

Vesa Kovalainen

LANGATTOMAN AJANOTTOLAITTEISTON KEHITYS

Insinööri  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ala  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Kevät 2009



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ  
TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ala	Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Vesa Kovalainen	
Työn nimi Langattoman ajanottolaitteiston kehitys	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Sulautetut järjestelmät	Ohjaaja(t) Jukka Heino  Toimeksiantaja Tieto-Oskari Oy Taito Heikkinen
Aika Huhtikuu 2009	Sivumäärä ja liitteet 32+4
<p>Insinööriyössä kehitettiin langaton radiotaajuiseen tunnistukseen perustuva ajanottolaitteiston prototyyppi. Insinööriyö tehtiin Tieto-Oskari Oy:lle kehitystyönä. Tieto-Oskari Oy:llä on monien vuosien kokemus sulautettujen laitteiden kehittämistä, ja sen periaatteisiin kuuluu uusien sovelluskohteiden etsiminen. Tieto-Oskari Oy:n toiminta perustuu asiakaslähtöiseen tuotekehitykseen, mutta sillä on myös omia sulautettuja mittaus- ja säätölaitteita.</p> <p>Työssä hyödynnettiin Suomen Biathlon Oy:n ja Tieto-Oskari Oy:n yhteistyönä suunnittelemaa Eko-Aims E-Di2-laitetta sekä Tieto-Oskarin suunnittelemaa RF-moduuleita. Tieto-Oskari Oy on tehnyt yhteistyötä monien maastohiihdossa olevien toimitsijoiden kanssa tarjoamalla erilaisia sovelluksia heidän käyttöönsä. E-Di2-laitteelle ajanotto-sovellus oli jo aikaisemmin tehty, mutta siinä ajanottaminen tapahtui manuaalisesti näppäilemällä kilpailijanumero ajanottolaitteeseen. Ajanottamisen ongelmaksi tuli usean kilpailijan ajanottaminen lyhyen ajan sisällä.</p> <p>Insinööriyössä käytettiin kahdentyyppisiä RF-moduuleita, jotka on suunniteltu Tieto-Oskari Oy:ssä. Ajanottolaitteistosta tehtiin prototyyppi, johon kuuluu kolme itsenäistä laitetta, TAG RF-moduuli, ajanottopiste ja ajanottolaitte E-Di2.</p> <p>Insinööriyössä selvitetään langattoman tiedonsiirron periaatteita yleisesti sekä passiivisen ja aktiivisen tunnistamisen periaatteita ja käyttökohteita. Työssä käsitellään yhden tiedonsiirtoprotokollan toteutustapaa ja verrataan sitä RF-moduuleissa käytettyyn toteutustapaan. Tiedonsiirtoprotokollan käyttö tässä sovelluksessa, olisi ollut yllimitoitettu saatavan hyödyn osalta. Sen johdosta ajanottolaitteistossa käytetään omaa tiedon kehystämisen ja todennusmenetelmää.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin ja ajanottolaitteiston prototyyppi testattiin Tieto-Oskari Oy:ssä laboratorioolosuhteissa.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	RFID, radiotaajuinen tunnistus, ajanotto
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Vesa Kovalainen	
Title Developing a Wireless Timing System	
Optional Professional Studies Embedded Systems	Instructor(s) Jukka Heino
	Commissioned by Tieto-Oskari Oy Taito Heikkinen
Date April 2009	Total Number of Pages and Appendices 32+4
<p>This Bachelor's thesis was made for Tieto-Oskari Oy. Tieto-Oskari Oy is a small electronics and software developing company. It has long experience in embedded measurement and control equipment. The main developing sector is customer based development work but the company has also its own equipment for sale.</p> <p>The purpose of this thesis was to develop a wireless RFID Radio Frequency identification based timing system. Tieto-Oskari Oy has worked with many officials in cross-country skiing to provide different type of application for them. The timing device is an E-Di2-device which has been developed in co-operation with Suomen Biathlon Oy and Tieto-Oskari Oy. The timing application is developed for this device, but it has to take time manually. It is slow for many competitors at the same time. Consequently, this kind of automatic and wireless timing application has to be developed.</p> <p>This study has been used for two types of RF modules which are designed in Tieto-Oskari Oy. The wireless timing system has been made into a prototype which includes three separate devices. They are a TAG-identifier, a timing-point and a timing device E-Di2.</p> <p>Wireless equipment is the growing technological area where new applications are being developed all the time. The study dealt with the passive and active identification principle and application in general. The study focused on the wireless data contained in the data transmission solutions. Data transfer methods were standardized so that the devices would be compatible with each other. In this study one standard was examined and it was compared with the radio circuit method. The self-made data frame and verification method was used in the developed wireless timing system.</p> <p>The goals of this thesis were reached. The timing system prototype was functioning and it has been tested in the laboratory conditions in Tieto-Oskari Oy.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Timing, Identifier, Wireless
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty ajanottolaitteen jatkokehitystarpeesta Tieto-Oskari Oy:lle.

Tieto-Oskari Oy on elektroniikka- ja ohjelmistosuunnitteluun erikoistunut yritys, jolla on pitkäjänteinen tuotekehityshistoria.

Haluan kiittää Tieto-Oskari Oy:n toimitusjohtajaa Taito Heikkistä, joka mahdollisti insinöörityön aiheen, sekä koko Tieto-Oskarin henkilökuntaa leppoisasta työympäristöstä. Kiitokseni osoitan ohjaavalle opettajalle Jukka Heinolle sekä kielellisestä ohjauksesta Eero Soiniselle ja Kaisu Korhoselle. Lisäksi haluan kiittää lähipiiriä kaikesta tuesta.

Kajaanissa keväällä 2009

Vesa Kovalainen

## LYHENTEET JA TERMIT

EIRP	Effective isotropic radiated power Efektiivinen säteilyteho isotrooppiseen antenniin verrattuna
ERP	Effective Radiation Power Radiolaitteen efektiivinen säteilyteho
FIFO	First In First Out Mikropiirin vastaanotto-/lähetyspuskuri
ISM	Industrial, Scientific and Medical Teollisuuden, tutkimuksen ja lääketieteen vapaat taajuuskaistat
MCU	Microcontroller Unit Mikrokontrolleri
MISO	Master In Slave Out SPI-väylän tiedonsiirtolinja
MOSI	Master Out Slave In SPI-väylän tiedonsiirtolinja
SCK	SPI Clock SPI-väylän kellosignaali
SPI	Serial Peripheral Interface Sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä järjestelmän sisällä
TAG	Tunnisteesta käytetty nimitys "tagi"

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LANGATTOMIA TIEDONSIIRTOTAPOJA	2
3 RADIOLAITTEEN SÄTEILYN VOIMAKKUUS	5
4 ISM-TAAJUUSKAISTAT	6
5 RFID-TEKNIikka	8
5.1 Passiivinen tunnistus	9
5.2 Aktiivinen tunnistus	10
6 TIEDONSIIRTOPROTOKOLLA	12
6.1 Siirtotie	14
6.2 Kehysrakenne	14
7 AJANOTTOLAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE	16
7.1 Aikakriittisyys	17
7.2 Viestin rakenne	18
8 TIETOJENKÄSITTELYLAITE EKO-AIMS E-DI2	19
8.1 Liitynnät	19
8.2 Laitteeseen sisältyvät tiedot ja niiden käsittely	20
9 AJANOTTOPISTE	21
9.1 Radiot ja tiedon käsittely	23
9.2 Ohjelman kuvaus	24
10 TAG RF-MODUULI	26
10.1 Toiminta	26
10.2 Saatava tieto ja sen tarkoitus	27
11 TESTAUS	28
12 ANALYSOINTIA TYÖN TOTEUTTAMISESTA	30
13 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32

## LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena on kehittää automaattinen ja langaton ajanottolaitteisto. Ajanottolaitteiston kehitys lähti siitä, kun olin työharjoittelussa Tieto-Oskari Oy:ssä keväällä 2008. Työharjoittelun aikana tutustuin Eko-Aims E-Di2-laitteeseen, joka on suunniteltu Suomen Biathlon Oy:n ja Tieto-Oskari Oy:n toimesta. E-Di2-laitteen alkuperäinen käyttötarkoitus on ollut patruunattoman Eko-aseen näyttölaite. E-Di2-laitteen monipuoliset toiminnot mahdollistavat erilaisten sovellusten tekemisen. Ennen työharjoitteluni alkua E-Di2-laitteeseen oli jo tehty manuaalisesti toimiva ajanottosovellus.

Ajanottosovellusta käytetään pääsääntöisesti hiihtoharjoittelun apuvälineenä hiihtäjän vertailuaikojen saamiseen. Aikojen ottaminen tapahtuu manuaalisesti liipaisemalla kilpailijalle aika ajanottopisteessä. Tämä toimenpide tehdään käsin ja on hidasta, varsinkin jos aika joudutaan ottamaan usealle kilpailijalle lyhyen ajan sisällä

Tarkoitus on kehittää olemassa olevaa ajanottojärjestelmää siten, että ajanotto olisi kevyt, langaton ja automaattinen. Tämä tarkoittaa pienitehoisten radiotekniikoiden tutkimista ja perehtymistä, kuinka ajanottaminen nykyisellä radiotekniikalla olisi järkevää. Automaattinen ajanottolaitteisto mahdollistaisi myöhemmin myös pienimuotoisten kilpailujen järjestämisen.

Aikojen ottamiseen tarkoitettuja laitteita ja tekniikoita on monia, jotka yleensä ovat tehty juuri kulloiseenkin tarkoitukseen sopivaksi. Kehitettävässä ajanottojärjestelmässä halutaan hyödyntää langatonta tekniikkaa, jotta laitteisto olisi kevyt ja helposti liikuteltavissa.

Tässä työssä esiintyvät laitteistot ovat Tieto-Oskari Oy:n suunnitteleimia. Niitä hyödyntämällä langaton ajanottolaitteisto on tarkoitus toteuttaa. Ajanottolaitteistosta tehdään prototyyppi ja laitteidenväliseen kommunikointiin sekä ajanottoon sopivat ohjelmat. Ohjelmat koodataan C-kielellä ja ohjelmoidaan mikrokontrollereille.

Tässä insinööriyössä perehdytään langattomaan RF-tekniikkaan ja RF-tunnistukseen eli RFID:hen sekä tunnistuksen yhteydessä tapahtuvaan ajanottoon.

