapallon pinnasta. (Laurila 2010, 290–291.) Satelliitit saavat virtansa aurinkokennoista, jotka ne pitävät jatkuvasti suunnattuna kohti aurinkoa. Kiertoradat ovat kallistettu 55 astetta päiväntasaajaan nähden, jotta varmistetaan verkon kattavuus myös napaseuduilla. Kukin satelliitti kiertää maapallon ympäri kahdesti päivässä. (Federal Aviation Administration 2016c.)

Valvontaosio koostuu USA:n Colorado Springsissä sijaitsevasta päävalvonta-asemasta ja ympäri maapalloa päiväntasaajan läheisyydessä sijaitsevista seuranta-asemista ja antennista. Kuviossa 4 on esitetty asemien ja antennien sijainnit. Päävalvonta-asema vastaa keskitetysti koko järjestelmän tarkkailusta ja toimivuudesta. Seuranta-asemat vastaavat tiedon keräämisestä satelliiteista ja ovat jatkuvassa yhteydessä päävalvonta-asemaan. Seuranta-asemat mittaavat jatkuvasti etäisyyttä satelliitteihin ja vertaavat atomikellojen aikaa. Tiedot välitetään päävalvonta-asemalle, jossa saatuja tietoja verrataan laskettuihin tietoihin, tehdään vaadittavat korjaukset ja välitetään valvonta-asemien ja antennien kautta takaisin satelliiteille ja ympäri maailmaa käyttäjien GPS-paikantimille. (Miettinen 2006, 39–41.)



Kuvio 4. Valvontaosion tarkkailuasemien sijainnit (Laurila 2010, 292)

Käyttäjäsio koostuu kaikista ympäri maailmaa sijaitsevista GPS-vastaanottimista ja niiden käyttäjistä. Alun perin sotilaskäyttöön kehitetyllä järjestelmällä on nykyään myös valtavasti siviilikäyttöä aina maanmittauksesta ja maanviljelystä matkapuhelimien navigointisovelluksiin. Käyttö on kasvanut val-

tavasti viime vuosien aikana ja tulee jatkamaan kasvua tulevaisuudessa. (Federal Aviation Administration 2016d.)

2.3 Paikannusmenetelmät

Satelliittipaikannuksessa on käytössä useita erilaisia mittausmenetelmiä. Mittaustavan valinta riippuu käyttäjän tarvitsemasta mittaustarkkuudesta, käytettävissä olevasta ajasta sekä tietenkin saatavilla olevasta mittauskalustosta. Seuraavassa esitellään hieman yleisimpiä mittaustapoja ja myöhemmin syvennyttään hieman enemmän tässä työssä käytettyyn menetelmään ja verrataan niitä tarkempiin mittaustapoihin.

Kaikista yleisin satelliittimittauksen muoto on absoluuttinen paikannus. Absoluuttisen paikannuksen käyttö on nykyään lähes jokapäiväistä monille ihmisille, sillä älypuhelimissa käytössä olevat GPS-paikantimet perustuvat absoluuttisen paikannuksen käyttöön. Myös kuluttajille tarjolla olevat maasto-GPS:t, urheilukellot sekä auto- ja venenavigaattorit perustuvat tähän menetelmään. Menetelmässä etäisyyden mittaus pohjautuu C/A-koodihavainnon mittaamiseen signaalin viivästystekniikkaa käyttäen ja koska paikantimessa itsessään ei ole atomikelloa, korjataan kellovirhe havainnoilla ylimääräisiin satelliitteihin. Absoluuttisen paikannuksen paikannustarkkuus on noin 10 m, joskin tästä tarkkuudesta löytyy hyvin eriäviä lukuarvoja lähteestä riippuen. (Laurila 2012, 295–297.) Esimerkiksi kirjassa GNSS Global Navigation Satellite System kerrotaan C/A-koodia käyttävän paikannuksen tarkkuuden olevan todennäköisyydellä 95 % 13m vaakasuunnassa. Kirjassa todetaan myös, että tarkkuus tulee paranemaan jopa viiteen metriin, kun GPS-satelliitteja päivitetään ja käyttöön tulee C/A-koodi myös kanta-aallolle L2. (Hoffmann-Wellenhof, Lichtenegger & Wasle 2008.) Matkapuhelimien paikannuksen tarkkuutta on myös tutkittu vuonna 2014 Institution of Navigationin järjestämällä MOOC (Massive Open Online Course) onlinekurssilla. Kurssille osallistui tuhansia käyttäjiä sadoista maasta. Matkapuhelinten paikannuksen tarkkuutta tutkittiin niin avoimessa kuin urbaanissa ympäristössä. Käyttäjien tallentamien tietojen perusteella tutkijat laskivat matkapuhelimen keskimääräiseksi paikannustarkkuudeksi avoimella sijainnilla 4,9 m. (van Diggelen & Enge 2015.)

Älypuhelimet ja muut mobiililaitteet käyttävät absoluuttisen paikannuksen lisäksi nykyään A-GPS-paikannusta, eli avustettua GPS-paikannusta (assisted GPS). Avustetussa paikannuksessa sijainnin paikannus ei perustu pelkästään laitteen omaan GPS-paikantimeen, vaan siinä käytetään apuna matkapuhelinverkon kautta saatavia tietoja käytettävistä satelliiteista. Monesti matkapuhelinverkko-mastoissa on GPS-vastaanotin tai niiden lähettyvillä on tukiasema. Nämä vastaanottimet vastaanottavat jatkuvasti signaalia satelliiteilta ja välittävät datan A-GPS:ää käyttävälle laitteelle. Erityisesti A-GPS:ää varten käytössä olevalla serverillä selvitetään valmiiksi, mitkä satelliitit ovat paikantimelle otollisimmat ja tehdään valmiiksi tarvittavat laskutoimet. Nämä tiedot nopeuttavat ensimmäistä paikanmäärittystä. Tästä ajasta, joka kuluu ensimmäiseen paikannukseen, käytetään termiä TTFF, Time to First Fix. Laskutoimituksiin käytettävät laitteistot ovat huomattavasti tehokkaampia kuin matkapuhelimet ja koska laskentaa ei tarvitse tehdä matkapuhelimessa, paikannuksen käyttämä prosessointiteho on vähäisempi ja matkapuhelimen virrankulutus pienempi. Paikannus on myös josain määrin mahdollista sisätiloissa ja sen tarkkuus on parempi tiheässä metsässä tai rakennusten varjostamissa paikoissa, kuin pelkkää GPS:ää käytettäessä. (Rubino 2009.)

Differentiaalisessa paikannuksessa (DGPS) vaaditaan peruspaikantimen lisäksi toinen paikannin, joka pystytetään tunnetulle pisteelle. Tämän tukiaseman mittaamien tietojen avulla saadaan korjattua varsinaisen paikantimen havaitsemia tietoja ja poistettua tiettyjä mittauksen systemaattisia virheitä. Tukiasema mittaa etäisyyttä satelliitteihin ja samalla laskee tunnetun pisteen koordinaattien ja satelliitin koordinaattien välisen etäisyyden. Mitatun ja lasketun etäisyyden erotuksena saadaan laskettua virhe, joka vähennetään mitatusta etäisyydestä ja näin saadaan selville korjattu etäisyys. Näin paikannustarkkuus saadaan noin 2 m tasolle. Myös tässä menetelmässä etäisyydet satelliitteihin mitataan C/A-koodin avulla. Suomessa DGPS-menetelmää käytettäessä ei varsinaisesti tarvita toista paikanninta, sillä monet eri yritykset tarjoavat DGPS-korjauspalvelua. Tällöin tukiasematiedot välitetään käyttäjän paikantimelle eri tietoliikenneyhteyksien välityksellä. Paikantaja tarvitsee vain DGPS-yhteensopivan paikantimen ja palveluntarjoajalta ostetun korjauspalvelun. Differentiaalista paikannusta käytetään esimerkiksi ammattimaisessa auto- ja laivaliikenteessä, kun tarvitaan tarkem-

paa tietoa sijainnista, matkasta ja nopeudesta kuin absoluuttisella paikannuksella voidaan saavuttaa. Mittaustapaa käytetään yleisesti myös paikkatietojen keruussa. (Laurila 2012, 299–301.)

Suhteellinen mittaus on mittaustekniikoista kaikista tarkin, mutta myös haastavin. Mittauksissa voidaan päästä jopa millimetritarkkuuksiin suhteessa tukiasemaan. Tällä tarkkuudella ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä, sillä satelliittien radat tunnetaan selvästi tätä huonommalla tarkkuudella ja esimerkiksi ilmakehän aiheuttamat virheet täytyy ottaa myös huomioon. Suhteellisessa mittauksessa todellinen tarkkuus on muutamien senttien luokkaa, XY-tasossa hieman tarkempi kuin Z-suuntaan. Suhteellisessa mittauksessa havaintosuurena ei ole C/A-koodi, kuten edellä mainituissa, vaan kantoaalto. Kuten DGPS:ssä, myös suhteellisessa mittauksessa tarvitaan toinen paikannin, tukiasema, jonka suhteen paikantavan vastaanottimen sijainti määritetään. Suhteellisessa paikannuksessa lasketaan kahden ajankodan, vastaanottimen tai satelliittien havainnoista erotushavainto. Kun erotushavainnot mitataan samanaikaisesti neljään satelliittiin, niistä pystytään laskemaan paikantavan vastaanottimen paikkavektori. Kun tukiasema sijaitsee tunnetulla pisteellä, saadaan paikantavan mittalaitteen sijainti selville lisäämällä laskettu paikkavektori näihin tunnettuihin koordinaatteihin. Suhteellista paikannusta käytetään parasta mahdollista tarkkuutta vaativissa tehtävissä geodesian, mittaus- ja kartoitustekniikan sekä esimerkiksi koneohjauksen sovellutuksissa. Parhaimmillaan paikannustarkkuus vastaa takymetritarkkuutta. (Laurila 2012, 301–304.) Suhteellinen mittaus jakautuu vielä useisiin erilaisiin, hieman toisistaan poikkeaviin mittaustekniikoihin. Näitä eri menetelmiä on myös nimetty hieman erilailla laitevalmistajasta riippuen. Suhteelliseen mittaukseen liittyviä lisämääreitä ovat esimerkiksi RTK (Real Time Kinematic) sekä VRS (Virtual Reference Station System). RTK-mittaus perustuu tunnetulla pisteellä sijaitsevan vertailuvastaanottimen liikkuvalla, paikantavalla, vastaanottimelle lähettämiin vaihehavaintoihin. Paikantava vastaanotin käyttää näitä havaintoja avukseen saaden määriteltyä oman sijaintinsa tukiaseman suhteen. VRS-mittaus taas perustuu yksittäisen tukiaseman sijaan laajempaan tukiasemaverkkoon. Näitä tukiasemaverkkoja on Suomessakin useita, esimerkiksi Geotrimin ylläpitämä Trimnet. (Laurila 2012, 315.)

