

Opinnäytetyö (AMK)

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Yrityksen tietoliikenne ja tietoturva

2016

Riku Artukka

# RFID-TUNNISTEIDEN HAVAITSEMINEN LIIKKUVASTA AJONEUVOSTA

– case: Fidera Oy

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietojenkäsittely | Yrityksen tietoliikenne ja tietoturva

2016 | 33 sivua

Jarkko Paavola

Riku Artukka

# RFID-TUNNISTEIDEN HAVAITSEMINEN LIKKUVASTA AJONEUVOSTA

– case: Fidera Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on testata ja dokumentoida suoritettuja RFID-ajoneuvomittauksia eli ajoneuvojen ja henkilöiden automaattista tunnistusta hyödyntämällä RFID-tunnisteita. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Fidera Oy:lle. Yrityksellä on jo käytössä automaattinen henkilötunnistusjärjestelmä, tarve olikin soveltaa samaa tekniikkaa ajoneuvojen ja niiden sisällä olevien henkilöiden tunnistukseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kuva RFID-tekniikan perusteista ja toimia selkeänä raporttina suoritettujen ajoneuvomittausten osalta. Opinnäytetyö toteutettiin tapaustutkimuksena. Työ perustuu kirjallisiin ja ajoneuvomittausten muistiinpanoihin.

Tutkimustyö toteutettiin kahdessa eri osassa. Opinnäytetyön teoriaosa koostuu RFID-tekniikasta, vastaten kysymyksiin mikä, miten ja miksi. Tämän lisäksi perehdytään RFID-kokonaisjärjestelmään, mitkä ovat sen keskeiset komponentit. Samalla tehdään pieni katsaus RFID:n historiaan. Empiirinen osa koostuu RFID-ajoneuvomittauksista, niiden suunnittelusta, toteutuksesta ja dokumentoinnista. Samalla perehdytään yleisesti mitä tarkoitetaan ajoneuvomittauksilla. Työssä tarjotaan myös vaihtoehtoa RFID:lle, millä muulla tekniikalla vastaavan tunnisteen havainnointijärjestelmän voisi toteuttaa.

Toteutettujen ajoneuvomittausten tuloksien perusteella selviää tunnisteen havainnointimäärän vähenevän ajoneuvon nopeuden kasvaessa. Toisena asiana havaitaan, miten RFID-laitteiston sijoittelu vaikuttaa tunnisteen havainnointiin. Viimeisenä päähuomiona havaitaan ajoneuvon eri tunnisteen havaintomäärien vaihtelu.

ASIASANAT:

RFID, RFID-tunnistus, etätunnistus,

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Business Information Technology | Business Data Communications and Information Security

2016 | 33 pages

Jarkko Paavola

Riku Artukka

# RFID TAG IDENTIFICATION OF MOVING VEHICLES

– case: Fidera Ltd.

The objective of this bachelor thesis was to test and document the implementation of radio frequency identification (RFID), for RFID -tags and personnel in moving vehicles. The thesis was commissioned by Fidera, which already has an automatic personnel identification system. Therefore, this thesis focuses on applying the same technology for tag identification of moving vehicles.

The thesis aims to give a basic introduction to RFID, and act as a detailed report for the fulfilled tag identification experiments. Furthermore, this thesis acts as a report for implementing RFID for moving vehicle identification in this specific case.

The study consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part focuses on RFID, answering questions what, how and why. Furthermore, the RFID -system and its main components are explained. The practical part is based on the planning, implementation and documentation of the RFID vehicle experiments. The thesis also suggests other alternative technologies for automatic vehicle identification. Alternative technologies for vehicle identification, such as Bluetooth are also taken into account.

Based on the attained results, it is clear that vehicle speed has an influence on the amount of tag readings. Secondly, it is noticed that the location and angles of the RFID -devices have an impact on tag readings. Finally, tag identifications in the same vehicle vary by the location of the tag. For example, the driver's tags were identified less than the passengers' tags in the backseat.

KEYWORDS:

RFID, radio frequency identification, identification, vehicle

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 RFID-TEKNIikka</b>	<b>9</b>
<b>3 RFID-JÄRJESTELMÄ</b>	<b>11</b>
3.1 RFID-tunnisteet	11
3.1.1 RFID-tunnistetyypit	12
3.2 RFID-lukijat	13
3.3 RFID-väliohjelmisto	13
<b>4 MUUT SOVELTUVAT TEKNIikat</b>	<b>14</b>
<b>5 RFID-AJONEUVOMITTAUKSET</b>	<b>15</b>
5.1 Ajoneuvomittaukset 16.3.2016	17
5.1.1 Testit	18
5.2 Ajoneuvomittaukset 12.4.2016	19
5.2.1 Antennikonfiguraatiot	20
5.2.2 Testit	21
<b>6 AJONEUVOMITTAUSTEN TULOKSET</b>	<b>23</b>
6.1 Tulokset 16.3.2016	24
6.2 Tulokset 13.4.2016	25
6.3 Henkilötunnistus	27
<b>7 YHTEENVETO JA POHDINTA</b>	<b>30</b>
7.1 Tulokset ja päätelmät	30
7.2 Loppusanat	31
<b>LÄHTEET</b>	<b>33</b>

## KUVAT

Kuva 1. RFID-järjestelmän komponentit. (RFIDLab 2016b.)	11
Kuva 2. Kiinteästi asennettava RFID-lukija. (NordicID, 2016.)	13
Kuva 3. RFID-lukija ja kolme lisäantennia ensimmäisissä ajoneuvomittauksissa.	17
Kuva 4. 16.3. Antennikonfiguraatio 1.	19
Kuva 5 - RFID-tunnisteet pikkubussissa.	20
Kuva 6. Antennikonfiguraatiot 1-3.	21
Kuva 7. Mittausdataa Microsoft Excelissä.	23

## KUVIOT

Kuvio 1. Nopeuden vaikutus tunnistettavuuteen.	25
Kuvio 2. Antennikonfiguraatioiden vertailu, 30km/h nopeus.	26
Kuvio 3. Havaintojen jakaantuminen eri antennikonfiguraatioille	27

## TAULUKOT

Taulukko 1. Ensimmäisten mittausten testit	18
Taulukko 2. 12.4 ajoneuvomittausten testit	22
Taulukko 3. 16.3.2016 ajoneuvomittausten antennien havainnot	24
Taulukko 4. Henkilötunnistus, 30 km/h	28
Taulukko 5. Henkilötunnistus 40 km/h	28
Taulukko 6. Korttitunnisteiden tunnistusmäärät ja sijainnit	29

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CSV	Tekstitiedosto, johon tallennetaan merkillä erotettua taulukkomuotoista tietoa.
EPC	Electronic Product Code, sähköinen tuotekoodi
IC	Integrated Circuit, tunnisteen mikropiiri
Python	Ohjelmointikieli
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
SMA	Radiotekniikassa käytetty koaksiaalikaapeli.
SSH	Secure Shell, salatun tietoliikenteen protokolla. (SSH, 2016.)
SQLite	Eniten käytetty tietokantamoottori. (SQLite, 2016.)

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suorittaa ja dokumentoida ajoneuvomittauksia toimeksiantoyrityksen RFID-järjestelmällä. Ajoneuvomittauksilla tarkoitetaan prosessia, jossa RFID-kokonaisjärjestelmän käyttö yhdistetään ajoneuvoon, jonka sisällä on RFID-tunnisteita. Tarkoituksena on testata RFID-järjestelmää ja dokumentoida suoritettavat ajot ja järjestelyt tarkasti. Työn tutkimusmenetelminä on käytetty tapaustutkimusta ja osittain laadullista tutkimusta.

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Fidera Oy:lle, joka on erikoistunut soveltamaan RFID-tekniikkaa esimerkiksi kulunvalvontajärjestelmiin. Fidera on suorittanut automaattista tunnistusta jalan kulkevista työntekijöistä ja tämä osa-alue on havaittu toimivan hyvin. Tämä opinnäytetyö keskittyy RFID-tekniikan soveltamiseen ajoneuvon ja sen sisällä olevien henkilöiden tunnistamiseen, käyttäen RFID-tunnisteita ja RFID-lukijoita.

Toimeksiantoyrityksen kannalta ajoneuvomittaukset suoritettiin kartoittamaan automaattisen tunnistuksen haastavaa osa-aluetta, tunnistajien ja henkilöiden tunnistamista liikkuvasta ajoneuvosta. Fideran on tarkoitus laajentaa automaattista tunnistusta myös ajoneuvoihin. Yrityksen kannalta mittaukset toivat arvokasta tietoa koskien valittujen RFID-laitteiden suoriutumista ajoneuvotunnistuskäytössä.

Fidera Oy on perustettu vuonna 2013, tavoitteena vastata rakennusalan uusiin ja kehittyviin haasteisiin. Fideralla on taustatukena laaja kotimainen kumppaniverkosto ja vuosikymmenten kokemus teknologia-, tietoliikenne ja rakennusalalta. Laajasta osaamisesta kertoo referenssit, joista selviää yhteistyö Skanskan, YIT:n ja Peabin kanssa. (Fidera 2016.)

