

# **Liikkuvan ajoneuvon satelliittivastaanottimien toimivuus**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikennealan koulutusohjelma

Riihimäki, syksy 2017

Tuomas Eskola

Liikennealan koulutusohjelma

Riihimäki

---

<b>Tekijä</b>	Tuomas Eskola	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Liikkuvan ajoneuvon satelliittivastaanottimien toimivuus	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Rami Tervo	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli hankkia tietoa liikkuvassa ajoneuvossa käytettävien satelliittipaikannuksessa käytettävien vastaanottimien tarkkuutta. Lähtökohtana oli opinäytetyön tilaajan Carement Oy:n tarve päivittää yrityksen käytössä olevia laitteita vastaamaan yrityksen palvelutarjontaa ja edistämään kustannustehokkuutta. Testattavaksi tulevien vastaanottimien tuli sopia yrityksen jo olevaan muuhun laitteistoon. Tämä rajasi alkuperäisen suunnitelman kuudesta laitteesta lopulta neljäksi mukaan otettavaksi laitteeksi.

Työn julkisessa osassa etsittiin vastausta kysymyksiin, ajonopeuden ja mittausalueen peitteellisyyden vaikutuksesta tarkkuuteen. Kustannustehokkuuden osalta raportoidaan työn tilaajalle. Teoreettista taustaa varten hankittiin tietoa satelliittijärjestelmistä ja tekijöistä, jotka häiritsevät paikannustarkkuutta. Tekniset tiedot kerättiin laitetoimittajien esitteistä.

Paikannustarkkuutta testattiin soratiellä. Tiehen mitattiin ja merkittiin lähtöpisteen lisäksi kymmenen pistettä. Jokaisella laitteella ajettiin mitattavat välit lähtemällä levosta, kiihdyttämällä nopeuteen 20 km/h tai 40 km/h ja pysäyttämällä mittauspisteen kohdalle. Tien kunnosta ja peitteellisyydestä otettiin kuvia. Aineiston pienuus ei puoltanut tilastollista analyysiä.

Nopeuden vaikutuksessa mittaustarkkuuteen havaittiin laitekohtaisuuden lisäksi yhteistä, kuten riippuvuus laitteen reaaliaikaisuudesta paikantaa, välimatkan pituudesta sekä peitteisyyden tasosta. Osalla laitteita nopeuden kasvu lisäsi epätarkkuutta, osalla pienensi. Yhteistä oli, että matkan pituudet olivat lyhyillä väleillä todellista matkaa lyhyempi ja pidemmillä pidemmät. Tuloksia tukevat aikaisemmista tutkimuksista saatuja tuloksia. Työ nosti esille tarpeen uusille tutkimuksille, joissa peitteellisyyden tasot eriteltäisiin.

**Avainsanat** Satelliittipaikannus, paikannustarkkuus, peitteellisyys, liikkumisnopeus

**Sivut** 53 sivua, joista liitteitä 15 sivua

Traffic and Transport Management  
Riihimäki

---

<b>Author</b>	Tuomas Eskola	<b>Year</b> 2017
<b>Subject</b>	Functionality satellite receivers mobile vehicles	
<b>Supervisors</b>	Rami Tervo	

---

#### ABSTRACT

The purpose of this work was to obtain information on the accuracy of satellite receivers used in mobile vehicles. The starting point was a need to update the equipment used by the commissioner to meet its services offered. In addition, there was a need to assess the cost-effectiveness of the operation. For testing, the receivers should be compatible with the rest of the company's existing hardware. This limited the original plan of including six devices to four.

The public part of the work sought answers to questions about the impact of speed and coverage of measuring area on accuracy. As theoretical background information the author acquired information on satellite systems and factors that interfere with positioning accuracy. The technical data was collected from brochures of equipment suppliers.

Positioning accuracy was tested on a gravel road. The road was measured and there were ten points marked on the road in addition to the starting point. Each device was used to measure the intervals to be measured from standstill, accelerating to 20 km/h or 40 km/h and stopping at the measuring point. Images were taken on the condition and conceivability of the road. The size of the data did not qualify for statistical analysis, however

As a result of the impact of speed to measurement accuracy it was detected, in addition to device specificity, issues such as a dependence on the real time position of the device, distance length, and coverage level. With some of the devices, the increase in speed increased blur, but with some it was diminished. It was common that the length travelled was shorter with the shortest intervals and longer with the longer intervals. The results are supported by previous studies. The work raised a need for new studies in which the coverage levels were to be specified.

**Keywords** satellite positioning, positioning accuracy, covering, movement speed

**Pages** 53 pages including appendices 15 pages

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Opinnäytetyön tilaaja ja tilaajan asettamat tavoitteet työlle.....	1
1.2	Tutkimuksen rajaaminen ja tutkimuskysymysten asettaminen .....	1
1.3	Keskeiset käsitteet .....	3
2	SATELLIITTINAVIGOINTIJÄRJESTELMÄ.....	5
2.1	Satelliittinavigointijärjestelmä GNSS - Global NavigationSatellite System .....	5
2.2	GSP – satelliittijärjestelmien edelläkävijä .....	5
3	SATELLIITTIPAIKANNUKSEN TARKKUUTTA HEIKENTÄVÄT TEKIJÄT .....	8
3.1	Signaalin kulkemiselle välttämättömät vaatimukset .....	8
3.2	Signaalin kulkua häiritsevät tekijät .....	9
3.3	Alueen peitteisyyden vaikutus mittaustarkkuuteen .....	11
3.4	Heijastumisen vaikutus vastaanottimeen tuleviin signaaleihin.....	12
4	TESTATTU LAITTEISTO .....	13
5	AINEISTON KOONTA JA AINEISTON ANALYSOINTI .....	15
5.1	Paikannustarkkuuksien mittausten suunnittelu ja toteutus.....	15
5.2	Aineiston käsittely .....	20
5.3	Aineiston analyysi.....	23
5.3.1	Ensimmäinen tutkimuskysymys .....	25
5.3.2	Toinen tutkimuskysymys .....	26
6	TUTKIMUSTULOKSET .....	30
6.1	Paikantimen nopeuden vaikutus mittaustuloksiin.....	30
6.2	Ympäristön vaikutus liikkuvan satelliittipaikantimen mittaustuloksiin .....	30
7	YHTEENVETO .....	32
	LÄHTEET .....	33

## LIITTEET

Liite 1. Ajoraportit

Liite 2. Laitteiden antamat mittaustulokset

Liite 3. Laitteiden mukaiset etäisyydet

Liite 4. Välimatkojen ja epätarkkuuksien välinen riippuvuus

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Opinnäytetyön tilaaja ja tilaajan asettamat tavoitteet työlle

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Carement Oy, jonka edustajana opinnäytettä ohjaamassa on ollut projektipäällikkö Matias Kärkkäinen. Carement Oy on valtakunnallinen vuonna 2006 toimintansa aloittanut infra-alan hankinta- ja asiantuntijapalveluyritys. Yrityksellä on toimistot Oulussa, Rovaniemellä, Suonenjoella, Kalajoella ja Helsingissä sekä toimipisteet Jämsässä, Joensuussa, Muuramessa ja Suomussalmella. Työkenttänä on koko Suomi. Asiakkaita ovat julkisen ja yksityisen sektorin toimijat. Julkisella sektorilla Carement Oy hoitaa muun muassa Liikennevirastolta (LiVi) ja Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksilta (ELY) sekä kaupungeilta ja kunnilta saamiaan tehtäviä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää autoihin asennettavien GPS-paikantimien tarkkuutta hitaasti liikkuvassa/ajoittain pysähtelevässä inventointityössä, kuten teiden vauriokartoituksessa. Vertailuun valittavien paikantamien kriteerinä oli käyttötarkoituksen lisäksi sopivuus Carement Oy:n muuhun teknologiaympäristöön. Paikantamistarkkuuden lisäksi työssä arvioidaan laitteistojen käyttöönoton helppokäyttöisyyttä. Opinnäytetyön tilaajaa kiinnostaa myös mahdolliset kustannussäästöt käytössä olevaan laitteistoon verrattuna. Kustannussäästöihin liittyvä osa opinnäytettä ei ole julkista.

Paikantamien vertailun tarve Carement Oy:ssä oli ajankohtainen. Yritys suunnitteli paikannuslaitteistonsa päivittämistä ja nykyaikaistamista sekä kustannustehokkuuden edistämistä mittaustarkkuutta parantamiseksi. Vertailun suorittamiseen tarvittavia testiajoja peruslähtökohdaksi määräytyi siten paikantimien toimivuus normaalissa työtilanteessa. Ympäristöä, jossa ajotie sijaitsee, tien laatua ja kuntoa tai kelitilanteita ei voida muokata vauriokartoituksia varten. Ne ovat luonnollisia paikannusta vaikeuttavia häiriötekijöitä. Paikantimien käyttämän tekniikan avulla pyritään näiden olosuhdetekijöiden vaikutuksen minimoimiseen.

### 1.2 Tutkimuksen rajaaminen ja tutkimuskysymysten asettaminen

Tutkimuskysymyksien asettamisessa ja testiajojen suunnittelussa käytettiin apuna paikannusteknologiasta ja -käytöstä julkaistuja tutkimuksia. Sovittamalla tutkimustietoa opinnäytetyölle asetettuun tehtävään seuraavat myös opinnäytetyön tulosten yleistettävyyttä määrittelevät asiat nousivat esille:

Suomessa tiestön vauriokartoituksessa joudutaan kulkemaan pitkiä matkoja ja se heittää kysymyksen, voidaanko välimatkat kulkea suuremmalla keskinopeudella ilman, että paikannuksen tarkkuus heikkenee.

Maamme tiestön laatu vaihtelee. Kova ja tasainen päällyste heijastaa eri tavalla paikannuksessa käytettäviä signaaleja kuin karkea tienpinta. Heijastukset ovat paikannusta häiritseviä tekijöitä. Paikantavien laitteiden vertailu edellyttää kaikille laitteille sa-

man tieosuuden käyttöä. Heijastusten vaikutus on merkittävä maanpinnan läheisyydessä ja näin mittaustarkkuuden haasteena on myös tunnistaa alueen peitteellisyys.

Ilmakehässä tapahtuu jatkuvasti muutoksia, jotka muuttavat signaalien reittejä ja vääristävät sijaintitietoa. Lisäksi paikantamien käyttämien satelliittien sijainti ja määrä vaihtelevat.

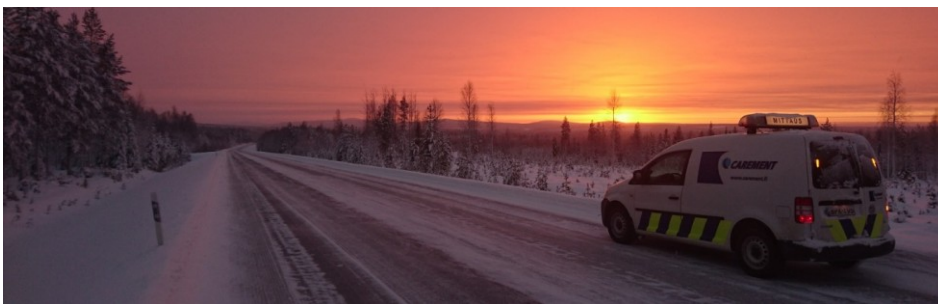
Vertailun pääkohteeksi valittiin edellä mainituista asioista nopeuden vaikutus ja tien peitteellisuuden taso. Näiden rajausten pohjalta asetettiin kaksi tutkimuskysymystä. Ajonopeuden ja tien ympäristön vaikutusta paikannustarkkuuteen tutkittiin etsimällä vastausta kahteen ensimmäiseen kysymykseen.

1. Miten ajonopeuden vaikutus tulee esille paikkatiedossa?
2. Miten maaston peitteellisuuden taso vaikuttaa paikkatiedon tarkkuuteen?

Kustannustehokkuuden osalta työssä ei esitetty erillistä tutkimusongelmaa. Tutkimusaineistosta nousevien tietojen lisäksi tarkastellaan testattavien laitteiden kertaluontoisista hankintakuluista, jatkuvista käyttökuluista, huoltovarmuudesta ja ohjelmistopäivityksien saatavuudesta aiheutuvia kustannuksia.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi kaikkia laitteita käyttäen tehtiin paikannukset ajamalla testipisteiden välimatkat kiihdyttämällä nopeuteen 20 km/h tai 40 km/h. Kun haluttu nopeus saavutettiin, jatkettiin ajamista vakionopeudella siihen saakka, kun aloitettiin jarrutus auton pysäyttämiseksi mittauspisteen kohdalle. Toisen kysymyksen ohjaamana paikantamistarkkuuden mittaukset suoritettiin soratiellä, jossa peitteellisyys vaihteli. Mittausajankohta oli toukokuussa, jolloin tiessä oli talven aiheuttamia ja vielä korjaamattomia routavaurioita.

Testistä saadut mittau tulokset analysoitiin. Johtopäätöksiä tehtäessä tiedostettiin yleistettävyyttä rajaavat tekijät, kuten testiajoihin liittyvät inhimilliset epätarkkuudet ja muun liikenteen huomioimisesta otettavat seikat omaan ajamiseen.



Kuva 1. Mittausauto työkentällään (Carement Oy 2017)

### 1.3 Keskeiset käsitteet

**Beidou**, Kiinan satelliittipaikannusjärjestelmä (esiintyy myös nimellä Compass)

**CEP** (CircularErrorProbable) osumistarkkuutta kuvaava mitta, laskettavissa soveltaen normaalijakaumaa, esim. CEP 1 m = osuma ympyrän sisällä, jonka säde on 1 m 50 %:n todennäköisyydellä ja vastaavasti CEP 2 m = osuman todennäköinen sijainti säteeltään 2-metrinen ympyrän sisällä 93 %

**DR** (DeadReckoning) mittaushetkellä olevan paikan sijainti, joka laskettu käyttäen apuna aikaisempaa paikkatietoa kulkuneuvon nopeutta ja etenemissuuntaa

**Differentiaalinen paikannus** tukiaseman reaaliaikaista korjausdataa hyödyntävä tieto

**Digitaalinen suodatin** tietoliikenteessä digitaalisesti toteutettu kohinan poisto, jolloin vastaanottimeen tulevista signaaleista suodatetaan pois häiritsevät satunnaissignaalit

**EGNOS** (European GeostationaryNavigationOverlay Service) on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä kehitetty täydentämään muun muassa GPS-, GLONASS- Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmiä

**GAGAN** (GPS AidedGeoAugmentedNavigation) Intian satelliittipaikannusjärjestelmä

**Galileo** Euroopan satelliittinavigointijärjestelmä kehitetty palvelemaan globaalia paikannusta siviilitoimijoiden alaisena, kaksoistaajuuden omaavana reaaliaikainen paikkatieto saatavissa alle metrin tarkkuudelle

**GLONASS** (Global NavigationSatellite System) Venäjän maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä

**GNSS** (Global NavigationSatellite System) maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä

**GPS** (Global Positioning System) Yhdysvaltojen maailmanlaajuinen ja alun perin armeijan käyttöön kehitetty paikannusjärjestelmä

**GPS-C** (GPS Correction) Kanadassa sijaitsevien järjestelmä maa-asemien kautta toimiva järjestelmä

**KF** (Kalman-suodin) digitaalinen suodin, joka arvioi dynaamisen järjestelmän tilaa aikaisempien mittaustulosten perusteella, vaikka nämä olisivat epätasmoisia ja sisältäisivät kohinaa, hyödynnettävissä muun muassa GPS-paikantamisessa

**Reaaliaikainen paikannus** tukiaseman ja mittauspisteen välistä suuntaa ja etäisyyttä käyttäen laskettu paikan määrittäminen

**RMS** (RootMean Square) tarkkuutta ilmaiseva tilastollinen luku, esim. R95 = 2 m = osumatarkkuus säteeltään 2-metrinen ympyrän sisällä todennäköisyydellä 95 %

**WAAS** (Wide Area Augmentation System) Yhdysvaltain GPS-paikannussatelliitteja tukeva mittaus- ja tiedonvälitysjärjestelmä kehitetty ilmailun tarpeisiin, toimii yhdessä tietoliikennesatelliittien lähetyksiä vastaanottavan paikantimen kanssa

**QZSS** (Quasi-ZenithSatellite System) Japanin satelliittinavigointijärjestelmä

**MSAS** (Multi-functional Satellite Augmentation System) Japanin Ministry of Land, Infrastructure and Transport operoimajärjestelmä

**SBAS** (SatelliteBasedAugmentation System) satelliittipohjainen paikannuksen tukijärjestelmä toiminnan perustuessa ylimääräisten satelliittien lähettämiin signaaleihin

**WAAS** (Wide Area Augmentation System) Yhdysvaltojen Ilmailuhallinto operoima systeemi

**WAGE** (Wide Area GPS Enhancement) USA:n Armeija United States Department of Defense sotilaalliseen käyttöön ja autorisoiduille vastaanottimille kehittämä järjestelmä



## 2 SATELLIITTINAVIGOINTIJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Satelliittinavigointijärjestelmä GNSS - Global Navigation Satellite System

GNSS on yhteisnimi maailmanlaajuisille satelliittinavigointijärjestelmille. Järjestelmien kehittämisessä uraauurtavana valtiona on ollut Yhdysvallat. Tämän GPS-järjestelmän kehitystyö alkoi 1970-luvulla ja ensimmäinen navigointiin tarkoitettu satelliitti laukastiin vuonna 1978. GPS-järjestelmää on uudistettu jatkuvasti samalla, kun uusia on kehitetty palvelemaan kansainvälisiä ja kansallisia intressejä sekä palvelemaan nopeasti laajenevaa ja monipuolistuvaa satelliittipaikannusta soveltavaa asiakaskuntaa. Alkuaan ilmavoimiensa käyttöön suunnittelema GPS on toimiva ratkaisu myös maalla ja vedessä tehtävään navigointiin. Venäjän GLONASS kehitettiin myös sotilaskäyttöön ja sitä modernisoimaan siviilikäyttöön käyttöön. Kiinan COMPASS-järjestelmän arvioitu käyttöönotto vuosi on 2020.