Näiden kolmen perusmittausmenetelmän ominaisuuksia ja paikannuksen tarkkuutta on esitelty taulukossa 1. Taulukossa olevat virheet on esitetty tasolla 1σ , jolloin 68 % mittausajasta virheet ovat pienempiä kuin taulukossa esitetty arvo.

Taulukko 1. Perusmittaustapojen suuntaa-antavaa vertailua (mukaillen Laurila 2012, 295)

Mittaustapa	Havaintosuure	Paikan laskenta	Virheiden hallinta	Tarkkuus
Absoluuttinen paikannus	C/A-koodi	Satelliittien suhteen	Mallintaminen ja toisto	5–10 m
Differentiaalinen paikannus	C/A-koodi	Satelliittien suhteen	Tukiasemakorjaus, mallintaminen ja toisto	0,5–5 m
Suhteellinen mittaus	L1, L2 ja L5 kantoaallot	Vertailuvastaanottimen suhteen	Erotushavainnot, mallintaminen ja toisto	< 0,05 m

2.4 GPS-paikannuksen virheet

Mittalaitteiden virheellisen toiminnan ja niitä käyttävän ihmisen tekemien virheiden lisäksi satelliittipaikannuksessa on erilaisia virhelähteitä, jotka vaikuttavat paikannuksen tarkkuuteen. Satelliittipaikannuksessa kaikkia virheitä ei pystytä poistamaan, mutta mittauksissa pyritään määrittämään systemaattiset virheet ja korjaamaan ne havainnoista. Karkeat mittausvirheet myös poistetaan virhehavaintoina ja näin mittaukseen jää jäljelle vain satunnaisia virheitä. Riippuen käytetystä mittaustekniikasta, virheiden suuruus vaihtelee huomattavasti. Esimerkiksi absoluuttisessa paikannuksessa systemaattisia virheitä ei pystytä poistamaan, vaan niistä aiheutuvat virheet jäävät paikannukseen ja huonontavat paikannuksen tarkkuutta. Differentiaalisessa mittauksessa systemaattiset virheet pystytään poistamaan ja näin havaintojen virhe pienenee jopa neljäsosaan absoluuttiseen paikannukseen verrattaessa. Taulukossa 2 esitetään absoluuttisen ja differentiaalisen paikannuksen virheitä. Virheet esitetään tasolla 1σ , joka tar-

koittaa, että todennäköisyystasolla 68 % mittausajasta virheet ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin taulukon arvot. Taulukon arvot ovat siis keskimääräisiä virheitä, eikä niitä voi soveltaa yksittäisiin mittauksiin. Taulukossa esitetyt lukuarvot kuvaavat etäisyydenmittauksen virheitä. (Laurila 2012, 310–311.)

Taulukko 2. Absoluuttisen ja differentiaalisen paikannuksen virhebudjetit (muokailen Laurila 2012, 311)

Virhelähde	Absoluuttinen paikannus			DGNSS
	Systemaattinen/m	Satunnainen/m	Yhteensä	
Ratatiedot	2.1	0.0	2.1	0.1
Satelliitin kello	2.0	0.7	2.1	0.1
Ionosfääri	4.0	0.5	4.0	0.2
Troposfääri	0.5	0.5	0.7	0.2
Monitieheijastus	1.0	1.0	1.4	1.4
Vastaanotin	0.5	0.2	0.5	0.5
Yhteensä	5.1	1.4	5.3	1.5

Paikannusjärjestelmä ja maapallo ovat jatkuvassa liikkeessä, joten virheiden minimoimiseksi tarvitaan mahdollisimman tarkkoja aikahavaintoja. Tämän vuoksi satelliiteissa ja valvonta-aseilla on käytössä äärimmäisen tarkat atomikellot. Näiden atomikellojen avulla havainnot pystytään ajoittamaan juuri samaan ajan hetkeen. Satelliitit lähettävät signaalien mukana myös jatkuvasti atomikelloista saatavaa kellonaikaa. Satelliitit kulkevat tunnetuilla radoilla, mutta niiden eksakti sijainti ei ole tiedossa. Ratatietojen virheellisyys saatata aiheuttaa metrien virheen paikannukseen. Äärimäistä tarkkuutta vaativissa sovellutuksissa paikannus saadaan tarkennettua vasta muutaman päivän päästä, kun satelliittien aidot ratatiedot tulevat saataville. Tavanomaisessa paikannuksessa näitä tarkennettuja ratatietoja ei ole tarvetta käyttää. (Laurila 2012, 305–306.)

Ilmakehän eri kerrokset, erityisesti ionosfääri ja troposfääri vaikuttavat signaalien etenemiseen satelliiteista paikantimeen. Ionosfääriin vaikuttaa erityisesti revontulina maapallolle näkyvä auringon aktiivinen hiukkassäteily. Todella aktiivisen ionosfäärin aikana paikantaminen voi estyä kokonaan, koska signaalien kulkumatka ionosfäärin läpi vaihtelee niin paljon. Erityisesti vuoristoisella seudulla troposfäärin eli ilmakehän alimman kerroksen vaihteleva vesihöyrypitoisuus aiheuttaa virhettä varsinkin paikannuksen korkeustietoon. Ilmakehän kerroksien vaikutus signaaliin riippuu signaalien aallonpituudesta. Niinpä siitä aiheutuvia virheitä pystytään vähentämään, kun verrataan eri aallonpituuksilla saatavia havaintosuureita toisiinsa. Absoluuttisessa paikannuksessa tämä virhelähde on hankala, koska havaintoja saadaan tällä hetkellä vain yhdeltä aallonpituudelta. USA:n hallinnon virallisilla GPS-informaatio sivuilla mainitaan, että GPS-järjestelmään ollaan lisäämässä C/A-koodi myös kantoaallolle L2. Sen avulla pystytään poistamaan ionosfäärin vaikutus mittauksen virheeseen ja se tulee tarkentamaan absoluuttista paikannusta huomattavasti. Tällä hetkellä signaalien status on ”pre-operational” ja sitä lähetetään 19 satelliitista. Suunnitelmien mukaan se tulee olemaan täysin käytössä kaikissa 24 satelliitissa vuoteen 2021 mennessä. (Laurila 2012, 306–307; GPS.gov 2017.)

Jotta satelliittipaikannus toimisi luotettavasti ja riittävällä tarkkuudella, tarvitaan hyvä näkyvyys mahdollisimman moneen satelliittiin. Riippuen havainnoitsijan sijainnista maapallolla ja satelliittien sen hetkisestä radoista, vaihtelee käytettävissä olevien satelliittien määrä todella paljon. Pääsääntöisesti voidaan ajatella,

että jos toimitaan esteettömässä ympäristössä, satelliittien määrä ei ole ongelma. Kaupungissa rakennukset ja metsässä tiheä puusto ja muut maastokohteet saattavat kuitenkin rajoittaa näkyvyyttä niin, että mittaus hankaloituu tai jopa estyy. Käytettävien satelliittien tulisi myös olla riittävän paljon havaitsijan horisontin yläpuolella, vähintään 10–15 astetta. Muuten satelliittien lähettämä signaali tulee liian loivassa kulmassa ilmakehään ja kulkee siellä liian pitkän matkan, jolloin ilmakehän kerroksien aiheuttamat virheet kasvavat suuriksi. Paras tilanne on, jos yksi havaittavista satelliiteista on havaitsijan zenitissä eli pystysuoraan yläpuolella ja muut satelliitit mahdollisimman hyvin hajautuneena ympäri taivasta. Satelliittigeometrian vaikutusta mittaustarkeyteen kuvataan DOP-luvuilla (Dilution of Precision). DOP-lukuihin vaikuttaa satelliittien sijainti havaitsijaan nähden. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että mitä pienempi DOP-luku, sitä parempi satelliittigeometria sillä hetkellä on. Satelliittigeometriaa pystytään tarkkailemaan erilaisilla laskentaohjelmilla jo etukäteen. Hankalaan paikkaan mittausta tekemään mentäessä voi olla hyvä syöttää paikan tiedot ja suunniteltu mittausaika ja -päivä ohjelmaan, joka pystyy kertomaan juuri silloin saatavilla olevan satelliittigeometrian. Näiden ennusteiden avulla pystytään valitsemaan otollisin mittaushetki. (Laurila 2012, 308–309.)

3 PAIKKATIETO

Paikkatieto sisältää nimensä mukaisesti tietoa kohteen sijainnista ja ominaisuuksista. Kullakin paikkatietokohteella siis on sijainti, joka yleensä määritellään osoitteen tai koordinaattien avulla, sekä erilaisia kohteesta kertovia ominaisuustietoja. Karttatiedot ovat perinteistä paikkatietoa, mutta paikkatiedon avulla esitettävissä olevia asioita on lähes loputtomasti. Esimerkkeinä paikkatiedosta voisi mainita maastotiedot, ympäristön tilan ja maankäytön tiedot tai vaikka sähkö- ja tietoliikenneverkkoa koskevat tiedot. (Eskola & Peltoniemi 2011, 34.) Tiedon ei välttämättä tarvitse olla staattista. Esimerkiksi HSL:n, Helsingin seudun liikenteen, tarjoamat raitiovaunujen reaaliaikaiset sijaintitiedot ovat paikkatietoa (Karttakeskus 2015, 5).

Pelkillä yksittäisillä paikkatiedoilla ei pääse kovin pitkälle. Erilaisten paikkatietojen käsittelyyn, tallentamiseen, järjestelyyn ja analysointiin käytetään paikkatietojärjestelmää. Paikkatietojärjestelmästä käytetään yleisesti lyhennystä GIS, joka tulee sanoista Geographig Information System. Paikkatietojärjestelmän avulla voidaan siis yhdistää erilaisia paikkatietoaineistoja haluttuun muotoon sekä tehdä ohjelmien avulla erilaisia analyysejä paikkatietoon liittyen. (Eskola & Peltoniemi 2011, 34.) Tässä opinnäytetyössä ei tarkemmin syvennytä paikkatietojärjestelmien loputtomiin mahdollisuuksiin, sillä työssä käytetty paikkatieto koostuu lähinnä yksinkertaisista karttatiedoista ja niiden visualisoinnista.