Työn teoriaosa perustuu RFID-tekniikkaan, tavoitteena on saada lukijalle perustietämys, kuinka RFID toimii. Työn empiirisenä osana on ajoneuvomittauksien suunnittelu, toteutus ja dokumentointi toimeksiantoyritykselle. Opinnäytetyöprosessi alkoi sopivan ajoneuvomittauspaikan löytämiselle Turun seudulta. Paikaksi valikoitui Metsämäen raviradan parkkialue, sen koon ja vähäisen käyttöasteen perusteella. Mittauspaikan löytymisen jälkeen tutustuin toimeksiantoyrityksen RFID-testilaitteistoon, joka käsitellään työssä myöhemmin.

Empiirisen osan ajoneuvomittaukset suoritettiin kahtena eri ajankohtana. Ensimmäisen kerran 16.3.2016, jolloin oli käytössä henkilö- ja pakettiauto. Jälkimmäiset pikkubussimittaukset suoritettiin 13.04.2016.

Mittaukset erosivat toisistaan ajoneuvon, tunnisteiden, testiajojen ja henkilömäärän osalta, RFID-laitteisto pysyi samana. Ensimmäisellä kerralla testiajot suoritettiin henkilöautolla ja pakettiautolla. Viimeisellä kerralla käytössä oli Ford Transit, yhdeksän paikkainen pikkubussi.

RFID-ajoneuvomittaukset -lukua seuraa ajoneuvomittausten tulokset -luku. Tulokset on jaettu kahteen eri osaan mittauspäivän perusteella. Tuloksissa on kuitenkin keskitytty enemmän pikkubussimittauksiin, jossa oli suurempi henkilö- ja tunnistemäärä. Näiden perusteella tehtiin tärkeitä havaintoja, niin RFID-laitteiston osalta, kuin myös tunnistettavien kohteiden osalta.

Työn loppulukuna on yhteenveto ja pohdinta. Siinä palataan työn tarkoitukseen, tuloksiin ja työn onnistumiseen kaiken kaikkiaan. Näiden ohella lisätään muutamia huomioita mitä asioita empiirisen osion ohella olisi voinut tutkia laajemmin.



## 2 RFID-TEKNIikka

RFID, radio frequency identification, on nimitys erilaisille radiotaajuuksille toimiville tekniikoille, joita käytetään esimerkiksi esineiden ja ihmisten langattomaan havainnointiin ja yksilöintiin. RFID-tunniste sisältää sähköisen tuotekoodin (Electronic Product Code), joka voidaan linkittää taustajärjestelmän tietokantaan, jonka avulla esimerkiksi haluttu tuote tai henkilö tunnistetaan (RFIDLab, 2016a.)

Keskeinen RFID:n tuoma hyöty on tehokkuuden kasvu ja inhimillisten virheiden vähentäminen automaation kautta. Tekniikka on erityisesti vakiintunut logistiikan toimitusketjussa. Jokapäiväisessä elämässä RFID:n käytännön sovelluksia tulee vastaan esimerkiksi bussikorttia käytettäessä. Muita RFID-sovelluksen vakiintuneita käyttökohteita ovat:

- varastojärjestelmät
- logistiikka
- automaatio
- kulkukortit
- kaupan varkaudenestojärjestelmät
- tietullit
- julkinen liikenne.

RFID-tekniikka ei ole uusi keksintö, sen juuret ulottuvat toiseen maailmansotaan. RFID-tekniikan juuret ovat 1940-luvun alussa. British Royal Air Force varusti lentokoneet radiotranspondereilla, jotka tunnistautuivat tarvittaessa. Tämä erotti natsi-Saksan lentokoneet British Royal Air Forcen lentokoneista. (Lehpamer, 2012, 54.)

1960-luvulla RFID-tekniikan käyttö kasvoi huomattavasti, esimerkiksi elektronisen tuotteiden valvonnan myötä, electronic article surveillance, EAS. 70-luvulla nopean tietotekniikan kehityksen myötä yritykset, organisaatiot ja yliopistot keskittyivät hyödyllisten RFID-sovelluksien kehittämiseen. Näitä olivat ajoneuvo- ja eläintunnistukseen ja tehtaiden automaatioon liittyvät sovellukset. (Lehpamer, 2012, 55.)

Perustoimintaperiaate on RFID-tunnisteen tiedon siirtäminen langattomasti lukijalle, josta sitä voidaan hyödyntää taustajärjestelmällä, kuten tietokannalla. Esineiden tai henkilöiden tunnistaminen toimii kohteessa olevan RFID-tunnisteen avulla, joka sisältää oman yksilöllisen koodin. Koodi voidaan lukea RFID-lukijalla, jonka jälkeen esine tai henkilö voidaan tunnistaa. (Lehpamer 2012, 54.)

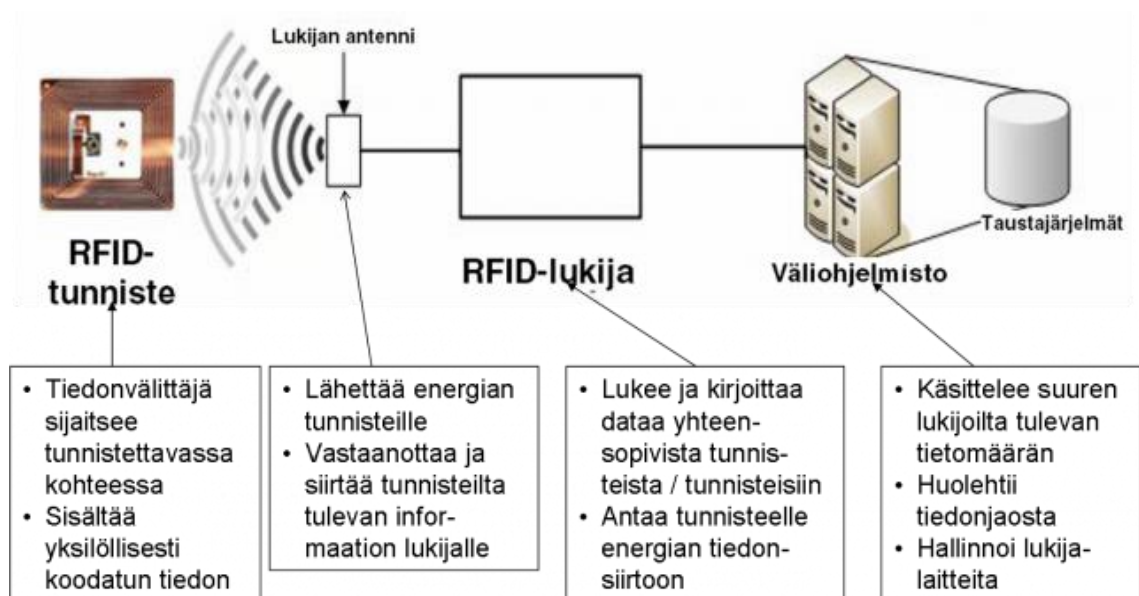
RFID-tekniikkaa verrataan usein viivakoodiin, vaikka näiden toimintaperiaate on erilainen. Viivakoodin lukemiseen tarvitaan esteetön näkyvyys. RFID:llä tunnisteen luku tapahtuu radioaalloilla, jolloin esineet tai henkilöt voidaan tunnistaa ilman suoraa näkyvyyttä. RFID ei ole viivakoodin korvaaja, vaan pikemminkin vaihtoehto sille. Perinteiseen viivakoodiin verrattuna RFID:n etuna on tunnisteen tietojen vaihto, esimerkiksi tuotteen toimituksen aikana. (Rida ym. 2010, 15.)

RFID-tekniikan käyttöön liittyy myös varjopuolia. Suuri haittapuoli on RFID-järjestelmän käyttöönoton ja tunnisteen hinta. Vähittäiskauppa on yksi potentiaalinen ala josta RFID:stä on ja voisi olla hyötyä. Alalla on kuitenkin suhteellisen pienet tuotteiden katteet, joita vähentäisi entisestään tuotteisiin lisättävät RFID-tunnisteet. Käyttöönoton ja tunnisteen hinnan lisäksi valmiin ja käytössä olevan RFID-järjestelmän luoman tiedon määrä on valtava, joka on pystyttävä muuntamaan yritykselle hyödylliseksi tiedoksi. (Lehpamer, 2012, 67-68.)

### 3 RFID-JÄRJESTELMÄ

RFID-järjestelmä on usean eri komponentin luoma kokonaisuus, jonka keskeinen toimintaperiaate on lukea langattomasti tunnistelta tietoa ja hyödyntää sitä eri tavoilla. Kuvassa 1 on selvennetty RFID-järjestelmän toimintaperiaatetta. RFID-järjestelmä koostuu seuraavista pääkomponenteista:

- RFID-tunniste (tag), sijaitsee tunnistettavassa kohteessa
- RFID-lukija (reader), mahdollistaa tunnisteen lukemisen ja sen tietojen uudelleenkirjoittamisen
- väliohjelmisto (middleware), tehtävänä käsitellä lukijalta tulevan tietomäärän
- taustajärjestelmä.



Kuva 1. RFID-järjestelmän komponentit. (RFIDLab 2016b.)