Eurooppalainen Galileo on siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittinavigointijärjestelmä. Kymmenen vuotta kestäneen kehitystyön tuloksena sen ensimmäiset palvelut voitiin ottaa käyttöön joulukuussa 2016. Tämän ensimmäisen vaiheen palvelu rajoittuu vielä tiettyjen siruvalmistajien älypuhelimien käyttöön, mutta tavoitteena on löytää ratkaisut rajattomaan älypuhelimien ja ajoneuvojen navigointilaitteiden sopivuuteen. (Euroopan komission Suomen edustusto 2016.)

Galileo-järjestelmän satelliitit ovat toiminnassaan yhteensopivat GPS-satelliittien kanssa. Erityisesti kaupungeissa, joissa paikanmäärittästä häiritsevät lukuisat signaaleja häiritsevät pinnat, Galileo parantaa paikan määrittämisen tarkkuutta. Galileon ensimmäisen vaiheen palveluja ovat kadonneiden henkilöiden pelastustoimet, tarkka ajanmääritys ja valtioliseen käyttöön rajattu vikasietoinen suojattu signaali. (Euroopan komission Suomen edustusto 2016.)

### 2.2 GPS – satelliittijärjestelmien edelläkävijä

GPS-järjestelmän satelliitit ovat olleet voimakkaan kehitystyön kohteina ja niin satelliittisukupolvia olemassa useita. Nykyiset ovat polvea Block II (kuva 2) tai sitä korkeampia. Uusin on Block IIF, joista ensimmäinen laukaistiin vuonna 2010. Satelliitin käyttöikää rajaavat muun muassa aurinkokennojen ja akkujen tehon heikkeneminen, kellojen tarkkuuden pieneneminen ja muu elektroniikan vikaantuminen. Nykyisellään satelliittien elinikä voi olla jopa 10 vuotta. (Vermeer 2017, 240–241.)

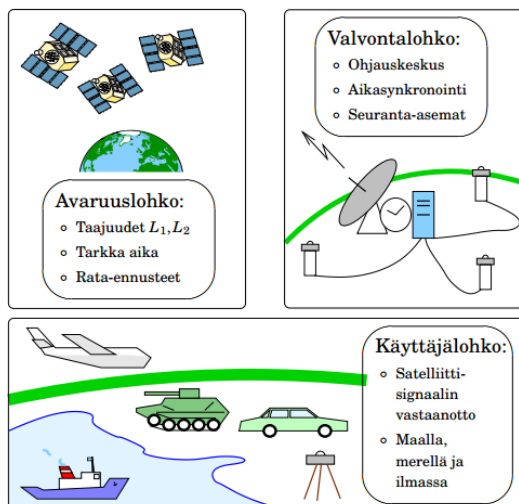


Kuva2. GSP-satelliitti Block II (Vermeer 2017, 240)

GPS-paikannusjärjestelmässä radiolähettäviä sisältävät satelliitit ovat aktiivisia ja paikannusta käyttävien GSP-vastaanottimet passiivisia. GPS-satelliitti (kuva3) sisältää mm. seuraavat komponentit:

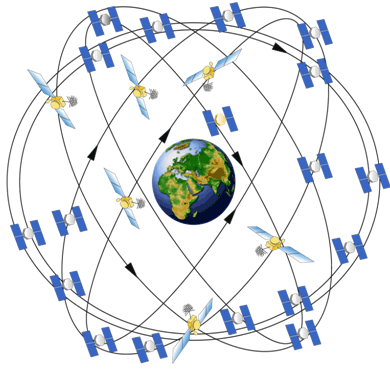
- tarkka kello
- radiolähettimet / antennit osoittavat Maahan
- tietoliikennekanavat
- aurinkopaneelit / suunnattu Aurinkoon
- raketimoottorit

Yhdysvaltain puolustusministeriön alaisena toimivan GPS-järjestelmän osat ovat avaruuslohko, valvontalohko ja käyttäjälohko (kuva4). Avaruuslohko käsittää satelliitit. Valvontalohkon valvontakeskuksessa ja seuranta-asemilla on tarkalla kellolla varustetut GSP-vastaanottimet. Käyttäjälohkoa ovat kaikki, jotka saavat satelliittien tuottamaa tietoa vastaanottiminaan oleviin paikannuslaitteisiinsa. (Vermeer 2017, 241–242.)

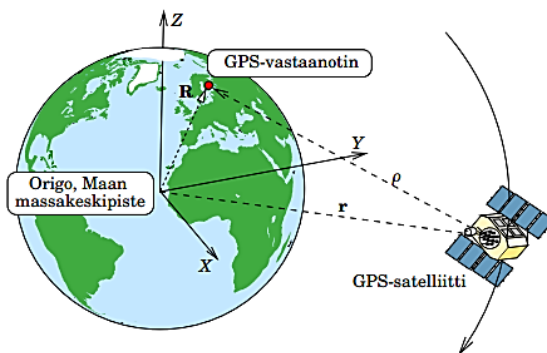


Kuva 3 GSP-järjestelmän lohkot (Vermeer 2017, 242)

GPS-järjestelmän varsinaiset 24 satelliittia ovat kuudessa eri ratatasossa, jokaisessa tasossa on neljä satelliittia (kuva5). Ratojen etäisyys Maasta on yli 20 000 km ja kiertoaika maapallon ympäri vähän alle 12 tuntia. (Vermeer 2017, 242–243.)



Kuva 4. GPS-järjestelmän satelliitit: 6 ratatasolla kullakin 4 satelliittia (Paikkatietokeskus)



Kuva 5. GPS-mittauksen geometria (Vermeer 2017, 258)

Parhaimmillaan GPS:n avulla paikka voidaan määrittää muutaman millimetrin tarkkuudesta useisiin kymmeniin metreihin. Tarkkuuteen vaikuttavat toimintaympäristö, sääolosuhteet ja vastaanottimen tekniikka ja laatu. Esimerkiksi kaupunkiympäristössä paikannusta häiritsee kohina, joka syntyy signaalien heijastuessa rakennuksista. (Paikkatietokeskus.)

### 3 SATELLIITTIPAIKANNUKSEN TARKKUUTTA HEIKENTÄVÄT TEKIJÄT

#### 3.1 Signaalin kulkemiselle välttämättömät vaatimukset

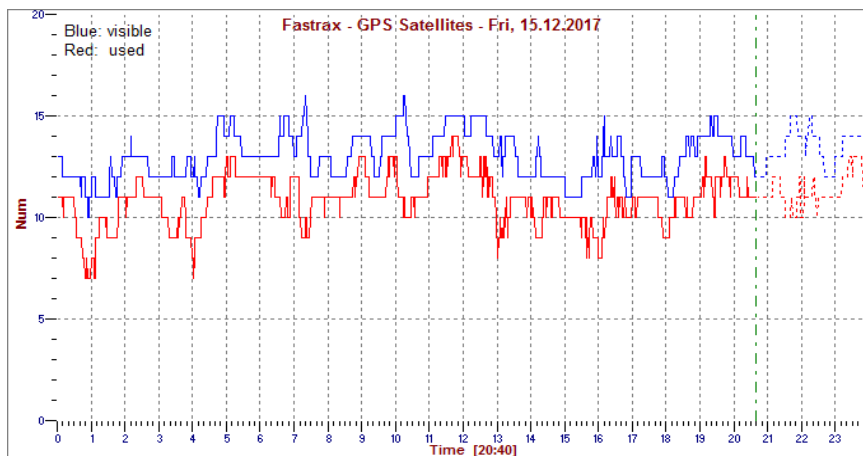
Tietokoneiden koon pieneneminen ja tehokkuus sekä langattomien tietoliikenneyhteyksien kehittäminen ovat mahdollistaneet suurten datamäärien vastaanoton ja siirron liikkuvaan ajoneuvoon ja. Satelliittipaikannuksen kanssa yhteen sovitettavissa digitaalikartat muuttavat paikannustietoa reaaliaikaisesti nähtäväksi ja kuultavaksi. (Juote 2016, 12.)

Kukin satelliitti lähettää radiosignaaleja 2–3 eri taajuudella ja signaaleihin moduloitujen koodien avulla vastaanotin tulee tunnistettua ja paikannettua. Siviilikäyttöä palvelevat koodit poikkeavat Yhdysvaltojen puolustusvoimien käyttöön varatuista salaisista koodista. Tyypillinen siviilikäyttöön tarkoitettu taajuus on L1 1575,42 MHz. (Juote 2016,18.)

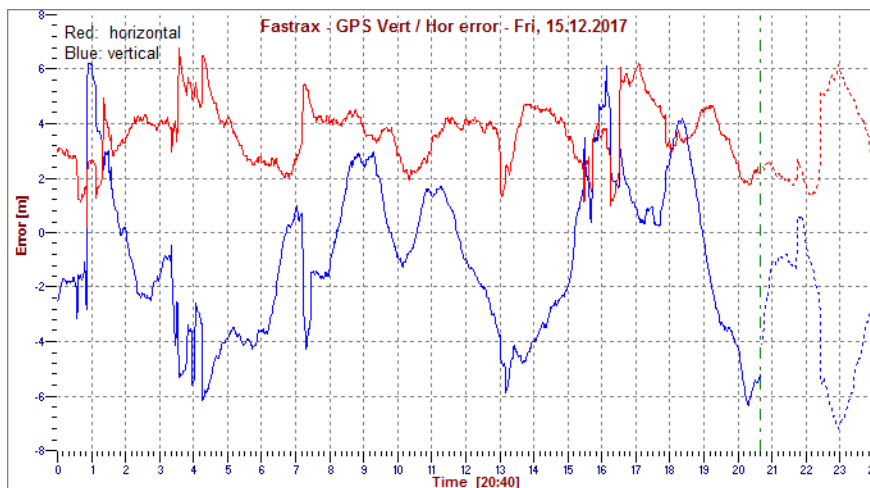
Ajoneuvojen sijainnin paikantaminen on valtaosin satelliittinavigointia hyödyntävää. Viimeisen kymmenen vuoden aikana satelliittipaikannuksen hyödyntävien sovellusten käyttö on tullut jokaisen autoilijan ulottuville. Jotta paikannus onnistuu GPS-satelliittejä hyödyntäen, on aktiivisesta satelliitista vähintään neljän oltava näkyvissä paikannettavasta vastaanottimesta.

Vaatus vähintään neljästä satelliitista vastaanottimen paikannusta varten yleensä toteutuu. Vastaanottimen paikkakoordinaatit olisi mahdollista määrittää kolmen samanaikaisesti näkyvän satelliitin avulla, mutta kellovirheen pienentämiseen tarvitaan vastaanottaa neljännen satelliitin samanaikainen signaali. (Juote 2016,19.)

Hyvin peitteellinen alue voi vähentää mittaustilanteessa mittaushetkellä käytössä olevien tarvittavien satelliittien määrää. Samalla alueella vuorokauden eri aikoina satelliittien määrä vaihtelee ja se voi vaikuttaa mittaustarkkuuteen. (Raunu & Hakola 2007, 18.) Kuvissa 6 ja 7 on esimerkit paikannushetkellä hyödynnettävien satelliittien määrän vuorokausivaihtelusta ja määrän vaikutus paikkatiedon tarkkuuteen (MR Soft 2017).



Kuva 6. Satelliittien lukumäärän vaihtelu saman vuorokauden aikana (MR Soft)



Kuva 7. Reaaliaikaista tietoa yhden vuorokauden ajalta paikannusvirheistä samassa mittauspisteessä (katkoviivat edellisen päivän tiedoista) (MR Soft)

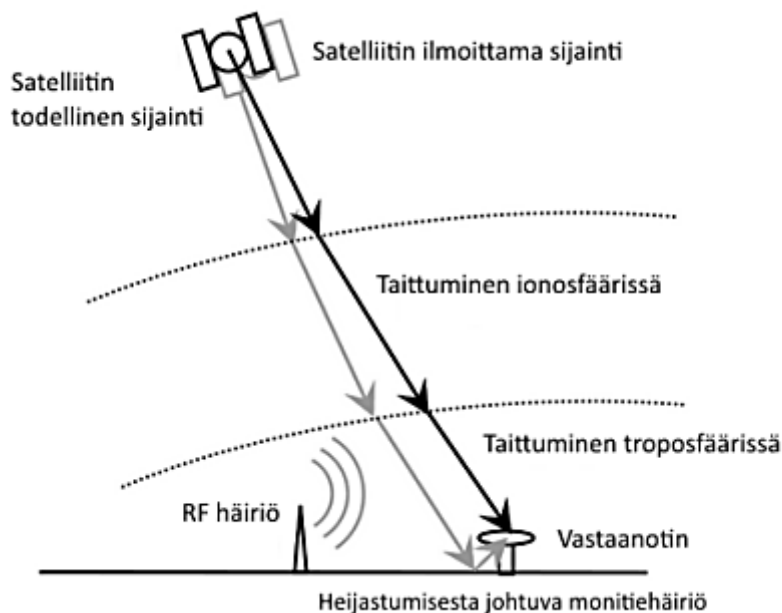
Paikantamisessa avainasemassa ovat myös satelliittien tarkat atomikellot ja kontrollikeskuksien hoitama kellotarkkuuden seuranta ja ratatietojen päivittäminen. (Juote 2016,18.)

Pienikin virhe ajassa, jonka likimain valonnopeudella etenevältä radiosignaalityltä kuluu satelliitin lähettimestä vastaanottimeen, tuottaa suuren epätarkkuuden lähettimen ja vastaanottimen välisen etäisyyden määrittelyyn. Mitatun ajan tarkkuuden kriittisiä kohtia on myös vastaanottimen kello ja satelliitin kello ovat samanaikaisuus. Paikannuksen tarkkuus kärsii, jos vastaanotin ei pysty riittävän tehokkaasti synkronoimaan reaaliaikaisesti kelloaan GPS-satelliittien lähettimien aikaan. (Juote 2016,19.)

### 3.2 Signaalin kulkua häiritsevät tekijät

Signaalin kulku lähettimestä vastaanottimeen kohtaa erilaista häirintää ja näiden häirintöjen seurauksena signaalin suunnassa tapahtuu muutoksia. Osa häiriötekijöistä on tahallisia, jolloin kyseessä on tietoinen pyrkimys vaikuttaa paikannukseen. Tämä on lisääntyvä ongelma, joka haastaa tunnistamaan aktiivisesti satelliittipaikannuksen häiriöherkät kohdat ja kehittämään järjestelmien häiriönsietokykyä. Osa häiriötekijöistä on tahattomia, kuten avaruudessa ja ilmakehässä tapahtuvat ilmiöt ja rakennetun ympäristön vaikutukset, kuten yhteiskunnan toimintoja palvelevaa monimuotoinen tietoliikenne. (Geodeettinen laitos 2012, 32.)