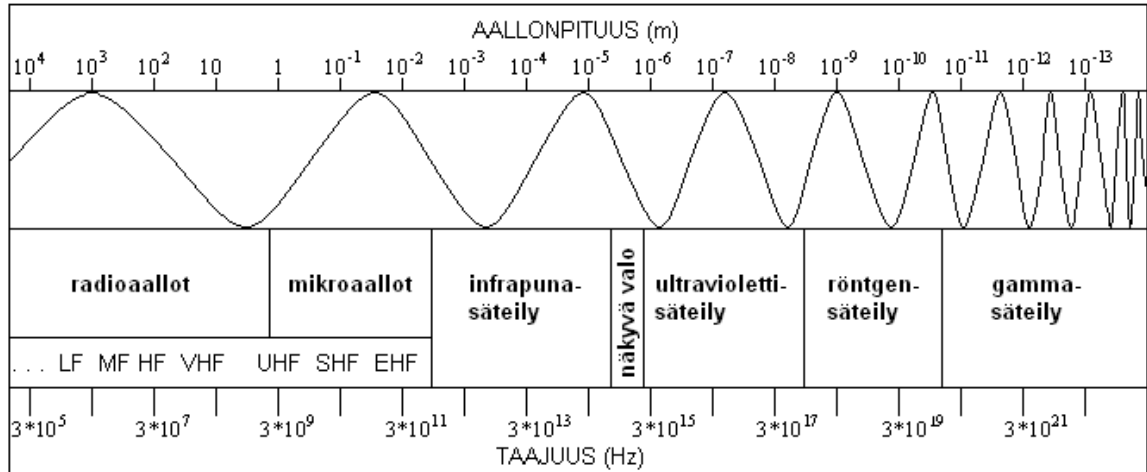
## 2 LANGATTOMIA TIEDONSIIRTOTAPOJA

Radiotaajuuksia on hyödynnetty jo pitkään erilaisissa langattomantiedonsiirron ja sen tutkimiseen liittyvissä systeemeissä. Alkujaan sähkömagneettisen aaltoliikkeen teorian esitti matemaattisesti vuonna 1873 James Clerk Maxwell (1831–1879), josta todisteeksi on jäänyt Maxwellin yhtälöt. Sähkömagneettisen aaltoliikkeen teorian todisti kokeellisesti Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894). Tämä tapahtui vuosien 1886–1888 välisenä aikana, jolloin Hertz rakensi radioaaltoja tuottavan laitteen. Hertzin laitteessa lähetin koostui yksinkertaisista komponenteista käämistä, kondensaattorista ja virtalähteestä. Vastaanotin koostui johdinsilmukasta jossa oli kaksi elektrodia. Resonanssitaajuudet olivat samat sekä lähettimessä että vastaanottimessa. Kun lähetin lähetti signaalin resonanssitaajuudella, syntyi vastaanottimen elektrodien välille kipinä. Hertz todisti näin, että energiaa voitiin siirtää langattomasti lähettimestä vastaanottimeen.[1, s. 328.]

Tähän energian siirtymisteoriaan perustuu myös nykyisin radiotaajuuksilla toimiva tekniikka. Radiotaajuus lyhennetään yleisesti RF (Radio Frequency), ja sen yksikkö on Hertsi (Hz) Heinrich Rudolf Hertzin mukaan.

Langattomaksi tiedonsiirroksi voidaan periaatteessa sanoa mitä tahansa tietoa välittävää toimenpidettä, jossa tietoa siirtyy paikasta A paikkaan B ilman fyysistä kontaktia. Tietoa ei kuitenkaan voi siirtää langattomasti ilman energiaa. Tätä energiaa tarjoaa sähkömagneettinen säteily. Sähkömagneettisen säteilyn osa-alueiden energiamäärää kuvataan sähkömagneettisen spektrin avulla. Sähkömagneettinen spektri, joka on siis sähkömagneettisen säteilyn ilmentyä, sisältää kaikki sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus eli taajuus ilmoittaa elektromagneettisen sekvenssin esiintymistiheyden yhden sekunnin aikana. Aallonpituus on suhteessa taajuuteen siten, että mitä lyhyempi on sähkömagneettisen aallon pituus, sen suurempi on taajuus. Myös sähkömagneettinen suhteellinen energiamäärä kasvaa taajuuden kasvaessa. Sähkömagneettisia aaltoja on pystytty havaitsemaan  $0,001 - 10^{24}$  Hz taajuusalueella. Kuvassa 1 aallonpituudet jaetaan seitsemään pääryhmään syntytapansa perusteella. Ryhmät ovat radioaallot, mikroaallot, infrapuna-aallot, näkyvä valo, ultraviolettisäteily, röntgensäteily ja gammasäteily.[1, s. 329.]





Kuva 1. Sähkömagneettisten aallonpituuden jakautuminen [1]

Pisimpiä sähkömagneettisia aaltoja ovat radioaallot, joiden aallonpituus on välillä n. 300 km - 3 cm. Radioaaltojen taajuusalue ulottuu tällöin n. 1 GHz:iin. Aallonpituus, jota merkitään  $\lambda(m)$ , voidaan helposti ratkaista aaltoliikkeen perusyhtälöstä kaavalla 1.

$$\lambda(m) = \frac{c}{f} = \frac{3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{f[\text{Hz}]} \quad (1)$$

Kaavassa esiintyvä  $c$  on aallon etenemisnopeus, joka on aina vakio. Aallon etenemisnopeus on valonnopeus ja sen numeraalinen arvo on  $3,0 \cdot 10^8$  [m/s]. Kaavassa esiintyvä  $f$  on taajuus, jonka aallonpituutta halutaan laskea. [ 1, s.339.]

Radioaaltoja tuotetaan antennilla, jolloin antennien mekaaniset mitat vaikuttavat lähetettävään ja vastaanotettavaan taajuuteen. Kaavalla 1 voidaan tällöin laskea antennin mekaaniseen rakenteeseen tarvittavia mittoja. Tyypillisesti antennit sovitetaan aallonpituuden osien mukaan. Esimerkiksi yksinkertainen dipoli-antenni sovitetaan joko puolenaallon mittaiseksi tai  $\frac{1}{4}$  aallonmittaiseksi. Tällöin kaavalla 1 on helppo laskea tarvittava antennin pituus.

Sähkömagneettiset aallot eivät siis ole mekaanista aaltoliikettä, vaikka niillä on samoja ominaisuuksia kuin mekaanisella aaltoliikkeellä. Tämä on todistettu sillä, että sähkömagneettiset aallot voivat kulkea myös tyhjiössä. Radioaallot soveltuvat parhaiten langattomaan tiedonsiirtoon sähkömagneettisen aaltoliikkeen olomuodoista. Radioaallot ovat energiatihedeltään pienimpiä ja siten niitä on helpointa tuottaa ja havaita. Radioaaltoja ei pidä sotkea radioaktiiviseen säteilyyn, joka vastaa sähkömagneettisen säteilyn toista ääripäätä. Radioaaltojen aalto-

lähteenä toimivat liikkuvat elektrodit, eivät protonit ja neutronit, jotka taas liittyvät radioaktiiviseen säteilyyn.

Nykyaikaisessa langattomassa tiedonsiirrossa on sovellettu radioaaltojen lisäksi mikroaaltoja ja infrapuna-aaltoja. Näkyvä valo, ultravioletti, röntgen- ja gammasäteily eivät kuulu radiotekniikkaan, vaan ovat oma tieteenlajinsa.

Infrapuna-aaltoja käytetään langattomassa tiedonsiirrossa lähietäisyydellä. Infrapuna-aallon pituusalue on n. 1 mm...700 nm, joka vastaa taajuusalueetta 40 GHz – 1 THz. Tämän jälkeen alkaa näkyvän valon aallonpituusalue. Ainoa haittapuoli infrapuna-aaltojen käytössä langattomassa tiedonsiirrossa on sen tarvitsema esteetön näköyhteys lähettimen ja vastaanottimen välillä. Eniten käytetty sovellus infrapuna-aallolle onkin television kaukosäädin.

Mikroaallot ovat sähkömagneettisen spektrin taajuuksia väliltä n. 1–40 GHz. Mikroaaltoja käytetään niin ikään langattomassa tiedonsiirrossa. Mikroaallot tarjoavat suuremman tiedonsiirtokapasiteetin, mitä suuremmille taajuuksille mennään. Sähkömagneettisen spektriin lisäksi radioaallot on jaettu alueisiin taajuuskaistan mukaan. Käytäntö on ollut jakaa taajuuskaistat taulukossa 1 olevan normiston mukaan.

Taulukko 1. Radioaaltojen taajuuskaistajako [1, s. 329]

Alue	Selite	Taajuuskaista
ELF	Extremely Low Frequency	30...3000 Hz
VLF	Very Low Frequency	3...30 kHz
LF	Low Frequency	30...300 kHz
MF	Medium Frequency	0,3...3 MHz
HF	High Frequency	3...30 MHz
VHF	Very High Frequency	30...300 MHz
UHF	Ultra High Frequency	0,3...3 GHz
SHF	Super High Frequency	3...30 GHz
EHF	Extreme High Frequency	30...300 GHz

Vaikka UHF, SHF ja EHF eivät varsinaisesti kuulu radiotaajuuksiin vaan mikroaaltoihin, ne on hyvä pitää mukana luokituksessa. Näillä taajuuksilla on hyvin paljon radiotoimintaa, muun muassa tutkat ja lyhyen kantaman tiedonsiirtoprotokollat toimivat mikroaalloilla.

### 3 RADIOLAITTEEN SÄTEILYN VOIMAKKUUS

Radioaalloilla ei ole vielä todistettu olevan suurta ympäristöä kuormittavaa vaikutusta pienillä säteilyvoimakkuustasoilla, kuten on esimerkiksi infrapuna-aallon aallonpituuksilla. Infrapuna-aaltojen vaikutus havaitaan yleensä lämpönä iholla. Säteilyn aiheuttamia haittoja on tutkittu hyvin paljon kannettavien matkaviestimien osalta. Pienien ympäristövaikutusten vuoksi radioaaltoja voidaan käyttää vapaammin kuin muita sähkömagneettisia aallonpituuksia.

Täsmällisin tapa ilmaista säteilyn voimakkuutta tietyllä etäisyydellä säteilyn lähteestä on ilmoittaa sähkökentän voimakkuuden tehollisarvo. Sähkökentän voimakkuus on  $E$  ja sen yksikkö on  $V/m$ . Yleensä tehot ilmoitetaan  $\mu V/m$ . Tämä ei kuitenkaan ole hyödyllisin tapa ilmoittaa sähkökentän voimakkuutta suunnittelun näkökulmasta. Niinpä säteilyvoimakkuus ilmoitetaan yleisesti EIRP-tasona tai vastaavana ERP-tasona.[2.]

EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) on tehotaso, joka määritellään ideaalisen, tasaisesti joka suuntaan säteilevän antennin mukaan. Ideaalista, pallon muotoisesti joka suuntaan ympärisäteilevää antennia kutsutaan isotrooppiseksi säteilijäksi. Säteilyteho tietyltä etäisyydeltä voidaan laskea kaavalla 2. Tehotasot ilmoitetaan yleisesti desibelimetreinä (dB/m).

$$\text{EIRP(dB/m)} = 10 \log \left( \frac{E^2 * r^2}{0,030[V^2]} \right) \quad (2)$$

ERP (Effective Radiated Power) tehotaso eroaa EIRP arvosta siten, että EIRP ilmoitetaan isotrooppiselle säteilijälle ja ERP puolenaallon dipoli-antenneille. Puolenaallon dipoli-antenni on realistisempi antennimalli, jossa säteily kohdistuu vaakatasossa joka suuntaan. Antennin vahvistus ilmoitetaan yleensä suhteellisena desibelinä isotrooppiseen säteilijään tai suoraan dBi:nä. Maksimivahvistus puolenaallon dipoli-antennille on 2,15 dBi. Tämä tarkoittaa siis sitä, että saman säteilytason aikaan saamiseen puolenaallon dipoli-antenni tarvitsee vähemmän tehoa kuin isotrooppinen antenni. Molemmat säteilytasot ilmaistaan logaritmisella asteikolla dB/m. ERP-taso voidaan siten laskea kaavan 3 avulla. [2.]

$$\text{ERP (dB/m)} = \text{EIRP} - 2,15 \text{ (dB)} \quad (3)$$

#### 4 ISM-TAAJUUSKAISTAT

Tunnetuimpia ja nykyään eniten käytettyjä lyhyen kantaman radiotaajuuskaistoja ovat ISM (Industrial, Scientific and Medical) -yhteistaajuusradiokaistat. Näiden yhteistaajuusradiokaistojen käyttäminen ei vaadi erillistä lupaa[4]. Kuitenkin ISM-radiokaistojen sallitut ERP-tehot ovat rajoitettu valvontaviranomaisten toimesta siten, että signaalien voimakkuudet jäävät vain paikallisiksi.

