



RFID-TÄGIN MITTAUKSIA

Antti Tilja

Ohjaaja: Sami Myllymäki

SÄHKÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

2018

Tilja A. (2018) RFID-tägin mittauksia. Oulun yliopisto, Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 16 s.

TIIVISTELMÄ

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin autonrenkaaseen sijoitettavan UHF-alueella toimivan RFID-tägin impedanssisovitusta ja lukuetaisyttä sekä perehdyttiin RFID-tekniikan teoriaan. Impedanssisovituksen ja lukuetaisyyden mittaukset suoritettiin kolmelle samanlaiselle RFID-tägille. Impedanssisovituksen mittauksesta saadut tulokset vastasivat hyvin suunniteltuja arvoja. Lukuetaisyyden mittauksessa huomattiin, että sisätiloissa mitattaessa tulokset ovat erilaisia kuin ulkona mitatut, koska signaalit heijastuvat ja vaimenevat seinistä.

Avainsanat: RFID, impedanssisovitus, lukuetaisyys

Tilja A. (2018) RFID tag measurements. University of Oulu, Degree Program in Electrical Engineering. Bachelor's thesis, 16 p.

ABSTRACT

The purpose of this bachelor's thesis was to measure impedance matching and read range of an UHF RFID tag. In the beginning of this thesis there is a theory part about RFID technology. The measurements were executed on three similar tags. Results from the impedance matching measurement were close to what was expected. Measuring read range proofed to get different results when measuring indoors. Signals would reflect and decay from walls.

Key words: RFID, impedance matching, read range

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	5
1. JOHDANTO	6
2. TYÖN TEORIA	7
2.1. RFID-tägin rakenne	7
2.2. Impedanssisovitus	7
2.3. Tägin lukuetaisyys	8
3. TYÖN TOTEUTUS	10
3.1. Impedanssisovituksen mittaus	10
3.2. Toimintaetaisyyden mittaus	11
4. TYÖN TULOKSET	12
4.1. Impedanssisovituksen mittaus	12
4.2. Toimintaetaisyyden mittaus	12
5. POHDINTA	14
6. YHTEENVETO	15
7. LÄHTEET	16

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen tunnistus
UHF	Ultra High Frequency, ultrataajuus
NFC	Near Field Communication, lähikenttäviestintä
ASK	Amplitude Shift Keying, vaihtoamplitudiavainnus
RSSI	Received Signal Strength Indicator, vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitin
mm	millimetri
kHz	kilohertsi
MHz	megahertsi
GHz	gigahertsi
Z	impedanssi
R	resistanssi
j	imaginääriyksikkö
X	reaktanssi
r	lukuetäisyys
λ	aallonpituus
P	lähetysteho
G	antennivahvistus
τ	tehonsiirtokerroin
θ, ϕ	kulma
π	pii

1. JOHDANTO

RFID on radiotaajuuksilla toimiva langaton tekniikka, jonka avulla voidaan lähettää tai vastaanottaa dataa. Data siirtyy RFID-lukijan RFID-tägin välillä. Tässä työssä keskitytään UHF-alueen RFID-tägin rakenteeseen ja mittaamiseen. [1]

RFID-tekniologian käyttö on yleistynyt viime vuosien aikana erittäin paljon. Nykyään se on osana jokapäiväistä elämää ja sitä hyödynnetään useissa eri käyttötarkoituksissa monilla eri aloilla. RFID-tekniikka kehittyy koko ajan ja yhä nopeammin. Antennien kehittymisen myötä niiden koko pienenee ja lähetysteho kasvaa. Myös valmistusmateriaalit kehittyvät jatkuvasti ja tägien kestävyys paranee, minkä ansiosta niitä voidaan hyödyntää erilaisissa olosuhteissa. RFID-tekniologiaa käytetään esimerkiksi kulunvalvonnassa, logistiikkasovelluksissa, kirjastoissa sekä lemmikkeihin laitettavissa tunnistesiruissa. Lähimaksamisessa käytetty NFC-tekniikka (Near Field Communication) perustuu myös RFID-tekniikkaan. [2]

RFID-tägin avulla pystytään myös korvaamaan viivakoodit ja ne ovat käyttöominaisuuksiltaan monipuolisempia. Toisin kuin viivakoodi, RFID-tägin ei tarvitse olla suoraan lukijan näkölinjalla, jotta se pystytään lukemaan. Lisäksi tägejä pystytään lukemaan monta kertalla ja niistä saadaan enemmän tietoa esimerkiksi kytkemällä tägiin erilaisia mittausantureita. [3]

Tässä työssä tutkitaan autonrenkaaseen sijoitettavan UHF-alueen (Ultra High Frequency) RFID-tägin (Radio Frequency Identification) ominaisuuksia. Työn tarkoituksena on selvittää tägin impedanssisovitusta sekä lukuetaisyyttä. Työn alussa käydään läpi teoriaa RFID-tekniikasta sekä tägin impedanssisovituksesta ja lukuetaisyydestä. Työn toteutus –luvussa esitellään vaihe vaiheelta tämän tutkielman puitteissa suoritettavat mittaukset, joita suoritettiin kolmelle samanlaiselle tägille. Tägeistä mitattiin impedanssisovituksen toimivuutta ja lukuetaisyyttä. Tulokset -luvussa käydään läpi mittausten avulla saadut tulokset sovituksesta ja lukuetaisyydestä. Työn lopussa pohditaan tutkimuksen luotettavuutta, tutkimuksen tuloksia sekä mahdollisia jatkotutkimuksen aiheita.

2. TYÖN TEORIA

2.1. RFID-tägin rakenne

RFID-tägit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: aktiivisiin, passiivisiin ja puolipassiivisiin. Aktiivisessa tágissä on oma virtalähde, mikä mahdollistaa jatkuvan datan lähettämisen ja laajemman datan käsittelyn. Passiivisessa tágissä ei ole omaa virtalähdettä. RFID-lukijan lähettämä signaali aiheuttaa tágiin induktiovirran, minkä avulla tági pystyy prosessoimaan vastaanotetun datan ja lähettämään sen eteenpäin. Puolipassiivisessa tágissä on myös oma virtalähde, mutta se käyttää lukijan aiheuttamaa induktiovirtaa datan lähettämiseen. Virtalähdettä se käyttää datan käsittelyyn. [4, 5]

RFID-tägit voidaan luokitella myös toimintataajuuden mukaan. Koska RFID-tekniikka käyttää radioaaltoja, sille on määrätty tietyt sallitut taajuuskaistat. Tällä pystytään vähentämään signaalien keskinäisiä häiriöitä. Taajuus vaikuttaa tágin lukuetaisyyteen ja signaalin läpäisevyyteen. 125-134 kHz:n taajuuskaistalla toimivia tägejä kutsutaan matalan taajuuden tägeiksi. Niiden lukuetaisyys on yleensä alle puoli metriä. Korkean taajuuden tagit toimivat 13,56 MHz:n taajuudella ja niitä pystytään lukemaan noin 1,5 metrin etäisyydeltä. 433-956 MHz:n taajuudella toimivat tagit kuuluvat UHF-alueeseen (Ultra High Frequency). Tällä alueella tagit voidaan lukea jopa 100 metrin päästä. Mikroaaltoalueelle kuuluvalla 2,45GHz taajuudella toimivat tagit voidaan lukea noin 10 metrin etäisyydeltä. [6, 7]

RFID-tági sisältää antennin ja siihen kytketyn mikrosirun. Antennin kautta tági vastaanottaa ja lähettää signaaleja. RFID-lukijan lähettämä signaali aiheuttaa antennissa induktiovirran, mikä saa tágin toimimaan. Antennin muotoa ja kokoa säätämällä voidaan vaikuttaa tágin impedanssiin. Impedanssi määrää millä herätesignaalin taajuudella induktiovirta syntyy. Myös mikrosirulla on vaikutus tágin impedanssiin. Mikrosirussa on tallennettuna tágin tunniste, joka lähetetään lukijalle. On olemassa myös siruttomia tägejä. Tällaisissa tägeissä antennin rakenne tuottaa tágin tunnisteen. [1, 8]

2.2. Impedanssisovitus

Antennilla ja mikrosirulla on omat impedanssit, jotka vaikuttavat yhdessä tágin toimintataajuuteen. Tágin toiminnan kannalta on tärkeää, että impedanssit on sovitettu hyvin keskenään. Täydellisesti sovitetussa tágissä antennin impedanssi Z_a ja mikrosirun impedanssi Z_c ovat toistensa konjugaatteja. Tällöin mikrosiru pystyy käyttämään kaiken antennille kytkeytyneen tehon. [8]

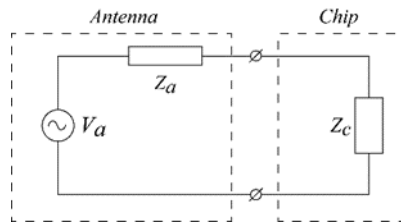
Työssä on käytetty NXP UCODE G2XL mikrosirua, jonka impedanssi $Z_c = 16 - j*148$ 915MHz:n taajuudella. Kyseinen siru sopii hyvin tágiin, koska sillä on pieni resistanssi ja suuri reaktanssi, ja se pystyy toimimaan ilman erillistä virtalähdettä. Mikrosiru demoduloi lukijan lähettämän signaalin ja lisää siihen sitten oman

tunnisteensa ASK-modulaation (Amplitude Shift Keying) avulla. Signaalit tulevat ja lähtevät mikrosiruun antennin kautta. Tägin antenni on mitoitettu toimimaan parhaiten 915 MHz taajuudella. Siitä on tehty mutkittelu tilan säästämiseksi. Resonanssitaajuudella antennin impedanssi $Z_a = 16 + j*148$. [1, 9]

Tägin piiriä voidaan helposti kuvata Theveninin ekvivalenttipiirin avulla. Tässä piirissä (kuva 1.) antennin impedanssi Z_a ja sirun impedanssi Z_c voidaan kuvata kaavoilla (1) ja (2). Kaavoissa R_a sekä R_c ovat impedanssien resistanssi osia ja X_a sekä X_c ovat impedanssien reaktanssi osia. Jännitelähde V_a kuvaa anteeniin indusoituvaa jännitettä. Molemmat impedanssit ovat taajuusriippuvaisia.

$$Z_a = R_a + j * X_a \quad (1)$$

$$Z_c = R_c + j * X_c \quad (2)$$



Kuva 1. RFID-tägin Theveninin ekvivalenttipiiri. [8]

2.3. Tägin lukuetaisyys

RFID-tägin lukuetaisyys tarkoittaa maksimietäisyyttä, jolla RFID-tägi pystytään lukemaan. Lukuetaisyyttä rajoittaa joko lukija tai tägi. Yleensä lukijan lähetysteho on suurempi kuin tägin, jolloin lukuetaisyyden määrää tägi. Friisin siirtöyhtälöstä saadaan johdettua lukuetaisyyden yhtälö (3). Yhtälössä r on lukuetaisyys, λ on aallonpituus, P_t on lukijan lähettämä teho, G_t on lukijan antennivahvistus, G_r on tägin antennivahvistus, τ on tehonsiirtokerroin ja P_{th} on kynnysteho, jolla tägi aktivoituu. [8, 10]

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}} \quad (3)$$

Lukuetaisyyteen vaikuttaa myös antennien polarisaatio. Koska tägeistä halutaan tehdä pieniä, niiden antennit ovat yleensä lineaarisesti polarisoituja. Linearisesti polarisoidun antennin lähettämä signaali värähtelee vain yhteen suuntaan, jolloin antennin suuntaamisella on suuria vaikutuksia signaalista saatavaan tehoon. RFID-lukijoiden antennit voivat olla suurempia. Niissä käytetäänkin monesti ympyräpolarisoituja antenneja. Ympyräpolarisoidun antennin lähettämä signaali kulkee ympyrärataa kulkusuuntaansa, minkä takia antennin suuntaus ei vaikuta yhtä paljon kuin lineaarisesti polarisoidun antennin. [11]

Polarisaatio huomioon ottaen ja käyttäen lineaarisesti polarisoituja antennija lukuetaisyyden yhtälö (3) muuttuu muotoon (4). Yhtälössä θ ja ϕ ovat antennien polarisaatiokulmia. Jos lukuetaisyyttä mitattaisiin käyttämällä lineaarisesti polarisoitua tägiä ja ympyräpolarisoitua lukijaa, antennien polarisaatioista aiheutuisi kolmen desibelin tehohäviö. [11]

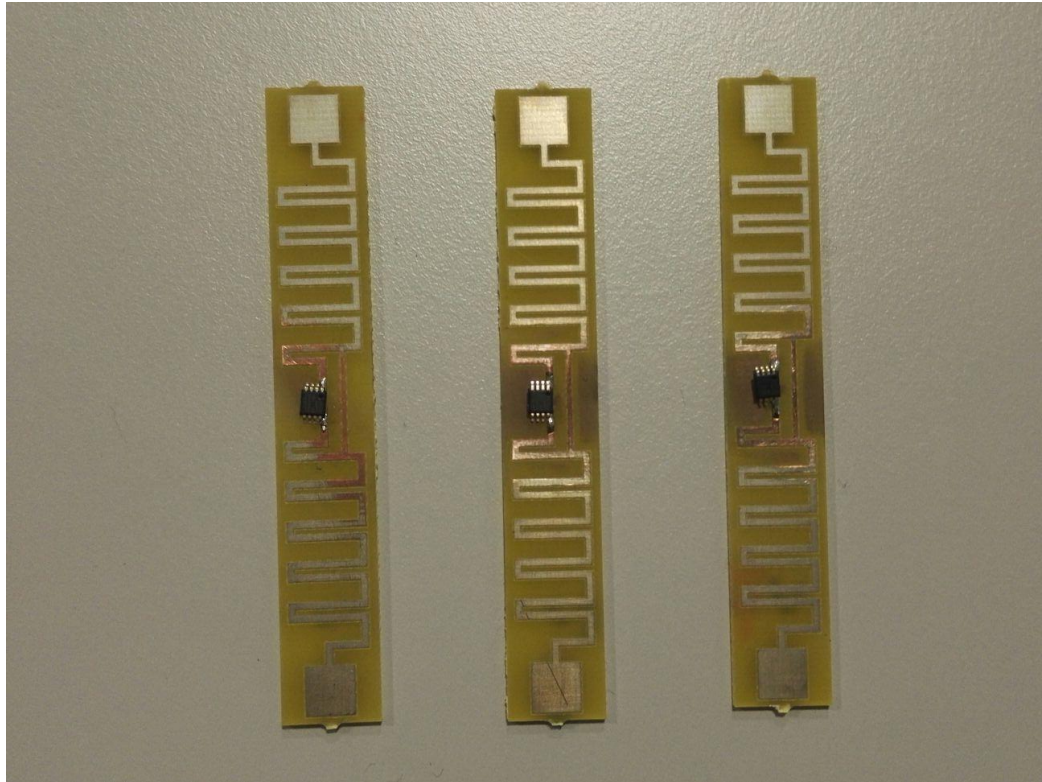
$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t(\theta, \phi) G_r \tau(\theta, \phi)}{P_{th}}} \quad (4)$$

Tehonsiirtokerroin τ kertoo kuinka suuri osa tehosta voi siirtyä antennilta mikrosiruun. Tehonsiirtokerroin vaikuttaa suoraan tegin lukuetaisyyden maksimiin. Tehonsiirtokerroin saa maksimiarvon tietyllä taajuudella, jota sanotaan tegin resonanssitaajuudeksi. Tehonsiirtokerroin pystytään ilmaisemaan myös impedanssien avulla kaavalla (5). [8, 10]

$$\tau = \frac{4R_a R_c}{|Z_a + Z_c|^2} \quad (5)$$

3. TYÖN TOTEUTUS

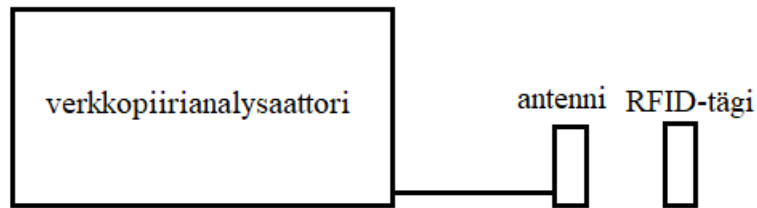
Työssä käytettävät tägit (kuva 2) ovat tarkoitettu käytettäväksi autonrenkaissa. Tägit ovat kooltaan 80mm*12mm*1,6mm. Hyvän impedanssisovituksen saavuttamiseksi tägien antennit ja mikrosirut on yhdistetty t-sovituksella. Antennien päihin on tehty neliömäiset kuormat, joilla saadaan lisättyä tägien kaistanleveyttä. Suuremman kaistanleveyden ansiosta tägit eivät ole yhtä herkkä niiden läheisyydessä oleville häiriöille. [8, 12]



Kuva 2. Työssä käytettävät kolme RFID-tägiä.

3.1. Impedanssisovituksen mittaus

Impedanssisovituksen mittaus toteutettiin mittaamalla sirontaparametrien arvoja taajuusalueella kuvan 3 mukaisella mittausjärjestelyllä. Työssä käytettiin Rohde & Schwarz ZVB20 verkkopiirianalysointilaitetta, jolla lähetettiin signaali laajakaistaiseen mittaustantenniin. Antennista signaali kytkeytyi sen viereen asetetulle tägille. Tägistä saatiin eri taajuuksilla eri vahvuisia takaisinsirontaa, joka pystyttiin näkemään verkkopiirianalysointilaitteella mitta-antennin vasteessa. Mittaus suoritettiin kaikille kolmelle tägille niin, että tägit asetettiin aina samaan paikkaan.

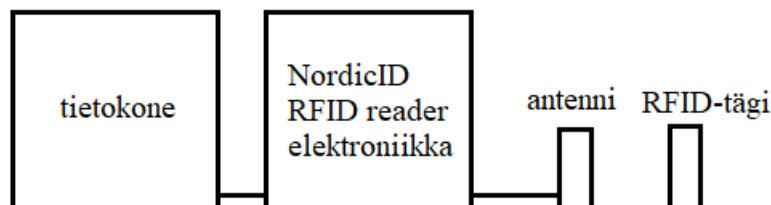


Kuva 3. Impedanssisovituksen mittauksen mittausjärjestely.

3.2. Toimintaetäisyyden mittaus

Toimintaetäisyyden mittaus toteutettiin mittaamalla tagin RSSI-arvo (Received Signal Strength Indicator) metrin välein aina kymmeneen metriin asti kuvan 4 mukaisella mittausjärjestelyllä. Mittaus suoritettiin sisätiloissa käytävällä. RSSI kertoo lukijan tagilta vastaanottaman signaalin voimakkuuden eli sillä pystytään suoraan arvioimaan tagin etäisyyttä lukijasta.

Mittauksessa oli käytössä laajakaistainen mittausantenni. Antennista lähetettävää signaalia ohjattiin tietokoneella NordicID prototype UHF reader ohjelmalla. Tietokoneen ja antennin välissä oli NordicID RFID reader elektroniikka, joka loi lähetettävät signaalit. Mittauksessa käytettiin ohjelman kanavaa 10, jolloin lähtevän signaalin taajuus oli noin 907 MHz. Tietokoneelta nähtiin, jos RFID-tägi vastaanotti signaalin ja lähetti oman tunnisteensa. Lukija-antenni oli 0-kohdassa, ja tägi asetettiin merkitylle paikalle yhden metrin päähän. Kun tagista saatiin signaali takaisin lukijalle, sen RSSI-arvo luettiin ja tägi siirrettiin seuraavaan mittauspisteeseen. Mittaus suoritettiin kaikille kolmelle tagille niin, että etäisyyden lisäksi muut mittaukseen vaikuttavat muuttujat pysyivät samoina.

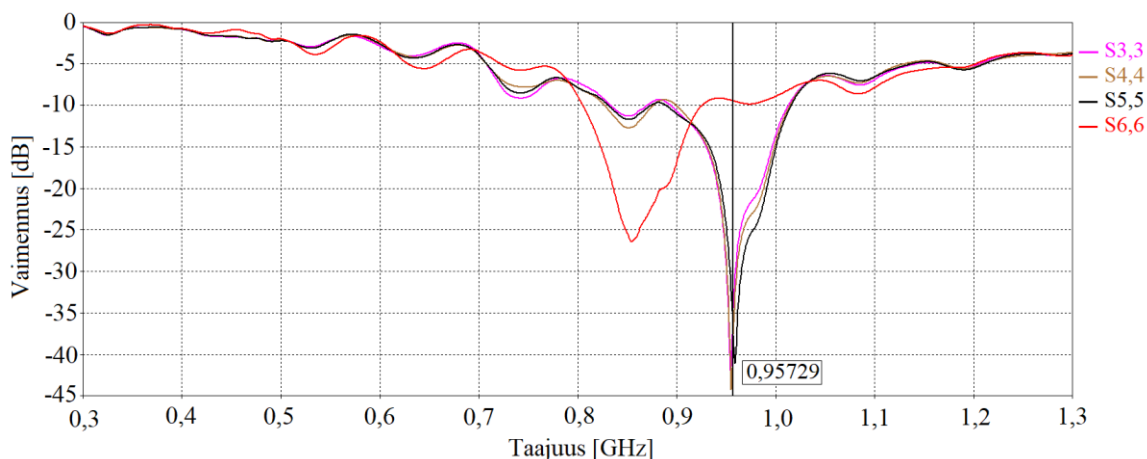


Kuva 4. Lukuetäisyyden mittauksen mittausjärjestely.

4. TYÖN TULOKSET

4.1. Impedanssisovituksen mittaus

Impedanssisovituksen mittauksen tuloksena saatiin piirianalysaattorista kuvaaja. Kuvasta 5 voidaan nähdä tägin toimintataajuus, joka on noin 957,29 MHz. Saatu tulos on melko lähellä tägin suunniteltua taajuuskaistaa 902 – 928 MHz [8].



Kuva 5. Impedanssisovituksen mittauksen tulokset.

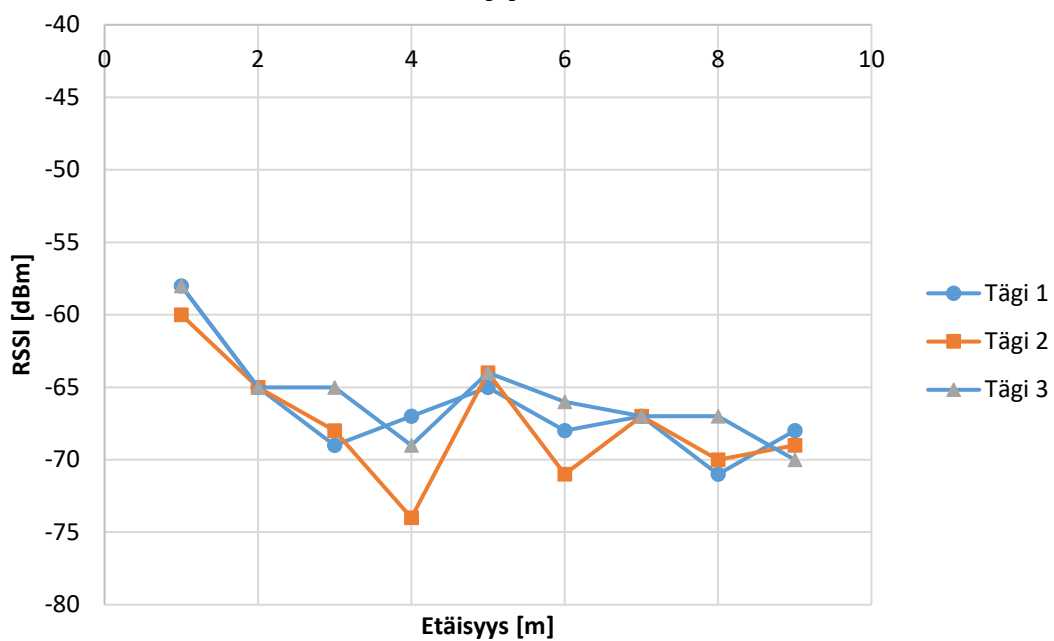
4.2. Toimintaetäisyyden mittaus

Toimintaetäisyyden mittauksen tuloksena saatiin RSSI arvoja tägin lähettämälle signaalille eri etäisyyksiltä. Tulokset löytyvät taulukosta 1. Mittauksen tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 6. Yhdelle tägille on myös suoritettu lukuetaisyydenmittaus ulkotiloissa. Tämän mittauksen tulokset löytyvät kuvasta 7 ja sitä käytetään vertailupohjana tässä työssä mitatuille tuloksille.

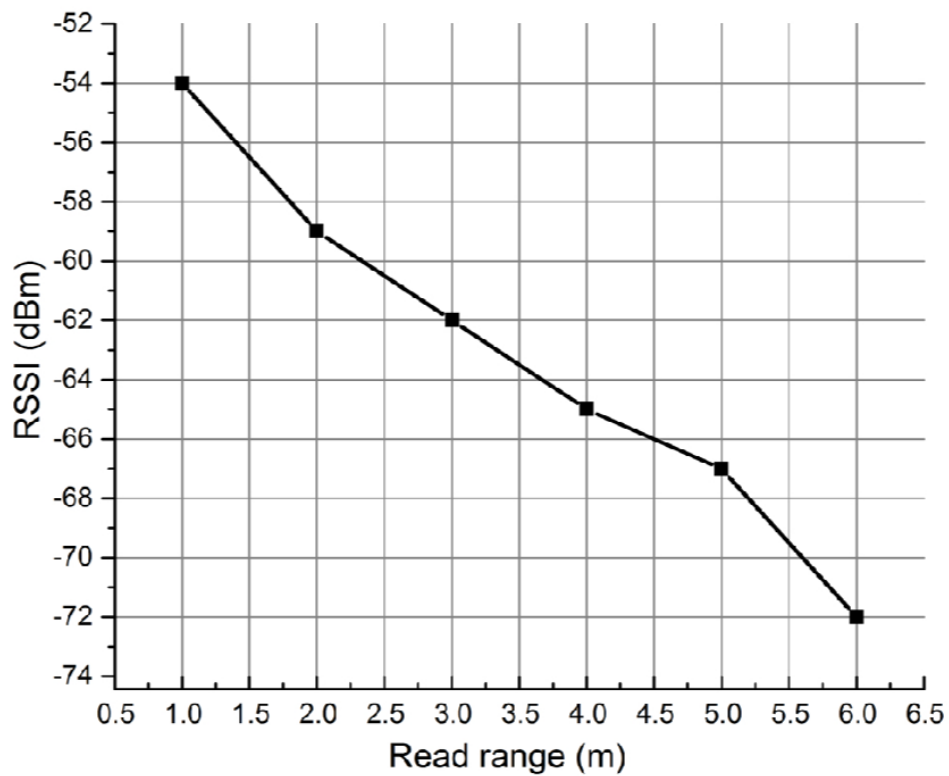
Taulukko 1. Lukuetaisyyden mittauksen tulokset

Tägi 1.		Tägi 2.		Tägi 3.	
Etäisyys [m]	RSSI [dBm]	Etäisyys [m]	RSSI [dBm]	Etäisyys [m]	RSSI [dBm]
1	-60	1	-58	1	-58
2	-65	2	-65	2	-65
3	-68	3	-65	3	-69
4	-74	4	-69	4	-67
5	-64	5	-64	5	-65
6	-71	6	-66	6	-68
7	-67	7	-67	7	-67
8	-70	8	-67	8	-71
9	-69	9	-70	9	-68

Luketäisyyden mittaus



Kuva 6. Lukuetäisyyden mittauksen tulokset.



Kuva 7. Lukuetäisyyden mittauksen vertailutulos

5. POHDINTA

Impedanssisovituksen mittauksesta saatu toimintataajuuden arvo 957,29 MHz on melko lähellä suunniteltua arvoa 915 MHz. Toimintataajuus ei ole vastaa aivan oletettua arvoa, koska mittauksessa käytetyn mitta-antennin impedanssisovitusta käytettiin arvioimaan tägin impedanssisovitusta.

Lukuetäisyyden mittauksessa saatujen tulosten perusteella tägin luettavuus heikkenee huomattavasti kahden metrin jälkeen. Verrattaessa tulosta aikaisemmin mitattuihin tuloksiin, huomataan kuitenkin, että työssä tehdyt mittaustulokset ovat erilaisia. Kuvan 6 viivojen pitäisi laskea lineaarisesti kuten kuvassa 7. Suurin ero, mikä tuloksiin vaikutti, johtui mittauksen paikasta rakennuksen sisällä. Sisätiloissa signaalit heijastuvat ja vaimentuvat seinistä. Lisäksi sisätiloissa on mahdollisesti enemmän häiritseviä signaaleja kuin ulkotiloissa.

Tutkimuksen tulosta voidaan pitää luotettavana, koska työssä käytettyjen komponenttien teoria käytiin työn alussa tutkimuksen kannalta riittävällä laajuudella läpi. Luotettavuutta tukee myös teorian pohjalta suoritettut empiiriset mittaukset, joissa kolmea samanlaista tägiä käyttämällä saatiin luotettavat ja laadukkaat tulokset. Koe voidaan toistaa samanlaisilla menetelmillä ja samanlaisissa olosuhteissa niin, että suurella todennäköisyydellä saavutetaan samankaltaiset tulokset. Tutkimuksen luotettavuutta vahvistaa kolmen eri tägin käyttö ja huolellisesti valmistetut mittaolosuhteet.

Mahdollisia jatkotutkimuksen aiheita RFID-tägeihin liittyen on paljon. Autonrenkaihin sijoitettavia tägejä voitaisiin esimerkiksi tutkia eri sääolosuhteissa sekä erilaisissa renkaissa. Lisäksi tägin luettavuutta voitaisiin testata liikkuvassa kohteessa.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin UHF-alueella toimivan autonrenkaaseen sijoitettavan RFID-tägin ominaisuuksia. Kolmelle samanlaiselle tägille suoritettiin impedanssisovituksen sekä lukuetaisyyden mittaukset. Impedanssisovitusta mitattiin verkkopiirianalysaattorin ja antennin avulla. Lukuetaisyyttä mitattiin tietokoneella ohjatun antennin avulla metrin välein yhdeksään metriin asti.

Impedanssisovituksen mittauksesta tegin toimintataajuudeksi saatiin 957,29 MHz, mikä on melko lähellä tegin suunniteltua toimintataajuutta 915MHz. Taajuusero johtuu tegin impedanssisovituksen päättelemisestä mitta-antennin impedanssisovituksesta.

Lukuetaisyyden mittauksessa häiriötekijät vaikuttivat tuloksiin huomattavasti. Mitatut RSSI arvot eivät käyttäydy lineaarisesti, kuten niiden pitäisi. Sisätiloissa mitattaessa signaalit heijastuvat ja vaimenevat seinistä, jolloin tuloksiin syntyy virheitä. Verrattaessa sisä- ja ulkotiloissa tehtyjä mittauksia, huomataan että ulkotiloissa saadaan parempia tuloksia.

7. LÄHTEET

- [1] Preradovic S., Karmakar N. & Balbin I. (2008) RFID Transponders. IEEE Microwave Magazine, vol. 9, no. 5, s. 90 – 103.
- [2] Marrocco G. (2008) The art of UHF RFID antenna design: impedance-matching and size-reduction techniques. IEEE Antennas and Propag. Mag., vol.50, no.1, s. 66 – 79.
- [3] Rao K. V. S. (1999) An Overview of backscattered radio frequency identification system (RFID). Asia Pacific Microwave Conference, s. 746 – 749.
- [4] Tainio A. (2010) RFID-tunnistus pakkausprosessiin. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Ylivieska.
- [5] Suomen standardisoimisliitto. (2010) RFID: Osa 1, Opas, Johdatus tekniikkaan. Helsinki. s. 38 – 39.
- [6] Domdouzis K., Kumar B. & Anumba C. (2007) Radio-Frequency Identification (RFID) Application: A brief introduction. Elsevier Advanced Engineering Informatics, vol. 21, no. 4, s. 350 – 355.
- [7] Finkenzeller K. (2003) RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, second edition. Chichester, England.
- [8] Mohamed N. S., Myllymäki S. & Nadir S. (2018) Design of UHF RFID Tag Antenna for Automotive Tire. EuCAP 2018, the 12th European Conference on Antennas and Propagation.
- [9] NXP Semiconductors. (2013) “UCODE G2XM and G2XL,” SL3ICS1002/1202 datasheet.
- [10] Rao K. V. S., Nikitin P. V. & Lam. S. F. (2005) Impedance matching concepts in RFID transponder design. The Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies, s. 39 – 42.
- [11] Tikhov Y. (2006) Comments on “Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application”. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 54, no. 6.
- [12] Shao S., Kiourti A., Burkholder R. & Volakis I. (2015) Broadband Textile-Based Passive UHF RFID Tag Antenna for Elastic Material. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.14, s. 1385 – 1388.