#### 3.1 RFID-tunnisteet

RFID-tunniste on pieni esine, joka sijaitsee tunnistettavassa kohteessa. Tunnisteen onnistunut lukeminen RFID-lukijalla on RFID-järjestelmän toiminnan perusedellytys. RFID-

tunnisteet koostuvat RFID-sirusta, antennista ja ympäröivästä materiaalista. Tunnisteen antenni on tunnisteiden suurin yksittäinen komponentti. Antennin tehtävänä on lähettää ja vastaanottaa radioaalloja, eli mahdollistaa kommunikointi. Passiivisten tunnisteiden osalta antennin tehtävä on myös toimittaa tunnisteiden RFID-sirulle sen toimintaan tarvittava virta. (Rida ym. 2010, 28.)

RFID-siru, integrated circuit (IC), toimii tunnisteiden aivoina. Fyysisesti se on yleensä alle yhden neliömillimetrin kokoinen. Sirun tehtävänä on välittää tunnisteiden yksilöllinen numero esimerkiksi RFID-lukijalle. Tämän lisäksi IC:llä voi olla ylimääräistä muistia, johon voidaan RFID-lukijalla kirjoittaa lisätietoja, jotka voidaan lukea RFID-lukijalla tunnistettavasta kohteesta. (Rida ym. 2010, 30.)

Ympäröivä materiaali (Substrate) on aine, joka yhdistää antennin ja IC-sirun yhdeksi kokonaisuudeksi. Materiaali riippuu usein tunnisteiden tyypin mukaan, kuitenkin useimmin käytetyt ovat paperi ja muovi. Ympäröivänä materiaalina voi toimia myös tunnistettava esine tai sen kuori. (Rida, ym 2010, 30.)

### 3.1.1 RFID-tunnistetyypit

RFID-tunnisteet voidaan ryhmitellä kolmeen eri ryhmään, joilla kaikilla on omat ominaisuutensa ja tyypillisimmät käyttökohteet. Tunnisteryhmät ovat seuraavat:

- aktiiviset tunnisteet
- semipassiiviset tunnisteet
- passiiviset tunnisteet.

Aktiiviset tunnisteet sisältävät pariston tai muun virtalähteen, joka huolehtii koko tunnisteiden virransaannista. Aktiivisten tunnisteiden etu on suurempi lukuetaisyys, jopa 30 metriä. Suurin osa aktiivisista tunnisteista mahdollistavat lukijalta saadun tiedon säilyttämisen. Tunnisteiden haittapuolena ovat huomattavasti suuremmat valmistuskustannukset ja fyysisesti suurempi koko. (Rida ym. 2010. 34.)

Semipassiiviset tunnisteet ovat kuin aktiivisia tunnisteita, mutta näiden oma virtalähde antaa virran vain tunnisteiden mikropiirille. Tunniste tarvitsee silti virran RFID-lukijalta toimiakseen.

Passiiviset tunnistetiedot ovat eniten käytettyjä tunnistetietoja, niiden alhaisen hinnan, koon ja yksinkertaistetun toimintaperiaatteen vuoksi. Toisin kuin edellä mainitut tunnistetiedot, passiiviset tunnistetiedot saavat toimiakseen kaiken tarvittavan virran RFID-lukijalta. Passiivisten tunnistetiedojen lukuvarmuus riippuu pitkälti RFID-lukijan lähetystehosta. Passiiviset tunnistetiedot toimivat heijastamalla takaisin radioaallot, lisäksi niihin omaan tunnistetiedon. Passiivisen tunnistetiedon tunnistamiseksi vaaditaan kahta asiaa. RFID-lukijan on lähetettävä tunnistetiedolle tarpeeksi energiaa. Tämän lisäksi lukijan täytyy havaita ja rekisteröidä tunnistetiedon takaisin lähettämä energia. (Lehpamer, 2012, 154; RFIDLab 2016a.)

### 3.2 RFID-lukijat

RFID-lukija on laite, jonka tehtävä on kommunikoida langattomasti tunnistetiedojen kanssa. Lukijoita on olemassa erilaisia, esimerkiksi kiinteitä (kuva 2) ja kädessä pidettäviä lukijoita eli käsiskannereita. Käsiskannereita voidaan käyttää tuotteiden havaitsemiseen. Lukija koostuu antennista, radiointerfacesta ja mikroprosessorista. Mikroprosessori käynnistää kommunikoinnin tunnistetiedojen kanssa ja tulkitsee saatua dataa tunnistetiedoista.

Lukijaan voi olla liitettyinä lisäantenneita, joiden tarkoitus on lisätä lukualueen laajuutta, josta tunnistettavat esineet tai asiat liikkuvat. (Rida ym. 2010. 35.)



Kuva 2. Kiinteästi asennettava RFID-lukija. (NordicID, 2016.)

### 3.3 RFID-väliohjelmisto

RFID-väliohjelmisto (middleware) on ohjelmisto, joka toimii RFID-lukijan laitteiston ja RFID-sovelluksen välissä. Sen tehtävä on muuttaa RFID-tunnistetiedojen havainnointi ihmiselle luettavaksi tiedoksi. Tiedoissa voi olla esimerkiksi tunnistetiedon oma yksilöintitunnus eli ID ja aikaleima eli tallennettu aika milloin tunnistetieto on havaittu. (Rida ym. 2010. 35-36.)

## 4 MUUT SOVELTUVAT TEKNIIKAT

RFID:n rinnalla on myös muita soveltuvia tekniikoita tunnistusten seurantaan. Näistä yksi on Bluetooth ja tarkemmin Bluetooth Media Access Control Scannerin (BMS) käyttö. Kyseessä on siis laite, joka skannaa tavoitettavissa olevien Bluetooth-laitteiden Media Access Control Identifier, eli MAC-ID-arvon. MAC-ID on jokaiselle Bluetooth-laitteelle uniikki 48-bittinen arvo, joka on elektronisesti sisällytetty Bluetooth-laitteeseen (Zoto, J. 2012). BMS:n toimintaperiaate on hakea ympärillä olevia Bluetooth-laitteita, jotka vastaavat BMS-laitteelle. BMS:n lisäksi, liikkuvassa kohteessa pitää olla Bluetooth-kelpoinen laite, esimerkiksi älypuhelin. (Abbott-Jard, ym. 2013.)

BMS:n hyötyinä on huomattavasti suurempi kantomatkka verrattuna RFID-tekniikkaan. Tyypillinen BMS:n kantama on n. 90 metriä, kun taas RFID-lukijoiden kantomatkat ovat tyypillisesti 5-15 metriä. (Zoto, J. 2012.)

BMS:n käyttö soveltuu myös moottoriteille, jossa liikkuu suuria määriä autoja. Tekniikan avulla voidaan esimerkiksi ennustaa aikamäärä, joka ajaneuvolla kestää liikkua seuraavaan Bluetooth Media Access Control Scanneriin. Suuren määrän ajoneuvojen seurannan mahdollistaisi useat kiinteästi sijoitetut BMS:t tietyin välimatkoin. (Bhaskar, ym. 2015.)

## 5 RFID-AJONEUVOMITTAUKSET

RFID-ajoneuvomittauksilla tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan Fideran RFID-järjestelmän käyttöä ja testaamista käytännössä. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa ajoneuvolla ajamista RFID-lukijan ja lisäantennien lukualueiden läpi, samaan aikaan kun ajoneuvon sisällä on yksi tai useampi RFID-tunniste. Mittaustulokset tallentuivat Sqlite3-tietokantaan, josta tuloksia voidaan tarkastella ja tarvittaessa prosessoida eteenpäin. Testituloksia vietiin comma separated values -tiedostomuotoon, jolloin niitä pystyi tarkastelemaan ja havainnollistamaan Microsoft Excel -ohjelmassa.

Ajoneuvomittausten aikana kirjoitettiin ylös ohiajojen alkamis- ja päättymisajankohdat. Tämä helpotti testitulosten analysointia jälkeenkäin. RFID-tunnisteiden yksilöllinen numero tallennettiin, jonka avulla tunnisteet yhdistettiin mittauksissa mukana olleisiin henkilöihin. Toinen tapa oli kirjoittaa tunnisteeseen sen sijainti, näin toimittiin esimerkiksi tuulilasin ajoneuvotunnisteiden kanssa.

Ajoneuvomittausten tarkoituksena on RFID-järjestelmän testaus ajoneuvotunnistuskäytössä. Mittausten jälkeen testituloksia analysoitiin ja niistä tehtiin erillinen ajoneuvomittausraportti toimeksiantoyritykselle. Ajoneuvomittaukset koostuivat kahdesta erillisestä mittauskerrasta. Molempina kertoina RFID-laitteisto pysyi samana, sen sijaan tunnisteiden määrä ja ajoneuvot vaihtuivat. Jälkimmäisenä kertana tulosten painoarvo oli henkilötunnistuksessa.

Molempina mittauskertoina kokeiltiin erilaisia antennikonfiguraatioita, eli RFID-lukijan ja lisäantennien erilaisia sijoitteluja. Antennikonfiguraatiot erosivat toisistaan etäisyyksien ja lukijoiden kulman osalta.

Tunnisteiden havaitseminen liikkuvasta ajoneuvosta on käytännön RFID-sovellus. Näin ollen laitteilla on maksimietäisyydet, joilla laitteiden välinen kommunikointi on vielä luotettavaa. laitteiden kommunikoinnin luotettavuuteen liittyvät seuraavat tekijät:

- radioaallon teho
- vastaanottolaitteiston herkkyys
- ympäristö, jonka läpi radioaalto kulkee
- häiriöiden määrä.

