



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sakari Pylkkänen

# UHF RFID -teknologia Foodhub- noutopisteen tuoteseurannassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

3.9.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sakari Pylkkänen UHF RFID -teknologia Foodhub-noutopisteen tuoteseurannassa 21 sivua + 4 liitettä 3.9.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Projektivastaava Jere Makkonen, Uudenmaan ruoka / ekompi.net Lehtori Heikki Paavilainen
<p>Passiivinen UHF RFID -tekniikka tarjoaa monia etuja muihin automaattisen tunnistuksen tekniikoihin verrattuna, kuten pitkä tunnistusetäisyys, useiden tunnisteen lähes reaaliaikainen luenta sekä tunnisteen edullinen hinta ja pieni koko. UHF-taajuus ja pitkä lukuetaisyys tekevät kuitenkin tunnistesta herkkiä ympäristön vaikutukselle, ja etenkin tietyt materiaalit voivat aiheuttaa lukuhäiriöitä UHF RFID -sovelluksessa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin UHF RFID -teknologian tuomia mahdollisuuksia tuoteseurannassa sekä toteutettiin UHF RFID-tekniikkaan perustuva tuoteseurantajärjestelmä Uudenmaan ruuan Foodhub-noutopisteessä. Tuotteisiin liimattavien RFID-tunnisteen lukuvarmuutta testattiin noutopisteen tuoteseurantajärjestelmällä sekä mittauksin että käytännössä tuotteen rekisteröinnin, toimituksen ja noudon kautta.</p> <p>Testit osoittivat, että RFID-tarroitetut tuotteet voidaan tunnistaa tässä sovelluksessa luotettavasti, jos järjestelmän toteutuksessa huomioidaan tunnistusalueella olevien materiaalien fysikaalisten ominaisuuksien vaikutus sekä RFID-lukijan ja -tunnisteen tekniset rajoitteet. Kuten aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, tässä projektissa vahvistettiin, että tuotteiden RFID-tarroituksessa on huomioitava erityisesti neste- ja metallituotteiden negatiivinen vaikutus lukuetaisyyteen. Lisäksi uusille tuotteille tulisi kokeellisesti määrittää tuotteiden ominaisuuksien vaikutus lukuetaisyyteen, jotta kaikki tuotteet saataisiin tunnistettua luotettavasti.</p> <p>RFID-tekniikan hyödyntämisellä voidaan säästää monia työvaiheita ja vähentää virheiden määrää, kun tietoja ei tarvitse tallentaa manuaalisesti tietojärjestelmiin. Lisäksi tuotteiden tunnistus ja seuranta helpottuvat, mikä vähentää virheellisen toimituksen mahdollisuutta. RFID-järjestelmä mahdollistaa tuoteseurannan automatisoinnin lisäksi monien lisäsovellusten ja -palveluiden toteuttamisen, kuten vuorokauden ympäri auki olevat itsepalvelukaupat. Insinöörityön kaltaisten hankkeiden kautta RFID-teknologiaa opitaan hyödyntämään entistä monipuolisemmin uusissa sovelluskohteissa, ja RFID-teknologian tarjoamat edut saadaan laajempaan käyttöön yritysten tuoteseurannassa.</p>	
Avainsanat	UHF RFID, RFID-tunniste, tagi, etätunnistus, tuoteseuranta

Author Title	Sakari Pylkkänen Applying UHF RFID Technology in the Foodhub Item Tracking
Number of Pages Date	21 pages + 4 appendices 3 September 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Jere Makkonen, Project Manager, Uudenmaan ruoka / ekompi.net Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>Passive UHF RFID technology offers various benefits compared to other automatic identification technologies, such as a long read range, almost real-time tracking of multiple tags, and the low cost and small size of the tag. However, the UHF frequency and the long read range make the tags sensitive to the immediate surroundings and the environment. In addition, especially certain materials may cause interference with the UHF RFID system.</p> <p>The possibilities offered by the UHF RFID technology in item tracking were investigated in this thesis, and an item tracking system based on the UHF RFID technology was implemented at the Foodhub of Uudenmaan ruoka. The readability of the RFID tags, attached to products, was tested with the Foodhub item tracking system both by measurements and in practice through product registration, delivery, and collection.</p> <p>The tests revealed that products with RFID tags can be reliably identified in this application. However, the identification is reliable only if the implementation of the system takes into account the effect of the physical features of the materials, and the technical limitations of the RFID reader and tag. As previous studies have shown, this project confirmed that the negative impact of liquid and metal objects on the read range must especially be considered. In addition, the effect of the product properties on the read range should be determined experimentally for new products, so that all products could be reliably identified.</p> <p>Utilizing RFID technology can save many work stages and reduce the number of errors since the data does not have to be stored manually in information systems. In addition, item identification and tracking become easier, which, in turn, reduces the possibility of incorrect delivery. In addition to automating item tracking, the RFID system enables the implementation of many additional applications and services, such as the 24-hour self-service stores. Through engineering projects such as this thesis, we are learning to utilize RFID technology in a more versatile way in new applications, and the benefits offered by RFID technology will be more widely used in different companies' item tracking.</p>	
Keywords	UHF RFID, RFID tag, automatic identification, item tracking

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoreettinen tausta	2
2.1	Automaattinen tunnistusjärjestelmä	2
2.2	Optiset tunnisteet	3
2.3	RFID-teknologia	3
2.3.1	RFID-järjestelmien kehitys	3
2.3.2	RFID-taajuusalueet	4
2.3.3	RFID-tunnisteet	6
2.3.4	RFID-lukijan lähetys- ja vastaanottoteho	6
3	Järjestelmän käyttöönotto ja testaus	8
3.1	Yhteistyökumppanit	8
3.2	Järjestelmän toimintaperiaate	9
3.3	Ensimmäinen testilaitteisto	10
3.4	Toinen testilaitteisto	11
3.5	RFID-tarrojen lukuvarmuustestit	12
3.6	Suorituskykytestit	13
4	Tulokset	14
4.1	Lähetysteho- ja RSSI-mittaukset	14
4.2	Johtopäätökset	16
5	Jatkokehitysideat	17
6	Yhteenveto	18
	Lähteet	20
	Liitteet	
	Liite 1. Kaaviot mittauspisteistä 4–9	
	Liite 2. Margin test -tulokset mittauspisteistä 1–12	
	Liite 3. Margin test -tulokset metallikorin vaikutuksesta UHF RFID-tunnistuksessa	
	Liite 4. Margin test -tulokset lasipullon vaikutuksesta UHF RFID- tunnistuksessa	
	Liite 5. RFID-lukijan lähettämät tunnisteiden seurantatiedot	

## Lyhenteet

BAP	Battery-Assisted Passive. Passiivinen RFID-tunnistin sisäisellä paristolla.
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor. Kanavatransistoreihin perustuva mikropiiritekniikka.
dB	Decibel. Tehosuureiden suhteiden vertailu logaritmisella asteikolla.
dBm	Decibel-milliwatts. Desibeli suhteessa milliwattiin logaritmisella tehon asteikolla ilmaistuna.
EAN	International Article Number. Kansainvälinen tavarnumero. aikaisempi nimi on European Article Number, eli eurooppalainen tavarnumero.
EPC	Electronic Product Code. Kansainvälinen numerointistandardi, joka varmistaa, että jokainen EPC-koodattu RFID-tägi on yksilöllinen.
FAT	Factory Acceptance Test. Tehdastestaus tuotteelle asetettujen vaatimusten todentamiseksi.
FoV	Field of View. Laitteen tunnistaman tai ”näkemän” alueen koko.
HF	High Frequency. Radioaaltojen taajuusalue välillä 3–30 MHz.
IC	Integrated Circuit. Integroitu piiri eli mikropiiri.
IFF	Identify Friend or Foe. Lentokoneiden tunnistusjärjestelmä.
IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
JSON	JavaScript Object Notation. Avoimen standardin tiedostomuoto.
LAN	Local Area Network. Lähiverkko.

LF	Low Frequency. Radioaaltojen taajuusalue välillä 30–300 kHz.
NFC	Near Field Communication. RFID-perusteinen teknologia lyhyen kantaman tiedonsiirtoon.
OCR	Optical Character Recognition. Optinen merkin tunnistus.
QR code	Quick Response code. Neliönmuotoinen kuviokoodi.
PoE	Power over Ethernet. Tekniikka, jossa virransyöttö voidaan järjestää verkkoliikenteessä käytettävän parikaapelin kautta.
RAIN	RADio frequency IDentificatioN. RAIN RFID on standardoidun, passiivisen UHF RFID-teknologian kaupallinen nimitys.
RF	Radio Frequency. Sähkömagneettisen säteilyn taajuusalue välillä 3 kHz – 300 GHz.
RFID	Radio Frequency IDentification. Radiotaajuinen etätunnistus.
RSSI	Received Signal Strenght Indication. Vastaanotetun signaalin voimakkuus.
SAT	Site Acceptance Test. Hyväksymistestaus tuotteelle asetettujen kriteerien todentamiseksi.
UHF	Ultra-High Frequency. Radioaaltojen taajuusalue välillä 0,3–3 GHz.
VHF	Very high Frequency. Radioaaltojen taajuusalue välillä 30–300 MHz.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli implementoida Foodhub-noutopisteeseen UHF RFID -teknologiaan perustuva tuoteseurantajärjestelmä. Radiotaajuinen etätunnistus, eli RFID valikoitui automaattisen tunnistusjärjestelmän teknologiaksi aiemmin toteutetun Digi-Salama-hankkeen automatisointiprojektin yhteydessä. Digi-Salama-hanke on Metropolia Ammattikorkeakoulun ja Vantaan kaupungin yhteistyöhanke, jonka tavoitteena on uuden osaamisen synnyttäminen sekä uusien teknologioiden ja valmiiden toimintakonseptien hyödyntäminen [1].

Insinööriyössä käytettyä, UHF-taajuudella toimivaa RFID-teknologiaa pidetään avainteknologiana esineiden internetin (IoT) kehityksessä [2]. Passiivisella UHF RFID -teknologialla saavutetaan useita merkittäviä etuja muihin automaattisen tunnistuksen teknologioihin, esimerkiksi optiseen tunnistamiseen verrattuna [3]. RFID-teknologia mahdollistaa suuren tuotemäärän samanaikaisen tunnistamisen luotettavasti ja alhaisin kustannuksin, joten se on erittäin houkutteleva tuotetunnistuksen vaihtoehto niin teollisuus- kuin kuluttajasovelluksissa [4, s. 3].

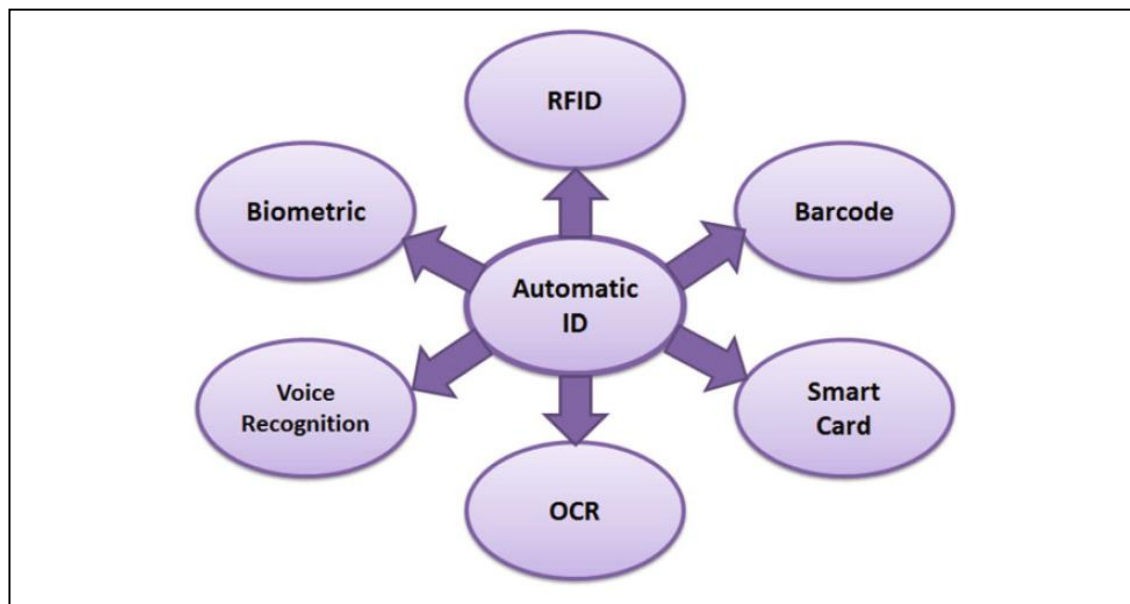
Insinööriyön tavoitteena oli tutkia UHF RFID -teknologian tuomia automatisointimahdollisuuksia tuoteseurannassa. Automatisoinnin avulla pienennetään virheellisen toimituksen todennäköisyyttä, vähennetään turhaa työtä sekä parannetaan logistiikan hallintaa. RFID-teknologian implementointi toteutettiin kauppakeskus Hertsissä olevaan Uudenmaan ruuan noutopisteeseen. Uudenmaan ruoka on paikallisten elintarvikkeiden jakelukeskus eli Foodhub. Ekompi.net-verkkosivujen kautta tilattu lähi- ja luomuruoka toimitetaan tuottajalta suoraan kuluttajan valitsemaan noutopisteeseen. Kauppakeskus Hertsin noutopisteeseen toteutettu tuotetunnistusjärjestelmä voidaan lisätä kaikkiin ekompi.net-palvelualustalla toimiviin Foodhub-jakelukeskuksiin sekä niissä myytäviin tuotteisiin.

