

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Logistiikan koulutusohjelma / Merikuljetukset ja satamaoperaatiot

Hannu Tiainen

RFID-TUNNISTEIDEN MITTAUKSET

Opinnäytetyö 2009

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Logistiikan koulutusohjelma / Merikuljetukset ja satamaoperaatiot

TIAINEN, HANNU	RFID-tunnisteiden mittaukset
Opinnäytetyö	33 sivua + 16 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Juhani Heikkinen
Toimeksiantaja	KymiTechnology
Marraskuu 2009	
Avainsanat	RFID, tunniste

RFID (Radio Frequency Identification) on etätunnistintekniikka, joka toimii radioaalloilla. RFID:n avulla voidaan tehostaa tuotantoa ja toimituksista saadaan läpinäkyvämpiä. Tunnisteet ovat tärkeä osa RFID-järjestelmää ja oikeanlaisen tunnisteiden valinta on tärkeä osa järjestelmän käyttöönottoa. Passiivisia UHF-tunnisteita (Ultra High Frequency) käytetään paljon logistiikassa niiden edullisen hinnan ja pitkän elinkaaren takia.

Tässä työssä käydään läpi RFID-tekniikan peruskäsitteitä. Tietolähteinä on käytetty aikaisempia opinnäytetöitä ja RFID-tekniikkaan keskittyvien Internet-sivujen julkaisuja aiheesta. Työssä myös tutustutaan erilaisten passiivisten RFID-tunnisteiden toimintaan sekä havainnollistetaan niiden toimintaa laboratorio- ja työympäristömittauksin sekä niiden perusteella tehdyn mittauspöytäkirjan avulla.

Tuloksista havaitaan, miten eri tunnisteet poikkeavat toisistaan sekä se, miten tunnisteiden toimivuuteen vaikuttaa monia asioita. Hyvän signaalin saamiseksi tunnisteiden suuntaus lukijaan nähden on tärkeä. Signaalin heikentyessä tunnisteiden ohitusnopeuden pitää olla hitaampi luennan varmistamiseksi. Myös ympäristö ja materiaali, mihin tunniste on kiinnitetty, vaikuttavat tunnisteiden toimivuuteen. Usein erilaiset metallipinnat heikentävät signaalia, mutta havaintoja tehtiin myös vahvistavista ominaisuuksista.

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Logistics

TIAINEN, HANNU	Measurement of RFID Tags
Bachelor's thesis	33 pages + 16 pages of appendices
Supervisor	Juhani Heikkinen, Senior Lecturer
Commissioned by	KymiTechnology
November 2009	
Keywords	RFID, tag

RFID (Radio Frequency Identification) is a remote identification technique which operates on radio waves. Implementation of the RFID system decreases costs and makes the supply chain more transparent. Tags are an important part of a well operating RFID system. Passive tags, which operate at ultra high frequency, play an important role in the field of logistics since they are cheap and virtually last a lifetime.

The thesis covers key concepts of the RFID system. The theoretical material used in the thesis includes previously made theses and articles from the experts of RFID. A big part of the thesis is the research made with 8 different passive tags. The analysis section goes through the tags one by one.

The results provide conclusions how tags differ from each other and how various factors affect the tags. Orientation of a tag is important in order to get a clear and strong signal from the tag to the reader. The passing speed of a tag starts to affect more and more when the orientation is not optimal or the distance between the tag and the reader extends. The environment affects as well. Most tags behave negatively when placed on metal but some positive effects were found during the research.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	6
2 RFID-JÄRJESTELMÄ.....	6
2.1 Lukijat.....	7
2.2 Ohjelmistot .....	8
2.3 Tunnisteet .....	8
2.3.1 Aktiivitunnisteet .....	8
2.3.2 Semiaktiiviset tunnisteet.....	9
2.3.3 Passiiviset tunnisteet.....	9
2.4 Taajuudet .....	10
2.5 RFID:n ongelmat .....	12
3 TUTKIMUS .....	13
3.1 Laboratorio .....	13
3.2 Mittauslaitteisto .....	14
3.3 Tunnisteet .....	15
3.4 Varastomittaukset .....	16
3.5 Tunnisteiden positiot varastolavalla .....	16
3.6 Tulokset tunnistekohtaisesti .....	18
3.6.1 Frog.....	19
3.6.2 DogBone <sup>x</sup> .....	20
3.6.3 ShortDipole <sup>x</sup> .....	21
3.6.4 Belt .....	23
3.6.5 Hammer .....	24
3.6.6 ShortDipole.....	25
3.6.7 Web.....	26
3.6.8 DogBone.....	27
3.7 Ympäristön vaikutukset.....	27
3.8 Yhteenveto.....	28
4 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30
LÄHTEET .....	33
LÄHTEET	
LIITTEET	



Liite 2. DogBone<sup>x</sup>

Liite 3. ShortDipole<sup>x</sup>

Liite 4. Belt

Liite 5. Hammer

Liite 6. ShortDipole

Liite 7. Web

Liite 8. DogBone

## 1 JOHDANTO

RFID-teknologiaa (Radio Frequency Identification) pidetään yhtenä tämän hetken kuumimmista tekniikoista. Teknologian avulla voidaan automatisoida ja tehostaa liiketoiminnan prosesseja sekä saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. Tekniikkaa käytetään hyväksi jo useilla toimialoilla. Logistiikan alueella RFID-tekniikan käytön mahdollisuudet ovat lähes rajattomat ja uusia sovelluksia kehitetään jatkuvasti.

Tämä työ on tehty KymiTechnologyn tilauksesta. Työ on osa hankevalmistelua, jossa tarkastellaan mahdollisuutta kehittää RFID-mittauspalveluita alueen yrityksille. Työn tarkoituksena on tutkia ja dokumentoida erilaisten RFID-tunnisteiden toimintaa sekä tehdä vertailua niiden välillä. Tunnisteiden toimintaa tutkitaan Kymenlaakson ammattikorkeakoulun RFID-laitteistolla, koulun laboratoriossa sekä todellisissa työskentelyolosuhteissa.

RFID-tekniikkaa ja siinä käytettävää laitteistoa sekä ohjelmistoja käsitellään vain pintapuolisesti. Erilaisten tunnisteiden toimintaa, ominaisuuksia ja käyttöä tarkastellaan laajemmin.

Työn tuloksia tullaan käyttämään Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystoiminnassa.

## 2 RFID-JÄRJESTELMÄ

RFID (Radio Frequency Identification) on yleisnimitys etätunnistintekniikoille, jotka toimivat radiotaajuuksilla. RFID on langaton tunnistusjärjestelmä, joka toimii elektromagneettisen säteilyn avulla. Sen avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi ihmisiä, eläimiä tai tuotantolaitoksen sisällä siirreltäviä esineitä. Paikannettava kohde varustetaan tunnisteella, joka sisältää tietoa tunnistettavasta kohteesta, kuten esimerkiksi tuotteen sarjanumeron. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 73.) RFID-järjestelmä käsittää kolme pääkomponenttia: tunniste, lukija sekä sovellus (Castro & Wamba 2007, 2). Seuraavissa luvuissa käsitellään näitä komponentteja tarkemmin.

## 2.1 Lukijat

RFID-lukijat ovat elektronisia laitteita, jotka lähettävät ja vastaanottavat radiosignaaleja lukijaan kiinnitetyn antennin tai antennien kautta (Castro & Wamba 2007, 4). RFID-lukija kommunikoi tunnisteen kanssa, muokkaa tunnistelta saatuja tietoja ja lähettää informaatiota eteenpäin käyttösovellukselle (engl. middleware). Lukija myös tuottaa passiivisten tunnisteen tarvitseman energian tuottamalla sähkömagneettista säteilyä. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 74.)

Lukijat on jaoteltu kolmeen pääluokkaan: kiinteä lukija, kannettava lukija ja liikuteltava lukija. Kiinteät lukijat on yleensä asennettu seiniin, lastauslaitureille tai kuljetushihnoihin. Liikuteltavat lukijat ovat joustavampia kuin kiinteät ja ne voidaan asentaa esimerkiksi trukkiin ja näin ollen niitä voidaan käyttää varaston eri osissa. (Castro & Wamba 2007, 4.)



*Kuva 1. Vasemmalla kiinteä lukija, keskellä kannettava lukija, oikealla liikuteltava lukija*

Lukijaan liitettävä antenni voi olla tyypiltään esimerkiksi portti (kuva 2), jonka läpi tunnistettavat tuotteet kulkevat. Kuvassa 4 on nähtävissä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun käyttämän RFID-lukijan antenni.



*Kuva 2. Kiinteä luentajärjestelmä varustettuna porttiantennilla*

## 2.2 Ohjelmistot

RFID-järjestelmän keskipisteessä on ohjelmisto, jonka tehtävänä on valvoa lukijoita, suodattaa, prosessoida, ohjata ja yhdistellä kaikki data, jonka lukijat keräävät tunnisteista. Ohjelmisto voidaan yhdistää esimerkiksi yrityksen ERP-järjestelmään (Enterprise Resource Planning). Ohjelmistoja voidaan käyttää myös RFID-lukija-infrastruktuurin ohjaamiseen ja kontrollointiin. Ohjelmiston tärkeästä roolista johtuen, sitä usein sanotaankin RFID-järjestelmän hermostoksi. (Castro & Wamba 2007, 5.)

## 2.3 Tunnisteet

RFID-tunnisteista käytetään myös nimityksiä tagi, trasponderi, inletti, saattomuisti ja älytarra. Tunnisteita on kolmen tyyppisiä: aktiivitunnisteita, semi-/puoliaktiivitunnisteita tai passiivisia tunnisteita. Tunnisteen tyyppi riippuu siitä, miten se saa toimintaan tarvitsemansa käyttövirran. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 73.) Tunnisteet sisältävät antennin, jonka avulla se vastaa lukijalta lähetettyyn kuulustelu-signaaliin sekä mikrosirun, johon voidaan tallentaa ja lukea tietoa (Castro & Wamba 2007, 3).

### 2.3.1 Aktiivitunnisteet

Aktiivisilla tunnisteilla on oma virtalähde, esimerkiksi akku tai paristo, josta mikrosiru saa virtaa. Aktiiviset tunnisteet toimivat tyypillisesti UHF- tai MF-taajuuksilla. Aktiivitunnisteen etuja on pitkät luku- ja kirjoitusetäisyydet (jopa yli 200 m) sekä nopea tiedonsiirtonopeus verrattuna passiivisiin tunnisteisiin. Heikkoutena aktiivitunnisteilla on korkea hinta, suurehko virrankulutus ja korkeat kunnossapitokustannukset. Paristojen rajallisen eliniän johdosta ne pitää uusida elinkaaren päätyttyä. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 75.)



*Kuva 3. Aktiivinen tunniste*

### 2.3.2 Semiaktiiviset tunnisteet

Semiaktiiviset/-passiiviset tunnisteet ovat hyvin samanlaisia passiivisten tunnisteiden kanssa, mutta ne sisältävät pienen pariston tuottamaan virtaa tunnisteelle ja näin tunnisteiden antennit ei tarvitse suunnitella keräämään energiaa saapuvalta signaalilta. Semiaktiivisten tunnisteiden antennit voidaan näin optimoida takaisinsironta signaalille eli siihen miten hyvin ne lähettävät tietoa lukijalle. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 75.)

### 2.3.3 Passiiviset tunnisteet

Toisin kuin aktiivisilla tunnisteilla, passiivisilla tunnisteilla ei ole omaa virtalähdettä. Tämän ansiosta passiiviset tunnisteet voivat olla huomattavasti pienempikokoisia ja niillä voi olla rajoittamaton elinikä. Koska passiiviset tunnisteet ovat myös halvempia valmistaa, eivätkä sisällä paristoa, on suuri osa käytössä olevista RFID-tunnisteista passiivisia. (Zhang & Moeness & Shashank 2007, 2.)

Vaikka aktiivisista ja passiivisista tunnisteista molemmista puhutaan saman RFID nimikkeen alla, ovat ne perimmiltään erilaisia teknologioita. Passiivisen tunnisteiden antennin tehtävä on myös hankkia tunnisteiden tarvitsema energia lukijan ympäristöstä lähettämistä radioaalloista. Tästä syystä passiivinen RFID-toiminta vaatii erittäin voimakkaita signaaleja lukijalta ja tunnisteelta palaavan signaalin vahvuus on pakotettu alhaiselle tasolle rajoitetun energian määrän takia. (Zhang & Moeness & Shashank 2007, 2.)

Tunnisteiden antennit on perinteisesti valmistettu kuparia tai alumiinia syövyttämällä, mutta hiljattain niitä on alettu valmistaa muun muassa esimerkiksi tulostamalla, käyttämällä hopeapohjaisia musteita. Tulostamisella on monia etuja, mutta myös haittapuolia kuten suhteellisen huono johtavuus. (Siden & Lee & Ganjei 2008, 1.)