## Testilaitteisto

RFID-Testilaitteisto oli toimeksiantoyrityksen laitteistoa, jonka pääkomponentit olivat RFID-lukija ja lisäantennit. Lisäantennien tarkoitus on lisätä lukualuetta. Molemmissa ajoneuvomittauskertoina käytettiin ainoastaan passiivisia tunnisteita. Tämän lisäksi tarvittiin kontrollitietokone, Raspberry Pi Model B ja reititin, joka mahdollisti laitteiden välisen kommunikoinnin verkkokaapelin kautta. Näiden lisäksi lukijaprosessin käynnistämiseen ja lopettamiseen käytettiin kannettavaa tietokonetta, jolla saatiin SSH-yhteys kontrollitietokoneeseen. Testilaitteisto sisälsi seuraavat laitteet:

- RFID-lukija, Nordic ID Sampo S1
- Kolme passiivista lisäantennia, Nordic ID Sampo S0
- Kontrollitietokone, Raspberry Pi 2 Model B
- Reititin, jossa etäyhteyksmahdollisuus, Tosibox Lock 100

## Mittausjärjestelyistä

Ajoneuvomittauksissa RFID-lukijat ja lisäantennit sijaitsivat omilla kojekoteloissaan, eli kiinnitettynä kojekotelon sisälle sen etukanteen. RFID-lukija oli omassa kolmijalallisessa telineessä, kun taas lisäantennit sijaitsivat metallisessa pylväässä. Kaikkien RFID-lukijalaitteiden korkeudeksi asennettiin 1,75 metriä. Tämä oli Toyota Proace -ajoneuvossa kuljettajan pään korkeus maasta. RFID-lukijalaitteita havainnollistaa kuva kuva 3.

Lisäantennit liitettiin RFID-lukijaan SMA-kaapelilla, joka on radiotekniikassa yleisesti käytetty koaksiaalikaapeli. Tämän lisäksi ajoradan alla kulkevat SMA-kaapelit sijoitettiin taipuisaan muoviputkeen, jonka tarkoitus oli suojata varsinaista SMA-kaapelia. RFID-lukijalla ja lisäantenneilla on oma numeronsa. RFID-lukija on numero 0 ja lisäantennit



ovat numerot 1-3, kuvan 4 mukaisesti. Tätä tietoa tarvitaan myöhemmin testituloksien yhteydessä.



Kuva 3. RFID-lukija ja kolme lisäantennia ensimmäisissä ajoneuvomittauksissa.

### 5.1 Ajoneuvomittaukset 16.3.2016

Ensimmäisen testipäivän tavoitteena oli testata RFID-laitteistoa ensimmäisen kerran liikuvien tunnisteen havaitsemisessa ajoneuvon sisältä. Testipäivää ennen oli suunniteltu minkälaisia ajonopeuksia ja antennikonfiguraatioita käytetään.

Ajoneuvomittauksissa olivat käytössä Nissan Micra -mallinen pieni henkilöauto ja Toyota Proace -mallinen pakettiauto. Kaikissa testeissä ajoneuvojen kyydissä oli kaksi henkilöä. Kutsutaan näitä henkilöiksi A ja B. Henkilöiden päässä olivat työkypäret, joiden sisäpuolella olivat passiiviset RFID-tunnisteet. Tämän lisäksi kojelaudalla pidettiin ylimääräistä työkypäretä, jossa sijaitsi kolme tunnistetta. Näin ollen lukijoiden ohi ajettiin yhteensä yhdeksällä RFID-tunnisteella.

### 5.1.1 Testit

Testeillä tässä kohtaa tarkoitetaan yksittäistä ajokertaa, joka voi koostua useasta eri-suuntaisesta RFID-lukijoiden ohiajosta. Testit jaettiin kahteen eri osaan, joista ensimmäiset neljä testiä toteutettiin kuvan 4 antennikonfiguraatiolla. Koko päivän aikana suoritetuista testeistä havainnollistaa taulukko 1.

Testeissä viisi ja kuusi lukijoita siirrettiin kauemmas toisistaan kahdessa eri suunnassa. Näin ollen ajoradan vastaisten lukijoiden etäisyys oli 6,5 metriä, kun taas ajoradan vieressä, samalla puolella olevien lukijoiden etäisyys oli 3,0 metriä.

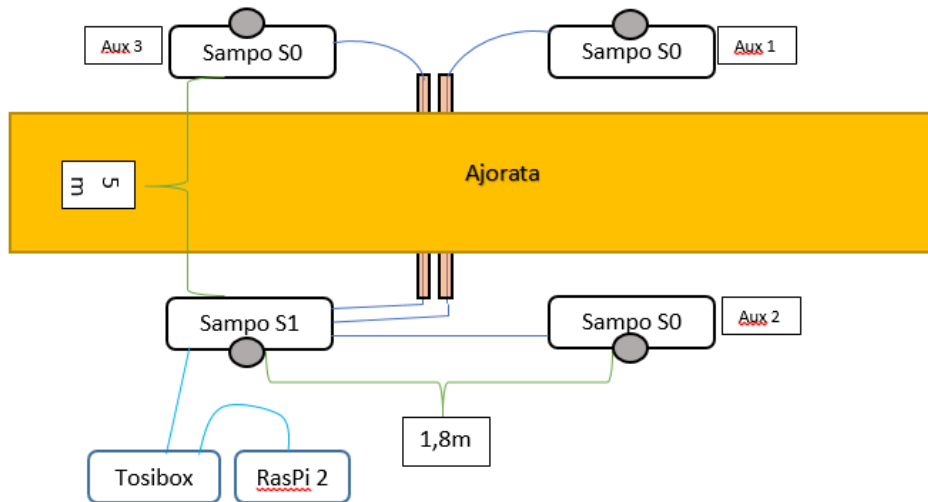
Taulukko 1. Ensimmäisten mittausten testit.

Testi	Ajoneuvo	Nopeus	Ajaja	Matkustaja	Huomioita
1.	Pakettiauto	30 km/h	A	B	Kaksi ajoa
2.	Henkilöauto	30 km/h	B	A	Kaksi ajoa
3.	Pakettiauto	50 km/h	A	B	Kaksi ajoa
4.	Henkilöauto	50 km/h	B	A	Kaksi ajoa
5.	Pakettiauto	30 km/h	A	B	Neljä ajoa
6.	Henkilöauto	30 km/h	B	A	Neljä ajoa

Ajoneuvomittausten järjestelyitä selventää kuva 4, jossa on kuvattu ylhäältä käsin ensimmäistä antennikonfiguraatiota. Sampo S1 on RFID-lukija, johon muut Sampo S0 – lisäantennit ovat liitetty. Näiden SMA-kaapelit ovat kaivettu ajoradan ali, jotta ne eivät vaurioituisi yliajettaessa. RFID-laitteiden vieressä oleva laatikko kuvaa kyseisen laitteen numeron, eli mihin RFID-lukijan liittimeen se on kytketty. Sampojen kylkeen merkityt harmaat pallot kuvaavat ylhäältä päin pylviä, joihin lukijalaitteet oli kiinnitetty.

Sampo S1 –lukijaan on lisäantennien lisäksi liitetty Tosibox-etäyhteyslaite joka mahdollistaa laitteiden kommunikoinnin keskenään. Tosiboxiin on liitetty Raspberry Pi 2 Model B –tietokone jonka tehtävänä on päivittää tunnisteiden havainnot tietokantaan.

Ajorata on merkitty kuvaan oranssilla. Jokaisessa testissä ajoneuvolla ajettiin sen yli molempiin eri suuntiin. Kaikki sinisellä merkityt viivat ovat laitteiden välisiä kaapeleita. Vihreät aaltosulkeet ja sen vieressä näkyvät numerot ovat kuvaan merkityjä etäisyyksiä.



Kuva 4. 16.3. Antennikonfiguraatio 1.