Jokaiselle taajuuskaistalle kukin maa on eritellyt käyttökohteet ja rajoitukset, joita tulee paikallisesti noudattaa. Seuraavassa on lueteltu eri maiden valvontaviranomaisia: Yhdysvallat - FCC (Federal Communication Commission). Australia - ACA (Australian Communications Authority). Kanada - IC (Industry Canada). Eurooppa - ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Japani - ARIB (Association of Radio Industries and Businesses)

Suomessa valvontaviranomaisena toimii liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa oleva viestintävirasto. Maailman johtava radiotaajuuksien käyttöä säätelevä elin on ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication), jonka suosituksia noudattavat lähes kaikki YK:n jäsenvaltiot. ITU-R on määritellyt ISM-taajuuskaistat maailmanlaajuisesti yleisellä tasolla. Yleensä ilmoitetaan vain keskitaajuus, kanavajako ja maksimi siirtonopeus. ISM-taajuuskaistoista tunnetuimpia ja eniten käytettyjä ovat 2,45 GHz, 915 MHz ja 433 MHz taajuuskaistat. ITU-R määrittelee ISM-keskitaajuuksille sallitut taajuuskaistat. Taulukossa 2 on esitetty kyseiset ISM-taajuuskaistat.

Taulukko 2. ITU-R:n määrittelemät ISM-taajuudet [3.]

<b>Keskitaajuus</b>	<b>Taajuuskaista</b>
6,780 MHz	6,765–6,795 MHz
13,560 MHz	13,553–13,567 MHz
27,120 MHz	26,957–27,283 MHz
40,68 MHz	40,66–40,70 MHz
433,92 MHz	433,05–434,79 MHz
915 MHz	902–928 MHz
2,450 GHz	2,400–2,500 GHz
5,800 GHz	5,725–5,875 GHz
24,125 GHz	24–24,25 GHz
61,25 GHz	61–61,5 GHz
122,5 GHz	122–123 GHz
245 GHz	244–246 GHz

Taulukossa 3 on listattu Suomessa sallittuja ISM-taajuuskaistoja. Taajuudet on eritelty yleisiin lyhyenkantamanradiolaitteisiin.

Taulukko 3. Suomessa sallitut ISM-taajuuskaistat [4.]

Taajuuskaista	Tehotaso	Huomio
26,957–27,283 MHz	≤ 10 mW ERP	Puhe- ja audiosovellukset
40,660–40,790 MHz	≤ 100 mW ERP	
40,660–40,700 MHz	≤ 10 mW ERP	Puhe- ja audiosovellukset
138,200–138,450 MHz	≤ 500 mW ERP	Toimintasuhde ≤ 10 %
433,050–434,790 MHz	≤ 25 mW ERP	Toimintasuhde ≤ 10 %
433,050–434,790 MHz	≤ 1 mW ERP	Toimintasuhteelle ei rajoitusta
434,040–434,790 MHz	≤ 10 mW ERP	Toimintasuhteelle ei rajoitusta
468,200 MHz	≤ 500 mW ERP	kokonaiskaistanleveys enintään 25 kHz
863,000–870,000 MHz	≤ 25 mW ERP	Toimintasuhde ≤ 0,1 % tai soveltuva liikennöinti-protokolla
868,000–868,600 MHz	≤ 25 mW ERP	Toimintasuhde ≤ 0,1 % tai soveltuva liikennöinti-protokolla
868,700–869,200 MHz	≤ 25 mW ERP	Toimintasuhde ≤ 0,1 % tai soveltuva liikennöinti-protokolla
869,400–869,650 MHz	≤ 500 mW ERP	Kanavaväli 25 kHz, toimintasuhde ≤ 10 %
869,700–870,000 MHz	≤ 5 mW ERP	Puhesovellukset, joissa on soveltuva liikennöinti-protokolla
2400,000–2483,500 MHz	≤ 10 mW EIRP	
5725–5875 MHz	≤ 25 mW EIRP	
24,00–24,25 GHz	≤ 100 mW EIRP	
61,00–61,50 GHz	≤ 100 mW EIRP	
122–123 GHz	≤ 100 mW EIRP	
244–246 GHz	≤ 100 mW EIRP	

Viestintävirasto erittelee myös radiotaajuiselle tunnistukselle eli RFID:lle Suomessa sallitut taajuuskaistat. Nämä taajuuskaistat ja sallitut maksimitehot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. RFID-taajuuskaistat Suomessa [4.]

Taajuuskaista	Tehotaso	Huomio
865,000–865,600 MHz	≤ 100 mW ERP	Kanavaväli 200 kHz
865,600–867,600 MHz	≤ 2 W ERP	Kanavaväli 200 kHz
867,600–868,000 MHz	≤ 500 mW ERP	Kanavaväli 200 kHz
865,000–868,000 MHz	≤ 2 W ERP	≤ 2 W ERP lukijalaite
2446,0–2454,0 MHz	≤ 500 mW EIRP	(≤ 4 W EIRP, sisätiloissa, toimintasuhde ≤ 15 %)

## 5 RFID-TEKNIikka

RFID (Radio Frequency Identification) tarkoittaa radiotaajuista tunnistusta. Radiotaajuinen tunnistus juontaa juurensa ensimmäisistä sotilaallisista tunnistustavoista, ja se perustuu 1940-luvun alussa tehtyihin tekniisiin innovaatioihin. RFID:tä käytettiin toisen maailmansodan aikaan tunnistamaan omia lentokoneita vihollisten lentokoneista. Kyseistä tekniikkaa oli tuolloin käytössä liittoutuneilla.

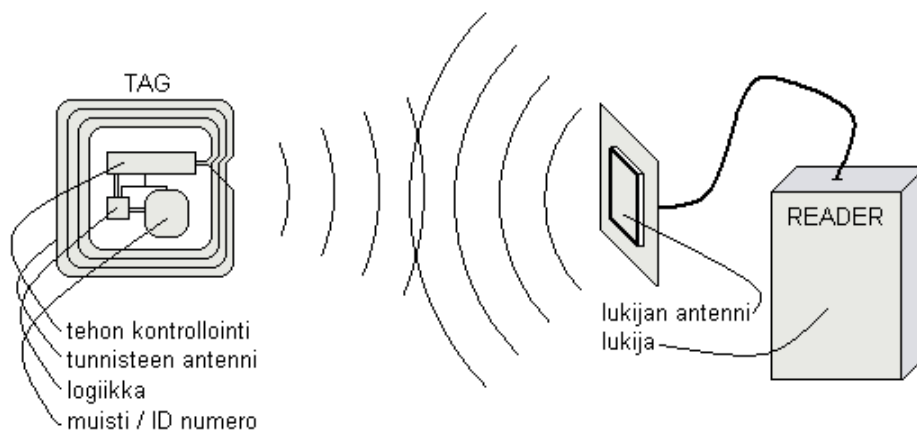
Kaupalliseksi RFID tuli 1980-luvun puolivälissä, jolloin yhdysvaltain hallituksen tutkimusohjelmassa Los Alamosissa kehitettiin aktiivinen RFID-tunniste tietulleihin. Los Alamosissa kehitettiin myös nykyisin tunnettu, 125 kHz:n taajuudella toimiva passiivinen tunnistustekniikka, jota käytetään avainkortissa ja avaimenperissä. Alun perin 125 kHz tekniikkaa käytettiin tunnistamaan ruokailupaikalle tulevia lemmiä. Jos lemmi oli sairas, tuli sen saada tietty määrä tiettyä lääkettä. Ratkaisuna lemmien ihon alle kiinnitettiin passiivinen 125 kHz tunnistete, jolloin sairas lemmi tunnistettiin ja lemmi sai lääkeannoksen ruoan mukana.[5.]

Nykyään on siirrytty enenevässä määrin suurempiin taajuuksiin ja passiivisesta tunnistuksesta aktiiviseen tunnistukseen. RFID-tekniikassa toiminta perustuu tagiin sisällytettyyn tietoon, jota lukijalaitteella luetaan. Suunniteltaessa RFID-tekniikan käyttöä tunnistuksessa täytyy ensin tietää, minkälaisissa olosuhteissa tunnistusta aiotaan käyttää. Lähitunnistuksessa voidaan käyttää passiivisia tunnisteteita, joissa tunnistusetäisyyteen voidaan vaikuttaa rakenteellisilla ominaisuuksilla. Etätunnistuksessa täytyy käyttää aktiivisia tunnisteteita, varsinkin jos tagiin sisällytetyn tiedon määrä on suuri. RFID-sovelluksia käytetään varsin monissa eri kohteissa.

RFID-tunnistukseen vaaditaan vähintään kaksi toimilaitetta, tunnistete ja vastaanotin. Tunnisteteita kutsutaan tageiksi (tag, transponder) ja vastaanottimia kutsutaan lukijoiksi (receiver, reader). Tunnisteteen ja vastaanottimen lisäksi, tarvitaan kumpaankin toimilaitteeseen antenni. Antenneja voidaan pitää ehkä haasteellisimpina komponentteina RFID-tekniikassa, koska tieto siirtyy antennien kautta.

## 5.1 Passiivinen tunnistus

Passiivinen RFID perustuu yksinkertaiseen tagiin ja sen sisällä olevan muistin lukemiseen lähietäisyydeltä lukijalaitteen avulla. Tunnistus perustuu lukijalaitteen tuottaman signaalin moduloimiseen tunnisteen antennin avulla (kuva 2). Tagissa oleva tieto välittyy antennin kautta lukijalaitteeseen. Passiivisissa tageissa ei ole omaa virtalähdettä, joten niissä käyttöenergia joudutaan tuottamaan lukijalaitteen lukusignaalista. Tällöin passiivisten tagien tärkeimmäksi komponentiksi muodostuu antenni. Antennin rakenne passiivisissa tageissa onkin kelan tai käämin muodossa, jossa magneettikenttäinduktio luo käämiin virtaa.



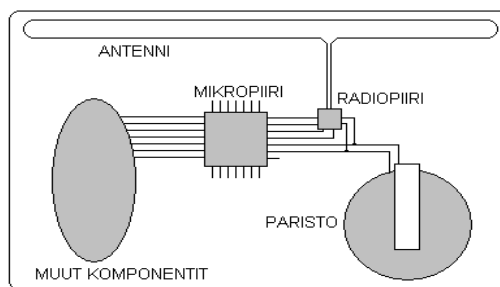
Kuva 2. Passiivisen RFID-tunnistuksen toimintaperiaate [6]

Passiivista RFID-tekniikkaa käytetään ehkä eniten logistiikassa, jossa passiivinen tunnistus on syrjäyttämässä viivakoodijärjestelmää. Koska passiiviset tagit ovat tietopohjaisia toimilaitteita, on niille täytynyt tehdä oma standardi, EPCglobal-standardi (Electronic Product Code). Se määrittelee tavan, kuinka tietoa sisällytetään logistiikassa toimiviin passiivisiin tunnistuksiin. Passiivisten tunnistusten etuna on niiden nopea lukutapahtuma eri logistiikan toimipaikoissa sekä nykyään niiden laskeneet hinnat. Viivakoodijärjestelmä vaatii suoran näköyhteyden tunnistuksen toteutumiseen, kun taas passiivisen tunnisteen lukeminen onnistuu radioaajuuksilla ilman näköyhteyttä. Passiivisten tunnistusten käyttöönotolla logistiikassa on pyritty parempaan tuotteiden seurantaan. Passiivisia tunnistuksia käytetäänkin pääasiassa suurimpien tuote-erien toimitusten yhteydessä. Yksittäisten tuotteiden seurantaan passiivisia tunnistuksia käytetään, jos katsotaan sen tuottavan lisäarvoa tuotteiden seurannassa. Passiivisten tunnistusten käyttökohteita ovat muun muassa materiaalien hallinta, tuoteturvallisuuden

kohteet, kulunvalvonta, ympäristön mittaaminen, maksu- ja luottotietotoiminnot, asiakirjojen tunnistaminen sekä urheilun ajanottaminen. [6.]

