

Toivo Kärkinen

# REAALIAIKAISEN PAIKANNUKSEN INVESTOINTIKELPOISUUS LOGISTIIKASSA

Opinnäytetyö  
Logistiikan koulutusohjelma

2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Toivo Kärkinen	Insinööri (AMK)	Joulukuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Reaaliaikaisen paikannuksen investointikelpoisuus logistiikassa		33 sivua 0 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Ei toimeksiantajaa		
<b>Ohjaaja</b>		
Heikkinen Juhani		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tutkielman tavoitteena oli selvittää, voiko yksittäinen logistiikkaketjun toimija kannattavasti ottaa käyttöön radiotaajuiseen tunnistukseen (RFID) perustuvan reaaliaikaisen paikannusmenetelmän (RTLS).</p> <p>Tutkimuksessa yritettiin löytää riittävän tarkka ja luotettava tekninen ratkaisu, joka mahdollistaisi tavaravirran paikannuksen reaaliaikaisena varastossa ja terminaalissa. Edelleen ratkaisun investointikelpoisuutta yritettiin selvittää laskemalla sille sitoutuneen pääoman tuotto (ROI) ja takaisinmaksuaika.</p> <p>Vastaavaa teknistä mallia tutkitaan laajasti eri maiden yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa. Useat näistä tutkimuksista toteutetaan kuitenkin laboratorio-olosuhteissa ja rajallisella tunnistemäärällä. Myös yrityksissä aihetta pilotoidaan, mutta näistä on harvoin tarkkoja teknisiä kuvauksia tai tuloksia saatavilla julkisuuteen.</p> <p>On selvää, että oikea tieto tehostaa logistiikkaa ja säästää toimijoiden resursseja. Tutkimuksen aikana ei kuitenkaan tämän säästön määrää saatu selvitettyä. Suurimpana esteenä oli testauksen, pilotoinnin ja haastattelujen epäonnistuminen.</p> <p>Tuloksena, joka perustuu suurelta osin kirjallisiin lähteisiin, päätelmäksi saatiin, ettei RFID-tekniikalla vielä nykyisin kyetä paikantamaan useita liikkuvia tunnisteita olosuhteissa, joissa metallien tai nesteiden läsnäoloa ja vaikutusta radiosignaalin kulkuun ei voida ennakoida. Suurimmaksi esteeksi muodostui monitie-etenemisen aiheuttama virhe niin signaalin voimakkuuden kuin saapumiskulman mittaamisessa.</p> <p>Mahdollinen jatkotutkimuksen aihe on, voisiko jokin logistiikkaketju yhdessä löytää kustannusten ja tuottojen jaon sekä mallin, jolla tarkkuuteen liittyvät puutteet eivät estä hyötyjen realisoitumista. Myös ultraleveän taajuuskaistan käyttö voi mahdollistaa teknisen ratkaisun.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Reaaliaikaisuus, paikannus, RFID, varasto, terminaalit, investoinnit, tuotto, kustannukset		

Author (authors)	Degree	Time
Toivo Kärkinen	Bachelor of Engineering (IAS)	December 2017
<b>Thesis Title</b>		
The possibility of investment in Real-Time Location System in Logistics		33 pages 0 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
none		
<b>Supervisor</b>		
Heikkinen Juhani, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>The aim of the study was to find out whether a single operator in a logistics chain could profitably implement a Real-Time Location System (RTLS) based on Radio Frequency Identification (RFID).</p>		
<p>The research attempted to find a sufficiently accurate and reliable technical solution that would allow the flow of goods to be tracked in real-time in a stock or terminal. Further, attempts were made to settle the investment's eligibility by calculating its Return of Investment (ROI) and repayment period.</p>		
<p>Similar technical models are widely studied in universities and universities of applied sciences from different countries. However, many of these studies are carried out under laboratory conditions and using a limited number of tags. There have also been pilots in several companies but rarely accurate technical descriptions or results are available to the public.</p>		
<p>It is clear that the right information will enhance logistics and save the resources of the operators. However, during this study, the amount of the savings could not be determined. The biggest challenge was the failure of testing, piloting and interviews.</p>		
<p>As a result, largely based on written sources, it was concluded that RFID technology is still unable to locate multiple moving tags at present time under conditions where the presence and impact of metals or liquids on the radio signal can be anticipated. The biggest obstacle was the error caused by the multipath propagation to measure the signal strength and the arrival angle.</p>		
<p>A possible further research topic is whether one logistics chain could achieve cost and revenue distribution as well as a model where the shortcomings of precision allow the realization of benefits. Also, the use of the ultrawide band may give a technical solution.</p>		
<b>Keywords</b>		
Real-Time Location, RFID, Storage, Terminals, Investments, Revenue, Costs		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	7
2.1	Logistiikan toimijat .....	7
2.2	Tullivarasto ja muut käyttökohteet .....	8
2.3	Oikea tieto logistiikassa .....	9
2.4	Radiotaajuustunnistus RFID .....	9
2.5	Paikannus.....	11
2.6	Reaaliaikainen paikannusmenetelmä RTLS .....	13
2.7	Tarkkuus ja luotettavuus.....	13
2.8	Sitoutuneen pääoman tuotto ROI ja takaisinmaksuaika .....	14
3	TUTKIMUKSEN KUVAUS .....	15
3.1	Käytännön tutkimuksen toteutuminen.....	16
3.2	Haastattelut .....	17
4	RATKAISUMALLI .....	18
4.1	Mallin valinta .....	18
4.1.1	Paikantaminen mittauksen perusteella .....	19
4.1.2	Paikantaminen vertailulla .....	21
4.1.3	Paikantaminen lukijan sijainnilla .....	22
4.1.4	Mittaustekniikan haasteet .....	22
4.1.5	Muita mahdollisia teknisiä ratkaisuja.....	23
4.1.6	Laite- ja olosuhdevaatimukset tekniikan käytölle .....	24
4.2	Ratkaisun hyödyntäminen .....	25
4.2.1	Varaston tilankäyttö .....	26
4.2.2	Inventointi .....	26
4.2.3	Tavaran luovuttaminen .....	27
4.3	Investointilaskelma ja kustannusrakenne .....	27
4.4	Ratkaisun tuotot ja investoinnin takaisinmaksu .....	28

4.5	Luotettavuus .....	29
4.6	Testaus.....	31
4.7	Kehitystarpeet.....	31
5	TULOSTEN RAPORTOINTI JA PÄÄTELMÄT.....	32
5.1	Haastattelujen tuloksien arviointi/tulkinta .....	32
5.2	Ratkaisumallin toimivuuden ja käyttökelpoisuuden arviointi .....	33
5.3	Laskelmien paikkansapitävyyden arviointi .....	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	34
6.1	Jatkotutkimukset.....	35
	LÄHTEET.....	36

## 1 JOHDANTO

Logistiikassa tulos tehdään yleisesti tehokkuuden avulla. Mitä vähemmällä resursseilla tavaravirta saadaan valmistuksesta kuluttajalle, sitä kannattavampaa toiminta on. Jotta toimintaa voidaan tehostaa, on tiedettävä mitä prosessissa tapahtuu ja mitkä ovat toiminnan pullonkaulat. Varaston ja terminaalin tavaravirran analysoinnissa reaaliaikainen paikannuksen käyttö mahdollistaisi tietoon pohjautuvan ohjauksen kehittämisen.

Viimeisinä vuosikymmeninä on odotettu, että RFID eli radiotaajuinen tunnistus löisi itsensä läpi ja korvaisi tunnistusmenetelmänä viivakoodin. Tärkeimpinä etuina RFID:lle pidetään automaatiota, lukunopeutta ja sitä, ettei se vaadi näköyhteyttä lukijalaitteen ja tunnisteen välillä. Lisämahdollisuutena tämän tekniikan hyödyntämiselle on esitetty paikannusta. Läpimurtoa on viivästyttänyt standardien kehittymättömyys, mutta myös se, miten kustannukset ja hyödyt toimitusketjussa jakaantuisivat eri toimijoiden kesken, mikäli RFID otettaisiin käyttöön.

Tutkimustehtävänä on selvittää voisiko RFID:n ja reaaliaikaisen paikannuksen (RTLS) avulla helpottaa inventaarion ylläpitoa, joustavoittaa ja tehostaa varaston ja terminaalin tilankäyttöä, sekä varmistaa tavaroiden oikea tunnistus luovutustilanteessa. Tutkimuksen pääongelmana on, missä olosuhteissa ja millä teknisellä ratkaisulla saataisiin luotettava, tarkka ja kustannustehokas järjestelmä, jotta logistiikkaketjun yksittäisenkin toimijan kannattaisi implementoida se. Alaongelmana on selvittää, onko tekniikka riittävän luotettavaa viranomaisnäkökulmasta esimerkiksi tullaamattoman tavaran valvontaan vapaavarastossa.

Tehtävän ratkaisemiseksi selvitetään, mitä vaihtoehtoja ratkaisuille olisi. Ratkaisuja pyritään vertaamaan sekä ominaisuuksiltaan, kuten luotettavuuden ja tarkkuuden suhteen, mutta myös kustannuksien suhteen. Tavoite olisi, että tutkimuksessa selviäisi aiheen tekniset mahdollisuudet ja haasteet, laitteille asetettavat vaatimukset, perusprosessimalli ja investointilaskelmat sekä sijoitetun pääoman tuotto.

## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Viimeiset vuosikymmenet radiotaajuustunnistuksen (RFID, *Radio Frequency Identification*) on odotettu lyövän itsensä läpi viivakoodin korvaajana ja materiaalivirran kirjauksien menetelmänä (Poirier & McCollum 2006, 35). Suurimpana etuna viivakoodiin nähden on, ettei RFID-lukija vaadi näköyhteyttä tunnistamiseen, sen automaattinen ja huomattavasti korkeampi lukunopeus useiden tunnistajien tapauksessa (Sanghera 2006, 15). Lisäksi tunnistamisen tarkkuus voidaan viedä tuotenimikkeen tasolta tuoteyksikön tasolle. Suurimpana esteenä on pidetty tunnisteen korkeampaa hintaa (Ayoade 2011, 93).

Oikea reaaliaikainen tieto on välttämättömyys tehokkaalle logistiikalle ja onnistuneelle asiakaspalvelulle. RFID voidaan laajentaa sisäpaikannusjärjestelmäksi, jolloin voidaan automaattisesti paikallistaa jokainen varastossa oleva tuote. Hyötyjä voidaan saavuttaa varastoinventaarin ylläpitämisessä, varastoimis- ja keräystoimintojen tehostuksessa ja virheiden havaitsemisesta niiden estämiseen. Koko ketjun läpinäkyvyydestä tulee tekijä, joka erottaa menestyvät putoajista. (Poirier & McCollum 2006, 43).

Ratkaistessaan toteutetaanko jokin hankinta, on yrityksen johdolla useita menetelmiä, joilla arvioida sen investointikelpoisuutta. Eräs menetelmä on sijoitetun pääoman tuotto (ROI, *Return of Investment*). Mitä korkeampi ROI, sitä helpompi yrityksen on löytää investoinnin tekemiseen tarvittava rahoitus. Tuotot voivat syntyä uuden tai lisääntyneen myynnin kautta, mutta usein kyse on menetelmän käytön avulla saavutetusta resurssien säästöstä tai virhekustannusten pienenemisestä. (Knüpfer & Puttonen 2014, 109).