Paikannuksen tarkkuutta heikentävistä ilmiöistä osa on tuntemattomia ja siksi virheiden kokoluokkaa voidaan arvioida. Virhelähteitä on löydettävissä avaruudesta, jossa satelliitit kiertävät maapalloa sekä ilmakehästä, jossa signaalit kulkevat. Maapallon ulkopuolisia häiriötekijöitä, jotka taittavat signaalien ratoja, ovat muun muassa aurinkogosta ilmakehän ionosfääriin tulleet hiukkaset ja hetkelliset aurinkomyrskyt. Osa virhelähteistä paikantuu vastaanottimen laitteistoon. (Kuva 8.) (Geodeettinen laitos 2012, 32.)



Kuva 8. Signaalin reittiä muuttavia tekijöitä (Ali-Löytty 2004, 38]Groves, P. D.]

Avaruudessa olevien virhelähteiden vaikutusten minimoisessa satelliittijärjestelmän kontrollikeskusten osuus on ratkaiseva. Ilmakehän osalta on kehitetty paikannuksen tarkkuutta parantavia erilaisia malleja. Vastaanottimen suorituskyky ja mittaushetkellä ympäristön tarjoamat puitteet signaalin monitieheijastumaksi vaikuttaa mittaustarkkuuteen. Paikannuksen tarkkuutta lisäämään on kehitetty muun muassa differentiaali-nen paikannus DGPS-järjestelmällä, johon kuuluvan tukiaseman vastaanotin pyrkii käyttämään apuna samoja satelliitteja kuin käyttäjän vastaanotin. Tukiaseman hyödyntäminen edellyttää, että vastaanottimen ja tukiaseman välillä on toimiva tietoliikenneyhteys ja ohjelmisto, jonka avulla korjaustoimenpiteitä voidaan ohjata. Mittaustarkkuudessa voidaan päästä 0,5–3 metriin. (Juote 2016, 20–22.)

Ilmakehästä johtuvien häiriöiden korjaamiseen on kehitetty alueellisia järjestelmiä. GSP-satelliittinavigointia tukevia ovat muun muassa eurooppalainen EGNOS (European GeostationaryNavigationOverlay Service) ja yhdysvaltalainen WAAS (Wide Area Augmentation System). (Vainio 2016, 12.)

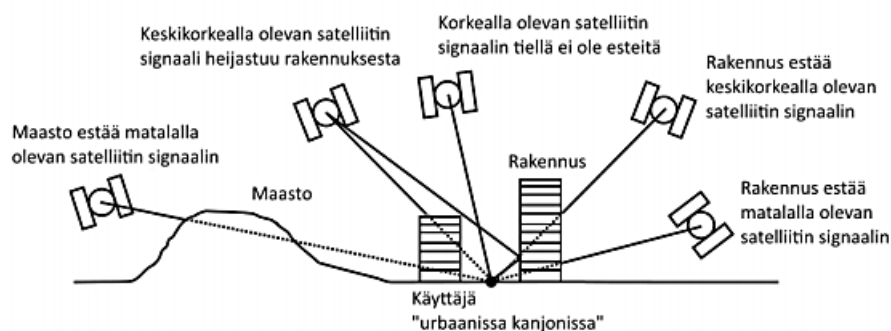
Tutkimuksissa on esitetty arvioita vastaanottimen antaman paikkatietoon sisältyvästä virheestä. Taulukossa 1 kokonaisvirheen arvioinnissa ovat pohjalla eri virhelähteiden mahdollinen vaikutus ja loppuarviossa arvio, kun satelliittijärjestelmän virheitä korjauva toiminta on otettu huomioon. (Ali-Löytty 2004, 37–38.) Mikäli tarkkuusvaatimuksia halutaan tiukentaa, tarvitaan korjaavia tukijärjestelmiä ja laitteiston laatuun satsaamista.

Taulukko 1. Arviot virheistä ja niiden yhteisvaikutuksesta vastaanottimen paikkatietoon (Ali-Löytty 2004, 38)

	Virhelähde	Arvioitu virhe / m
<b>Avaruus</b>	Satelliitin ratavirhe	2,1–4,2
	Satelliitin kellovirhe	2,1–3,0
<b>Ilmakehä</b>	Ionosfääri	4,0–5,0
	Troposfääri	0,7–1,5
<b>Paikannusympäristö</b>	Monitieheijastus	1,4–2,5
<b>Vastaanotin</b>		0,5–1,5
<b>UERE (User Equivalent Range Error)</b>		5,3–8,1

### 3.3 Alueen peitteisyyden vaikutus mittaustarkeyteen

Vastaanottimesta pitäisi olla suora reitti vähintään neljään satelliittiin, ellei käytössä ole sopivia tukiasemia. Aukeassa maastossa on tavallista, että näitä satelliitteja on samanaikaisesti enemmänkin, mutta peitteisellä alueella rakennukset, puusto, maaston korkeuserot ja niin edelleen voivat jättää vastaanottimen katvealueelle ja kriteeri neljästäkään satelliitista ei todennu. Tällöin riski epätarkkuus sijainnista kasvaa. (Kuva 9.)



Kuva 9. Rakennetussa ympäristössä tarkan sijainnin määrittystä vaikeuttavia tekijöitä (Vainio 2016, 12.)

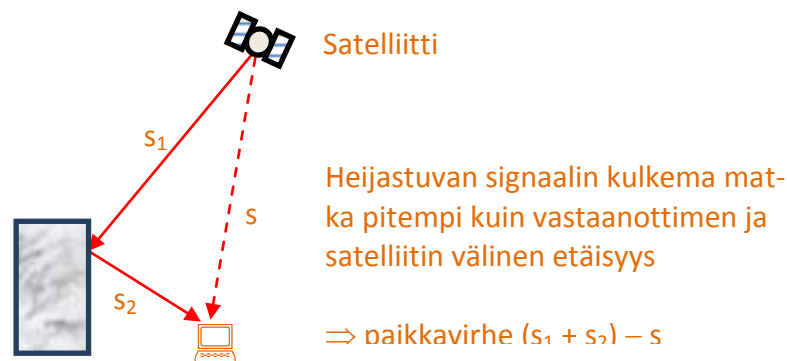
Maaston vaikutus satelliittien määrään tuli esille Rouvisen, Varjon ja Korhosen (1999) tutkimuksessa. Heidän havaintonsa oli, ettei puulajilla ollut oleellista vaikutusta mittaustuloksen tarkkuuteen. Kuitenkin puuston vaikutus havaintokentässä olevien satelliittien määrään näkyi ja se taas vaikutti tuloksiin. Suurimmat erot paikkatiedoissa saatiin kuusikoissa ja pienimmät erot männiköissä.

Rouvisen ja muiden (1999) tulokset puuston vaikutuksesta paikantamisen tarkkuuteen ovat saman tyyppiset kuin mitä Tuomiston (2011) tutkimuksen tulokset. Tuomiston mukaan paikannuksen tarkkuus riippuu myös puuston piteudesta, järeydestä, pääpuulajin joukossa olevista muista puulajeista sekä mittausajankohdasta. Esimerkiksi syksyllä lehtipuiden jo pudotettua lehtensä peitteisyys vähenee

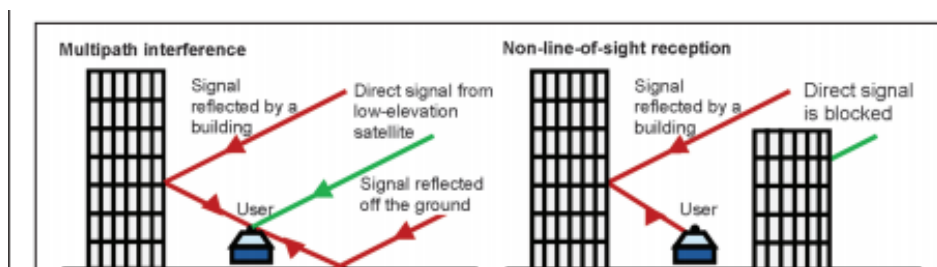
### 3.4 Heijastumisen vaikutus vastaanottimeen tuleviin signaaleihin

GNSS / GPS-satelliittien signaalin kohdatessa väliaineen, se heijastuu. Voimakkaita heijastavia pintoja ovat lasi, metalli ja märkä pinta. Näin ollen tiellä liikuttaessa keliolosuhteilla voi olla vaikutusta mittaustarkkuuteen. Heijastuneen signaalin voimakkuus vaihtelee myös tien pinnanlaadun mukaan. Tästä näkökulmasta soratie ja asfalttipinta voivat käyttäytyä eri tavalla, samoin kuin kuiva ja kostea. Heijastuneet signaalit voivat häiritä vastaanottimeen tulevien signaalien täsmällisyyttä suhteessa satelliittiin. Alkuperäinen signaali voi tulla vastaanottimeen useana eri kohteesta heijastuneena tietona. Esimerkiksi rakennetulla kaupunkialueella todennäköisyys tähän on suuri ja heijastusten estäminen on vaikeaa, jos edes mahdollista. Tähän ongelmaan törmätään muun muassa pyrittäessä kehittämään älyliikenteen itseohjautuvia ajoneuvoja. (Petevello 2013.)

Kaupunkiympäristössä tapahtuu myös runsaasti vain yhdestä pinnasta tapahtuvia heijastuksia. Tämän niin kutsutun NLOS (non-line-of-sight)-ilmiön häiriön pienentämiseen kehitetään omia ratkaisuja kehittämällä muun muassa antenni- ja vastaanotintekniikka. Monitieheijastukset voivat vahvistaa tai heikentää toistensa aiheuttamaa etäisyysvirhettä, toisin sanoen osa antaa lähettimen ja vastaanottimen välisen etäisyyden todellista etäisyyttä suurempana ja taas osa pienempänä. Yksittäinen heijastus merkitsee taas antaa todellista pitemmän etäisyyden (kuva9). (Petevello 2013.)



Kuva 10. Signaalin yksittäisen heijastuksen vaikutus paikannustarkkuuteen



Kuva 11. NLOS- monipolkuhäiriö ja yhden heijastuspinnan aiheuttama heijastus (Petevello 2013, 40)



## 4 TESTATTU LAITTEISTO

Opinnäytetyöhön suunniteltiin kuutta laitetta. Kaksi tilatuista laitteista oli jätettävä vertailusta pois, koska niiden synkronointi ei onnistunut käytettävään teknologiaympäristöön. Ongelmat tulivat esille jo yritettäessä asentaa laitteiden toimintaa ohjaavaa ohjelmistoa. Laitteiden tilaajilta saadut tiedot tuotteista olivat vähäiset ja riittämättömät ja näin ollen lopullisten testattavien laitteiden lukumäärä jäi neljään. Laite1 ja laite2 ovat tällä hetkellä yrityksen käytössä. Näin ollen saimme kahdesta muusta laitteesta vertailukohtaa nykyiseen laitteistoon verrattuna. Opinnäytetyön tilaajan toiveesta testattavia laitteita kutsutaan opinnäytetyössä nimillä laite 1, laite 2, laite 3 ja laite 4. Laitteiden nimet ja laitteiden tekniset tiedot raportoidaan opinnäytetyön tilaajalle.

Seuraavat laitetiedot on poimittu niiden toimittajien esitteistä. Testatut laitteet on suunniteltu toimimaan kovissa pakkasissa ja helteessä sekä kosteissa olosuhteissa. Kaikki laitteet ottavat vastaan signaaleja, joiden taajuus on siviilikäyttöön tarkoitettu 1575,42 Hz. Taulukkoon 2 on koottu kaikkien laitteiden 1–4 teknisiä tietoja.

### *Laite 1*

Laite 1 on GPS-paikannin, joka on suunniteltu erityisesti toimimaan hyvinkin peitteellisessä ympäristössä kuten kaupunkikanjoneissa ja vuoristolaaksoissa. Peitteellisessä ympäristössä GPS-satelliittien lähettämät signaalit häiriintyvät osuessaan esteisiin. Hajaantuneen signaalin voimakkuus voi olla jopa suurempi kuin suoraan vastaanottimeen saapuvan signaalin voimakkuus. Differentiaalikorjauksella laitteen 1 paikannustarkkuutta voidaan parantaa alle metrin tarkkuuteen.

Ratkaisuna vastaanottimen saavuttaman GPS-signaalin heikkenemiseen tai välillä jopa kokonaan häviämiseen laitteeseen 1 on integroitavissa DR (DeadReckoning) -systeemiin, jonka anturi käyttää kulkuneuvon kierroslukumittaria nopeuden määrittelyyn ja kulkuneuvosta saatavaa suuntasignaalia. Digitaalisella Kalman suodattimella voidaan poistaa paikantamista häiritsevää sähkömagneettista kohinaa.

### *Laite 2*

Laite 2 on SiRF Star IV -teknologiaa soveltava GPS-vastaanotin. SiRF Star IV koostuu mikropiireistä, jotka yhdessä tekevät laitteesta herkän vastaanottimen kaupunkioloihin ja tiheään puuston peittämään maastoon. SBAS-järjestelmiä hyödyntämällä voidaan saavuttaa tarkkuus, jossa laitteen antama paikka on 95 %:n todennäköisyydellä enintään 2,5 metrin etäisyydellä todellisesta sijainnista. Laite voidaan liittää siihen kuuluvalla USB-kaapelilla esimerkiksi Windows tai MAC- käyttöjärjestelmiä käyttäviin laitteisiin tai Android-ohjelmistoa käyttäviin mobiililaitteisiin. Pieni kokoinen laite on helppo kuljettaa mukana.

### Laite 3

Laite 3 on suunniteltu paikkatietoammattilaisille ja erityyppisille paikkatietoa tarvitseville organisaatioille. Vastaanottimen rekisteröimä tieto on siirrettävissä erilaisiin älylaitteisiin tai perinteisiin integroituihin paikkatieto-kämmenlaitteisiin. Älylaitteiden päivitys paikannustyöskentelyyn voidaan toteuttaa laitteella.

Laite tukee laaja-alaisesti satelliittijärjestelmiä, kuten GPS, GLONASS, Galileo ja BeiDou. GNSS-sijainti on saatavissa reaaliaikaisesti käyttämällä korjauslähteinä SBAS-, VRS- tai RTX-palveluja. Paikannus on mahdollista puolen metrin tarkkuuteen. Kokonsa ja painonsa puolesta laite on helposti mukana kuljetettava.

### Laite 4

Laiteessa 4 on yhdeksi laitteeksi rakennettu älypuhelin ja GNSS-vastaanotin, jolloin se soveltuu tiedon keruuseen ja välittämiseen. Tiedon välittämisessä voidaan käyttää pilvipalvelua tai välittää soittamalla puhelu. Laite on suunniteltu ammattilaiskäyttöön. Vastaanottimen reaaliaikainen paikannustarkkuus on 1–2 metriä. Laite tukee GPS-, GLONASS- ja BeiDou-järjestelmiä ja useita SBAS-korjausjärjestelmiä.

Laitteen näytön suurehko koko edesauttavat informaation lukemista. Vaihdeettavat akut mahdollistavat pitkäkestoisen maastokäytön. Laitteen 4 toimivuus myös kosteissa oloissa on hyvä.

Taulukko 2. Testattujen laitteiden teknisiä tietoja

	Laite 1	Laite 2	Laite 3	Laite 4
Sisäinen antenni				
• GPS	x	x	x	x
• GLONASS	?	?	x	x
• Galileo	?	?	x	?
• Beidou	?	?	x	x
• QZSS	?	?	x	?
Kanavat	?	48	44	72
Taajuus LI	x	x	x	x
SBAS-tukijärjestelmä				
• WAAS	?	x	x	x
• EGNOS	?	x	x	x
• MSAS	?	?	x	x
• GAGAN	?	?	x	x
Tarkkuus / SBAS	< 1-2 m	< 2,5 m	< 1 m	< 1,5 m
Vastaanotin	CPS	GPS	GNSS/SBAS	GNSS/SBAS
Mitat / cm*	14x8x3	6 x 5 x 2	11 x 7 x 3	16 x 8 x 1
Paino / g**	250	70	190	310
Käyttölämpötila	-40 - +70 °C	-40 - +85 °C	-20 - +60 °C	-20 - +60 °C

\* mitat cm:n tarkkuudella, \*\* mitat 10 g:n tarkkuudella, ? esitteessä ei mainintaa

## 5 AINEISTON KOONTA JA AINEISTON ANALYSOINTI

### 5.1 Paikannustarkkuuksien mittausten suunnittelu ja toteutus

Paikannuslaitteiden tarkkuuksien vertailua varten mittauspaikaksi etsittiin ympäristö, jossa kulkeva tien peitteellisyys vaihteli. Tiekksi valikoitui soratie numero 15648 (kuva 12). Se sijaitsee Pohjois-Karjalassa Liperin kunnassa. Tien kokonaispituus on noin 7,5 kilometriä. Mittauspätkän pituus tarkastettiin tierekisteristä. Sen mukaan tasopituus erosi noin 3 metriä tieosan geometrisestä pituudesta.