Tässä työssä tehtävään karttaan käytetään Maanmittauslaitoksen tarjoamaa Maastotietokantaa. Se on Suomen ainoa, koko maan kattava, paikkatietoaineisto. Aineistoa päivitetään jatkuvasti yhteistyössä kuntien ja energiayhtiöiden kanssa esimerkiksi maastomittauksilla sekä ilmakuvilla ja laserkeilauksilla. MML:n maastotietokanta kuuluu INSPIRE-direktiivin piiriin. INSPIRE on Euroopan komission direktiivi, jolla pyritään tarjoamaan avointa, yhteiskäyttöistä, paikkatietoa. Direktiivin avulla pyritään saamaan eri maiden ja toimijoiden paikkatiedot keskenään yhteensopiviksi ja vähentämään turhaa päällekkäisyyttä. Maastotietokanta on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0-lisenssillä. Se mahdollistaa aineiston vapaan käytön, myös kaupallisissa sovellutuksissa, kunhan aineiston ja sen tuottajan nimi mainitaan. (Maanmittauslaitos 2017.)

4 KÄYTÄNNÖN KARTOITUS

4.1 Reittien kartoittaminen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda opaskartta Rovaniemen maastopyöräreiteille sekä tutkia absoluuttisen paikannuksen kuluttajille tarkoitettujen sovellutusten tarkkuuden riittämistä tällaiseen kartoitukseen. Aikataulujen ja luonnonolosuhteiden vuoksi opaskartta kapenikin koskemaan ainoastaan Ounasvaaraa, joka on Rovaniemen maastopyöräilyn tärkein keskittymä. Ounasvaaran maasto ja mittausolosuhteet edustavat hyvin koko Rovaniemen alueen olosuhteita, joten paikannuksen tarkkuus ja käytännön mittaus eivät muuttuisi mihinkään, vaikka liikuttaisiinkin eri alueilla. Niinpä tämän työn tarkasteluihin kartoitettavan alueen supistuminen ei vaikuttanut mitenkään.

Maastosta ei ollut tarkoitus paikantaa kaikkia olemassa olevia polkuja, joita Ounasvaaralla on lähes loputtomiin, vaan muutamia yhtenäisiä reittejä, jotka kulkevat parhaiksi todettuja polkuja seurailleen. Reittien kartoittamiseen käytettiin absoluuttista paikannusta, jotta voidaan tarkastella riittääkö sen tarkkuus tällaiseen kartoitukseen. Laitteina käytettiin Huawei Honor 7 Lite -älypuhelinia ja sen SportsTracker -sovellusta sekä Suunto Ambit2 -rannekelloa. Kartoitus tehtiin kahdella laitteella yhtä aikaa, jotta sen tarkkuutta ja virheitä pystytään paremmin vertailemaan. Molemmat laitteet ovat täysin harrastajille suunnattuja laitteita, joilla ei ole mitään tekemistä maanmittaustekniikan kanssa. Absoluuttista paikannusta hyödyntäviä GPS-paikantimia löytyy myös maanmittaustekniikan alalta, ja niiden tarkkuuden luvataan olevan parempi kuin kuluttajille suunnatuissa laitteissa. Esimerkiksi Trimble TDC100 -älypuhelimelle luvataan paikannustarkkuudeksi <math><2-5\text{ m}</math> ja siinä on mahdollisuus yhdistää laite VRS-tekniikkaa käyttävään vastaanottimeen, jolloin tarkkuus paranee muutaman kymmenen senttimetrin luokkaan. Laitteen hinta on kuitenkin noin 5 kertaa normaalia älypuhelinia kalliimpi, eikä sen luvattu tarkkuus ilman lisävastaanotinta ja tuhansia euroja maksavaa VRS-palvelua ole vielä kovinkaan tarkka. Niinpä tässä työssä haluttiin keskittyä täysin kuluttajille suunnattujen laitteiden käyttöön.

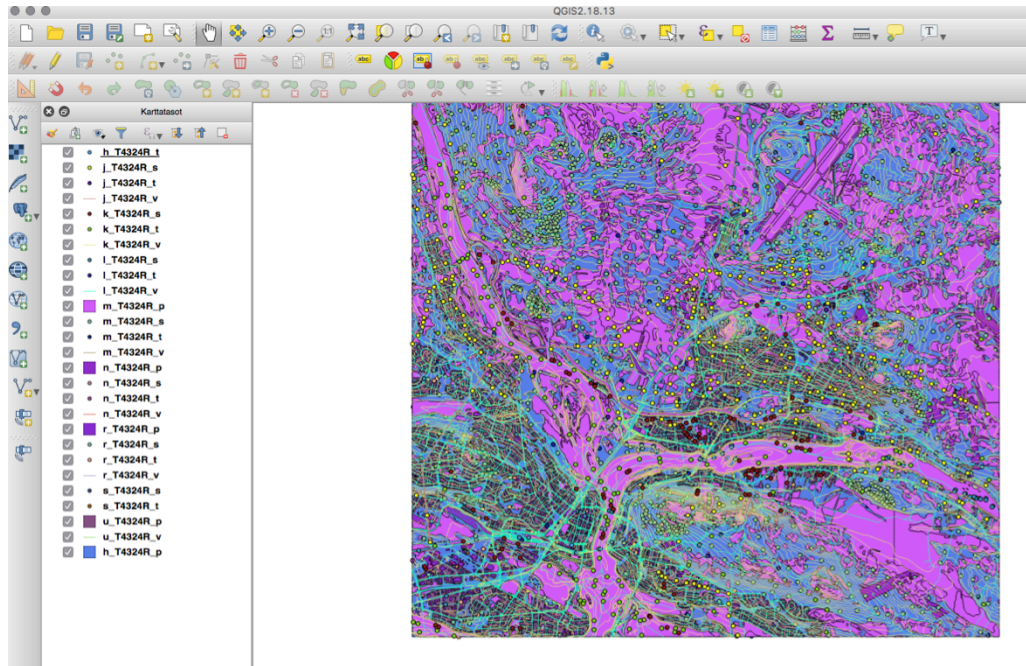
Reittien tallentaminen suoritettiin yksinkertaisesti laittamalla laitteet paikantamaan ja ajamalla reitit ympäri. Näin saatiin samalla tietoa reittien vaikeustasosta

ja polkujen kunnosta. SportsTracker ohjelmisto ja Suunnon kello tallentavat laitteen sijaintia automaattisesti ja luovat näiden yksittäisten paikannusten välille viivat, joista saadaan lopputulokseksi yksi yhtenäinen jälki, joka kuvaa paikantimen kulkemaa reittiä. Suunnon asetuksista pystyy vaikuttamaan paikannuksen tarkkuuteen ja näitä kartoituksia tehdessä tarkkuus valittiin parhaimmaksi ja laite asetettiin tallentamaan sijaintinsa joka sekunti. SportsTrackerissa paikannuksen tiheyteen ei pysty vaikuttamaan, mutta aineistojen perusteella tiheys vaikuttaisi olevan samaa luokkaa. Puhelimen paikannustarkkuuteen pystyy vaikuttamaan valitsemalla asetuksista sijaintitilaksi ”suuri tarkkuus”. Nimi saattaa vaihdella eri puhelimien välillä, mutta käytännössä tämä antaa luvan laitteelle käyttää paikannukseen satelliittien lisäksi mobiili- ja wifi-verkkoja eli tällöin käytössä on A-GPS. Laitteiden tallentamat tiedot löytyvät paikannuksen päättymisen jälkeen valmistajien tarjoamista verkkopalveluista, joissa paikannuksen tietoja pystytään tarkastelemaan. Tarjolla on kartalla esitettävän reitin lisäksi paljon erilaisia tietoja harjoituksen kestosta, nopeuksista, korkeuksista ja käytetyistä sykkeistä. Reittejä kartoitettaessa kiinnostuksen kohteena on kuitenkin vain paikantimen paikantama reittijälki. Jälki pystytään lataamaan palvelusta yleiseen .gpx-tiedostomuotoon, jolloin sen tarkastelua ja käsittelyä voidaan jatkaa toisissa ohjelmissa.

4.2 Kartan luominen

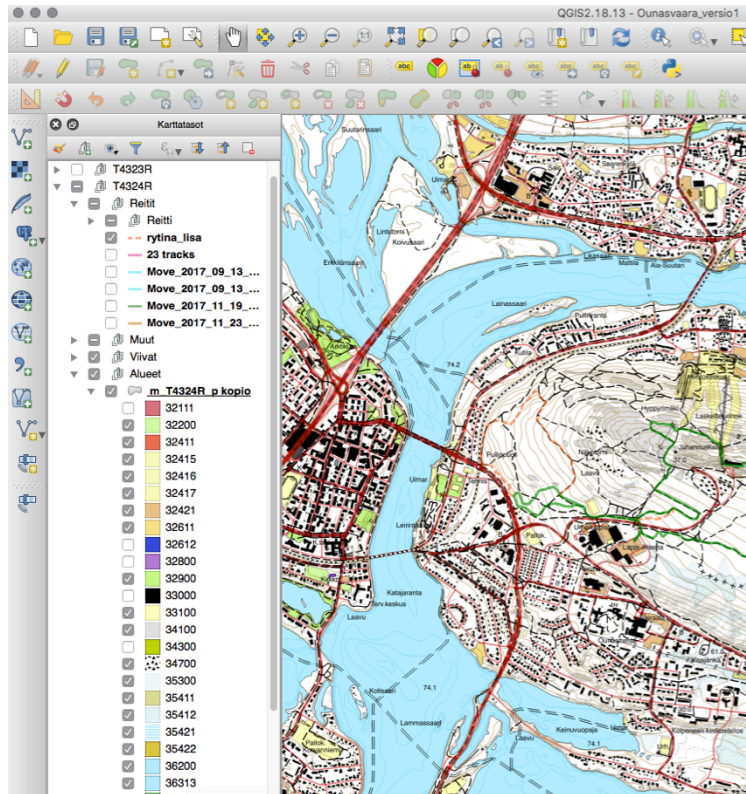
Tässä työssä tehdyn kartan luomiseen käytettiin Maanmittauslaitoksen maastotietokantaa. Aineiston käsittelyyn käytettiin avoimen lähdetiedon paikkatieto-ohjelmistoa nimeltä QGIS. Ohjelma on ladattavissa ilmaiseksi omaan käyttöön, joka helpottaa työtä, kun kaikkea ei tarvitse tehdä koulun koneilla vaan työtä pystyy jatkamaan kotona.