### 2.1 Logistiikan toimijat

Jotta ihmisen monipuoliset tarpeet tulisivat tyydytettyä, kuluttaa hän mitä erilaisempia tuotteita. Tämän mahdollistamiseksi tarvitaan materiaali-, informaatio-, pääoma- ja kierrätysvirtoja, joiden ohjaamista kutsutaan logistiikaksi.

Tämän opinnäytetyön päämäärä on logistiikan informaatiovirran kehittäminen. Tarkoitus on luoda mahdollisuudet logistisen ketjun tehostamiseen keräämällä enemmän ja yksityiskohtaisempaa tietoa ohjattavasta materiaalivirrasta. Tämä saavutetaan tunnistamalla yksittäinen tuote ja sen sijaintipaikka yksittäisellä

tapahtumahetkellä, reaaliaikaisesti valvomalla prosessin virheettömyyttä ja tehokkuutta näin kerättyjä tietoja analysoimalla. Investoinnin järjestelmään tekee kannattavaksi tiedon perusteella tehtyjen prosessien muutoksien tuomat säästöt resursseissa ja toisaalta parantuneen asiakaspalvelun ja asiakastyytyvyyden tuoma lisämyynti.

Monen raaka-aineen lähteenä on luonto, josta alkutuottaja kerää niitä valmistuksen materiaaleiksi. Valmistaja yhdistää useat raaka-aineet tuotteiksi tai erilaisiksi puolivalmisteiksi. Kun valmistus usein sijoittuu lähelle raaka-ainelähteitä tai muita tarvittavia resursseja, jakaantuu kulutus sekä maantieteellisesti että ajallisesti hyvinkin laajalle. Tämän vuoksi valmistusta ja kulutusta yhdistävä logistinen ketju koostuu erilaisista kaupallisista osapuolista sekä niiden välillä olevista kuljetusta ja välivarastointia hoitavista palveluyrityksistä.

Myös kuljetus eri toimijoiden välillä on usein monista osista muodostuva ketju. Lähettävässä roolissa olevaa toimijaa kutsutaan toimittajaksi ja useimmiten tältä lähtee samalla kertaa lähetyksiä useille eri vastaanottajille. Tällainen kuljetuksen osa on noutokuljetus. Se päättyy usein terminaaliin, jossa lähetykset lajitellaan ja yhdistetään runkokuljetuksiksi eri terminaalien välillä. Määräterminaaleissa lähetykset jälleen lajitellaan ja niistä muodostetaan jakelukuormia, joissa yhdistetään saman paikallisalueen vastaanottajien lähetykset, jotka toimitetaan näin kerralla kullekin vastaanottajalle.

Osakuormia käsiteltäessä asiakkailta ja terminaaleissa tapahtuvien tavaroiden lajitteluiden haaste on eri lähetyksiin kuuluvien tavarakollien nopea ja luotettava tunnistaminen ja käsittelykertojen minimointi, jolloin paitsi säästetään resursseja, niin vähennetään olennaisesti tavarahan vahingoittumisen tai katoamisen riskiä.

## **2.2 Tullivarasto ja muut käyttökohteet**

Valmistuksen tai hankinnan ja kulutuksen välistä aikaeroa hallitaan varastoilla, joihin sitoutuu pääomaa. Tämä aiheuttaa toiminnalle korkokustannuksen. Yhteiskunta kerää kulutuksesta veroja, kuten valmiste- ja arvonlisäveroja. Lisäksi kotimaisen tuotannon kilpailukykyisyyden turvaamiseksi on voitu ulkomaisille tuotteille asettaa kauppasopimusten puitteissa tuontitulleja. Tuontitavaroiden



kohdalta nämä maksut peritään yleensä siinä vaiheessa, kun tavara tuodaan maahan. On kuitenkin mahdollista varastoida tavara tullin valvonnassa erityiseen tullivarastoon, jolloin tavaraerää ei katsota vielä maahantuoduksi, vaan verot ja tullit peritään vasta, kun tavara otetaan tästä varastosta vapaaseen liikenteeseen. Näin korkokustannus näiden kulujen osalta jää syntymättä varastoon panon ja varastosta oton väliseksi ajaksi.

Tullivarastossa kuluja syntyy tavaroiden valvonnasta sekä kaikesta tavarankäsittelystä. Käsittelyssä tapahtuneet virheet, kuten väärän tavarankäsittely, voivat myös johtaa tullisakkoihin. Virheiden ja niiden seurausten minimoimiseksi vaatii tullivaraston pitäjältä erityistä huolellisuutta ja nostaa siksi tullivaraston kustannuksia normaaliin varastoon verrattuna.

### **2.3 Oikea tieto logistiikassa**

Logistiikkaa opettaessa usein korostetaan, että tavoiteltavaa on, että tavaraa on oikeassa paikassa, oikeaan aikaan, oikea määrä ja oikeassa kunnossa. Tätä pyritään toteuttamaan esimerkiksi tuotantoa ohjattaessa JIT-menetelmällä (Pouri 1997, 97). JIT tulee englannin kielen sanoista Just In Time eli juuri oikeaan aikaan. Korostaisin kuitenkin informaation merkitystä. Kun käytettävissä on oikea ja reaaliaikainen tieto tilanteesta, voidaan ryhtyä oikeisiin toimenpiteisiin halutun päämäärän saavuttamiseksi. Jos tilannetta ei tiedetä, joudutaan siitä ottamaan selvää, tekemään kyselyjä, odottamaan vastauksia ja hukataan paitsi selvittelyyn käytetyt resurssit, myös niihin kulunut aika, jolloin tilanteen korjaaminen halutuksi viivästyy, eikä ehkä enää ole mahdollista ajoissa.

### **2.4 Radiotaajuustunnistus RFID**

Ihmisen kerätessä tai siirtäessä tietoa, on aina mahdollista, että jokin osuus tiedosta kirjautuu virheellisenä (Pouri 1997, 212). Tätä virhettä voidaan pienentää automaattisilla menetelmillä, kuten viivakoodia käyttämällä. RFID:n etu esimerkiksi viivakoodiin nähden on lukuvarmuus ja -nopeus varsinkin haastavissa olosuhteissa (Ayoade 2011, 94). Viivakoodi on alttiina likaantumiselle ja vaatii aina näköyhteyden lukijan ja koodin välille. RFID sen sijaan pystyy luke-

maan useimpien esteiden läpi ja myös useita tunnisteita näennäisen samankaltaisesti. Tunniste voi siis sijaita pakkauksen sisälläkin ja näin olla suojassa mekaaniselta rasitukselta.

Radiotaajuustunnistuksessa tunnistettavaan kohteeseen kiinnitetään tunniste, joka sisältää antennin, tunnistetiedon ja tarvittavan logiikkapiirin sen lähettämiseksi radioteitse. Passiivisen tunnisteiden järjestelmässä piiri saa virtansa lukijan lähettämästä elektromagneettisesta säteilystä (radioaalto). Tunniste voi saada virran lisäksi erilaisia toimintakäskyjä lukijan lähettämässä aallossa. Se toteuttaa ne logiikkapiirinsä ohjeiden mukaisesti, esimerkiksi lähettämällä vastaukseksi oman tunnistetietonsa, jonka lukijan antenni sitten vastaanottaa. Lukijan lisäksi väliohjelmisto (engl. *Middleware*) sitten määrittelee, miten saatua vastausta tulkitaan sovellusohjelmistossa. (Poirier & McCollum 2006, 6 ja Sanghera 2006, luku 2).

Radiotaajuustunnistaminen tapahtuu siten, että lukija lähettää kantaaltoon moduloituna kyselyn selvittääkseen onko lukualueella tunnisteita. Kyselyssä on ohje tunnisteille käytettävästä modulaatiosta ja törmäyksenesto protokollasta (engl. *anti-collision protocol*). Passiivisen tunnisteiden mallissa tunniste saa kantaallostaa tarvittavan virran ja moduloi kantaaltoa sisäisen koodinsa mukaisesti lähettäen näin lyhyen tunnisteiden. Moduloitu kantaaltoa palaa lukijalle, joka tulkitsee tunnisteiden koodin. Jos vain yksi tunniste vastasi kyselyyn kerrallaan, onnistuu tulkinta ja lukija lähettää hyväksynnän kyseiselle tunnisteelle, jonka jälkeen tämä lähettää pidemmän tunnisteensa lukijalle. Jos useampi tunniste vastaa yhtäaikaan, ei lukija saa selvää päällekkäisistä koodista ja lähettää valitun protokollan mukaisen komennon, jota noudattaen tunnisteet sitten lähettävät koodinsa eri aikoihin ja lukija onnistuu lopulta tunnistamaan ne kaikki vuorollaan. Käyttämällä lyhyitä esimerkiksi 16-bittisiä UID-tunnisteita (*Unique Identifier*) säästetään aikaa ja vähennetään törmäysmahdollisuutta useiden tunnisteiden läsnä ollessa, verrattuna siihen, jos tunniste heti yrittäisi lähettää varsinaisen esimerkiksi 128 bittistä pitkän EPC-koodinsa (*Electronic Product Code*). (Miles ym. 2008, 44).

Kommunikointi lukijan ja tunnisteiden välillä tapahtuu moduloimalla kantaallon värähdyslaajuutta eli amplitudia. Mitä suurempi värähdyslaajuus, sitä enem-

män tehoa radioaalto kantaa. PIE-menetelmää (*Pulse Interval Encode*) käytettäessä sekä 0 että 1 bitti on moduloitu siten, että ainakin puolet ajasta amplitudi on huipussaan ja tunniste vastaanottaa maksimimäärän virtaa. Tunniste kommunikoi lukijalle heijastamalla takaisin lukijan lähettämää radioaaltoa (engl. *backscattering*). Modulointi tapahtuu nyt edullisimmin siten, että tunnisteiden antennin kuormaa vaihdellaan piirin muodostaman vastuksen ja oikosuljetun kytkennän välillä. (Dobkin 2007, 73).

Radiotaajuustunnistuksen on ennustettu lyövän itsensä läpi logistiikassa. Sitä on viivyttänyt tunnisteiden korkeana pidetty hinta, standardien puute ja huoli yksityisyyden suojasta. Viimeksi mainittu on herättänyt huolta kuluttajissa ja esimerkiksi Gillette on joutunut kritiikin ja jopa boikottien kohteeksi varustettuun myymäläpakkaukset tunnisteella vähentääkseen hävikkiä myymälöissä Yhdysvalloissa. Poirierin ja McCollumin (Poirier & McCollum 2006, 85) mukaan saavutettavissa olevat hyödyt ovat kuitenkin liian korkeat, jotta tämä esittäisi lopullisesti menetelmän käyttöönottoa. Muita tulevaisuuden näkymiä RFID teknologialle heidän mukaansa ovat

- Viiden Yhdysvaltain sentin raja tunnisteelle saavutetaan.
- Kaupalliset toimijoiden ja puolustusvoimien toimitusketjut omaksuvat EPC ja UID standardit.
- Class 1 Gen 2 UHF tunnisteiden valmistajajoukko laajenee, niiden suorituskyky paranee ja hinta laskee.
- Lukijoista ja antennista tulee vakiintuneita mahdollistaen ohjelmistojen yhteensopivuuden.
- Kehitetään lukijoita, jotka välittävät tietoa keskenään, kuten reitittimet tietoverkossa.