Passiiviset tunnisteet sopivat hyvin perinteisen viivakoodin korvaajaksi. RFID-tunnisteet on helpompi lukea kuin viivakoodi, koska tunnisteiden lukeminen ei edellytä näköyhteyttä lukijan ja tunnisteiden välillä. Tunnisteisiin voidaan varastoida enemmän tietoa kuin viivakoodeihin sekä niitä voidaan lukea useampia yhdellä kertaa toisin kuin viivakoodeja. (Siden & Lee & Ganjei 2008, 1.)

Tyypilliset RFID-järjestelmät ovat monostaattisia eli ne käyttävät samaa lukijan antennia lähettämään energiaa tunnisteelle ja vastaanottamaan paluusignaalia. Tämä vaikeuttaa heijastuneen signaalin lukemista, koska tunnisteelta tuleva signaali on heikompi kuin lukijan lähettämä signaali. Amerikkalainen yritys Mojix on kehittänyt Mojix STAR-järjestelmän, jolla voidaan lukea, tunnistaa ja osoittaa passiivitunnisteiden sijainnit kolmiulotteisesti alueelta, joka kattaa yli 23 000 m<sup>2</sup>. Järjestelmällä voidaan lukea passiivitunnisteita jopa 100 metrin etäisyydeltä. Järjestelmässä on eroteltu lähetys- ja vastaanottoiminnot toisistaan ja sijoitettu ne erilleen maantieteellisesti. Järjestelmä käsittää lähettimien verkoston tunnisteiden käynnistämistä varten sekä yhden Star-vastaanottimen vastaanottamaan signaaleja tunnisteilta. (Roberti 2008.)

## 2.4 Taajuudet

Sen lisäksi, että eri tunnisteet eroavat toisistaan niiden käyttämän virransyötön perusteella, ne eroavat toisistaan myös käytetyn radiotaajuuden mukaan. Taajuudet ovat:

- matalataajuus (LF, Low Frequency) 125–134 kHz
- korkeataajuus (HF, High Frequency) 13,56 MHz
- ultrakorkeataajuus (UHF, Ultra High Frequency) 860–930 MHz

## –mikroaaltotaajuus (MF, Microwave Frequency) 2, 45 GHz

Matalataajuisia (LF) järjestelmiä käytetään esimerkiksi karjan seurantaan, kulunvalvonnassa ja autojen varkaudenestolaitteissa. Logistiikassa matalataajuustekniikan käyttö on harvinaista. Alhaisen kellotaajuuden vuoksi virrankulutus matalataajuustunnisteilla on pieni. Matalilla taajuuksilla on mahdollista saada hyvä luettavuus tiheänkin ei-metallisen aineen tai esimerkiksi veden läpi, mutta lukuetaisyydet matalataajuusjärjestelmillä on vain luokkaa <1m. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 77.)

Korkean taajuuden (HF) tunnisteille tyypillistä on, että niissä on ohjelmoitavaa muistia ja korkean kellotaajuuden ansiosta tiedon salaus sekä mikroprosessorien liittäminen on mahdollista. Järjestelmän tiedonsiirto on myös nopeampaa kuin matalataajuisen järjestelmän. HF-tunnisteita käytetään henkilöiden tunnistamiseen, rakennusten kulunvalvonnassa, lentolaukkujen jäljittämisessä ja muun muassa kirjastoissa kirjojen jäljittämiseen. Logistiikassa korkean taajuuden järjestelmiä on käytetty muun muassa kuormalavojen tai kuljetuslaatikoiden seurantaan. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 77.)

Ultrakorkean taajuuden (UHF) järjestelmiä käytetään muun muassa henkilö- ja rekka-autojen sekä kuljetusyksiköiden, kuten konttien ja kuormalavojen seurantaan. Sen heikkous on kansainvälisesti yhtenäisen taajuusalueen puuttuminen (Yhdysvalloissa on käytössä 913 MHz ja Euroopassa 868 MHz). Rajoituksia UHF:n käytölle tuo sen herkkyys ympäristöstä (esim. elektroniikka) aiheutuville häiriöille sekä lähialueen materiaaleille, kuten metallit. Passiivisilla UHF-tunnisteilla päästään helposti 2-4 metrin lukuetaisyyksiin sekä optimoiduilla tunnisteilla päästään usein jopa 10 metrin etäisyyksiin. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 78.)

Mikroaaltotaajuus RFID-järjestelmät toimivat 2,45 GHz:n kansainvälisellä ISM-taajuusalueella. Sitä käytetään runsaasti myös telemetriassa ja langattomissa lähiverkoissa. Mikroaaltotaajuuksilla tiedonsiirtonopeudet ovat hyviä ja aktiivisilla tunnisteilla on mahdollista päästä jopa 1 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen. Lukuetaisyydet passiivisilla tunnistella on 0,5–12 metriä. Aktiivisilla tunnisteilla päästään usean kymmenen metrin lukuetaisyyksiin. MF-taajuuksien heikkoutena on huono

läpäisevyys. Elävää kudosta, metallia tai vettä sisältävät materiaalit heijastavat ja vaimentavat mikroaaltoja. Mikroaalloilla toimivat järjestelmät soveltuvat hyvin varsinkin logistiikassa suurten ja nopeasti liikkuvien yksiköiden tunnistamiseen, joita ovat esimerkiksi rekka-autot tai junanvaunut, tunnistamiseen. Taulukossa 1 on listattu eri sovellusalueita eri taajuusalueen RFID-tekniikalle. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 78.)

Taulukko 1. Sovellusalueita eri taajuuksien RFID-tekniikalle logistiikassa (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 79).

	LF	HF	UHF	MF
Teollisuuslaitoksen sisäinen reititys	X	X	(x)	
Lyhyen kantaman logistiset sovellukset		X	X	
Keskipitkän kantaman logistiset sovellukset (esim. jakelukeskuksen tunnistuksen automatisointi)			X	
Konttien, ajoneuvojen ja vaunujen tunnistus				X

## 2.5 RFID:n ongelmat

RFID-tekniikalla on myös ongelmansa. Yksi tekniikan yleistymistä jarruttava tekijä on ollut hinta. Epävarmuus joidenkin sovelluksien kohdalla sekä tekniikan integrointi yrityksen tietojärjestelmiin voi olla hankalaa ja kasvattaa kustannuksia vielä entisestään. RFID:n tuoma lisäinformaatio yritysten tietojärjestelmiin saattaa myös aiheuttaa ylikuormitusta ja vaikeuttaa olennaisen tiedon löytämistä. (Pulli & Posti & Tapaninen 2009, 80.)

Hyvin tiedossa oleva ongelma on se, että tavanomaisilla antennilla varustetut tunnisteen eivät toimi metalli- tai nestepinnalle asennettuna. Muutamat myyjät ovat esitelleet metalli- ja nesteystävällisiä tunnisteen, mutta ne ovat usein kalliita, kookkaita tai ovat suunniteltu vain tiettyyn sovellukseen. (Cole & Hu 2009.)

RFID-tunnisteiden salausten menetelmiä on onnistuttu purkamaan muun muassa Isossa-Britanniassa, jossa passeissa olleiden RFID-tunnisteiden salaus onnistuttiin



purkamaan ja näin miljoonien kansalaisten tiedot jäivät alttiiksi vakoilulle. Luotettavampien salausprotokollien käyttö tunnisteeissa taas nostaa niiden hintaa ja ne myös vaativat enemmän tehoa. (Koskinen 2007, 20.)

RFID-Zapper on laite, jonka saksalaiset hakkerit ovat kehitelleet passiivisten RFID-tunnisteiden tuhoamiseksi. Laite kehittää voimakkaan magneettikentän käämin avulla ja kun tunnistin tuodaan lähelle, voimakas sähköshokki tuhoaa tunnistimen lopullisesti. (Mannila 2009.)

### 3 TUTKIMUS

Opinnäytetyötä varten suoritettiin mittauksia erilaisilla UHF-taajuusalueella toimivilla RFID-tunnisteilla. Mittausten tarkoituksena oli saada dokumentoitua tietoa siitä, miten tunnisteeet toimivat erilaisissa olosuhteissa. Mittauksia tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tiloissa sekä todellisessa työympäristössä kansainvälisestäkin tunnetun logistiikkatoimijan transitovarastossa Haminassa.

Koulun laboratoriossa tutkittiin tunnisteeiden lukuetaisyyskyä. Varastossa tunnisteeita mitattiin työskentelyolosuhteissa sijoittamalla tunnisteeita yksitellen eri puolille tuotelavaa ja tutkittiin muun muassa ohitusnopeuden vaikutusta luentavarmuuteen lavan eri positioissa, joihin tunnisteeita sijoitettiin. Lisäksi seurattiin myös sitä miten tunnisteeen kohdistus lukijaan, eli rotaatio, vaikutti luentavarmuuteen.

#### 3.1 Laboratorio

Ammattikorkeakoulun laboratoriossa tutkittiin tunnisteeiden lukuetaisyyskyä ja verrattiin saatuja tuloksia valmistajan määrittämiin laskennallisiin maksimi-arvoihin. Lisäksi tutkittiin miten lukualue muuttuu eri tunnisteeiden välillä. Lukijan lähettämä signaali sekä lukijan antennin suuntaus pidettiin vakiona, mutta tunnisteeita liikuteltiin yhden metrin etaisyysdellä kaikkiin ilmansuuntiin ja mitattiin toimintaetaisyys. Näin saatiin määritettyä tunnisteeen lukukeila/-alue 1 metrin etaisyysdellä ja tehtyä vertailuja eri tunnisteeiden välillä. Tunnisteekohtaiset tulokset ja pohdintaa tunnisteeiden toimivuudesta löytyy kappaleista 3.6.1–3.6.8.

Tunnisteiden valmistajan edustajalta saamieni tietojen mukaan, heidän testaustapansa poikkeavat varsin paljon tämän opinnäytetyön puitteissa suoritetuista tunnisteiden testauksista. UPM Raflatacin Pohjois-Euroopan myyntipäällikön Tiina Kainulaisen mukaan UPM Raflatac testaa tunnisteensa radiokaiuttomassa tilassa. Tämä jo itsessään eroaa varsin merkittävästi Kymenlaakson ammattikorkeakoulun laboratoriotiloista, jossa on monia RFID-laitteistojen toimintaa mahdollisesti häiritseviä elektroniikkalaitteita.

Valmistajan mittauslaitteisto on kalibroitu tietylle etäisyydelle, jossa määritetään lähetysteho kasvattamalla minimiteho, jolla tunniste herää eloon ja lähettää protokollan mukaisen vastauksen. Mitattujen arvojen perusteella ohjelma laskee tunnisteelle teoreettisen lukuetaisyyden Euroopassa käytössä olevalle 2W:n maksimilähetysteholle. Laskenta perustuu vapaan tilan etenemisyhtälöihin. (Kainulainen 2009.)

Laboratoriossa suoritettut mittaukset toimivat hyvänä pohjana varastossa suoritetuille mittauksille ja hyvin pitkälle niiden pohjalta osattiin jo odottaa, miten mikäkin tunniste tulee toimimaan varasto-oloissa. Laboratoriossa suoritettujen mittausten tulokset on liitetty varastossa suoritettujen mittausten alle tunnistekohtaisesti ja ne ovat tämän työn liitteissä.

### 3.2 Mittauslaitteisto

Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa käytössä olevan RFID-järjestelmän komponentit ovat lukija ID ISC. LRU1000 ja antenni ID ISC. ANTU 250/250. Sekä lukijaa, että antennia kontrolloidaan kannettavaan tietokoneeseen asennetulla ISOStart-ohjelmistolla. Molemmat laitteiston osat ovat FEIG Electronicin valmistamia ja asennettu oppilastyönä valmistettuun telineeseen. Laitteisto soveltuu EPC gen2-standardiin kuuluvien tunnisteiden luentaan, jotka toimivat taajuusalueella 860–960 MHz. (Piipponen 2008, 9.)



*Kuva 4. RFID-järjestelmä käyttövalmiina. Kuvasta on nähtävissä lukijan antenni. Lukija on sijoitettu kiinteästi kaapin sisälle. Lukijaa ohjaava tietokone sijaitsee telineen työtasolla.*

Tunnisteiden toimintaetäisyyksien mittauksia varten rakennettiin korkeussäädettävä teline, johon tunnisteet oli helppo kiinnittää ja jota voitiin liikutella helposti.