## 2 Teoreettinen tausta

### 2.1 Automaattinen tunnistusjärjestelmä

Automaattinen tunnistusjärjestelmä tarkoittaa mitä tahansa teknologiaa, joka tunnistaa ja paikantaa fyysiset esineet automaattisesti sähköisen tiedonvälityksen kautta. Automaattisen tunnistusjärjestelmän tavoitteena on tehokkuuden lisääminen ja kustannusten vähentäminen. Automaattisen tunnistusjärjestelmän käyttö vapauttaa tiedon syöttämisen työresursseja ja samalla vähentää virheriskiä. Järjestelmien luotettavuus mahdollistaa tunnistusmenetelmien soveltamisen laaja-alaisesti esimerkiksi toimitusketjun eri vaiheissa. [4, s. 4.]

Automaattisia tunnistusratkaisuja ovat RFID:n lisäksi viivakoodit (Barcode), älykortit (Smart Card), OCR (Optical Character Recognition eli optinen merkin tunnistus), ääntunnistus (Voice Recognition) sekä biometriset tunnisteet (kuva 1).



Kuva 1. Automaattisia tunnistusratkaisuja [4, s. 5].

Seuraavassa luvussa kerrotaan teoriataustaa insinööriyön aikana Foodhub-noutopisteessä käyttöönotetuista ja testatuista automaattisen tunnistuksen teknologiasta. Foodhub-tuotteen rekisteröimiseksi järjestelmään käytetään optisista tunnisteista sekä viivakoodia että QR-koodia (Quick Response code). RFID-järjestelmä mahdollis-



taa järjestelmään rekisteröidyn tuotteen etäluennan ja tuotetiedon automaattisen päivityksen.

## 2.2 Optiset tunnisteteet

Tiedon koodausta ja tallentamista erilaisia merkkejä tai symboleja käyttäen on tehty jo pitkän aikaa. Viivakoodi on ensimmäinen automaattinen, ilman fyysistä kontaktia toimiva tunnistustekniikka. Viivakoodin suurimpia etuja ovat alhaiset tuotantokustannukset ja helppokäyttöisyys. Viivakoodin haittapuolena voidaan kuitenkin pitää lyhyttä lukuetaisyttä ja rajoittunutta tallennettavan tiedon määrää. Uudemman sukupolven nelionmalliset QR-koodit voivat sisältää viivakoodia enemmän informaatiota, mutta niidenkin haittana on lyhyt lukuetaisyys. [5, s. 2–3.]

## 2.3 RFID-teknologia

Radiotaajuinen tunnistus (RFID) on teknologia, jota pyritään integroimaan yhä enemmän moniin arkipäivän toimintoihin. RFID-teknologian yleistyminen on aikaansaanut maailmanlaajuisen muutoksen esimerkiksi ihmisten, lemmikkien, tuotteiden ja omaisuuden tunnistuksessa sekä seurannassa. RFID-teknologiassa hyödynnetään edullista, langatonta RFID-sirua tai -tunnistetta, joihin tallennetaan tuotteeseen liittyviä tietoja. Tunnisteen läheisyydessä olevalla lukijalla voidaan lukea tunnisteeseen tallennettua tietoa. Magneettinauha- tai viivakoodijärjestelmästä poiketen RFID-tunniste ei tarvitse suoraa kontaktia tai näköyhteyttä. [5, s. 3.]

### 2.3.1 RFID-järjestelmien kehitys

Radiotaajuinen tunnistus ei ole uusi keksintö, vaan radiotaajuista tutkaa on käytetty jo toisen maailmansodan aikana kaukana olevien lentokoneiden tunnistamisessa. Käytössä ollut tutka ei pystynyt erottamaan omia ja vihollisen koneita toisistaan, mutta saksalaiset huomasivat, että koneesta takaisin heijastuva signaali on erilainen, jos lentäjä kallistaa konetta tukikohtaan tullessaan. Saksalaisten keksimä menetelmä on ensimmäinen käyttötapa passiiviselle RFID-tekniikalle. [4, s. 3.]

Seuraavaksi englantilaiset kehittivät IFF-järjestelmän (Identify Friend or Foe, tunnista ystävä tai vihollinen), jossa kaikki englantilaiset lentokoneet oli varustettu lähettimellä. Tutka-asema lähetti koneille signaaleja niiden palatessa tukikohtaan, ja signaalin vastaanotettuaan koneet lähettivät takaisin tukikohtaan signaaleja identifioidakseen itsensä. [4, s. 3.]

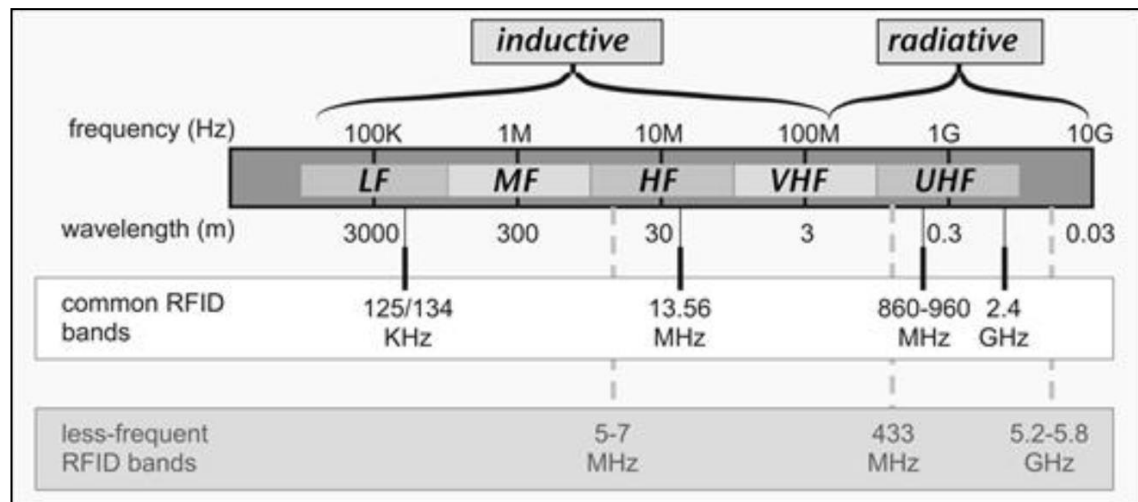
RFID-teknologiassa on otettu käyttöön useita eri taajuuksia. LF-taajuus (Low Frequency) tuli 1980-luvun puolivälissä käyttöön auton avaimissa ja eläinten tunnistamisessa. HF-taajuus (High Frequency) tuli laajasti kirjastojen käyttöön 1990-luvun puolivälissä. UHF-taajuus otettiin käyttöön 2000-luvun alussa ja se on tällä hetkellä RFID-järjestelmien käytetyin taajuus. [7.]

Vuonna 2006 otettiin käyttöön ISO 18000-6c -standardi, joka tunnetaan yleisesti EPC Gen 2 -nimellä. Standardointi antoi lisävauhtia UHF RFID -teknologian kehitykselle. Standardi mahdollisti investoinnin yhteen, kansainvälisesti standardoituun järjestelmään, monien toisistaan poikkeavien järjestelmien sijaan. EPC Gen 2 on järjestelmästandardi, eli se määrittelee tekniikan ja rajapintojen lisäksi myös tunnistimiin tallennettavan tiedostomuodon. [3, s. 23.]

Käyttäjät hyötyvät EPC Gen 2 -standardoinnin mahdollistamasta vapaasta kilpailusta. Nykyään UHF RFID -järjestelmistä voidaan valita parhaat tunnistimet ja antennit, ja tarvittaessa vaihtaa järjestelmän komponentteja, milloin vain. Suhteellisen uusi UHF RFID -teknologiaan liittyvä lyhenne on RAIN (Radio Frequency IDentification eli radio-taajuinen tunnistus). RAIN RFID on kansainvälinen allianssi, joka edistää EPC Gen 2 -protokollaan perustuvan UHF RFID -teknologian käyttöä. [3, s. 23.]

### 2.3.2 RFID-taajuusalueet

Käytössä oleva RFID-taajuusalue vaikuttaa lukijan ja tunnisteen väliseen kommunikointitapaan (kuva 2). Yleisesti käytössä olevista RFID-taajuuksista LF- ja HF-taajuudella toimivissa järjestelmissä lukija lukee tunnisteeseen tallennetun tiedon käyttäen induktiivista kytkentää. UHF-taajuudella toimivassa järjestelmässä lukijan ja tunnisteen välinen kommunikointi tapahtuu sähkömagneettisten aaltojen avulla. [6.]



Kuva 2. RFID-taajuusalueet [6].

Alla on listattuna yleisimmin käytettävien taajuuksien käytännön eroavaisuuksia:

- Induktiivista kytkentää käyttävissä LF- ja HF-järjestelmissä lukuetaisyydet ovat lyhyitä ja selkeitä, kun taas sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvissa UHF-järjestelmissä lukuetaisyydet ovat pidempiä, monimutkaisempia, usein epäjatkuvia, ja lähekkäin olevat lukijat voivat interferoida keskenään
- LF- ja HF-tunnisteissa käytetään kelatyypistä antennia, jonka koko on verrannollinen lukuetaisyyden kanssa. UHF-tunnisteissa käytetään pääasiassa dipolimaisia antennia, ja lukuetaisyyttä rajoittaa lähtimen teho
- LF-säteily tunkeutuu vedessä ja vesipitoisissa materiaaleissa normaalia lukuetaisyyttä pidemmälle, ja HF-säteilyn tunkeuma veteen vastaa normaalia lukuetaisyyttä. UHF-säteilyn tunkeutuminen veteen on vähäistä verrattuna lukuetaisyyteen ilmassa.
- LF-säteily läpäisee ohuita metallikerroksia, toisin kuin HF- ja UHF-säteily, jotka voidaan pysäyttää jopa ohuella metallikalvolla
- LF-tunnisteiden tiedonsiirto on hidasta verrattuna HF- ja UHF-tunnisteisiin, joilla päästään yli 100 kbps tiedonsiirtonopeuteen. [6.]

### 2.3.3 RFID-tunnisteet

RFID-tunnisteisesta käytetään yleisesti nimitystä tagi tai tägi (englanniksi tag, transponder). RFID-järjestelmään voidaan valita eri taajuuksien lisäksi joko passiivinen, semipassiivinen (BAP, battery-assisted passive) tai aktiivinen tunniste [7]:

- Passiivisessa RFID-tunnisteessa ei ole omaa virtalähdettä. Tunnisteessa oleva RFID-siru saa tarvitsemansa virran lukijan lähettämästä radiotaajuisesta sähkömagneettisesta säteilystä, joka indusoituu tunnisteen anteniin.
- Semipassiivisessa (käytetään myös nimitystä puolipassiivinen) tunnisteessa on paristo, josta RFID-siru saa tarvitsemansa virran. Paristo voi olla pienikokoinen, koska RFID-sirulle riittää yleensä muutaman mikrowatin ( $\mu\text{W}$ ) teho.
- Aktiivisessa tunnisteessa on suurempi virtalähde RF-signaalin lähettämiseksi. Tällöin lukuetaisyys on pidempi, mutta toisaalta suurempi virtalähde rajoittaa aktiivisen tunnisteen käyttökohteita. [7.]

Useimmissa käytännön sovelluksissa tunniste lähettää vain oman yksilöllisen tunnistetietonsa. Joissain sovelluksissa tunniste mittaa lisäksi erilaisia fyysisiä muuttujia, kuten lämpötilaa, painetta tai sydämen sykettä. Tällöin RFID-tunnisteesta tulee RFID-anturi. [7.]