Maastotietokanta sisältää todella paljon erilaisia kohdetietoja. Kun Maastotietokanta ensimmäisen kerran ladataan QGIS-ohjelmaan ei se ole kovinkaan havainnollistava. Kaikki eri kerrokset ovat satunnaisessa järjestyksessä ja kohteita kuvaavat värit ovat ohjelman satunnaisesti päättämiä. Aineiston ulkonäköä ja sisältöä sen alkuperäisessä muodossa on esitelty kuviossa 5.



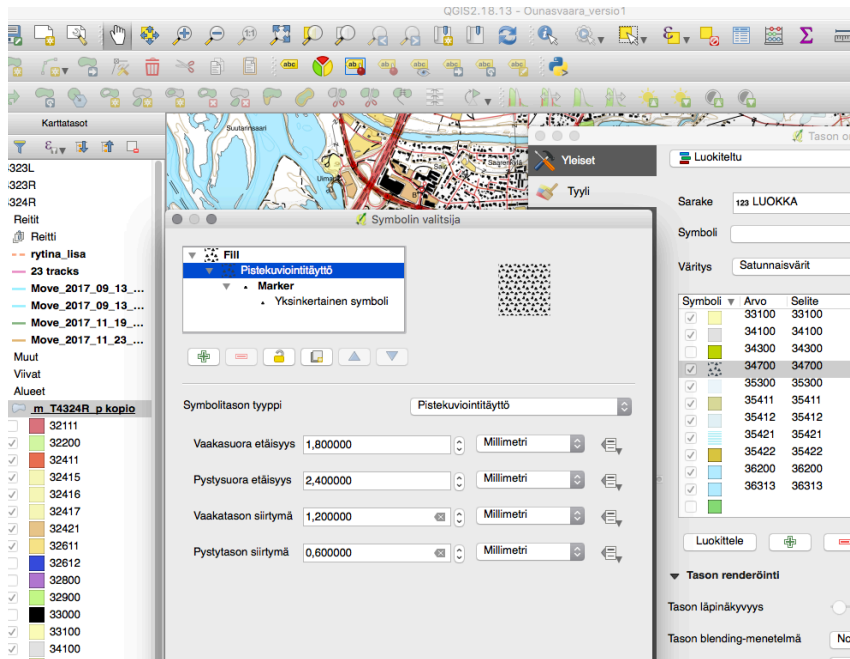
Kuvio 5. Maastotietokanta alkuperäisessä ulkonäössä

Aineistosta täytyy valita kyseiseen työhön tarvittavat kohteet ja visualisoida ne näyttämään loogisilta. Maastotietokanta on jaettu 15 kohderyhmään, joita on muun muassa tiestö, maasto, rakennukset, korkeussuhteet ja suojelukohteet. Eri kohderyhmät jakautuvat vielä useampiin eri kohteisiin. Esimerkiksi tiestö jakautuu kohteisiin tieviiva, tiesymboli ja tieteksti. Maasto -kohderyhmä taas jakautuu lukuisiin, koko maanpinnan ja vesialueet kattaviin maastokuvioihin. Kohderyhmät täytyy siis vielä ryhmitellä kohteisiin, jotta esimerkiksi polut voidaan kuvata katkoviivalla ja tiet jatkuvalla viivalla tai avokallio pystytään visualisoimaan erottumaan suosta. Kuviossa 6 on esitetty kohderyhmä m_T4324R_p ryhmiteltynä luokkien mukaan. Se on siis karttaruudun T4323R, kohderyhmään Maasto/1 (m) kuuluvia alueita (p) sisältävä ryhmä (Maastotietokohteiden luokitus 2016).



Kuvio 6. Luokiteltu ja visualisoitu kohderyhmä

Kuviossa 6 kohteet on jo myös visualisoitu eri väreillä ja tekstuureilla näyttämään oikealta kartalta. Kyseinen kuvio on kaappaus jo melko valmiista kartasta, joten myös muut kohderyhmät, kuten tiestö, on jo visualisoituna. Kuviossa 7 on tarkempi kaappaus kohteen 34700, Kivikko, visualisoinnista. Kohde on muokattu esittämään kivikkokohteet pieniä kolmioita sisältävänä alueena.



Kuvio 7. Kohteen 34700, Kivikko, visualisointi

Tämä aineiston ryhmittely vie huomattavan paljon aikaa, mutta se tarvitsee tehdä vain yhdelle karttaruudulle. Jos alue ulottuu useamman karttaruudun alueelle, pystyy ryhmittelyn ja visualisoinnin kopioimaan aikaisemmasta ruudusta tähän uuteen. Näin useammasta ruudusta koostuva kartta myös saadaan yhtenäiseksi. QGIS:iin ladatussa Maastotietokannassa eri kohteet on esitetty helposti ymmärrettävien nimien sijaan numerokoodeilla. Niinpä ryhmittelyn apuna on pakko käyttää varta vasten Maastotietokantaa varten luotua selitettä. Selitteen avulla numerokoodeille on mahdollista löytää nimi ja ominaisuustiedot, jolloin pystyy päättämään, tarvitaanko kohdetta ja millaiseksi se visualisoidaan. Tätä työtä tehdessä käytettiin apuna Maastotietokannasta luotua Excel-pohjaista selitettä (Maastotietokohteiden luokitus 2016). Maastotietokantaa selittävä ohje on julkaistu myös fyysisenä kirjana (Annunen ym. 2005).

Karttojen visualisointi on aivan oma taiteen laji. Kartasta voidaan tehdä mahdollisimman yksinkertaisen esittämällä siinä esimerkiksi vain maaston värit ja polut katkoviivalla. Tai toisaalta siihen voi sisällyttää kaikki Maastotietokannan tarjoamista kohteista aina hakkuaukoista uponneisiin hylkyihin ja muinaismuistoihin saakka. Kartan käyttötarkoitus määrittää millainen visualisointi ja kohteiden valinta on kaikista tarkoituksenmukaisin. Tässä työssä tehtyyn karttaan haluttiin sisällyttää suhteellisen paljon tietoa. Sen suunniteltiin olevan lähtökohtaisesti

maastokartta, jotta reittien seuraaminen helpottuu. Niinpä kartan värit ja sisältö mukailevat pitkälti MML:n maastokarttoja. Kartalla on esitetty muun muassa eri kokoisia polkuja, avokallioita, rakkakivikkoja, rakennuksia ja sähkölinjoja. Kartalla ei haluttu esittää reitteinä kaikkia mahdollisia polkuja, mutta ne haluttiin kuitenkin jättää kartalle näkyviin, jotta kartan käyttäjä pystyy hyödyntämään omilla lenkeillään myös muita polkuja kartoitettujen reittien lisäksi. Monipuolisesti kartalla eriteltyt maastokuviot ja maastokohteet auttavat oman paikan määrittämistä maastossa.

Maastotietokannan kohteiden lisäksi kartan pohjalle ladattiin vinovalovarjostus. Yhdessä korkeuskäyrien kanssa vinovalovarjostus tarjoaa helposti hahmotettavan esityksen maston korkeussuhteista. Pelkät korkeuskäyrät ovat maastokarttoihin tottumattomalle käyttäjälle hankalasti hahmotettavissa, mutta vinovalovarjostus tuo karttaan kolmiulotteisen vaikutelman maaston korkeudesta.

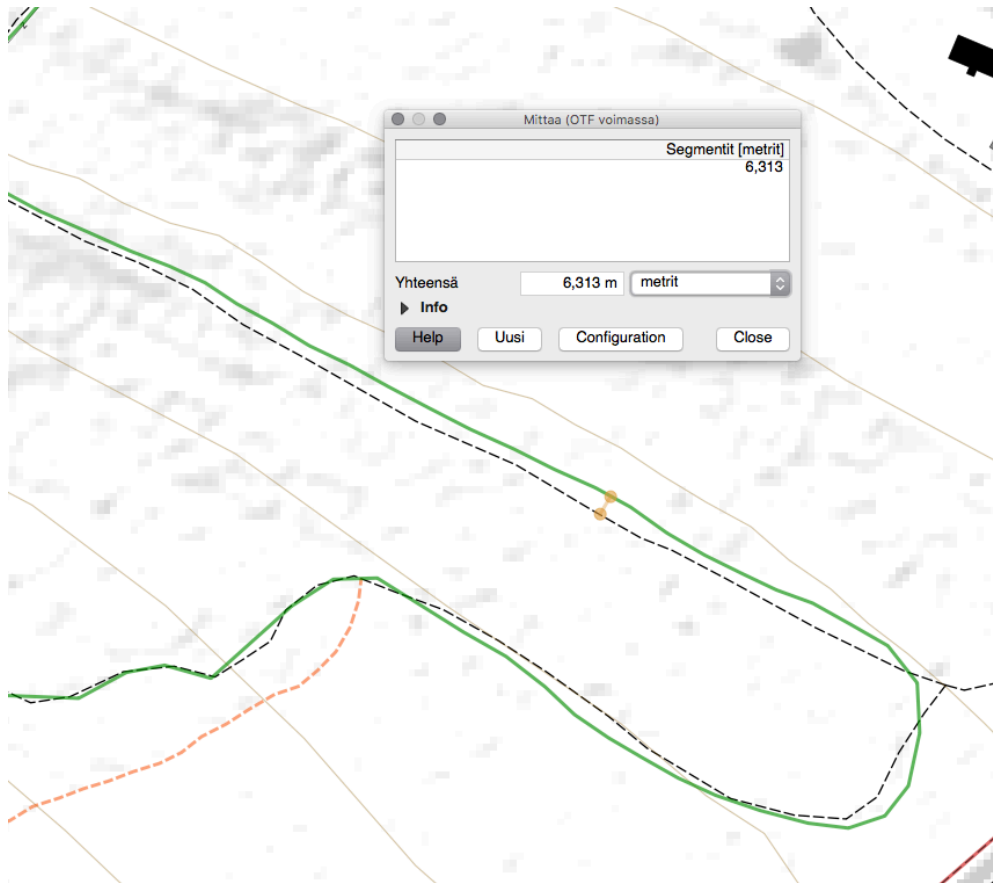
Aineiston visualisoinnin jälkeen pohjakartta oli valmis, minkä jälkeen kartalle ladattiin kartoitetut reitit. Reitit pystyy lataamaan QGIS:iin gpx-formaatissa. Kun vain huolehditaan, että kaikki aineisto on samassa koordinaatistossa, jälki latautuu automaattisesti oikeaan sijaintiinsa kartan päälle. Aineiston koordinaatistoa pystyy muuttamaan haluamukseen QGIS:ssä. Paikantimen tallentamaa jälkeä voi olla tarvetta muokata esimerkiksi virheellisten paikannuksien vuoksi tai vain esityksen yksinkertaistamiseksi. Maastossa olevien polkujen haluttiin erottuvan kartoitetun jäljen alta, joten jälki muokattiin hieman läpinäkyväksi, jolloin alla olevat kohteet erottuvat. Jäljestä myös poistettiin päällekkäisiä viivoja, jotka johduivat reitiltä harhaantumisesta ja takaisin päin polkemisesta. Gpx-muotoista jälkeä ei pysty muokkaamaan QGIS:ssä, vaan se täytyy ensin muuttaa vektorimuotoiseksi. Tämän jälkeen jäljestä pystyy poistamaan virheellisiä pisteitä tai esimerkiksi yksinkertaistamaan sitä suuremmaksi. Samalla tavalla pystyy myös luomaan uusia viivoja, esimerkiksi poikkeamaan kartoitetulta reitiltä tuli- tai näköalapaikalle. Näitä poikkeamia on helppo luoda, vaikka niitä ei maastossa oltaisi kartoitettukaan, kun vain seurailee kartalta löytyviä polkuja ja muita teitä.