*Kuva 5. Mittausaputeline*

### 3.3 Tunnisteet

Mittauksia suoritettiin yhteensä kahdeksalla eri tunnisteella, jotka saatiin tutkimusjohtaja Juhani Talvelalta. Tunnisteet olivat:

- Frog
- DogBone
- DogBone<sup>x</sup>
- ShortDipole

- ShortDipole<sup>x</sup>
- Web
- Belt
- Hammer

Kaikki tunnisteet ovat UPM Raflatacin valmistamia. Ne ovat toiminnaltaan passiivisia ja toimivat UHF-taajuusalueella.

### 3.4 Varastomittaukset

Tunnisteita tutkittiin myös varasto-olosuhteissa. Varastossa simuloitiin purkutilannetta, jossa tavallisesta merikontista purettiin elektroniikkatuotteita varastolavalle ja siirrettiin sisälle varastoon. Lukija oli sijoitettu heti lastauslaiturin jälkeen varaston sisätiloihin. Kuvasta 10 näkyy RFID-laitteiston sijoitus varastossa mittausten aikana.

### 3.5 Tunnisteiden positiot varastolavalla

Mittauksia tunneilla suoritettiin elektroniikkalavalla, joka oli purettu merikontista FIN-lavan (100x120 cm) päälle. Tunnisteiden toimintaa testattiin jokaisesta lavalle asetetusta laatikosta ja vähintään kahdelta sivulta. Tunnisteita sijoitettiin siten, että tunnisteen antennin suuntaus vaihtui lukijan antenniin nähden. Näin saatiin myös havaintoja siitä, miten tunnisteen suuntaus eli rotaatio vaikuttaa lukijan ja tunnisteen väliseen kommunikointiin.

Kuvat 6 ja 7 selventävät tunnisteiden sijoittelua eri puolille tuotelavaa. Kuvista ei erotu mittauspöytäkirjan C-sivusta, vaan se sijaitsee vasten haarukkavaunua. Lisäksi tunnisteita laitettiin laatikoiden keskelle kolmelle eri korkeudelle

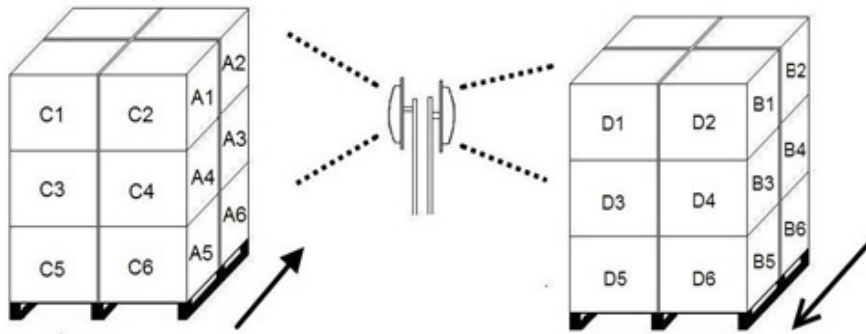


*Kuva 6. Positiot A1-A6 ja D1- D6.*



*Kuva 7. Positiot B1-B6 ja D1-D6*

Kuvasta 8 selviää mittauspöytäkirjassa käytettyjen koordinaattien sijainti laatikoittain lukijaan nähden. Mittauksia suoritettiin kolmelta eri etäisyydeltä: 50 cm, 100 cm ja 150 cm. Etäisyydet on mitattu lukijan antennista kohti tuotelavan lukijaan nähden olevaan reunaan. Kuva 9 selventää lukijan ja lavan asettelua mittauksissa.



Kuva 8. Mittauskoordinaatisto

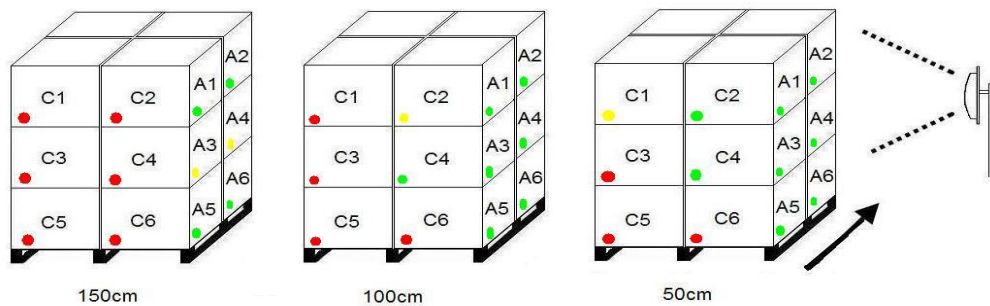


Kuva 9. Lavan sijainti 50 cm etäisyydellä

### 3.6 Tulokset tunnistekohtaisesti

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi mittauksissa saatuja tuloksia. Mittauspöytäkirjasta (liitteet 1-8) selviää, miten tunnisteet luettiin eri kohdista lavaa. Kuviin on vihreällä värillä on merkitty kohdat, joista saatiin hyvä signaali. Keltaisella värillä on merkitty kohdat, joissa signaali oli selkeästi heikompi. Punaisella merkityistä kohdista signaalia tunnisteelta ei saatu ollenkaan.

Mittauspöytäkirjan taulukoissa O tarkoittaa hyvää luentaa, Z heikompaa ja X epäonnistunutta lukua. Kuviin on piirretty lukijan antenni ja tuotelava mittausetäisyyksineen lukijasta. Keltaisella värillä kuvissa ja Z:lla taulukoissa merkityissä kohdissa jouduttiin lukijan ohitus tekemään paljon normaalia hitaammin ja lukualue oli selkeästi vihreää (O) väriä kapeampi. Kuvassa 11 on esimerkki mittauspöytäkirjan kuvasta, josta selviää missä kohdissa tunniste on luettu ja missä kohtaa ei.



Kuva 10. Esimerkki mittauspöytäkirjasta

Tunnisteen rotaatio-ominaisuuksista puhuttaessa tarkoitetaan sitä, että kuinka hyvin tunnisteen luentavarmuus säilyi kun tunnisteen suuntaus muuttui optimaalisesta huonompaan suuntaan. Optimaalisessa tilanteessa tunnisteen antenni on kohtisuorassa lukijan antennia vasten. Tällöin sen koko pinta-ala ottaa vastaan lukijan lähettämiä radioaaltoja. Usein kuitenkin tunnisteiden suuntaus on olosuhteiden pakosta huono ja sen vaikutuksia on havainnollistettu seuraavissa kappaleissa.

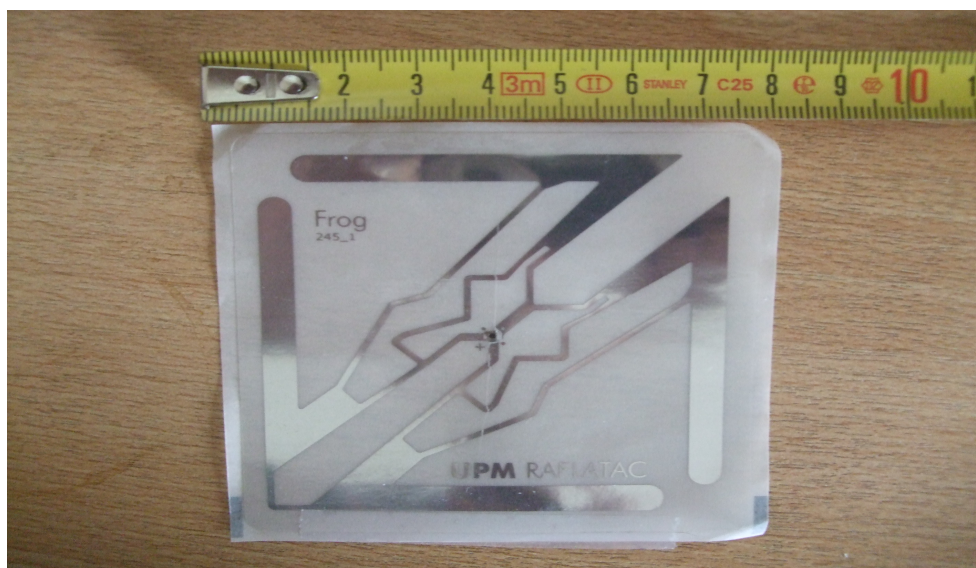
### 3.6.1 Frog

Frog-tunniste oli antennikooltaan suurin tutkituista tunnisteista (68 x 68 mm). Laboratoriossa maksimilukuetäisyydeksi kohtisuoraan eteenpäin lukijan antennista saatiin 255 cm, joka oli hieman keskiarvoa (235 cm) parempi tulos (valmistajan laskennallinen maksimi 2W:n lähetysteholla Euroopassa käytössä olevilla taajuuksilla on 4,5 metristä 6 metriin taajuudesta riippuen). Luentakeilan leveydeksi yhden metrin etäisyydeltä saatiin 70 cm sivusuunnassa ja 50 cm ylös- sekä alaspäin lukijan antennista.



Varastossa tunniste toimi lähietäisyyksillä hyvin, mutta etäisyyden kasvaessa signaalit heikkenivät nopeasti huonoiksi. Valmistajan mukaan tunniste on ideaali kohteissa, joissa tuotteessa olevan tunnisteiden suuntausta lukijaan nähden ei voida kontrolloida eli tuote ei ole herkkä rotaation vaikutuksille. Lähietäisyyksillä tunniste toimikin melko hyvin myös eri asennoissa ja rotaation vaikutus oli pieni. Signaaleja tunnisteelta saatiin kaikilta etäisyyksiltä myös, vaikka tunnisteiden ja lukijan välissä oli elektroniikkatuotteita. Etäisyyden kasvaessa luenta kuitenkin muuttui epävarmemmaksi ja tunnisteiden huono suuntaus lukijaan nähden heikensi selkeästi luentavarmuutta.

Valmistajan mukaan tunniste sopii esimerkiksi lava tai laatikkokohtaiseen käyttöön. Tutkimuksissa saatujen tulosten perusteella tämä onkin sopiva käyttökohde, ainakin mikäli laatikkokoot ovat tarpeeksi suuria. Kovin pieniin laatikoihin tunniste ei sovellu edes kokonsa puolesta. Frogin tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 1.



*Kuva 11. Frog*

### 3.6.2 DogBone<sup>x</sup>

DogBone<sup>x</sup>:n maksimi luentaetäisyys laboratoriossa oli 225 cm suoraan eteenpäin lukijasta. Sivuttais- ja pystysuunnassa tunniste toimi todella laajalla alueella. Sivuttaissuunnassa tunniste lähetti signaalia 105 cm:n etäisyydeltä lukijan keskipisteestä. Lukuetaisyyttä ylöspäin mitattaessa laboratorion kattorakenteet tulivat



vastaan, mutta alasuuntaan mitattu 120 cm on muista tunnisteista saatujen tulosten perusteella melko tarkka arvio. Muissakin tunnisteissa tulokset olivat sivuittais- ja pystysuunnissa lähes samat kuin vastakkaisissa suunnissa.

Varastossa suoritetuissa mittauksissa tunnisteiden toimivuus oli todella hyvä. Tunnisteiden ollessa kohdistettuna suoraan lukijaa vasten, luentavarmuus säilyi hyvänä jokaisella mittausetäisyydellä ajonopeudesta riippumatta.

Tunnisteiden rotaatio-ominaisuudet olivat myös melko hyviä moniin muihin tunnisteisiin verrattuna. Signaali saatiin todella monista positioista. Kuljetusnopeutta oli tosin pienennettävä usein varsinkin kaukaisimmilla etäisyyksillä. Lähietäisyyksillä saatiin hyviä signaaleja myös lavan keskeltä. Tunnisteiden tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 2.



Kuva 12. DogBone<sup>x</sup>

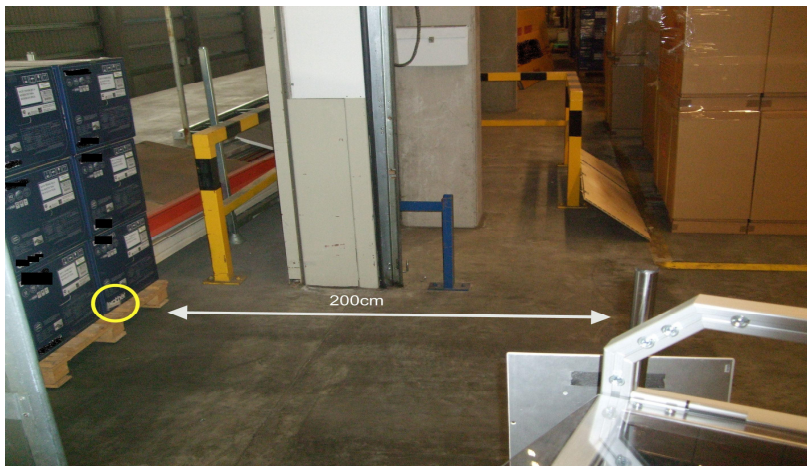
### 3.6.3 ShortDipole<sup>x</sup>

Laboratoriossa tunnisteiden maksimiluentaetäisyys oli 225 cm. Valmistajan laskema maksimilukuetäisyys on Euroopassa käytössä olevilla taajuuksilla 7,5 metristä 9 metriin. Luentakeilan leveys yhden metrin etäisyydellä lukijasta oli noin 100 cm jokaiseen ilmansuuntaan. Tunnisteiden luentakeila oli tutkituiden tunnisteiden parhaimmista.