### 2.3.4 RFID-lukijan lähetys- ja vastaanottoteho

Kuten radiotekniikassa yleensä, niin myös RFID-lukijan tehosta puhuttaessa, ilmoitetaan tehosuureiden suhde logaritmisella asteikolla. Käytettävä yksikkö desibeli (dB) on dimensioton ja SI-järjestelmään kuulumaton yksikkö. Logaritmista asteikkoa käytetään, koska RFID-tekniikassa esiintyvien, suurien tehoerojen esittäminen desimaalilukujen avulla olisi hankalaa. Käytettävä 10-kantainen logaritmi määritellään seuraavasti [7]:

$$10^{\log(x)} = x$$

Kahden tehon välinen suhde, esimerkiksi vahvistimen tuottama tehon vahvistus ( $G_{\text{dB}}$ ), mikä on vahvistimen lähtötehon ( $P_2$ ) suhde vahvistimeen syötettyyn tehoon ( $P_1$ ), kirjoitetaan desibeleinä [7]:

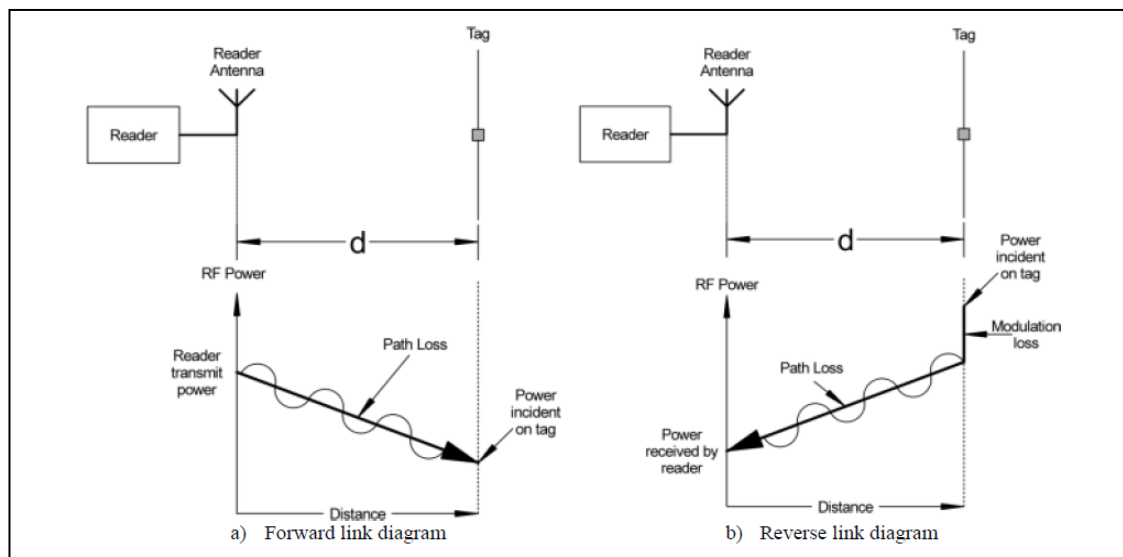
$$G_{dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Absoluuttisen tehon määrittämiseksi desibeleinä on tiedettävä vertailutaso. Mikroaalto- ja RFID-tekniikassa yleisin vertailutaso on milliwatti (mW), jolloin desibeliasteikolla ilmaistua tehoa suhteessa yhden milliwatin tehoon merkataan dBm [7]:

$$dBm = 10 \log \left( \frac{P}{1mW} \right)$$

Lukijan vastaanottoherkkyys (reader receive sensitivity) on pienin mahdollinen lukijalle tuleva signaaliteho onnistuneen luennan aikaansaamiseksi. Jos esimerkiksi lukijan pienin vastaanottotaso on -60 dBm, ei se havaitse -65 dBm:n signaalia. Yleisesti ottaen kiinteä lukija havaitsee kannettavaa lukijaa paremmin pienitehoisia signaaleja. [8.]

Modulaatiohäviö (modulation loss) on lukijalta lähtevän tehon ja tunnisteelta heijastuvan takaisinheijastustehon (backscatter power) välinen suhde. Modulaatiohäviö on yleensä vähintään -6 dB, ja sen suuruus riippuu tunnisteiden mallista ja koosta, sekä tunnisteelle tulevan RF-tehon suuruudesta. Kuvassa 3 on esitetty lukijalta lähtevään (a) ja lukijalle palaavaan (b) signaaliin vaikuttavat tehohäviöt monostaattisessa RFID-yhteydessä. [8.] Monostaattisella yhteydellä tarkoitetaan tilannetta, jossa sekä lähetin että vastaanotin sijaitsevat samassa paikassa.



Kuva 3. UHF RFID -järjestelmän yhteyskaavio [8].

RFID-yhteyden häiriötön toiminta riippuu monista tekijöistä. Sovellus saadaan toimimaan halutulla tavalla pääkomponenttien huolellisella tarkastelulla ja valinnalla. Seuraavassa on listattuna muutamia huomioitavia avainasioita toimivan yhteyden aikaansaamiseksi:

- Tunnisteen koko on ensimmäisiä huomioitavia asioita. Sopivan tunnisteen löydyttyä tulisi selvittää tunnisteen herkkyys (tag sensitivity) ja takaisinheijastusteho (backscatter power). Tunnisteen herkkyys vaikuttaa lähtöyhteyden ja takaisinheijastusteho paluuyhteyden onnistumiseen.
- Lukijan pääparametrit ovat suurin lähtöteho ja vastaanottoherkkyys. Ensimmäinen parametri vaikuttaa lähtöyhteyden ja toinen parametri paluuyhteyden onnistumiseen.
- Todellinen käyttöympäristö vaikuttaa järjestelmän suorituskykyyn. Lukijan antennin ja tunnisteen välinen etäisyys heikentää signaalia (path loss). Tunnisteen läheisyydessä olevat metallit tai tunnisteiden suuri määrä pienessä tilassa voivat muuttaa merkittävästi tunnistusherkkyyttä ja aiheuttaa siten häiriöitä tunnisteiden lukemisessa. Käyttöympäristössä tai sitä vastaavassa tilassa tehtävillä perusteellisilla testeillä varmistetaan järjestelmän toimivuus käytännössä.

Ennen RFID-järjestelmän käyttöönottoa kannattaa tutustua lukijan ja tunnisteen tekniisiin tietoihin ja suorittaa tarvittavat tehohäviölaskelmat todellisen käyttöympäristön mukaisesti. Laskelman perusteella voidaan määrittää alustavasti, ovatko valitut komponentit järjestelmään sopivia. [8.]

### **3 Järjestelmän käyttöönotto ja testaus**

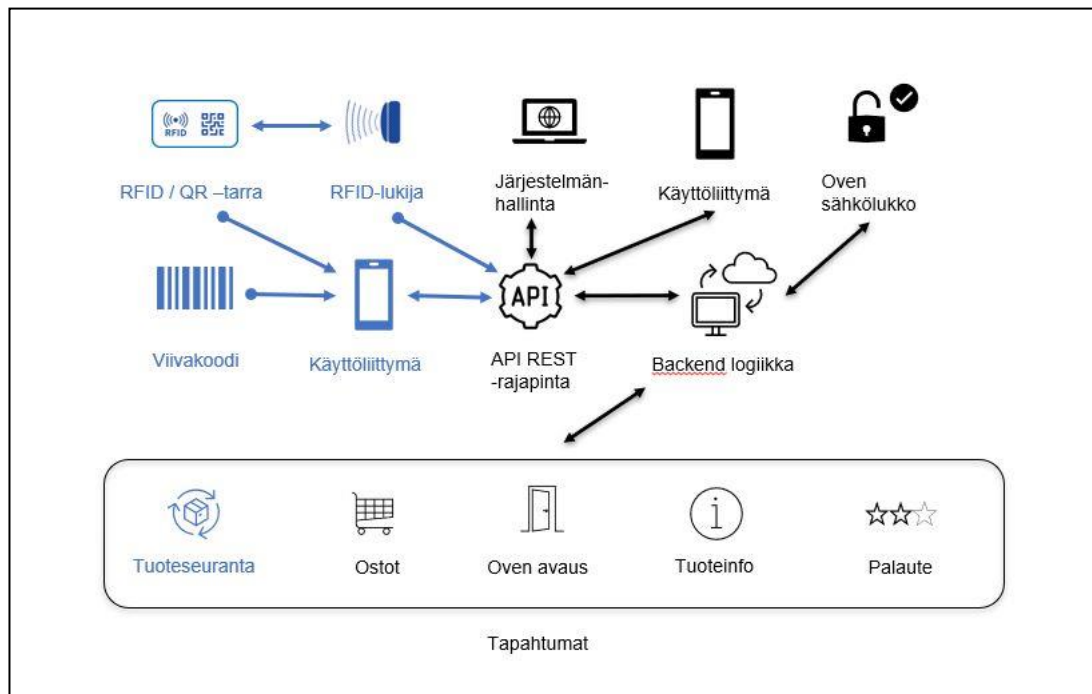
#### **3.1 Yhteistyökumppanit**

Projektiin osallistui sen eri kehitysvaiheissa useita eri toimijoita. Projektin tärkeimpiä yhteistyökumppaneita olivat ekompi.net-palvelualustan kehitystiimi, Finn-ID, Folium Farms, Uudenmaan ruoka ja Stora Enso.

Ekompi.net-kehitystiimi ohjelmoi palvelualustaan tarvittavat muutokset ja oli mukana järjestelmän kehittämisessä. Finn-ID lainasi tarvittavan laitteiston, tulosti sekä antoi testikäyttöön riittävän määrän RFID-tarroja ja oli mukana käytännön toteutuksessa. Uudenmaan ruuan tuottajista Folium Farms auttoi käytännön testeissä liimaten noutopisteelle toimitettaviin tuotteisiin RFID-tarroja, ja rekisteröiden tuotteet ekompi.net-sovellukseen. Tuottajien palaute ja toivomukset huomioitiin laitteiston kehittämiseksi mahdollisimman toimivaksi ja käyttäjäystävälliseksi kokonaisuudeksi. Stora Enso antoi testeihin useita erilaisia ECO RFID -tarroja, jotka mahdollistivat ympäristöystävällisen RAIN RFID -tunnisteen testauksen.

### 3.2 Järjestelmän toimintaperiaate

Kauppakeskus Hertsissä sijaitsevaan Uudenmaan ruuan Foodhub-noutopisteeseen toteutetussa tuoteseurantajärjestelmässä (kuva 4) RFID-lukija sijoitettiin sisäänkäynnin läheisyyteen. RFID-lukija tunnistaa oven kautta kulkevat tuotteet ja lähettää seuranta-tiedot ekompi.net-palvelualustalle. Ekompi.net on lähiruoan tilaus- ja palvelualusta, joka yhdistää paikalliset ruoantuottajat ja heidän tuotteistaan kiinnostuneet asiakkaat [9].



Kuva 4. RFID-tuoteseurantajärjestelmä osana Foodhub-noutopisteen automatisointia.

Tuotteeseen liimattavan tarran RFID-tunnisteessa ja QR-koodissa on sama EPC-koodi. Tuotekirjauksessa tuotteen EAN-viivakoodi ja RFID-tarran QR-koodi skannataan, jolloin tuotteen EAN-koodi ja RFID-tarran EPC-koodi yhdistyvät. Sekä viivakoodin että QR-koodin skannaus voidaan suorittaa mobiililaitteen kameralla ekompi.net-sovelluksen kautta, joten erillistä optisen koodin lukulaitetta ei tarvita.

Tuotekirjauksen jälkeen noutopisteen ovelle sijoitettu RFID-lukija tunnistaa RFID-tarrassa olevan EPC-koodin perusteella noutopisteen oven kautta kulkevat tuotteet. RFID-järjestelmän ansiosta noutopisteeseen toimitetut ja sieltä noudetut tuotteet päivittyvät ekompi.net-sovelluksen tietokantaan lähes reaaliaikaisesti.

### 3.3 Ensimmäinen testilaitteisto

Testit aloitettiin asentamalla kauppakeskus Hertsissä sijaitsevaan noutopisteeseen Impinj Speedway R120 RAIN RFID -lukija, johon liitettiin ympyränmuotoisesti säteilevä Perfect Wave-101 -antenni. RFID-lukija sijoitettiin sisäseinän päälle, ja antenni oven yläpuolelle lukemaan oven kautta kulkevia tuotteita. RFID-tunnisteena käytettiin paperipintaista Smartrac Dogbone Monza 4 QT 97x27 -tunnistetta eli -tagia. Tageihin tulostettiin yksilöllistä EPC-koodia vastaava QR-koodi, joka voidaan lukea esimerkiksi puhelimen kamerasella avulla.

RFID-sovelluksen vähimmäisvaatimukseksi asetettiin noin kolmen metrin lukuetaisyys eli oven yläpuolella olevan RFID-antennin ja lattian välinen matka. Vähimmäisvaatimuksen mukainen lukuetaisyys oli valmistajien ohjelehtien mukaan helposti saavutettavissa [10; 11; 12]. Käyttöympäristössä tehdyillä testeillä varmennettiin lukuetaisyyden riittävyys myös käytännössä. Sovellus toimi halutulla tavalla vielä 20 dBm:n lähetysteholla (Tx power), kun lukijan maksimilähetysteho on 30 dBm. Koska lähetysteho kaksinkertaistuu 3 dB:n välein, on asetettu 20 dBm:n teho 10 kertaa pienempi lukijan maksimitehoon (30 dBm) verrattuna.