Kuva 12. Satelliittikuva tie nro 15648 (Google Maps 2017)

Valittu tieosuuden maasto on muutamia kumpareita lukuun ottamatta tasaista. Tien alkupää on pääosin peitteellistä maastoa. Loppuosa tiestä kulkee suurimaksi osaksi avoimen peltoalueen keskellä.

Peitteisyys ja avoimuus eivät ole kyseessä olevan tien kohdalla yksiselitteisiä käsitteitä. Tien varsia reunustanut kasvillisuus vaihteli ollen välillä kuusivaltaista tai lehtipuita ja pensaita, tiheää tai harvahkoa, aivan tien reunassa tai muutaman metrin päässä siitä. Vastaavasti avoimeksi luokitetulla alueella ympäröivä pelto oli välillä kevätkestettä tai kuivaa. Seuraavissa kuvapareissa 13–15 on esimerkkejä peitteisyyden ja avoimuuden vaihtelusta. (Google Maps.)



Kuva 13. Peitteellistä tieosuutta (Google Maps 2017)



Kuva 14. Avoimia tieosuuksia (Google Maps 2017)





Kuva 15. Peitteellisyys eri puolilla tietä (google maps 2017)

Mittausajankohtana tietä peitti vielä paikoin roudan nostama kosteus. Tievarsioidissa vesi oli korkealla. Korjaamattomia routavaurioita oli vielä runsaasti. Liukkauden estämiseen käytettyä hiekkaa ei oltu vielä poistettu. (Kuva 16.)



Kuva 16. Tien kunto mittausajankohtana (Eskola 2017)

Laitteiden paikannustarkkuuden mittausajot toteutettiin 28.–29. toukokuuta 2017. Mittauksiin valmistautuminen aloitettiin edellisinä päivinä kalibroimalla auton varusteisiin kuulunut Eltrip-45n tarkkuusmatka/kitkamittari (kuva 17). Mittaria voidaan käyttää myös matkan pituuden ja ajonopeuden määrittämiseen. Kalibroinnissa määriteltiin 1000 metrin mitta-alue vastaamaan oikeaa metrilukemaa.



Kuva 17. Eltrip-45n kitkamittari (Eskola 2017)

Testipäivää edeltävänä päivänä toteutettiin paikkatietojen testipisteiden paikkamerkinnot tiehen. Ne merkittiin tiehen punaisella tiemerkinntämaalilla (kuva 18). Valitusta 10 pisteestä puolet sijaitsivat metsäiselle osuudelle ja toiset puolet pisteistä peltoaukealla. Jotta mittaustilanteen signaali ehtisi vakioitua, peltoaukeaman pisteet jätettiin riittävän kauaksi metsäiseltä osuudelta.



Kuva 18. Mittauspisteet punaisella tiemerkinntämaalilla (Eskola 2017)

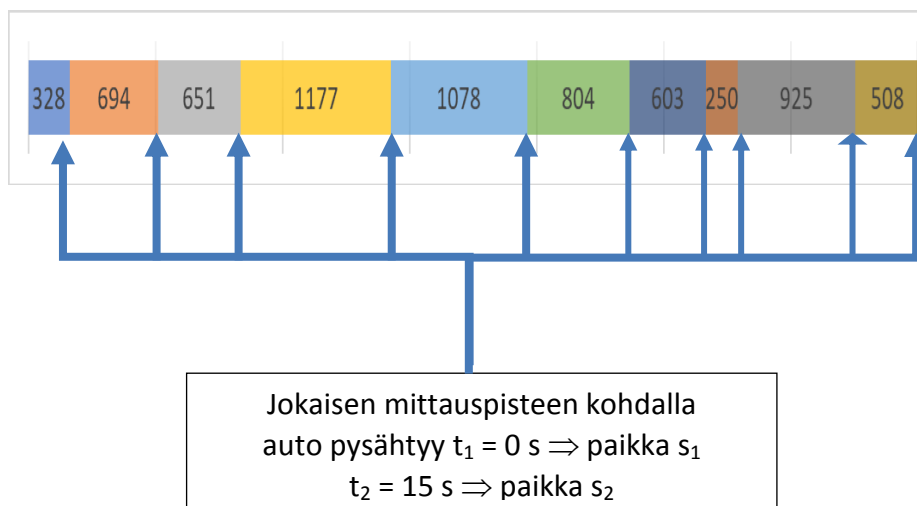
Tiehen merkittyjen mittauspisteiden sijainti määritettiin kalibroidulla tripillä lähtien nollapaalulta. Merkinnän jälkeen paikkojen etäisyydet varmistettiin mittaamalla etäisyydet uudestaan kaksi kertaa.

Mittausten ajankohtana sää oli pilvipoutaista ja mittaukset suoritettiin aamu- ja ilta-päivän aikana. Routavauriot sekä tiellä ollut henkilöliikenne oli otettava ajaessa huomioon. Testiajojen suorittaja oli tämän opinnäytetyön tekijä. Hänelle käytetty auto vakiovarusteineen oli tuttu vauriokartoitus- ja laadunvalvontatehtävistä.

Mittauksia suoritettaessa auto lähti levosta mittausosuuden alkupisteestä kiihdyttäen nopeuteen 20km/h ja 40km/h. Mittauspistettä lähestyttäessä aloitettiin jarrutus niin, että auto pysähtyi aina samaan asentoon tien maalatun merkkiviivan kohdalla. Välittömästi otettiin paikkatieto ylös. Sen jälkeen pysyttiin paikallaan ja otettiin uusi paikkatieto ylös 15sekunnin kuluttua. Näin tehtiin, jotta saatiin aineistoa laitteen reagoinnin nopeudesta. Tulokset merkittiin ylös TMPCAutori-ohjelmalla, jota käytetään muun muassa päällystevauriokartoitusta tehtäessä kesän aikana. Ohjelma muuttaa paikkatiedon automaattisesti tierekisteriosoitteeksi. Jokaisella laitteella suoritettiin mittaukset kummallakin nopeudella.

## 5.2 Aineiston käsittely

Mittauksen ensimmäinen osuus alkoi tien merkitystä 0-pisteestä. Auto kiihdytti nopeuteen 20 km/h ja aloitti jarrutuksen niin, että auto pysähtyi ensimmäisen mittauspisteen kohdalla, joka oli seuraavan osuuden alkupiste. Kuvassa 19 on kaaviokuva mittausajasta.



Kuva 19. Mittauspisteiden väliset etäisyydet metreinä ja paikkatietojen taltiointi

Aineiston pienuuden takia sen analysointi tilastollisesti ei ollut tarkoituksenmukaista. Se ei olisi lisännyt tulosten yleistettävyyttä, koska aineisto oli pieni. Aineiston koko kuitenkin täyttää työn tilanteen yrityksen odotuksia. Mittaustilanteessa kerätyt tiedot koottiin taulukkoihin (liite 1). Esimerkkinä laitteen 1 osalta tiedot on koottu taulukossa 3.



Taulukko 3. Laitteesta 1 koottu aineisto

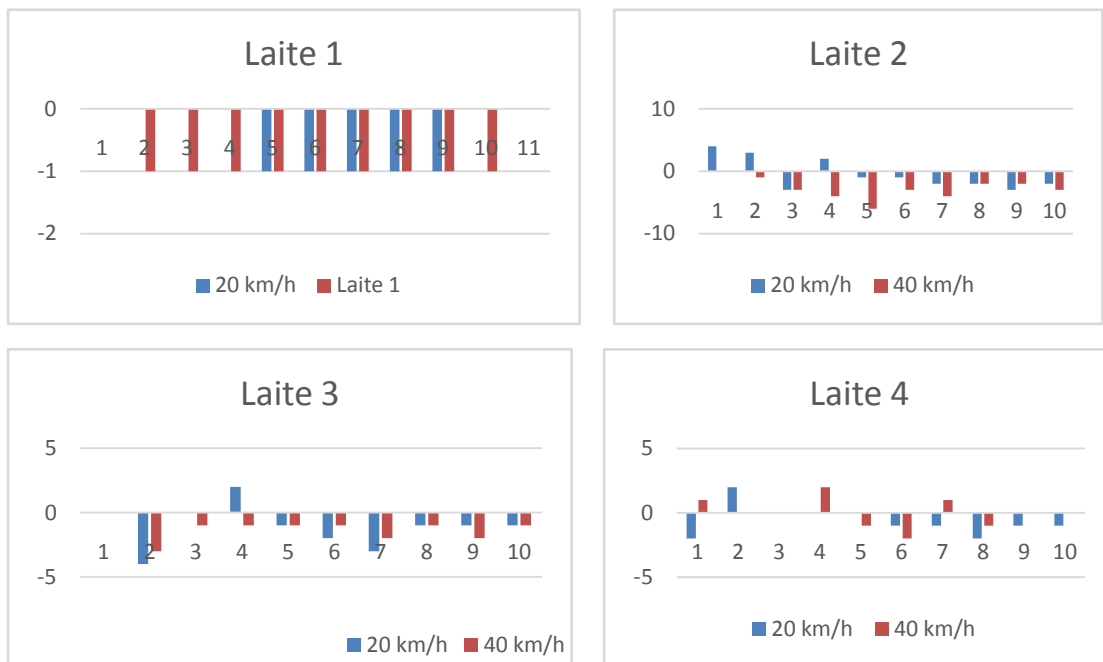
Mittauspisteiden paikat / m	Mittauspisteidenvälimatkojen erotus / m	Laitte 1 20 km/h			Laitte 1 40 km/h		
		Mittauspiste / ymp.	s <sub>1</sub> [m]	s <sub>2</sub> [m]	Mittauspiste / ymp.	s <sub>1</sub> [m]	s <sub>2</sub> [m]
328	328	1 / peitt.	327	327	1 / peitt.	331	330
1022	694	2 / peitt.	1020	1020	2 / peitt.	1022	1021
1673	651	3 / peitt.	1673	1673	3 / peitt.	1677	1676
2850	1177	4. / peitt.	2851	2851	4. / peitt.	2868	2867
3928	1078	5 / peitt.	3929	3928	5 / peitt.	3931	3930
4732	804	6 / avoin	4738	4737	6 / avoin	4742	4741
5335	603	7 / avoin	5345	5344	7 / avoin	5349	5348
5585	250	8 / avoin	5594	5593	8 / avoin	5564	5563
6510	925	9 / avoin	6524	6523	9 / avoin	6527	6526
7018	508	10 / avoin	7031	7031	10 / avoin	7035	7035

Laskemalla erotus  $s_2 - s_1$  saatiin tietoa paikantimen reaaliaikaisuudesta. Tiedot koottiin taulukkoon 4. Kaikki edellä mainitut toimenpiteet tehtiin myös laitteille 2, 3 ja 4, joiden taulukot ovat liitteessä 2. Mittarin vakioitumisessa saatuja matkaeroja verrattiin laitekohtaisesti ja nopeuskohtaisesti (kuvat 20 ja 21).

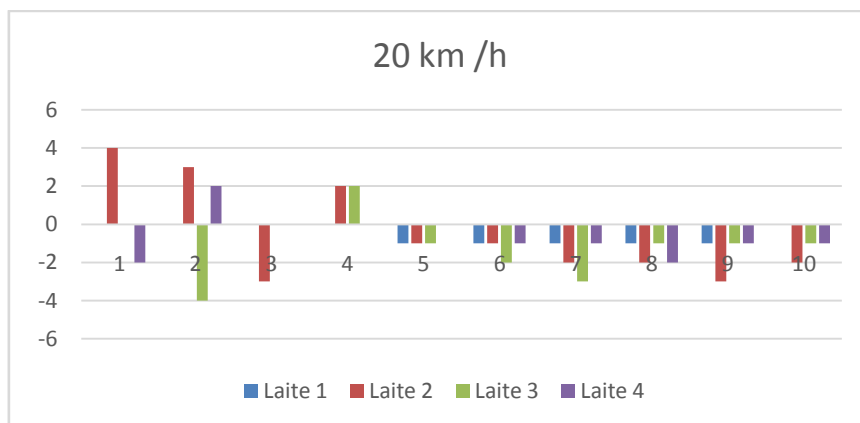
Taulukko 4. Laitteen 1 paikanmäärityksessä tapahtunut muutos 15 s aikana pysähtymisestä eri nopeuksilla

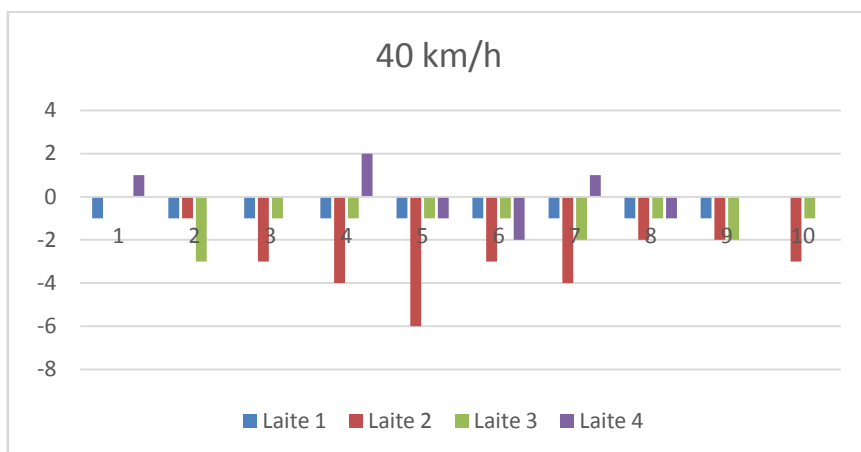
20 km/h Laitte 1 s <sub>1</sub> /m	20 km/h Laitte 1 s <sub>2</sub> /m	20 km/h Laitte 1 (s <sub>2</sub> - s <sub>1</sub> ) / m	40 km/h Laitte 1 s <sub>1</sub> /m	40 km/h Laitte 1 s <sub>2</sub> /m	40 km/h Laitte 1 (s <sub>2</sub> - s <sub>1</sub> ) / m
327	327	0	331	330	-1
1020	1020	0	1022	1021	-1
1673	1673	0	1677	1676	-1
2851	2851	0	2868	2867	-1
3929	3928	-1	3931	3930	-1
4738	4737	-1	4742	4741	-1
5345	5344	-1	5349	5348	-1
5594	5593	-1	5564	5563	-1
6524	6523	-1	6527	6526	-1
7031	7031	0	7035	7035	0

Vaalemmat alueet peitteellisemmällä tieosuudella  
Tummemmat alueet avoimemmalla tieosuudella



Kuva 20. Laiteiden matkatietojen viiveellisyys





Kuva 21. Laitteiden viiveellisyydet eri nopeuksilla

Mittausajot tehtiin jokaisella laitteella perusnopeuksilla 20 km/h ja 40 km/h. Todelliset keskinopeudet olivat pienemmät, koska auto lähti liikkeelle levosta ja pysähtyi mittauspisteelle. Ne osuudet, joissa ajettiin vakionopeudella tai kiihdytettiin ja jarrutettiin, olivat myös oleellinen osa laitteiden keräämää matkanäyttöä. Vaikka peräkkäisillä mitaustasteilla tien kohta oli peitteellinen, pisteiden välisellä matkalla peitteellisyyden taso vaihteli. Tämä tosiasia huomioimalla laskettiin jokaisen laitteen osalta niiden eri nopeuksille ilmoittamien matkojen erotus (taulukko 5).