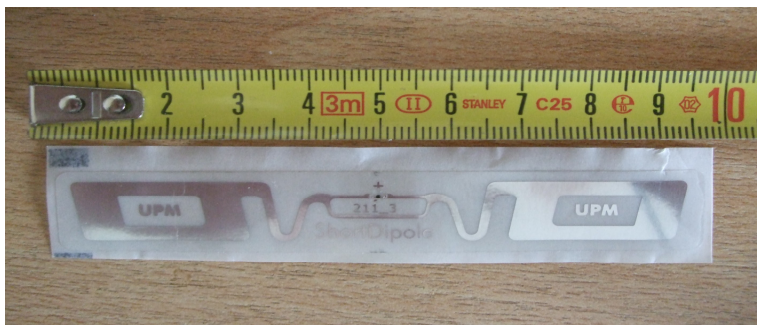
Varastossakin tunniste toimi hyvin ja selkeitä signaaleja saatiin etäisyydestä riippumatta eri puolilta tuotelavaa. Kuitenkin etäisyyden kasvaessa varsinkin sivuilla olevista positioista oli vaikeuksia saada signaaleja. Normaali ajonopeus heikensi edelleen luentavarmuutta jo valmiiksi heikoista signaaleista.

Tunnisteen kompaktin koon ansiosta se sopisi hyvin suhteellisen pienienkin tuotteiden seurantaan kuljetusketjussa. Myös tunnisteen kohtuullisen hyvät luentaominaisuudet ympäri tuotelavaa tukevat tätä. Tarkemmat tulokset mittauksista on dokumentoitu liitteessä 3.

Tämän tunnisteen kohdalla havaittiin hyvin myös se, kuinka laaja luenta-alue yhdelläkin lukijan antennilla voi olla. Tunnisteelta ei saatu signaalia sen ollessa kuvan 13 osoittamassa positiossa (D6), kun lava sijaitti lukijan kohdalla. Lukijan kohdalla tunnisteen suuntaus eli rotaatio on huono ja etäisyys lukijasta pitkä. Tässä tapauksessa signaali tunnisteelta kuitenkin saatiin kun oli kuljettu riittävän sivuun lukijasta, jolloin tunnisteen suuntaus oli parempi. Kuva 13 on otettu kyseisestä tilanteesta, jossa signaali sivussa ja paikallaan olevasta lavasta oli hyvä lavan ja tunnisteen ollessa paikallaan. Signaali katosi kun lavaa liikutettiin suuntaan tai toiseen.



*Kuva 13. Hyvä signaali sivussa ja paikallaan olevasta lavasta. Lavaa liikutettaessa signaali katosi.*

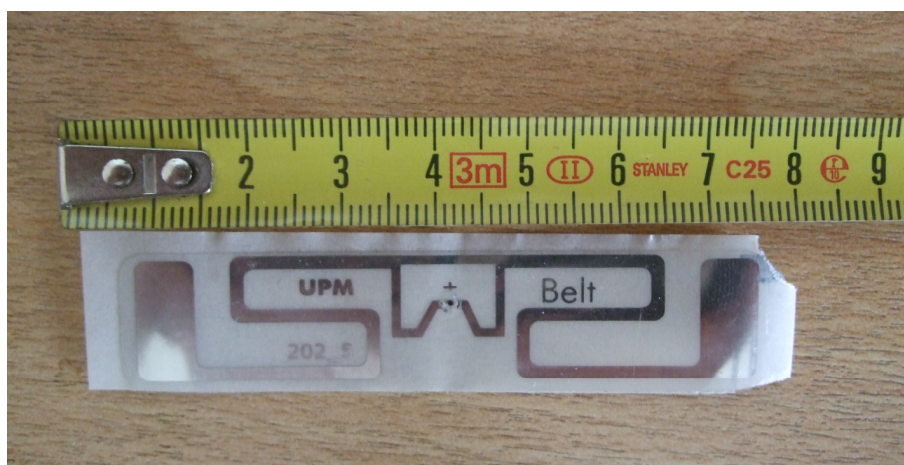


Kuva 14. *ShortDipole*<sup>x</sup>

### 3.6.4 Belt

Belt-tunnisteen maksimi luentaetäisyydeksi laboratoriossa mitattiin 210 cm. Valmistajan tunnisteelle antamissa tiedoissa tunnisteelle oli laskettu Euroopan taajuusalueilla lähes 9 metrin maksimietäisyys, joten koulun laitteistolla tästä jäätiin melko kauas. Tunnisteen luentakeila metrin etäisyydellä oli kohtuullisen hyvä. Keilan leveys ylä-, ala- ja sivuttaissuunnissa oli noin 70 cm, joka oli tutkittujen tunnisteiden joukossa keskiarvon luokkaa.

Varastossa tunniste toimi todella hyvin suoraan lukijaa vasten kaikilla etäisyyksillä. Lavan sivuilta saatiin melko hyviä signaaleja, vaikka etäisyyden lisääntyessä tämänkin tunnisteen kohdalla signaali heikkeni selkeästi. Valmistajan esitteen mukaan tunniste soveltuu tuotetason seurantaan ja tämä varmasti pitääkin paikkansa oikeilla lukija ja antenni valinnoilla. Koulun laitteistolla ei saatu luettua läheskään kaikki laatikkoja, mutta esimerkiksi jo yhdellä lukijan lisäantennilla saataisiin valtaosa tuotteista luetuiksi. Liitteessä 4 on tulokset varasto- sekä laboratoriomittauksista.



Kuva 16. *Belt*

### 3.6.5 Hammer

Hammer-tunniste ei toiminut kovin hyvin laboratoriossa. Maksimietäisyydeksi laboratoriossa tunnisteelle mitattiin vain 155 cm, kun valmistajan tietojen mukaan lukuetaisyys puualustalla on noin 4-5 metriä (metallialustalla noin 3 metriä). Yhden metrin etäisyydeltä määritetty lukukeila oli pystysuunnassa todella kapea, vain 25 cm antennin keskipisteestä. Leveysuunnassa tunniste toimi hieman paremmin keilan leveyden ollessa 50 cm molempiin suuntiin.

Tunniste ei toiminut varastossakaan hyvin, vaan selkeitä signaaleja saatiin vain kohtisuoraan lukijaa vasten. Etäisyyden kasvaessa signaalit tulivat epävarmemmiksi. Mielenkiintoinen havainto oli eräänlaisen katvealueen esiintyminen etäisyyksien 100 cm ja 150 cm välillä. Mittauspöytäkirjan liitteenä olevasta kuvasta havaitaan selkeästi epävarmuutta alempien laatikkojen tunnisteiden signaaleissa. Keskimmäisen etäisyyden kohdalla alempien laatikkojen signaali heikkeni ja kuljetusvauhtia piti hiljentää luennan varmistamiseksi, mutta kauimmaisissa kohdissa signaali oli selkeämpi.

Tunnisteen rotaatio-ominaisuudet olivat myös todella huonot. Tunnisteesta saatiin lukijan suunnasta katsottuna sivuilla olevista kohdista hyvä ja selkeä signaali vain yhdestä mittauskohdasta. Muista kohdista saadut signaalit olivat todella heikkoja ja edellyttivät usein, että lukijan ohi kuljettiin ryömintävauhtia. Hammerin tarkemmat tulokset löytyy liitteestä 5.



*Kuva 17. Hammer*



### 3.6.6 ShortDipole

Laboratoriotutkimuksissa tunnisteiden maksimiluentaetäisyys oli 345 cm, joka oli DogBone-tunnisteiden kanssa tutkittujen tunnisteiden parhaimmista. Luentakeilan leveys tunnisteella oli myös hyvä. Sivuttaissuunnassa tunniste toimi 115 cm etäisyydelle asti ja pystysuunnassakin päästiin 100 cm:n toimintaetäisyyteen. Valmistajan laskelma maksimietäisyys tunnisteelle on noin 9-10 metriä taajuudesta riippuen.

Varastossa tämä tunniste toimi hyvin. Selkeitä signaaleja saatiin ympäri tuotelavaa ja myös, vaikka tunnisteiden suuntaus oli kaukana optimaalisesta. Etäisyyden kasvaessa kuitenkin tunnisteiden suuntauksen vaikutukset näkyivät heikkenevinä signaaleina ja ajonopeutta jouduttiin vähentämään signaalien saamiseksi. Lukijaa vasten suoraan olevista positioista signaalit olivat kuitenkin selkeitä ja ajonopeudella ei ollut vaikutusta luentaan. Samoin kuin ShortDipole<sup>x</sup>, myös tämä tunniste sopii hyvin koko toimitusketjun seurantaan niin lavoissa sekä yksittäisissä tuotteissa. Tarkemmat tulokset mittauksista löytyy liitteestä 6.

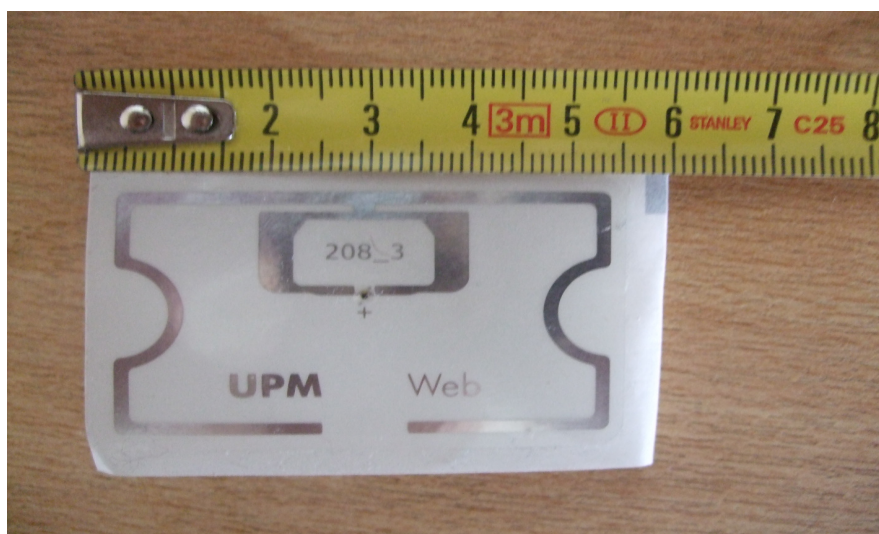


Kuva 18. ShortDipole

### 3.6.7 Web

Tutkituista tunnisteista Web oli toimintaetäisyyksillä mitattuna heikoin. Selkeä maksimiluentaetäisyys laboratoriossa oli vain 115cm , kun valmistajan laskema maksimietäisyys tunnisteella on 4-6 metriä taajuudesta ja alustasta riippuen. Myös luentakeilan leveys Webillä oli kaikista tunnisteista selkeästi heikoin. Lukualue ulottui metrin etäisyydellä vain noin 25 cm suuntaansa.

Myös varastossa tulokset olivat todella heikkoja verrattuna muihin tunnisteisiin. Selkeitä signaaleja tunnisteelta saatiin vain lähietäisyyksiltä. Valmistajan mukaan tunniste ei ole herkkä suuntausvaihteluille. Varastossa tehdyissä mittauksissa tunniste ei kuitenkaan kommunikoinut lukijan kanssa juuri ollenkaan, kun tunnisteen kohdistus lukijaan muuttui. Ohitusnopeuden kasvaessa signaalit heikkenivät entisestään tai katosivat kokonaan. Vähäisen energian kulutuksen ansiosta valmistaja suosittelee tunnistetta erityisesti kannettaville lukijoille (hand-held reader, kts. kuva 1). Tämän tunnisteen kohdalla kuitenkin myös huonot rotaatio-ominaisuudet, lyhyt toimintaetäisyys ja heikko ohitusnopeuden kestävyys viittaavat kannettavan lukijan käyttöön. Tarkemmat tulokset on dokumentoitu liitteessä 7.



*Kuva 19. Web*

### 3.6.8 DogBone

DogBonen mitattu maksimietäisyys laboratoriossa oli 350 cm, joka oli pisin mitattu luentaetäisyys tutkituista tunnisteista. Valmistajan laskema teoreettinen maksimietäisyys 2 W:n lähetysteholla on noin 10 metriä. Luentakeilan leveys pystysuunnassa oli 90cm sekä ylös-, että alaspäin. Sivuttaissuunnassa lukualue oli hieman laajempi ollen noin 95 cm molempiin suuntiin.