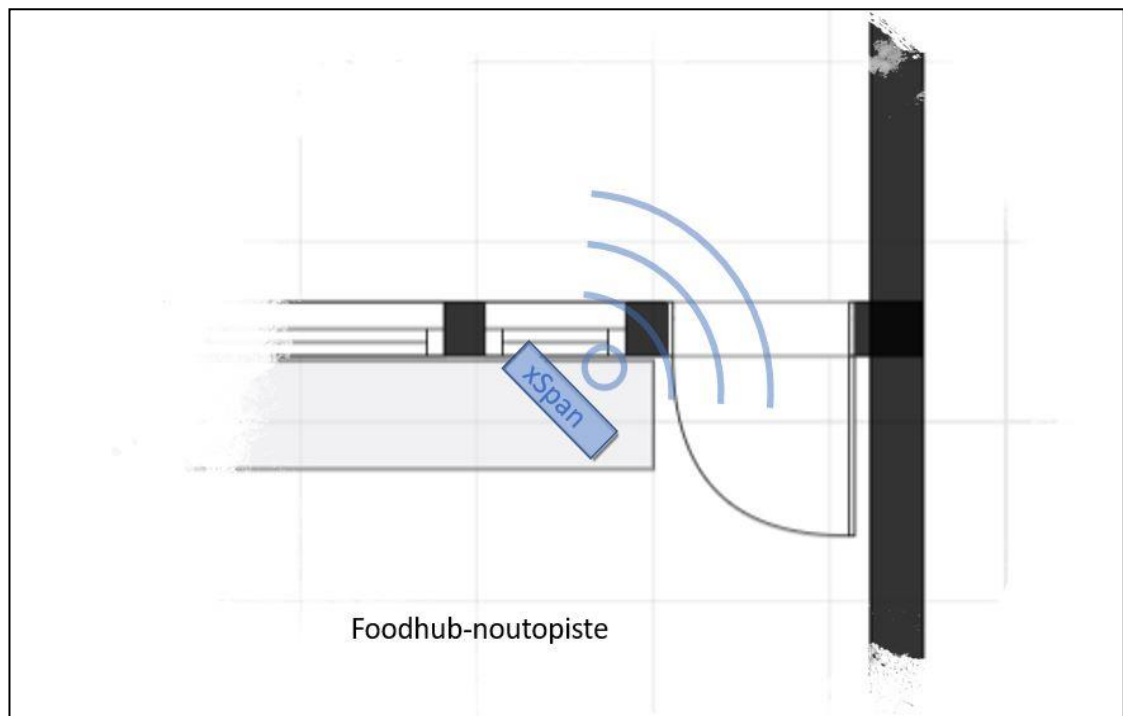
Lukuetaisyyden lisäksi pidettiin tärkeänä selvittää se, kuinka luotettavasti tagi voidaan lukea vaaditulta etäisyydeltä. Lukuvarmuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten RF-häiriöt, RF-signaalin moniheijastuminen (multipathing) sekä tunnisteiden asento ja sen fyysiset ominaisuudet. Laitteistolle tehtiin suorituskyky mittaukset, ohjelmoitiin tunnistetietojen lähetysparametrit RFID-lukijasta ekompi.net-alustalle sekä testattiin erilaisten



RFID-tagien toimintaa käytännössä. Varsinaiset toimintatestit päätettiin tehdä Impinj xSpan -lukijalla, koska sen monipuolisemmat lukuominaisuudet antoivat selviä lisäetuja ensimmäiseen testattuun lukijaan verrattuna.

### 3.4 Toinen testilaitteisto

Toiseen testiin otettiin Impinj xSpan -RFID-lukija, jonka suurin etu Speedway-lukijaan verrattuna on tagin liikkeen tunnistus. Tagin liikesuunnan ja EPC-koodin perusteella voidaan noutopisteelle toimitetun tai sieltä noudetun tuotteen tiedot päivittää järjestelmään automaattisesti.



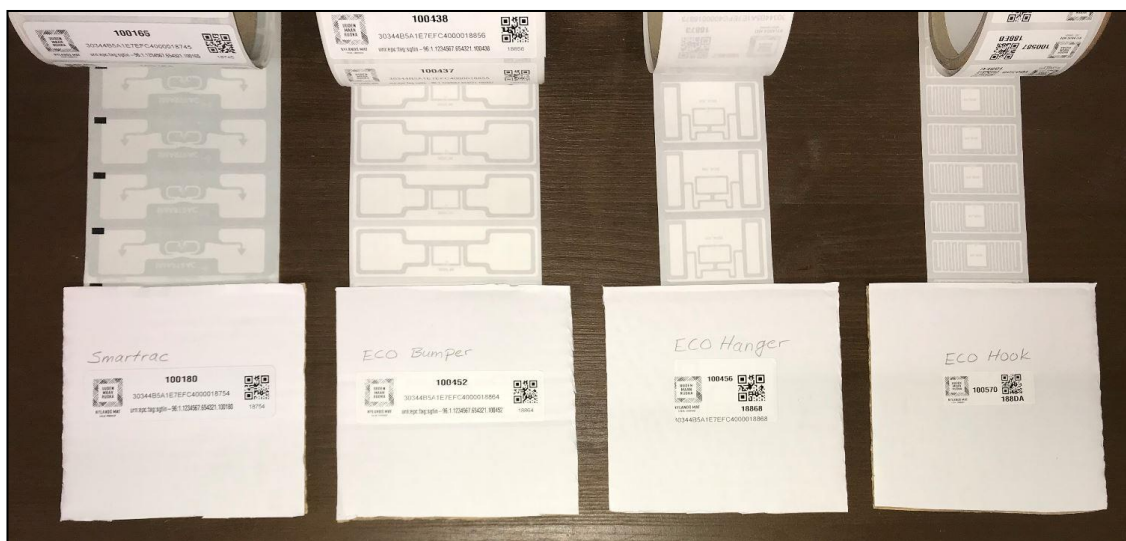
Kuva 5. Impinj xSpan UHF RFID -lukijan sijainti Foodhub-noutopisteessä.

xSpan Gateway on RAIN RFID -lukija, jossa on Phased Array -anturitekniikkaa hyödyntävä integroitu antenni. Phased array -antennissa on 13 kaksoispolarisoivaa (vaaka- ja pystysuuntainen polarisaatio) sädettä. Lukijan sisäinen prosessori ohjaa säteen suuntaa, sijaintia ja polarisaatiota. Järjestelmä pystyy ohjaamaan antennin sädettä pituusakselinsa suuntaisesti havaitakseen tunnistusalueella olevat tagit ja niiden liikesuunnan. Lukija on PoE (Power over Ethernet) yhteensopiva, eli virransyöttö ja tiedon siirto voidaan toteuttaa samassa verkkokaapelissa. [13.]

Lukija sijoitettiin (kuvan 5 mukaisesti) noutopisteen oven viereen, 95 cm:n korkeudelle lattiasta ja oviaukkoon nähden 45°:n kulmaan. Lukualueella pyrittiin kattamaan koko oviaukko, mutta samalla välttämään noutopisteessä sisällä olevien tuotteiden lukua. Lukijan konfigurointi ja ohjelmapäivitys tehtiin lukijan kanssa samassa LAN-verkossa olevalla tietokoneella Impinj Reader Management -verkkosivujen kautta. Lukijan parametrien määrityksessä, tagien luettavuustesteissä ja liiketunnistuksen sekä moniluen- nan testauksessa käytettiin Windows-pohjaista Impinj ItemTest -ohjelmaa.

### 3.5 RFID-tarrojen lukuvarmuustestit

Tagien lukuvarmuustesteissä oli yhteensä viisi tagimallia kahdelta eri valmistajalta. FAT (Factory Acceptance Test eli tehdastestaus) tai SAT (Site Acceptance Test eli hyväksymistestaus) -testejä ei tarvinnut tehdä, koska kyseessä ei ollut kaupallinen hanke. Järjestelmän lopullinen testi eli suorituskykytesti tehtiin kuitenkin oikeassa käytöympäristössä niin, että tuottaja rekisteröi testatut tuotteet järjestelmään ja RFID-lukija tunnisti noutopisteelle toimitettavat ja sieltä noudettavat tuotteet.



Kuva 6. Testattujen tagien tulostus- ja tarrapuoli.

RFID-tagien lukua testattiin Impinj ItemTest -ohjelmassa olevalla Margin Test -toiminnolla. Oviaukon ympärillä olevissa 12 mittauspisteessä testattiin pahviin liimattujen testitagien lukua kolmessa tagin eri orientaatioissa. Testitilanteessa lukijan tehoa nostettiin 15 dBm:n lähtötasosta maksimilähetystehoön (30 dBm) asti. Tulokseksi saatiin lähetysteho- ja RSSI-arvot (Received Signal Strength Indicator eli vastaanotetun

signaalin voimakkuus), jolla testattu tagi oli luettavissa. Tagivertailuun otettiin mukaan Smartrac Dogbone sekä Stora Enson ECO RFID -tuotesarjan tageista Bumper, Hanger ja Hook (kuva 6).

RFID-tagien lukua testattiin pahviin liimattujen tagien lisäksi tunnistamisen kannalta haastavissa tuotteissa, koska tuotteen ominaisuudet voivat vaikuttaa tagin antennin toimintaan. Tuote vaikuttaa luettavuuteen erityisesti silloin, kun kyse on nestemäisestä tai metallisesta aineesta [14]. Tunnistettavuuden kannalta haastavia tuotteita varten testattiin edellä mainittujen tagien lisäksi Stora Enson valmistamaa ECO Stripe RAIN RFID -tagia, joka on tarkoitettu käytettäväksi metallisissa- ja muissa tagin lukuetaisyys-teen negatiivisesti vaikuttavissa tuotteissa [15].

### 3.6 Suorituskykytestit

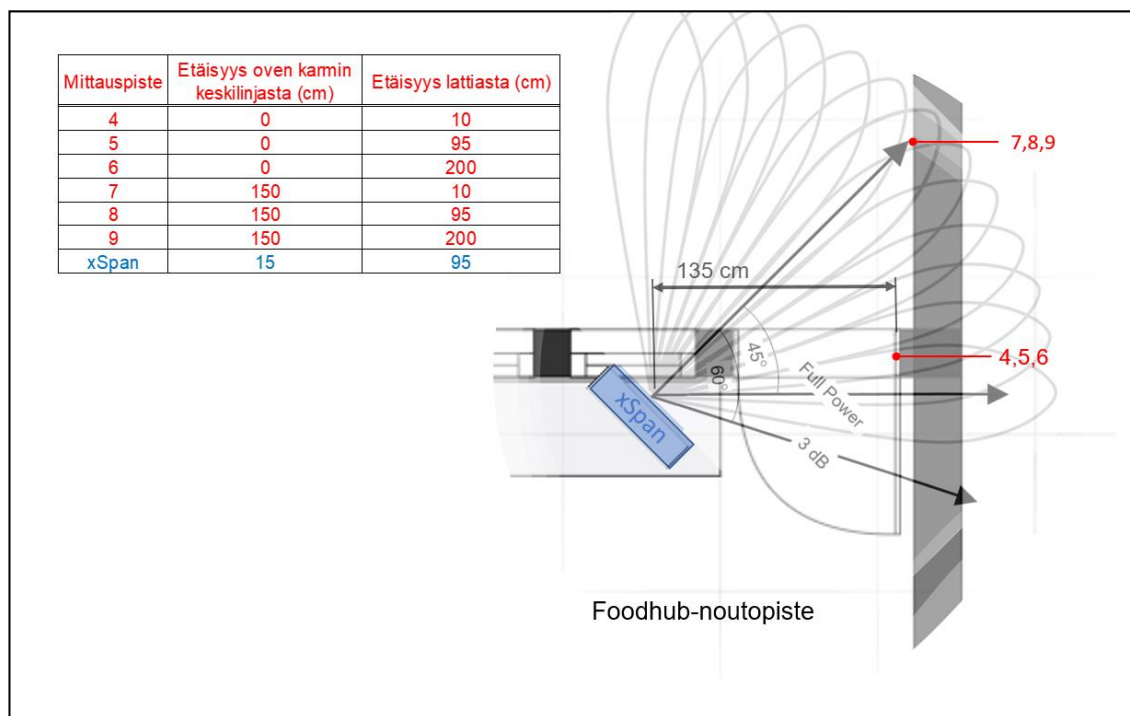
Koko tuoteseurantajärjestelmän suorituskykytestiä varten pyydettiin tuottajaa liimaamaan noutopisteeseen tilattuihin tuotteisiin RFID-tarrat ja skannaamaan järjestelmään tuotteen EAN-viivakoodi sekä RFID-tarraan tulostettu EPC-QR-koodi. RFID-lukija tunnisti oven kautta kulkevat tuotteet ja lähetti järjestelmään tarvittavat tiedot, kuten tunnisteen EPC-koodin, tunnistusajan ja tunnisteen kulkusuunnan. Muut tuotetiedot päivittyivät järjestelmään tuottajan syöttämien tietojen perusteella.