## 5.2 Aktiivinen tunnistus

Aktiivinen tunnistus perustuu nimensä mukaisesti aktiiviseen tagiin. Sen toimintaa ei siten ole sidottu suoranaisesti lukijalaitteen toimintaan. Aktiivinen tagi vaatii toimiakseen pariston. Pariston sisällyttäminen aktiiviseen tagiin kasvattaa sen tunnistusmatkaa huomattavasti verrattuna passiivisiin tageihin. Sen lähetysteho voidaan siten nostaa. Rakenteellisesti aktiiviset tagit koostuvat paristosta, mikrokontrollerista, radiolähtimestä ja antennista (kuva 3). Aktiivisen tagin mikrokontrolleriosa on yleensä kehittyneempi kuin passiivisissa tageissa. Se mahdollistaa aktiivisen tagin erilaiset tietojenkäsittely- ja käyttötavat.



Kuva 3. Aktiivisen tagin periaatteellinen rakenne [6]

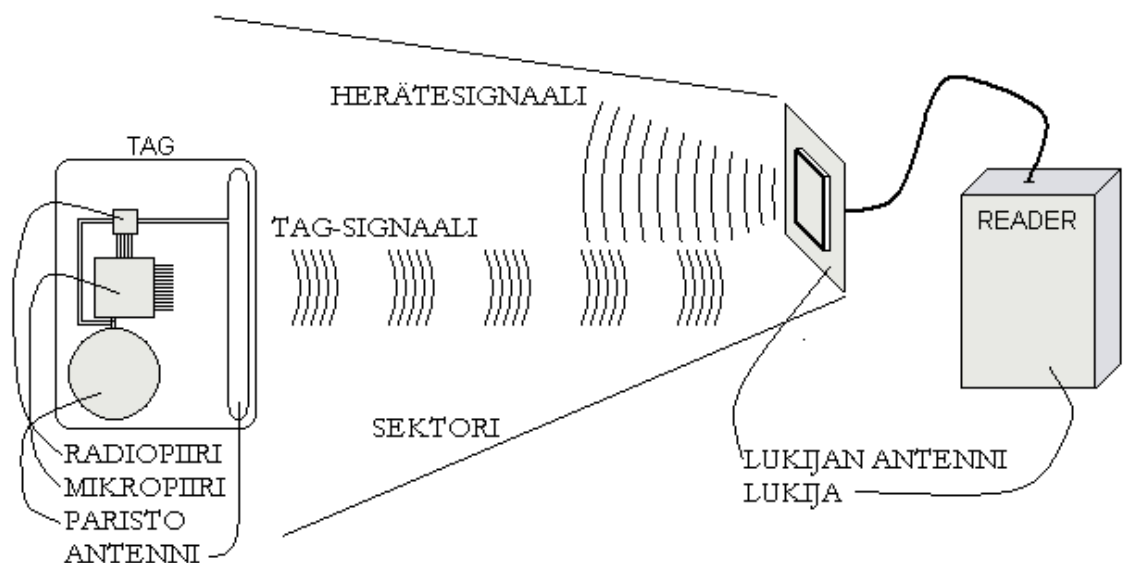
Aktiivisen tagin toimintaa voidaan ohjata lukijalaitteella siten, että tullessaan lukijalaitteen signaalinkantomatkan tuntumaan havaitsee se lukijalaitteen signaalin ja alkaa lähettää omaa tunnustaan. Vaihtoehtoinen tapa on sellainen, että aktiivinen tagi lähettää omaa tunnustaan tietyin väliajoin. Jälkimmäinen vaihtoehto kuluttaa aktiivisen tagin pariston nopeasti, mutta siihen on olemassa energiaa säästäviä keinoja. Yksi keino on nukuttaa tagi siksi ajaksi, jona se ei lähetä tietoa. Ajatellaan, että tagilla kuluu aikaa oman tietonsa lähettämiseen 10  $\mu$ s, joka on suhteellisen lyhyt aika. Se lähettää tietoansa yhden kerran sekunnissa. Aktiivinen tagi on tällöin toiminnassa vain harvoin, jolloin se voidaan nukuttaa tai laittaa odotustilaan. Aktiivisen tagin perustoiminnot ovat tällöin käytössä mikrokontrollerin valvoessa niitä. Tämä tarkoittaa sitä, että mikrokontrollerin ajastustoiminta on käytössä, vaikka kaikki muu toiminta on pois käytöstä. Kun mikrokontrollerin ajastin tulee ajastusajankohtaan, käynnistää se tarvittavat toiminnot tietojensa lähettämiseksi, muutoin se ei tee mitään. Tämä mahdollisuus tulee ottaa



huomioon silloin, kun aktiivisen tunnistuksen järjestelmää aletaan suunnitella. Järjestelmän toimintaperiaate yleensä standardoidaan ainakin yritystasolla, jos järjestelmää ei käytetä globaaleissa aktiivisen tunnistuksen sovelluksissa.

Aktiivisen tunnistuksen käyttötapoja on monia, joihin liittyy erilaisia tiedon lähetyksen ja vastaanoton toimintaperiaatteita. Periaatteessa vastaanotin eli lukijalaite luo antennin avulla ympärilleen sähkömagneettisen kentän, josta se voi havaita tunnisteen.

Lukijalaite voi olla kenttäaktiivinen tai sektoriaktiivinen. Kenttäaktiivisen lukijalaitteen toiminta perustuu ympärisäteilevän antennin vastaanottoon. Tällöin tunniste on luettavissa tunnistusetäisyydellä mistä suunnasta tahansa. Jos lukijalaite on sektoriaktiivinen, luo se vastaanottavan kentän suunta-antennin avulla. Suunta-antenni ei itse vaikuta aktiiviseen tunnisteseen muutoin kuin sektorin kohdistamalla alueella, johon se lähettää herätesignaalia. (kuva 4) Kun tunniste saapuu herätesignaalin vaikutusalueelle, se alkaa lähettää omaa signaalia.



Kuva 4. Aktiivisen tunnistuksen toimintaperiaate.[6]

Aktiivisen tagin haittoina voidaan pitää sen energiankulutusta, kokoa ja käyttöaikaa. Etuihin voidaan lukea sen monipuolinen käyttö eri kohteissa. Aktiivisten tagien käyttö on kuitenkin yleistymässä mikropiirien kehittyessä ja halventuessa.

## 6 TIEDONSIIRTOPROTOKOLLA

Langattoman tiedonsiirron toteutustapoja on pyritty standardisoimaan yhteensopivuuden parantamiseksi. Periaatteena on ollut luoda ISO-OSI-mallin mukainen kerrosarkkitehtuuri, jossa siirrettävä tieto kehystetään kulloinkin käytettävän tiedonsiirtokerroksen mukaan. ISO-OSI-mallin kerrosarkkitehtuurilla oli pyritty mahdollistamaan tiettyjen teknisten sovellusalueiden kehittäminen riippumatta tiedonsiirtotavasta tai sovelluksen toteutustavasta. Sovellukset ovat yleensä toiminnaltaan muuttumattomia, ellei niihin tehdä toiminnallisia käyttötarkoituksia. ISO-OSI-mallin kerrokset on suunniteltu siten, että alemman tason kerrokset palvelevat ylemmän tason kerroksia ja päinvastoin. OSI-mallin kerrosten suunnittelun lähtökohtana on ollut luoda lukumääräisesti rajattu ja yksinkertainen kerrosarkkitehtuuri, jossa kerrokset palvelevat toistensa rajapintoja. Kerrokseen on pyritty kokoamaan samantyyppiset tiedonkäsittelyn operaatiot. Eri kerrosten toiminnot eivät siten saa suoranaisesti vaikuttaa toisiin kerrokseen. OSI-mallin kerrokset on kuvattu taulukossa 5.

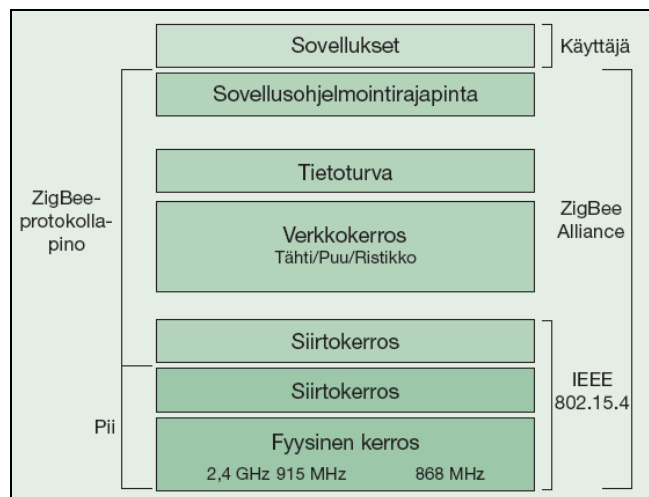
Taulukko 5. ISO-OSI-mallin kerrokset [7]

<b>OSI-mallin kerrokset</b>
7 - Sovelluskerros
6 - Esitystapakerros
5 - Yhteysjaksokerros
4 - Kuljetuskerros
3 - Verkkokerros
2 - Siirtoyhteyserros
1 - Fyysinen kerros

Tyypillisesti tiedonsiirtoprotokollat on tehty OSI-mallin siirtoyhteyserroksen ja fyysisen kerroksen alueille. OSI-mallin fyysinen kerros määrittelee laitekomponentit ja fyysisen rajapinnan. Siirtoyhteyserros määrittelee yhteyden luomisen, purkamisen ja mahdollisesti virheiden korjaamisen. Verkkokerros tarjoaa siirtoyhteyksiä ylemmille kerroksille ja se ei ota kantaa verkon toteutustapaan. Kuljetuskerros ja yhteysjaksokerros huolehtivat tiedonsiirtamisestä verkossa, verkon erilaisissa kuormitustilanteissa. Sovellus- ja esitystapakerros määrittelee tiedonsiirron tieto-osan. Esitystapakerroksessa sovitaan tiedon esitystavasta, ja siinä voidaan piilottaa eri laitteiden arkkitehtuureissa olevia koodaustapoja.

Monessa sovelluksessa on havaittu myös se, että osa OSI-mallin kerroksista on turhia ja ne on ohitettu. Tällaisissa toteutustavoissa sovelluskerroksesta laitetaan tietoa suoraan siirtokerrokseen. Näin on tehty esimerkiksi IEEE 802.15.4 –protokollassa, joka tunnetaan paremmin ZigBee-nimellä.

ZigBee-protokolla on lyhyen kantaman pienitehoinen tiedonsiirto-standardi, jota käytetään lähinnä langattomissa anturiverkoissa. ZigBeen etuna on sen nopea sovelluskehitys, koska ei tarvitse miettiä tiedonsiirron toteutustapaa. Se tarjoaa sovellusohjelmointirajapinnan suoraan tiedonsiirto-protokollaan. ZigBeen toteutustapa käsittelee tiedonsiirron sekä virheiden tarkistuksen siirron aikana. ZigBee-protokolla on määritetty OSI-mallin siirtoyhteyskerroksen ja fyysisen kerroksen alueille. Protokolla on toteutettu suoraan radiopiirin piisiruun. [8] Kuvassa 5 on esitetty ZigBee-protokollapinon rakenne. ZigBee-järjestelmän kehitystä hallitsee ZigBee Alliance, joka vastaa järjestelmän kokonaisvaltaisesta kehityksestä.



Kuva 5. ZigBee-protokollapino [8]

Tässä insinööriyössä mietittiin aluksi vaihtoehtoa toteuttaa langaton ajanottojärjestelmä ZigBee-protokollaan pohjautuen. ZigBee tarjoaa kyllä nopean sovelluskehityksen, mutta tässä tapauksessa ZigBee-järjestelmän käyttö olisi ollut ylimitoitettu tiedonsiirron osalta.