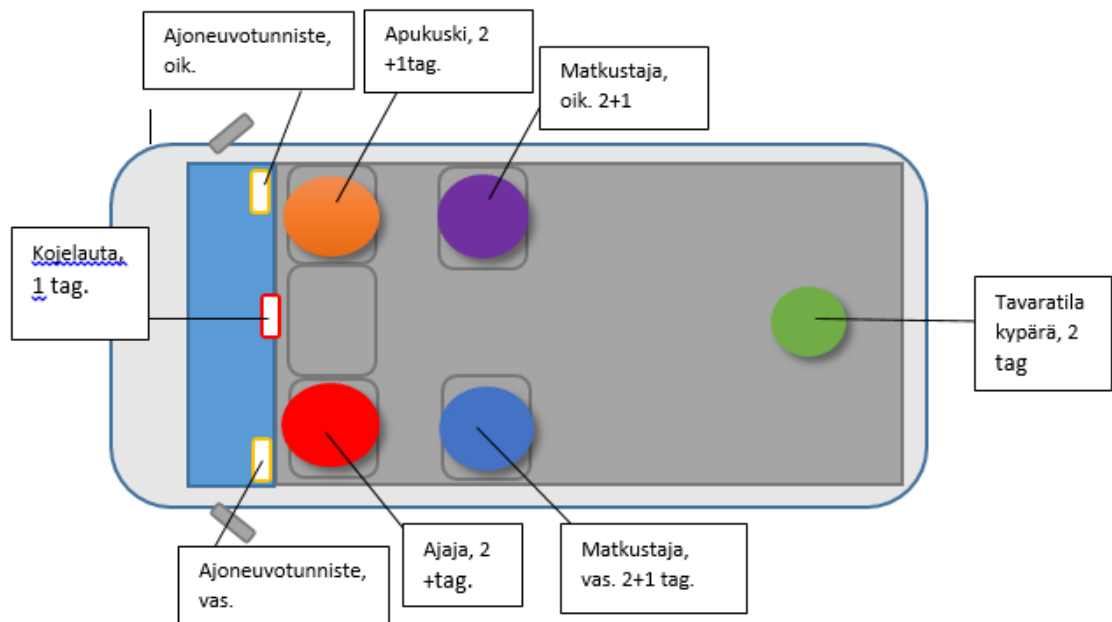
## 5.2 Ajoneuvomittaukset 12.4.2016

Toisen mittauspäivän tarkoituksena oli selvittää kuinka RFID-kokonaisjärjestelmä toimii suuremmalla tunnisteen määrällä. Toisena tavoitteena oli tarkastella kuinka luotettavasti henkilötunnistus toimii neljällä henkilöllä. Henkilötunnistuksella tässä tapauksessa tarkoitetaan tilannetta, jossa ohiajavan ajoneuvon sisällä olevista henkilöiden useista tunnisteista vähintään yksi on tunnistettu. Ensimmäisellä mittauskerralla henkilöitä oli autossa kaksi ja tunnisteita yhteensä yhdeksän. Pikkubussimittauksissa henkilöitä oli autossa neljä ja tunnisteita yhteensä 17.

Mittauspäivänä oli vuokrattuna Ford Transit -pikkubussi, jossa on kuljettajan lisäksi kahdeksan istuinpaikkaa. Kyseiseen ajoneuvoon päädyttiin sen koon ja yleisyyden takia. Testien aikana ajoneuvossa oli neljä henkilöä: ajaja, apukuski ja kaksi matkustajaa. Kaikilla henkilöillä oli työkypärä päässä, jossa oli kaksi RFID-tunnistetta. Henkilöiden kypärien lisäksi pikkubussin tavaratilassa sijaitsi yksi kypärä, jonka sisällä oli kaksi tunnistetta. Tämän tarkoituksena oli toimia vertailukohtana muihin kypäriin, jotka olivat henkilöiden päässä.

Kypärätunnisteiden lisäksi jokaisella henkilöllä oli henkilökortti, eli pankkikortin kokoinen RFID-tunniste. Pikkubussin RFID-tunnisteiden sijaintia havainnollistaa kuva 5. Mat-

kustajien tunnisteiden lisäksi autossa oli yhteensä kolme tunnistetta, kaksi kiinni tuulilasin nurkissa ja yksi kojelaudalla.

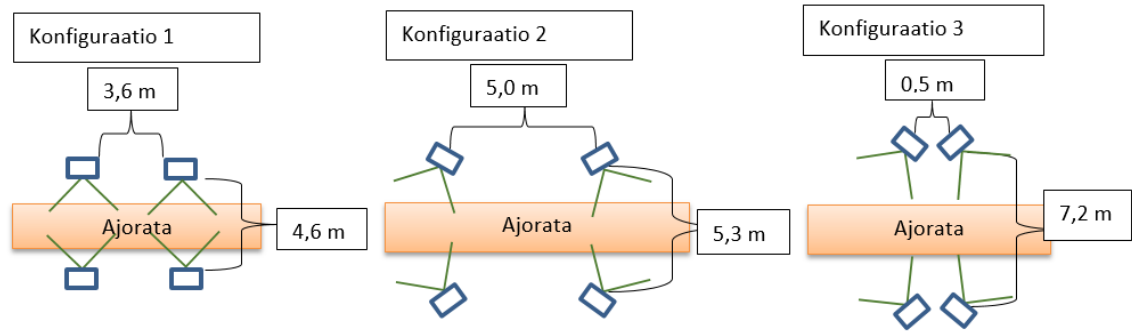


Kuva 5 - RFID-tunnisteet pikkubussissa.

### 5.2.1 Antennikonfiguraatiot

Päivän ajoneuvomittaukset rakentuivat kolmesta eri antennikonfiguraatiosta eli kolmesta erilaisesta RFID-lukijan ja kolmen lisäantennin sijoittelusta, josta kertoo kuva 6. Kuvaan merkityt siniset laatikot kuvaavat RFID-lukijalaitteita ylhäältä käsin. Vihreät keilat kuvaavat lukijalaitteiden lukualuetta, joka on jokaisella laitteella 80°. Näiden lisäksi kuvaan on merkitty lukijalaitteiden väliset etäisyydet.

Ensimmäinen sijoittelu oli samantyylinen kuin 16.3.2016 mittauksissa: ajoradan väliset lukijalaitteet kohtisuorassa toisiaan vasten. Tässä konfiguraatiossa ajoradan välisten lukijoiden etäisyys oli 4,6 metriä, kun vierekkäisten lukijoiden 3,6 metriä. Toisessa ja kolmannessa antennikonfiguraatiossa lukijalaitteita kallistettiin ulospäin, noin 30°.



Kuva 6. Antennikonfiguraatiot 1-3.

Toisessa antennikonfiguraatiossa lukijalaitteita levitettiin kauemmaksi toisiaan, ajoradan välisten lukijoiden oli etäisyys 5,3 metriä. Vierekkäisten lukijoiden etäisyys toisistaan oli 5,0 metriä. Samalla kaikkia lukijoita kallistettiin sivusuunnassa noin 30° ulospäin. Tämän tarkoituksena oli levittää antennien lukualuetta.

Viimeisen antennikonfiguraation ideana oli testata, kuinka lukijalaitteet toimivat käytännössä sijaitessaan hyvin lähellä toista lukijaa. Tällä ratkaisulla haluttiin jäljitellä tilannetta, jossa samaan pylvääseen kiinnitetään useita lukijalaitteita samaan pylvääseen. Lukijalaitteita kallistettiin ulospäin noin 30°. Viimeisessä konfiguraatiossa ajoradan välinen etäisyys maksimoitiin, lukijat olivat 7,2 metrin päässä toisistaan. Etäisyyttä rajoitti 10 metriä pitkä SMA-kaapeli, jonka piti kulkea RFID-lukijalta maata pitkin toiselle lukijalle. Vierekkäiset lukijat sijaitsivat 0,5 metrin päässä toisistaan.

### 5.2.2 Testit

Päivän aikana suoritettiin yhteensä 94 lukijoiden ohiajoa, kaikki samalla ajoneuvolla ja sen sisällä olevilla tunnisteilla. Testit ja nopeudet olivat samoja kaikilla kolmella antennikonfiguraatiolla, lukuun ottamatta 50km/h ohiajoja, jotka jäivät viimeisestä antennikonfiguraatiosta pois. Päivän mittausten testejä kuvaa taulukko 2.

Ensimmäisen testipäivän perusteella 30 km/h nopeus soveltui hyvin tähän tarkoitukseen, tämän vuoksi nopeudet valikoitiin sen molemmilta puolilta. Nopeuksia pohdittaessa piti miettiä käytännön tilannetta, 20 km/h – 40 km/h nopeuksilla voidaan ajaa rakennustyömaan sisäänkäynnistä.

Taulukko 2. 12.4 ajoneuvomittausten testit

Antennikonfiguraatio 1, 2 ja 3	
Nopeus	Ohiajot
20km/h	10
30km/h	10
40km/h	10
50km/h	2

## 6 AJONEUVOMITTAUSTEN TULOKSET

Ajoneuvomittausten jälkeen kävi ilmi tulosten tarkastelun olevan aikaa vievää työtä, verrattuna mittausten suorittamiseen. Molemmat mittauspäivät tuottivat yhteensä lähes 1500 riviä tietoja. Tulokset ovat jaettu kahteen eri osioon, 16.3.2016 ja 13.4.2016 mittauksiin. Tulokset tallentuivat Raspberry Pi 2 -tietokoneen Sqlite3-tietokantaan, josta ne tallennettiin taulukkomaiseen tekstitiedostoon eli csv-muotoon. Jälkimmäisen mittauspäivän osalta tilanne oli hieman erilainen. Raspberry Pi 2 tietokoneella oli Python-skripti, lukijaprosessin alkaessa se alkoi automaattisesti kirjoittaa csv-tiedostoon dataa.