Käytännön suorituskykytesteissä tagien rekisteröinti ja optisten koodien luku onnistuivat pilottitestauksissa mukana olleen tuottajan käyttämällä mobiililaitteella, joten erillistä optisen koodin lukijaa, tai käyttöliittymää ei sovelluksen käyttämiseksi tarvita. Tagien luku onnistui myös käytännön testissä ja RFID-lukija lähetti tiedot noutopisteelle toimitettavista ja sieltä noudettavista tuotteista. Liitteessä 5 on kuva ekompi.net alustalle tulleesta, JSON-tiedostomuotoisesta tagin seurantatiedosta, jossa näkyy tunnisteen EPC-koodi, tunnistusaika ja tunnisteen kulkusuunta.

## 4 Tulokset

### 4.1 Lähetysteho- ja RSSI-mittaukset

Lukuvarmuustestin 12 mittauspisteestä osa sijoitettiin lukijan tunnustusalueen reunoille, jotta antennin peittoalue todellisessa käyttöympäristössä voitiin empiirisesti määrittää. Kuvassa 7 esitetyt mittauspisteet 4–9 sijoitettiin järjestelmän lukuvarmuuden kannalta kriittisemmille paikoille, eli täyden lähetystehon alueelle. xSpan-lukijassa täyden lähetystehon alue kattaa 90° lähettimen pääakselin eli tässä sovelluksessa vaaka-akselin suuntaisesti. Lukualueen reunoilla on 120° vaakatasossa ja 80° pystytasossa kattava alue, jossa lähetysteho on 3 dB:n sisällä maksimitehosta [16, s. 5–7]. Testeissä käytettiin Suomessa käytettävää 868 MHz:n taajuutta. Lukijalle asetettu maksimilähetysteho oli 30 dBm ja maksimivastaanottoherkkyys -70 dBm.



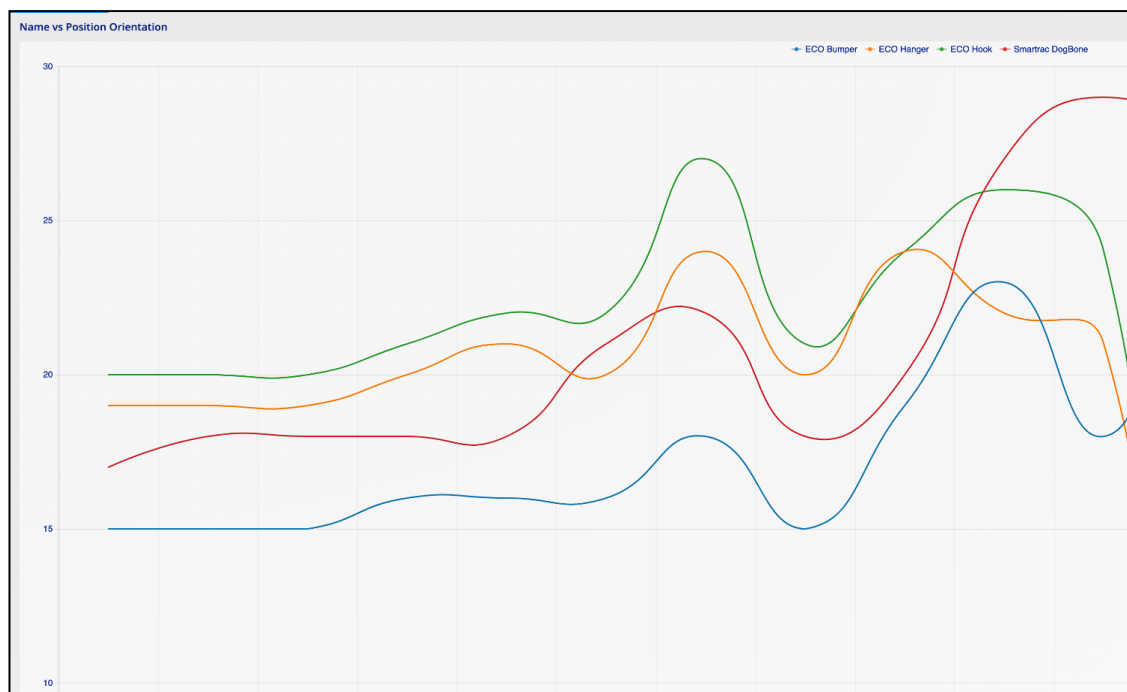
Kuva 7. xSpan-lukijan lukualue ja testipisteiden sijainti.

Kaikki mittaustulokset kirjattiin Excel-taulukoon, ja osa tuloksista muutettiin helpommin tulkittavaan kaaviomuotoon Piwoot-ohjelmistolla. Mittauspisteiden 4–9 tulokset ovat esitettynä kaaviomuodossa liitteessä 1, ja kuvassa 8 on osasuurennot tuloksista. Mittauspisteissä 4–9 tagin luenta tulisi onnistua kaikissa tagin orientaatioissa niin, että

lähetysteheissä ja RSSI-arvoissa jää marginaalia lukijan maksimisuorituskykyyn nähden. Mittauspisteiden 1–12 sijainti ja tulokset ovat esiteltyinä liitteessä 2.

Lukuvarmuustestissä mukana olleiden RFID-tarrojen malli, mikropiirin tyyppi ja tarran koko olivat seuraavat:

- Smartrac Dogbone, Monza 4 QT, 97 x 27 mm
- Stora Enso ECO Bumper, UCODE 8, 97 x 27 mm
- Stora Enso ECO Hanger, UCODE 8, 54 x 34 mm
- Stora Enso ECO Hook, UCODE 8, 49 x 18 mm.



Kuva 8. Osasuurennos tagien lukutestin tuloksista.

Suurimmilla antennilla varustetut Smartrac Dogbone ja Stora Enso ECO Bumper toimivat testisovelluksessa parhaiten. Pienemmillä tageilla lukuvarmuus heikkenee etenkin vaakatasossa olevaa tagia luettaessa. Margin test -tuloksien mukaisesti pienin lukijan lähetysteho ja suurin RSSI-arvo saavutettiin ECO Bumper -tagilla lähes kaikissa mittapisteissä ja tagin orientaatioissa.

Metallin vaikutusta tagin lukuun testattiin laittamalla edellisessä testissä olevat tagit metalliseen ostoskoriin, jolloin lukijan lähettämä signaali osuu metallipinnalle, joka heijastaa radioaaltoja. Tällöin tunniste saattaa vastaanottaa lukijan signaalin eri aikaan kahdesta eri suunnasta, mikä vaikeuttaa signaalin tulkintaa tunnisteella. Tällaista tilannetta tulisi välttää minimoimalla metallien esiintyminen lukijan ja tunnisteen välillä. Metallikorissa olleista tageista vain ECO Bumper saatiin luettua kaikissa tagin orientaatioissa (liite 3).

Pulloon liimatun tunnisteen testaus oli mielenkiintoinen, koska lukijan lähettämä sähkömagneettinen säteily absorboituu pullossa olevaan nesteeseen lyhentäen tagin lukuetaisyttä. IEEE:n vuonna 2018 julkaisemassa tutkimusartikkelissa mainitaan, että monet pulloihin tarkoitetut tagit ovat isoja, tai toimivat vain lyhyellä lukuetaisytydellä. Pullon merkitsemisessä käytetään yleisimmin dipoliantennia, mutta niiden ongelmana on suuri absorptiosta johtuva lukuetaisytyden heikkeneminen nesteen lähellä. [14.]

Pulloon liimattujen tagien tunnistamiseksi kiinnitettiin kaksi tagia pullon runkoon, yksi pullon kaulalle ja yksi korkkiin. Testatut tagit olivat jo edellisissä testeissä mukana ollut ECO Bumper ja erityisesti metallisille ja muille luettavuuteen negatiivisesti vaikuttaville materiaaleille tarkoitettu ECO Stripe. Mittaustulosten perusteella paras lukuvarmuus saavutetaan pullon kaulaan, nestepinnan yläpuolelle, liimatulla ECO Stripe -tagilla. Pullon kaulaan liimatulla ECO Stripe -tagilla saavutetaan tähän sovellukseen riittävä lukuetaisytyys, vaikka se jääkin edellisissä testeissä olleiden, pahviin liimattujen tagien lukuetaisytyttä lyhyemmäksi (liite 4).

## 4.2 Johtopäätökset

Mittaustulokset eivät kerro tagien keskinäistä paremmuutta, koska tagit on suunniteltu erilaisiin käyttötarkoituksiin. Useassa tunnistusalueen kohdassa ja tagin orientaatioissa tehdyistä mittauksista saadaan kuitenkin luotettava kuva niiden toimivuudesta käyttämässämme sovelluksessa. Testien perusteella tuotteiden merkitsemisessä kannattaa käyttää vähintään kahta erilaista tagia, riippuen pakkauksen ja tuotteen materiaalista. Testatuista tageista suositeltavia ovat ECO Bumper pahvi- ja muovipakkauksiin ja ECO Stripe nestemäisille elintarvikkeille ja muille negatiivisesti lukuetaisytyteen vaikuttaville tuotteille.

Stora Enson patentoimat ECO RFID-tarrat soveltuvat myös ympäristöystävällisyytensä ja kierrätettävyytensä ansiosta hyvin Foodhubin lähiruoka- ja luomutuotteisiin. ECO RFID -tagit on tehty paperiin tulostustekniikalla, joten niiden hiilijalanjälki on Stora Enson mukaan 30–40 % perinteisten, etsausmenetelmällä valmistettujen tagien hiilijalanjälkeä pienempi. ECO RFID -tagit ovat muovittomia ja 100 % paperista valmistettuja, joten ne voi laittaa paperinkierrätykseen. [15; 17; 18; 19; 20.]

Tuotteiden RFID-tarroituksessa on huomioitava edellä mainittujen neste- ja metallituotteiden vaikutus lukuetaisyyteen. On myös huomioitava, että tunnistushäiriöitä voi esiintyä RF-aaltoja läpäisevien materiaalien kanssa, jos tuotteet on pakattu liian tiiviisti tai tagit ovat liian syvällä tuotteiden keskellä, koska signaalin voimakkuus heikkenee sekä etäisyyden että ympäröivän aineen vaikutuksesta. Uusille tuotteille tulisi määrittää kokeellisesti tuotteiden ominaisuuksien vaikutus luettavuuteen, jotta kaikki tuotteet saataisiin luettua luotettavasti.

Testitulosten perusteella tuotteet saadaan tunnistettua toteutetulla sovelluksella luotettavasti, kun huomioidaan materiaalien fysikaalisten ominaisuuksien vaikutus tagin luettavuuteen. Teknisenä rajoitteena tulee vastaan lukijan kapasiteetti tagin liikkeen seurannassa. xSpan-lukija voi tunnistaa Inventory-tilassa jopa 1100 tagia sekunnissa, mutta nykyisellä ohjelmaversiolla lukija kykenee Direction-tilassa tunnistamaan tunnistusalueellaan (FoV, eli Field of View) enintään 50 tagia kerralla. Valmistajan mukaan tunnistuskapasiteetti voi kasvaa ohjelmapäivitysten myötä. [13, s. 2; 16, s. 54.]

## 5 Jatkokehitysideat

Jatkokehitysideat voisi jakaa tagin tunnistettavuutta parantaviin muutoksiin ja implementoidun RFID-tekniikan mahdollistamiin teknisiin ratkaisuihin. Projektin aikana toteutettiin jo yksi projektin alkuvaiheessa mietitty kehitysidea eli tuotteen suunnan tunnistus. Suunnan tunnistuksella saavutetaan kaksi merkittävää etua pelkkään tagien tunnistukseen verrattuna. Suuntatiedon ja tagin EPC-koodin perusteella voidaan tuotesaldo päivittää automaattisesti, ja suuntatiedon avulla voidaan lisäksi suodattaa ei-toivottuja tagien lukuja, koska liikkumattomien tagien tiedot voidaan ohjelmallisesti määrittää virheluennoiksi.

Tunnistusvarmuutta voisi parantaa käytössä olleeseen testiympäristöön verrattuna optimoimalla RFID-lukijan sijainti noutopisteessä, poistamalla lukijan ja tagin välissä olevia kiinteitä rakenteita, sekä vähentämällä RF-signaalin heijastumista pinnoilta. Tunnistusalue voidaan myös fyysisesti eristää muusta tilasta käyttämällä esimerkiksi RF-signaalia vaimentavaa materiaalia. Tuotteiden tunnistus olisi mahdollista toteuttaa myös erillisellä tunnistustasolla, jolloin tuotteiden luku tapahtuisi lähempänä lukijaa. Tällöin tunnistustapahtumassa olisi vähemmän poikkeamia pidemmältä etäisyydeltä tapahtuvaan tunnistamiseen verrattuna.