Varastossa tunniste toimi todella hyvin ja selkeitä signaaleja saatiin joka puolelta tuotelavaa. Etäisyyden pidentyessä signaalit heikkenivät luonnollisesti jossain kohdin sekä katosivat kokonaan, kun tunnisteen suuntaus lukijaan nähden muuttui. Valmistaja suosittelee tunnistetta lavakohtaisen käytön lisäksi myös tuotekohtaiseen käyttöön ja tulokset varastossa tehdyistä mittauksista tukevat tätä. Lisäämällä lukijan antenni- ja lastaus-/purkualueelle, olisi 100-prosenttinen lukuvarmuus tällä tunnisteella helposti saavutettavissa. DogBonen tarkemmat tulokset ovat liitteessä 8.

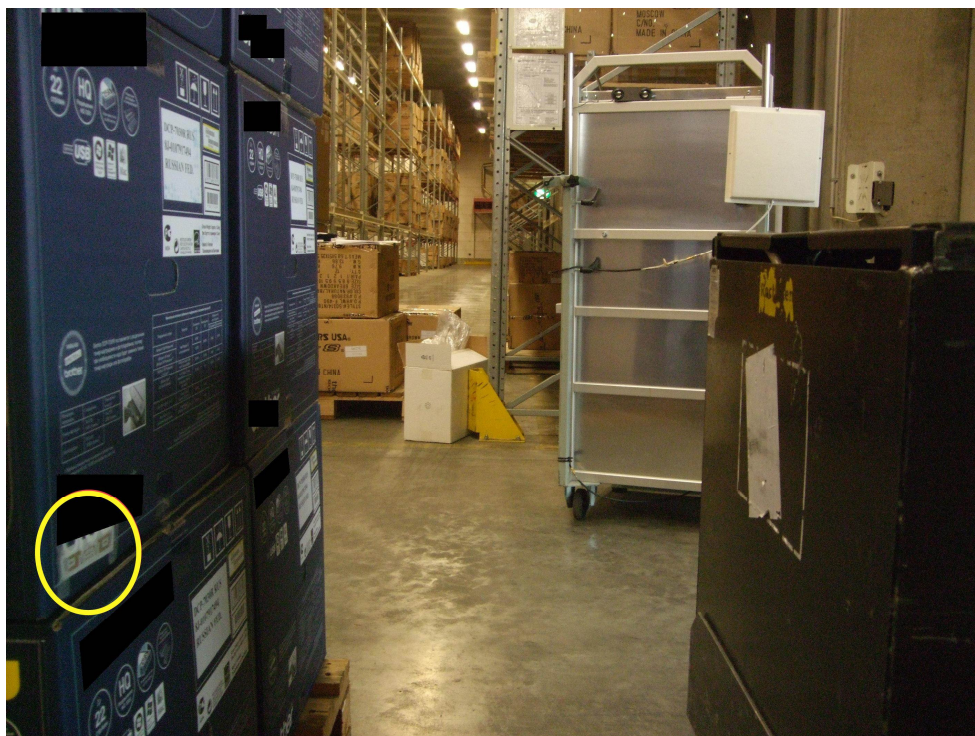


Kuva 20. DogBone

### 3.7 Ympäristön vaikutukset

Metallipintojen aiheuttamat ongelmat varsinkin UHF-tunnisteita käytettäessä ovat yleisesti hyvin tiedossa (Cole & Hu 2009). Tunnisteiden toimintaa varastossa tutkittaessa kuitenkin havaittiin, että oikein sijoitetulla metallipinnalla voisi olla mahdollista saada aikaan signaali tunnisteelta lukijalle. Kuvassa 21 on tunniste

ShortDipole<sup>x</sup> sijoitettu mittauskohtaan C3. Kyseisestä kohdasta ei saatu signaalia missään vaiheessa lavansiirtovaunun ollessa lavan alla. Kuvassa tuotelava on paikallaan ja lavansiirtovaunua ajetaan pois lavan alta, jolloin trukin ollessa kuvan osoittamassa kohdassa signaali tunnisteelta lukijalle on hyvin voimakas, selkeästi trukin aiheuttaman heijastuksen vaikutuksesta. Peruutettaessa trukkia pidemmälle taaksepäin tai takaisin lavan alle signaali kuitenkin katosi. Ilmiö oli havaittavissa useilla eri tunnisteilla.



Kuva 21. Lavansiirtovaunun heijastama signaali.

### 3.8 Yhteenveto

Mittauksia suoritettiin kahdenlaisissa olosuhteissa yhteensä kahdeksalla eri tunnisteella. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tiloissa mitattiin tunnisteiden toimintaetäisyyksiä. Varastotiloissa, Haminan sataman alueella, tunnisteita sijoitettiin elektroniikkatuotelavalle, jota kuljetettiin lukijan ohi lavansiirtovaunulla. Taulukossa 2 on listattu yhteenvetona laboratoriossa mitatut maksimiluentaetäisyydet.



Taulukko 2. Maksimiluentaetäisyydet tunnistekohtaisesti.

Tunniste	etäisyys (cm)
<b>DogBone x</b>	<b>225</b>
<b>DogBone</b>	<b>350</b>
<b>Frog</b>	<b>255</b>
<b>Web</b>	<b>115</b>
<b>Belt</b>	<b>210</b>
<b>ShortDipole</b>	<b>345</b>
<b>SHortDipole x</b>	<b>225</b>
<b>Hammer</b>	<b>155</b>

Laboratorio- ja varastomittaukset erosivat toteutukseltaan toisistaan paljon. Tuloksia tarkastellessa voidaan kuitenkin havaita, että laboratoriossa hyvin toimineet tunnisteet toimivat hyvin myös varastossa. Tunnisteiden suuntauksen vaikutusta luentaan saatiin selvitettyä ja tuloksista on helposti nähtävissä, että monilla tunnisteilla suuntauksen vaikutus luentaan oli suuri. Huono suuntaus heikentää signaalia ja hyvin usein myös kadottaa sen kokonaan.

Myös kuljetusnopeudella on suuri vaikutus luettavuuteen varsinkin, jos tunnisteiden suuntaus lukijaan on huono. Tällöin luentakeila, jossa tunniste lähettää signaalin lukijalle on kapeampi. Joillakin tunnisteista, signaalin heikentyessä kuljetusnopeutta jouduttiin pudottamaan huomattavasti, jotta tunnisteelta saatiin signaali.

Mielenkiintoisia havaintoja tehtiin myös ympäristön vaikutuksesta luentaan. Ympäristöllä on selkeästi vaikutusta tunnisteiden ja lukijan väliseen kommunikointiin. Tämä havainto on kirjattu luvussa 3.6 ShortDipole<sup>x</sup>-tunnisteella, mutta sama ilmiö havaittiin myös muilla tunnisteilla.

Mittauksiin ehdittiin tutkia vain yhdessä tuotteessa ja vain haarukkavaunua hyväksikäyttäen. Mielenkiintoista olisi myös ollut tutkia, miten luenta olisi onnistunut esimerkiksi perinteisellä vastapainotrukilla, jossa tuotelavan trukkia vasten oleva sivusta olisi ollut avonaisempi kuin haarukkavaunua käytettäessä.

Yhdelläkään tunnisteella ei saavutettu 100-prosenttista luenta, mutta sitä ei tässä tutkimuksessa edes haettu. Tunnisteiden käyttäytymistä kaikissa mahdollisissa

asennoissa lukijaan nähden ei myöskään tutkittu, mutta perusajatus rotaation vaikutuksesta luetaan mittauksista selviää.

#### 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

RFID-tekniikkaa on hyvin laajalti jo käytössä monilla teollisuuden alueilla. Tekniikka kehittyy koko ajan ja uusia sovelluksia tulee koko ajan lisää. RFID-tekniikka on nyt niin sanotussa Pettymysten aallonpohjassa (Gartnerin nousevien teknologien hypekäyrä) ja nyt edessä on Valaistumisen rinne, jossa yritykset alkavat toden teolla hyödyntää tekniikkaa (Wallinheimo 2009). Tunnisteiden ja muun RFID-tekniikan hinnat ovat alentuneet roimasti viime vuosien aikana ja uusien toimijoiden vetämänä hinnat alenevat entisestään lähitulevaisuudessa.

Logistiikassa sen tuomat edut ovat kiistattomat: RFID tuo muun muassa läpinäkyvyyttä tuotantoon ja toimituksiin. Tekniikan avulla voidaan helposti myös vähentää tuotteen käsittelykertoja ja automatisoida prosesseja, ja näin vähentää kustannuksia ja tehostaa toimintoja.

RFID-tunnisteita on monenlaisia ja moneen eri käyttöön. Logistiikan näkökulmasta passiiviset UHF-tunnisteet ovat tärkeässä roolissa, koska ne ovat edullisia ja usein myös sopivan kokoisia yksittäisen tuotteen seurantaan. Virtalähteettömän passiivitunnisteen elinkaari on teoriassa ikuinen. Tunniste on vahingoilta paremmin suojattavissa kuin esimerkiksi viivakoodi, jonka pitää olla näkyvissä ja on näin alttiina vahingoille. RFID-tunniste sen sijaan voidaan kätkeä vaikka laatikon sisälle suojaan. Suoritetujen tutkimusten pohjalta on melko vaikea saada selville mikä tutkituista tunnisteista sopisi mihinkin tilanteeseen, koska se vaatisi huomattavasti laajempia tutkimuksia ja isompia resursseja tutkimusten suorittamiseen.

Tunnisteiden toimintaan vaikuttaa moni asia. Tunnisteen antennin suuntaus on tärkeä optimaalisen paluusignaalin aikaansaamiseksi. Parhaimmat signaalit saadaan kun koko tunnisteen antennipinta-ala on suunnattu lukijaan. Työn aikana tutkituista tunnisteista havaittiin kaikista, että signaali tunnisteelta lukijalle heikkenee oleellisesti tai katoaa kokonaan mikäli tunnisteen suuntaus muuttuu. Etäisyyden kasvaessa

tunnisteen suuntaus tulee entistä tärkeämmäksi. Mikäli tunnisteen asentoon lavalla ei voida vaikuttaa, on lukijan antennin suuntausta muutettava, asennettava lukijaan lisäantenni tai kokonaan toinen, erillinen lukija varmistamaan luenta.

Selkeä havainto oli, että ammattikorkeakoulun käyttämällä laitteistolla ei voida varmistaa 100-prosenttista luentaä tutkitunlaisissa olosuhteissa, mutta sillä voidaan silti suhteellisen helposti kartoittaa, demonstroida tai tehdä vertailua erilaisten tunnisteiden toiminnasta erilaisissa ympäristöissä. Käytetty IsoStart-ohjelmisto oli myös melko hankala tutkimusten kannalta varsinkin varastotiloissa, jossa oli paljon taustamelua. Ainoa järkevä tapa seurata luennan onnistumista oli kuunnella laitteiston lähettämiä äänimerkkejä, kun tunniste luetaan. Tämän voi tietysti korjata jos käytettävissä on toinen henkilö mittausten ajaksi, joka voisi valvoa laitteistoa ja kirjata havaintoja. Parempi vaihtoehto olisi kuitenkin ohjelmiston parantaminen siten, että siitä saisi suodatettua turhat tiedot pois ja esimerkiksi piirrettyä kuvaajan siitä kuinka tiheästi signaaleja tunnisteelta saadaan. Näin yksikin henkilö voisi tehdä selkeitä mittauksia ja analysoida tallennettuja tuloksia jälkikäteen.

Tunnisteiden identifiointimahdollisuus lisäisi mittausten tehokkuutta varsinkin jos tunnisteita olisi käytössä useampia kappaleita. Näin voitaisiin etukäteen nimetä eri tunnisteet, sijoittaa ne haluttuihin mittauskohtiin ja suorittaa lukijan ohitus. Näin useamman eri tunnisteen mittaaminen ja vertailu samanaikaisesti olisi todella helppoa ja nopeaa.

Havainnot ympäristön vaikutuksista tunnisteen ja lukijan väliseen kommunikointiin vaativat lisäselvityksiä. Metallipintojen negatiiviset vaikutukset on hyvin helppo todeta esimerkiksi tuomalla metallilevy tunnisteen ja lukijan väliin. Metallipinnoilla voi silti olla myös positiivisia vaikutuksia. Luvussa 3.6 kuvatussa tilanteessa oli selvästi havaittavissa se, että signaali tunnisteelta saatiin lavansiirtovaunua hyväksikäyttäen. Signaalia ei saatu, kun vaunu oli lavan alla tai kaukana siitä. Oliko luvussa kuvattu lavansiirtovaunun aiheuttama signaali vain sattumaa vai olisiko tarvittaessa mahdollista korvata lukijan lisäantenni esimerkiksi pelkällä oikein suunnatulla metallilevyllä? Näin voitaisiin pienentää RFID-laitteistoon kohdistuvia hankinta- ja ylläpitokustannuksia.