Taulukko 5. Laitteen 1 eri nopeuksilla antamien matkojen ero metreinä

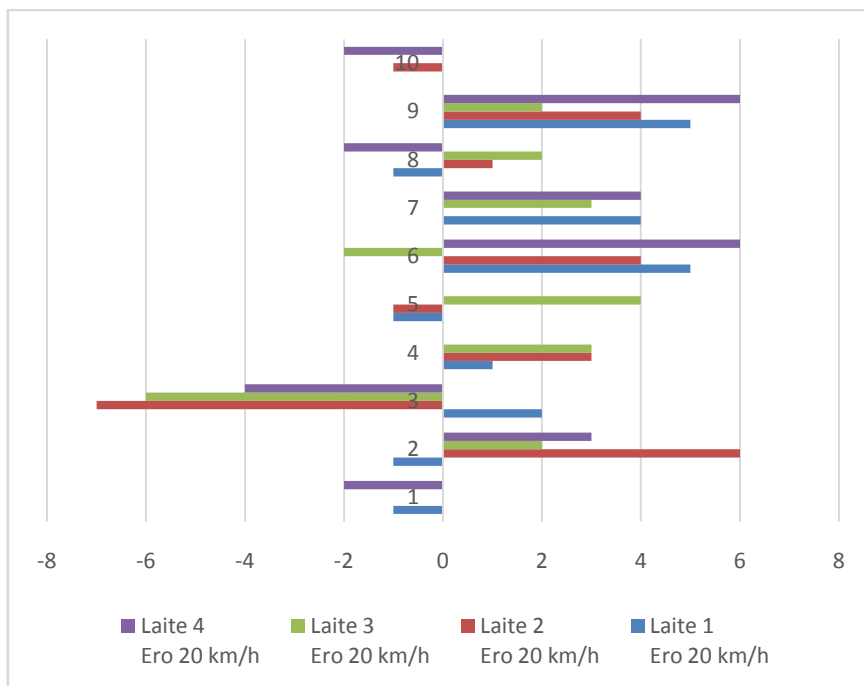
Mittaus	Laite 1 20 km/h	Laite1 40 km/h	Väli- matkat	Laite 1 Ero 20 km/h	Laite 1 Ero 40 km/h	Laite 1 välimatkaero 20 km/h - 40 km/h
1 / peitt.	327	330	328	-1	2	-3
2 / peitt.	693	691	694	-1	-3	2
3 / peitt.	653	655	651	2	4	-2
4. / peitt.	1178	1191	1177	1	14	-13
5 / peitt.	1077	1063	1078	-1	-15	14
6 / avoin	809	811	804	5	7	-2
7 / avoin	607	607	603	4	4	0
8 / avoin	249	215	250	-1	-35	34
9 / avoin	930	963	925	5	38	-33
10 / avoin	508	509	508	0	1	-1

### 5.3 Aineiston analyysi

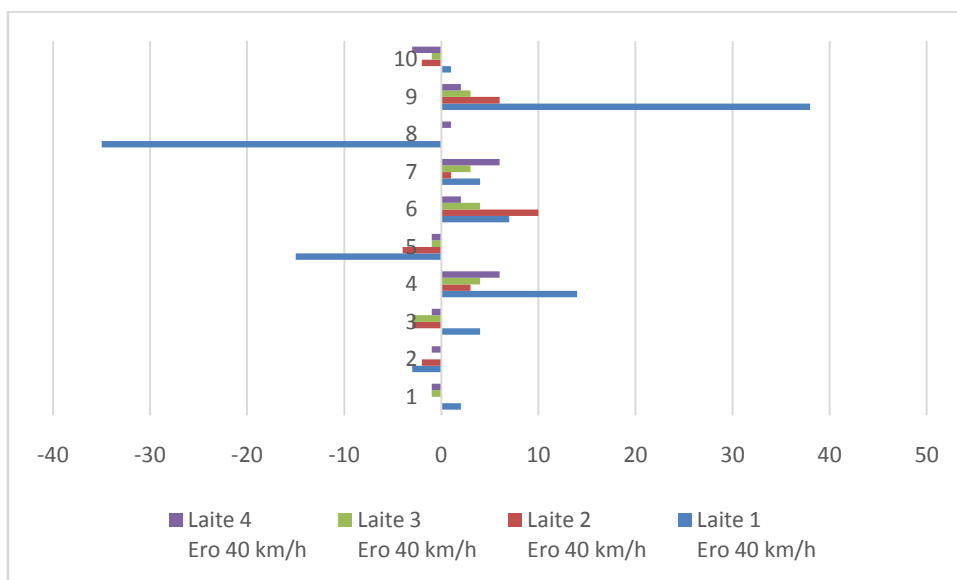
Aineiston analysoitaessa havainnollistettiin saatuja tuloksia graafisilla esityksillä. Niissä osa kuvaa laitekohtaisia tietoja ja osa laitteiden vertailuun sopivaa tietoa. Analyysiä suuntasivat tutkimuskysymykset.

Laitekohtaiset mittaustulosten tarkkuudet havainnollistettiin käytetyillä nopeuksilla. Havainnollistamista varten laskettiin mittaustulosten ja merkkipisteiden välinen erotus

ja tehtiin myös graafiset esitykset (kuvat 22 ja 23). Laitteen 1 osalta nämä tiedot ovat taulukossa 5. Muiden laitteiden osalta arvot ovat liitteessä 2.



Kuva 22. Laitteiden mittaustulosten poikkeamat tiemerkinätiedoista, nopeudella 20 km/h



Kuva 23. Laitteiden mittaustulosten poikkeamat tiemerkinätiedoista, nopeudella 40 km/h

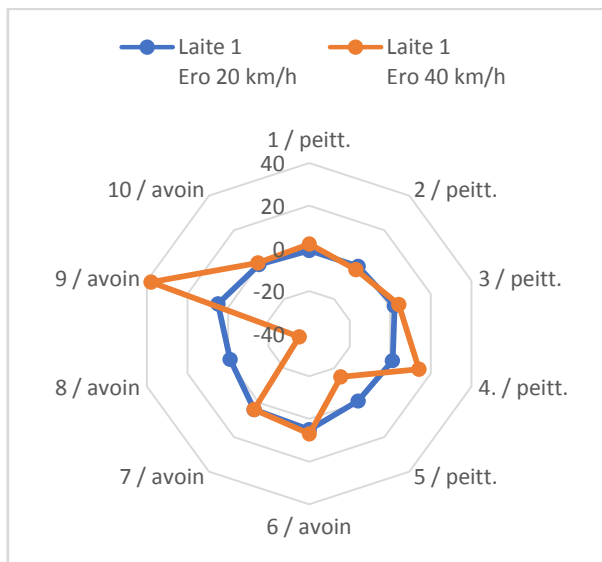
Laitteiden tarkkuuksissa heitot ovat suuria, erityisesti laitteen 1 nopeudessa 40 km/h mittauspisteissä 4,5, 8 ja 9. Nopeuden 20 km/h osalta pisteessä 3 kiinnittyi siihen, että

siinä kolme laitteen etäisyydet olivat alakanttiin. Pääosa mittauksista oli muissa pisteissä ylipitkä. 40 km/h kohdalla mittauspisteissä 2 ja 5 kaikkien laitteen arvot olivat alakanttiin ja pisteissä 4, 6, 7 ja 9 ajomatkatiedot yläkanttiin. Peräkkäisten pisteiden 7 ja ajoväli on lyhyt, mutta ajovälit 3–4 ja 4–5 ovat väleistä pisimmät. Havainto nosti kysymyksen, miten kyseisiä tieosuuksia ympäröivä maasto vaihtelee. Asian tarkastamiseksi käytiin uudelleen läpi maasto. Kuvassa 19 on muutama kuva tieosuudesta johon sijoittuvat pisteet 4 ja 5.

### 5.3.1 Ensimmäinen tutkimuskysymys

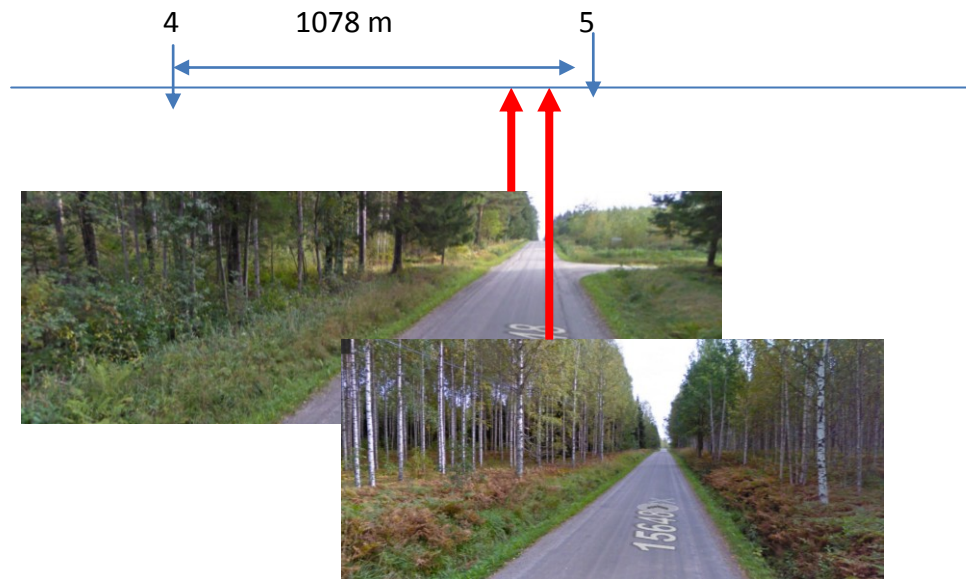
Miten ajonopeuden vaikutus tulee esille paikkatiedossa?

Laitekohtaiset mittauksitulokset havainnollistettiin käytetyillä nopeuksilla (kuva 24). Vastaavasti tehtiin myös graafiset esitykset kuvaamaan mittauksitulosten välistä erotusta. Laitteen 1 osalta nämä tiedot ovat taulukossa 5. Muiden laitteen osalta arvot ovat liitteessä 3.



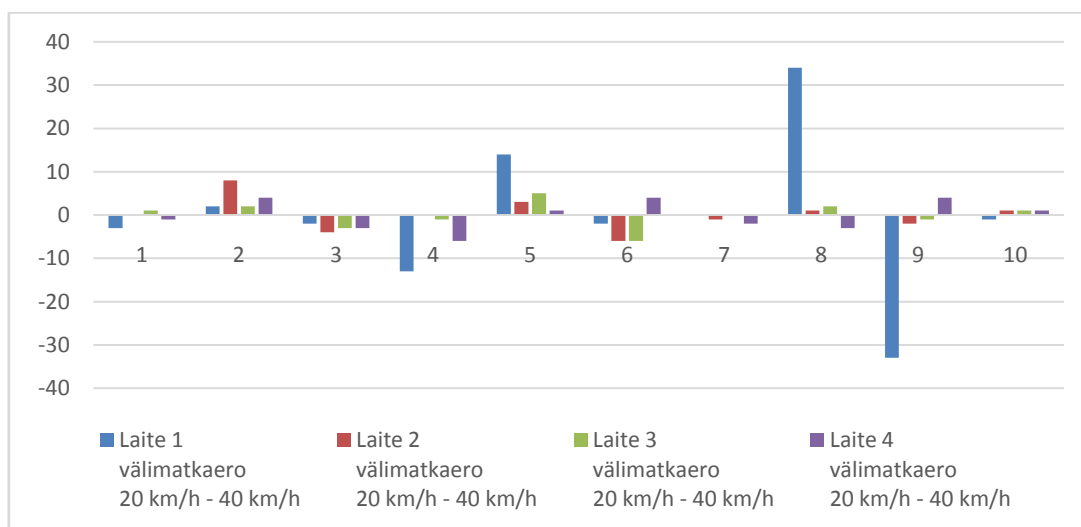
Kuva 24. Laitteen 1 mittauksitulosten poikkeamat tiemerkin tiedoista

Nopeuden 40 km/h kohdalla tarkkuuden heitto on poikkeavan suuri mittauspisteissä 4, 5, 8 ja 9. Pisteissä 5 ja 8 arvot ovat alakanttiin ja pisteissä 4 ja 9 ajomatkatiedot ovat yläkanttiin. Peräkkäisten pisteiden 7 ja 8 ajoväli on lyhyt, mutta ajovälit 3–4 ja 4–5 ovat väleistä pisimmät. Havainto nosti kysymyksen, miten kyseisiä tieosuuksia ympäröivä maasto vaihtelee. Asian tarkastamiseksi käytiin uudelleen läpi maasto. Kuvassa 25 on muutama kuva tieosuudesta johon sijoittuvat pisteet 4 ja 5.



Kuva 25. Maastoa lähestyttäessä mittauspistettä 5

Kaikkien laitteiden mittaustulokset ovat kuvassa 26. Ne koottiin yhteen eri nopeuksilla ajettujen tietojen erotukset. Siitä erottuu selvästi laitteella 1 saatujen arvojen heilahtelu. Maaston vaihtelun käyttö siihen ei ole perusteltua, koska sama maasto oli kaikkien laitteiden testauksessa.



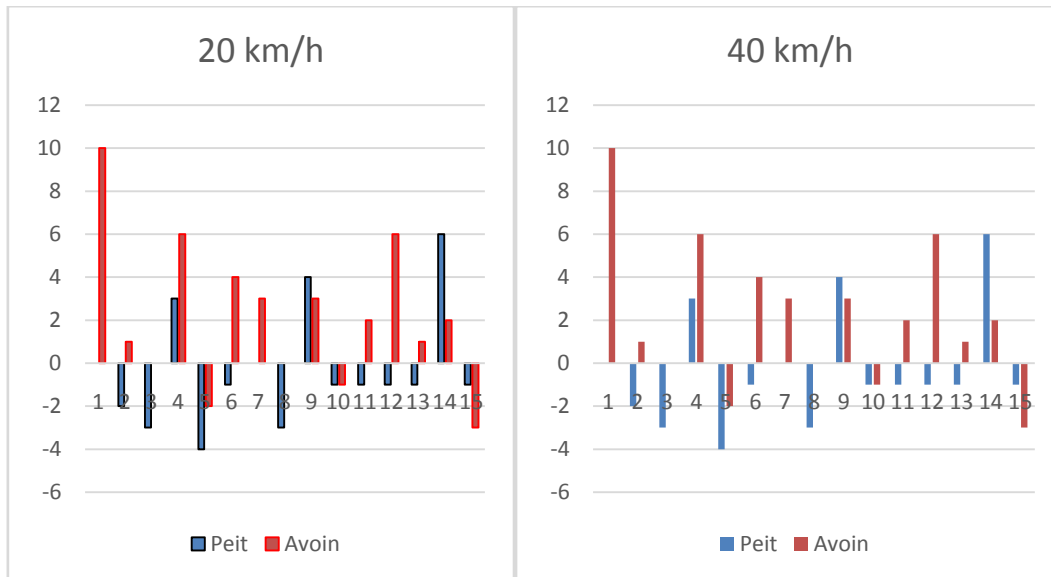
Kuva 26. Eri nopeuksilla ajettaessa mitattujen matkojen erotukset

### 5.3.2 Toinen tutkimuskysymys

Miten maaston peitteellisuuden taso vaikuttaa paikkatiedon tarkkuuteen?