Implementoidun RFID-järjestelmän ympärille lisättävässä tekniikassa mahdollisuuksia rajoittaa vain mielikuvitus ja investoinnin taloudellinen kannattavuus. Muutoksista osa voitaisiin toteuttaa ohjelmallisesti eli ilman laitehankintoja. Ohjelmallisilla muutoksilla voitaisiin parantaa asiakkaan ostokokemusta, esimerkiksi ilmoittamalla, jos asiakas on noutanut väärän tuotteen, tai tarjoamalla kuluttajille tuote- ja tuottajainformaatiota heidän ostamistaan tuotteista.

Laiteinvestointien kautta RFID-järjestelmään voitaisiin liittää esimerkiksi vaaka, joka veloittaa kilohintaperusteisesti hinnoitelluista tuotteista tarkalleen oikean summan. Noutopiste olisi mahdollista muuttaa itsepalvelumyymäläksi liittämällä RFID-järjestelmään maksupääte tai käyttämällä jotakin markkinoilla olevaa etämaksusovellusta. Lisäksi RFID-tekniikkaa hyödyntävä NFC-teknologia antaisi uusia mahdollisuuksia tuotteiden ja palveluiden lisäarvon tuottamiseksi. Puhelimen NFC-ominaisuutta hyödyntäen voitaisiin hoitaa noutopisteen oven avaus ja kulunvalvonta sekä käyttää puhelinta lähimaksuvälineenä.

## 6 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin UHF RFID -teknologian tuomia mahdollisuuksia tuoteseurannassa ja toteutettiin RFID-tuoteseurantajärjestelmä hyödyntäen markkinoilla olevia RFID-komponentteja. RFID-teknologian avulla voidaan korvata monia aikaisemmin käytössä olleita automaattisen tunnistamisen tekniikoita. Toimivalla konseptilla toteutettu RFID-järjestelmä on mahdollista implementoida kustannustehokkaasti osaksi yritysten tuoteseurantaa, koska järjestelmän hankinta- ja elinkaarikustannukset ovat standardoinnin ja RFID-tekniikan yleistymisen myötä varsin kohtuullisella tasolla. RFID-tunnisteiden hintakaan ei ole enää esteenä järjestelmän käyttöönotolle, ja kysynnän



kasvaessa hintojen voi ennustaa edelleen laskevan. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisussa vuodelta 2011 todetaan, että edullisimmillaan RFID-tunnisteissa käytettyjen CMOS-pohjaisten piisirujen valmistuskustannukset ovat noin 0,01 euron luokkaa ja suurina erinä hankitun etätunnistimen markkinahinta on noin 0,05 euroa. Julkaisun kirjoittaja mainitseekin RFID-tunnisteiden olevan niin edullisia, että siru kannattaa sijoittaa kaikkiin postimerkkiä arvokkaampiin esineisiin. [21, s. 6–9.]

Työssä pyrittiin hyödyntämään UHF RFID -teknologian tarjoamia etuja, kuten pitkää tunnisteen lukuetaisyttä ja useiden tunnisteen yhtäaikaista luenta. RFID-teknologia liitettiin yhteen muiden teknologioiden, kuten optisen tunnistuksen ja mobiilipäätelaitteen, kanssa. Teknologioiden yhdistämisellä saavutettiin edullinen, helppokäyttöinen ja asiakkaalle lähes huomaamaton tuoteseurantajärjestelmä.

UHF RFID-sovelluksen suunnittelussa tulisi huomioida UHF-taajuuksia heijastavat ja niitä absorboivat materiaalit. Esimerkiksi metallia tai nestettä sisältävään tuotteeseen liimatun tunnisteen lukuetaisyys voi heikentyä ratkaisevasti, tai materiaali estää tunnisteen lukemisen kokonaan. Myös tekniset rajoitukset, kuten RFID-lukijan ja -tunnisteen lukuetaisyys, koko sekä prosessointikyky tulisi huomioida RFID-järjestelmän lukuvarmuutta arvioitaessa.





Insinöörityöprojekti oli mielenkiintoinen ja ajankohtainen. RFID-järjestelmän suunnittelu ja toteutus oli iteratiivinen prosessi, jossa edettiin vaihe kerrallaan kohti haluttua lopputulosta. Insinöörityöprosessin aikana opittiin paljon RFID-teknologiasta, joka on tällä hetkellä yksi nopeimmin kasvavista teknologia-aloista maailmassa. Yhteistyö eri sidosryhmien kanssa oli mielekästä ja antoisaa, ja siksi haluankin kiittää kaikkia hankkeessa mukana olleita henkilöitä projektin onnistumisesta.

## Lähteet

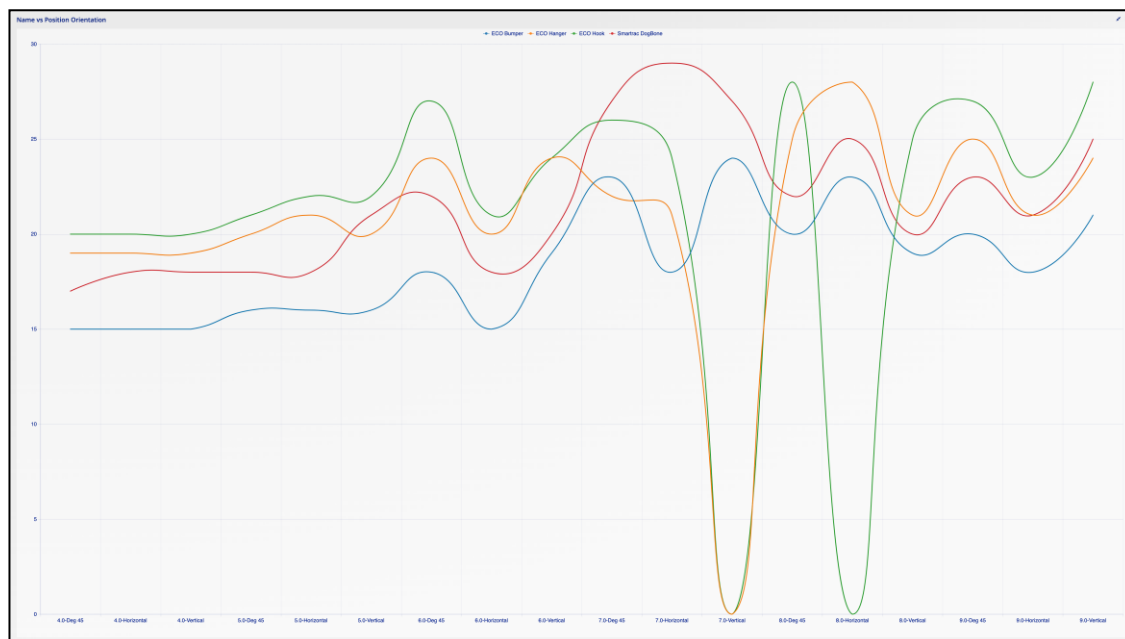
- 1 Uudellamaalla Digi-Salamoi. Verkkojulkaisu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://digisalama.metropolia.fi/hanke/>>. Luettu 2.7.2020.
- 2 Fisher, Moritz; Ferdik, Manuel; Rack, Lars-Oliver; Saxl, Georg; Renzler, Michael & Ussmueller, Thomas. 2019. An Experimental Study on the Feasibility of a Frequency Diverse UHF RFID System. Innsbruck: University of Innsbruck.
- 3 Jaakkola, Kaarle. 2019. UHF RFID Transponder Antenna Solutions for Enhanced Performance and Productibility. Helsinki: Aalto University.
- 4 Khattab, Ahmed; Jeddi, Zahra; Amini, Esmaeil & Bayoumi, Magdy. 2017. RFID Security, a lightweight paradigm. E-kirja. Springer International Publishing.
- 5 Rezaiesarlak, Reza & Manteghi, Majid. 2015. Chipless RFID, Design Procedure and Detection Techniques. E-kirja. Springer International Publishing.
- 6 Dobkin, Daniel. 2013. The RF in RFID, UHF RFID in Practice. Second Edition. E-kirja. Oxford Newnes.
- 7 Laheurte, Jean-Marc; Ripoll, Christian; Paret, Dominique & Loussert, Christophe. 2014. UHF RFID Technologies for Identification and Traceability. E-kirja. John Wiley & Sons, Inc.
- 8 RFID Link Budget Overview. 2015. Verkkojulkaisu. Impinj. <[https://support.impinj.com/hc/en-us/article\\_attachments/203412858/RFID\\_Link\\_Budget\\_Overview\\_Whitepaper\\_R1\\_20150507.pdf](https://support.impinj.com/hc/en-us/article_attachments/203412858/RFID_Link_Budget_Overview_Whitepaper_R1_20150507.pdf)>. Luettu 9.7.2020.
- 9 Usein kysyttyä. Verkkojulkaisu. Uudenmaan ruoka. <<https://www.ekompi.net/>>. Luettu 27.7.2020.
- 10 Speedway Reader overview, software tools, accessories and specifications. 2019. Verkkojulkaisu. Impinj. <[https://support.impinj.com/hc/article\\_attachments/360002045239/Speedway\\_Overview\\_Datasheet\\_including\\_Software\\_Tools\\_Accessories\\_and\\_Specifications\\_20190405.pdf](https://support.impinj.com/hc/article_attachments/360002045239/Speedway_Overview_Datasheet_including_Software_Tools_Accessories_and_Specifications_20190405.pdf)>. Luettu 28.7.2020.
- 11 Circular Polarised Antenna. 2019. Verkkojulkaisu. Perfect. <<https://www.perfectrfid.com/docs/product-specifications/perfect-wave-circular-polarised.pdf>>. Luettu 28.7.2020.

- 12 Dogbone. 2018. Verkkojulkaisu. Smartrac. <[https://www.smartrac-group.com/files/content/Products\\_Solutions/PDF/0010\\_SMARTRAC\\_DOGBONE.pdf](https://www.smartrac-group.com/files/content/Products_Solutions/PDF/0010_SMARTRAC_DOGBONE.pdf)>. Luettu 30.7.2020.
- 13 Impinj xSpan Gateway overview, applications, specifications. 2019. Verkkojulkaisu. Impinj. <[https://support.impinj.com/hc/article\\_attachments/360002045159/xSpan\\_Overview\\_Datasheet\\_including\\_Software\\_Tools\\_Accessories\\_and\\_Specifications\\_20190405.pdf](https://support.impinj.com/hc/article_attachments/360002045159/xSpan_Overview_Datasheet_including_Software_Tools_Accessories_and_Specifications_20190405.pdf)>. Luettu 1.8.2020.
- 14 Qi, Liu; Hui, Li & Yu-Feng, Yu. 2018. A Versatile Flexible UHF RFID Tag for Glass Bottle Labelling in Self-Service Stores. Verkkojulkaisu. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8485286>>. Luettu 10.8.2020.
- 15 ECO Stripe RAIN RFID Label. Verkkojulkaisu. Stora Enso. <[https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/intelligent-packaging/eco\\_stripe\\_ucose8\\_mr6\\_brochure\\_web.pdf](https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/intelligent-packaging/eco_stripe_ucose8_mr6_brochure_web.pdf)>. Luettu 16.8.2020.
- 16 xArray and xSpan Gateways, Deployment and best practices. 2017. Verkkojulkaisu. Impinj. <[https://support.impinj.com/hc/article\\_attachments/115001245284/xArrayxSpanDeploymentGuideR2-20170623.pdf](https://support.impinj.com/hc/article_attachments/115001245284/xArrayxSpanDeploymentGuideR2-20170623.pdf)>. Luettu 20.8.2020.
- 17 ECO Bumper RAIN RFID Label. Verkkojulkaisu. Stora Enso. <<https://taggedvalue.com/wp-content/uploads/2018/11/eco-bumper-brochure.pdf>>. Luettu 21.8.2020.
- 18 ECO Hanger RAIN RFID Label. Verkkojulkaisu. Stora Enso. <[https://taggedvalue.com/wp-content/uploads/2019/12/ECO\\_Hanger\\_U8\\_MR6\\_Brochure\\_web.pdf](https://taggedvalue.com/wp-content/uploads/2019/12/ECO_Hanger_U8_MR6_Brochure_web.pdf)>. Luettu 21.8.2020.
- 19 ECO Hook RAIN RFID Label. Verkkojulkaisu. Stora Enso. <[https://taggedvalue.com/wp-content/uploads/2019/12/ECO\\_Hook\\_U8\\_MR6\\_Brochure\\_web.pdf](https://taggedvalue.com/wp-content/uploads/2019/12/ECO_Hook_U8_MR6_Brochure_web.pdf)>. Luettu 21.8.2020.
- 20 ECO RFID Retail Collection. Verkkojulkaisu. Stora Enso. <<https://www.storaenso.com/en/products/intelligent-packaging/rfid-tags-for-retail/retail-collection>>. Luettu 22.8.2020.
- 21 Heikki Seppä. 2011. RFID-etätunnistus – mahdollisuudet ja uhat. Verkkojulkaisu. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta. <[https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj\\_9+2011.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_9+2011.pdf)>. Luettu 23.8.2020.