Kartta haluttiin laatia mahdollisimman laadukkaaksi ja informatiiviseksi. Siksi kartan visualisoinnin lisäksi sen taittaminen oli tärkeää. Kartalle lisättiin selite kertomaan eri reiteistä ja muista kartalla esitettävistä kohteista, kuten tulipai-

koista ja hienoista näköaloista. Tässä työssä tehtyyn karttaan ei kirjoitettu tarkempia selityksiä reiteistä eikä niiden vaikeuksista, vaan todettiin vain ajon tapahtuvan jokamiehenoikeuksien perusteella ja omalla vastuulla. Tämä kartta tulee jäämään vain PDF-muotoiseksi esitykseksi, mutta myöhemmin karttaa on tarkoitus laajentaa kattamaan myös muita alueita Rovaniemeltä, jolloin siitä tul- laan painattamaan myös myyntiin fyysinen kartta, johon luultavasti lisätään hieman kirjallistakin informaatiota Rovaniemen maastopyöräilystä ja reiteistä.

4.3 Kartoituksen tarkkuus

Tämän opinnäytetyön yhteydessä paikkatiedon kartoitus siis suoritettiin käyttä- en absoluuttista paikannusta ja A-GPS:ää. Absoluuttien paikannuksen tarkkuus vaihtelee yleisesti noin 7–20 m välillä, jopa 100 m virheitä yksittäisissä havain- nossa sanotaan voivan esiintyä. Liitteenä olevissa kuvakaappauksissa voidaan vertailla Maanmittauslaitoksen Maastotietokannassa kartoitettuna olevia polkuja sekä Trimble R8:lla tehtyjä tarkastusmittauksia, tässä työssä mitattuihin reittei- hin. Laitteet eivät mitanneet yhtäkään yksittäistä, selkeästi erottuvaa virhemit- tausta. Tällaiset virhemittaukset huomaisi helposti laitteen tuottamasta GPS- jäljestä ja ne pystyisi editoida pois. Pääasiassa jäljet seurailevat hyvin Maasto- tietokantaan kartoitettua polkua, suurimpien yksittäisten poikkeusten ollessa noin 6m luokkaa. Kuviossa 8 esitetystä kuvakaappauksessa nähdään paikan- timen jäljen poikkeama Maastotietokannan polusta kohdassa, jossa poikkeama oli tässä työssä kerättyssä aineistossa suurimmillaan.

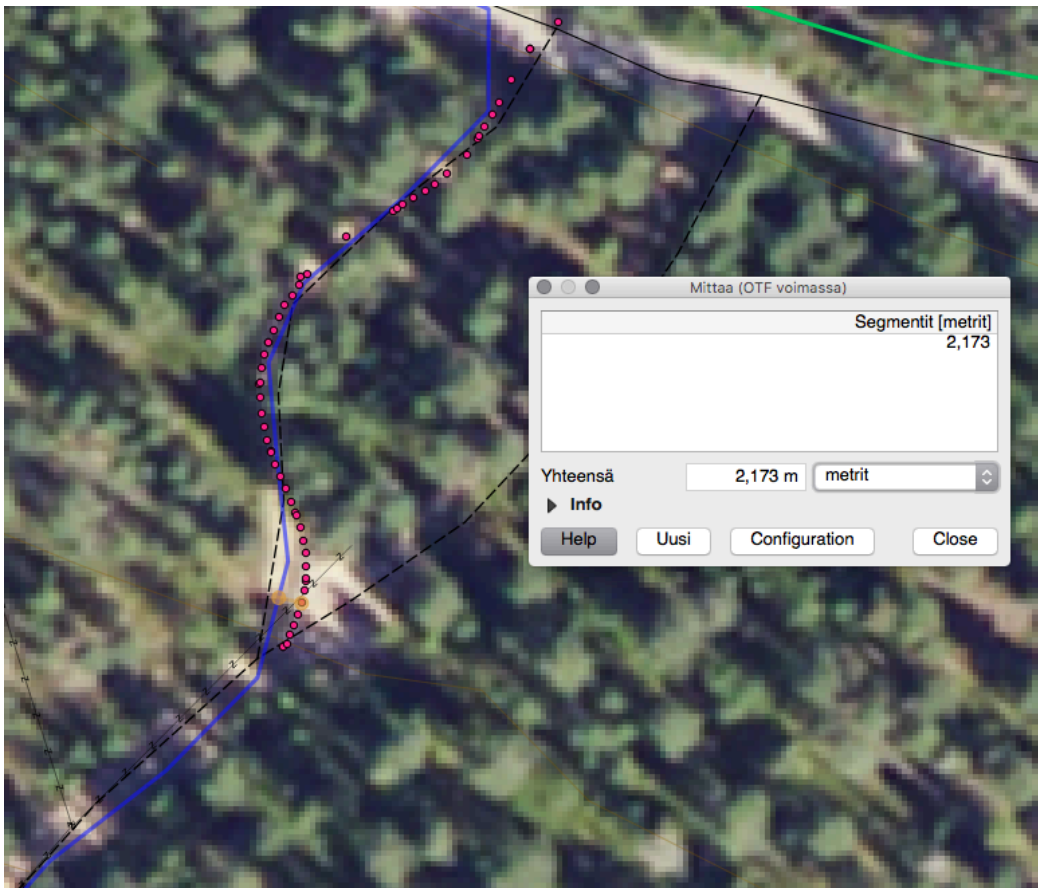


Kuvio 8. Paikantimen jälki poikkeaa hieman Maastotietokannan polusta

Suoraan Maastotietokannan aineistoon verratessa saatetaan tehdä kuitenkin virheellisiä päätelmiä, sillä Maastotietokannan sijaintitarkkuus ei ole absoluuttisen oikea. Kuviossa 9 on laitettu päällekkäin Maastotietokannan polku, Maanmittauslaitoksen tarjoama ilmakehän kuva, absoluuttista paikannusta käyttäen kartoitettu yhtenäinen jälki sekä Trimble R8 VRS-GPS -laitteella tehdyt tarkistusmittaukset. Trimblessä käytössä olevassa VRS-paikannuksessa virheiden pitäisi olla alle 10cm luokkaa, joten sillä tehtyjä kartoituksia voidaan pitää eksakteina. Kun verrataan Maastotietokantaan digitoitua polkua ilmakehällä erottuvaan aukkoon ja Trimblellä suoritettuihin kartoituksiin, huomataan, että Maastotietokannan sijaintitarkkuuksissa todella on virheitä. Osittain näitä virheitä selittää se, että tätä työtä varten tehdyt kartoitukset on suoritettu lumen ollessa maassa, jolloin kulku-ura saattaa muodostua hieman eri kohtaan missä se kesällä kulkee.

Älypuhelimella ja GPS-kellolla tehdyt kartoitukset on suoritettu pyöräillen, jolloin nopeudet ovat parhaimmillaan olleet 40 km/h. Tästä aiheutuu alla olevalta kuvi-