Tulosten tarkastelu ja havainnollistaminen suoritettiin Microsoft Excel -ohjelmassa, josta kertoo kuva 6. Tulosten selvyuden vuoksi Excel-ohjelmassa käytettiin ehdollista muotoilua tag\_epc ja antenna -sarakkeille. Ehdollisen muotoilun avulla jokaiselle arvolle määritettiin oma väri, joka helpotti tuloksien analysointia. Yksittäisellä henkilöllä oli kaksi tunnistetta, tämän vuoksi jokaisen henkilön kaksi tunnistetta on värjätty samankaltaisiksi, esimerkiksi tumman- ja vaaleanpunainen kertovat yhdestä ja samasta henkilöstä. Henkilökortit ovat erotettu muista tunnisteista solujen punaisella reunaviivalla.

epoch_timestamp	YYYYmmddHHMMSS.nnnn	tag_epc	readerid	antenna	scaled_rssi
1460534901111	20160413080821.0111	E28011052000588B0F18027B	TESTREADER	0	12
1460534901861	20160413080821.0861	E200208079160266143086B3	TESTREADER	3	28
1460534901912	20160413080821.0912	E28011053000000000000CA4	TESTREADER	0	60
1460534901915	20160413080821.0915	E28011053000000000000CA8	TESTREADER	0	20
1460534901918	20160413080821.0918	E28011052000588B0F18027B	TESTREADER	0	28
1460534901921	20160413080821.0921	E28011052000588B0F18027B	TESTREADER	0	20
1460534902241	20160413080822.0241	E28011053000000000000CA3	TESTREADER	0	28
1460534902244	20160413080822.0244	E28011053000000000000CA4	TESTREADER	0	60
1460534902701	20160413080822.0701	E2003027031001351020B3E9	TESTREADER	2	60
1460534902891	20160413080822.0891	E28011053000000000000CA7	TESTREADER	1	20

Kuva 7. Mittausdataa Microsoft Excelissä.

Tarkastelemalla kuvaa 6 voidaan havaita mistä mittausdata rakentuu. Ääri vasemmalle sijaitsee aikaleima, jonka vieressä vuoden, kuukauden, päivän ja ajan merkintä. Tämän jälkeen tag\_epc-sarake, joka pitää sisällään havaitut tunnistet ja niiden yksilölliset arvot. Antenna-sarake kertoo mikä neljästä eri antennista on tehnyt havainnon, lukijan sisäinen antenni vai yksi kolmesta lisäantennista. Viimeisenä sarakkeena äärioikealla on scaled\_rssi-sarake, joka kertoo kuinka vahvasti lukija on havainnut tunnisteen.

## 6.1 Tulokset 16.3.2016

Ensimmäisten ajoneuvomittausten perusteella havaittiin RFID-lukijan sisäisen antennin huomattavasti suuremmat tunnistusmäärät, joista kertoo taulukko 1. Lukijoiden tai lisäantennien lukemia tunnisteita oli yhteensä 165 kappaletta, joista RFID-lukijan sisäinen antenni havaitsi 68. Voidaan havaita, että RFID-lukijan sisäinen antenni sai enemmän havaintoja kuin lisäantennit 1 ja 2 yhteensä.

Toisena huomionarvoisena asiana nousi ilmi ajoneuvokohtaiset erot. Pieni henkilöauto sai kaikilla nopeuksilla enemmän tunnistusten tunnistuksia, verrattuna pakettiautoon. Tätä voi selittää henkilöauton suurempi ikkunapinta-ala. Ajoneuvojen erot näkyvät myös taulukossa 3, jossa on havainnollistettu tunnistuksien jakaantumista eri antennien, nopeuksien ja ajoneuvojen kesken.

Viimeisenä havaintona todettiin havaintojen tippumisen nopeuden kasvaessa. Henkilöautolla ajonopeuden lisääminen 50 kilometriin tunnissa tunnistukset tippuivat seitsemällä. Toisin sanoen havainnot tippuivat 25,9% prosenttia, eli yli neljäsosan. Pakettiauton osalta pudotus oli huomattavasti suurempi. Havainnot tippuivat 7:lla havainnolla, eli 28 prosenttia.

Taulukko 3. 16.3.2016 ajoneuvomittausten antennien havainnot.

	Auto	Nopeus	Antenni				Testi, yht.
<b>Testi</b>			<b>0, sisäinen</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Testi 1	Pakettiauto	30km/h	6	5	6	8	25
Testi 2	Henkilöauto	30km/h	11	5	8	3	27
Testi 3	Henkilöauto	50km/h	9	2	6	3	20
Testi 4	Pakettiauto	50km/h	6	4	5	3	18
Testi 5	Pakettiauto	30km/h	18	5	11	3	37
Testi 6	Henkilöauto	30km/h	18	4	12	4	38
<b>Yht.</b>			<b>68</b>	<b>25</b>	<b>48</b>	<b>24</b>	<b>165</b>
<b>%</b>			<b>40,5%</b>	<b>15,2%</b>	<b>29,1%</b>	<b>14,6%</b>	

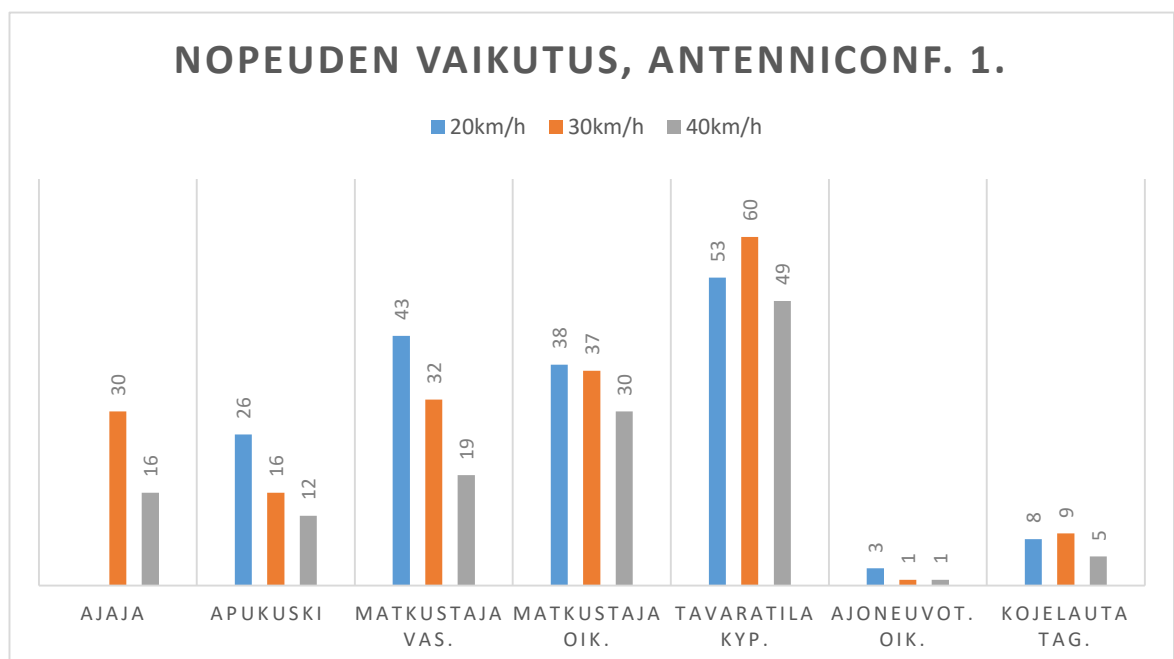


## 6.2 Tulokset 13.4.2016

Jälkimmäiset ajoneuvomittaukset olivat mittakaavaltaan suuremmat. Toimeksiantoyritykselle tärkein osa-alue on henkilötunnistus, joten siihen on perehdytty eniten. Tämän vuoksi tuloksiakin on tarkasteltu useilta näkökulmilta, jotka ovat seuraavat:

- Nopeuden vaikutus tunnistettavuuteen
- Antennikonfiguraatioiden erot
- Henkilötunnistus

Edellisen testipäivän mukaan ajonopeuden nostaminen vähentää tunnistusten määrää. Jälkimmäinen testipäivä noudattaa samaa linjaa. Tästä kertoo kuvio 1, jossa on havainnollistettu ensimmäisen antennikonfiguraation havaintomääriä eri nopeuksilla. Kuvio ei kerro ajajan 20km/h havaintoja, koska mittaustilanteessa henkilöltä puuttui kypärä. Muita henkilöitä tarkasteltaessa voidaan yksiselitteisesti todeta havaintomäärien vähenemisen nopeuden kasvaessa. Ainoa poikkeus on tavaratilan ja kojelaudan tunnistet. Näiden tunnistusmäärät kasvavat siirryttäessä 30 km/h -nopeudesta 40 km/h nopeuteen.



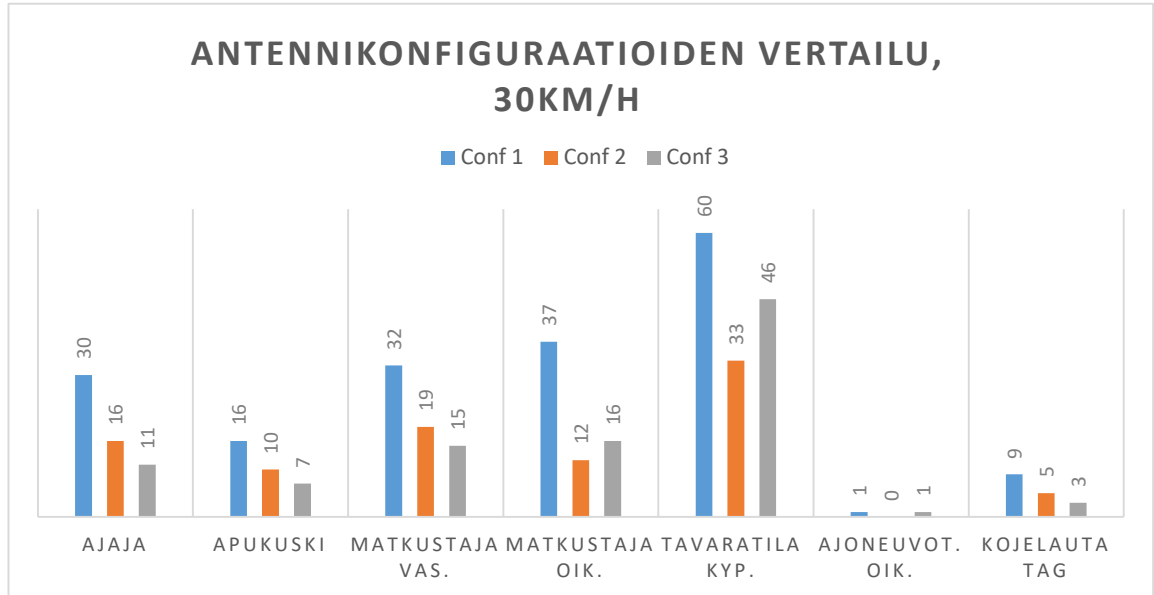
Kuvio 1. Nopeuden vaikutus tunnistettavuuteen.