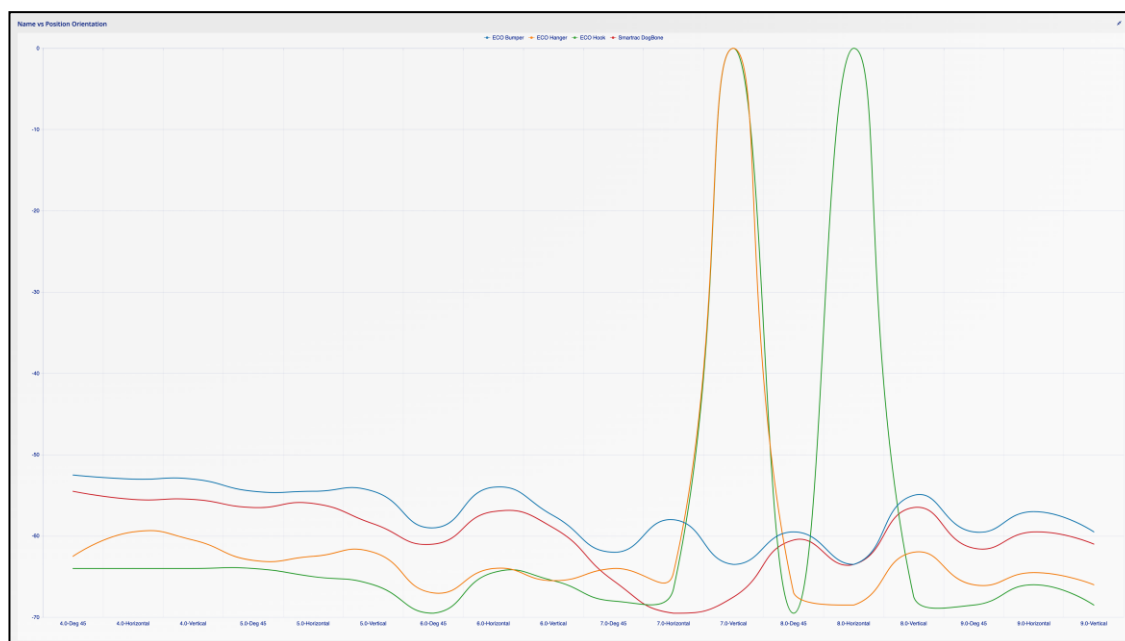
## Kaaviot mittauspisteistä 4–9

RFID-tarran malli	IC	Tarran koko (mm)	Kaavio
Smartrac Dogbone	Monza 4 QT	97x27	 Smartrac DogBone
Stora Enso ECO Bumper	UCODE 8	97x27	 ECO Bumper
Stora Enso ECO Hanger	UCODE 8	54x34	 ECO Hanger
Stora Enso ECO Hook	UCODE 8	49x18	 ECO Hook

## Power

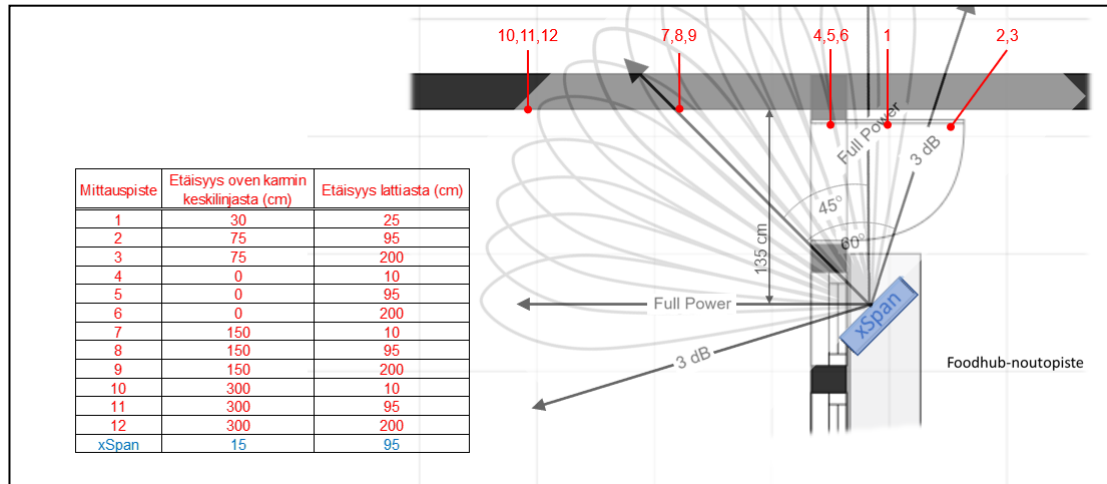


## RSSI



Kaaviot on tehty Piwoot-ohjelmistolla

## Margin test -tulokset mittauspisteistä 1–12

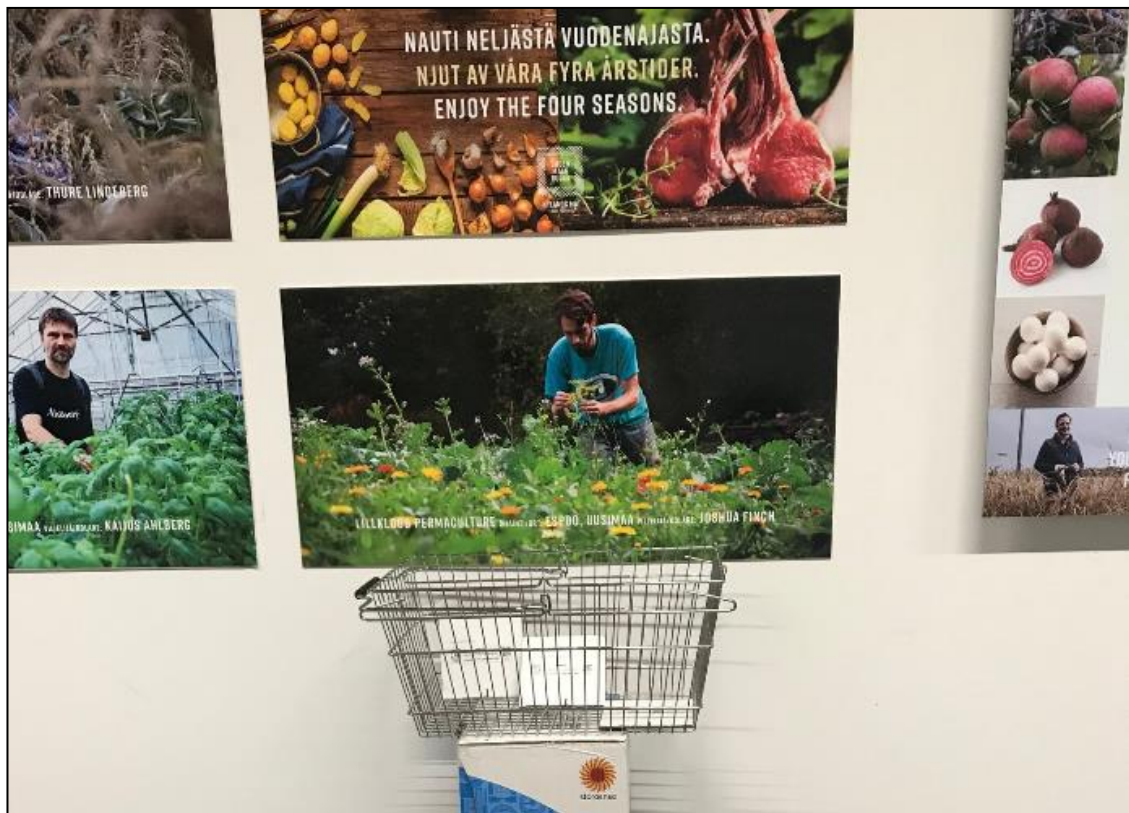


Name	Position	Orientation	#	EPC	Read #	Average RSSI	Max RSSI	Min RSSI	Antenna	Power
Smartrac DogBone	1	Vertical	0							
Smartrac DogBone	1	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	23	-65,70	-63,5	-69	3	23
Smartrac DogBone	1	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	1	-69,50	-69,5	-69,5	2	30
Smartrac DogBone	2	Vertical	0							
Smartrac DogBone	2	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	2	-69,50	-69,5	-69,5	2	30
Smartrac DogBone	2	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	6	-69,23	-68,5	-69,5	2	28
Smartrac DogBone	3	Vertical	0							
Smartrac DogBone	3	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	17	-65,77	-64	-69,5	3	24
Smartrac DogBone	3	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	9	-68,45	-67,5	-69,5	2	26
Smartrac DogBone	4	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	85	-60,05	-55,5	-67	3	18
Smartrac DogBone	4	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	63	-59,91	-55,5	-67,5	3	18
Smartrac DogBone	4	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	81	-59,75	-54,5	-67,5	3	17
Smartrac DogBone	5	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	47	-62,26	-58,5	-68,5	3	21
Smartrac DogBone	5	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	47	-59,13	-56	-64,5	2	18
Smartrac DogBone	5	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	49	-59,79	-56,5	-69	2	18
Smartrac DogBone	6	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	47	-60,57	-59	-63,5	3	20
Smartrac DogBone	6	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	51	-60,49	-57	-69,5	3	18
Smartrac DogBone	6	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	36	-62,98	-61	-65,5	3	22
Smartrac DogBone	7	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	12	-68,49	-67,5	-69,5	3	27
Smartrac DogBone	7	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	1	-69,50	-69,5	-69,5	3	29
Smartrac DogBone	7	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	22	-67,00	-65,5	-69,5	3	27
Smartrac DogBone	8	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	76	-60,07	-56,5	-65,5	3	20
Smartrac DogBone	8	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	44	-65,99	-63,5	-69	3	25
Smartrac DogBone	8	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	61	-63,80	-60,5	-69	3	22
Smartrac DogBone	9	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	49	-63,17	-61	-67	3	25
Smartrac DogBone	9	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	41	-61,80	-59,5	-66	3	21
Smartrac DogBone	9	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	33	-63,92	-61,5	-69,5	2	23
Smartrac DogBone	10	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	6	-65,93	-64,5	-68,5	3	27
Smartrac DogBone	10	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	3	-67,31	-67	-68	3	27
Smartrac DogBone	10	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	1	-69,50	-69,5	-69,5	3	30
Smartrac DogBone	11	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	2	-67,74	-67,5	-68	3	29
Smartrac DogBone	11	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	2	-68,47	-68	-69	3	28
Smartrac DogBone	11	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	1	-69,50	-69,5	-69,5	3	30
Smartrac DogBone	12	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018754	4	-68,28	-67,5	-69,5	3	28
Smartrac DogBone	12	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018754	3	-67,48	-67	-68	3	27
Smartrac DogBone	12	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018754	1	-69,50	-69,5	-69,5	3	30