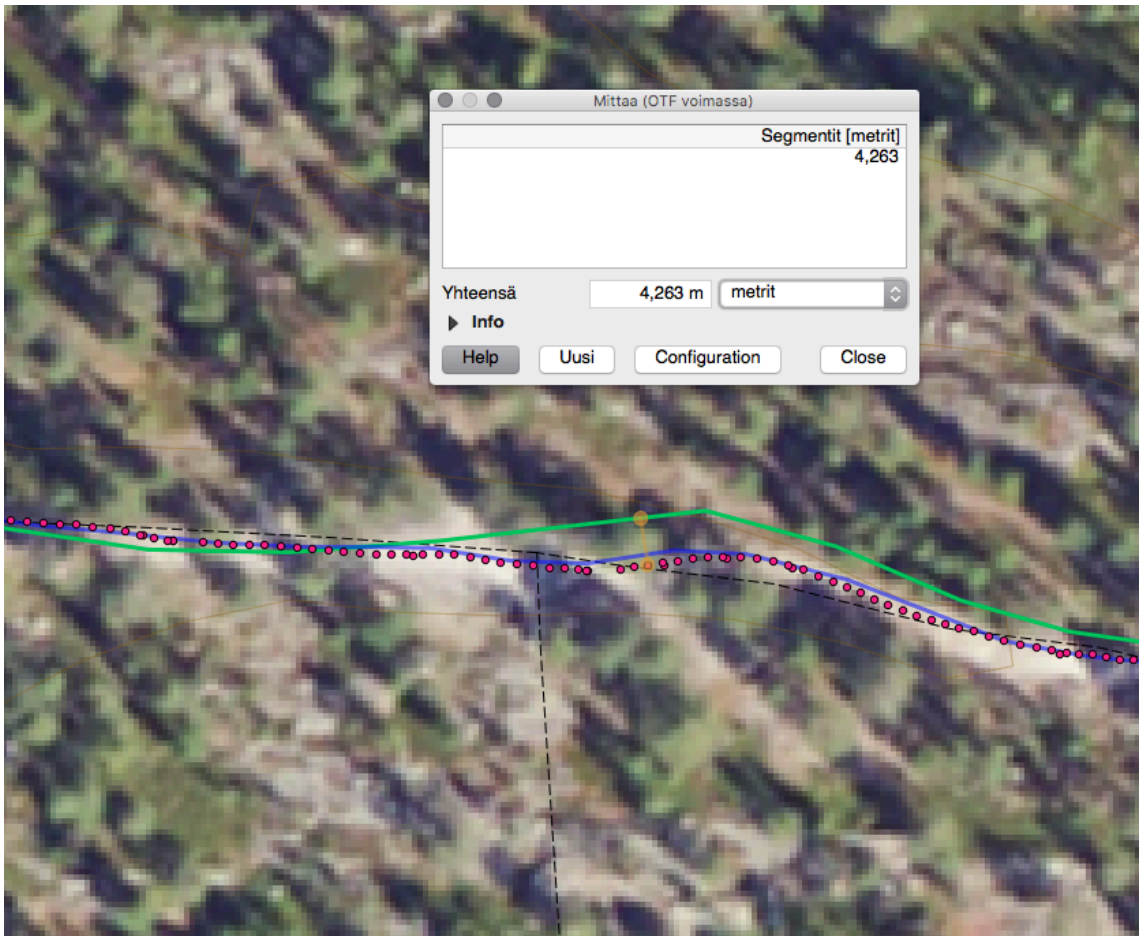
oltakin hyvin ilmenevää jäljen kulmikkuutta. Paikannus tapahtuu vain kerran sekunnissa, jolloin pyörä kerkeää liikkumaan hyvinkin pitkän matkan paikannusten välissä. Trimblellä suoritettut tarkastusmittaukset tehtiin staattisesti tai jatkuvaa mittausta käyttäen hyvin hitaalla kävelynopeudella, jolloin sen muodostama jälki seuraa sulavammin polkujen tiukkoja kaarteita. Trimblellä suoritettuja paikannuksia ja kevyemmällä menetelmällä tehtyjä kartoituksia verratessa huomataan, että absoluuttisellakin paikannuksella tehdyt jäljet kulkevat melko tarkkaan oikeassa sijainnissa. Alla olevilla kuvioilla Trimblellä tehdyt tarkistumittaukset on esitetty punaisilla pisteillä ja kevyillä laitteilla kartoitetut jäljet yhtenäisillä viivoilla.



Kuvio 9. GPS paikannusten, maastotietokannan ja ilmakuvan vertailua

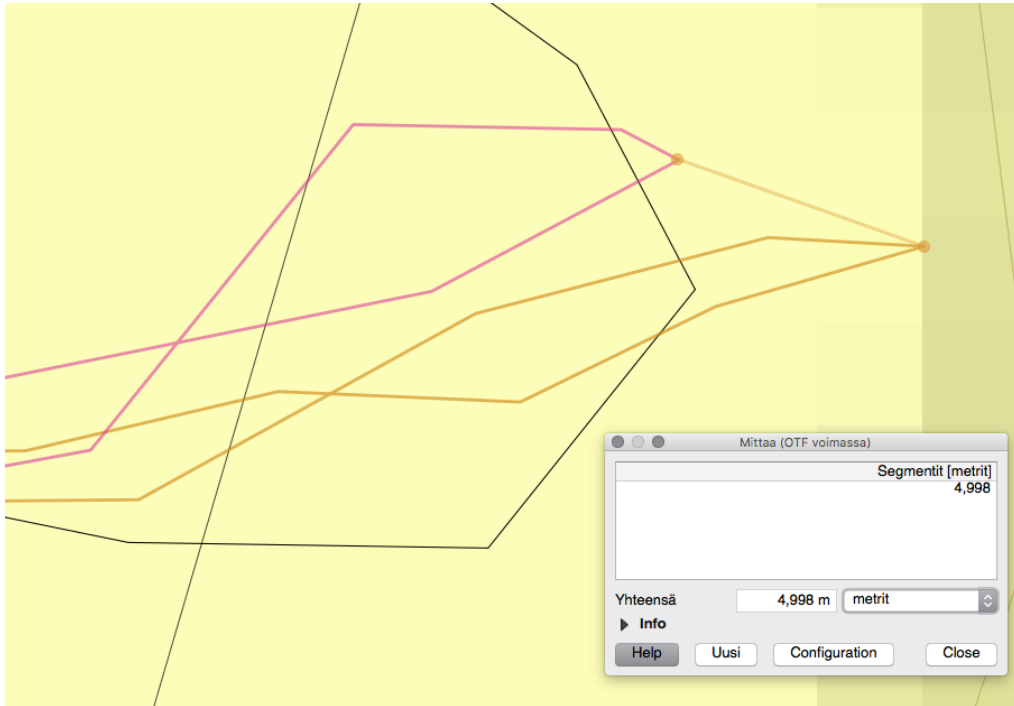
Kuviossa 10 on esitetty samat aineistot kuin yllä olevassa kuviossa, sillä poikkeuksella, että siinä on kaksi, eri kerroilla, samaa polkua pitkin ajettua GPS-kellolla kartoitettua jälkeä. Kuvioista huomataan, että toisella kerralla GPS-kellon jälki kulkee melkein täsmälleen oikeassa kohdassa. Sinisen jäljen ero Trimblellä kartoitettuihin pisteisiin on kymmenien senttien luokkaa. Toisaalta taas huoma-

taan, että toisella kerralla tallentunut jälki poikkeaa Trimblen koordinaateista noin 4 metriä. Tämäkään ei ole suuri poikkeama, mutta kertoo, että absoluuttista paikannusta käytettäessä kartoituksen laatu saattaa vaihdella melko paljon riippuen mittausolosuhteista ja saatavilla olevista satelliiteista. Osittain jäljissä oleva ero selittyy sillä, että toinen on ajettu kuivan maan aikaan ja toinen lumen ollessa maassa, jolloin kuten aiemmin todettiin, kulku-ura saattaa olla eri kohdassa.



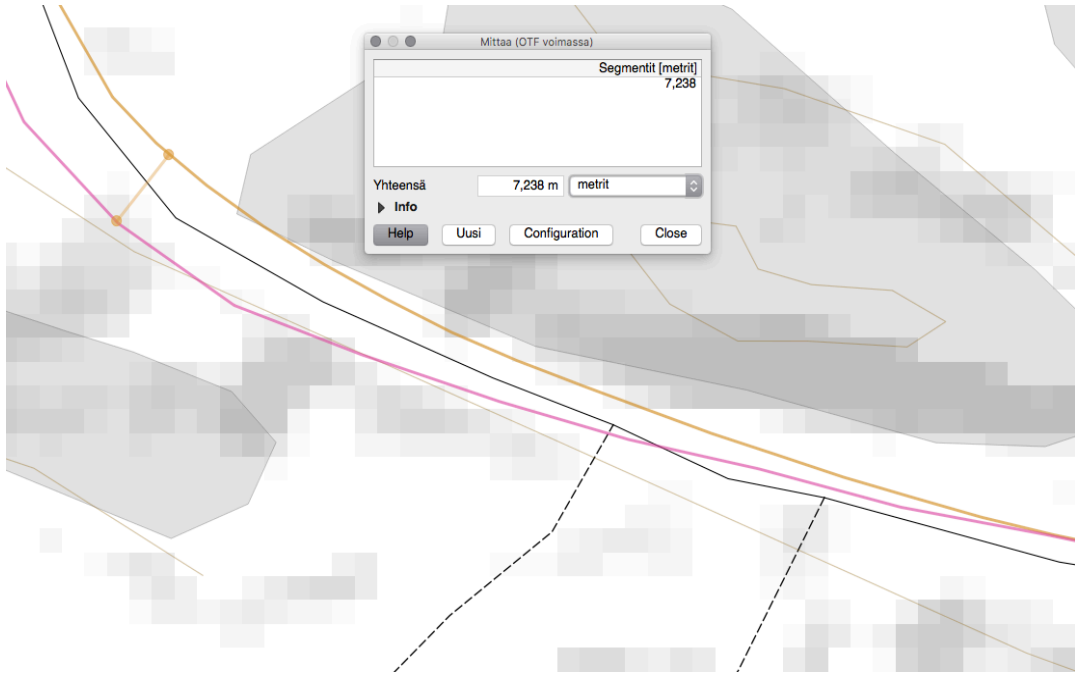
Kuvio 10. Absoluuttisen paikannuksen laatu vaihtelee

Kuviossa 11 on esitetty kahden eri laitteen samanaikaisesti mitaamat jäljet päällekkäin, ja siitä huomataan, että ne eivät kulje täsmälleen samaa reittiä. Paikantimien tallentamien jälkien muoto on hyvin samankaltainen, mutta yksittäiset havainnot poikkesivat tätä työtä varten kerätyssä datassa suurimmillaan jopa 7 m toisistaan.