ZigBeen potentiaalisiiin käyttökohteisiin luetaan verkkojärjestelmät. Ajanottojärjestelmän tiedonsiirto pyrittiin tekemään siten, että tiedonsiirto toimii point-to-point-tyyppisesti ja joka on tarkasti määrätty mitä tietoa lähetetään ja minkä radio-moduulin kautta.

## 6.1 Siirtotie

Tiedonsiirrossa siirtotiellä tarkoitetaan konkreettisia käsin kosketeltavia komponentteja ja siirtojohtoja. Siirtotiet jaetaan kahteen pääryhmään. Ne ovat langalliset ja langattomat siirtotiet. Langallisia siirtoteitä ovat sähköjohdot, koaksiaalikaapelit, parikaapelit ja valokuidut. Langattomia siirtoteitä ovat mikroaltoyhteydet, satelliittiyhteydet, radioyhteydet ja infrapunayhteydet. Langattomassa radiosiirtotiessä fyysiseksi komponentiksi muodostuu aina antenni sekä tietoa käsittelevä elektroniikka. Radiosiirtotiessä signaali kulkee ilmassa sähkömagneettisena säteilynä. Antennin tehtävänä on mahdollistaa lähettävässä päässä elektroniikalla tuotetun signaalin mahdollisimman puhdas eteneminen ja vastaanottavassa päässä signaalin vastaanottaminen. [7.]

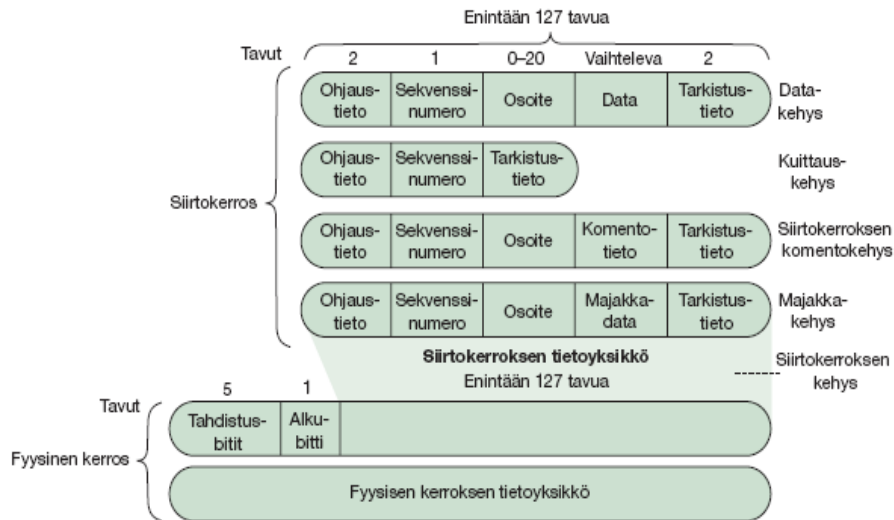
Tässä työssä siirtoteinä toimivat kaksi point-to-point-tyyppisesti kommunikoivaa radiosiirtotietä. Elektroniikkana toimii Tieto-Oskari Oy:n suunnittelemat 2,4 GHz taajuudella ja 433 MHz taajuudella toimivat RF-moduulit. Tagin tunnistuksessa ja ajanottamisessa käytetään 2,4 GHz taajuudella toimivia RF-moduuleita. Ne perustuvat Nordic Semiconductor nRF24L01 -radiopiiriin. Pitemmän kantaman 433 MHz RF-moduuli perustuu RF Monolithics TRC102 -radiopiiriin. Radiopiiri mahdollistaa myös 868 MHz ja 915 MHz taajuusalueiden käytön, mutta radiopiirin datalehti ilmoittaa 433 MHz taajuudella parhaat signaalin arvot. Tätä taajuutta on käytetty myös aikaisemmassa Tieto-Oskari Oy:n kehittämässä sovelluksessa, jossa taajuus on todettu hyväksi tiedonsiirron kannalta.

## 6.2 Kehysrakenne

Protokollatasolla viestiketjua kasvatetaan lisäämällä tarvittavaa informaatiota lähetettävän tiedon ympärille, jotta vastaanottaja löytäisi itselleen kuuluvan tiedon. Tällöin lähettäjän ja vastaanottajan on toimittava saman kaavan eli protokollan mukaan. Protokollalla määrätään viestin kehysrakenne eli mitä tietoja viestin lisäksi siinä on ja missä järjestyksessä.

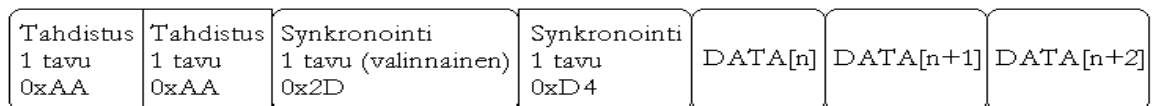
Esimerkkinä ZigBee-protokollan siirtokerroksen kehysrakenteen osat. Siirtokerros koostuu ohjaustiedosta, sekvenssinumerosta, osoitteesta ja tarkistusnumerosta. Lisäksi voidaan käyttää tiettyjä komentoja ja tietosisältöä kehyksen sisällä. Tällainen rakenne helpottaa sovelluskehittäjien työtä jossain määrin, kun ei tarvitse miettiä sitä, kuinka tieto varmennetaan langat-

tomantiedonsiirron yhteydessä. Monissa ZigBee-sovelluksissa protokolla on integroitu elektroniikkaan, jolloin tieto lähetetään ZigBeelle sarjaliikenneyhteyttä hyväksikäyttäen. Sarjaliikenneväylänä on tällöin joko perinteinen sarjaportti tai SPI-väylä. Kuvassa 6 on esitetty ZigBee-protokollapinon kehysrakenne sekä erilaisia kehyksiä.



Kuva 6. ZigBee-protokollapinon kehysrakenne[8]

Ajanottolaitteistossa käytettävässä TRC102-radiopiiriin pohjautuvassa 433 MHz RF-moduulissa fyysisen kerroksen kehysrakenne toteutetaan ohjelmallisesti koodaamalla tahdistusbitit tiedonlähetyksifunktioon. TRC102-radiopiiriin kehysrakenne on kuvan 7 mukainen.



Kuva 7. TRC102-radiopiiriin fyysisen kerroksen kehysrakenne [11]

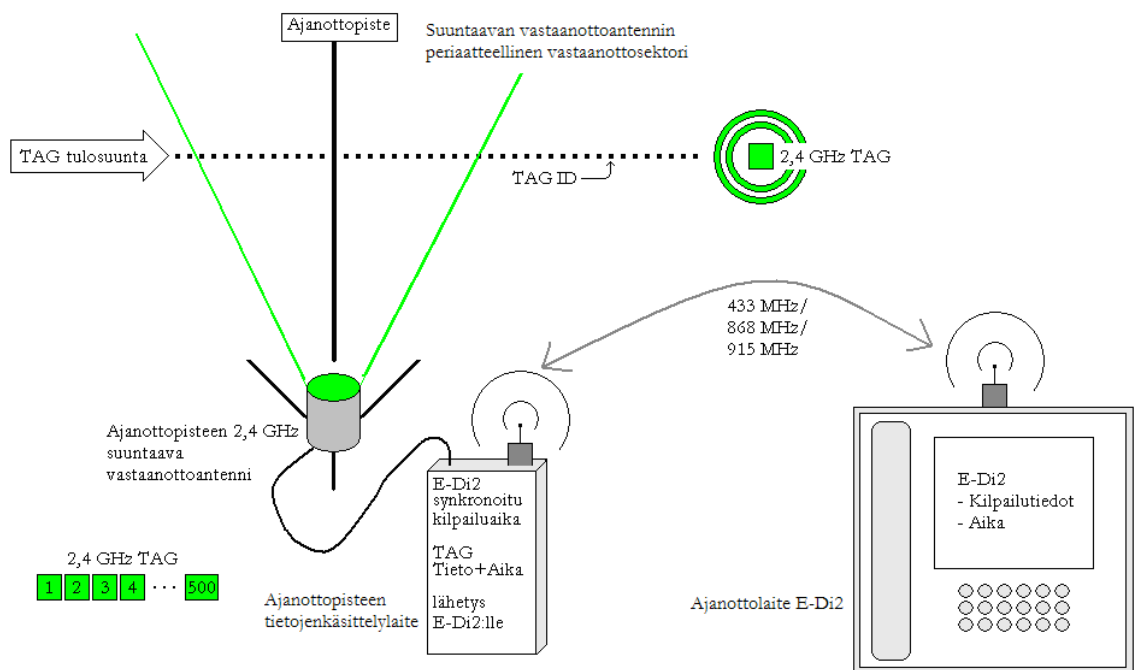
Ajanottamiseen käytetyn nRF24L01-radiopiiriin fyysisen kerroksen kehysrakenne on kuvan 8 mukainen. Siinä DATA sisältää lähetettävän tai vastaanotettavan tiedon. Kehysrakenteen osat kanava, tahdistusbitit, lähde- ja kohdeosoite asetetaan radiopiiriin rekistereihin.



Kuva 8. nRF24L01-radiopiiriin fyysisen kerroksen kehysrakenne [12]

## 7 AJANOTTOLAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE

Kehitettävässä ajanottolaitteistossa hyödynnetään kahden eri taajuuksilla toimivien radion ominaisuuksia ajanottopisteessä. Kuvassa 9 on esitetty ajanottolaitteiston periaatteellinen toiminta. Eritaajuuksilla toimivia radioita käytetään sen takia, ettei laitteistossa tulisi päällekkäisiä toimintoja itse ajanottamisen ja tietojenlähettämisen kanssa. Ajanottolaitteiston päälaitteena toimii E-Di2-laite, johon kaikki ajanottamisen tiedot on tallennettu. E-Di2-laitteessa on reaaliaikakello, josta ajanottopiste saa referenssiajan kymmenen sekunnin välein. Ajanottaminen tapahtuu käyttämällä 2,4 GHz taajuudella toimivia radioita tagissa sekä ajanottopisteessä. Ajanottopisteessä on vastaanottoon tehty suuntaava vastaanottoantenni, jonka vastaanottosektorille tullut tagi tunnistetaan ja aika voidaan ottaa. Tietojen lähetys tapahtuu käyttämällä 433 MHz radioita, joiden signaalin kantomatra hyvissä olosuhteissa voi olla 0 dB/m teholla ja  $\frac{1}{4}$  aallon monopoli-antennilla jopa 600 metriä [9].



Kuva 9. Ajanottolaitteiston periaatteellinen toiminta

Ajanottamisen menetelmä urheilusuorituksen aikana täytyy olla mahdollisimman varmatoiminen ja nopea toimenpide. Ajanottolaitteistossa ajanottaminen ja tunnistus tapahtuvat samalla kerralla. Ajanottamisen toimintaperiaatteena on se, että ajanottopiste kuuntelee koko-

ajan omaa sektoria ja tagi lähettää omaa tunnustaan 80 millisekunnin välein. Ajanottopisteen tarvitsee kuulla tagi vain kaksi kertaa, jotta ajanottaminen onnistuisi ja aika voidaan laskea

## 7.1 Aikakriittisyys

Aikakriittisyys tulee ottaa huomioon silloin, kun puhutaan reaaliaikajärjestelmistä. Reaaliaikajärjestelmä tarkoittaa järjestelmää, jossa tietyt toiminnot tulee suorittaa tietyssä ajassa. Yleensä reaaliaikajärjestelmissä puhutaan syötteistä ja vasteista, jossa syötteeseen tulee reagoida tietyn ajan kuluessa. Hyviä esimerkkejä reaaliaikajärjestelmistä ovat autossa olevat sulautetut laitteet, joiden reaaliaikaisuuden toimimattomuus voi olla katastrofaalista. Esimerkkinä auton turvatyyny tai ABS-jarrut, joilla on kovat reaaliaikavaatimukset. Näissä tapauksissa syötteeseen on vastattava välittömästi.