Antennikonfiguraatioiden vertailuun valittiin yhden ajonopeuden testit kolmesta eri antennikonfiguraatiosta, nopeudeksi valittiin 30km/h. Näin ollen ohiajoja kertyi 10 kolmelta

eri antennikonfiguraatiolta, eli yhteensä 30 ohiajoa. Vertailussa on otettu huomioon pikubussissa istuneiden henkilöiden ja ajoneuvotunnisteiden tunnistusmäärät. Vertailusta kertoo

kuvio

1.



Kuvio 2. Antennikonfiguraatioiden vertailu, 30km/h nopeus.

Päivän mittaukset tuottivat yhteensä 1159 riviä dataa, joka jakaantuu kolmeen eri antennikonfiguraatioon taulukon 2 mukaisesti. Taulukon mukaan voidaan huomata ensimmäisen antennikonfiguraation suurin havaintomäärä. Toisessa ja kolmannessa konfiguraatiossa käytetty lukijoiden kallistus saa aikaan RFID-lukijan sisäisen antennin havaintomäärien lisääntymisen. Tähän saattaa vaikuttaa myös kasvanut etäisyys lukijalaitteiden ja ohiajavan ajoneuvon välillä. Toisessa ja kolmannessa konfiguraatiossa on huomattavasti suurempi lukijalaitteiden välinen etäisyys.

Taulukko 2. Havaintojen jakautuminen eri antennikonfiguraatioille kaikilla nopeuksilla

Antennikonfiguraatio 1			Antennikonfiguraatio 2		
Antenni	Määrä	%	Antenni	Määrä	%
#0	294	52,5 %	#0	232	73,7 %
#1	31	5,5 %	#1	12	3,8 %
#2	87	15,5 %	#2	23	7,3 %
#3	149	26,6 %	#3	48	15,2 %
<b>Yht.</b>	<b>560</b>	<b>100 %</b>	<b>Yht.</b>	<b>315</b>	<b>100 %</b>
<b>Antennikonfiguraatio 3</b>					
Antenni	Määrä	%			
#0	223	78,5 %			
#1	5	1,8 %			
#2	9	3,2 %			
#3	47	16,6 %			
<b>Yht.</b>	<b>284</b>	<b>100 %</b>			

Kuvio 3. Havaintojen jakaantuminen eri antennikonfiguraatioille.

### 6.3 Henkilötunnistus

Henkilötunnistuksella tässä tilanteessa tarkoitetaan yhden tai useamman henkilössä kiinni olevan RFID-tunnisteen lukemisen RFID-lukijalla tai lisäantennilla. Käytännössä henkilötunnistus perustuu siihen, että havaitun tunnisteen yksilöllinen numero voidaan yhdistää tiettyyn autossa istuneeseen henkilöön. Tässä tilanteessa tunnisteita oli jokaisella yhteensä kolme, kaksi tarratunnistetta kypärässä ja yksi korttimallinen RFID-tunniste taulukon 4 osoittamassa paikassa.

Taulukko 4 kertoo henkilötunnistuksesta antennikonfiguraatiolla 1, nopeudella 30 km/h. Taulukossa on havainnollistettu kuinka monta kertaa yksittäisen matkustajan RFID-tunnisteet ovat havaittu eri testeissä eli ajoissa. Taulukko rakentuu ajoihin, eli kahteen yksittäiseen lukijoiden ohiajoon. Pystysarakkeella on henkilö, tai tunnisteen sijainti autossa. Tunnistukset-sarake kertoo kyseisen matkustajan kaikkien ajojen yhteenlasketut havainnot. Pystysarakkeen Havainnot yht.- rivin arvot kertovat jokaisen ajon yhteenlasketut havaintomäärät, jokaisen matkustajan kesken.

Taulukko 5 havainnollistaa henkilötunnistusta samalla tavalla, mutta nopeus on nostettu 40 km/h -lukemaan. 40 km/h nopeudella ainoastaan vasemmanpuoleinen matkustaja ja tavaratilan kypärä pysyy 100% tunnistustarkkuudella.

Tunnistus% -sarake kuvaa kuinka monta kertaa henkilö on havaittu yhteensä kymmenestä ohiajosta. Jos henkilö on havaittu jokaisella ohiajolla ainakin kerran, tällöin henkilön tunnistusprosentti on 100%. Otetaan esimerkiksi Kojelauta-rivi, jossa on kojelaudan tunnisteiden havaintomäärät. Tätä tunnistetta ei havaittu neljällä ohiajokerralla ollenkaan, joten tunnistusprosentiksi saadaan 60%

Soluihin on annettu kaksi eri arvoa, jotka on erotettu pilkulla. Nämä ovat yksittäisiä ohiajoja, eli jokainen ajo koostuu kahdesta yksittäisestä ohiajosta. Voidaan havaita arvojen poikkeavan toisistaan, tämä todennäköisesti johtuu RFID-lukijalaitteista ja niiden välisistä eroista. Aiemmin havaittiin RFID-lukijan oman antennin saavan eniten havainnot. Jos tarkastellaan ohiajoja yhden henkilön näkökulmasta, toisessa ajosuunnassa henkilö on kauempana antennista 0, verrattuna toiseen ajosuuntaan.

Taulukko 4. Henkilötunnistus, 30 km/h.

30 km/h, Conf 1.	Ajo 1	Ajo 2	Ajo 3	Ajo 4	Ajo 5	Tunnistukset	Tunnistus%
Ajaja	4, 3	1, 3	4, 3	4, 2	3, 3	30	100%
Apukuski	1, 1	4, 1	1, 2	2, 1	2, 1	16	100%
Matkustaja, vas	3, 4	5, 2	2, 2	5, 4	4, 1	32	100%
Matkustaja, oik	2, 4	4, 5	3, 4	5, 2	4, 4	37	100%
Tavaratila kyp.	7, 5	4, 1	9, 5	12, 4	7, 6	60	100%
Ajoneuvot. oik.	-	-	0, 1	-	-	1	10%
Kojelauta	2, 0	1, 1	3, 0	0, 1	1, 0	9	60%
Havainnot yht.	44	37	45	46	44		

Taulukko 5. Henkilötunnistus, 40 km/h.

40 km/h, Conf 1	Ajo 1	Ajo 2	Ajo 3	Ajo 4	Ajo 5	Tunnistukset	Tunnistus%
Ajaja	1, 0	1, 1	5, 1	2, 3	2, 0	16	80%
Apukuski	0, 1	1, 0	2, 2	2, 0	2, 2	12	70%
Matkustaja, vas	2, 1	2, 1	1, 1	2, 2	4, 3	19	100%
Matkustaja, oik	3, 0	4, 3	5, 1	4, 3	3, 4	30	90%
Tavaratila kyp.	4, 2	6, 4	6, 3	8, 5	6, 5	49	100%
Ajoneuvot. oik.	-	-	-	-	1, 0	1	
Kojelauta	-	0, 1	0, 1	2, 1	-	5	40%
Havainnot yht.	16	26	31	38	29		

## Henkilökorttien tunnistus

Koko mittauspäivän havainnoista 84 olivat henkilökorteista, joita ei ollut 16.3.2016 mittauksissa. Henkilökorttien tunnistuksesta kertoo taulukko 6, jossa on taulukoituna Määrä-sarakkeelle koko päivän henkilökorttihavainnot. Viimeisellä rivillä on henkilökorttien osuus prosentteina päivän muista havainnoista. Voidaan todeta tunnistuksen olevan erittäin vaihtelevaa riippuen henkilökortin sijainnista. Kolme kertaa henkilökortti oli ainoa tunnistete, josta yksittäinen ajoneuvossa istuva henkilö tunnistettiin.

Taulukko 6. Korttitunnisteiden tunnistusmäärät ja sijainnit.

Henkilö	Määrä	Korttitunnisteen sijainti
Ajaja	0	Takin povitasku
Apukuski	13	Flanellipaidan rintatasku
Matkustaja, vas.	43	Nippusiteellä vetoketjussa
Matkustaja oik.	28	Nippusiteellä vetoketjussa
<b>Yht</b>	<b>84</b>	
<b>%</b>	<b>7,3%</b>	

## Yhteenveto 13.4.2016 tuloksista

Mittausten perusteella tehtiin useita päätelmiä. Ensimmäinen asia on ajoneuvotunnisteiden huono luettavuus auton tuulilasin yläkulmissa. Vasemmanpuoleista ajoneuvotunnistetta ei havaittu päivän aikana kertaakaan. Sen sijaan oikeanpuoleista ajoneuvotunnistetta havaittiin vain kuusi kertaa. Tästä voidaan päätellä tuulilasin ylänurkkien olevan huono ajoneuvotunnisteiden sijoituspaikka.