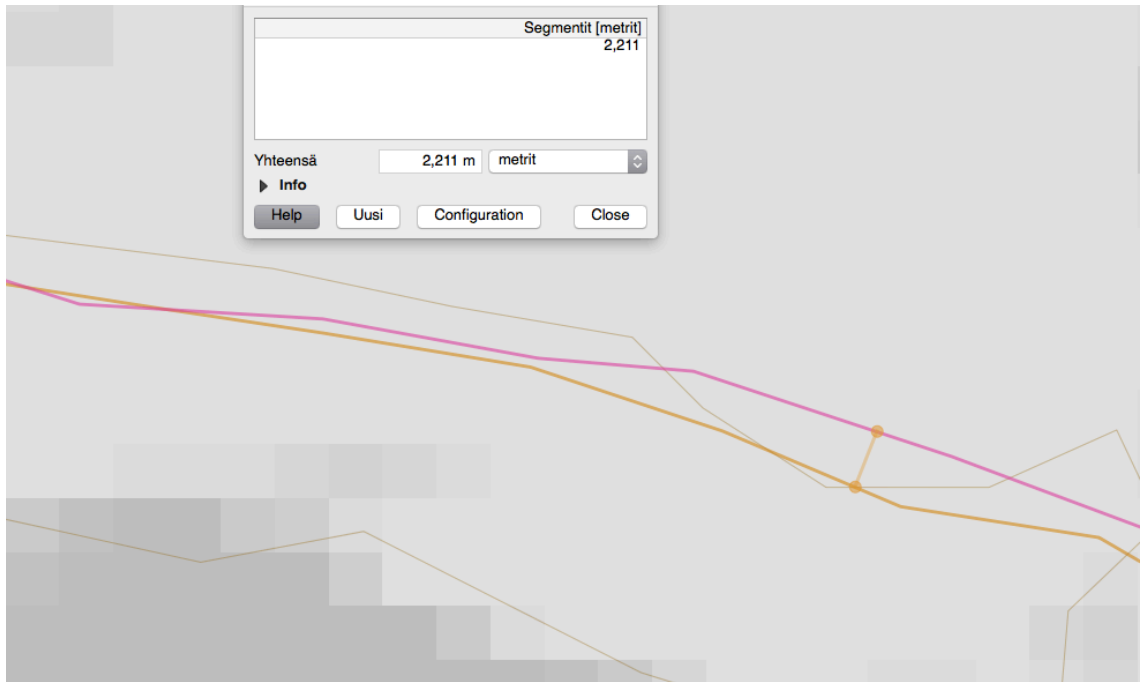
Kuvio 11. Paikantimien jäljet eroavat toisistaan

Tätä opinnäytetyötä varten kerätystä aineistosta on vaikea sanoa, kumpi paikantimista on tarkempi, molempien tallentamat jäljet poikkeavat hieman maastotietokannan poluista, Trimble R8:lla tehdyistä tarkastusmittauksista sekä toisistaan. Kuvioissa 11 ja 12 esitellyistä jäljistä oranssi on tallennettu Suunnolla ja violetti on Honor -älypuhelimien jälki. Kuviossa 12 on esitetty suurin yksittäinen poikkeama, minkä paikantimien tallentamasta aineistosta löytyi. Poikkeama jälkien välillä on 7,2 m.



Kuvio 12. Suurin yksittäinen poikkeama kahden tallentimen jäljissä

Aineistosta on huomattavissa se, että sankemmassa metsikössä kulkevat kohdat ovat hieman epätarkempia, kuin avonaisemilla alueilla kulkevat osiot. Kuviossa 13 on kuvakaappaus jäljestä, joka kulkee Ounasvaaran laella, Juhannuskalliolla. Siellä maasto on hyvin avonaista, paikoin jopa avokalliota, jolloin GPS-signaali pääsee kulkemaan esteettömämmin suoraan vastaanottimeen. Mittaustarkkuuteen voi hyvin vaikuttaa myös se, että Suunto oli reittejä kartoitettaessa kiinnitettynä pyörän ohjaustankoon, kun taas älypuhelin oli takin taskussa. Parhaimman mittaustuloksen saavuttamiseksi laitteen tulisi pystyä vastaanottamaan GPS-signaali mahdollisimman esteettömästi.



Kuvio 13. Avonaisilla paikoilla paikannustarkkuus on parempi

Vaikka laitteet käyttävät samaa paikannusmenetelmää, eroaa niiden käyttämä GPS-vastaanottimet toisistaan. Eri valmistajien GPS-sirut ovat ominaisuuksiltaan hieman eri tasoisia ja parhaan paikannustuloksen saavuttamiseksi tulisi pyrkiä valitsemaan parhaan vastaanottimen sisältävä laite. Tämän valinnan tekeminen on hyvin hankalaa suorittaa, muuten kuin käytännössä kokeilemalla. Laitteiden paikannustarkkuudesta on nimittäin hyvin vähän tietoa tarjolla ja eri valmistajien ilmoittamat tiedot eivät välttämättä ole keskenään vertailukelpoisia. Kohtuullisen uusien laitteiden ominaisuuksissa ei kuitenkaan pitäisi olla niin suuria eroja, että jollain laitteella tällainen kartoittaminen ja reittien seuraaminen ei onnistuisi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tätä opinnäytetyötä varten kerätystä aineistosta suurimmat löydetyt virheet olivat kaikki alle 10 m. Suurin havaittu, kahden samanaikaisesti paikantavan laitteen jäljen välinen, ero oli 7,2 m. Maastotietokannan aineistoon verrattaessa suurin havaittu virhe oli 6,3 m ja Trimble R8:lla tehtyihin tarkistusmittauksiin verrattaessa 4,3 m.

Kerätystä aineistosta tuotetun kartan mittakaava tulee olemaan 1:15000, jolloin alle 10 m luokkaa olevilla virheillä ei ole käytännön merkitystä. Kartalla esitettävät reittiviivat täytyy esittää riittävän paksuina niiden havaitsemisen helpottumiseksi, jolloin kartalla esitettävä viiva jo itsessään on noin 15 m leveä mittakaavaan suhteutettuna. Tällöin pienet virheet havainnoissa ei haittaa lainkaan. Myös kuten aiemmin havaittiin, jo Maastotietokannassa olevien polkujen sijainneissa on pieniä virheitä, joten saman suuruiset virheet reittejä kartoitettaessa ovat hyväksyttävissä. Jos kartoitettua reittijälkeä halutaan käyttää GPS-paikantimessa ja seurata reittiä sen avulla, virheistä saattaa olla enemmän haittaa. Suurimmat hankaluudet tulee reitin tiukoissa mutkissa ja risteyksissä. Jos reittiä kartoittaessa on tapahtunut 10 m virhe kohdassa, jossa reitin pitäisi risteätä toisen polun kanssa ja jälki kääntyykin 10 m liian aikaisin tai liian myöhään, saattaa jälkeä seuraava pyöräilijä eksyä reitiltä. Maastopyöräreitit kulkevat kuitenkin selvästi maastossa erottuvilla poluilla, joten pienet sijaintivirheet jäljessä eivät luultavasti aiheuta suuria ongelmia. Jos jälki näyttää kääntyvän kohdasta, jossa polkua ei mene, niin luultavasti käyttäjä osaa jatkaa matkaansa eteenpäin seuraavaan maastossa erottuvaan risteykseen. Jos maastossa tiedetään olevan epäselviä kohtia, kuten monien polkujen risteämiä, voidaan niihin kiinnittää tarkempaa huomiota jälkiä käsitellessä, ja tarkistaa, että kartoitettu jälki kääntyy varmasti oikeassa kohdassa.

Yleensä paikkatietoa kartoitettaessa käytetään tarkempia menetelmiä. Jos esimerkiksi kartoitetaan maastossa olevia polkuja, on tärkeää saada niiden sijainti täsmälliseksi. Tässä työssä ei kuitenkaan ollut tarkoitus kartoittaa sitä, missä polut kulkevat, vaan kartoittaa reitti, joka kulkee pääasiassa näitä jo kartoitettuja polkuja pitkin. Tässä työssä käytetyssä paikannusmenetelmässä havaintoja ei tarvitse pysähtyä tekemään paikalleen, vaan reitit pystyttiin kartoit-

tamaan ajamalla ne ympäri maastopyörällä pitäen matkapuhelimen ja kellon reittiohjelma päällä kartoittamassa kuljettua reittiä. Staattisia havaintoja pitäisi tehdä satoja, ellei tuhansia, että maastossa mutkitteleva reitti saataisiin tarkasti kartoitettua, joka nostaisi kartoitukseen menevää aikaa ja vaivaa huomattavasti. Monet laitteet tarjoavat kuitenkin jatkuvaa mittaustapaa, jolloin reitit voisi kartoittaa kävelemällä ne läpi laitteen kanssa. Trimble R8:lla tehdyt tarkastusmittaukset tehtiin osittain jatkuvalla mittauksella. Paikannin asetettiin mittaamaan sijaintiaan sekunnin välein ja käveltiin laite suorassa pitäen kartoitettavaa polkua pitkän. Mittauksen yhteydessä laitteen ilmoittamia tarkkuuksia tarkastellessa niiden todettiin pysyvän noin 20-30 cm luokassa. Tällä tekniikalla reitit saisi kohtalaisessa ajassa kartoitettua siis huomattavan paremmalla tarkkuudella. DGPS tai tarkastusmittauksia tehdessä käytettyä VRS -mittaustapaa käyttävät paikantimet eivät kuitenkaan ole kuluttajille suunnattuja. Niiden hankinta- ja käyttökustannukset ovat kymmeniä kertoja suuremmat kuin lähes kaikilta taskusta löytyvän älypuhelimien käyttö. Niinpä tällaista reittikarttaa omakustanteisesti tehdessä tarkemman laitteiston hankinta tai edes vuokraaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tarkempia mittaustekniikoita käyttävien laitteiden käyttö on myös monimutkaisempaa ja ne vaativat usein lisäantenneja, -sauvoja ja -vastaanottimia. Verrattaessa älypuhelimien paikannussovellukseen niiden käyttö on melko hankalaa, eikä niitä ole suunnattu tavalliselle kuluttajille. Myöskään absoluuttista paikannusta hyödyntävät, maanmittauskäyttöön tarkoitetut laitteistot eivät ole hankinta- ja käyttökustannusten puolesta käyttökelpoisia tällaisiin yksittäisiin projekteihin.

Kuten aiemmin työssä huomattiin, liian suuri kulkunopeus aiheuttaa reittijälkiin kulmikkuutta. Paikannuksen tapahtuessa kerran sekunnissa nopeasti kulkeva pyörä kerkeää kulkemaan paikannusten välissä kohtuullisen pitkän matkan ja tiheästi mutkitteleva reitti ei välttämättä kuvaudu aivan oikein. Tästä aiheutuvat virheet ovat kuitenkin hyvin pieniä, mutta asia on hyvä ottaa huomioon reittejä kartoitettaessa ja mahdollisesti laskea ajonopeutta pienemmäksi. Signaalin esteetön kulku paikantimelle kannattaa ottaa myös huomioon ja asettaa paikannin mahdollisuuksien mukaan esteettömälle paikalle kuten pyörän ohjaustankoon eikä taskuun tai reppuun.

Edellä olevien pohdintojen ja mittausten perusteella sanoisin kevyiden paikantimien käyttämän absoluuttisen paikannuksen olevan riittävän tarkkaa tällaisen paikkatiedon kartoitukseen. Kartoitukseen käytetyn ajan sekä laitteiden hankinta- ja käyttökustannukset ja käytön helppous huomioon ottaen se on mielestäni myös järkevin mittausmenetelmä. Virheiden pysyessä reilusti alle 10 m luokassa ja ollen pääasiassa muutaman metrin suuruisia ei niistä aiheudu kartoituksessa ongelmia. Kun tulevaisuudessa absoluuttisen paikannuksen tarkkuus tulee vielä parantumaan uusien havaintosuureiden ja satelliittijärjestelmien tullessa käyttöön, kyseinen metodi on entistä hyödyllisempi niin reittien kartoitukseen kuin Google Maps -tyylisten kartta ohjelmien navigointiin.

6 POHDINTA

Tässä työssä tehtyjen mittausten perusteella absoluuttinen paikannus sopii hyvin maastopyöräilyreittien kartoittamiseen. Mittausmenetelmän edut peittoavat selkeästi sen haitat ja ongelmakohdat. Tarvittaessa tietenkin on tarjolla tarkempia menetelmiä ja jokaisen projektin kohdalla täytyy miettiä mikä on siinä tarvittava tarkkuustaso ja projektin budjetti ja valittava mittausmenetelmä ja laitteisto sen mukaan.

Tässä opinnäytetyössä saadut tulokset ovat lähinnä yksittäisiä mittaustuloksia, eikä niiden pohjalta voida tehdä tarkkoja päätelmiä matkapuhelinten ja GPS-kellojen mittaustarkkuudesta. Mittaustulokset ovat kuitenkin hyvin samaa luokkaa kuin tarkemmissa tutkimuksissa on saatu todettua. Tulosten vertailu Maastotietokantaan, ilmakuviin sekä varsinkin Trimble R8:lla tehtyihin tarkastusmittauksiin antaa niille kuitenkin riittävän vankan pohjan tässä tehtyjen päätelmien tueksi. Työn tarkoitus olikin tutkia, riittääkö absoluuttisen paikannuksen tarkkuus reittien kartoittamiseen, eikä niinkään selvittää mikä laitteiden täsmällinen mittaustarkkuus on.

Satelliittipaikannusteknologia on nopeassa muutoksessa juuri tällä hetkellä ja tulee luultavasti lähivuosina kehittymään entisestään tarjoten nyt vielä saavuttamattomat tarkkuudet myös kuluttajien ulottuville. Tekniikan nopean kehittymisen vuoksi asiasta tietoa etsiessä täytyy olla tarkkana, ettei esimerkiksi ole muutama vuosi sitten kirjoitetun tiedon olevan vielä tänään paikkaansa pitävä.

Opinnäytetyön tekeminen eteni sujuvasti ja sain sen tehtyä kohtuullisessa ajassa. Etenemistä edesauttoi huomattavasti se, että aihe oli niin lähellä omia kiinnostuksen kohteitani. Olen tyytyväinen työn laatuun ja tuloksiin ja uskon, että työn ohessa tehdystä reittikartasta tulee olemaan hyötyä muillekin käyttäjille. Uskon myös pohdinnan ja mittausten tarkastelun koskien älypuhelimilla tehtävää reittien kartoitusta hyödyttävän muita, sillä SportsTrackerin kaltaisten sovelusten ansiosta matkapuhelimia ja GPS-kelloja käytetään laajalti omien reittijälkien tallentamiseen ja maastossa seuraamiseen. Varsinaisesti reittien kartoittaminen ei tuonut minulle uusia kokemuksia, mutta laitteilla saatavien mittausten tarkkuudesta saatu tieto oli mielenkiintoista. Myös kartoitettujen reittien käyt-

tö kartan tekemiseen ja yleisesti karttojen laatiminen oli minulle uutta asiaa, josta sain hyviä kokemuksia työn yhteydessä. Kuten todettua, tulen luultavasti jatkamaan tätä kartoitusprojektia myös opinnäytetyön valmistumisen jälkeen omalla ajalla.

LÄHTEET

Annunen, J., Jokinen, O., Kupari, P., Likitalo, E., Lämsä, J., Nevalainen, P., Nurminen, M., Oikarainen, A., Saarikoski, A., Tela, A., Tuokko, J. & Tuomien, J. 2005. Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet. Helsinki: Edita Prima Oy.

Eskola, R. & Peltoniemi, H. 2011. Viherympäristön mittaustekniikka ja paikkatieto. Tampere: Tammerprint Oy.

Federal Aviation Administration 2016a. GNSS Frequently Asked Questions – GPS. Viitattu 1.11.2017

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/faq/gps/#ad1.

– 2016b. Satellite Navigation - GPS - How It Works. Viitattu 1.11.2017

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks/.

– 2016c. Satellite Navigation - GPS - Space Segment. Viitattu 1.11.2017

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/spacesegments/

– 2016d. Satellite Navigation - GPS - User Segment Viitattu 2.11.2017

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/usersegments/

GPS Constellation Status 2017. United states naval observatory (usno). Viitattu 1.11.2017 <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt>.

GPS.GOV 2017. New civil signals. Viitattu 15.11.2017

<https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/>

Hoffmann-Wellenhof, Lichtenegger & Wasle. 2008. GNSS Global Navigation Satellite System. Wien: Springer-Verlag.

Karttakeskus Oy 2015. Mitä on paikkatieto?

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy. E-kirja. Viitattu 11.1.2018.

http://virtual.ramk.fi/Tuotantoalat/eJulkaisu_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikka_Laurila.pdf

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Maanmittauslaitos 2016. Maastotietokohteiden luokitus. Viitattu 13.12.2017

http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/maastotietokanta_kohdemalli.xlsx

Maanmittauslaitos 2017. Kartat ja paikkatieto. Viitattu 21.11.2017.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto>

Miettinen, S. 2006. GPS käsikirja. Porvoo: WS Bookwell OY.

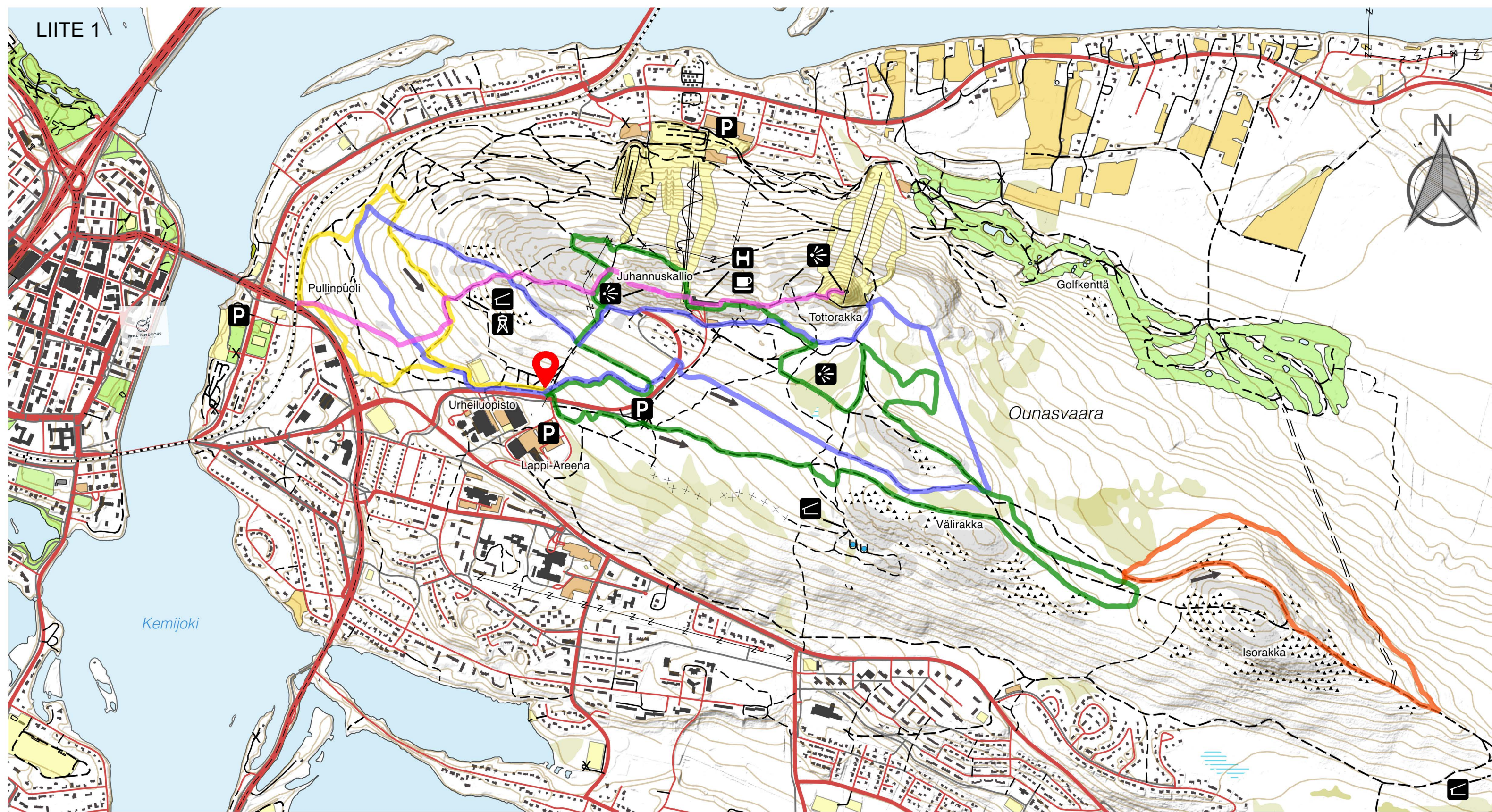
Rubino, D. 2009. GPS vs. aGPS: A quick Tutorial. Viitattu 13.12.2017.
<https://www.windowcentral.com/gps-vs-agps-quick-tutorial>

Trimble 2017. Trimble GPS Tutorial – Triangulating. Viitattu 2.11.2017
http://www.trimble.com/gps_tutorial/howgps-triangulating.aspx.

van Diggelen, F., Enge, P. 2015. The World's first GPS MOOC and Worldwide Laboratory using Smartphones. Viitattu 13.12.2017.
<https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=13079>

LIITE

Liite 1. Kultalahti, Ounasvaaran maastopyöräilyreitit -kartta



ROVANIEMI - Ounasvaaran maastopyöräilyreitit

0 1 2 km

	Ounasvaaran kierros	8,5 km
	Pullinpuoli	3,7 km
	Isorakan lenkki	3,5 km
	Tottorakka-Pullinpuoli	3 km
	Talvipyöräilyreitti	7 km



Pysäköinti



Näköala



Kahvila



Laavu/nuotiopaikka



Näköalatorni



Hotelli



Lähtöpiste



Suosittelun ajosuunta