Aikakriittisyys tulee huomioida myös silloin, jos käytetään protokollaa ajallisesti kriittisissä sovelluksissa. Mikään tiedonsiirtoprotokolla ei takaa ajankäyttöä, mikä näkyy siten, että joskus protokollassa tieto voi mennä nopeasti ja joskus hitaasti. Protokollalla tarkoitetaan siis tiedon kehystämistä tietyin merkein sekä tiedonsiirto- ja varmennuskäytäntöä, jotta oikea tieto tulee oikeaan paikkaan.

Kehitettyyn ajanottosovellukseen on tehty oma matalantason radiotiedonsiirron ohjelmaprotokolla, joka rajaa lähetettävän ja vastaanotettavan tiedon muutamalla tarkkaan valitulla merkkillä. Merkit ja tiedonsiirron koodaustapa on valittu siten, että tietosisältö ja ohjausmerkit eivät sekoitu toisiinsa. Tietosisällössä voi esiintyä mielivaltaisia merkkejä, joten tämäkin asia on otettu huomioon tavassa erottaa ohjausmerkit tietosisällöstä. Näin voidaan varmistaa tiedon oikeellisuus sekä se, ettei periaatteellisia virheitä esiinny. Tämä vaikuttaa myös viestiketjun käyttämään aikaan, jolloin viestien tarkistusten määrää voidaan laskea.

Koska laitteisto on prototyyppi ja kehitykseen käytetty aika on kulunut laitteiston toimintaan saattamiseen, ei viestiketjun lopullista kokonaisaikaa ole ennätetty määrittää. Kuitenkin puhutaan alle 1 millisekunnin vasteesta. Ajanottopisteessä sekä E-Di2-laitteessa käytettyjen RF-moduulien kelloaajuus nostettiin 16 MHz:stä 20 MHz:iin, joka osaltaan vaikuttaa käytettävään aikaan. Laitteiden ja RF-moduulien ohjelmat on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina, kuitenkin unohtamatta niiden todellista käyttötarkoitusta. Lyhyen matkan tun-





## 8 TIETOJENKÄSITTELYLAITE EKO-AIMS E-DI2

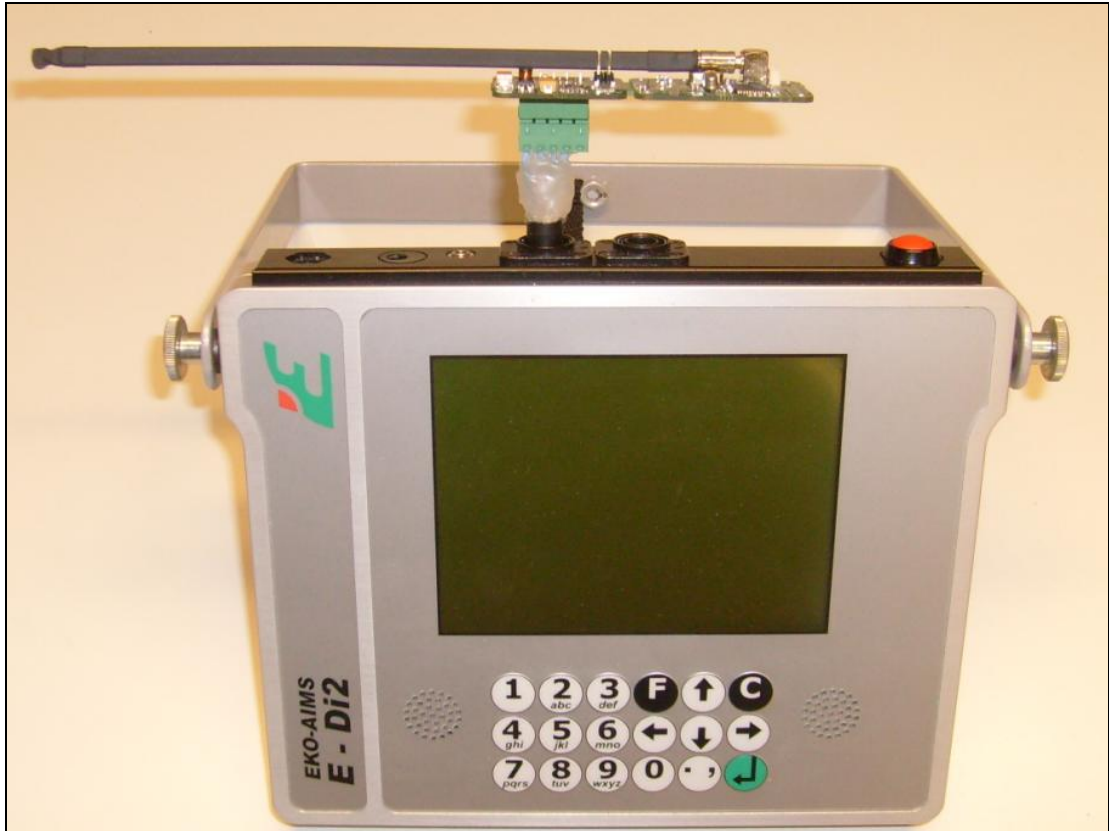
Ajanoton päälaitteena toimii Eko-Aims E-Di2-laite. E-Di2-laitetta ei ole tehty tähän nimenomaiseen ajanottotarkoitukseen, vaan se on ohjelmoitavissa eri sovelluksiin ja käyttötarkoituksiin. Tässä insinööriyössä on hyödynnetty E-Di2-laitteen tarjoamia resursseja.

E-Di2-laitteeseen oli jo aikaisemmin tehty käsin liipaistava ajanotto-sovellus, johon piti lisätä toimintoja automaattisen ajanoton aikaansaamiseksi. Ohjelmaan piti lisätä toimintoja, joka mahdollisesti tietojen lähettämisen ja vastaanottamisen sarjaportin kautta. Sarjaporttiin liitettiin Tieto-Oskari Oy:n suunnittelema RF-moduuli käsittelemään lähetettävää ja vastaanotettavaa tietoa langattomasti. RF-moduulin tietojenkäsittelijänä toimii mikrokontrolleri, jonka SPI-väylään on kytketty RF Monolithics'in TRC102-radiopiiri.

### 8.1 Liitynnät

E-Di2-laitteessa on kolme sarjaporttia, joilla on omat käyttötarkoituksensa. Yhden sarjaportin kautta voidaan E-Di2-laite ohjelmoida. Toisen sarjaportin kautta voidaan siirtää kilpailutietoja PC:ltä E-Di2-laitteeseen ja päinvastoin. Kolmas sarjaportti on varattu tiedonsiirtoon RF-moduulin välityksellä. Kuvassa 11 on E-Di2-laite ja siihen liitetty RF-moduuli.

RF-moduuli kommunikoi E-Di2-laitteen kanssa sarjaportin välityksellä siten, että RF-moduuli ei ota kantaa siihen, mitä viestejä E-Di2-laite lähettää. Tämä tarkoittaa sitä, että RF-moduuli on niin sanotusti näkymätön ajanottopisteelle tai E-Di2-laitteelle. E-Di2-laite määrittelee lähetettävän viestin rakenteen ja lähettää sen sellaisenaan RF-moduulille, joka välittää viestin jälleen ajanottopisteeseen. Vastaavasti ajanottolaitteelta saatava viesti lähetetään muuttumattomana RF-moduulin kautta E-Di2-laitteeseen.



Kuva 11. Eko-Aims E-Di2-laite, jossa 433 MHz RF-moduuli

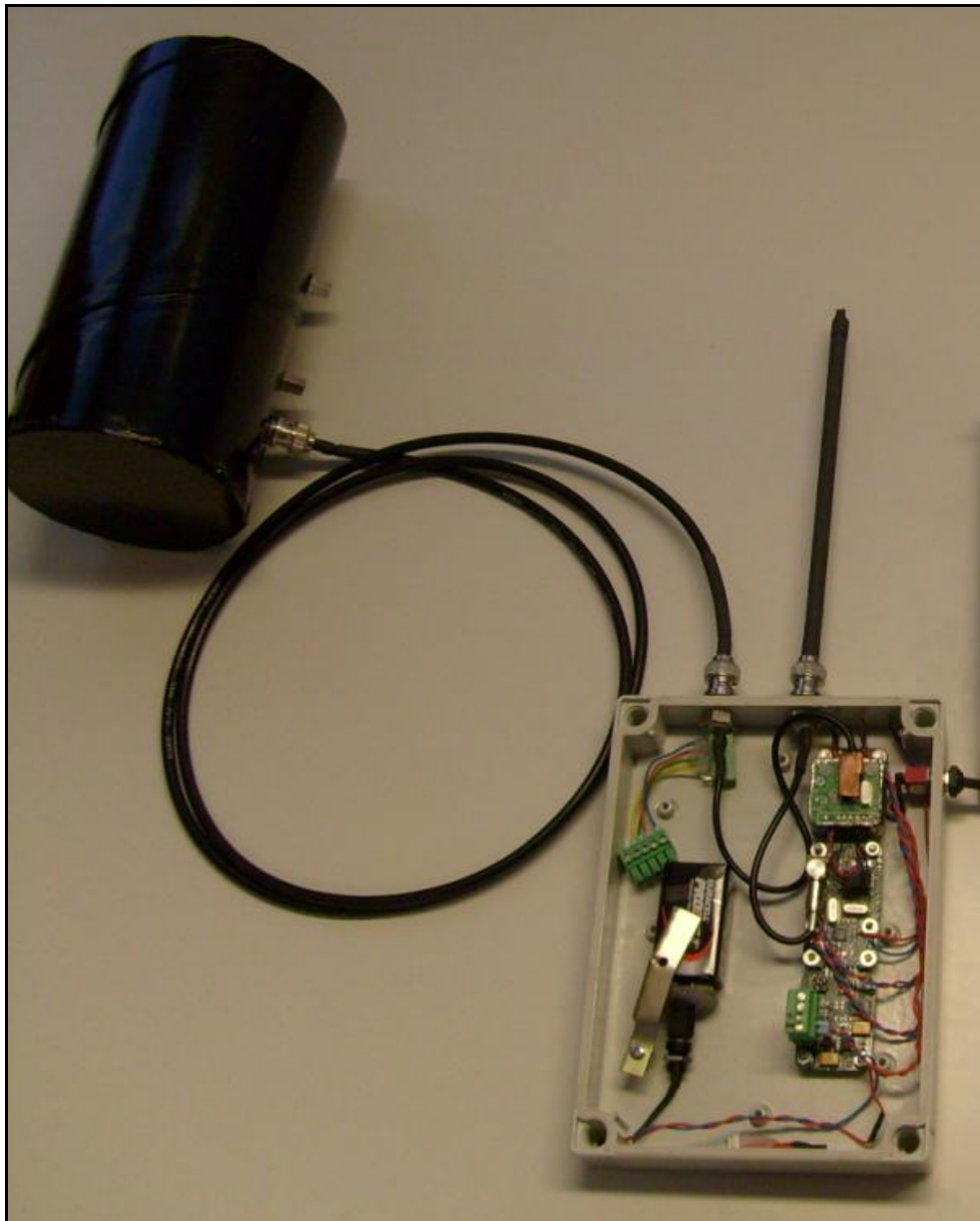
## 8.2 Laitteeseen sisältyvät tiedot ja niiden käsittely

Ennen aikojen ottamista täytyy E-Di2-laitteeseen syöttää lista kilpailijoista sekä tarvittavat kilpailun alkutiedot. Lista tehdään tietokoneella Microsoft Excel -ohjelmalla. Kilpailulistan tiedot tallennetaan CSV-formaattiin. Tämän jälkeen lista ladataan tietokoneen sarjaportin kautta E-Di2-laitteeseen erillisellä ohjelmalla. Aikoja voidaan seurata kilpailun aikana E-Di2-laitteella. Liitteessä 1 on esimerkki Excel-ohjelmalla laaditusta kilpailulistasta, joka ladataan E-Di2-laitteeseen.