Lisäselvitystä tarvitaan myös siitä mikä on lukijan lähetystehon vaikutus luentaetäisyyteen. Mittauksia tehtiin oletuksella, että lukija on asetettu lähettämään 2 W:n teholla, joka on korkein sallittu lähetysteho Euroopassa. Mittausten ja tulosten analysoinnin jälkeen kuitenkin havaittiin, että laitteiston lähetysteho on vain 1W. Asiantuntijalta asian vaikutusta kysyttäessä selvisi, että lähetystehon puolitus käytännössä puolittaa myös luentaetäisyyden (Känsälä 2009). Tämä selittäisi tunnisteilla havaitut heikot luentaetäisyydet verrattuna valmistajan laskemiin teoreettisiin maksimietäisyyksiin.

## LÄHTEET

Castro, Linda & Wamba, Samuel Fosso 2007. An Inside Look At Rfid Technology. Invited Paper. École Polytechnique de Montréal, Montreal Canada. Saatavissa <http://www.jotmi.org/index.php/GT/article/viewFile/rev3/73>. [viitattu 28.9.2009]

Cole, Peter & Hu, Zhonghao 2009. Solving the Water and Metal Problem Saatavissa <http://www.rfidjournal.com/article/view/4755>. [viitattu 7.10.2009]

Kainulainen, Tiina 2009. UPM Raflatac. sähköpostitiedustelu. 24.8.2009

Koskinen, Lari 2007. RFID-tekniikka ja sen sovellukset. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.

Känsälä, Antti. Business Development Manager, Vilant Oy. Haastattelu 2.10.2009.

Mannila, Marko 2009. Älykkäimmät ja hulluimmat RFID-sovellukset, Digitoday. Saatavissa <http://www.digitoday.fi/data/2006/12/17/lykkaimmat-ja-hulluimmat-rfid-sovellukset/200623656/66>. [Viitattu 18.9.2009]

Piipponen, Jussi-Heikki 2008. RFID-mittauspalveluiden tuotteistaminen. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Kotka.

Pulli, Hennariina & Posti, Antti & Tapaninen, Ulla. 2009. TUKKE – Tuoteseuranta Satamasidonmaisessa Kuljetusketjussa. Turku: Turun yliopiston merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus.

Roberti, Mark 2008. Mojix Takes Passive UHF RFID to a New Level. RFID Journal. Saatavissa <http://www.rfidjournal.com/article/print/4019>. [viitattu 12.10.2009]

Siden, Johan & Lee, Bruce & Ganjei, John 2008. On the Efficiency of RFID Tag Antennas Produced by Copper Plating Catalytic Ink Traces. Mid Sweden University, Sundsvall Sweden. Saatavissa <http://www.rfidjournal.com/whitepapers/download/246>. [viitattu 7.10.2009]

Wallinheimo, Jukka 2009, RFID Lab Finland, Kymenlaakson ammattikorkeakoulun RFID Roadshow 2009.

Zhang, Yimin & Moeness G., Amin & Shashank, Kaushik 2007. Localization and Tracking of Passive RFID Tags Based on Direction Estimation. Hindawi Publishing Corporation. Saatavissa <http://www.hindawi.com/journals/ijap/2007/017426.abs.html>. [viitattu 5.10.2009]

# Frog

Liite 1/1

**A 150**

1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
X	X

**A 100**

1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
Z	Z

**A 50**

1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
O	O

**C 150**

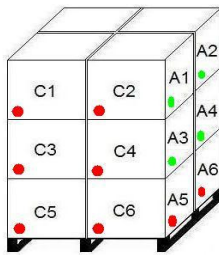
1	2
X	X
3	4
X	X
5	6
X	X

**C 100**

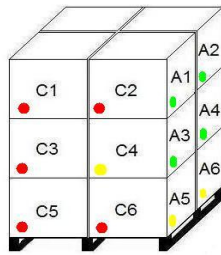
1	2
X	X
3	4
X	Z
5	6
X	X

**C 50**

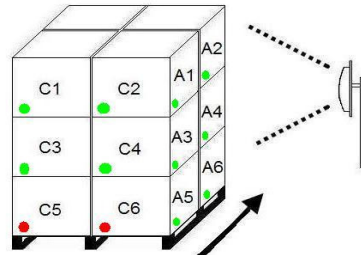
1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
X	X



150cm



100cm



50cm

**B 50**

1	2
O	O
3	4
Z	Z
5	6
X	X

**B 100**

1	2
X	Z
3	4
Z	Z
5	6
X	X

**B 150**

1	2
X	Z
3	4
Z	X
5	6
X	X

**D 50**

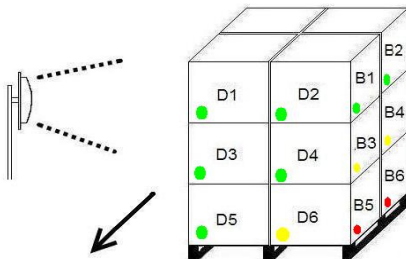
1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
O	Z

**D 100**

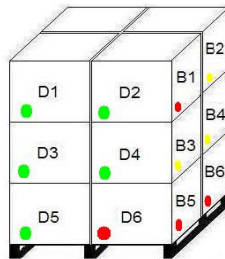
1	2
O	O
3	4
O	O
5	6
O	X

**D 150**

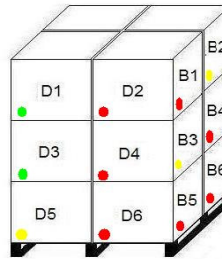
1	2
O	X
3	4
O	X
5	6
Z	X



50cm

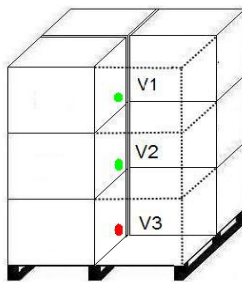
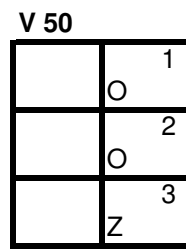
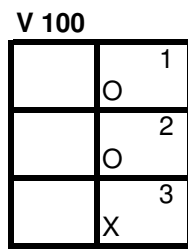
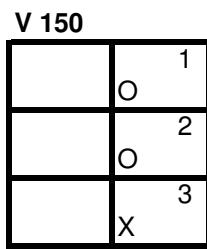


100cm

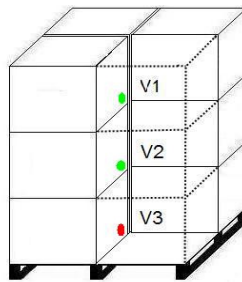


150cm

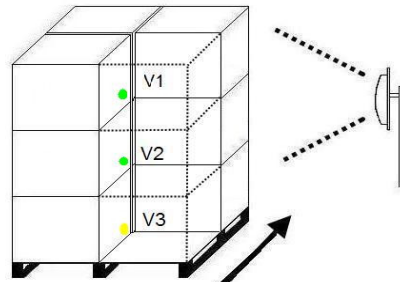
Liite 1/2



150cm



100cm

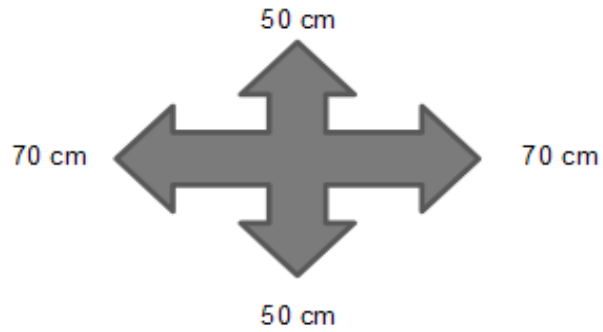


50cm

Laboratorio:

Maksimietäisyys: 255 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# DogBone^x

Liite 2/1

**A 150**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 150**

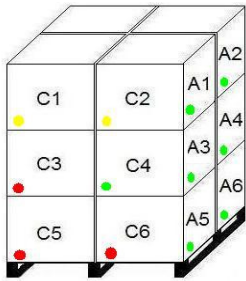
Z	1	Z	2
X	3	O	4
X	5	X	6

**C 100**

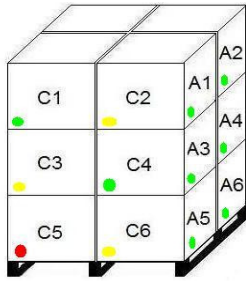
O	1	Z	2
Z	3	O	4
X	5	Z	6

**C 50**

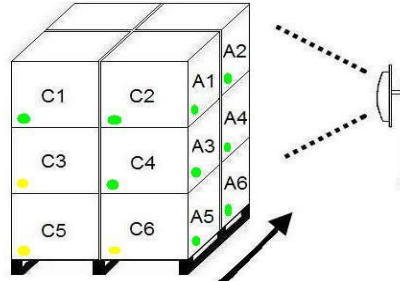
O	1	O	2
Z	3	O	4
Z	5	Z	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

O	1	X	2
O	3	X	4
Z	5	X	6

**B 100**

O	1	X	2
O	3	X	4
Z	5	X	6

**B 150**

Z	1	X	2
Z	3	X	4
Z	5	X	6

**D 50**

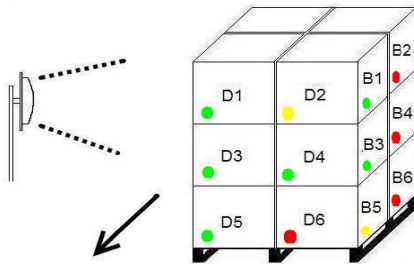
O	1	Z	2
O	3	O	4
O	5	X	6

**D 100**

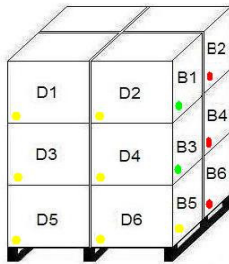
Z	1	Z	2
Z	3	Z	4
Z	5	Z	6

**D 150**

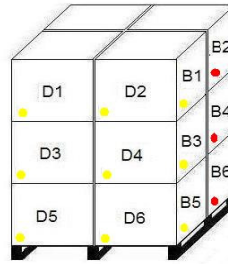
Z	1	Z	2
Z	3	Z	4
Z	5	Z	6



50cm

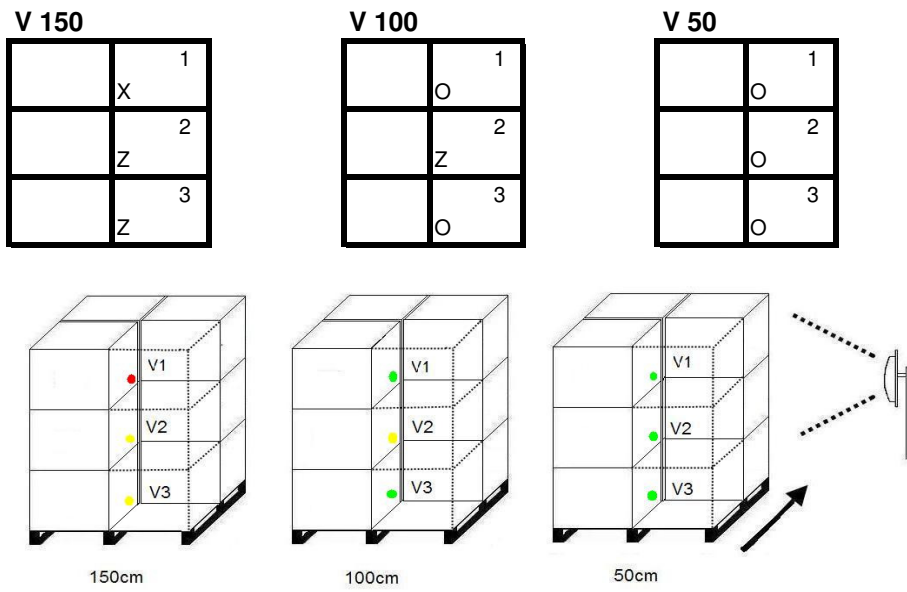


100cm



150cm

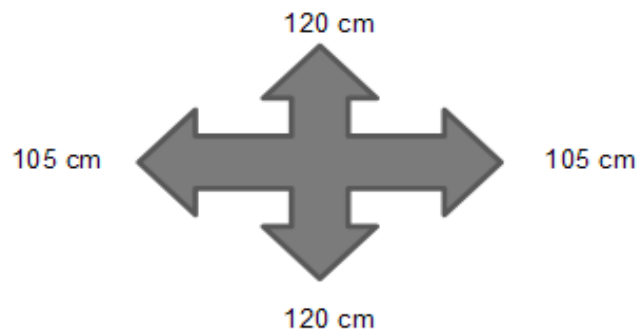




Laboratorio:

Maksimietäisyys: 225 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# ShortDipole^x

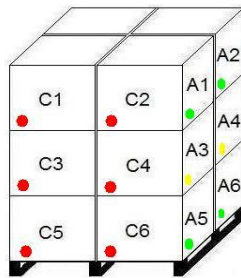
Liite 3/1

**A 150**

O	1	O	2
Z	3	Z	4
O	5	O	6

**C 150**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6



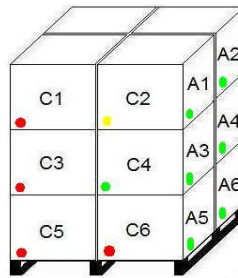
150cm

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 100**

X	1	Z	2
X	3	O	4
X	5	X	6



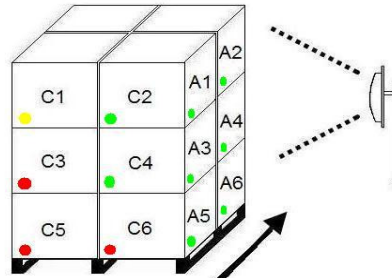
100cm

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 50**

Z	1	O	2
X	3	O	4
X	5	X	6



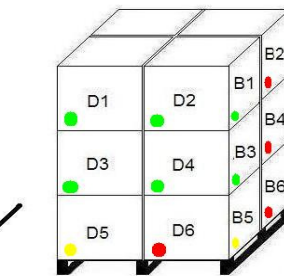
50cm

**B 50**

O	1	X	2
O	3	X	4
Z	5	X	6

**D 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
Z	5	X	6



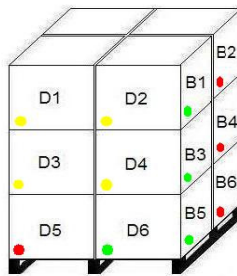
50cm

**B 100**

O	1	X	2
O	3	X	4
O	5	X	6

**D 100**

Z	1	Z	2
Z	3	Z	4
X	5	O	6



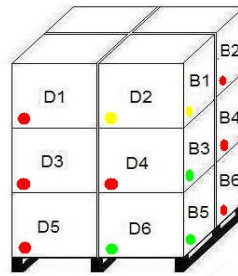
100cm

**B 150**

Z	1	X	2
O	3	X	4
O	5	X	6

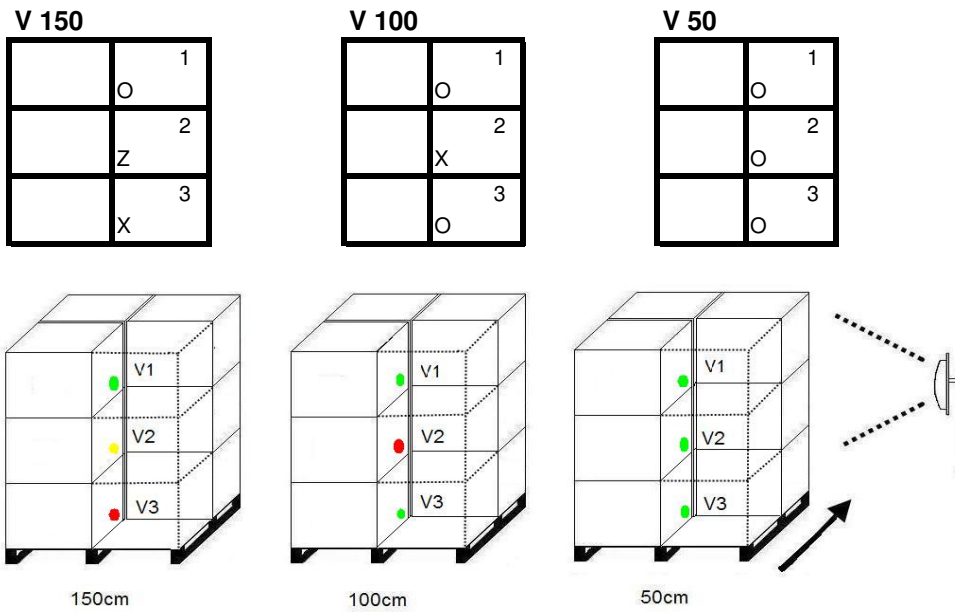
**D 150**

X	1	Z	2
X	3	X	4
X	5	O	6



150cm

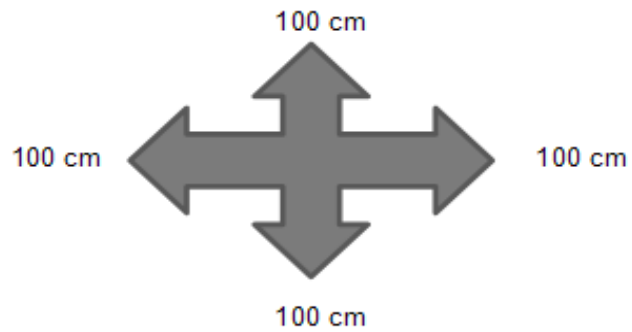
Liite 3/2



Laboratorio:

Maksimietäisyys: 225 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# Belt

Liite 4/1

**A 150**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 150**

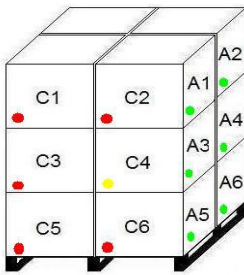
X	1	X	2
X	3	Z	4
X	5	X	6

**C 100**

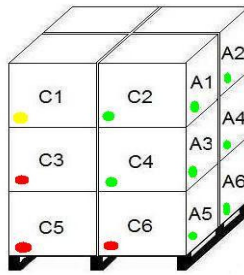
Z	1	O	2
X	3	O	4
X	5	X	6

**C 50**

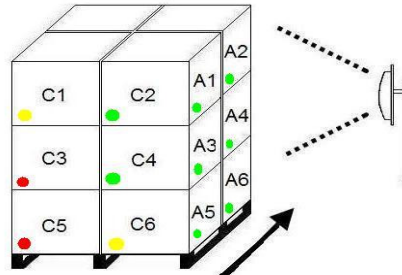
Z	1	O	2
X	3	O	4
X	5	Z	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

O	1	X	2
Z	3	X	4
Z	5	X	6

**B 100**

O	1	X	2
Z	3	X	4
Z	5	X	6

**B 150**

O	1	X	2
Z	3	X	4
Z	5	X	6

**D 50**

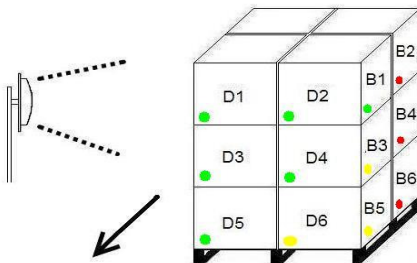
O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	Z	6

**D 100**

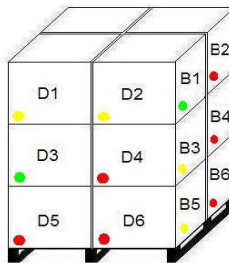
Z	1	Z	2
O	3	X	4
X	5	X	6

**D 150**

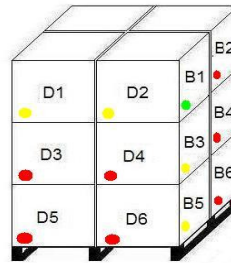
Z	1	Z	2
X	3	X	4
X	5	X	6



50cm



100cm



150cm

liite 4/2

**V 150**

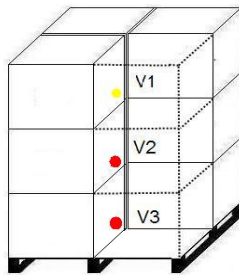
	Z	1
	X	2
	X	3

**V 100**

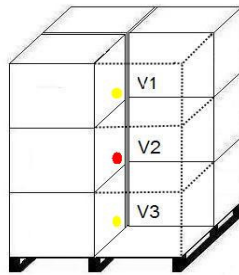
	Z	1
	X	2
	Z	3

**V 50**

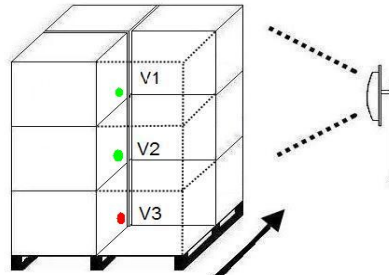
	O	1
	O	2
	X	3



150cm



100cm

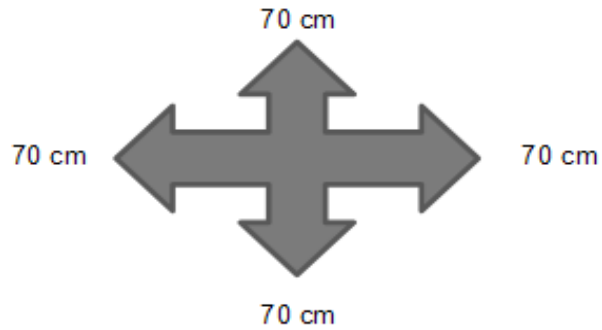


50cm

Laboratorio:

Maksimietäisyys: 210 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# Hammer

liite 5/1

**A 150**

O	1	O	2
X	3	X	4
O	5	O	6

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
Z	5	Z	6

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 150**

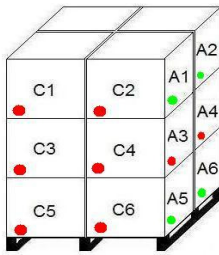
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**C 100**

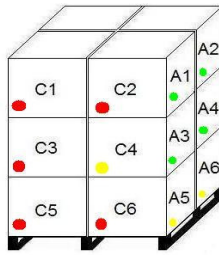
X	1	X	2
X	3	Z	4
X	5	X	6

**C 50**

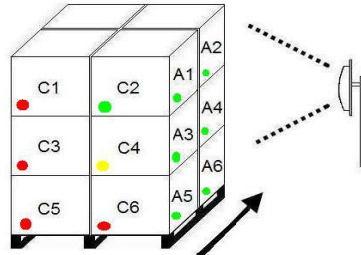
X	1	O	2
X	3	Z	4
X	5	X	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

Z	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**B 100**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**B 150**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**D 50**

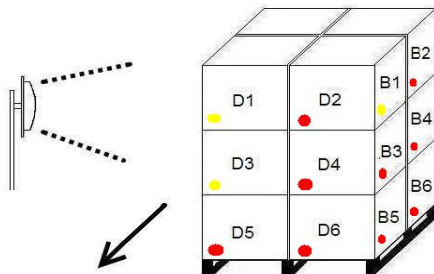
Z	1	X	2
Z	3	X	4
X	5	X	6

**D 100**

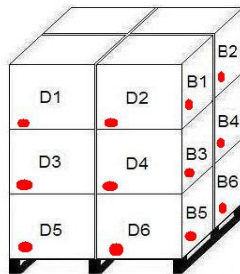
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**D 150**

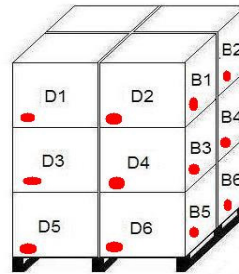
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6



50cm



100cm



150cm

**V 150**

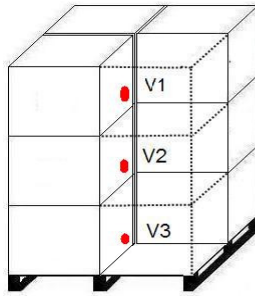
	X	1
	X	2
	X	3

**V 100**

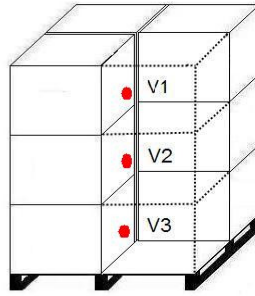
	X	1
	X	2
	X	3

**V 50**

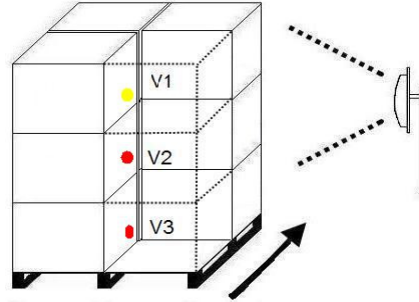
	Z	1
	X	2
	X	3



150cm



100cm

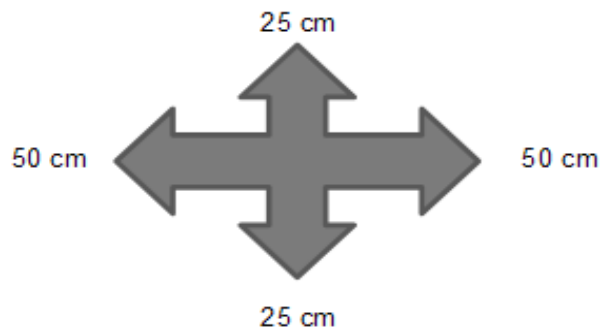


50cm

Laboratorio:

Maksimietäisyys: 155 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# ShortDipole

Liite 6/1

**A 150**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 150**

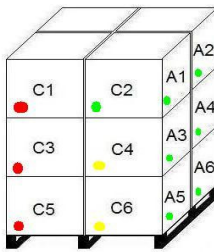
X	1	O	2
X	3	Z	4
X	5	Z	6

**C 100**

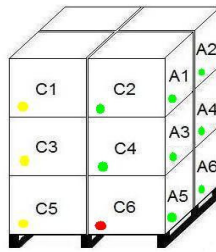
Z	1	O	2
Z	3	O	4
Z	5	X	6

**C 50**

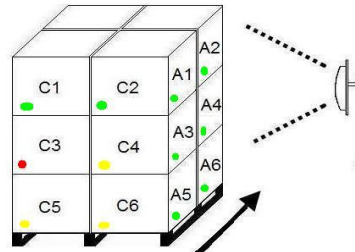
O	1	O	2
X	3	Z	4
Z	5	Z	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

O	1	Z	2
O	3	X	4
Z	5	X	6

**B 100**

O	1	Z	2
O	3	X	4
O	5	X	6

**B 150**

O	1	X	2
O	3	X	4
O	5	X	6

**D 50**

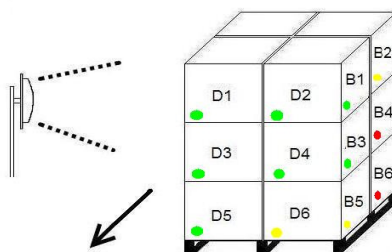
O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	Z	6

**D 100**

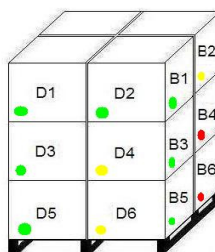
O	1	O	2
O	3	Z	4
O	5	Z	6

**D 150**

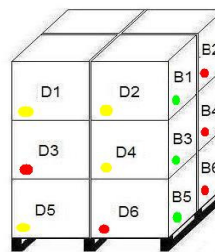
Z	1	Z	2
X	3	Z	4
Z	5	X	6



50cm



100cm

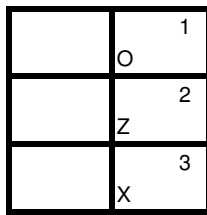


150cm

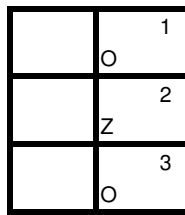


Liite 6/2

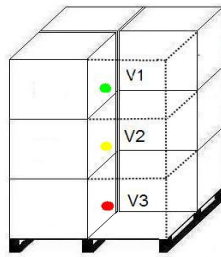
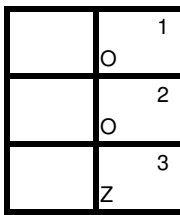
V 150



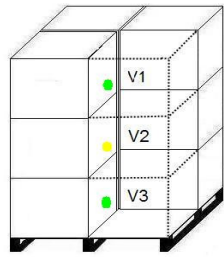
V 100



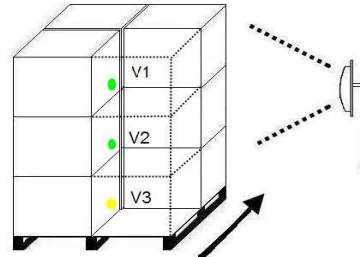
V 50



150cm



100cm

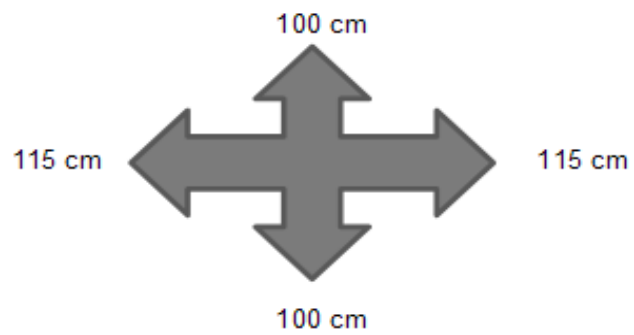


50cm

Laboratorio:

Maksimietäisyys: 345 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



**A 150**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**A 100**

Z	1	Z	2
O	3	O	4
Z	5	Z	6

**A 500**

O	1	O	2
O	3	O	4
Z	5	Z	6

**C 150**

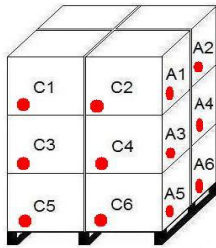
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**C 100**

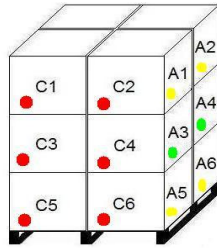
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**C 50**

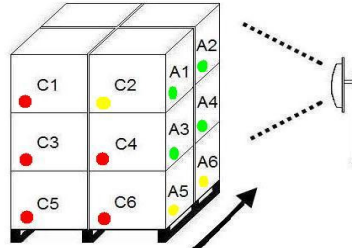
X	1	Z	2
X	3	X	4
X	5	X	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**B 100**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**B 150**

X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**D 50**

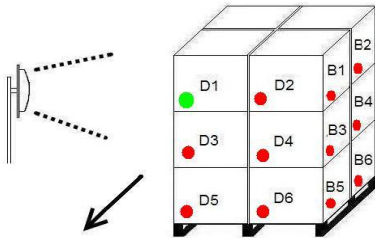
O	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**D 100**

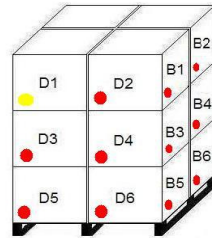
Z	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6

**D 150**

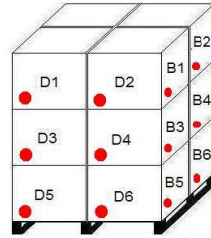
X	1	X	2
X	3	X	4
X	5	X	6



50cm

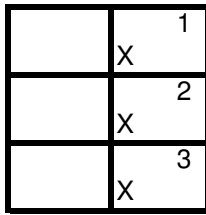


100cm

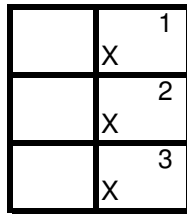


150cm

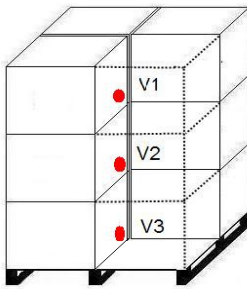
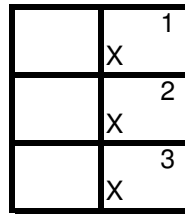
V 150



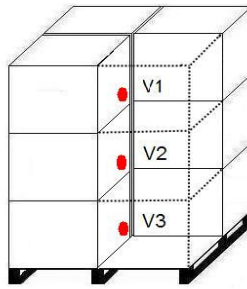
V 100



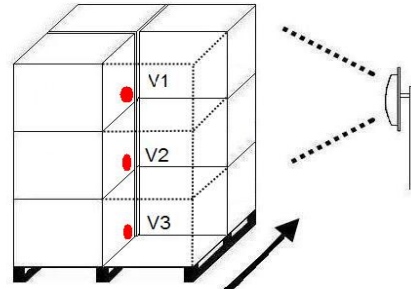
V 50



150cm



100cm

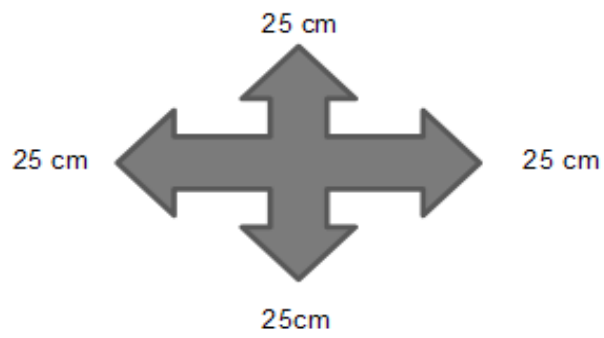


50cm

Laboratorio:

Maksimietäisyys: 115 cm

Luentakeilan leveys 1 m:



# DogBone

Liite 8/1

**A 150**

O	1	O	2
Z	3	Z	4
O	5	O	6

**A 100**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**A 50**

O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	O	6

**C 150**

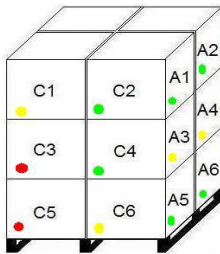
Z	1	O	2
X	3	O	4
X	5	Z	6

**C 100**

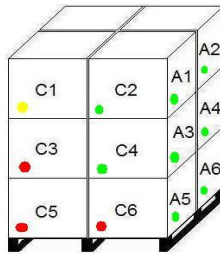
Z	1	O	2
X	3	O	4
X	5	X	6

**C 50**

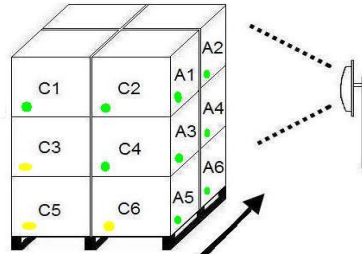
O	1	O	2
Z	3	O	4
Z	5	Z	6



150cm



100cm



50cm

**B 50**

O	1	Z	2
O	3	Z	4
O	5	Z	6

**B 100**

O	1	X	2
O	3	X	4
O	5	X	6

**B 150**

O	1	X	2
O	3	X	4
O	5	X	6

**D 50**

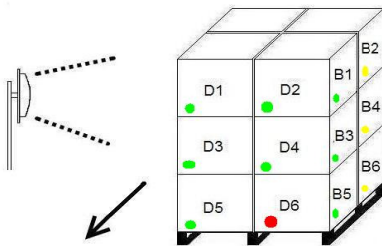
O	1	O	2
O	3	O	4
O	5	X	6

**D 100**

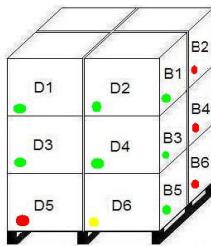
O	1	O	2
O	3	O	4
X	5	Z	6

**D 150**

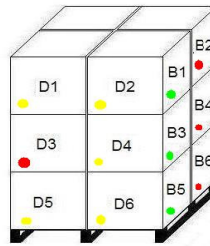
Z	1	Z	2
X	3	Z	4
Z	5	Z	6



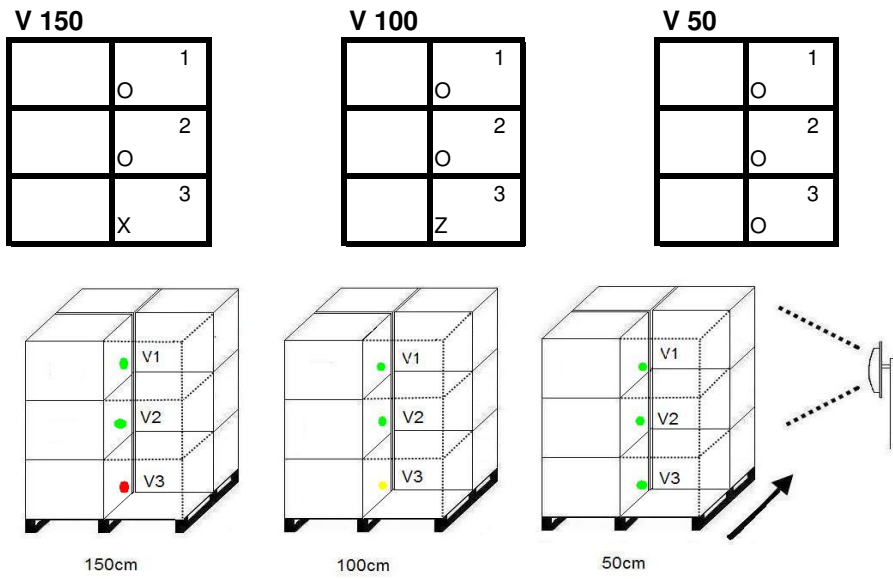
50cm



100cm



150cm



Laboratorio:

Maksimietäisyys: 350 cm

Luentakeilan leveys 1 m:

