

Sofia Virtanen

RADIOTAAJUINEN ETÄTUNNISTUS UHF- JA HF-TAAJUUSALUEILLA

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintyö
Tarkastaja: yliopistolehtori Erja Sipilä
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Sofia Virtanen: Radiotaajuinen etätunnistus UHF- ja HF-taajuusalueilla
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2020

Radiotaajuinen etätunnistus (engl. Radio Frequency Identification, RFID) on osa päivittäistä elämäämme. Kaupassa voi maksaa lähimaksulla, sairaaloissa voidaan erotella potilaat ja vierailijat toisistaan ja varastojen tuotteita voidaan paikantaa etäältä. Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin ultrasuurtaajuudella (engl. Ultra High Frequency, UHF) ja suurtaajuudella (engl. High Frequency, HF) toimivia RFID-tunnisteita ja niiden langatonta tiedonsiirtoa. Tarkoituksena oli myös selvittää, mitkä kaikki tekijät mahdollistavat näillä taajuusalueilla toimivien RFID-tunnisteiden toiminnan.

Tämä kandidaatintyö koostuu kokonaan kirjallisuusselvityksistä ja se jakaantuu kolmeen osaan: RFID-tunnisteiden teoria yleisesti sekä UHF- ja HF-taajuusalueella toimivat RFID-tunnisteet. Ensimmäisessä osassa käsitellään RFID-tunnisteiden teoriaa ja sitä, miten eri tunnistetyypit, eli aktiiviset, passiiviset ja puolipassiiviset tunnistet, eroavat toisistaan. Ensimmäisessä osassa myös esitellään kaikki taajuusalueet, joilla RFID-tunnisteet toimivat ja tutustutaan niiden vahvuuksiin ja heikkouksiin. Kandidaatintyön toinen osa käsittelee UHF-taajuusalueella toimivia RFID-tunnisteita. Langattomaan tiedonsiirtoon mahdollistava tekijä on kaukokentän sähkömagneettisen säteilyn vastaanottaminen RFID-tunnisteen dipoliantennilla. Tässä osassa käsitellään myös dipoliantennin parametreihin vaikuttavia tekijöitä. Kolmas osa käsittelee HF-taajuusalueella toimivia RFID-tunnisteita. Niissä langattoman tiedonsiirron mahdollistaa RFID-tunnisteen ja –lukijan kytketyminen lähikentän sähkömagneettisella induktiolla. Tässä osiossa on myös tarkasteltu kela-antennia ja sen parametreja.

Kandidaatintyö osoittaa, että RFID-tunnisteet soveltuvat hyvin moneen käyttötarkoitukseen, kun vaihdellaan RFID-tunnisteen antennin parametreja. RFID-tunnisteen lukuetaisyttä voidaan säätää käytettävällä taajuusalueella ja tunnisteen tyypillä. Työssä havaittiin, että UHF-taajuusalue takaa RFID-tunnisteille 1–100 m lukuetaisyyden ja HF-taajuusalue takaa 1–10 cm lukuetaisyyden. RFID-tunnisteen käyttökohde on hyvin riippuvainen tunnisteen lukuetaisyydestä. Esimerkiksi maksu- ja kulkukorteissa käytettävien RFID-tunnisteiden lukuetaisyyden on tärkeää olla lyhyt, kun taas varastojen erikokoisten tuotteiden hallinnointi on yksinkertaisempaa, kun tuotteiden RFID-tunnisteissa on pitkä lukuetaisyys.

Avainsanat: RFID-tunnisteet, UHF, HF, lähikenttä, kaukokenttä

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tahdon kiittää kandidaatintyön ohjaajaani Erja Sipilää, joka auttoi minua tässä matkassa ja innosti minua lisää jokaisen ohjauksen jälkeen. Häneltä saadut palaute ja neuvot edistivät minua paljon kandidaatintyön kirjoittamisessa. Tahdon myös kiittää ystäviäni, joiden kanssa olen tarponut kurssit läpi ja tehnyt lukemattomat harjoitukset ja harjoitustyöt. Heidän avullaan olen pystynyt ottamaan kaiken irti yliopisto-opiskelusta ja oppinut paljon.

Tampereella, 15.5.2020

Sofia Virtanen

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO.....	1
2.RFID-TUNNISTEIDEN TEORIA	3
2.1 RFID-tunnisteet.....	3
2.1.1 Aktiiviset tunnisteet	4
2.1.2 Passiiviset tunnisteet	4
2.1.3 Puolipassiiviset tunnisteet.....	5
2.2 Toiminta-alueet	5
3.UHF-ALUEEN TEKNIikka	8
3.1 Kaukokenttä	8
3.2 RFID-tunnisteen dipoliantenni	10
3.2.1 Rakenne	11
3.2.2 Kaistanleveys	12
3.2.3 Polarisatio	12
3.2.4 Mikropiirin toiminta	13
3.2.5 Sisäänmenoimpedanssi.....	14
4.HF-ALUEEN TEKNIikka.....	15
4.1 Lähikenttä.....	15
4.2 RFID-tunnisteen kela-antenni	17
4.2.1 Rakenne	17
4.2.2 Magneettikentän voimakkuus	19
4.2.3 Indusoitunut jännite.....	20
4.2.4 Hyvyysluku	21
5.YHTEENVETO	22
LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AC	engl. Alternating Current, vaihtovirta
DC	engl. Direct Current, tasavirta
DNTC	engl. Non-Uniformly Distributed-Turns Coil, epätasaisesti jakautuneiden johdinten kela
HF	engl. High Frequency, suurtaajuus
LF	engl. Low Frequency, pientaajuus
RF	engl. Radio Frequency, radiotaajuus
RFID	engl. Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
STC	engl. Single Turn Coil, yhden johtimen kela
UHF	engl. Ultra High Frequency, ultrasuurtaajuus
UNTC	engl. Uniformly Distributed-Turns Coil, tasaisesti jakautuneiden johdinten kela
VHF	engl. Very High Frequency, korkeasuurtaajuus

1. JOHDANTO

Radiotaajuinen etätunnistus (RFID, engl. Radio Frequency Identification) toimii RFID-tunnisteilla. RFID-tunniste on pieni laite, joka sisällytetään tuotteeseen sen valmistusvaiheessa tai jälkeinpäin esimerkiksi tarran avulla. RFID-tunnisteet ovat olleet käytössä jo toisessa maailmansodassa, jolloin Iso-Britannia käytti niitä erottamaan omat saapuvat koneet saksalaisista koneista. Tutka pystyi tunnistamaan vain koneen, mutta ei sen tyyppiä. [1] 1970-luvulla kehitettiin paljon RFID-sovelluksia eläinten ja ajoneuvojen seurantaan ja tehtaiden automatisointiin. 1980-luvulla edellä mainitut sovellukset otettiin käyttöön laajemmin. [2]

RFID-tunnisteita käytetään tiedon etälukuun ja tallentamiseen. RFID-tunnisteet sisältävät antennin, jotta tunniste voi vastaanottaa ja lähettää radiotaajuisia signaaleja, ja RFID-tunnisteiden käyttökohteet riippuvat RFID-tunnisteen käyttämästä taajuusalueesta. Taajuusalueet voidaan jakaa viiteen eri alueeseen: matalataajuus (LF, engl. Low Frequency), suurtaajuus (HF, engl. High Frequency), korkeasuurtaajuus (VHF-, engl. Very High Frequency), ultrasuurtaajuus (UHF, engl. Ultra High Frequency) ja mikroaaltoalue. [3]

Ennen RFID-tunnisteita oli mahdollista käyttää viivakoodeja datan etäluvussa ja tallentamisessa, mutta nyt RFID-tunnisteet ovat pikkuhiljaa korvaamassa viivakoodeja. Viivakoodi voi olla lineaarinen tai kaksiulotteinen. Lineaarinen viivakoodi sisältää datan mustien ja valkoisten viivojen leveyden ja välien mukaan. Kaksiulotteisessa viivakoodissa on neliöitä erilaisissa rykelmissä, jotka voivat sisältää paljon enemmän dataa kuin lineaarinen koodi. Molemmat viivakoodeista tarvitsevat selkeän näkyvyyden, jotta ne voidaan lukea. RFID-tunnisteet voivat tallentaa dataa huomattavasti enemmän kuin viivakoodit, koska tunnisteet käyttävät mikrosiruja. Lisäksi RFID-tunniste ei vaadi suoraa näkyvyyttä RFID-lukijaan, jonka ansiosta esimerkiksi sairaaloissa voidaan helpommin pitää kirjaa kulkukorttia käyttävistä potilaista, työntekijöistä ja vierailijoista. Lisäksi toimintaketjujen ja varastojen hallinnointi on yksinkertaisempaa, kun ei tarvitse lukea jokaisesta pakkauksesta erikseen viivakoodia. [4] [5]

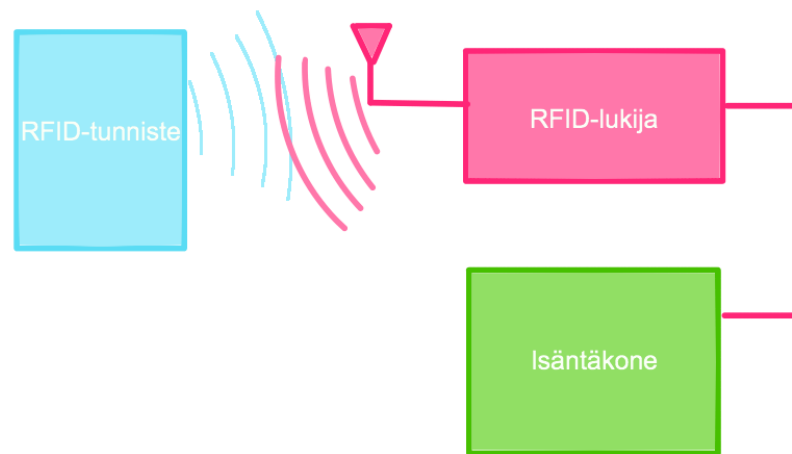
Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan UHF- ja HF-taajuusalueilla toimivia RFID-tunnisteita. Reaalimaailman sovellukset kohdistuvat eniten UHF- ja HF-taajuusalueilla toimiviin RFID-tunnisteisiin. Lisäksi tavoitteena on selvittää UHF- ja HF-taajuusalueilla toimivien RFID-tunnisteiden ja -lukijoiden välisen kommunikaation ja datan siirron mahdollistavat tekijät.

UHF-alueen tunnistet toimivat 1–100 m alueella. UHF-sovelluksia voidaan käyttää esimerkiksi puolustuksen ja tiedustelun laitteisiin, monien erikokoisten tavaroiden seuraamiseen ja muihin sovelluksiin, jotka tarvitsevat pitkää lukuetaisyttä. HF-alueen tunnistet toimivat 0,1–1 m alueella, ja niitä käytetään esimerkiksi maksukorteissa, kirjaston kirjoissa, joukkoliikenteen lipuissa ja muissa sovelluksissa, jotka eivät tarvitse kovin pitkää lukuetaisyttä. [3]

Luvussa 2 käsitellään RFID-tunnisteiden teoriaa, toimintaa ja toiminta-alueita. Luvussa 3 syvennyttään UHF-alueen toimintaperiaatteisiin, tekniikkaan ja tunnisteen sekä lukijan väliseen kommunikaatioon. Luku 4 puolestaan käsittelee HF-alueen toimintaperiaatteita, tekniikkaa ja tunnisteen ja lukijan välistä kommunikaatiota. Viimeisessä luvussa 5 on yhteenveto.

2. RFID-TUNNISTEIDEN TEORIA

RFID on radiotaajuuksilla toimiva etätunnistusteknologian tyyppi, jolla laitteen dataa siirretään langattomasti tietokoneelle. RFID-etätunnistusteknologia on täysin automatisoitu, jonka takia dataa ei tarvitse siirtää manuaalisesti ja siihen ei kulu ihmiseltä työtä. Muuntelemalla komponenttien kokoa, tehoa, antennia, tallennuskapasiteettia ja toimintataajuutta RFID:tä voidaan soveltaa eri käyttötarkoituksiin. [6] Kuvassa 1 on RFID-systeemiä havainnollistava tilanne.

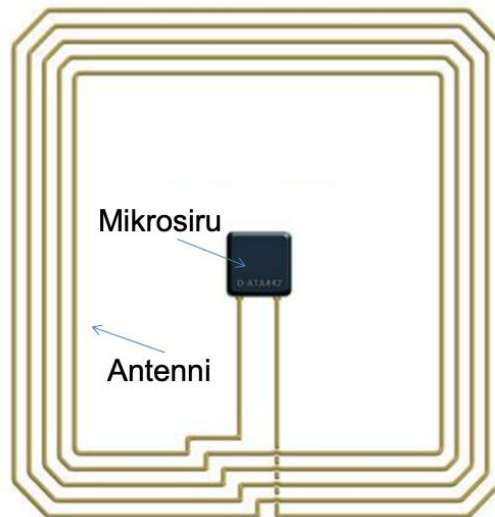


Kuva 1: RFID-systeemiä havainnollistava tilanne.

Tyypillisessä RFID-systeemissä on RFID-tunniste, -lukija ja isäntäkone. RFID-lukija lähettää signaalin tunnisteelle, josta tunniste saa energiansa ja vastaa siihen. Lukija siis lähettää ja vastaanottaa dataa. Lukija siirtää datan isäntäkoneelle siten, että tietokoneen ohjelma voi käsitellä siirrettyä dataa. [6]

2.1 RFID-tunnisteet

RFID-tunniste on pieni laite, joka muodostuu antennista ja mikrosirusta, ja niiden koko ja malli vaihtelevat käyttökohteesta riippuen [7]. Tunnisteen antenni on pieni yhtenäinen yleensä kuparista tai alumiinista valmistettu johtava rakenne. Antennin on mahdollista lähettää ja vastaanottaa sähkömagneettisia signaaleja. Mikrosiru pitää datalle tilaa muistissa ja moduloi signaaleja, eli muokkaa signaaleja toisella signaalilla sopiviksi. [8] Kuvassa 2 on esitetty tarkempi kuva HF-taajuusalueella toimivasta RFID-tunnisteesta.



Kuva 2: HF-taajuusalueen RFID-tunniste [Muokattu lähteestä 9].

Kuvassa 2 tunnisteiden mikrosiru on pieni osa tunnistetta ja antenni kattaa suurimman alueen tunnisteiden pinta-alasta. RFID-tunnisteissa antenni on usein kierretty koko tunnisteiden pinnalle ja vie suurimman osan tunnisteiden pinta-alasta. RFID-tunnisteita on passiivisia, aktiivisia ja puolipassiivisia. Tunnisteiden tyyppi riippuu siitä, onko sillä omaa virtalähdettä tai radiolähetintä [8].

2.1.1 Aktiiviset tunnisteet

Aktiivisilla RFID-tunnisteilla on oma radiolähetin ja virtalähde, kuten paristo. Virtalähde antaa virtaa tunnisteiden mikrosirulle ja välittää sähkömagneettisia aaltoja lukijaan. Täten tunniste ei ole riippuvainen antennin keräämästä energiasta. Aktiivisten tunnisteiden paras puoli on niiden pitkä toimintasäde. Tunnisteiden muisti voidaan lukea muutaman sadan metrin päästä lukijasta. Aktiivinen tunniste voi lähettää informaatiota määräajoin lukijaan, jos sovellus sitä vaatii. [1]

Huonoja puolia aktiivisessa tunnisteessa on kallis hinta, 10–50 \$ riippuen toiminnallisuudesta, sen oman virtalähteen takia, ja lyhyt käyttöikä. Paristojen kuluttua loppuun tunniste on heitettävä pois, jos sitä ei voi ladata tai paristoja vaihtaa. [1] Aktiivisia tunnisteita käytetään esimerkiksi suurien säiliöiden ja ajoneuvojen seurantaan [8].

2.1.2 Passiiviset tunnisteet

Passiivisilla RFID-tunnisteilla ei ole omaa radiolähetintä tai virtalähdettä. Kun RFID-lukija lähettää radiosignaaleja tunnisteeseen, pieni sähkövirta muodostuu antenniin lukijan lähettämästä energiasta, josta mikrosiru saa toimintaansa tarvittavaa virtaa ja informaation lähetys takaisin lukijalle onnistuu. [10, s. 264]

Informaatio lähetetään takaisin tunnisteesta HF- ja UHF-tunnisteissa eri menetelmillä. HF-tunnisteissa lukija ja tunniste kytkeytyvät toisiinsa sähkömagneettisella induktiolla, ja UHF-tunnisteissa informaatio lähetetään etätunnisteelta lukijalle sähkömagneettisen säteilyn takaisinsirontamodulaation avulla. Takaisinsirontamodulaatiossa lähettimestä lähetettyä signaalia moduloimalla voidaan signaali lähettää tunnisteesta lukijalle. [10, s. 264].

Tunnisteiden käyttämät mikrosirut tarvitsevat toimintaansa RF-tehoa 10–20 mikrowatista muutamaan milliwattiin. Tämä teho on huomattavasti suurempi kuin teho, jota tarvitaan tavallisen radiovastaanottimen toimintaan. [10, s. 264] Tästä syystä passiivisten tunnisteiden toimintasäde jää lyhyeksi. Usein ne toimivat 10 mm–5 m lukuetaisyydellä [1], mutta maksimissaan ne voivat toimia myös 5–15 m lukuetaisyydellä [10, s. 264].

Oman virtalähteen puuttumisen takia passiiviset tunnisteet ovat usein hyvin pieniä ja halpoja, noin 0,10 \$ kappale [10, s. 264]. Passiivisia tunnisteita käytetään suurien tuotemäärien seurantaan lyhyellä toimintasäteellä ja esimerkiksi joukkoliikenteen lipuissa ja kirjaston kirjoissa [8].

2.1.3 Puolipassiiviset tunnisteet

Puolipassiiviseen RFID-tunnisteeseen on integroitu pienen kapasiteetin paristo, jota käytetään vain tunnisteiden mikrosirun virtalähteenä. Puolipassiivisissa tunnisteissa ei ole omaa radiolähetintä, jolloin pariston virtaa ei käytetä datansiirtoon antennista lukijan muistiin. Takaisinsirontamodulaatiota käytetään tietojen lähettämiseen tunnisteesta lukijalle. [1]

Koska puolipassiivisilla tunnisteilla on oma virtalähde, on niiden lukualue huomattavasti pidempi kuin passiivisten tunnisteiden [10, s. 264], noin 25 m. Omalla virtalähteellä voidaan myös mahdollistaa lukijan datan säilytys tunnisteiden mikrosirun muistissa. Puolipassiivisista tunnisteista voi saada monipuolisemman ylimääräisillä virtalähteillä; elektronisia anturipiirejä voidaan lisätä tunnisteeseen. [1]

2.2 Toiminta-alueet

RFID-tunnisteet toimivat viidellä eri taajuusalueella: LF-, HF-, VHF-, UHF-alue ja mikroaallot. [3] Taulukossa 1 on esitetty jokaista taajuusaluetta vastaavat taajuudet ja lukuetaisyydet.

Taulukko 1: Taajuusalueet ja niitä vastaavat taajuudet ja lukuetaisyydet [3], [8].

	Taajuusalue	Lukuetaisyys
LF	120–150 kHz	10 cm
HF	13,56 MHz	10 cm–1 m
VHF	350-433 MHz	Alle 100 m
UHF	865–956 MHz	1–100 m
Mikroaallot	2450–5800 MHz ja 3,1–10 GHz.	1–2 m ja yli 200 m

UHF-taajuusalueen määritelmä vaihtelee kuitenkin valtioittain, joten se ei ole globaalisti standardoitu kuten muut taajuusalueet. Taulukossa 2 on esitetty alue- ja valtiokohtaiset taajuusalueet UHF:lle.

Taulukko 2: UHF-taajuusalueen taajuudet ja tehotasot alueittain [8].

Alue	Taajuusalue	Tehotaso
Yhdysvallat	902–928 MHz	4 W
Australia	918–928 MHz	1 W
Japani	950–956 MHz	4 W
Eurooppa	865–867 MHz	2 W

RFID:n viisi aluetta voidaan vielä jakaa mataliin ja korkeisiin taajuuksiin. Mataliin taajuuksiin kuuluvat LF- ja HF- alue ja korkeisiin taajuuksiin kuuluvat VHF- ja UHF-alue sekä mikroaallot. [8]

Matalilla taajuuksilla ei ole paljoa energiaa, joten niiden datansiirto on hidasta ja lukuetaisyys on rajoittunut. Matalat taajuudet sietävät esteitä paremmin kuin korkeat taajuudet ja ne ovat kohtuullisen sietokykyisiä, jos pieni määrä metallia on esteenä. [3] Erityisesti LF-taajuusalueella toimivat tunnisteet sietävät hyvin metallia, vettä, ihmisiä ja

seiniä, ja ne soveltuvat hyvin ihmisten liikkumisen ja eläinten seurantaan. Datanopeus on muutama bitti sekunnissa. HF-alueella toimivilla tunnisteeilla on nopeampi datanopeus ja pidempi lukualue kuin LF-tunnisteilla. HF-järjestelmä voi myös havaita useampia tunnisteeita kerralla. HF-tunnisteet käyttävät myös lyhyempiä aallonpituuksia kuin LF-tunnisteet, jolloin tunnisteen antennit ovat pienempiä ja halvempia. [8]

Korkeimmilla taajuuksilla on enemmän energiaa ja siten niitä voidaan käyttää sovelluksissa, jotka tarvitsevat laajemman lukuetaisyyden [3], mutta UHF- ja VHF-taajuusalueet ja mikroaallot eivät siedä metallisia tai nestemäisiä pintoja niiden ympärillä yhtä hyvin kuin LF- tai HF-taajuudet ja mikroaallot tarvitsevat selkeän näköyhteyden toimiakseen. Korkeidentaajuuksien lukuetaisyys ja -nopeus ovat korkeammat ja ne voivat tunnistaa paremmin useita tunnisteeita samaan aikaan kuin HF tai LF. UHF-tunnisteet tarvitsevat myös pienempiä antennejä. [8]

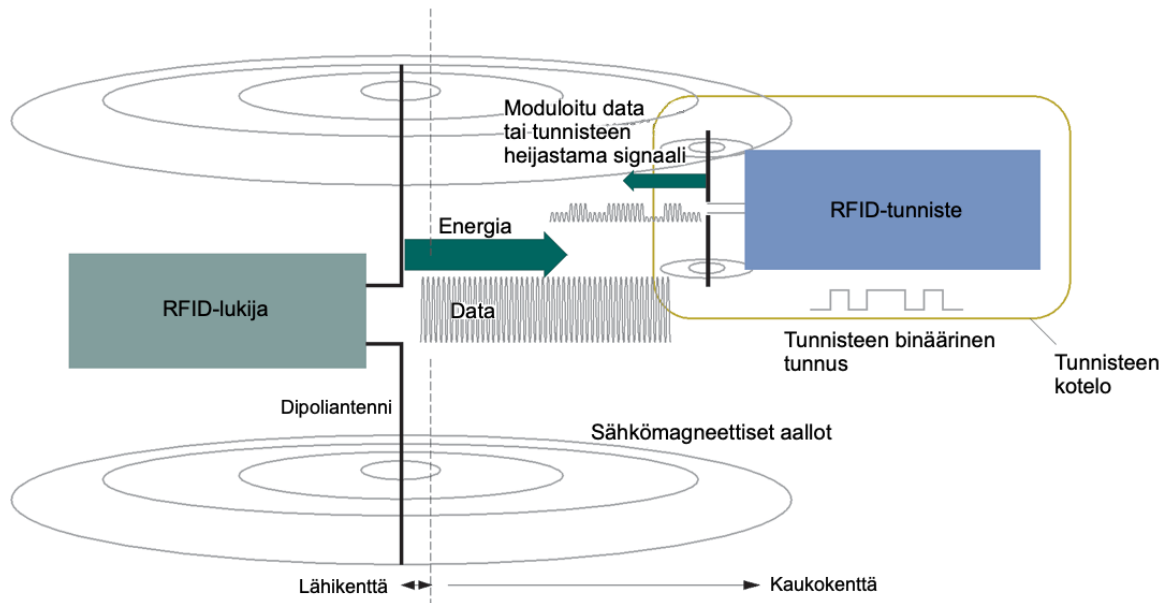
3. UHF-ALUEEN TEKNIikka

UHF on 865–956 MHz taajuusalueella toimiva tekniikka toimitusketjun hallintaan, erityisesti suurien esineiden seurantaan. UHF-alueen RFID-tunnisteita käytetään esimerkiksi laajasti reaaliaikaisessa inventaariossa, teollisuuden automatisoimisessa ja ajoneuvojen seurannassa. [11] UHF:n toimintasäde toimii 1–100 m alueella, ja onkin siksi hyvä suurien koneiden seurannan ja varastojen inventaarion sovelluksissa. [10] Koska UHF on korkeilla taajuuksilla toimiva tekniikka, niin se pystyy keräämään paljon enemmän energiaa kuin HF-alue ja onkin siksi tehokas edellä mainittuihin sovelluksiin. Koska UHF-alueen RFID-tunnisteet ovat usein aktiivisia tunnisteita, ne takaavat pitkän toimintasäteen laitteelle.

UHF-alueella toimivat tunnisteet käyttävät kaukokentän tekniikkaa siirtämään dataa takaisinsironalla [12, s. 21] ja toimivat dipoliantenneilla, eli kaksinapaisella antennilla, jossa on kaksi rinnakkain kulkevaa johdinta, jotka erkaantuvat toisistaan vastakkaisiin suuntiin. Dipoliantennien kommunikaatio perustuu sähkömagneettisten aaltojen etenemiseen [7]. Tätä alempia taajuusalueita käyttävät laitteet toimivat HF-alueella, jonka tekniikkaa käsitellään luvussa 4.

3.1 Kaukokenttä

RFID-lukijan dipoliantenni säteilee sähkömagneettisia aaltoja alueelle, jota kutsutaan kaukokentäksi. Kaukokentässä sähkömagneettiset aallot irtaantuvat antennista ja jatkavat etenemistään. Samalla uusi aalto muodostuu antennissa. Aallon irtaantumisalue, joka on kauempana aallon muodostumisalueesta, on kaukokenttä. Tältä alueelta ei ole mahdollista saada aaltoja palaamaan antenniin induktiivisen kytkeytymisen avulla, kun taas lähikentässä tämä on mahdollista. Täten tiedonsiirto kaukokentässä perustuu takaisinsirontaan. [12, s. 112] Kuvassa 3 on esitelty RFID-tunnisteen ja -lukijan toimintaa kaukokentässä.



Kuva 3: RFID-tunnisteen ja -lukijan toiminta kaukokentässä [Muokattu lähteestä 7].

Kuvassa 3 on esitetty, miten data ja energia siirtyvät RFID-lukijan ja -tunnisteen välillä kaukokentässä. Kaukokentässä toimivat RFID-tunnisteet keräävät sähkömagneettisia aaltoja, jotka tunnisteen dipoliantenni vastaanottaa. Tunnisteen pieni dipoliantenni vastaanottaa energian vaihtelevana potentiaalina. Tunniste tarvitsee diodin, joka tasasuuntaa tämän potentiaalilin ja linkittää sen kondensaattoriin, minkä tuloksena energiaa kertyy ja laite saa virtaa. RFID-lukijan dipoliantenni absorboi energiaa sähkömagneettisista aalloista. Lukijan dipoliantenni lähettää energian mukana datan RFID-tunnisteen antennille. [7]

Kaupallisiin kaukokentässä toimiviin RFID-tunnisteisiin käytettävä tekniikka on takaisinsirona. Antenni viritetään tiettyyn taajuuteen ja se absorboi suurimman osan energiasta, jonka se tavoittaa viritetyllä taajuudella. Kun antennin impedanssia muutetaan ajan suhteen, tunniste voi heijastaa takaisin enemmän tai vähemmän tulevaa signaalia moduloituna takaisinsiroavana signaalina, joka sisältää tunnisteen binäärisen tunnuksen. [7]

Kaukokentässä toimivan RFID-tunnisteen lukuetaisyys on rajoittunut siihen määrään energiaa, jonka tunniste saa lukijalta ja siihen, kuinka herkkä lukijan radiovastaanotin on takaisinsiroaville signaaleille. Todellinen heijastuva signaali on hyvin pieni, koska se on kahden vaimennuksen tulos. Ensimmäinen vaimennus tapahtuu, kun sähkömagneettiset aallot säteilevät lukijasta tunnisteeseen ja toinen kun heijastuneet aallot siirtyvät takaisin tunnisteesta lukijaan. [7]

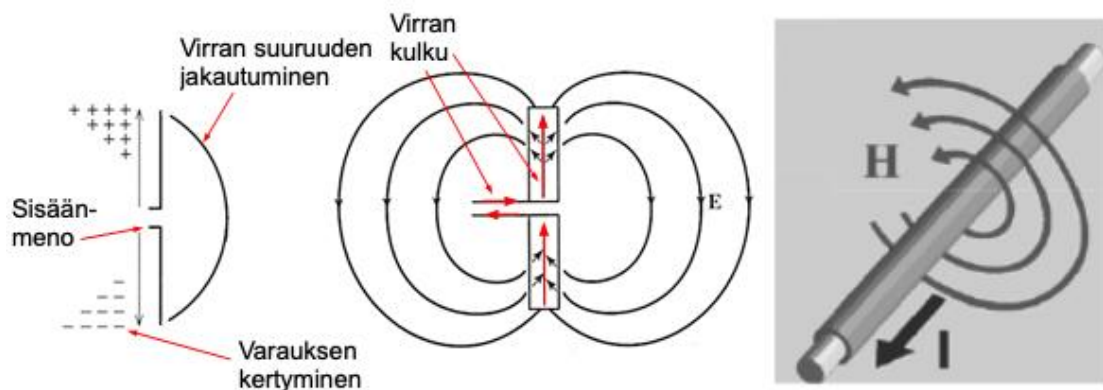
Kaukokentän RFID-tunnisteet käyttävät kaukokentän periaatteita yli 100 MHz alueella toimimiseen, tyypillisesti 865–915 MHz ja 2,45 GHz alueella. Ne käyttävät takaisinsirontamodulaatiota kytkennässä. Lukijan signaali palautetaan ja moduloidaan vaihtelevaan potentiaaliin, jotta dataa voidaan lähettää. Systeemin toiminta-alue rajoittuu energian lähetykseen lukijalta. Puolijohteiden ansiosta tunnisteen toimintaan tarvittavan energian määrä laskee ja suurin mahdollinen toiminta-alue kasvaa. [13, s. 58]

3.2 RFID-tunnisteen dipoliantenni

RFID-tunnisteen antenni on johtava rakenne, joka pystyy vastaanottamaan ja lähettämään sähkömagneettista säteilyä. [14, s. 163] RFID-antennien suunnittelussa täytyy ottaa huomioon antennin rakenne, kaistanleveys, polarisaatio, mikropiiri, sisäänmenoimpedanssi, koko ja hinta. RFID-antennit viritetään resonoimaan hyvin pienelle kantaaltojen alueelle, eli alueelle, jossa jaksollinen signaali on vakiotaajuinen ja -amplitudinen, joka on keskitetty tietyn RFID-systeemin taajuuteen. [9]

RFID-antenni säteilee aaltoa kaikkiin suuntiin. Aallon kentän kattavuutta ja sen signaalin vahvuutta kuvataan asteilla, joilla aalto laajenee, kun se lähetetään antennista. Suurempi aste tarkoittaa laajempaa aaltokuvioita, mutta se tarkoittaa myös heikompaa signaalia. [15, s. 241].

RFID-tunnisteen antenni siirtää virtaa passiiviselle tunnisteele ja vastaanottaa dataa lukijalta. Useimmat UHF-alueella toimivat RFID-tunnisteet ovat dipolirakenteita. Dipoli muodostaa perusrakenteen antennista ja se voidaan rakentaa metallilangoista. [11] Kuvassa 4 on esitetty kolme kuvaa dipoliantennin toiminnasta.



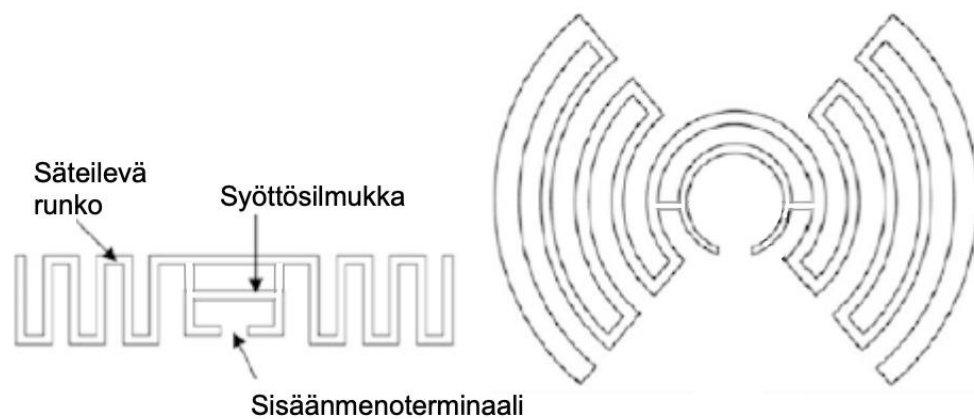
Kuva 4: Lataus ja virtajakaumat dipoliantennissa [Muokattu lähteestä 11].

Kun potentiaalia laitetaan antennin sisäänmenoon, vastakkaisiin päihin varautuu vastakkainen varaus, kuten kuvan 4 vasemmalla puolella on esitetty, ja dipoliantennin ympärille muodostuu sähkökenttä E, keskimmäisen kuvan mukaisesti. Oikeanpuoleisin

kuva esittää magneettikentän voimakkuutta H yhden dipoliantennin johtimen ympärillä, kun virta I kulkee johtimessa. Dipolien päät ovat avoimia piirejä, joissa on suuri jännite. Dipolin kumpaankin päähän kertynyt varaus johtaa virran suuruuden jakautumiseen. Tästä syystä antenni samanaikaisesti varastoi energiaa ja vastustaa muutoksia virrassa. [11]

3.2.1 Rakenne

RFID-tunnisteiden tulee olla hyvin ohuita, alle 1 mm, koska niitä käytetään usein kuljetettavissa pakkauksissa tarroina. Ohutta tunnistetta on hankala irrottaa eikä se repeydy itsestään pois. Tämä tarkoittaa sitä, että antennin rakenteen tulee olla myös hyvin ohut. Tällaiset tavanomaiset mikroliuska-antennit on rajoitettu käyttämään hyvin ohuita alustoja. [10, s. 265–266] Kuvassa 5 on esitetty kaksi tapaa muodostaa dipoliantenni.



Kuva 5: Dipoliantennit [Muokattu lähteestä 14, s. 167]

Tyypillinen johtimella kytketty syöttörakenne on esitetty kuvan 5 vasemmalla puolella, jossa antenni koostuu sisäänmenotermiinalista, syöttösilmukasta ja säteilevästä rungosta. Kuvan 5 oikeanpuoleisessa kuvassa on toinen esimerkki dipoliantennista. Kaukokentässä toimivan RFID-tunnisteen syöttösilmukan kaksi sisäänmenotermiinaalia on liitetty mikrosiruun. Jos impedanssi mikropiirissä on $73-j113$, niin kuorma-antennin impedanssin tulisi olla $73+j113$, jotta saadaan impedanssisovitus sirun ja antennin välille. Antennin impedanssia saadaan muutettua, kun dipolin johtimien muotoa muutetaan laittamalla ne esimerkiksi kaarelle kuvan 5 oikeanpuoleisen rakenteen mukaan. Toinen tapa saada korkea resistanssi anteeniin on lisätä ylimääräisiä säteileviä elementtejä, kuten kaksi erillistä kiemurtelevaa johdinta tulosilmukan molemmille puolille. Tällä tavalla

säteilevän osan vastus vähenee merkittävästi, joka johtaa suureen resistanssiin mutkittelevissa johtimissa. [14, s. 166–167]

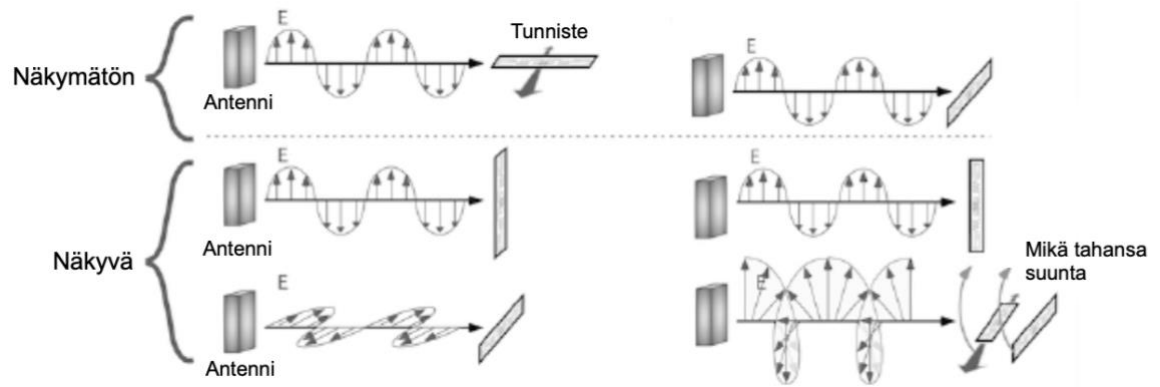
3.2.2 Kaistanleveys

Kaistanleveydellä tarkoitetaan sitä taajuuksien aluetta, jonka sisällä antennin suorituskyky joidenkin ominaisuuksien osalta on tietyn standardin mukainen. Useimmat antennit eivät kuitenkaan ole samanlaisia keskenään, tämän johdosta taajuuskaistalle ei ole tarkkaa määritelmää. Yksityiskohdat pitää tarkastella erikseen jokaiselle antennille. [16, s. 46–47]

Tunnisteelle ja lukijalle kaistanleveys voidaan määritellä sisäänmenoimpedanssin vaihteluna taajuuden mukaan [16, s. 46–47]. Antenni, jolla on suuri kaistanleveys varastoi vähän energiaa [17, s. 63].