E-Di2-laitteella voidaan tarkastella lähtöaikoja, eroaikoja ja väliaikoja. Kilpailutiedot tallentuvat ajanottolaitteen muistiin analysointia ja jatkokäsittelyä varten. Tiedot voidaan lähettää PC:lle samaa sarjaporttia käyttäen kuin millä kilpailulistat ladataan E-Di2-laitteeseen. Liitteessä 2 on esimerkki kilpailun 1 tuloslistasta. Tuloslistaan saadaan maksimissaan kymmenen aikaa kilpailijaa kohden. Listassa on kaksi aikaa tunnisteille, 1 ja 2.

## 9 AJANOTTOPISTE

Ajanottopisteen elektroniikka perustuu samaan RF-moduuliin kuin E-Di2-laitteeseen liitetty TRC102 RF-moduuli (kuva 12). Ainoana erona on se, että siihen täytyi lisätä nRF24L01 RF-moduuli vastaanottamaan tagin lähettämää tietoa. Ajanottopisteessä virtalähteenä käytettiin 9 V:n paristoa.

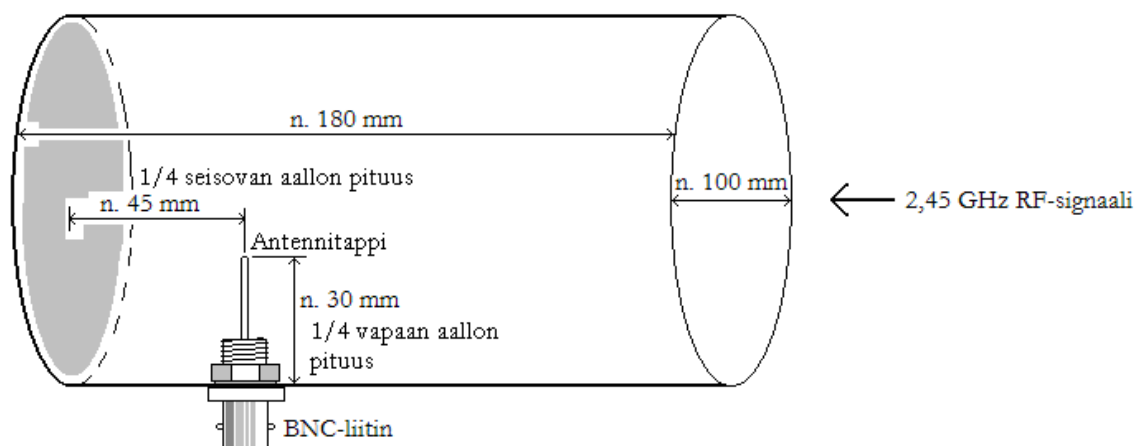


Kuva 12. Ajanottopisteen laitteisto

Kuvassa vasemmalla on 2,4 GHz:n vastaanottoantenni ja oikealla ajanottopiste.

Ajanottopisteen 2,4 GHz:n vastaanottoantennina käytettiin niin sanottua waveguide-antennia eli päätettyä aaltoputkea (kuva 13). Aaltoputkea käytetään mikroaaltoalueen signaalinsiirrossa sen lähes häviöttömän siirtonsa sekä herkkyyden ansiosta. Antennin toimintaperiaate on seisovan aallon antenni, jossa vastaanotettava signaali heijastuu epäjatkuvuuskohdasta eli antennin päästä. Antennia voidaan verrata oikosuljettuun koaksiaalikaapeliin, jossa signaali heijastuu päättymiskohdastaan takaisin. Tuleva ja heijastunut signaali aiheuttaa seisovan aallon törmätessään toisiinsa. Nämä joko vahvistavat tai heikentävät toisiaan katsottaessa signaalia eri etäisyyksiltä päättymiskohdasta.

Materiaalina antennissa käytettiin halkaisijaltaan 100 mm olevaa ilmastointiputkea, joka soveltuu erinomaisesti vaadittavaan rakenteeseen. Ilmastointiputki leikattiin sopivaan määrämittaan ja juotettiin toiseen päähän laippa vaaditulla tavalla. Antennitappi eli sondi tehtiin BNC-liitintä hyväksikäyttämällä ja juottamalla siihen sopivan mittainen johdin. Antennin muu rakenne on maadoitettu ajanottopisteen laitteistoon. Antennin rakenteeseen vaikuttaa kolme eri aallonpituusmittaa. Ensimmäinen on signaalin aallonpituus ilmassa, joka voidaan laskea kohdassa 2 olevalla kaavalla 1. Antennin sisähalkaisija vaikuttaa signaalin alarajataajuuteen, ja seisovan aallon pituus putkessa saadaan näiden kahden funktiona. Mitoituksessa käytettiin hyväksi lähteessä 10 olevaa antennimitoitushjelmaa. Antennin halkaisijan ollessa 100 mm seisovan aallon pituus on tällöin 175,7 mm. Antennin pituus leikattiin tasamittaan 180 mm. Antennitapin etäisyys antennin pohjasta vaikuttaa antennin vahvistukseen, joka on määritetty  $\frac{1}{4}$  seisovan aallon pituudesta. Antennitapin pituus taas on määritetty  $\frac{1}{4}$  vapaassa tilassa kulkevasta signaalin aallonpituudesta. Antennin mitoituksessa yleisesti käytetään aallonpituuden osia, kuten tässäkin antennin mitoituksessa.

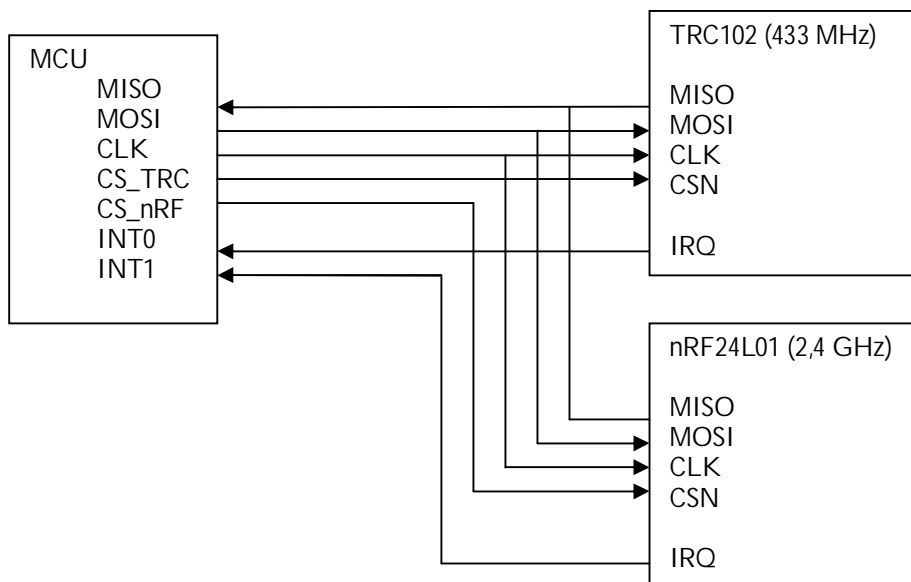


Kuva 13. Aaltoputkiantennin rakenne [10]

## 9.1 Radiot ja tiedon käsittely

Ajanottopisteessä RF-moduuleita ohjataan MCU:lla SPI-väylän kautta. SPI-väylän toiminta perustuu master/slave- eli isäntä/orja-periaatteeseen, jossa isäntä antaa orjalle valtuuksia toimia. MCU on isäntä ja RF-moduulit ovat orjia.

MCU:n toiminta on periaatteellisesti hyvin yksinkertainen. MCU:n tehtävänä on kuunnella radioiden toimintaa ja toteuttaa ajastuksiin liittyviä toimintoja. Radiot on kytketty SPI-väylään rinnakkain, jolloin MCU voi toimia vain yhden radion kanssa kerrallaan. Tämä tarkoittaa sitä, että kun toista käsitellään, joutuu toinen odottamaan kyseisen radion käsittelyruutiinin ajan. Radiot aiheuttavat keskeytyspyynnön IRQ aina silloin, kun radiolla on toimintaa. Radioiden IRQ-nasta on kytketty MCU:n ulkoisiin keskeytysnastoihin INT0 ja INT1, kuten kuva 14 osoittaa. Kun jompikumpi radioista on aiheuttanut keskeytyspyynnön asettamalla IRQ-linjan nolla-aktiiviseksi, asetetaan kyseisen radiopiirin CS-nasta ykkösaktiiviseksi ja rinnakkaisen radiopiirin CS-nasta nolnaan. Tällöin valitaan vain keskeytystä pyytänyt radiopiiri. Kun radiopiiri on valittu, käydään valitun radiopiirin FIFO eli vastaanottopuskuri lukemassa SPI-väylän kautta. Tieto otetaan talteen ja tehdään tarvittavat toimenpiteet, riippuen kumpi radio oli kyseessä.



Kuva 14. Ajanottopisteen kytkennän periaate

## 9.2 Ohjelman kuvaus

Ajanottopisteen tehtävänä on hallita kahden radion tiedonsiirtoa ja ylläpitää E-Di2-laitteelta saatavaa referenssiaikaa. Kuvassa 15 on esitetty ajanottopisteen ohjelma vuokaaviona. Ajanottopisteen MCU sisältää kolme ajastinta, joilla tehdään ajallisesti kriittiset toimenpiteet.