## 2.5 Paikannus

Paikannus tarkoittaa jonkin seurattavan kohteen paikkatiedon määrittelyä yleensä suhteessa johonkin tunnettuun paikkaan. Aluksi useimmat sovellukset liittyivät navigaatioon. Nykyään on paljon järjestelmiä, joilla jonkin kohteen paikkatietoa seurataan (engl. *tracking*) mm. liikenteen turvallisuuden parantamiseksi.

Paikannuksen menetelmiä on erilaisia. Yleisimmin nämä perustuvat nykyään radioaaltoihin, mutta myös muilla aallonpituuksilla kuten infrapunalla ja näky-

vällä valolla on käyttäjänsä. Mittaustavoista suosituin perustuu trigonometriaan eli kolmiomittaukseen, siinä kohteen sijainti määritellään vähintään kahden tunnettuun pisteeseen vertaamalla.

Kohteen koordinaatit ( $X$ ,  $Y$ ) voidaan laskea, jos tiedetään sekä etäisyys, että kulma yhdenkin tunnetun pisteen koordinaateista ( $x$ ,  $y$ ). Kohteen  $X$ -koordinaatti saadaan kulman kosinin avulla kaavalla 1.

$$X = r * \cos(\alpha) + x \quad (1)$$

jossa	$X$	kohteen x-koordinaatti
	$r$	etäisyys
	$\cos(\alpha)$	kulman $\alpha$ kosini
	$x$	tunnetun pisteen x-koordinaatti

Kohteen  $Y$ -koordinaatti saadaan vastaavasti kulman sinin avulla kaavalla 2. Kaavoissa etäisyys ilmoitetaan käytetyn koordinaatiston mittayksiköissä ja kulmat asteina.

$$Y = r * \sin(\alpha) + y \quad (2)$$

jossa	$Y$	kohteen y-koordinaatti
	$r$	etäisyys
	$\sin(\alpha)$	kulman $\alpha$ sini
	$y$	tunnetun pisteen yx-koordinaatti

Ympyröiden yhteisen pisteen laskemista voidaan soveltaa, jos tunnetaan kohteen etäisyys kolmesta eri tunnetusta pisteestä. Tuolloin muodostetaan yhtälöryhmä, jossa ympyröiden keskipisteet ovat tunnetut koordinaatit ja niiden säde on etäisyys kohteeseen. Kahden suoran yhteisen pisteen laskemista voidaan soveltaa, jos tiedetään kohteen suuntakulma kahdesta tunnetusta pisteestä. Tällöin suorien yhtälöt muodostetaan tunnetun pisteen koordinaattien ja suuntakulman perusteella.

## 2.6 Reaaliaikainen paikannusmenetelmä RTLS

RTLS tulee sanoista *Real-Time Locating System* eli reaaliaikainen paikannusmenetelmä. Siihen liittyvien tuotteiden yhteensopivuutta ja -toimivuutta edistää ISO/IEC 24730 Standardi. Standardin mukaan RTLS tarkoittaa langatonta menetelmää, jolla pystytään paikantamaan kohde määritellyssä tilassa reaaliaikaisesti tai ainakin lähes reaaliaikaisesti. (ISO/IEC 24730:2014).

Kuten standardin määrittelijätkin ovat todenneet, todellinen reaaliaikaisuus on vaikeaa. Radiotaajuustunnistusta käyttäen paikannus voidaan tehdä automaattisesti, mutta silloinkin on huomioitava aikaviive, kun signaali kulkee kohteeseen kiinnitetystä tunnisteesta lukijaan, lukijan käyttämä aika signaalin vastaanottamisesta mittaustietojen välittämiseen, paikannusjärjestelmän käyttämä aika mittaustietojen perusteella tehdystä laskentaan sijainniksi ja sen tulostamiseen esimerkiksi näytölle. Kaiken tämän jälkeen ainakin nopeasti liikuvan kohteen paikkatieto on jo vanhentunut. Useamman kohteen tapauksessa aika moninkertaistuu ja lisäksi aikaa kuluu kulloinkin paikannetun kohteen tunnistamiseen. Paikannustiedon käyttötavasta ja -tarkoituksesta riippuen on päätettävä, onko valitulla menetelmällä kerätty tieto riittävän tarkkaa ja ajantasaista.

Vaikka kerätty tieto siis voi lähtökohtaisesti olla vanhentunutta, voidaan saatuja sijainteja analysoimalla tehdä päätelmiä ja kehittää seuratun toiminnan tehokkuutta ja jäljittää tehtyjä virheitä. Näin kerätty tieto auttaa toimimaan tulevaisuudessa paremmin. Usein, vaikka tieto onkin kenties minuutteja vanhaa, on se edelleen relevanttia päätöksenteon apuna ja sen perusteella voidaan valita oikeat jatkotoimet.

## 2.7 Tarkkuus ja luotettavuus

Kaikessa mittauksessa, myös paikannuksessa, on aina kysymys tarkkuudesta. Se kuvaa mittaustuloksen hyvyttä. Tarkkuus jakautuu kahteen osaan: ulkoiseen ja sisäiseen tarkkuuteen. Ulkoinen tarkkuus tarkoittaa mittaustuloksen osuvuutta mitatun kohteen todelliseen ominaisuuteen. Sisäinen tarkkuus tarkoittaa mittauksen toistettavuutta eli antaako mittaus eri kerroilla saman tuloksen mitattaessa muuttumatonta kohteen ominaisuutta.

Luotettavuus voidaan määritellä monella tavalla. Toisaalta se voi olla jonkin laitteen kykyä toimia suunnitellusti ajasta tai käyttömäärästä riippumatta. Tai kyse on vikaantumattomuudesta, jolloin laite on käytettävissä ilman toistuvia käyttökatkoksia ja korjauksia.

Reaaliaikaisen paikannuksen hyödyt realisoituvat vain, jos järjestelmä on riittävän tarkka ja luotettava. Mikäli tarkkuudessa esiintyy merkittäviä puutteita, tehdään sen avulla vääriä päätelmiä, eikä tavaravirran ohjaus näiden perusteella johda tehostumiseen. Pahimmassa tapauksessa vaikutus on jopa päinvastainen. Luotettavuuden ongelmat heijastuvat paitsi korjauskustannuksina ja käyttökatkoksina, myös henkilökunnan asenteeseen järjestelmää ja sen avulla tehtävää ohjausta kohtaan. Parhaimmillaan järjestelmän tarkoitus on helpottaa työntekoa ja sen johtamista. Työ helpottuu, kun virheiden välttämiseksi ei tarvita manuaalisia tarkastuksia ja selvittää vähemmillä kirjauksilla. Johtaminen helpottuu, kun johtamisen apuna on todellista tietoa prosessista ja kun tehtyjen ratkaisujen vaikutusta voidaan luotettavasti mitata.

## 2.8 Sitoutuneen pääoman tuotto ROI ja takaisinmaksuaika

Vertailtaessa eri toimintatapoja liike-elämässä asettaa niihin sitoutuvan pääoman tuotto ne paremmuusjärjestykseen. Sijoitetun pääoman tuoton tulee olla korkeampi, kuin yrityksen sisäinen korko tai muun vaihtoehtoisen investoinnin tuotto. Nettotuottoja laskettaessa on huomioitava investoidun käyttöomaisuuden arvon aleneminen. Mikäli positiivista tuottoa ei saada, ei kyseiseen toimintaan ole syytä ryhtyä, sitä on muutettava tai se kannattaa lopettaa mahdollisimman pian. Sitoutuneen pääoman tuotto lasketaan kaavalla 3. (Knüpfer & Puttonen 2014, 112)

$$ROI = \frac{\text{Investoinnin nettotuotot}}{\text{Investointiin sitoutunut pääoma}} \quad (3)$$

Vaihtoehtoisesti sijoituspäätös voidaan perustella takaisinmaksuaika-menetelmää käyttäen. Takaisinmaksuaika on aika, minkä verran investointihyödykettä tulee käyttää, ennen kuin sen lisäämät tuotot ovat kattaneet siihen käytettävät resurssit.

$$Takaismaksuaika = \frac{\text{Investointikustannus} - \text{jäännösarvo}}{\text{Investoinnin tuotot vuodessa}} \quad (4)$$

Investoidun hyödykkeen käyttö voidaan myös lopettaa, kun sillä on vielä jäännösarvoa, joka saadaan, kun hyödyke myydään eteenpäin. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on, sitä kannattavampi investointi on kyseessä. Pitkä takaisinmaksuaika kasvattaa riskiä, että ympäristössä tapahtuu jotain, minkä vuoksi investointi ei olekaan käyttökelpoinen koko takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 4. (Knüpfer & Puttonen 2014, 113)

### 3 TUTKIMUKSEN KUVAUS

Tässä tutkimuksessa on tavoitteena toisaalta selvittää, mitä hyötyjä logistiikan toimijalle voisi olla reaaliaikaisesta paikannuksesta ja mikä näiden hyötyjen rahallinen arvo olisi esimerkkijärjestelmässä. Olisiko yhden toimijan mahdollista kannattavasti investoida järjestelmään ilman muiden ketjun toimijoiden mukana oloa tai määräävässä asemassa olevan ketjun osan kanssa tehtävää yhteistyötä?

Toisaalta on tarkoitus tutkia, voisiko radiotaajuustunnistusta hyödyntäen rakentaa kustannustehokkaasti esimerkkijärjestelmän, jolla ensin mainitut hyödyt olisi saavutettavissa. Lisäksi on tarkoitus arvioida järjestelmän ominaisuuksia sekä olisiko kyseinen järjestelmä riittävän tarkka ja luotettava vastaamaan viranomaismääräyksiin tullitavaran varastoinnissa.

Menetelmiä valittaessa tutustutaan ensin alan kirjallisuuteen. Tämän jälkeen on tarkoitus löytää logistiikan toimijoista mahdollinen pilottiyritys tai ainakin asiantuntevia henkilöitä haastateltavaksi, jotta reaaliaikaisen paikannuksen hyödyistä saataisiin totuudenmukainen näkemys. Myös radiotaajuustunnisteiden parissa toimivia on tarkoitus haastatella. Heiltä saataisiin tieto tekniikan mahdollisuuksista ja mahdollisista haasteista sekä perusteet tekniselle ratkaisulle ja sen investointilaskelmille. Viranomaisista on tarkoitus haastatella tullin edustajia, jotta saataisiin perusteet tarkkuuden ja luotettavuuden arvioinnille tästä näkökulmasta.

### 3.1 Käytännön tutkimuksen toteutuminen

Minulla on vuosien kokemus varaston ja toisaalta tavaraliikenteen terminaalin esimiehenä ja tämän myötä riittävät perustiedot varastojen ja terminaalien toimintatavoista, tavaravirran ohjauksesta ja logistiikkaan liittyvistä pullonkauloista. Tämän perusteella teoreettisen tutkimisen pääpaino asetettiin RFID tekniikkaan ja sitä hyödyntävään paikannukseen.

Mahdollista pilottiyritystä etsittiin suoraan alan toimijoita lähestymällä ja RFID Lab Finland ry:n kautta. Useimmat toimijat eivät vastanneet lainkaan tiedusteluihin, mutta esimerkiksi Vilant Systems Oy vetosi vastauksessaan useisiin vastaaviin tiedusteluihin ja toisaalta rajallisiin resursseihin, kieltäen heidän mahdollisuutensa yhteistyöhön. RFID Lab ry pyysi ottamaan yhteyttä suoraan alan toimijoihin mahdollisen yhteistyön toiveista, vedoten tällaisen pyynnön välittämisen rooliinsa sopimattomaksi.

Alan lehdissä ei tämän opinnäytetyön teon aikana ilmennyt uusia paikannusta logistiikkaketjussa hyödyntäviä hankkeita olevan vireillä, eikä työn ohjaaja Juhani Heikkinen tällaisia tiennyt olevan vireillä. Ohjaajan mukaan Finn-ID:llä olisi pilotti hankkeesta, joka käyttää Impinjin lukijaa kattoon kiinnitettynä. Finn-ID:n kotisivuilta pilotista ei löydy mainintaa. Valmistajan sivuilta löytyy tietoa Imping xArray Gateways lukijasta. Tuote-esitteen, FAQ sivun ja videon perusteella kyseisellä lukijalla saavutetaan 139 m<sup>2</sup> alue, jolla olevia tunnisteita voidaan paikantaa x- ja y-akselilla 1,5 metrin tarkkuudella (Impinj Inc. 2017).

RFID Journal kertoo huhtikuisessa artikkelissaan vuodelta 2008 Mojixin vie-  
neen passiivisen UHF RFID tunnisteiden uudelle tasolle. Lukuetäisyydeksi ker-  
rotaan saavutetun 600 jalkaa eli noin 182 metriä ja paikannuksen onnistuvan  
kolmiulotteisesti 250 000 neliöjalan eli yli 23 000 m<sup>2</sup> alueelta yhdellä lukijalla.  
(RFID Journal 2008a).

Samassa kuussa RFID Journal kertoo yllämainitun tekniikan piloteista tunnet-  
tujen nopeasti liikkuvien kuluttajatuotteiden valmistajien keskuudessa ja val-  
mistajan työskentelevän järjestelmän myyntikanavien rakentamiseksi (RFID  
Journal 2008b). Lukuetäisyys 182 metriä ylittää etäisyyden, jolla tunnisteiden ta-  
kaisin heijastaman signaalin pitäisi jäädä heikommaksi kuin taustakohina



(Dobkin 2007, 125). Löydetyistä tiedoista ei löydy teknistä kuvausta käytetystä menetelmästä, eikä sitä näin ollen voitu ottaa huomioon tämän tutkimuksen tuloksiin.

Oppilaitoksissa radiotaajuuteen perustuvaa paikannusta tutkitaan aktiivisesti. Esimerkiksi Lontoon yliopiston ja saksalaisen Ammattikorkeakoulun yhteistyössä tutkijat esittelivät menetelmän, joka käyttää paikannukseen lukijan signaalin muotoilua siten, että sen avulla voidaan laskea kulma tunnisteen aktivoitumiselle. Menetelmän virhemarginaaliksi he raportoivat  $0,02^{\circ}$ – $2,5^{\circ}$  riippuen ympäristötekijöistä. (Cremer ym. 2015).

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoululla on oma RFID laitteisto. Sen ohjelmistona on Iso Start 2010 v.8.02.03 ja lukijana LRU1000. Laitteisto on vanha, eikä siinä ole mahdollisuutta antennin ohjelmalliseen suuntaukseen tai paluusignaalin voimakkuuden mittaukseen perustuvaan paikannukseen. Näin ollen käytännön testausta ei pystytty tämän tutkimuksen yhteydessä suorittamaan.

### **3.2 Haastattelut**

Yhteydenotot pääkaupunkiseudun tavaraterminaaleihin olivat kaikki tuloksiltaan yhtä vaatimattomia. Useimmat eivät lainkaan vastanneet yhteydenottoihin ja ne harvat, jotka vastasivat, pahoittelivat, ettei haastattelulle yksinkertaisesti ole aikaa. Minulle jäi sellainen kuva, ettei reaaliaikaiselle paikannukselle uskota olevan saavutettavissa kannattavaa ratkaisua Suomen olosuhteissa, joissa materiaalivirrat ovat ohuita ja kuljetusmatkat pitkiä.

Artikkelissaan RFID:n hyödyistä toimitusketjulle RFID Areenan vieraskirjoittaja listaa kuitenkin useita hyötyjä ketjun kullekin osapuolelle. Valmistajalle RFID:n käyttö vähentää työtä ja kustannuksia, lisää läpinäkyvyyttä ja parantaa suunnittelua. Varastossa se lisää oikean reaaliaikaisen tiedon saatavuutta, nopeuttaa tavaran paikannusta, mahdollisuutta selvittää hävikkiä ja mahdollisuutta suunnitella varastopaikat strategisesti. Kuljetuksessa se tarjoaa reaaliaikaista läpinäkyvyyttä, tehokkuutta ja tarkkuutta. Jakelussa se nopeuttaa toimituksia, lisää tehokkuutta ja tarkkuutta sekä pienentää kustannuksia. (RFID Arena 2013).

Edellisen mainitut hyödyt voivat kuitenkin olla toiveajattelua ja vaikeasti mitattavia. Toimiessaan RFID kyllä lisää reaaliaikaista tietoa, mutta se edellyttää, että tunniste luetaan onnistuneesti eri vaiheissa ja läpi koko ketjun. Tämä taas edellyttää paitsi yhteensopivia laitteita, niin myös avoimuutta ketjun osapuolten välille. Avoimeksi jää kysymys, kuinka paljon hyötyjä saavutetaan. Kun Wal-Mart 2003 antoi vaatimuksen sadalle suurimmalle varustaa tuotteensa RFID tunnisteella, arvioitiin järjestelmän vähentävän Out-of-Stock myyntiä 16 %. Pari vuotta myöhemmin raportoitiin lukuja, joiden mukaan vähennys oli 26 - 63 % (Hoffman 2006). Lopullinen läpimurto kuitenkin odottaa itseään vielä nyt yli kymmenen vuoden jälkeen.

Myös tullilta saatiin vastaus, jonka mukaan tullilla ei ole kommentoitavaa paikannuksesta, eivätkä tullimääräykset vaadi näin tarkkaa menetelmää. Vastauksessa kuitenkin todettiin, että asian kehittämässä voisi olla potentiaalia. (Syri 2017)

Tutkimus jäi lopulta teoreettiseksi ja tuloksen pohjana oleva ratkaisumalli perustuu omiin kokemuksiini ja tietojeni yhdistämiseen lähinnä eri kirjallisuuslähteistä saatuun tietoon. Kirjallisuus on aina jälkijättöistä ja tekninen kehitys on nopeaa, joten on huomioitava, että jää mahdolliseksi, ettei tutkimuksessa ole ollut käytettävissä jotain tietoa, joka mahdollistaisi tutkimusongelman kannattavan ratkaisemisen. Toisena lähderyhmänä oli RFID-toimijoiden internet-sivut ja alan WWW-artikkelit ja -julkaisut. Näissä varsinkin toimijoiden omilla sivuilla olevaan tietoon on suhtauduttava kriittisesti, puuttuohan näistä luonnollisesti kriittinen suhtautuminen ja havaittuja ongelmia ainakin vähätellään. Myös julkaisujen tekijät ovat yleensä vahvasti sidoksissa alan toimijoihin, eikä heidän puolueettomuutensa voida näin silmittömästi luottaa.

## **4 RATKAISUMALLI**

### **4.1 Mallin valinta**

Ratkaisumallia valittaessa ensisijaisesti on varmistuttava, että malli täyttää tekniset vaatimukset tiedon oikeellisuuteen riittävällä tarkkuudella ja toimintavarmuudella. Toteuttamiskelpoisuutta voidaan arvioida investoinnin kustannusten laskemisen jälkeen huomioiden joko sitoutuneen pääoman tuotto tai takaisinmaksuaika.

Teknistä ratkaisua valittaessa on selvitettävä mallin tekniset ominaisuudet ja prosessiympäristön asettamat haasteet mallin toimivuudelle. Teknisiä ominaisuuksia ovat esimerkiksi käytetty radiotaajuus, lukuetaisyys ja mitattavissa olevat suureet kuten signaalin voimakkuus tai suuntakulma. Ympäristön haasteita radioaaltoa käytettäessä ovat muiden muassa seurattavan alueen koko, muoto, metalliset esineet ja nesteet. Metallit heijastaa radioaaltoja ja muodostaa näin sekä katvealueita että monitie-etenemistä (Sanghera 2006, 45). Nesteessä tai nestettä sisältävien esineiden läpi edetessään osa radioaallon kuljettamasta energiasta imeytyy siihen (Sanghera 2006, 43).

#### 4.1.1 Paikantaminen mittauksen perusteella

Radiotaajuus tunnista käyttävät paikannusjärjestelmät voidaan jakaa kolmeen menetelmäluokkaan. Ensimmäinen perustuu kolmiomittaukseen. Laskenta voi perustua vähintään kahteen tunnettuun pisteeseen ja kulmiin, jossa laskettava piste sijaitsee suhteessa näihin. Laskettava piste sijaitsee kulmien mukaan piirrettyjen suorien leikkauspisteessä. Toinen vaihtoehto on mitata vähintään kahdesta pisteestä etäisyys laskettavaan pisteeseen ja muodostaa näistä ympyröiden yhtälöt. Yhtälöryhmä ratkaisemalla saadaan laskettavan pisteen koordinaatit. Molemmissa tapauksissa mittaukseen liittyvän virhemarginaalin vuoksi on suotavaa saada vähintään kolmelta sijainniltaan tunnetulta lukijalta saman tunnisteiden signaali ja näin voidaan trigonometrian mukaisesti laskea tunnisteiden sijainti koordinaatistossa.

$$P_{rx.reader} = P_{tx.reader} \eta G_{tag}^2 G_{reader}^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (5)$$

jossa	$P_{rx.reader}$	lukijan vastaanottama teho	[W]
	$P_{tx.reader}$	lukijan lähettämä teho	[W]
	$G_{tag}$	tunnisteiden antennin vahvistus	[dB]
	$G_{reader}$	lukijan antennin vahvistus	[dB]
	$\lambda$	aallonpituus	[m]
	$d$	lukijan ja tunnisteiden etäisyys	[m]

Etäisyys lukijan ja tunnisteiden välillä voidaan arvioida käyttäen hyväksi Friisin kaavaa (5) vapaan tilan vaimennuksesta. Kaavassa  $\eta$  on passiivisen tunnisteiden takaisinheijastuskerroin ja riippuu tunnisteiden tehontarpeesta, (Bolic ym. 2010, 393).

Mitä tarkemmin vastaanotetun signaalin voimakkuuteen vaikuttavat tekijät tunnetaan, sen tarkempi arvio etäisyydestä saadaan. Suljetussa järjestelmässä on mahdollisuus tietää käytetyn tunnisteiden ominaisuudet, mutta keskellä logistiikkaketjua on todennäköisempää, että tunnisteita on käytössä monia eri malleja, jolloin tunnisteiden takaisinheijastuskerroin ja sen antennin tehovahvistus voi vaihdella paljonkin. Lisäksi nuo ominaisuudet riippuvat olennaisesti tunnisteiden antennin suuntauksesta lukijaan nähden. (Bolic ym. 2010, 394).

Ratkaisun taloudellisuuteen vaikuttaa paitsi tunnisteiden hinta, myös tunnisteiden kiinnittäminen tunnistettavaan esineeseen. Mikäli se tehtäisiin tuotteen valmistajan toimesta pakkausvaiheessa, voitaisiin tässä hyödyntää automatiikkaa. Jos tunniste kiinnitetään liukuhihnalla, jossa tuote on tietyssä asennossa, olisi myös tunnisteiden antenni samassa asennossa lattiatasoon nähden. Logistiikkaketjun keskellä erilaisia käsiteltäviä esineitä on monen muotoisia ja tuolloin tunnisteiden kiinnitys on haastavaa. Kun se jouduttaneen tekemään käsityönä, seuraa tästä suuremmat kustannukset ja myös ongelma tunnisteiden antennin asennosta suhteessa pakkaukseen, lattiatasoon ja sitä kautta lukijaan. Passiivittunnisteiden lukuetaisyys UHF taajuudella on yleensä 3-10 metriä. Lukuetaisyyteen vaikuttaa kuitenkin huomattavasti tunnisteiden antennin asento suhteessa lukijaan

Mikäli antenni on kohtisuorassa saapuvaan radioaaltoon, saavutetaan paras lukuetaisyys, mutta jos antenni on suuntautuneena aallon kulkusuunnan mukaisesti, ei antenniin synny vaihtuvasta magneettikentästä jännitettä, eikä tunnisteiden piiri saa tarpeeksi virtaa toimiakseen. Useat tunnisteantennit muotoiltaan niin, että asennon vaikutus jäisi mahdollisimman pieneksi ja lisäksi lähetettävä radioaalto voidaan polarisoida pyöriväksi, mutta tällöinkin todellinen tunnisteiden saama teho on jotain maksimaalisen tehon ja nollan väliltä. (Bolic ym. 2010, 89).

Toinen vaihtoehto etäisyyden arvioimisen sijaan on määrittää tunnisteiden kulmasuunta lukijasta. Tämä voidaan tehdä mittaamalla takaisinheijastaman signaalin tulokulma lukijalle vaihe-erona tai saapumisen aikaerona. Koska passiivisen tunnisteiden lukuetaisyys on lyhyt ja radioaalto etenee valonnopeudella, vaatii aikaeroon perustuva mittaus tarkkuutta lukijalta ja tämä nostaa laitteiden hintaan. Vaihe-eroa voidaan käyttää kulman määrittämiseen, kun useamman antennin muodostamasta elementistä vertaillaan signaalin sinivaihetta eri antennien tunnettuun etäisyyteen. Tulokulma voidaan laskea matemaattisesti tuosta erosta tai kääntää antennia niin, että vaihe-ero on nolla ja arvo saadaan antennin kulmasta suhteessa origoon. (Zheng & Kaiser 2016, 321).

Tämän menetelmän suurin haaste on monitie-eteneminen. Siinä varsinkin metallipinnoista heijastuneet aallot kulkevat erireittejä antennien välillä. Mikäli reitit ovat eripituisia on mahdollista, että aalto saapuu samanaikaisesti antennille, mutta eri vaiheessa. Saapuvat signaalit voivat vahvistaa toisiaan tai kumota toisensa, joten tämä vaikuttaa myös signaalien voimakkuuden mittaamiseen. Jos tunnisteiden ja lukijan välillä on metallista tai nesteestä muodostuva este, joka estää suoraan kulkevan signaalien, voi lukija silti vastaanottaa heijastuneen signaalien riittävän vahvana. Tuolloin mittaus antaa virheellisesti kulmaksi tuon heijastuksen aiheuttaneen esineen suunnan, eikä todellisen tunnisteiden suuntaa saada selville. (Zheng & Kaiser 2016, 328).

#### **4.1.2 Paikantaminen vertailulla**

Toinen menetelmä perustuu paikka-analyysiin. Siinä ensin kartoitetaan seuranta-alue tiedettyihin sijainteihin sijoitettujen tunnisteiden avulla. Voidaan esimerkiksi mitata vastaanotettu signaalien voimakkuus sijainniltaan tiedetyiltä tunnisteilta ja verrata sitten seurattavan tunnisteiden vastaavaa arvoa. Tällöin voidaan käyttää vaikkapa pienimmän eron menetelmää ja määrittellä halutun tunnisteiden sijainti sen avulla. (Zheng & Kaiser 2016, 312).

Tälläkään menetelmällä ei saavuteta riittävää tarkkuutta, sillä kohdetunnisteiden ja lukijan välillä voi olla este, jonka vuoksi signaalien voimakkuus ei ole vertailukelpoinen lähimpään referenssi tunnisteeseen vaimentumisen tai monitie-etenemisen vuoksi. Kohdetunnisteiden voi myös olla erilainen ominaisuuksiltaan tai

sen antennin asento poikkeaa optimaalisesta ja siksi lukija vastaanottaa signaalit eri tehoisena kuin asetellun referenssitunnisteen signaalin.

#### 4.1.3 Paikantaminen lukijan sijainnilla

Kolmas menetelmä perustuu läheisyyteen. Kun tunnetussa sijainnissa oleva lukija saa tunnistettua halutun tunnisteeseen, merkitään tunnisteeseen sijainniksi kyseisen lukijan sijainti (Zheng & Kaiser 2016, 304). Jos tunnisteeseen lukee yhtäaikaa useampi lukija, voidaan tunnisteeseen sijainti laskea näiden lukijoiden sijainnin keskiarvona.

Menetelmästä saadaan tarkka vain erittäin tiheällä lukijaverkolla. Tällöin järjestelmässä täytyy estää ohjelmallisesti lukijasignaalien törmäys, sillä muutoin tunnisteet eivät saa selvää komennoista (Bolic ym. 2010, 204). Lisäksi UHF tunniste on vaikea lukea myös liian lähellä lukijaa, sillä liian voimakas radiosignaalin amplitudi ylikuormittaa tunnisteeseen. Lyhimmät etäisyydet ovat yleensä metrin luokkaa (Dobkin 2007, 95). Ja edelleen lähimmän lukijan ja tunnisteeseen välissä voi olla este, joka estää signaalin lukemisen kyseisellä lukijalla, jolloin paikannukseenkin tulee virhe.

#### 4.1.4 Mittaustekniikan haasteet

RSSI-menetelmää (*Radio Signal Strength Indication*) tukevat useimmat markkinoilla olevista lukijoista vakio toimintana. Kuitenkin signaalin voimakkuuteen vaikuttavia tekijöitä on mahdoton tuntea kaikkia, jotta voitaisiin olla varmoja lasketusta etäisyydestä. Usein voidaankin vain todeta liikkuvan kappaleen kohdalta signaalin voimakkuuden muutoksen perusteella, läheneekö vai loittonneeko se kyseisestä lukijasta. Tämä johtuu suurelta osin radioaallon etenemistavasta, jossa jokainen radioaallon piste toimii uuden aallon lähtöpisteenä. Lisäksi kohdatessaan heijastavan materiaalin, esimerkiksi metallilevyn, heijastuu radioaalto siitä tulokulmaa vastaavassa lähtökulmassa (engl. *reflection*).

Radioaallot läpäisevät useita materiaaleja, mutta yleensä sen energiaa imeytyy kaikkiin materiaaleihin jonkin materiaalin ominaisuuksista johtuvan kertoimen verran (engl. *absorption*). Merkittävää energian imeytyminen on nesteisiin, kuten veteen. Kulkiessaan eri materiaalien välisen rajapinnan läpi radioaallot taittuu (engl. *diffraction*). (Bolic ym. 2010, 43).

Näin samalla etäisyydellä sijaitsevan tunnisteiden heijastaman signaalien voimakkuus riippuu merkittävästi paitsi etäisyydestä, myös sen kulkeman reitin varrella olevista materiaaleista. Huomattavaa on, että suoran kulkemisen lisäksi esiintyy yleensä myös muita, pidempiä kulkureittejä molempiin suuntiin tunnisteiden ja lukijan välillä. Jos reittien erot ovat aallonpituuden kerrannaisia, aiheutuu signaalien vahvistumista. Pahimmassa tapauksessa eri vaiheissa saapuvat signaalit kumoavat toisensa. (Bolic ym 2010, 39).

Toinen tekijä tunnisteiden heijastaman signaalien voimakkuuteen on tunnisteiden kantoaalto saaman jännitteen voimakkuus. Tähän vaikuttaa paitsi tunnisteiden etäisyys lukijasta, myös tunnisteiden antennien suuntaus lukijan antenniin. Voimakkaasti suuntaavia antenneita käytettäessä voidaan luku- ja etäisyyttä kasvattaa, mutta tällöin suuntauksen pienikin muutos voi estää kommunikoinnin lukijan ja tunnisteiden välillä. (Bolic ym. 2010, 10).

Edellä mainituista syistä myös vaihe-eroon tai aikaeroon perustuvat järjestelmät ovat käytännössä haavoittuvaisia. Terminaalissa on useita liikkuvia metalliesineitä, kuten trukkeja, joista radioaalto heijastuu ennakoimattomalla tavalla. Eikä toisaalta voida tietää, mitä eri materiaaleja tunnisteiden ja lukijan välillä olevissa esineissä kulloinkin on. Näin ollen, eri kerroilla tapahtuvat mittaukset antavat erilaisia tuloksia eikä siis mittauksen sisäinen tarkkuus ole tyydyttävä.

#### **4.1.5 Muita mahdollisia teknisiä ratkaisuja**

Monissa piloteissa sisäpaikannukseen on käytetty aktiivisia patterilla varustettuja tunnisteita. Tämä lisää kustannuksia varsinkin, jos seurattavia esineitä on paljon. Uwinloc, ranskalainen startup-yritys, on testaamassa Airbusin ja muiden nimeämättömien yritysten kanssa kehittämäänsä ultra laajaan taajuuskanaavaan (UWB, *Ultra-Wide Band*) ja kehittämiinsä passiivitunnisteisiin perustuva paikannusta. Uwinlocin ratkaisusta on niukasti teknistä tietoa saatavilla. Toimintamallista kerrotaan, että siinä lukijalaitteet (beacon) lähettää vain kantoaaltoa, josta tunnistet kerää energiansa. Kun tunnistet on kerännyt riittävästi energiaa, lähettää se oman tunnisteensa. Lukijalaitteet sitten laskevat tunnisteiden sijainnin sen lähettämän signaalien perusteella. (RFID Journal 2016).

Miten edellä on ratkaistu useiden tunnisteen yhtä aikaa lähettämien signaalien erottaminen, kun tunniste vapaasti valitsee hetken lähettää? Tai miten lukuetaisyys on saatu kasvamaan jopa 50 metriin, vaikka tehoa on alennettu? UWB tarkoittaa, että kantoaallon käyttämä taajuuskaista on vähintään 50 MHz leveä. Tämä ei ole sallittua ISM taajuuksilla. Ilmeisesti etäisyys lukijasta tunnisteseen saadaan vertaamalla eri taajuuksilla lähetettyjä signaaleita. Ratkaisun käyttökelpoisuuden todellinen arviointi on kuitenkin saaduilla tiedoilla mahdotonta.

#### **4.1.6 Laite- ja olosuhdevaatimukset tekniikan käytölle**

UHF passiivitunniste saa virtansa vain vastaanottamastaan radioaaltoista (Sanghera, 2006). Tämän vuoksi, on jokaisen seurattavan tunnisteen vastaanotettava riittävän voimakas radioaalto, jotta tunniste aktivoituu ja pystyy sisäisen logiikkansa mukaan moduloimaan oman tunnuksensa tuohon radioaaltoon.

Koska ISM-taajuuksia (*Industrial, Scientific and Medical*) käytettäessä on lähettimen teho rajattu lainsäädännöllä, voidaan tunnisteen vaatima tehontarve saavuttaa joko tiheällä lähetinverkolla tai suuntaamalla lähetetty teho tarkasti tunnisteseen. Tunnisteen vaatima teho riippuu tunnisteen teknisestä toteutuksesta. Kun tunnisteen antenni on vireessä eli sen impedanssi on kokonaan resistiivistä, vastaanottaa se mahdollisimman paljon tehoa. Mikäli antenni ja siihen kytketty piiri on epätasapainossa, esiintyy joko induktiivista tai kapasitiivista reaktanssia, joka aiheuttaa virran ja jännitteen välille vaihe-eron. Vuritykseen vaikuttaa paitsi tunnisteen sisäinen rakenne, myös antennin läheisyydessä olevat materiaalit kuten metallit. Tällä on huomattava vaikutus tunnisteen takaisinheijastaman signaalin voimakkuuteen. (Dobkin 2007, 483).

Tunnisteen lähettämän signaalin tulkitsemiseen ja mittaamiseen tarvitaan lukija, joka tukee paikannukseen valittua tekniikkaa. Lukuetaisyyttä rajoittaa paitsi tunnisteen tuottama lähetysteho, myös samalla tai läheisillä taajuuksilla esiintyvä samanaikainen voimakkaampi lähetys tai taajuuden kohina. Laadukas lukija pystyy erottamaan tunnisteen takaisinheijastaman heikon signaalin, vaikka se erottuu vain 10 dB verran taustakohinasta, joka 200 kHz taajuudella



on noin -118 dBm. Jos taustakohina olisikin ainut huolemme, onnistuisi tämä noin 110 metrin lukuetaisyydeltä. (Dobkin 2007, 125).

## 4.2 Ratkaisun hyödyntäminen

Valitusta paikannusmenetelmästä riippuu, kuinka reaaliaikaista paikannus on. Paikkatiedon vastaanottaminen ja laskenta aiheuttavat viiveen, jonka aikana liikkuva kohde ehtii jo siirtyä toiseen paikkaan. Radiotaajuutta käytettäessä tuo viive on hyvin lyhyt. Radiosignaali etenee valon nopeudella, joka tarkoittaa esimerkiksi kolmen metrin lukuetaisyydellä 10 nanosekuntia (Bolic 2016, 424).

Reaaliaikaisella paikantamisen avulla tavaran sijainti on koko ajan selvillä, eikä suuressa sekavassakaan varastossa sen etsimiseen mene aikaa. Samoin tieto varaston saldoista on koko ajan selvillä oikein, eikä näin voi tapahtua esimerkiksi tilannetta, ettei tavaraa olisikaan varastopaikalla sitä asiakastoimitusta varten kerättäessä. Tavaran nopea löytyminen nopeuttaa toimitusta ja näin lisää asiakastyytyvääsiä.

Tallentamalla ja analysoimalla reaaliaikainen paikkatieto voidaan selvittää varaston tai terminaalin tavaravirta jokaisen yksittäisen esineen kohdalta. Analyysin avulla voidaan löytää prosessia hidastavat ja resursseja kuluttavat pulonkaulat tai toimintatavat. Muutettaessa toimintamalleja nähdään muutosten todellinen vaikutus tavaravirran analyyseistä.

Tavaraa varastossa tai terminaalissa käsiteltäessä voidaan myös työntekijän tunnistamisen mukana ollessa luoda järjestelmä, jossa palkanmaksu perustuu kokonaan tai osin urakkapalkkaan tai maksaa erilaisia suorituslisiä kannustukseksi. Oikeudenmukainen urakkapalkka on tehokas kannustin.

Tavaraa luovutettaessa voidaan se luotettavasti tunnistaa ja paitsi nopeuttaa luovutusprosessia myös estää tahaton väärän tavaran luovuttaminen ja näin minimoida hävikkiä.

#### **4.2.1 Varaston tilankäyttö**

Ratkaisun avulla voidaan joustavoittaa varaston tilankäyttöä. Normaalisti tavaran saapuessa varastoon sille merkitään osoite, esimerkiksi hyllypaikka. Tämä osoite sitten tallennetaan varastojärjestelmään, käytettäväksi myöhemmin, kun tavaraa otetaan varastosta tai inventoidaan.

Mikäli tavaraa jostain syystä haluttaisiin siirtää, tulee uusi osoite tallettaa varastojärjestelmään. Usein tällainen muutos toteutuu niin, että varastomies siirtää tavaran ja merkitsee lapulle tuotetiedon, vanhan varastopaikan ja uuden varastopaikan sekä toimittaa lapun varastokonttoriin tallennettavaksi. Jos tallennuksessa on viive, voidaan kyseistä tavaraa etsiä vanhalta paikalta sitä varastosta otettaessa ja keräys epäonnistuu.

RTLS ratkaisun avulla siirto voidaan tehdä aina tarvittaessa ja tieto on heti käytettävissä mahdollisesti jo keräysmääräyksen saaneella toisella varastomiehellä, jonka järjestelmä ohjaa suoraan tavaran kulloisellekin sijainnille. Siirtävän varastomiehen ei tarvitse tunnistaa siirrettävää tuotetta, kirjata siirtotietoa tai toimittaa näitä tietoja mihinkään, eikä näissä toimissa näin ollen voi tapahtua virhettä.

Näin alkujaan korkean lavapaikan vaatinut tavara voidaan esimerkiksi siirtää matalammalle varastopaikalle, jos lavasta on jo vähennetty korkeutta osan ottojen myötä. Varsinkin, kun sesonkiaikaan varauduttaessa varaston täyttöaste nousee lähelle maksimiaan, on tällaisella optimoinnilla mahdollista säästää varastotilan tarpeesta ja toisaalta varmistaa keräilyn tehokkuus ja inventoinnin oikea tieto.

#### **4.2.2 Inventointi**

Yrityksen tulee laatia tase-erittely vaihto-omaisuudestaan. Inventoinnissa varastossa olevat tuotteet tunnistetaan ja lasketaan yksitellen. Suurissa varastoissa tämä voi olla hyvin työläs operaatio. Edelleen kustannuksia lisää, jos virheiden välttämiseksi varaston toiminta lähetysten vastaanotto ja toimitus keskeytetään inventaarion ajaksi. Manuaalisesti suoritettu tunnistus ja laskeminen ovat joka tapauksessa virhealttiita toimenpiteitä.

Automaation avulla virheiden määrää voidaan olennaisesti alentaa. Ratkaisun avulla voidaan inventointia tehdä myös jatkuvasti reaaliaikaisena ja haluttaessa vain tehdä pistokoemaisia tarkastuksia järjestelmään. Näin varaston tavaramäärästä on jatkuvasti oikea tieto käytettäessä eikä inventointi sido työvoimaa ja inventointivirheet vähenevät automaation myötä. Toki jäljelle jää mahdollisuus tavaran rikkoutumisen vuoksi tapahtuva hävikki.

#### **4.2.3 Tavarantoimituksen luovuttaminen**

Kun varastojärjestelmällä on reaaliaikainen paikkatieto, löytyy tavara sitä luovutukseen kerättäessä heti. Samoin luovutustapahtumaa voidaan sähköisesti valvoa sekä määrällisesti että laadullisesti siten, että vain oikea määrä ja oikeaa tavaraa luovutetaan. Näin säästytään luovutettaessa tapahtuneiden virheiden korjauskustannuksilta ja asiakastytyväisyys paranee.

### **4.3 Investointilaskelma ja kustannusrakenne**

Investoinnin kannattavuus riippuu olennaisesti, voidaanko järjestelmää kehittää sarjatuotannossa useille käyttäjille vai tehdäänkö se yhdelle käyttäjälle. Tässä tutkimustyössä lähtökohdaksi otettiin, voisiko ratkaisun toteuttaminen olla kannattavaa yhdelle toimijalle. Toisaalta sarjatuotannossa kehitetty järjestelmä harvoin sopii käyttäjän yksilöllisiin tarpeisiin täydellisesti ja todennäköisesti sovittamisesta on jatkuvia kuluja tai ilman sitä järjestelmän hyötyjä ei saada täysipainoisesti.

Järjestelmän perustamiskustannuksiksi on laskettava ainakin laitehankinnat, Middleware-ohjelmiston luominen, integrointi varaston tai terminaalin omiin järjestelmiin ja käyttäjien koulutus. Näiden arvioiminen ilman mahdollisen käyttäjän haastattelun avulla saatua tietoa on katsottava turhaksi. Laitekustannuksista olisi saatavilla jotain tietoa, mutta niissäkin määrä ratkaisee niin oleellisesti hintaa, että vain pyydettävän tarjouksen perusteella voitaisiin saada reaalin kuva oikeasta hintatasosta. Tarvittaisiinhan lukijoita määrää, jossa kutakin varaston pistettä kohti olisi kolmesta neljään lukijaa kolmesta kymmeneen metrin säteellä. Näin varmistettaisiin riittävän monta suuntapistettä tunnistaiden lukuetaisyksien sisällä. Laskennassa olisi otettava huomioon varaston pinta-alan lisäksi, tilan muoto ja kulkuovien sijainti.

Käyttökustannuksista suurin on tunnisteen kiinnitys seurattavaan tavaraan. Mikäli käsiteltävissä tavaroissa olisi jo valmistajan tai ketjun muun edeltävän osapuolen kiinnittämä tunniste, voitaisiin sitä hyödyntää ilman tätä työlästä vaihetta. Mikäli tunniste olisi valmiina tuoteyksikkötasolla, ei edes pakkausten purkaminen ja keräily pakkauskokoa pienemmissä erissä aiheuttaisi ongelmia. Mitä ideaalisemmin tunniste ja siis sen antenni on luettaessa suhteessa virran antavaan radioaaltoon ja toisaalta tunnistekoodin vastaanottavaan lukijaan, sitä harvempi lukijaverkko tarvitaan. Mikäli tavara tulee joltain tuotantolinjalta ja niiden pinoamisessa lavakuormiksi on edellinen otettu huomioon, sen enemmän automaatiota voidaan hyödyntää tunnisteen kiinnityksessä ja näin kiinnityskustannus jää pienemmäksi. Monimuotoisten esineiden kohdalla lukuetaisyyden maksimoimiseksi voidaan tunnisteita kiinnittää useita, mutta luonnollisesti tämä lisää kustannuksia. Uudelleen pakkauksen yhteydessä on voitava jakaa aiemmin yhtenä seurattavana kohteena oleva kohde useaksi erikseen seurattavaksi kohteeksi.

#### **4.4 Ratkaisun tuotot ja investoinnin takaisinmaksu**

Ratkaisu ei nosta terminaalin tai varaston kautta kulkevien tuotteiden arvoa, vaan keskeinen hyöty tulee oikean reaaliaikaisen tiedon avulla. Tätä tietoa päätöksen teon tueksi analysoimalla tehty toiminnan tehostaminen ja näin saavutettavien kustannussäästöjen tuoma parantunut tulos. Toisaalta säästöt lisäävät kilpailukykyä ja tätä kautta lisää liikevaihtoa ja tulosta. Lisämyyntiä tulee myös niistä asiakkaista, jotka arvostavat oikeaa tietoa, läpinäkyvyyttä ja virheettömyyttä toiminnoissa. On myös mahdollista, että logistiikka ketjun seuraava osapuoli alkaa hyödyntää kiinnitettyjä tunnisteita ja ohjaa lisää kysyntäänsä hankkijalle, joka toimittaa tunnisteilla varustettuja lähetyksiä.

Edellä mainitut tuotot voivat olla merkittäviäkin, mutta niiden määrän laskeminen on vaikeaa karkeastikin. Kehittämistä voidaan tehdä ilman oikeaakin tietoa, mutta oikeaa tietoon tehdyt päätökset ovat parempia. Samoin tehtyjen ratkaisujen vaikutukset kyllä huomataan, mutta reaaliaikaista tietoa analysoimalla, voidaan nopeammin luopua vääristä toimintatavoista ja ohjata toimintaa tehokkaammin tilanteen mukaan.

Logistisessa ketjussa tuottojen ja kustannusten tasapuolinen jakaminen on lähtökohtaisesti vaikeaa. Kukin ketjun osa pyrkii tavoittelemaan omaa etuaan ja usein omistajat vielä tekevät sitä lyhyellä aikavälillä. Koko ketjun tulos voisi olla parempi, jos toimintaa voitaisiin avoimesti kehittää yhdessä oikeaan tietoon perustuen pitkällä jänteellä.

Tuotteen massavalmistajan olisi edullisin lisätä RFID tunniste tuotteeseen. Valmistuksen tapahtuessa usein tuotantolinjalla on tuote aina samassa asennossa ja näin myös tunnisteiden antenni voidaan asentaa kokonaisuus huomioiden optimaaliseen suuntaan. Valmistajalle tämä olisi kuitenkin kustannus, jonka kattaminen pitäisi tulla lähes yksinomaan parantuneesta myyntihinnasta. Toki virheellisten tuotteiden takaisinkutsujen yhteydessä näiden yksilöllinen tunnistaminen voisi edesauttaa virheen aiheuttaneen vian tunnistamisessa ja näin voitaisiin löytää keinot sen toistumisen ehkäisemiseksi.

Kaupalle, kuten Wal-Martin esimerkki osoittaa, tunnisteista on suurin hyöty. Paitsi automatisointi saapuvien tavaroiden vastaanottotarkastuksessa ja inventoinneissa, merkittäviä hyötyjä syntyy myös kuluttajien palvelussa automaattikassoin ja myymälävarkauksien ehkäisyssä (Bolic 2010, 424). Valmistajan ja kaupan välissä logistisessa ketjussa on usein monta osapuolta, tukkuliikkeitä, kuljetusliikkeitä ja valvovia viranomaisia. Näille kaikille oikea tieto on tärkeää, mutta on vaikea uskoa, että siitä yksittäiselle toimijalle saatu hyöty riittäisi kattamaan tavaraa vastaanotettaessa tehtävän tunnisteiden kiinnityksestä ja rekisteröinnistä syntyvät kulut.

#### **4.5 Luotettavuus**

Radiotaajuustunnistuksessa tunnistus perustuu tunnisteiden lähettämään identiteettinumeroon. Esimerkiksi UHF Gen 2 tunnisteella se voi olla 96 bittiä pitkä ja sisältää tarkistusmerkkejä, joilla epäonnistunutta lähetystä tai vastaanottoa ei tulkita vääräksi identiteetiksi ja näin lukuvirheen mahdollisuus jää hyvin pieneksi.

Sen sijaan tunnistamatta jäämisen riskiä kasvattaa antennin huono asento, jolloin lyhyelläkin lukuetaisyydellä passiivinen tunniste ei vastaanota tar-

peeksi tehoa tunnisteiden toiminnalle. Toisaalta logistisessa ketjussa pakkauksen ulkopintaan asennettu tunniste on alttiina fyysisille vaurioille. Paikannusjärjestelmän luotettavuudelle juuri tämä mahdollisuus, että jokin tunniste jää edes satunnaisesti lukematta aiheuttaa suurimman epävarmuustekijän, jolloin koko järjestelmän sisäinen tarkkuus ja luotettavuus kyseenalaistetaan.

Mikäli paikannus perustuu RSSI-mittaukseen eli tunnisteiden lähettämien signaalien voimakkuuden mittaukseen, ei tulos ole tarkka. Signaalien voimakkuuteen vaikuttaa etäisyyden lisäksi väliaine, mahdollinen sironna ja heijastukset. Tulokulmaankaan perustuva mittaus ei ole tarkka, sillä myös siihen vaikuttavat heijastukset ja radioaallon taittuminen kulkureitillä. Tämä aiheuttaa ulkoisen tarkkuuden heikkouden, sillä ei voida tietää vastaako laskettu sijainti todellista.

Kolmiomittauksen tarkkuutta voidaan parantaa lisäämällä tunnettuja pisteitä minimimäärän kolme lisäksi. Tällöin lopullinen tulos on erillisten kolmen mitauspisteen muodostamien tulosten keskiarvo. Edelleen jää mahdollisuus, että ulkoinen tarkkuus ei ole riittävä kriittiselle tarkastelulle.

Laboratorio-olosuhteissa saksalaiset opiskelijat pääsivät tulokulmaan perustavassa paikantamisessa kolmen sentin tarkkuuteen (Azzouzi ym 2011). Mutta käytännön olosuhteissa, kuten terminaalissa, jossa on erilaisia häiriötä aiheuttavia laitteita, esimerkiksi polttomoottorikäyttöisiä trukkeja, metallia, nesteitä tarkkuus ei voi olla näin hyvä. Virheitä mittaukseen aiheuttaa signaalien hukkuminen muuhun radioliikenteeseen tai taustakohinaan, sen energian imeytyminen nesteisiin ja muihin materiaaleihin sekä monitie-etenemisen aiheuttamista eri vaiheisten signaalien saapumisesta muuttuvana tehona ja signaalien suunnan muutoksista lukijan ja tunnisteiden välillä.

Useimmissa tutkimustuloksissa paikannusta testattiin yhdellä tai korkeintaan kourallisella tunnisteilla. Todellisessa käytössä olisi tunnisteita satoja tai tuhansia samalla alueella, minkä vuoksi yksittäisen tunnisteiden paikantamisen pitäisi olla hyvin nopeaa, jotta voidaan puhua reaaliaikaisesta paikantamisesta jokaisen tunnisteiden kohdalla. Usean tunnisteiden yhtäaikaista vastaamista lukijan pyyntöön hallitaan erilaisilla törmäysprotokollilla. Törmäysprotokollat jakautuvat binääripuuta hyödyntäviin ja hajasaantiprotokollisiin, kuten eri Aloha- versiot. Vaikka nämä pyrkivät siihen, että kukin tunniste saisi oman vuoron lähettää

tunnisteensa, tapahtuu se ajan kustannuksella. Myös tiheä lukijaverkko aiheuttaa törmäyksiä lukijoiden signaaleissa. (Sanghera 2006, 94).

Kysymykseksi jää voidaanko yksittäinen tunniste paikantaa riittävän usein, jotta voidaan jälkikäteen seurata sen liikkeitä riittävän tarkasti toiminnan analysoimiseksi.

#### **4.6 Testaus**

Testaamalla monipuolisesti eri järjestelmiä olisi edellä mainittuja haasteita voitu vahvistaa tai kumota. Koulun lukija ei tue RSSI-mittausta, eikä antenni tulokulmanmittausta, joten sillä ei voida suorittaa mielekkäitä testejä ottaen huomioon tutkimuksen tavoitteet ja muiden asiaa jo tutkineiden julkaisemat tulokset.

Mikäli alan toimittajien kanssa olisi päästy yhteistyöhön ja löydetty jokin mahdollinen tekninen ratkaisu, olisi testaamalla voitu selvittää kyseisen menetelmän tarkkuutta ja luotettavuutta. Tämä on myös keskeinen tavoite useimmissa piloteissa prosessimallin testaamisen ohella.

#### **4.7 Kehitystarpeet**

Tunnisteiden lisääminen tuotteisiin jo valmistusvaiheessa olisi koko ketjun kannalta ehdottomasti edullisin ratkaisu. Suurin hyöty loppuasiakkaan kannalta olisi varkauksien ja virheiden aiheuttaman hävikin väheneminen. Järjestelmän implementointikustannuksia pienentäisi lukuetaisyyden kasvattaminen. Kaksi tapaa tähän on antennien kehittäminen ja lähetystehon nosto. Molemmissa vaikutus on sama, kauempana lukijasta oleva tunniste saa enemmän virtaa. Antenneja voidaan parantaa sekä vastaanottamaan tehoa, että suuntausta tarkentamalla. Antennit paranevat, mutta helpompaa olisi nostaa lähetystehoa. Tätä kuitenkin säätelevät lait, joiden tarkoitus on suojata ihmisen ja ympäristön hyvinvointia. Radioaaltojen vaikutusta soluihin ei täysin tunneta ja siksi teho on haluttu rajata varmasti turvalliselle tasolle. Tehon nosto vaikuttaisi myös negatiivisesti esimerkiksi, jos erillisiä järjestelmiä on kantaman sisällä useita.

## 5 TULOSTEN RAPORTOINTI JA PÄÄTELMÄT

Tutkielman niukkojen tulosten perusteellakin voi tehdä päätelmän, ettei RFID-tekniikka ole vielä kypsää reaaliaikaiseen paikantamiseen muuttuvissa olosuhteissa. Myös logistiikan toimijoiden haluttomuus osallistua tutkimuksen toteuttamiseen voi kertoa joko ennakkoluulosta tai tiedosta, ettei haettu malli ole toimintakelpoinen. RFID-alan toimijoiden resurssien vähäisyydestä ja siitä, ettei alan lehdissä ole mainintoja suomalaisista pilottihankkeista voi päätellä, ettei haettu malli tai sen kehittäminen ole löytänyt rahoitusta. Onhan kuitenkin oppilaitoksissa aihetta käsitelleet useat tutkijat ja opiskelijoiden opinnäytetyöt niin Suomessa kuin maailmallakin. Maailmalla on myös paljon pilotoitu, mutta läpimurto odottaa yhä tuloaan.

### 5.1 Haastattelujen tuloksien arviointi/tulkinta

Lukuisista haastattelupyynnöistä huolimatta yhtään haastattelua ei saatu tehtyä. Suomessa toimii useita RFID-ratkaisuja tarjoavia yrityksiä ja haastattelupyyntö lähetettiin kaikille, joilla on toimipiste pääkaupunkiseudulla. Useimmat eivät edes vastanneet pyyntöön. Tätä voi selittää Vilant Systemsiltä saatu vastaus, jossa he toteavat saavansa vuosittain satoja samankaltaisia pyyntöjä, joista vain muutama he voivat resurssiensa puitteissa suostua.

Haastattelupyyntöjä esitettiin myös useammalle terminaalipitäjälle pääkaupunkiseudulla. Yksikään ei edes vastannut pyyntöön. Jää arvailun varaan, onko tämän taustalla pyyntöjen runsaus vai muut kiireet.

Myös tulli kieltäytyi haastattelusta vedoten, ettei heillä ole aiheeseen sanottavaa. Ilmeisesti tässäkin on taustalla resurssipula, jonka jatkuva julkisuudessa-kin esitetty juustohöyläsäästäminen valtionhallinnon kuluissa aiheuttaa.

Haastattelujen epäonnistuminen johti tutkimuksen supistumiseen lähinnä teoreettiseksi kirjallisuuteen perustuvaksi, joskin tekijän omakohtainen kokemus logistiikan esimies- ja asiakaspalvelutehtävissä on huomioitavissa tehtyjä päätelmiä arvioitaessa.



## 5.2 Ratkaisumallin toimivuuden ja käyttökelpoisuuden arviointi

Tutkimuksessa todettiin, ettei reaaliaikaista paikannusta voida toteuttaa radioaalto-tunnistukseen perustuvalla menetelmällä taloudellisesti logistisen ketjun yhden osapuolen toimesta.

Esteitä tälle on useita. Kuten edellä on esitetty, kustannuksista suurin olisi tunnistesten kiinnittäminen ja kohdentaminen lähetyksen kaikkiin kolleihin siten, että antenni tulisi oikeaan asentoon lukuetäisyyden maksimoimiseksi. Yksittäisen lähetyksen seurannan kustannus vaihtelisi kollojen lukumäärän mukaan ja kiinnittämiseen käytettävä aika taas kollin sisällön, muodon ja pintamateriaalin mukaan. Esimerkiksi pakkaamattomaan metalliin tunnisteen kiinnittäminen olisi haastavaa.

Tutkimuksessa todettiin, ettei tiheälläkään lukijaverkolla päästäisi paikannuksessa reaaliaikaisuuteen, kun ajatellaan sellaista tavaravirtaa, jolla paikannuksen antamien tietojen analysoinnin avulla olisi saavutettavissa tehostamisen tuomia hyötyjä järjestelmän kustannuksia vastaavasti. Yksittäisen tunnisteen paikantaminen tapahtuisi liian harvoin ja lisäksi tarvittavaa tarkkuutta ei saavutettaisi, sillä radioaallot eivät etene suoraviivaisesti tulokulmaan perustuvaa mittauksia ajatellen. Myöskään RSSI-mittaus ei anna parempaa tulosta, sillä tunnisteen lähetysteho ei pysy samana ja riippuen tunnisteen lähettämän radioaallon etenemisreitistä, signaalin teho vaihtelee mittaavalla lukijalla ennakoimattomasti.

## 5.3 Laskelmien paikkansapitävyyden arviointi

Kolmiomittaus on yleisesti käytetty menetelmä ja sen tarkkuus on riippuvainen vain yksittäisten mittaustulosten tarkkuudesta. Menetelmän tarkkuutta voidaan mittauspisteiden lukumäärää lisäämällä vielä parantaa.

Koska teknologiayrityksien haastatteluja ei tehty, ei voitu saada riittävän tarkkaa kuvaa ratkaisun kustannuksista, jotta investointilaskelmia olisi mielekästä tehdä. Kuitenkin arvio, että tunnistesten kiinnitys olisi suurin kustannuserä perustuu sekä kirjallisuuslähteisiin, että omaan kokemukseeni RFID-pilotista hänen toimiessani Muuttopalvelu Niemen varastopäällikkönä.

Logistiikan toimijoiden haastattelujen epäonnistuttua ei voida esittää laskelmia tuotoista, joita, jos järjestelmä saataisiin toimimaan luotettavasti, syntyisi. Kuitenkin toiminnan esteinä on niin monia teknisiä seikkoja, että päätelmä siitä, ettei järjestelmää saa toimimaan on pätevä ja siksi tuottojakaan ei siitä voisi syntyä.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli arvioida millä edellytyksillä radiotaajuustunnistukseen perustuvaan reaaliaikaiseen paikannukseen olisi yhden logistiikkaketjun jäsenen yksinään investoida.

Tutkimuksen tuloksena löydettiin useita tekijöitä, miksei tämä ole todennäköisesti kannattavaa ja joukko tekijöitä, joiden tulisi olennaisesti muuttua, että tekniikka olisi riittävän nopeaa ja luotettavaa, jotta paikannus radiotaajuutta käyttäen olisi reaaliaikaista. Keskeinen este on radioaallon kulkemiseen liittyvä ennustamattomuus. Radiosignaali on altis häiriöille, sen ominaisuuksiin vaikuttavat materiaalit ja esineet reitiltä, joiden vaikutusta voidaan vain arvioida eikä ole mitään takeita siitä, että signaalia mittaamalla voitaisiin tehdä tarkkoja päätelmiä tunnisteen etäisyydestä lukijaan nähden. Tunnisteen asennosta tai sen lähellä sijaitsevasta metalliesineestä tai nesteestä johtuen voi jopa käydä niin, ettei tunniste saa kerättyä tarpeeksi virtaa käynnistyäkseen.

Huolimatta käytetystä ajasta tämä tutkimus ei onnistunut löytämään haastateltavia alan toimijoista. Siksi tutkimuksesta jäi puuttumaan suurelta osin aikalaisarviot tekniikan nykytilasta, käyttökelpoisuudesta ja tulevaisuuden näkymistä sekä logistiikan toimijoiden näkemykset paikannuksen tarpeellisuudesta ja mahdollisista hyödyistä. Osaltaan tämä kertoo alan resursseista, mutta taustalla voi myös olla haluttomuus tuoda esiin yhä ratkaisemattomia haasteita sekä RFID-tekniikassa että sisälogistiikassa.

Tutkimuksessa keskityttiin kirjallisuuslähteisiin, jotka useimmat ovat yli viisi vuotta vanhoja. Monessa niissä ennustettiin, että RFID löisi läpi viiden tai kymmenen vuoden aikajänteellä ja tulevaisuudessa meillä olisi esineiden Internet. Tätä mahdollista kehitystä ei kuitenkaan uusimmistakaan tieteellistä julkaisuista tai alan lehdistä, kuten RFID Journal voi päätellä vielä tapahtuneen.

RFID-tekniikan suurimmat haasteet ovat yhä jäljellä. Eri valtioiden lainsäädäntö ei salli yhtä taajuusaluetta tunnistustekniikan käyttöön, joten logistiikkaketjun on mahdoton käyttää samaa järjestelmää maailmanlaajuisesti. Toinen suuri tutkimuksessakin ilmi tullut ongelma on, että kustannukset ja hyödyt logistiikkaketjussa eivät aina jakaudu tasapuolisesti.

## **6.1 Jatkotutkimukset**

Logistiikassa pyritään toimimaan oikea-aikaisesti, virheettä ja mahdollisimman pienin kustannuksin. Reaaliaikainen tiedonkulku koko ketjun läpi on omiaan edistämään toimijoiden kykyä reagoida kysynnän muutoksiin ja pienentämään kustannuksia mm. varmuusvarastointi tarvetta pienentämällä. Virheet aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia ja johtavat pahimmillaan jopa pysyvään myynnin vähenemiseen asiakasmenetyksinä.

Paikannuksen hyötyjä voitaisiin tutkia terminaalissa rajatulla järjestelmällä, jossa tavaroiden sijaan, tunniste tai muu paikannuksen tarjoava laite kiinnitettäisiin trukkiin tai työntekijään. Tällaisen työntutkimuksen keinoin voitaisiin löytää terminaalien tavaravirran tehostuskohteita huomattavasti edullisemmin kustannuksin. Tällöin voisi myös käyttää kalliimpaa aktiivitunnistetta.

Logistisia ketjuja voisi tutkia, jotta löydettäisiin ne tekijät, joiden perusteella kustannusten avoimempi jako olisi perusteltavissa kaikkien eduksi.

## LÄHTEET

Ayoade J., 2011 RFID Adoption in the Developed and Developing World, Teoksessa McAdams, A. R. (toim.) Radio Frequency Identification. New York: Nova Science Publishers, 93–106.

Azzouzi, S., Cremer, M., Dettmar, U., Kronberger, R. & Knie, T. 2011 New Measurement Results for the Localization of UHF RFID Transponders Using an Angle of Arrival (AoA) Approach. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.f07.fh-koeln.de/imperia/md/content/personen/azzouzi/newmeasurementresults.pdf> [viitattu 6.8.2016].

Bolic, M., Simplot-Ryl, D. & Stojmenovic, I. 2010. RFID Systems: Research Trends and Challenges. E-kirja. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com> [viitattu 12.2.2017].

Cremer, M., Dettmar, U., Hudasch, C., Kronberger, R., Lerche, R. & Pervez, A., 2016. Localization of Passive UHF RFID Tags Using the AoA Transmitter Beamforming Technique. in Sensors Journal IEEE Year: Volume: 16 Issue 6, 1762–1771. WWW-julkaisu. Saatavissa <http://ieeexplore.ieee.org> [viitattu 17.12.2017].

Dobkin, D. 2007. The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice. E-kirja. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com> [viitattu 18.3.2017].

Hoffman, W. 2006. Wal-Mart Tags Up. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.joc.com> [Viitattu 14.12.2017].

Impinj Inc. 2017. Impinj xArray Gateway. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.impinj.com/platform/connectivity/xarray/> [viitattu 24.11.2017].

ISO/IEC 24370-1 2014. Information technology – Real time locating systems (RTLS). RTLS-standardin johdanto. ISO, The International Organization for Standardization. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:24730:-1:ed-2:v1:en> [Viitattu 15.5.2017].

Knüpfer, S. & Puttonen, V. 2014. Moderni rahoitus. Saatavissa: <https://verkko-kirjahyly.almatalent.fi> . [viitattu 12.6.2017].

Miles, S. B., Sarma, S. E. & Williams, J. R. 2008. RFID Technology and Applications. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press.

Poirier, C. C. & McCollum, D., 2006. RFID Strategic Implementation and ROI. Fort Lauderdale, Fla: J. Ross Publications.

Pouri, R 1997. Businesslogistiikka. Helsinki: Suomen Logistiikkayhdistys

RFID Arena, 2013. Benefits of Implementing RFID in Supply Chain Management. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://rfidarena.com> [viitattu 4.7.2016].

RFID Journal 2008 a. Mojix Takes Passive UHF RFID to a New Level. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4019> [viitattu 2.12.2017].

RFID Journal 2008 b. New RFID Technology Helps Kraft, P&G, Kimberly-Clark Go the Distance. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4041> [viitattu 2.12.2017].

RFID Journal 2016 Airbus Testing Low-Cost RTLS from Uwinloc. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?15259/> [viitattu 25.11.2017].

Sanghera, P., 2006. RFID+ study guide and practice exams. Rockland, Mass: Syngress.

Zheng, F., Kaiser, T., 2016. Digital Signal Processing for Passive RFID. E-kirja. Saatavissa <https://ebookcentral.proquest.com> [viitattu 14.7.2017]