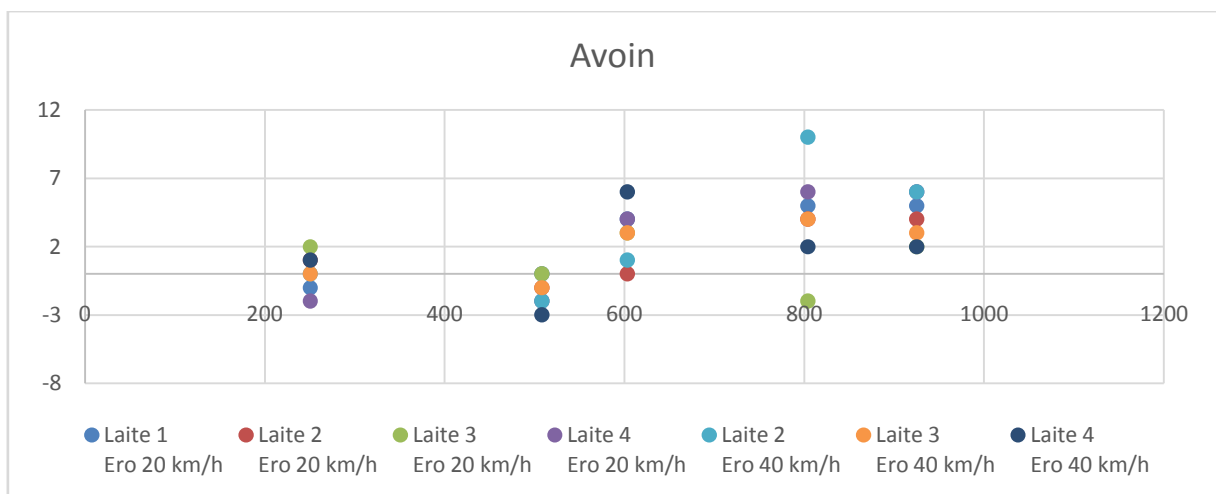
Luvussa 5.3.1 verrattiin peitteellisuuden ja paikannustarkkuuden suhdetta. Tieosuus, jolla sijaisivat viisi ensimmäistä mittauspistettä, oli keskimäärin peitteellisempää osuus kuin loppupää. Miten se näkyi mittaustuloksissa? Tämän kysymyksen ohjaamana

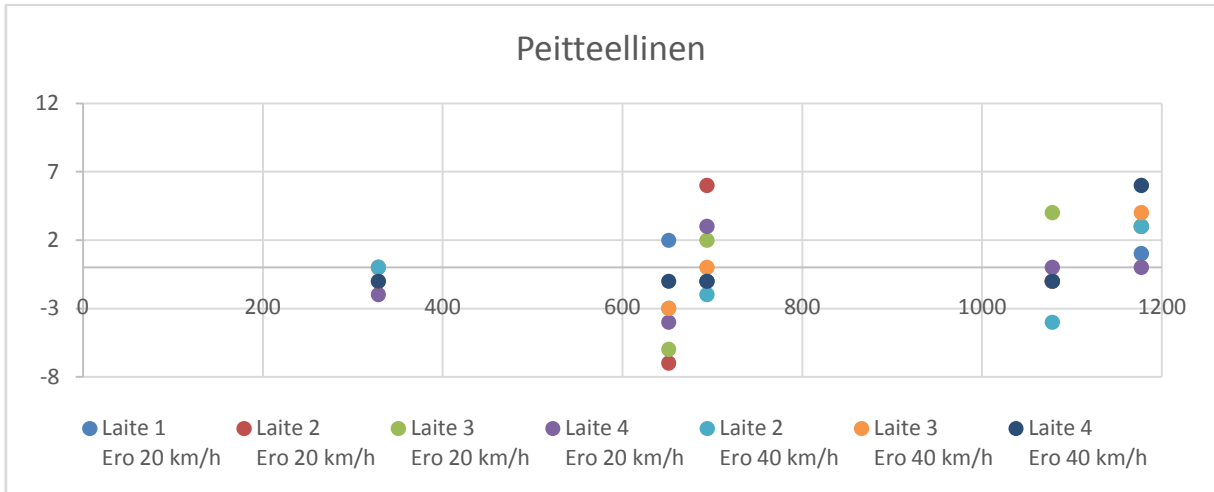
verrattiin tietoja kaavioon, jossa kaikkien laitteiden ensimmäiset viisi yhdistettiin samaan ryhmään ja vastaavasti viisi viimeistä samaan ryhmään. Kuvasta 27, jossa tiedot on (20 km/h) voitiin havaita, että mittatulokset olivat pääsääntöisesti liian suuria arvoja. Laitteiden 2, 3 ja 4 tieto mittauspisteessä 3 oli alakanttiin. Nopeus kun oli 40 km/h, jätettiin pois laite 1, koska sen käyttäytyminen poikkeaa selkeästi muista. Myös tässä tilanteessa painottuu ylipitkät matkatiedot. (Kuva 27).



Kuva 27. Peitteellisyyden ja avoimuuden vaikutus mittaustuloksiin ilman laite-erittelyä

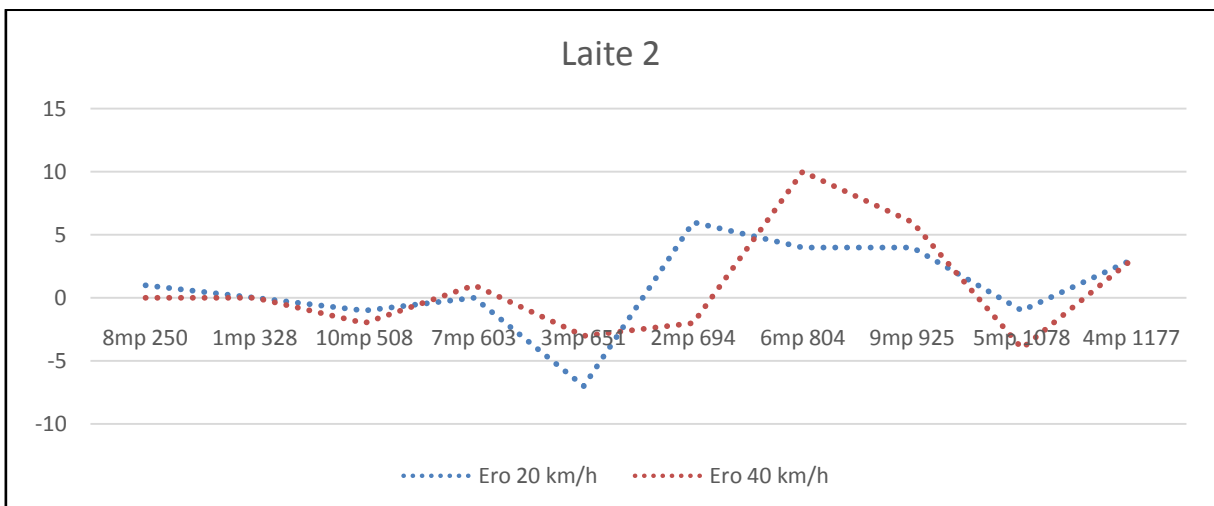
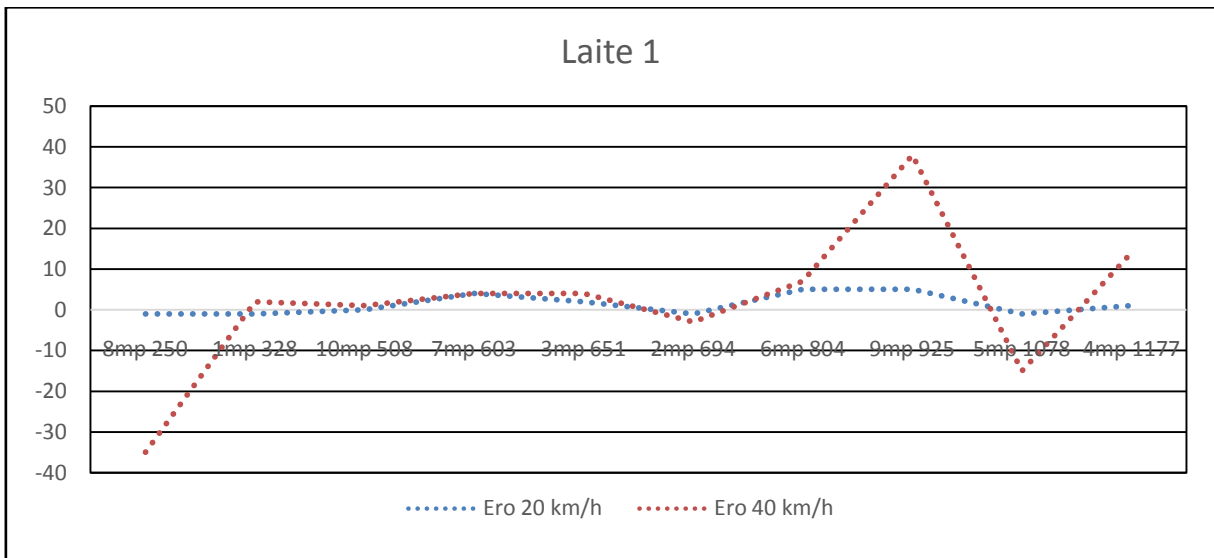
Mittauspisteiden välimatkat poikkesivat paljon toisistaan. Välimatkan etäisyyden ja niistä poikkeamien välistä suhdetta analysoitiin. Sitä varten laadittiin laitekohtaiset liitteessä 4 olevat pylväsdiagrammit. Diagrammeja täydennettiin lisäämällä suuntaviivat, jotka auttoivat hahmottamaan tilannetta. Mittausten epätarkkuuksien ja välimatkojen välistä suhdetta tien ympäristön muuttuessa kuvattiin (x,y)-koordinaatissa (kuva 28).



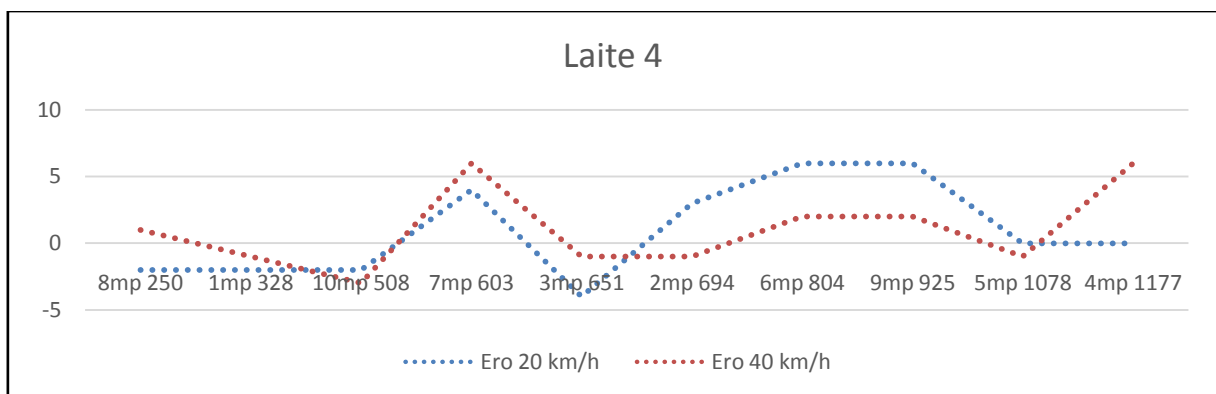
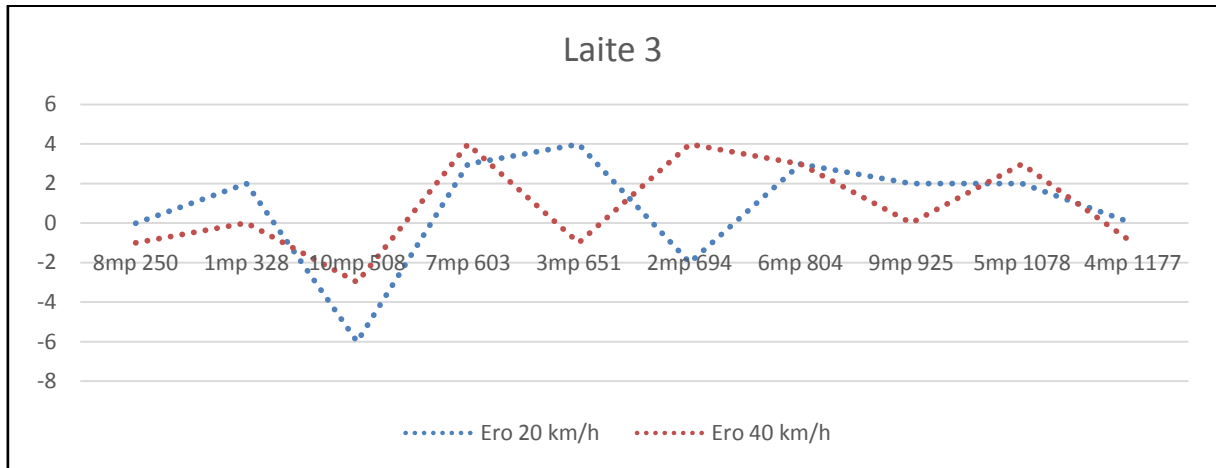


Kuva 28. Epätarkkuuden ja välimatkan pituuden suhde eri tyyppisessä ympäristössä

Avoimella ja peitteellisellä tieosuudella lyhyillä välimatkoilla, likimain 600–650 metriin, laitteiden lukemat olivat pääsääntöisesti pienempiä kuin mitä ajettu matka oli. Laite 3 poikkesi tältä osin muista. (Kuva 29.)







8 mp 250 = mittauspiste 8, ajettu välimatka 250 m

Kuva 29. Laitekohtainen vertailu nopeuden vaikutuksesta mittaustarkkuuteen välimatkan kasvaessa

## 6 TUTKIMUSTULOKSET

### 6.1 Paikantimen nopeuden vaikutus mittaustuloksiin

Laitteen 1 lukemat pysähtymisen ja 15 sekunnin paikallaan olon jälkeen vaihtelivat eri mittausväleillä vähiten nopeudesta riippumatta. Laitteen 1 ilmoittama välimatka oli sama tai metriä lyhyempi kuin todellinen merkkien väli. Laitteet 2 ja 3 näyttivät välit 40 km/h-testiajossa myös lyhyemmäksi kuin todelliset matkat. Tällöin laitteella 2 poikkeamat vaihtelivat eniten, aina kuudesta metristä nolnaan. Tämä nosti esille kysymyksen, mitä laitteiden viiveellisyyden vaihtelu kertoo laitteen herkkyydestä reagoida ympäristöön ja sen tuottamien heijastusten vaihteluun. Peitteellisellä alueella, jossa on runsaasti erilaisia signaaleja estäviä ja heijastavia pintoja, laitteen kyky reagoida muutoksiin, voi toistuvasti kasvattaa tai pienentää epätarkkuutta (Petevello 2013). Toisaalta nopeuden kasvaessa ympäristön nopeampi muuttuminen voi eliminoida pois osan häiriösignaaleista.

Laittekohtaisen vertailun pohjalta todettiin, laitteen 1 poikkeava käytös muihin laitteisiin verrattuna. Lukuunottamatta avoimenvälin lyhyintä ja pisintä väliä, nopeuden ero ei tullut näkyviin epätarkkuuksissa selkeästi. Lyhyellä matkalla vakionopeudella ajettava osuus on pieni. Alhaiseksi jäävä keskinopeus antaa viitteitä monitieheijastusten toisiaan heikentävästä vaikutuksesta. Maisemassa ei lyhyellä aikavälillä tapahtunut merkittäviä muutoksia. Tien reunalla oli avoimuutta vähentävää kasvillisuutta, muutamia puita ja matalaa pensaikkoa. (GoogleMaps). Pitkällä välillä, jossa laite 1 antoi 40 km/h-ajossa huomattavasti pitemmän matkatiedon kuin muualla, antaa viitteitä monitieheijastusten toisiaan vahvistavasta vaikutuksesta.

Laitteiden 2 ja 4 kohdalla kummallakin käytetyllä nopeudella epätarkkuuksien profiilit olivat hyvin samatyypiset koko ajomatalla. Näillä laitteilla oli merkittävin ero se, että välimatkan kasvaessa laiteella 2 nopeuden kasvu lisäsi sen antamien matkojen ylittämättä. Laitteella 4 tilanne oli päinvastainen. Laitteen 3 kohdalla tilanne vaihteli. Kaikkien näiden kolmen laitteen kohdalla oli trendi, jonka mukaan välimatkan pidettäessä poikkeama todellisesta nopeudesta kasvoi ollen pienillä etäisyyksillä negatiivinen ja suurilla positiivinen.

Laitteet olivat GNSS-satelliittijärjestelmiä käyttäviä vastaanottimia. Olosuhteet ilmakehässä ja paikannusympäristössä voivat muuttaa satelliittien lähettämien signaalien kulkua useassa eri vaiheessa ja yhdessä maaston heijastumien kanssa vaikuttaa signaalien täsmällisyyteen (Ali-Löytty 204, 38). SBAS-järjestelmillä voidaan korjata virheellisyyttä, mutta se ei takaa virheettömyyttä.

### 6.2 Ympäristön vaikutus liikkuvan satelliittipaikantimen mittaustuloksiin

Mittausaineiston analyysi nosti esille peitteellisyyden merkityksen paikannuksen tarkkuuteen. Tässä opinnäytetyössä peitteellisyys oli yleiskäsite alueelle, jossa tien reunat olivat metsittyneitä alueita. Laitteiden lukeman heti auton pysähtyttyä oli pääsääntöisesti lyhyempi kuin todellinen matka. On mahdollista, että lyhyellä välillä laitteen viiveellisyydellä oli suurempi merkitys kuin pitkällä, jossa peitteellisyyden vaihtelevuus on

moninaisempaa. Juotteen (2016, 19) tutkimus tukee mittarin vakioitumisen merkitystä. Viiveen kasvaminen kertoo, että vastaanottimen ja satelliittien lähettimienkellojen reaaliaikainen täsmäminen ontuu.

Tässä opinnäytetyössä mittausympäristön peitteellisyys oli monivivahteista. Paikoin tietä reunustivat korkeat ja tuuheat männyt, paikoin toisella puolella tietä oli harvempaa puustoa ja pensaikkoa toisen puolen ollessa kuusien varjostamalla alueella. Lehtipuut olivat lähes lehdettömät, sillä toukokuu oli alueella viileä, Liperissä kuukausikeskiarvon ollessa alle 6 °C (Ilmatieteenlaitos 2017).