Name	Position	Orientation	#	EPC	Read #	Average RSSI	Max RSSI	Min RSSI	Antenna	Power
ECO Bumper	1	Vertical	0							
ECO Bumper	1	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	53	-61,87	-58	-69,5	3	18
ECO Bumper	1	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	45	-65,94	-62	-69,5	3	21
ECO Bumper	2	Vertical	0							
ECO Bumper	2	Horizontal	0							
ECO Bumper	2	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	4	-68,56	-67,5	-69,5	2	29
ECO Bumper	3	Vertical	0							
ECO Bumper	3	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	38	-62,24	-57,5	-69	3	21
ECO Bumper	3	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	26	-64,85	-60	-69,5	3	22
ECO Bumper	4	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	109	-58,39	-53	-66,5	3	15
ECO Bumper	4	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	73	-58,74	-53	-69,5	3	15
ECO Bumper	4	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	93	-58,86	-52,5	-69,5	3	15
ECO Bumper	5	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	60	-59,71	-54,5	-69,5	3	16
ECO Bumper	5	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	53	-58,83	-54,5	-69,5	3	16
ECO Bumper	5	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	83	-60,26	-54,5	-69,5	3	16
ECO Bumper	6	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	51	-61,02	-57,5	-66	3	19
ECO Bumper	6	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	81	-59,44	-54	-69,5	3	15
ECO Bumper	6	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	48	-61,64	-59	-66	2	18
ECO Bumper	7	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	28	-65,60	-63,5	-69	2	24
ECO Bumper	7	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	45	-61,07	-58	-66,5	2	18
ECO Bumper	7	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	32	-64,41	-62	-67,5	2	23
ECO Bumper	8	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	52	-58,31	-55	-69,5	2	19
ECO Bumper	8	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	57	-66,43	-63,5	-69,5	3	23
ECO Bumper	8	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	61	-63,10	-59,5	-69,5	3	20
ECO Bumper	9	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	64	-63,59	-59,5	-69,5	3	21
ECO Bumper	9	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	54	-60,37	-57	-66	3	18
ECO Bumper	9	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	46	-62,61	-59,5	-68	3	21
ECO Bumper	10	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	5	-66,99	-65,5	-69	3	26
ECO Bumper	10	Horizontal	0							
ECO Bumper	10	Deg 45	0							
ECO Bumper	11	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	3	-67,62	-67	-68,5	3	27
ECO Bumper	11	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	8	-67,67	-66,5	-69	1	27
ECO Bumper	11	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	4	-69,24	-69	-69,5	1	26
ECO Bumper	12	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018864	4	-68,97	-68,5	-69,5	1	27
ECO Bumper	12	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018864	13	-66,56	-64	-69	3	24
ECO Bumper	12	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018864	14	-66,48	-64,5	-68,5	3	23
ECO Hanger	1	Vertical	0							
ECO Hanger	1	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	13	-66,40	-65	-69,5	2	24
ECO Hanger	1	Deg 45	0							
ECO Hanger	2	Vertical	0							
ECO Hanger	2	Horizontal	0							
ECO Hanger	2	Deg 45	0							
ECO Hanger	3	Vertical	0							
ECO Hanger	3	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	15	-66,46	-64,5	-68,5	2	23
ECO Hanger	3	Deg 45	0							
ECO Hanger	4	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018868	54	-65,24	-60,5	-69,5	3	19
ECO Hanger	4	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	37	-63,30	-59,5	-68	2	19
ECO Hanger	4	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018868	29	-65,41	-62,5	-69,5	2	19
ECO Hanger	5	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018868	31	-65,35	-62	-69	2	20
ECO Hanger	5	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	25	-65,50	-62,5	-69,5	2	21
ECO Hanger	5	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018868	28	-65,72	-63	-69,5	2	20
ECO Hanger	6	Vertical	2	30344B5A1E7EFC4000018868	22	-67,89	-65,5	-69,5	2	24
ECO Hanger	6	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	31	-66,14	-64	-69,5	2	20
ECO Hanger	6	Deg 45	2	30344B5A1E7EFC4000018868	14	-68,55	-67	-69,5	2	24
ECO Hanger	7	Vertical	0							
ECO Hanger	7	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	40	-66,38	-64,5	-69,5	2	21
ECO Hanger	7	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018868	34	-66,36	-64	-69,5	2	22
ECO Hanger	8	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018868	35	-64,97	-62	-69,5	2	21
ECO Hanger	8	Horizontal	2	30344B5A1E7EFC4000018868	6	-69,07	-68,5	-69,5	1	28
ECO Hanger	8	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018868	23	-68,51	-67	-69,5	3	25
ECO Hanger	9	Vertical	1	30344B5A1E7EFC4000018868	17	-67,67	-66	-69,5	2	24
ECO Hanger	9	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC4000018868	33	-66,65	-64,5	-69,5	2	21
ECO Hanger	9	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC4000018868	16	-68,21	-66	-69,5	2	25
ECO Hanger	10	Vertical	0							
ECO Hanger	10	Horizontal	0							
ECO Hanger	10	Deg 45	0							
ECO Hanger	11	Vertical	0							
ECO Hanger	11	Horizontal	0							
ECO Hanger	11	Deg 45	0							
ECO Hanger	12	Vertical	0							
ECO Hanger	12	Horizontal	0							
ECO Hanger	12	Deg 45	0							
ECO Hook	1	Vertical	0							
ECO Hook	1	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	7	-68,65	-67,5	-69,5	2	26
ECO Hook	1	Deg 45	0							
ECO Hook	2	Vertical	0							
ECO Hook	2	Horizontal	0							
ECO Hook	2	Deg 45	0							
ECO Hook	3	Vertical	0							
ECO Hook	3	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	7	-69,35	-69	-69,5	2	26
ECO Hook	3	Deg 45	0							
ECO Hook	4	Vertical	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	26	-66,51	-64	-69,5	3	20
ECO Hook	4	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	16	-65,54	-64	-68,5	2	20
ECO Hook	4	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	17	-65,79	-64	-69,5	2	20
ECO Hook	5	Vertical	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	13	-66,99	-66	-69,5	2	22
ECO Hook	5	Horizontal	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	13	-66,46	-65	-68,5	2	22
ECO Hook	5	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	17	-65,79	-64	-69,5	2	21
ECO Hook	6	Vertical	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	16	-67,51	-65,5	-69	2	24
ECO Hook	6	Horizontal	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	17	-66,80	-64,5	-69,5	2	21
ECO Hook	6	Deg 45	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	5	-69,50	-69,5	-69,5	2	27
ECO Hook	7	Vertical	0							
ECO Hook	7	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	17	-67,89	-66,5	-69,5	2	24
ECO Hook	7	Deg 45	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	15	-69,01	-68	-69,5	3	26
ECO Hook	8	Vertical	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	11	-68,48	-67,5	-69,5	2	25
ECO Hook	8	Horizontal	0							
ECO Hook	8	Deg 45	2	30344B5A1E7EFC40000188DA	3	-69,50	-69,5	-69,5	1	28
ECO Hook	9	Vertical	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	5	-69,18	-68,5	-69,5	1	28
ECO Hook	9	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	19	-68,22	-66	-69,5	3	23
ECO Hook	9	Deg 45	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	5	-69,07	-68,5	-69,5	1	27
ECO Hook	10	Vertical	0							
ECO Hook	10	Horizontal	0							
ECO Hook	10	Deg 45	0							
ECO Hook	11	Vertical	0							
ECO Hook	11	Horizontal	0							
ECO Hook	11	Deg 45	0							
ECO Hook	12	Vertical	0							
ECO Hook	12	Horizontal	1	30344B5A1E7EFC40000188DA	3	-69,33	-69,0	-69,5	3	25
ECO Hook	12	Deg 45	0							

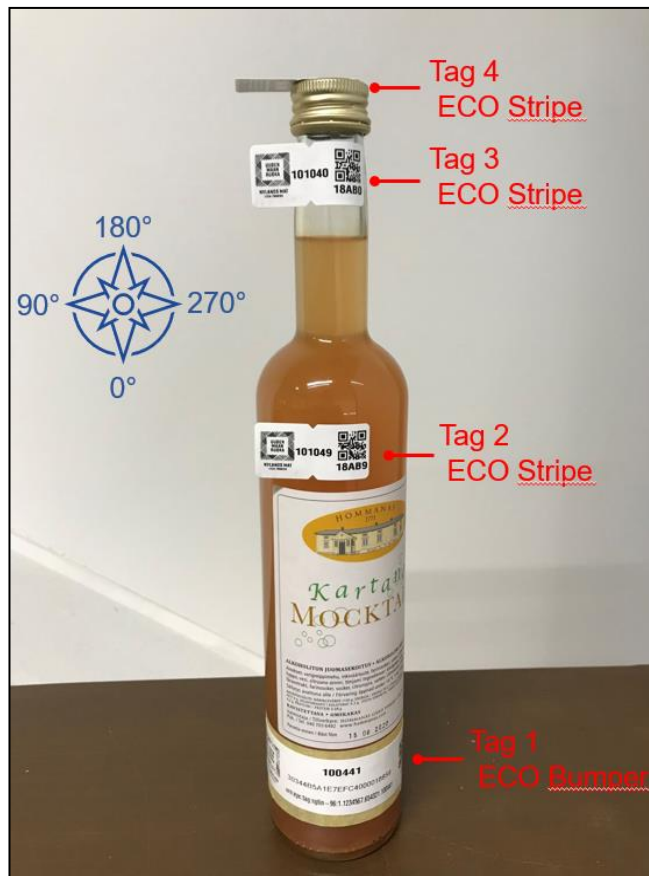


## Margin test -tulokset metallikorin vaikutuksesta UHF RFID-tunnistuksessa



Name	Position	Orientation	#	Read #	Average RSSI	Max RSSI	Min RSSI	Power
Smartrac DogBone	8	Vertical	1	61	-52,34	-49,0	-66,5	18
Smartrac DogBone	8	Horizontal	0					
Smartrac DogBone	8	Deg 45	1	60	-56,62	-53,5	-60,5	18
ECO Bumper	8	Vertical	1	62	-48,46	-44,5	-68,0	18
ECO Bumper	8	Horizontal	1	16	-66,90	-65,5	-69,0	24
ECO Bumper	8	Deg 45	1	69	-57,48	-53,5	-63,0	15
ECO Hanger	8	Vertical	1	52	-63,45	-61,0	-68,0	19
ECO Hanger	8	Horizontal	0					
ECO Hanger	8	Deg 45	1	44	-66,52	-64,0	-69,5	20
ECO Hook	8	Vertical	1	38	-65,30	-63,0	-69,5	21
ECO Hook	8	Horizontal	0					
ECO Hook	8	Deg 45	1	16	-68,68	-67,5	-69,5	24

## Margin test -tulokset lasipullon vaikutuksesta UHF RFID-tunnistuksessa



Name	Distance (m)	Orientation (deg)	#	Read #	Average RSSI	Max RSSI	Min RSSI	Power
Tag 1, ECO Bumper	0,5	0	3	31	-55,78	-52,5	-62,5	22
Tag 2, ECO Stripe	0,5	0	4	11	-60,93	-59,5	-64,0	26
Tag 3, ECO Stripe	0,5	0	1	60	-60,14	-56,5	-64,5	15
Tag 4, ECO Stripe	0,5	0	2	50	-54,99	-50,5	-68,0	19
Tag 1, ECO Bumper	1	0	2	11	-62,93	-61,0	-66,5	26
Tag 2, ECO Stripe	1	0	0					
Tag 3, ECO Stripe	1	0	1	32	-66,54	-64,0	-69,5	20
Tag 4, ECO Stripe	1	0	3	5	-65,77	-64,5	-68,0	27
Tag 1, ECO Bumper	1	90	0					
Tag 2, ECO Stripe	1	90	0					
Tag 3, ECO Stripe	1	90	1	66	-61,57	-58,5	-67,0	18
Tag 4, ECO Stripe	1	90	2	3	-65,38	-63,5	-67,0	28
Tag 1, ECO Bumper	1	180	0					
Tag 2, ECO Stripe	1	180	0					
Tag 3, ECO Stripe	1	180	1	60	-66,81	-63,5	-69,5	20
Tag 4, ECO Stripe	1	180	2	12	-63,48	-61,0	-66,5	25
Tag 1, ECO Bumper	1,5	0	3	1	-69,00	-69,0	-69,0	30
Tag 2, ECO Stripe	1,5	0	0					
Tag 3, ECO Stripe	1,5	0	1	14	-68,54	-66,0	-69,5	24
Tag 4, ECO Stripe	1,5	0	2	1	-69,00	-69,0	-69,0	30
Tag 1, ECO Bumper	1,5	90	0					
Tag 2, ECO Stripe	1,5	90	0					
Tag 3, ECO Stripe	1,5	90	1	11	-69,21	-68,5	-69,5	27
Tag 4, ECO Stripe	1,5	90	0					
Tag 1, ECO Bumper	1,5	180						
Tag 2, ECO Stripe	1,5	180						
Tag 3, ECO Stripe	1,5	180	1	24	-67,95	-65,5	-69,5	23
Tag 4, ECO Stripe	1,5	180	2	16	-61,62	-59,5	-65,5	25
Tag 1, ECO Bumper	2	0	1	1	-68,00	-68,0	-68,0	29
Tag 2, ECO Stripe	2	0	0					
Tag 3, ECO Stripe	2	0	0					
Tag 4, ECO Stripe	2	0	0					



## RFID-lukijan lähettämät tunnisteen seurantatiedot



### Tuoteseuranta

30344B5A1E7EFC4000018803

Herttoniemi

20.08.2020 10:59

```
{
  "id": "20200820075950741",
  "data": {
    "reader_name": "foodhub-herttoniemi",
    "mac_address": "00:16:25:12:17:6D",
    "tag_reads": [
      {
        "epc": "30344B5A1E7EFC40000187FA",
        "type": "exit",
        "logPopulationStatus": "ok",
        "firstSeenTime": "2020-08-20T08:05:00.477433",
        "lastSeenTime": "2020-08-20T08:05:21.703032",
        "firstSeenSector": 2,
        "lastSeenSector": 3
      },
      {
        "epc": "30344B5A1E7EFC4000018809",
        "type": "exit",
        "logPopulationStatus": "ok",
        "firstSeenTime": "2020-08-20T08:05:02.748662",
        "lastSeenTime": "2020-08-20T08:05:21.541926",
        "firstSeenSector": 3,
        "lastSeenSector": 3
      },
      {
        "epc": "30344B5A1E7EFC40000187FF",
        "type": "exit",
        "logPopulationStatus": "ok",
        "firstSeenTime": "2020-08-20T08:05:03.884004",
        "lastSeenTime": "2020-08-20T08:05:21.852036",
        "firstSeenSector": 2,
        "lastSeenSector": 3
      },
      {
        "epc": "30344B5A1E7EFC4000018803",
        "type": "exit",
        "logPopulationStatus": "ok",
        "firstSeenTime": "2020-08-20T08:04:59.699782",
        "lastSeenTime": "2020-08-20T08:05:22.52582",
        "firstSeenSector": 3,
        "lastSeenSector": 3
      }
    ]
  },
  "epc": "30344B5A1E7EFC4000018802"
}
```