Autossa istuneiden henkilöiden tunnistettavuudessa oli eroja. Etupenkillä istuneet havaittiin heikommin kuin takapenkillä istuneet, tämä saattaa johtua pikkubussin keulan kaarevasta muodosta. Tätä teoriaa tukee kuljettajan selän takana oleva tila, joka on suorakulmainen. Tässä tilassa istuivat molemmat matkustajat.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli luoda selkeä kuva suoritetuista ajoneuvomittauksista. Työn tarkoitus oli testata ja dokumentoida suoritettuja ajoneuvomittauksia. Opinnäytetyö on testaus-pohjainen, joten tekstin mukana on paljon selventäviä kuvia. Työn tarkoitus oli keskittyä enemmän ajoneuvomittauksiin, kuin RFID-tekniikkaan. Suuri syy tähän on RFID:n valtava internetistä löytyvä tietomäärä. Hakusanalla RFID löytyy Google-hakukoneella 64,9 miljoonaa hakutulosta. Tästä syystä koin tärkeämmäksi perehtyä enemmän suoritettuihin ajoneuvomittauksiin, kuin RFID-tekniikkaan. Tämän lisäksi tarkoitus oli tuoda esille havaintoja käytetystä laitteistosta, ajoneuvoista ja erilaisista antennikuvioista.

Ajoneuvomittaukset kokonaisuudessaan, tarkoittaen ajoneuvomittausten suunnittelua, toteutusta ja dokumentointia oli prosessina johdonmukainen ja se onnistui kaiken kaikkiaan hyvin. Suurin osa työn aikataulusta kului mittausdatan läpikäymiseen ja opinnäytetyön kirjoitustyöhön. Toimeksiantoyritykselle luovutettiin raportit molemmista ajoneuvomittauksista erikseen. Yritys oli tyytyväinen saatuihin tuloksiin.

### 7.1 Tulokset ja päätelmät

Työn tulokset olivat osittain odotettavissa. Työn päätuloksena todetaan kuinka tunnistaiden havaitsemismäärät laskevat ajoneuvon nopeuden kasvaessa. Suoritettujen testien perusteella hitain, eli 20 kilometrin tuntivauhdilla ajaminen sai aikaan eniten havaintoja. Henkilötunnistuksessa 20 km/h nopeus oli varmin. Vastaavasti 30 ja 40 km/h -nopeuksilla havainnot vähenivät ja henkilötunnistustarkkuus tippui. Suoritettut testit todistivat ajonopeuden noston negatiivisen vaikutuksen havaintojen määrään.

Ensimmäisissä mittauksissa tuli nopeasti selville RFID-lukijan sisäisen antennin suuret havaintomäärät. Tästä päästään pohtimaan kolmen lisäantennin ja yhden RFID-lukijan tarpeellisuutta. Heikoimmillaan yksittäinen RFID-lukijalaite sai vain 1,8% havainnoista. Vastaavanlainen testijärjestelmä voisi olla kokeilemisen arvoinen vain kahdella RFID-lukijalaitteella. Kahden RFID-lukijalaitteen järjestelmällä oikeassa tilanteessa

Suoritettujen testien perusteella myös autossa istuneiden henkilöiden sijainnilla on vaikutusta. Jälkimmäisten ajoneuvomittausten perusteella kaksi matkustajaa pikkubussin

takapenkillä saivat enemmän havaintoja. Nämä kaksi matkustajaa saivat henkilötunnistuksessa myös paremmat tunnistustarkkuustulokset.

Suorakulmanmuotoinen antennien sijoittelu oli antennikonfiguraatioista paras. Tähän kylläkin vaikuttaa RFID-lukijalaitteiden pienempi etäisyys toisistaan. Tarkemmin ottaen ajoneuvoilla ajettiin lukijalaitteita lähempää verrattuna muihin konfiguraatioihin. Eri antennikuvioilla oli tarkoitus kokeilla käytetyn RFID-laitteiston ja ohjelmiston suoriutumista erilaisista tilanteista.

Henkilökorttien tunnistaminen henkilön rintataskusta toimi testaushetkellä vaihtelevasti. Korttitunnisteen sijainnilla on paljon merkitystä. Päälystakin povitaskusta ei saatu havaintoja. Sen sijaan kauluspaidan rintataskusta saatiin 13 havaintoa. Korttitunnisteen roikkuessa takin vetoketjusta, saatiin selvästi parhaita tuloksia. Tällä tavalla havaintoja saatiin yhdellä matkustajalla 43 ja toisella matkustajalla 28.

## 7.2 Loppusanat

Opinnäytetyöprosessi kokonaisuudessaan oli mieleinen ja opin siitä paljon. Aikaisempi tietämys RFID:stä ja ylipäätään testauksesta oli vähäinen. Opinnäytetyö toimeksiantona toi työlle hyvän tarkoitusperän. Työn käytännönläheisyys oli avuksi opinnäytetyötä tehdessä ja tämä teki työn suorittamisesta mukavaa. Käytännön testien suorittaminen ja tuloksien vertailu keskenään osoittautuivat mielenkiintoiseksi.

Ajoneuvomittaukset kokonaisuutena onnistuivat hyvin ja niistä saatiin haluttuja tuloksia. Ajoneuvomittaukset alusta loppuun onnistuivat lähes aikataulun mukaisesti. Keskeinen ajoneuvomittausten tarkoitus oli testata valittua RFID-laitteistoa tunnisteiden havaitsemisesta liikkuvasta ajoneuvosta. Testaustilanteista saatiin hyvät muistiinpanot ja myöhemmin muutama erillinen raportti ja viimeisenä tämä opinnäytetyö.

Jälkikäteen ajateltuna olisi ollut järkevä ottaa enemmän toistoja testeihin, jolla olisi saatu vielä enemmän luotettavuutta tuloksiin. Tällä tarkoitan yksittäisten ohiajojen lukumäärien kasvattamista, jotka olivat tällä kertaa 10 ohiajoa yhtä ajonopeutta kohden. Tämä lukema olisi voinut olla korkeampi, esimerkiksi 20 tai 30 ohiajoa yhtä ajonopeutta kohden.

Toinen kehittämisidea olisi henkilökorttien luettavuuden laajempi testaus. Rakennusalalla yleinen tapa on pitää henkilökorttia läpinäkyvässä muovitaskussa. Testeihin olisi

voinut ottaa mukaan työtakkeja, joissa on läpinäkyvä tasku henkilökortille. Näin olisi voinut verrata kuinka henkilökortit voidaan lukea jo yleisesti käytössä olevasta paikasta eli muovisesta korttitaskusta. Kaikki asiakohdat huomioiden sain mielestäni luotua hyvän kokonaisuuden RFID-tekniikan ja käytännön testitilanteiden eli RFID-mittausten välillä.



## LÄHTEET

- Abbott-Jard, M; Shah, H; Bhaskar, A. Empirical evaluation of Bluetooth and Wifi scanning for road transport. 2013. Brisbane. Queensland Univ. of Technology.
- Bhaskar, A.; Qu, M.; Chung, E. Bluetooth Vehicle Trajectory by Fusing Bluetooth and Loops: Motorway Travel Time Statistics. 2015. Brisbane. Queensland Univ. of Technology.
- Fidera Oy. Viitattu 4.4.2016. <http://fidera.fi/fidera-oy/>.
- Lehpamer, H. 2007. RFID Design Principles. Boston. Artech House Publishers.
- Lehpamer, H. 2012. RFID Design Principles. Boston. Artech House Publishers.
- NordicID. 2016. Viitattu 27.4.2016. [http://www.nordicid.com/static/images/products/nordic\\_id\\_sampo\\_s1\\_rfid.png](http://www.nordicid.com/static/images/products/nordic_id_sampo_s1_rfid.png).
- Poirier, C; McCollum, D. 2014. RFID Strategic Implementation and ROI: A Practical Roadmap To Success. Fort Lauderdale. J. Ross Publishing Inc.
- RFID Lab Finland Ry. 2016a. Viitattu 18.11.2016. <http://www.rfidlab.fi/rfid-teknologia/mita-on-rfid/>
- RFID Lab Finland Ry. 2016b. Viitattu 3.4.2016. [http://www.rfidlab.fi/index.php?q=system/files/sites/rfidlab.fi/files/jarjestelma\\_0.preview.png](http://www.rfidlab.fi/index.php?q=system/files/sites/rfidlab.fi/files/jarjestelma_0.preview.png).
- RFIDLab Finland Ry. Viitattu 27.4.2016. <http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniiikan-perusteet>.
- Rida, A.; Yang, L.; Tentzeris, M. 2010. Boston. Artech House Publishers.
- SQLite. Viitattu 14.11.2016. <https://sqlite.org/mostdeployed.html>.
- SSH. Viitattu 14.11.2016. <https://www.ssh.com/products/universal-ssh-key-manager/>.
- Zoto, J.; La, R.; Hamedi, M.; Haghani, A. 2012. Quebec. Vehicular Technology Conference, IEEE.