3.2.3 Polarisaatio

Sähkökentät aiheuttavat johtimissa tietyn suuruista virran kulkua, riippuen sähkökentän ja johtimen asennosta suhteessa toisiinsa. Tunnisteen antenni on valmistettu ohuista johtimista, jotka eivät ole herkkiä kohtisuorassa tasoon nähdyille säteilylle. Useimmat antennit ovat yhteen suuntaan pitkänomaisia ja kommunikoivat niiden kenttien kanssa, jotka ovat polarisoituneet niiden suuntaan. Tämä tarkoittaa sitä, että polarisaation suunta mahdollistaa tunnisteiden lukemisen, mutta jos suunnat eivät ole kohtisuoria, tunnisteet ovat näkymättömiä lukijalle. Antennin on siis oltava linjassa lukijan antennin polarisaation kanssa, jotta tunniste voidaan lukea. [15, s. 330] Tunniste saattaa olla sattumanvaraisessa suunnassa lukijan antenniin nähden. Esimerkiksi passiivisilla tunnisteilla voidaan seurata lentopakkauskia, joiden paketit ovat erikokoisia ja -muotoisia sekä satunnaisessa järjestyksessä ja suunnassa lukijaan nähden. Tällöin tunnisteiden ja lukijan antennien kohtisuoruuden takaaminen on vaikeaa, jos molemmat ovat lineaarisesti polarisoituneita, eli suunnat ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden. [10, s. 266] Kuvassa 6 esitetty on milloin tunniste on näkymätön tai näkyvä antennille.



Kuva 6: Polarisaatiosuunnat [Muokattu lähteestä 15, s. 331].

Lukuetäisyys huononee, jos lineaarisesti polarisoitunut tunnisteiden antenni ei ole kohtisuorassa lukijan anteeniin, jolloin vain osa siirretystä virrasta voidaan kerätä. Lineaarisesti polarisoidut antennit ovat halvempia, joten niitä käytetään enemmän. [10, s. 266] Suuntaamisen hallinnalla lineaarisesti polarisoitunutta lukijan antennia voidaan käyttää, jos tunnisteet ovat aina suuntautuneet pitkillä akseleilla polarisaation suuntaan, tai jos lukija-antennia voidaan fyysisesti kiertää, jotta saadaan sopiva kohdistus. [15, s. 330–331]

Kohtisuoruusongelma voidaan ratkaista, kun käytetään ympäripolarisoivaa lukijan antennia ja monisuuntaisesti polarisoituneita tunnisteiden antennia. Ympäripolarisoiva lukijan antenni kommunikoi tunnisteiden antennin kanssa mikä tahansa suuntaisessa tasossa, joka on kohtisuorassa tunnisteiden lukijan suuntaan nähden. Ympäripolarisoiva lukija voi lukea myös tunnisteet, jotka ovat linjassa lukijan etenemissuuntaan ja sijoitettu suoraan antennin eteen, eli näkymättömiä, ja tunnisteet, jotka liikkuvat lukialueen yli niin, että ne voidaan nähdä eri kulmista. [10, s. 266], [15, s. 330–331]

Monisuuntaisesti polarisoituneiden tunnisteiden antennien rakenne on myös pitkänomainen ja ne kommunikoivat pystysuorissa suunnissa olevien sähkökenttien kanssa missä suunnassa tahansa antennin tasoon nähden. [15, s. 330–331] Täten monisuuntaisesti polarisoitujen tunnisteiden ja lukijan antennien ei tarvitse olla kohtisuorassa toisiinsa nähden. Samalla ne kuitenkin monimutkaistavat mikrosirun suunnittelua, joka johtaa antennin rakenteen hinnan nousuun. [10, s. 266]

3.2.4 Mikropiirin toiminta

Passiiviset UHF-tunnisteet tarvitsevat tyypillisesti 10–100 mW DC-tehoa toimiakseen. Tarvittava teho on kerättävä tunnisteiden antennilla. DC-sisäänmenojännite johdetaan tasasuuntaamalla vastaanotettu radiotaajuinen signaali monivaiheisella

diodivarauspumpulla, eli kondensaattoreita hyödyntävällä jännitemuuntimella. Varauspumpun hyötysuhde radiotaajuisen signaalin muuntamisessa tasavirraksi on tyypillisesti 20–30 % tulosignaalin tehosta. RF-tehoa on siis kerättävä noin 30–300 mW, jotta tunniste voi toimia. Maksimiteho P , joka dipoliantennista on mahdollista kerätä, on kaavan 1 mukaan

$$P = U * A, \quad 1$$

jossa U on tulosignaalin tehotiheys ja A on antennin poikkipinta-ala. [10, s. 267]

Passiivisen tunnisteiden antennit on kytketty suoraan tunnisteiden mikropiiriin sisäänmenoon. Mikropiiriin sisäänmenolohko on moniasteinen varauspumppu, joka koostuu diodeista, jotka ohjaavat varauspumpun varastointikondensaattoreita. Todellinen välitön kuorma on täten hyvin epälineaarinen, mutta sitä voidaan karkeasti arvioida häviöllisenä kapasitanssina, jos sisäänmenoajännite on riittävä laittamaan päälle tasasuuntaavat elementit. [10, s. 267]

3.2.5 Sisäänmenoimpedanssi

RFID-tunniste lähettää dataa vaihtelemalla sen sisäänmenoimpedanssia ja moduloimalla takaisinsirontasignaalia [14, s. 134]. Antennin sisäänmenoimpedanssi Z syntyy antennin terminaaleissa. Esineet ja muut antennit tunnisteiden antennin läheisyydessä vaikuttavat tunnisteiden antennin sisäänmenoimpedanssiin. Sisäänmenoimpedanssi Z voidaan esittää kaavaan 2 avulla

$$Z = R + jX, \quad 2$$

jossa R on antennin sisäänmenoresistanssi ja X on antennin sisäänmenoreaktanssi. Sisäänmenoreaktanssi kuvaa antenniin varastoitunutta energiaa. [16, s. 45]

Antennin sisäänmenoimpedanssi on taajuuden funktio, joten antenni voidaan sovittaa tarkasti RFID-tunnisteiden mikrosiruun vain tietyllä taajuuskaistalla. Antennin sisäänmenoimpedanssi riippuu laitteen geometriasta, viritystekniikasta ja esineistä antennin ympärillä. Täten sisäänmenoimpedanssi usein selvitetään mittauksilla. [16, s. 46]

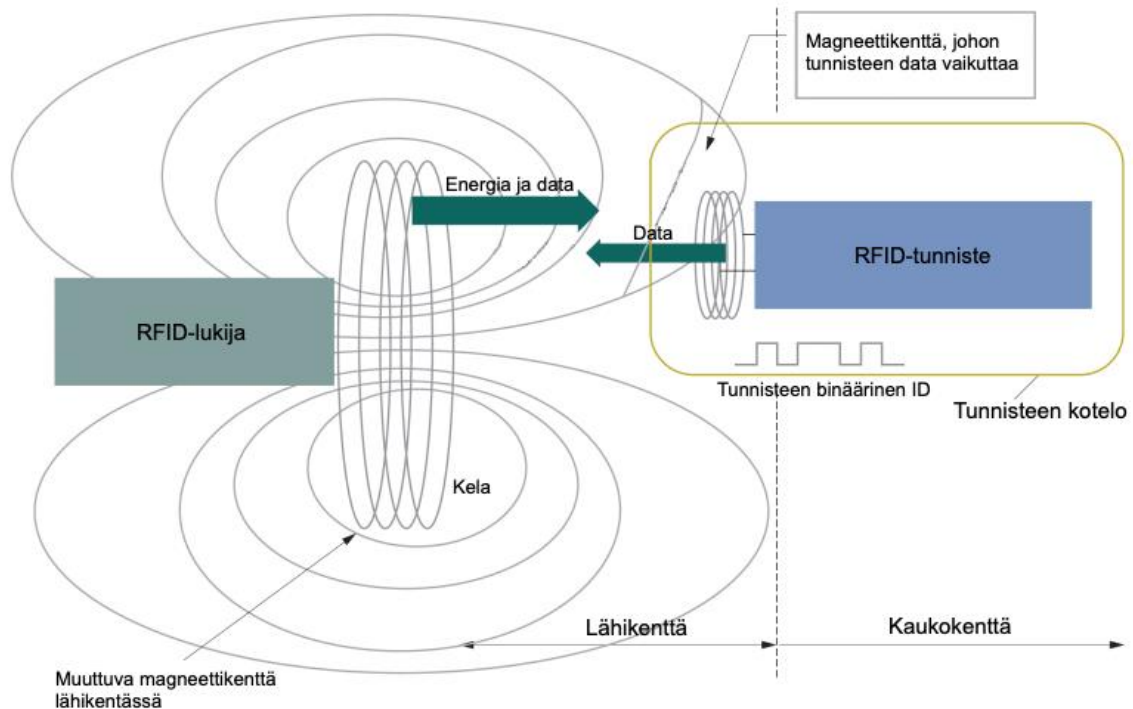
4. HF-ALUEEN TEKNIikka

HF RFID on 13,56 MHz taajuudella toimiva etätunniste, jota käytetään älykorteissa, tuotteiden seurannassa lyhyellä etäisyydellä ja kirjastokirjoissa. HF-alueella toimivien RFID-tunnisteiden toimintasäde ylettyy 1–10 cm alueelle. [3] HF-tunnisteet ovat usein passiivisia tunnisteita, joten ne toimivat vain lähikentässä. Lähikentässä tunniste saa virtaa induktiivisesta kytkeytymisestä, joten antennina käytetään kelaa. Datansiirto puolestaan perustuu kuormamodulaatioon lähikentässä. [13, s. 55–57]

Tiettyihin sovelluksiin tarvitaan suhteellisen alhaista datansiirtonopeutta ja pientä lukuetaisyyttä, näillä HF-alue on hyvä idea kahdesta syystä. HF-alue on kansainvälisesti varattu lisensoimattomaan käyttöön, jolloin suunniteltuja systeemejä voidaan käyttää missä tahansa päin maailmaa. Lisäksi HF-alueella induktiivinen kytkentä on mahdollista joidenkin sellaisten materiaalien läpi, joita UHF-alueen sähkömagneettinen säteily ei läpäise. [19] HF-tunnisteen induktiivinen kytkentä vähentää langattomien häiriöiden ongelmia, koska todellista tehoa ei säteile. Siksi HF-tekniikalla on erinomainen sietokyky ympäristöstä aiheutuvalle kohinalle ja sähkömagneettisille häiriöille. [8]

4.1 Lähikenttä

Lähikentän RFID-tunnisteen kela-antenni säteillessään muodostaa magneettikentän ympärilleen. Samalla magneettikenttä leviää ja muodostuu kasvava sähkökenttä induktion vaikutuksesta. Lähikenttä eroaa kaukokentästä siten, että lähikentässä sähkömagneettinen aalto ei ole irronnut antennista. Toisin sanoen lähikenttä loppuu siihen mistä kaukokenttä alkaa. Lähikentästä on myös mahdollista palauttaa aaltoja antenniin induktiivisen kytkeytymisen ansiosta. [12, s. 112] Kuvassa 7 on esitetty RFID-tunnisteen ja lukijan toimintaa lähikentässä.



Kuva 7: RFID-tunnisteen ja lukijan toiminta lähikentässä. [Muokattu lähteestä 7].

Kuvassa 7 on esitetty, kuinka lähikenttä käyttää sähkömagneettista induktiota lukijan ja tunnisteiden väliseen kommunikaatioon. Aluksi RFID-lukija lähettää suuren AC-virran lukijan kela-antennin läpi, jonka tuloksena on muuttuva magneettikenttä kela-antennin alueella. Kun RFID-tunniste asetetaan tähän kenttään, muuttuva magneettikenttä menee tunnisteiden kela-antennin läpi indusoiden kelaan virran ja edelleen jännitteen. Kun tämä jännite tasasuunnataan ja kytketään kondensaattoriin, syntyy lataussäiliö, jota voidaan käyttää tunnisteiden virtalähteenä. [7] Samalla kun tunniste saa virtaa, niin data lähetetään takaisin lukijaan kuormamodulaatiolla. Myös RFID-tunniste luo oman magneettikentän kela-antenninsa ympärille ja sen muuttuva magneettikenttä kulkee lukijan kelan läpi. Induktiivisesti kytketyt tunnisteet toimivat vain lähikentässä ja ovat yleensä passiivisia tunnisteita. [13, s. 57–58]

Kuormamodulaation avulla on mahdollista siirtää dataa lukijan ja tunnisteiden välillä lähikentässä. Koska mikä tahansa tunnisteiden käämistä saatu virta aiheuttaa oman pienen magneettikentän, joka vastustaa lukijan kenttää, lukijan kela-antenni voi havaita tämän pienen nousun jännitteessä, joka virtaa siinä. [7] Vaihtelemalla kuorman suuruutta tunnisteiden antennissa, saadaan aikaan jännitteen vaihtelua lukijan kela-antennissa. Jos kuorman arvon vaihtelua kontrolloidaan datalla, niin dataa voidaan lähettää tunnisteesta lukijaan. Tätä datansiirtoa kutsutaan kuormamodulaatioksi. [13, s. 56–57]

Signaaliin voidaan luoda pieniä muutoksia magneettikentän voimakkuudessa, jolloin signaali saadaan esittämään tunnisteen tunnusta. Lukija voi sitten palauttaa tämän signaalin seuraamalla muutosta virrassa lukijan kela-antennin kautta. [18, s. 8] Lähikentällä on tosin fyysisiä rajoituksia. Toimintataajuuden f kasvaessa, etäisyys, jossa lähikentän käyttö voi toimia, laskee kaavan 3 mukaan

$$\frac{c}{2\pi f} \quad 3$$

jossa c on valonnopeus. Sovellukset, jotka vaativat suurempaa määrää tunnuksen bittejä tarvitsevat nopeampaa datansiirtonopeutta ja suurempaa toimintataajuutta. Nämä sovellukset toteutetaan silloin kaukokentässä toimivilla RFID-tunnisteilla. [18, s. 8]

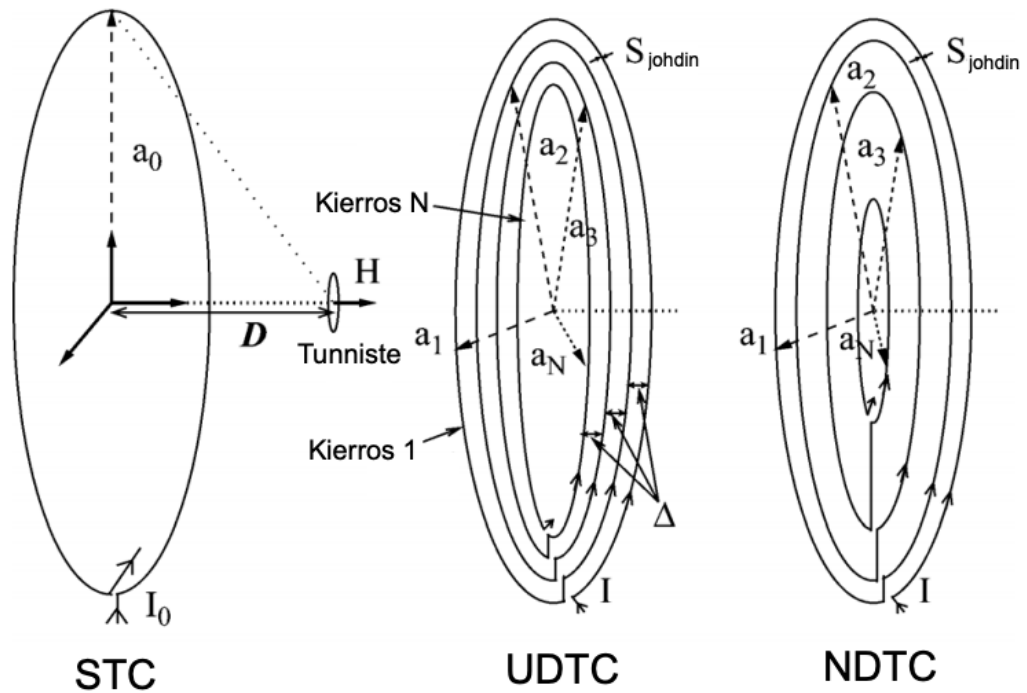
4.2 RFID-tunnisteen kela-antenni

Passiiviset tunnisteeet hyödyntävät indusoitunutta kela-antennin jännitettä. Tämä indusoitu AC-jännite tasasuunnataan, jotta saadaan jännitelähde laitteelle. Kun DC-jännite saavuttaa tietyn jännitteen, laite alkaa toimia. Kun saadaan energisoiva RF-signaali, lukija voi kommunikoida myös passiivisten laitteiden kanssa. [9]

Kela-antennin toiminnallisuus riippuu hyvin paljon lukijan ja tunnisteen kela-antennien välisestä indusoituneesta jännitteestä V , magneettikentän voimakkuudesta H tunnisteen kela-antennin kohdalla ja antennin hyvyysluvusta Q [19], eli suureesta, joka kuvaa värähtelyn amplitudin suhdetta värähtelyn vaimenemiseen. Kela-antennin koon on oltava dipoliantennin lailla hyvin pieni, koska niitä käytetään erillisissä älykorteissa ja lipukkeissa.

4.2.1 Rakenne

Kela-antenni voi muodostua yhdestä tai useammasta kierretystä johtimesta. Jos kela-antenni muodostuu useammasta kuin yhdestä johtimesta, voidaan se vielä muodostaa tasaisesti ja epätasaisesti jakautuneista johtimista. [19] Kuvassa 8 on esitetty kolme tapaa muodostaa kela-antenni.



Kuva 8: Kolme kela-antenni muodostelmaa. [Muokattu lähteestä 19]

Kuvassa 8 vasemmanpuoleinen kuva esittää yhden kierroksen kela-antennia ja loput kuvat esittävät useammasta kierroksesta muodostuvaa kela-antennia, joista keskellä on tasaisesti jakautuneet johtimet ja oikealla epätasaisesti jakautuneet. Kela-antennien rakenteissa käytetään seuraavia lyhenteitä: STC (engl. single turn coil) on yhdestä johtimesta muodostuva kela-antenni, UDTC (engl. uniformly distributed-turns coil) on tasaisesti jakautuneet johtimet ja NDTC (engl. non-uniformly distributed-turns coil) on epätasaisesti jakautuneet johtimet. [19]

UDTC- ja NDTC-antennit parantavat magneettikentän voimakkuutta H paremmin kuin STC-antenni, koska niissä on useampi kierros johtimia. Kierrosten lukumäärä voi kuitenkin vain olla kaksi tai kolme UDTC-antennille, koska valmistuksen pinta-tason rajoitukset tulevat vastaan pinta-alan suhteen, kun jokaisen kierroksen etäisyys on sama. Pinta-tason rajoitukset rajoittavat myös NDTC-antennia, mutta NDTC-antennilla voi olla maksimissaan viisi kierrosta, koska ne vievät vähemmän tilaa kuin UDTC-antenni epätasaisesti johdinten välien takia. Vähäinen kierrosten lukumäärä on yksi UDTC-antennin rajoitus eikä yhtenäinen välimatkakaan kierrosten välissä salli kierrosten mahdollisimman suurta hyödyntämistä magneettikentän voimakkuuden H kasvattamiseen, joten suositetaan NDTC-antennin epätasaisia välejä. Täten kelan kierrosten lukumäärää säätämällä voidaan myös säätää magneettikentän voimakkuutta H ilman, että hyvyyslukua Q tarvitsee vaarantaa. [19] Hyvyysluvulla on iso merkitys HF-antennin suunnittelussa, jota käsitellään lisää luvussa 4.2.4

4.2.2 Magneettikentän voimakkuus

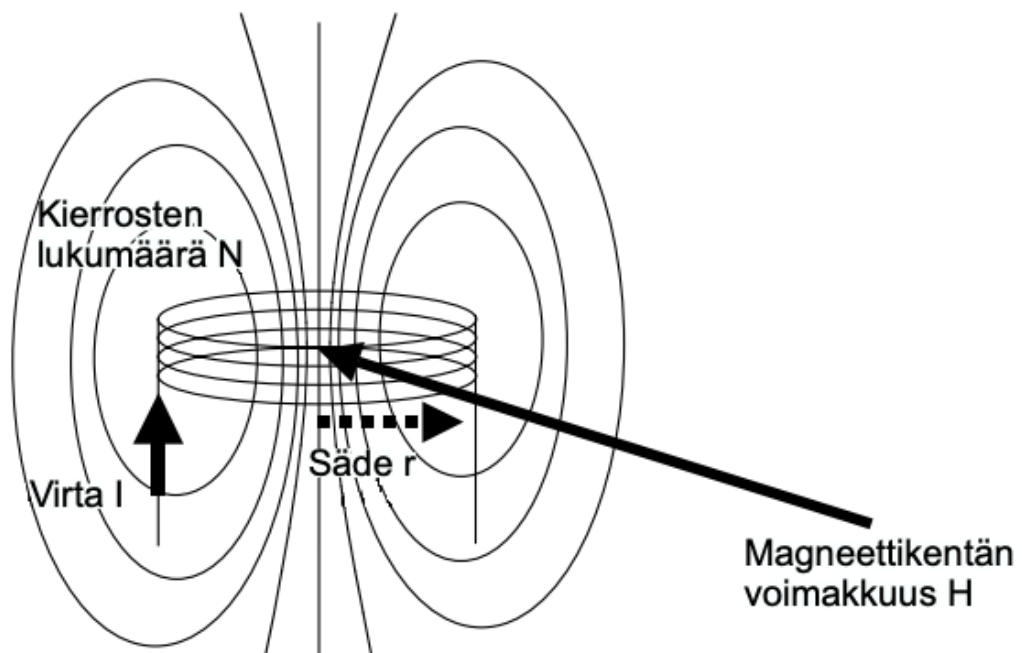
Koska RFID-lukijat ja lähikentässä toimivat tunnisteet kytkeytyvät toisiinsa induktiolla, voidaan analysoida tyypillisiä vuorovaikutuksia niiden välillä magneettikentän avulla. Jos virta I menee lukijan kelan läpi, magneettikenttä H voidaan määrittää sen keskellä kaavalla 4

$$H = \frac{IN}{2r}, \quad 4$$

jossa I on virta, N on kierrosten lukumäärä ja r on kelan säde. Magneettivuontiheys B tyhjiössä voidaan määrittää kaavalla 5

$$B = \mu_0 H, \quad 5$$

jossa μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti. [18, s. 10] Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen magneettikentän kuvio kelan ympärillä.



Kuva 9: Magneettikentän voimakkuus H kelassa. [Muokattu lähteestä 18, s. 10]

Kuten käänin keskellä näkyy, magneettikenttä on kohtisuorassa käänin tasoon nähden ja ulottuu ulospäin pitkin akselia, joka heikkenee etäisyyden kasvaessa. Lukijan magneettikentän heijastuminen mahdollistaa lukijan vuorovaikuttamaan tunnisteeseen kanssa, vaikka edessä olisi optisesti läpinäkymättömiä materiaaleja. Jos tunnisteeseen ja lukijan etäisyys x on suurempi kuin kelan säde r , magneettivuontiheyden B arvoa voidaan suurin piirtein arvioida kaavalla 6

$$B = \frac{1}{x^3}.$$

6

Kaavan 6 mukaan magneettivuontiheys B arvo laskee radikaalisti etäisyyden x kasvaessa. Tästä johtuen lähikentässä toimivia RFID-tunnisteita voidaan käyttää vain lyhyillä etäisyyksillä. [18, s. 10–11] Kela-antennin magneettikenttää voidaan kuitenkin parantaa kasvattamalla kelan kierrosten lukumäärää [19]. Suurin magneettivuontiheys B , joka menee tunnisteen kela-antennin läpi, voidaan saada, kun lukijan ja tunnisteen kelat asetetaan rinnakkain toisiaan kohden. Tämä tuottaa myös suurimman indusoituneen jännitteen V tunnisteen kelassa ja kasvattaa lukuetaisyyttä. [14, s. 147]

4.2.3 Indusoitunut jännite

Faradayn lain mukaan muuttuva magneettikenttä tason läpi indusoi jännitteen V kelaan. Kun RFID-tunnisteen ja -lukijan antennit ovat toistensa lähellä, lukijan kela-antennin muodostama muuttuva magneettivuo Ψ_m indusoi jännitteen V tunnisteen kela-antenniin. Indusoitunut jännite V kelassa on verrannollinen ajan muutokseen käämivuossa Ψ_m . Indusoitunut jännite V voidaan laskea kaavalla 7

$$V = -N \frac{\partial \Psi_m}{\partial t},$$

7

jossa N on kierrosten lukumäärä, ja Ψ_m on magneettivuo jokaisella kierroksella. Negatiivinen etumerkki viittaa siihen, että indusoitunut jännite V vastustaa magneettivuon Ψ_m muutosta. Tämä tunnetaan Lenzin lakina, ja se näyttää, että virran kulkusuunta piirissä on sellainen, että indusoituneen virran tuottama indusoitunut magneettivuo vastustaa alkuperäistä magneettivuota. Lukijan ja tunnisteen välinen lukuetaisyys on pisimillään, kun tunniste ja lukija ovat kohtisuoraan toisiaan kohden. [14, s. 146–147]

Jännite kerääntyy laitteen latauskondensaattoriin, ja kun riittävä virta on kertynyt, eli kynnysjännite on saavutettu, niin tunniste saa virtaa ja alkaa lähettää dataa takaisin lukijaan. Lukijan ja tunnisteen pitää käyttää samaa datansiirtotapaa, koska synkronointi ja datansiirto eivät onnistu muuten. Kun lukijan kela-antennin säde a kasvatetaan, niin lukuetaisyyttä voidaan kasvattaa. Lukijan kela-antennin säde a voidaan esittää kaavalla 8

$$a = \sqrt{2} * r.$$

8

Kaavan 8 mukaan lukijan kela-antennin säteen a on oltava suurempi kuin lukuetaisyys r . Joihin sovelluksiin tämän perusteella tarvitaan siis suurtakin lukijan antenna. [14, s. 148]

4.2.4 Hyvyysluku

Hyvyysluku Q määrittää, kuinka hyvin resonoiva piiri absorboi tehoa sen suhteellisen kapeasta resonanssikaistasta. Yleisesti voidaan todeta, että mitä suurempi hyvyysluku niin sitä suurempi teho tietyn kokoisella antennilla on. Liian suuri hyvyysluku voi kuitenkin haitata lukijan päästökaistan ominaisuuksia. [14, s. 147–148] Toisaalta mahdollisimman luotettava datansiirto saadaan, kun kela-antennin hyvyysluku Q on pieni. Tällöin kelan tulisi olla STC-antenni, jolloin sillä on vähimmäissaavutettavissa oleva hyvyysluku luotettavaan tiedonsiirtoon. [19] Usein resonanssipiirien virityskapasitanssi on sijoitettu tunnisteeseen tai lukijan mikrosiruun, jossa suuremman hyvyysluvun omaava kondensaattori voidaan toteuttaa. Efektiivisen piirin hyvyysluku Q määritellään pääsääntöisesti antennin kelan häviönä. Efektiivisellä piirillä tarkoitetaan aluetta tunnisteeseen kelassa, joka on tulevalle magneettikentälle altistunut osa. [14, s. 147–148]

Hyvyysluku Q on tärkeä HF-tunnisteille, koska sen perusteella voidaan määrittää antennin teho ja tiedonsiirron luotettavuus. Hyvyysluku on kääntäen verrannollinen antennin vastukseen. On todettu, että syövytetty antenni on vähemmän resistiivinen ja halvempi kuin tulostettu antenni, jossa on johtavaa materiaalia. [14, s. 164], [19]

5. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli tarkastella UHF- ja HF-taajuusalueilla toimivia RFID-tunnisteita. Tavoitteena oli myös selvittää UHF- ja HF-taajuusalueilla toimivien RFID-tunnisteiden ja -lukijoiden välisen kommunikaation ja datansiirron mahdollistavat tekijät. Näiksi tekijöiksi osoittautuivat erilaisten RFID-tunnisteiden käyttäytyminen kauko- ja lähikentässä. Sitä ennen kuitenkin oli tutustuttava RFID-tunnisteiden teoriaan ja toimintaan, jotta olisi mahdollista ymmärtää, miten RFID-tunnisteet toimivat kauko- ja lähikentässä. RFID-tunnisteet voidaan jakaa aktiivisiin, passiivisiin ja puolipassiivisiin tunnisteisiin niiden virtalähteen ja radiolähtetimen mukaan. Aktiivisilla tunnisteilla on oma virtalähde ja radiolähtetin, mutta passiivisilla tunnisteilla ei ole kumpaakaan, joten ne joutuvat keräämään virtaa kauko- tai lähikentästä. Puolipassiivisilla tunnisteilla on oma virtalähde, mutta ei omaa radiolähetintä.

RFID-tunnisteiden käyttökohteet riippuvat käytettävästä taajuusalueesta. RFID:lle taajuusalueita on viisi: LF, HF, VHF, UHF ja mikroaallot, jotka voidaan jakaa mataliin ja korkeisiin taajuuksiin. Mataliin taajuuksiin kuuluvat LF ja HF ja korkeisiin kuuluvat VHF, UHF ja mikroaallot. Matalilla taajuuksilla on vähemmän energiaa kuin korkeilla taajuuksilla, joten matalien taajuuksien datansiirto on hitaampaa ja lukuetaisyys on rajoittunut. Matalat taajuudet kuitenkin sietävät esteitä paljon paremmin kuin korkeat taajuudet. RFID-tunnisteiden käyttökohteeseen vaikuttaa myös käytettävä lukuetaisyys. UHF-tunnisteilla lukuetaisyys ylettyy jopa 1–100 m alueelle, mutta HF-tunnisteet toimivat vain 10 cm–1 m lukuetaisyydellä. UHF-tunnisteita kannattaa siis käyttää sovelluksiin, joissa tarvitaan pitkää lukuetaisyyttä, kuten reaaliaikaisessa inventaariossa, teollisuuden automatisoimisessa ja ajoneuvojen seurannassa. HF-tunnisteita käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan lyhyttä lukuetaisyyttä, kuten maksu- ja kulkukorteissa.

UHF RFID -tunniste toimii kaukokentässä, jolloin tunnisteen ja -lukijan on mahdollista kommunikoida sähkömagneettisten aaltojen avulla. HF RFID -tunnisteet puolestaan toimivat lähikentässä ja käyttävät sähkömagneettista induktiota RFID-lukijan ja -tunnisteen väliseen kommunikaatioon. RFID-tunnisteen antenni on erilainen eri taajuusalueilla. UHF RFID -tunnisteet käyttävät dipoliantennia, jonka on mahdollista vastaanottaa sähkömagneettisia aaltoja kaukokentässä. HF RFID -tunnisteet käyttävät kelaa antennina, johon jännite voi indusoitua lähikentässä Faradayn ja Lenzin lakien periaatteella.

RFID-tunnisteen antennin parametreja säätämällä voidaan esimerkiksi antennin lukuetaisyttä vaihdella. Dipoliantennin merkittäviä tekijöitä ovat antennin rakenne, kaistanleveys, mikropiiri, polarisaatio ja sisäänmenoimpedanssi. Esimerkiksi antennin resistanssia voidaan säätää muuttamalla dipolin rakennetta pidentämällä sen johtimia tai laittamalla ne kaarelle. Kaistanleveydellä on mahdollista määrittää taajuusalue, jonka sisällä antennin suorituskyky on tietyn standardin mukainen ja polarisaation avulla saadaan selvitettyä paras lukuetaisyys, koska RFID-tunniste saattaa tietyissä kulmissa olla täysin näkymätön RFID-lukijalle. Vaihtelemalla sisäänmenoimpedanssia ja moduloimalla takaisinsiroavaa signaalia voidaan lähettää dataa RFID-tunnisteesta.

Kela-antennin tärkeimpiä tekijöitä ovat antennin rakenne, magneettikentän voimakkuus, indusoitunut jännite ja hyvyysluku. Kela-antennin rakenne koostuu yhdestä tai useammasta kierretystä johtimesta. Magneettikentän voimakkuutta voidaan parantaa, kun kierrosten lukumääriä kasvatetaan. Kierroksia on kuitenkin mahdollista olla maksimissaan kelan tyypin mukaan kolme tai viisi, koska valmistuksessa tulee vastaan rajoituksia pinta-alan suhteen. RFID-lukijan magneettikentän heijastuminen mahdollistaa RFID-lukijan ja -tunnisteen vuorovaikutuksen. Induktiivisen kytkennän avulla RFID-tunnisteen on mahdollista saada virtaa RFID-lukijalta ja lähettää dataa RFID-lukijaan. Hyvyysluvulla voidaan määrittää antennin teho ja tiedonsiirron luotettavuus.

LÄHTEET

- [1] V. Rajaraman, Radio frequency identification, Resonance - Journal of Science Education (Volume: 22, Number: 6), 2017, (viitattu 26.2.2020): <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=b7e49159-b591-4e13-b2c1-187520954328%40sdc-v-sessmgr03>
- [2] J. Landt, The history of RFID, IEEE Potentials (Volume: 24, Issue: 4), 2005, (viitattu 6.3.2020): <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1549751>
- [3] Raghu Das, RFID Frequency bands, IDTechEx, 2006, (viitattu 24.2.2020): <https://www.idtechex.com/de/research-article/rfid-frequency-bands/40>
- [4] Beckie Kelly Schuerenberg, Bar Codes vs. RFID: A Battle Just Beginning, Health Data Management; New York (Volume: 14, Issue: 10), 2006, (viitattu 2e.4.2020): <https://search-proquest-com.libproxy.tuni.fi/docview/219549267/fulltext/C0FE181627ED438CPQ/1?accountid=14242>
- [5] Rick Dana Barlow, Bar Coding vs. RFID: Win, Lose or Draw?, Healthcare Purchasing News; Nashville (Volume: 44, Issue: 3), 2020, (viitattu 24.4.2020): https://search-proquest-com.libproxy.tuni.fi/docview/2375461439?rfr_id=info%3Axri%2Fsid%3Aprim
- [6] Kator Corinne, RFID basics, Modern Materials Handling, [Warehousing Management Edition; Framingham (Volume: 63, Issue: 2), 2008, (viitattu 26.2.2020): https://search.proquest.com/docview/201592356?rfr_id=info%3Axri%2Fsid%3Aprim
- [7] Roy Want, An Introduction to RFID Technology, IEEE Pervasive Computing (Volume: 5, Issue: 1), 2006, (viitattu 26.2.2020): <https://www.computer.org/csdl/magazine/pc/2006/01/b1025/13rRUxlgxLD>
- [8] Faranak Nekoogar, Basics of Radio Frequency Identification (RFID) Systems, Springer, Boston, MA, 2011, (viitattu 26.2.2020): https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4419-9701-2_1
- [9] Anil Pandey, How do RFID tags and reader antennas work?, Analog IS Tips, 2017, (viitattu 21.3.2020): <https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/>
- [10] Daniel Deavours & Daniel Dobkin, Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques and Applications, John Wiley & Sons, Incorporated, 2010, (viitattu 26.2.2020): <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=624695>
- [11] Jean-Marc Laheurte, UHF RFID Technologies for Identification and Traceability, Wiley, 2014, (viitattu 5.3.2020): <https://learning.oreilly.com/library/view/uhf-rfid-technologies/9781118930953/intro.xhtml>

- [12] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, Second Edition, John Wiley & Sons, Incorporated, 2003, (viitattu 11.4.2020):
[https://masterworkshop.skillport.com/skillportfe/assetSummaryPage.action?assetid=RW\\$5628:_ss_book:8343#summary/BOOKS/RW\\$5628:_ss_book:8343](https://masterworkshop.skillport.com/skillportfe/assetSummaryPage.action?assetid=RW$5628:_ss_book:8343#summary/BOOKS/RW$5628:_ss_book:8343)
- [13] Vedat Coskun, Kerem Ok & Busra Ozdenizci, Near Field Communication (NFC): From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Incorporated, 2013, (viitattu 11.4.2020):
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=832974>
- [14] Harvey Lehpamer, RFID Design Principles, Artech House, 2012, (viitattu 5.3.2020): <http://web.a.ebscohost.com.li.proxy.tuni.fi/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzQ1MTc1NV9fQU41?sid=b9b97880-dca2-405a-bdf8-e367c9c0f6e5@sdv-v-essmgr01&vid=0&format=EB&rid=1>
- [15] Daniel Mark Dobkin, The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice, Elsevier Science & Technology, 2007, (viitattu 5.3.2020):
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=319166&ppg=206>
- [16] Leena Ukkonen, Development of Passive UHF RFID Tag Antennas for Challenging Objects and Environments, Tampere University of Technology, Publication 621, 2006, (viitattu 23.4.2020)
- [17] Miodraf Bolic, David Simplot-Ryl, Ivan Stojmenovic & David Simplot-Ryl, RFID Systems: Research Trends and Challenges, John Wiley & Sons, Incorporated, 2010, (viitattu: 10.5.2020):
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=555052>.
- [18] Roy Want, RFID Explained: A Primer on Radio Frequency Identification Technologies, Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing (Volume: 1, Number: 1), 2006, (viitattu: 10.5.2020):
https://www.morganclaypool.com/doi/pdfplus/10.2200/S00040ED1V01Y200602MPC001?casa_token=1EmERBmbwc0AAAAA:dtP9Dw7woF2MYQY_dyQGRMBI70h3XcVcQzhNuV-gu_V7CsyweSgiehHe-ZqX9EpkkF6RootcHIDeBhE
- [19] Ashwani Sharma, Ignacio J. Garcia Zuazola, Anshu Gupta, Asier Perallos & John C. Batchelor, Non-Uniformly Distributed-Turns Coil Antenna for Enhanced H-Field in HF-RFID, IEEE Antennas and Propagation Soc. Int. Symp. (Volume: 61, Issue: 10), 2013, (viitattu 22.4.2020):
<http://research.mobility.deustotech.eu/media/publications/2013/journalarticle/non-uniformly-distributed-turns-coil-antenna-for-enhanced-h-field-in-hf-rfid.pdf>