Peitteellisyyttä aiheuttavan kasvillisuuden vaikutus mittaustarkkuuteen tuli esille Rouvisen ja muiden (1999) tutkimuksessa. Tutkijat totesivat, että puulajien ja sen peittävyiden vaikutukset mittaustarkkuuteen selittyvät vastaanottimeen tulevien signaalien määränä. Osa satelliittien lähettämistä signaaleista estyy ja osa taas tulee epäsuorasti heijastaneesta pinnasta. Tuomiston (2011) tutkimuksessa tuli esille myös vallitsevan puuston joukossa olevien muiden puiden vaikutus muun muassa sen osalta, onko puustossa olevat lehtipuut jo varistaneet lehdet vai ei.

Satelliittien määrä vaihtelee vuorokauden aikana ja se heijastuu satelliittipaikannuksen tarkkuuteen (Raunu ja Hakola 2007, 18; MRSoft 18). Laitteen 1 mittaustulokset käyttäytyivät toistamiseen eri tavalla kuin muiden laitteiden. Laitteella 1 tehtiin mittausajot aamupäivällä, muilla laitteilla iltapäivällä. Mikä merkitys sillä oli asiaan? Sen tutkimiseen tässä opinnäytetyössä ei ole riittävästi tietoa. Tukiaseman tarjoama hyöty jää puutteelliseksi, jos tukiaseman ja vastaanottimen välinen tietoliikenneyhteydessä on ongelmia (Juote 2016, 20–22). Tällaista ongelmaa ei havaittu testausvaiheessa.

Koko mittausmatkalla laitekohtaiset tarkkuudet vaihtelivat niin avoimilla kuin peitteellisillä alueilla. Avoimeksi alueeksi luokitellulla tieosuudella tien reunoilla ei ole korkeaa kasvillisuutta, jolloin myös käytettävien satelliittien lukumäärän todennäköisyys kasvaa. Kuitenkin muita häiriötekijöitä oli läsnä. Kevätajalle tyypillisesti peltoalueiden pintakosteus vaihteli. Ojissa oleva veden pinta oli korkealla. Nämä ja monet muut tekijät voivat häiritä heijastuksillaan varsinaisia paikkatietosignaaleja. Esimerkiksi viileän veden pinta on kuin heijastava peili. On oletettavissa, että aamupäivällä, jolloin laitetta 1 testattiin, peltoalueiden yllä oli vielä paikannusta häiritsevää usvaa.

Avoimella alueella, kun etäisyys kasvoi yli 600 metriksi, laitteiden ilmoittamat matkat olivat pitempiä kuin todelliset ajomatkat. Peitteellisellä alueella muutos ei ollut yhtä systemaattista kuin avoimella. Tarkemman vastauksen kuin mitä tämä opinnäytetyö tarjoaa etsiminen siihen, miten liikkuvan paikantimen mittaustarkkuuteen vaikuttaa kuljettu matka, vaatisi jatkotutkimusta. Ympäristön moninaisuus luo edellytykset monitieheijastukset, jotka sitten vahvistavat tai heikentävät toistensa vaikutusta, mutta yksittäisheijastuksen vaikutus on joko antaa etäisyydeksi pitemmän tai lyhyemmän eron todelliseen paikkaan verrattuna. (Petevello 2013). Mittaustuloksista pohjalta on tehtävissä päätelmä monitieheijastusten olemassa olosta ja niiden seurauksena lyhyillä välimatkoilla niiden keskinäisestä heikennyksestä ja pitkillä vahvistumisesta.

## 7 YHTEENVETO

Nopeuden vaikutus liikkuvan paikantimen nopeuteen on monen tekijän summa. Vastanottimen kellon reaaliaikaisuus on laitekohtaista. Laitteen matkan aikana kokoama paikkatieto vaihtuu paikannusympäristön vaihtuessa. Satelliittien lähettämät signaalit ja niiden heijastuneet signaalit vaikuttavat toisiinsa. Testattujen laitteiden ilmoittamat välimatkoissa olevat epätarkkuudet osoittivat samanlaista riippuvuutta välimatkasta hitaammassa ja nopeammassa testiajossa.

Kaikkien laitteiden kohdalla havaittiin peitteisyyden aiheuttajien, tiheyden ja korkeuden vaikutus mittaustarkkuuteen. Välimatkan kasvaessa paikantimien keräämät tiedot koostuivat peitteisyyden osalta vaihtelevista osista. Monitieheijastusten kumuloitunut vaikutus ilmeni niin, että laitteiden ilmoittamat välimatkat olivat liian lyhyitä tai pitkiä. Sitä, kuinka reaaliaikaisesti laitteet paikantavat sijaintinsa, konkretisoitiin mittauspisteissä pysähtymisen ja näytön vakioitumisen välisellä matkaerolla. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ilmoitetut matkat olivat lyhyempiä kuin todelliset matkat.

Käytetyn aineiston perusteella ei voitu sanoa, täyttivätkö laitteet testiajoissa tarkkuudessaan niiden toimittajien antamia arvoja. Aineisto oli liian pieni tilastolliseen käsittelyyn. Lisäksi laitetoimittajien tiedot ovat todennäköisyyksiä, eivät todellisia lukemia. Korjausjärjestelmät eivät takaa tarkkuutta. Juoten (2016) esimerkin mukaan differentiaalilla DGNS voidaan päästä 0,5–3 metrin tarkkuuteen. Epätarkkuuden aiheista vain osa voidaan todentaa. Esimerkiksi avaruudessa ja ilmakehässä satelliittien toimintaa ja signaalien etenemistä häiritsevistä tahattomien virhelähteiden vaikutusta voidaan vain arvioida.

Tulosten luotettavuudelle inhimilliset virhelähteet tiedostettiin koko prosessin ajan. Mittaustilanteessa olisi hyvä olla vähintään kaksi henkilöä. Auton pysäyttäminen juuri mittaviivan kohdalle ja samaan asentoon oli vaativa tehtävä. Näiden luotettavuutta kysyvien asioiden osalta oli tärkeää, että testiajojen tekijälle auto ja tiekartoitukset olivat tuttuja työtehtäviä usean vuoden ajalta.

Tämän opinnäytteen tulokset eivät ole tilastollisesti perusteltavissa eikä toistettavissa yksiselitteisesti. Ne saavat kuitenkin tukea aikaisemmista tutkimuksista. Lisäksi työ nosti useita haasteita liikkuvan paikantimen jatkotutkimukselle, kuten ympäristön muuttuvuuden, mitattavien välimatkojen ja ajankohdan vaikutukset.

## LÄHTEET

Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. (2007). Satelliittipaikannusjärjestelmät, 33. Haettu 16.04.2017 osoitteesta

<http://docplayer.fi/718454-Satelliittipaikannusjarjestelmat.html>

Ali-Löytty, S. (2004). Kalmanin suodatin ja sen laajennukset paikannuksessa, 38. Haettu 16.11.2017 osoitteesta [http://math.tut.fi/julkaisut/pdf/di\\_simo\\_ali-loytty.pdf](http://math.tut.fi/julkaisut/pdf/di_simo_ali-loytty.pdf)

Carement Oy. (2017). Haettu 14.04.2017 osoitteesta

<https://www.carement.fi/attachments/Slider/39d4117d-4a97-87c5-6b31-edf0e411abed/Vt21%20auringonlasku.jpg>

Euroopan komission Suomen edustusto. (2016.) Haettu 19.4.2017 osoitteesta

[https://ec.europa.eu/finland/news/galileo\\_161214\\_fi](https://ec.europa.eu/finland/news/galileo_161214_fi)

Geodeettinen laitos. (2012). Vuosikertomus 2012. Haettu 14.04.2017 osoitteesta

[https://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/04/FGlvk2012\\_0.pdf](https://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/04/FGlvk2012_0.pdf)

Geodeettinen laitos. (2012). 32 Haettu 14.04.2017 osoitteesta

[https://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/04/FGlvk2012\\_0.pdf](https://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/04/FGlvk2012_0.pdf)

Google Maps.

[https://www.google.fi/maps/@62.5859845,29.4751968,3a,75y,322.76h,111.64t/am=t/data=!3m6!1e1!3m4!1sN2l\\_kTYmFyecPdE0EpF9xw!2e0!7i13312!8i6656](https://www.google.fi/maps/@62.5859845,29.4751968,3a,75y,322.76h,111.64t/am=t/data=!3m6!1e1!3m4!1sN2l_kTYmFyecPdE0EpF9xw!2e0!7i13312!8i6656)

Ilmatieteenlaitos. (2017). Toukokuun 2017 sää ja tilastot. Haettu

18.12.2017 osoitteesta (<http://ilmatieteenlaitos.fi/toukokuu>)

Juote, A. (2016). Telemetriatiedon karttasovitusalgoritmi katujen kunnossapidon tilannekuva varten. Haettu 14.04.2017 osoitteesta

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23996/master\\_Juote\\_Arsi\\_2016.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23996/master_Juote_Arsi_2016.pdf?sequence=1)

MR Soft. (2017). <https://www.mrsoft.fi/gpsalt.htm>

Paikkatietokeskus. Haettu osoitteesta 12.4.2017 osoitteesta

(<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/paikannussatelliittij%C3%A4rjestelm%C3%A4t>)

Petevello, M. (2013). GNSS Solutions: Multipath & NLOS signals. Inside GNSS. November/December 2013. Haettu 14.04.2017 osoitteesta

<http://www.insidegnss.com/auto/novdec13-Solutions.pdf>

Rainio, A. (2010). Paikannus älyliikenteessä. Tilannekatsaus. Haettu 16.04.2017 osoitteesta

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78175/Julkaisu\\_21-2010.pdf?sequence=1](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78175/Julkaisu_21-2010.pdf?sequence=1)

Raunu, R. & Hakola, H. (2007). VRS-GPS-mittauksen tarkkuus Helsingin kaupungin alueella. Geotekninen osaston julkaisu 90/2007, 18. Haettu 12.5.2017 osoitteesta <http://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu90.pdf>

Rouvinen S., Varjo J. ja Korhonen K. T. GPS-paikannuksen tarkkuus metsässä. (1999). Metsätieteen aikakauskirja 1/1999: 51–63. Haettu osoitteesta 15.12.2017 osoitteesta <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff99/ff991051.p>

Tuomisto, A. (2011). PUUSTOTULKINTAKOEALOJEN PAIKANNUKSEN LUOTETTAVUUS. Haettu 12.12.2017 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28368/Tuomisto\\_Antti.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28368/Tuomisto_Antti.pdf?sequence=1)

Vainio, T. (2016). INERTIAMITTAUSJÄRJESTELMÄ. Haettu 16.04.2017 osoitteesta <file:///C:/Users/K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4/Downloads/vainio.pdf>

Vermeer, Martin. (2017). Geodesia. Haettu osoitteesta 14.4.2017 osoitteesta <https://users.aalto.fi/~mvermeer/geobook.pdf>

## Liite 1/1. Ajoraportit

## Laite 1, 20km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7030	1	7031	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7031	1	7030	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7032	1	7031	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7031	1	7032	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6523	1	7031	508
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6524	1	6523	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6525	1	6524	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6524	1	6525	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5593	1	6524	931
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5594	1	5593	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5595	1	5594	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5594	1	5595	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5344	1	5594	250
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5345	1	5344	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5346	1	5345	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5345	1	5346	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4737	1	5345	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4738	1	4737	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4739	1	4738	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4738	1	4739	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3928	1	4738	810
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3929	1	3928	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3930	1	3929	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3929	1	3930	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2853	1	3929	1076
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2852	1	2853	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2852	1	2852	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2851	1	2852	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1675	1	2851	1176
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1674	1	1675	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1674	1	1674	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1673	1	1674	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1022	1	1673	651
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1021	1	1022	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1021	1	1021	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1020	1	1021	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	328	1	1020	692
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	327	1	328	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	327	1	327	0
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	327	327

## Liite 1/2. Ajoraportit

## Laite 1, 40km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7035	1	7055	20
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7034	1	7035	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7035	1	7034	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7036	1	7035	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7035	1	7036	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6526	1	7035	509
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6527	1	6526	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6528	1	6527	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6527	1	6528	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5563	1	6527	964
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5564	1	5563	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5565	1	5564	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5564	1	5565	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5348	1	5564	216
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5349	1	5348	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5350	1	5349	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5349	1	5350	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4741	1	5349	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4742	1	4741	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4743	1	4742	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4742	1	4743	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3930	1	4742	812
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3931	1	3930	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3932	1	3931	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3931	1	3932	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2867	1	3931	1064
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2868	1	2867	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2869	1	2868	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2868	1	2869	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1676	1	2868	1192
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1677	1	1676	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1678	1	1677	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1677	1	1678	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1021	1	1677	656
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1022	1	1021	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1023	1	1022	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1022	1	1023	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	329	1	1022	693
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	330	1	329	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	331	1	330	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	0	1	331	331



## Liite 1/3. Ajoraportit

## Laite 2, 20km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7027	1	7028	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7028	1	7027	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7030	1	7028	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7029	1	7030	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6520	1	7029	509
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6521	1	6520	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6524	1	6521	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6523	1	6524	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5591	1	6523	932
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5591	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5594	1	5592	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5593	1	5594	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5340	1	5593	253
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5341	1	5340	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5343	1	5341	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5342	1	5343	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4737	1	5342	605
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4738	1	4737	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4739	1	4738	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4738	1	4739	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3929	1	4738	809
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3930	1	3929	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3931	1	3930	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3930	1	3931	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2854	1	3930	1076
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2853	1	2854	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2851	1	2853	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2850	1	2851	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1672	1	2850	1178
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1673	1	1672	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1676	1	1673	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1675	1	1676	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1030	1	1675	645
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1029	1	1030	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1026	1	1029	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1025	1	1026	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	329	1	1025	696
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	328	1	329	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	324	1	328	4
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	324	324

## Liite 1/4. Ajoraportit

## Laite 2, 40km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7027	1	7028	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7028	1	7027	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7031	1	7028	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7030	1	7031	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6521	1	7030	509
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6522	1	6521	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6524	1	6522	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6523	1	6524	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5590	1	6523	933
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5591	1	5590	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5593	1	5591	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5593	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5340	1	5592	252
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5341	1	5340	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5345	1	5341	4
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5344	1	5345	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4736	1	5344	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4737	1	4736	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4740	1	4737	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4739	1	4740	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3922	1	4739	817
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3923	1	3922	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3929	1	3923	6
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3928	1	3929	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2848	1	3928	1080
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2849	1	2848	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2853	1	2849	4
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2852	1	2853	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1668	1	2852	1184
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1669	1	1668	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1672	1	1669	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1671	1	1672	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1024	1	1671	647
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1023	1	1024	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1022	1	1023	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1021	1	1022	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	329	1	1021	692
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	328	1	329	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	328	1	328	0
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	328	328

## Liite 1/5. Ajoraportit

## Laite 3, 20km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7026	1	7027	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7027	1	7026	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7028	1	7027	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7027	1	7028	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6518	1	7027	509
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6519	1	6518	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6520	1	6519	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6519	1	6520	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5591	1	6519	928
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5591	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5593	1	5592	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5593	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5339	1	5592	253
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5340	1	5339	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5343	1	5340	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5342	1	5343	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4733	1	5342	609
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4734	1	4733	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4736	1	4734	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4735	1	4736	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3931	1	4735	804
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3932	1	3931	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3933	1	3932	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3932	1	3933	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2851	1	3932	1081
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2850	1	2851	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2848	1	2850	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2847	1	2848	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1671	1	2847	1176
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1670	1	1671	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1670	1	1670	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1669	1	1670	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1024	1	1669	645
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1025	1	1024	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1029	1	1025	4
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1028	1	1029	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	329	1	1028	699
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	328	1	329	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	328	1	328	0
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	328	328

## Liite 1/6. Ajoraportit

Laite 3, 40km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7026	1	7027	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7027	1	7026	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7028	1	7027	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7027	1	7028	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6519	1	7027	508
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6520	1	6519	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6522	1	6520	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6521	1	6522	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5591	1	6521	930
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5591	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5593	1	5592	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5593	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5341	1	5592	251
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5342	1	5341	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5344	1	5342	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5343	1	5344	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4735	1	5343	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4736	1	4735	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4737	1	4736	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4736	1	4737	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3927	1	4736	809
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3928	1	3927	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3929	1	3928	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3928	1	3929	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2850	1	3928	1078
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2851	1	2850	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2852	1	2851	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2851	1	2852	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1669	1	2851	1182
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1670	1	1669	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1671	1	1670	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1670	1	1671	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1021	1	1670	649
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1022	1	1021	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1025	1	1022	3
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1024	1	1025	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	328	1	1024	696
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	327	1	328	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	327	1	327	0
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	327	327

## Liite 1/7. Ajoraportit

## Laite 4, 20km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7027	1	7028	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7028	1	7027	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7029	1	7028	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7028	1	7029	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6521	1	7028	507
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6522	1	6521	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6523	1	6522	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6522	1	6523	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5590	1	6522	932
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5591	1	5590	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5593	1	5591	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5592	1	5593	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5342	1	5592	250
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5343	1	5342	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5344	1	5343	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5343	1	5344	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4735	1	5343	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4736	1	4735	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4737	1	4736	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4736	1	4737	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3927	1	4736	809
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3926	1	3927	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3926	1	3926	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3925	1	3926	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2849	1	3925	1076
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2848	1	2849	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2848	1	2848	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2847	1	2848	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1672	1	2847	1175
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1671	1	1672	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1671	1	1671	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1670	1	1671	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1025	1	1670	645
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1024	1	1025	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1022	1	1024	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1021	1	1022	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	326	1	1021	695
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	327	1	326	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	329	1	327	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	328	1	329	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	328	328

## Liite 1/8. Ajoraportit

## Laite 4, 40km/h

Mittaaja	Kontrolli	Kaista	Korjaustarve	Poikkeamaraportti	Poikkeamaselite	Tietoja	Tie	Aosa	Alet	Losa	Loet	Pituus
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7029	1	7030	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	7029	1	7029	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	7028	1	7029	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6525	1	7028	503
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6524	1	6525	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	6524	1	6524	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	6523	1	6524	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5596	1	6523	927
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5597	1	5596	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5598	1	5597	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5597	1	5598	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5347	1	5597	250
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5346	1	5347	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	5345	1	5346	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	5344	1	5345	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4736	1	5344	608
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4737	1	4736	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	4739	1	4737	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	4738	1	4739	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3930	1	4738	808
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3931	1	3930	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	3932	1	3931	1
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	3931	1	3932	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2855	1	3931	1076
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2854	1	2855	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	2852	1	2854	2
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	2851	1	2852	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1672	1	2851	1179
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1671	1	1672	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1671	1	1671	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1670	1	1671	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1022	1	1670	648
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1021	1	1022	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	1021	1	1021	0
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	1020	1	1021	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	328	1	1020	692
TUE	Ei	0	Kyllä	Ei			15648	1	327	1	328	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	326	1	327	1
TUE	Ei	0	Ei	Ei			15648	1	0	1	326	326

## Liite 2/1. Laitteiden antamat mittaustulokset

Taulukko 1. Tiemerkintöjen paikat tiessä ja merkkien väliset etäisyydet

Mittauspiste n ja pisteen kohdalla tien ympäristö	Mittauspisteen etäisyys lähtöpisteestä mp / m	Mittauspisteiden väliset etäisyydet $(mp_{n+1} - mp_n) / m$
0 /Lähtöpiste	0	0
1 / peitteellinen	328	328
2 / peitteellinen	1021	694
3 / peitteellinen	1672	651
4 / peitteellinen	2849	1177
5 / peitteellinen	3926	1078
6 / avoin	4734	804
7 / avoin	5336	603
8 / avoin	5586	250
9 / avoin	6512	925
10 / avoin	7019	508

Taulukko 2. Laitella 1 saadut mittaustulokset ja mittaustulosten vakioituminen 15 s aikana

Mittauspiste n ja pisteen kohdalla tien ympäristö	Laitte 1: 20 km/h			Laitte 1: 40 km/h		
	Mitta-arvo pysähdys-hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1 / m$	Mitta-arvo pysähdys-hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1 / m$
0 /Lähtöpiste						
1 / peitt.	327	327	0	331	330	-1
2 / peitt.	1020	1020	0	1022	1021	-1
3 / peitt.	1673	1673	0	1677	1676	-1
4 / peitt.	2851	2851	0	2868	2867	-1
5 / peitt.	3929	3928	-1	3931	3930	-1
6 / avoin	4738	4737	-1	4742	4741	-1
7 / avoin	5345	5344	-1	5349	5348	-1
8 / avoin	5594	5593	-1	5564	5563	-1
9 / avoin	6524	6523	-1	6527	6526	-1
10 / avoin	7031	7031	0	7035	7035	0

## Liite 2/2. Laitteiden antamat mittaustulokset

Taulukko 2. Laitteella 2 saadut mittaustulokset ja mittaustulosten vakioituminen 15 s aikana

Mittauspiste n ja pisteen kohdalla tien ympäristö	Laitte 2: 20 km/h			Laitte 2: 40 km/h		
	Mitta-arvo pysähdys- hetkellä $s_1 / m$	Mitta- arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 -$ $s_1 / m$	Mitta-arvo pysähdys- hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kulut- tua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1$ / m
0 /Lähtöpiste						
1 / peitt.	324	328	4	328	328	0
2 / peitt.	1025	1028	3	1021	1020	-1
3 / peitt.	1675	1672	-3	1671	1668	-3
4 / peitt.	2850	2852	2	2852	2848	-4
5 / peitt.	3930	3929	-1	3928	3922	-6
6 / avoin	4738	4737	-1	4739	4736	-3
7 / avoin	5342	5340	-2	5344	5340	-4
8 / avoin	5593	5591	-2	5592	5590	-2
9 / avoin	6523	6520	-3	6523	6521	-2
10 / avoin	7029	7027	-2	7030	7027	-3

Taulukko 2. Laitteella 3 saadut mittaustulokset ja mittaustulosten vakioituminen 15 s aikana

Mittauspiste n ja pisteen kohdalla tien ympäristö	Laitte 3: 20 km/h			Laitte 3: 40 km/h		
	Mitta-arvo pysähdys- hetkellä $s_1 / m$	Mitta- arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 -$ $s_1 / m$	Mitta-arvo pysähdys- hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kulut- tua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1$ / m
0 /Lähtöpiste						
1 / peitt.	328	328	0	327	327	0
2 / peitt.	1028	1024	-4	1024	1021	-3
3 / peitt.	1669	1669	0	1670	1669	-1
4 / peitt.	2847	2849	2	2851	2850	-1
5 / peitt.	3932	3931	-1	3928	3927	-1
6 / avoin	4735	4733	-2	4736	4735	-1
7 / avoin	5342	5339	-3	5343	5341	-2
8 / avoin	5592	5591	-1	5592	5591	-1
9 / avoin	6519	6518	-1	6521	6519	-2
10 / avoin	7027	7026	-1	7027	7026	-1



## Liite 2/3. Laitteiden antamat mittaustulokset

Taulukko 2. Laitteella 4 saadut mittaustulokset ja mittaustulosten vakioituminen 15 s aikana

Mittauspisteen ja pisteen kohdalla tien ympäristö	Laite 4: 20 km/h			Laite 4: 40 km/h		
	Mitta-arvo pysähdys-hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1 / m$	Mitta-arvo pysähdys-hetkellä $s_1 / m$	Mitta-arvo 15 s kuluttua $s_2 / m$	$\Delta s = s_2 - s_1 / m$
0 / Lähtöpiste						
1 / peitt.	328	326	-2	326	327	1
2 / peitt.	1021	1023	2	1020	1020	0
3 / peitt.	1670	1670	0	1670	1670	0
4 / peitt.	2847	2847	0	2851	2853	2
5 / peitt.	3925	3925	0	3931	3930	-1
6 / avoin	4736	4735	-1	4738	4736	-2
7 / avoin	5343	5342	-1	5344	5345	1
8 / avoin	5592	5590	-2	5597	5596	-1
9 / avoin	6522	6521	-1	6523	6523	0
10 / avoin	7028	7027	-1	7028	7028	0

## Liite 3/1. Laitteiden mukaiset etäisyydet

Taulukko 1. Laitteen 1 antamien välimatkojen ja tiemerkkintöjen erot

Mittauspiste	Laite 1 20 km/h lukema $x_1 / m$	Laite 1 40 km/h lukema $x_2 / m$	Tiemerkkien välinen etäi- syys $y / m$	Laite 1 Ero 20 km/h $(x_1 - y) / m$	Laite 1 Ero 40 km/h $(x_2 - y) / m$
1 / peitt.	327	330	328	-1	2
2 / peitt.	693	691	694	-1	-3
3 / peitt.	653	655	651	2	4
4. / peitt.	1178	1191	1177	1	14
5 / peitt.	1077	1063	1078	-1	-15
6 / avoin	809	811	804	5	7
7 / avoin	607	607	603	4	4
8 / avoin	249	215	250	-1	-35
9 / avoin	930	963	925	5	38
10 / avoin	508	509	508	0	1

Taulukko 2. Laitteen 2 antamien välimatkojen ja tiemerkkintöjen erot

Mittauspiste	Laite 2 20 km/h lukema $x_1 / m$	Laite 2 40 km/h lukema $x_2 / m$	Tiemerkkien välinen etäi- syys $y / m$	Laite 2 Ero 20 km/h $(x_1 - y) / m$	Laite 2 Ero 40 km/h $(x_2 - y) / m$
1 / peitt.	328	328	328	0	0
2 / peitt.	700	692	694	6	-2
3 / peitt.	644	648	651	-7	-3
4. / peitt.	1180	1180	1177	3	3
5 / peitt.	1077	1074	1078	-1	-4
6 / avoin	808	814	804	4	10
7 / avoin	603	604	603	0	1
8 / avoin	251	250	250	1	0
9 / avoin	929	931	925	4	6
10 / avoin	507	506	508	-1	-2

## Liite 3/2. Laitteiden mukaiset etäisyydet

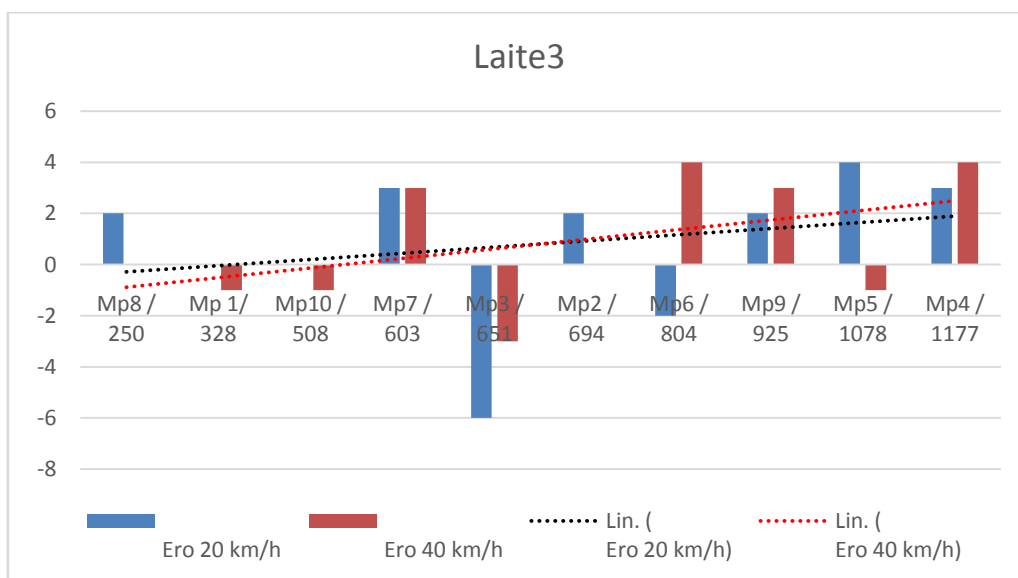
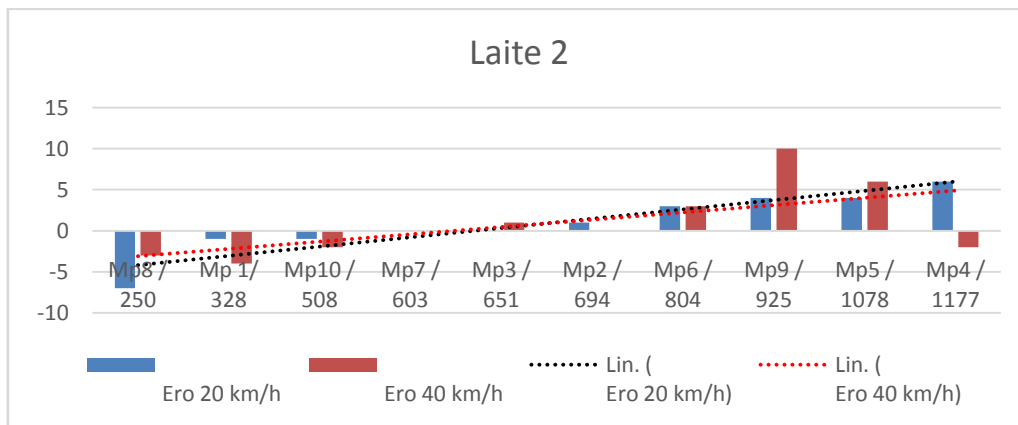
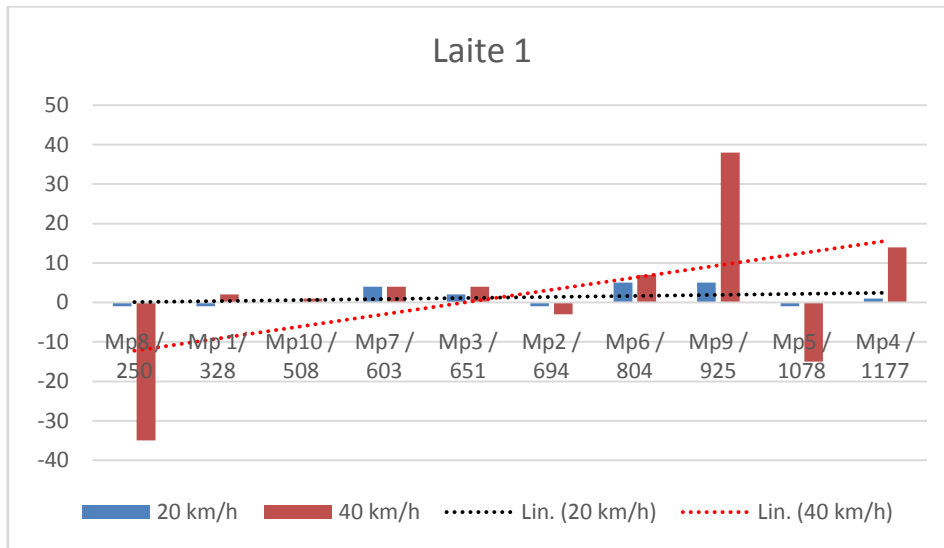
Taulukko 3. Laitteen 3 antamien välimatkojen ja tiemerkinntöjen erot

Mittauspiste	Laite 3 20 km/h lukema $x_1 / m$	Laite 3 40 km/h lukema $x_2 / m$	Tiemerkkien välinen etäi- syys $y / m$	Laite 3 Ero 20 km/h $(x_1 - y) / m$	Laite 3 Ero 40 km/h $(x_2 - y) / m$
1 / peitt.	328	327	328	0	-1
2 / peitt.	696	694	694	2	0
3 / peitt.	645	648	651	-6	-3
4. / peitt.	1180	1181	1177	3	4
5 / peitt.	1082	1077	1078	4	-1
6 / avoin	802	808	804	-2	4
7 / avoin	606	606	603	3	3
8 / avoin	252	250	250	2	0
9 / avoin	927	928	925	2	3
10 / avoin	508	507	508	0	-1

Taulukko 4. Laitteen 3 antamien välimatkojen ja tiemerkinntöjen erot

Mittauspiste	Laite 4 20 km/h lukema $x_1 / m$	Laite 4 40 km/h lukema $x_2 / m$	Tiemerkkien välinen etäi- syys $y / m$	Laite 4 Ero 20 km/h $(x_1 - y) / m$	Laite 4 Ero 40 km/h $(x_2 - y) / m$
1 / peitt.	326	327	328	-2	-1
2 / peitt.	697	693	694	3	-1
3 / peitt.	647	650	651	-4	-1
4. / peitt.	1177	1183	1177	0	6
5 / peitt.	1078	1077	1078	0	-1
6 / avoin	810	806	804	6	2
7 / avoin	607	609	603	4	6
8 / avoin	248	251	250	-2	1
9 / avoin	931	927	925	6	2
10 / avoin	506	505	508	-2	-3

## Liite 4/1. Välimatkojen ja epätarkkuuksien välinen riippuvuus



## Liite 4/2. Välimatkojen ja epätarkkuuksien välinen riippuvuus