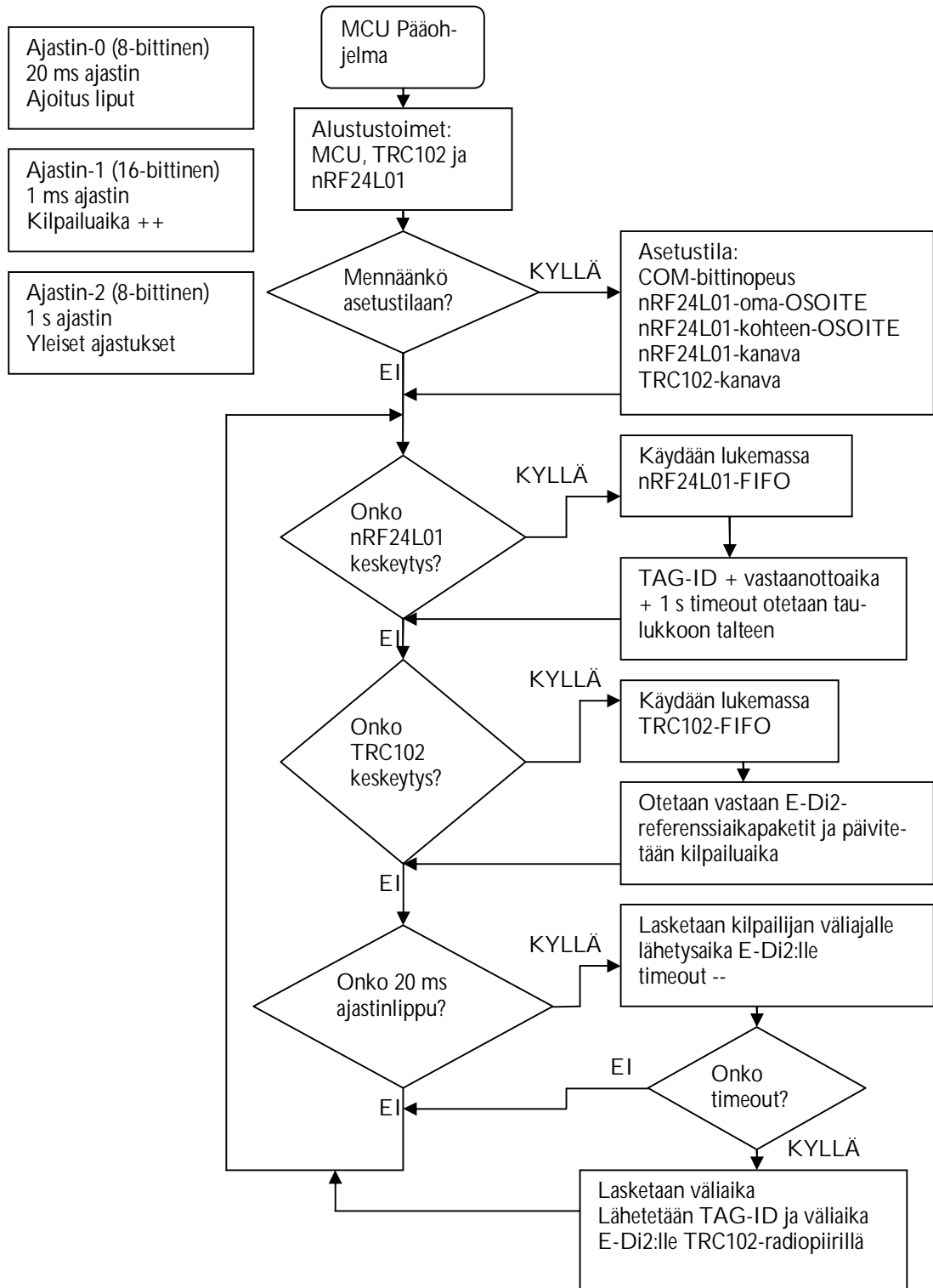
Ajanottopisteen ohjelman toiminta alkaa alustamalla MCU:n porttimääritykset laitteiston määräämiin tiloihin. Alustuksessa määritetään MCU:n porttien pinnien suunnat sekä SPI-väylän, sarjaportin ja ajastimien parametrit.

Seuraavaksi ohjelmassa on mahdollisuus mennä asetustilaan, jos ajanottopiste on kytketty sarjaportin kautta PC:lle. Asetustilaan meno on ajastettu siten, että aikaa on noin 3 sekuntia, muutoin ohjelma alkaa pyöriä ikuisessa silmukassa. Asetustilassa voidaan määrittää sarjaportin eli COM-portin bittinopeus, nRF24L01 RF-moduulin oma- ja kohdeosoite sekä kanava sekä TRC102 RF-moduulin kanava.

Tiedonsiirrossa 433 MHz RF-moduulien radiokanavat täytyy olla samat toiminnan edellyttämiseksi. 2,4 GHz RF-moduulien radiokanavat täytyy olla samat. Tällöin omaosoite on vastapuolen kohdeosoite ja vastapuolen kohdeosoite on omaosoite.

Asetustilan jälkeen ohjelma alkaa pyöriä ikuisessa silmukassa pollaten radiopiirien keskeytysnastoja ja tehden ajastettuja toimintoja. MCU:n keskeytysnastoja ei ohjelmoitu tuottamaan radiopiirien aiheuttamia ulkoisia keskeytyksiä, koska havaittiin, että ohjelma jää jumiin keskeytykseen. Tämä sen takia, kun radiopiirin FIFOa ei voitu lukea, koska ohjelma aiheutti koko ajan samaa keskeytystä. Tällöin havaittiin, että pollaamalla keskeytysnastaa voitiin välittömästi radiopiirin palvelurutiini suorittaa pääohjelmassa.

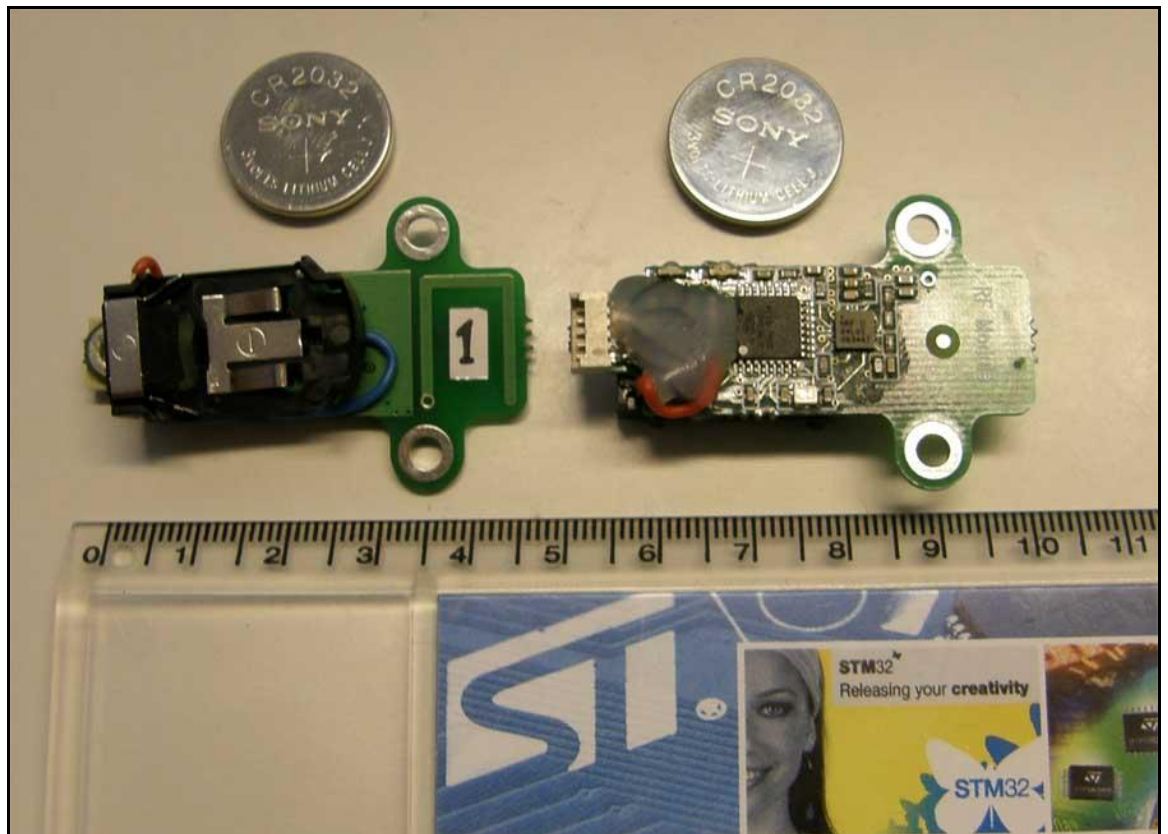
Kun nRF24L01 RF-moduuli aiheuttaa keskeytyksen ja ohjelma alkaa suorittaa keskeytysrutiinia, luetaan nRF24L01-radiopiirin FIFO:sta TAG ID ja asetetaan sille aika, jota 1 ms ajastin laskee. Ajastin saa referenssiajan E-Di2-laitteelta. Jos ajanottopiste ei saa yhteen sekuntiin kyseistä TAG ID:tä, lasketaan kyseiselle TAG ID:lle väliaika ensimmäisen ja viimeisen kuulun ajan perusteella. Tämän jälkeen lähetetään TAG ID ja aika E-Di2-laitteelle.



Kuva 15. Ajanottopisteen ohjelman vuokaavio

## 10 TAG RF-MODUULI

Tunnisteena käytettiin Tieto-Oskari Oy:n suunnittelemia RF-moduuleita, jotka sisältävät MCU:n ja siihen SPI-väylän kautta liitetyn nRF24L01-radiopiirin. TAG RF-moduuliin liitettiin ohjelmointia varten liitin sekä 3,3 V nappiparistolle tarkoitettu patterin pidike. Kuvassa 16 on TAG RF-moduuli kuvattu kummaltakin puolelta.



Kuva 16. TAG RF-moduuli

### 10.1 Toiminta

Tagin toiminta perustuu MCU:hun ja C-kielellä tehtyyn ohjelmaan. Ohjelman toimintaperiaate on samankaltainen kuin ajanottopisteessä, kuitenkin paljon suppeampana. Tagissa voidaan asetustilassa asettaa oma ja kohteen osoite, COM-bittinopeus ja maksimissaan kolmenumeroinen TAG ID. NRF24L01 RF-moduulin parametrit asetetaan ohjelmallisesti kirjoittamalla tiedot radiopiiriin rekistereihin. Rekistereihin asetetut arvot määräävät koko radiopiiri-



rin toiminnan. Rekistereitä on 30, joista 27:ään voidaan asettaa toimintaa sääteleviä parametreja. Tärkeimpiä toimintaan vaikuttavia parametreja ovat keskeytyksiin, osoitteisiin, tiedonkäsitteilyyn ja radiosiirottiehen liittyvät parametrit.

Radiopiirin lähetysteho voidaan asettaa neljään eri tilaan, jotka ovat pienimmästä alkaen -18 dBm, -12 dBm, -6 dBm sekä 0 dBm. TAG RF-moduulissa käytettiin -18 dBm lähetystehoa, jolle ilmoitetaan radiopiirin datalehdessä myös pienin virrankulutus 7,0 mA. Koska TAG RF-moduuli on mikrokontrolleriin perustuva aktiivinen toimilaite, voidaan sen loogista toimintaa säädellä lähes rajattomasti. Kuitenkin tulee ottaa huomioon mikrokontrollerin ja radiopiirin rajoitukset.

MCU:n tärkeimpänä rajoittavana tekijänä on sen rajallinen muistinmäärä, jos puhutaan todella laajasta ja monipuolisesta sovelluksesta. NRF24L01-radiopiirillä ei juuri rajoittavia tekijöitä ole. Se mahdollistaa todella monipuolisen langattomien laitteiden sovelluskehityksen. Yleisesti juuri kyseisessä tunnisteikäytössä nRF24L01 RF-moduulin käyttöä rajoittaa virrankulutus, kun käytetään 3,3 V nappiparistoa. TAG RF-moduulin toiminnallinen virrankulutus jäi kuitenkin noin 8 mA tasolle.

## 10.2 Saatava tieto ja sen tarkoitus

Tagin toiminta suunniteltiin siten, että tagin tunnistenumero olisi urheilijan kilpailussa käytämä numero. Tarkoituksena oli se, että tunnisteiden tunnistenumero on sidottu kilpailulistaan ja tunnistaminen onnistuu samalla kerralla ajanottamisen yhteydessä. Pitemmälle kehitetyssä järjestelmässä tunnisteiden numerona voisi käyttää vaikka kilpailijan kilpailulisenssin numeroa.

Tag RF-moduuli ohjelmoitiin lähettämään tunnistenumeroa 80 millisekunnin välein. Kuten yleisesti aktiivisissa tunnisteissa käytetään lukijalaitteen signaalia hyödyksi tunnisteiden herättämiseen, tässä sovelluksessa tagi toimii ajastetusti, jolloin lukijalaitteen 2,4 GHz:n radiolla ei ole lähetysvelvollisuutta. Tämä parantaa ajanottopisteen toimintavarmuutta tilanteessa, jossa usea kilpailija tulee yhtä aikaa ajanottopisteeseen. Vaikka järjestelmässä ajallinen tarkkuus on millisekunnin luokkaa, määrää tagin lähetyssekvenssi ajanottamisen lopullisen tarkkuuden.

## 11 TESTAUS

Laitteistoa testattiin lohko kerrallaan koko kehitysprosessin ajan. Aluksi testattiin E-Di2-laitteen sarjaportin toiminta. E-Di2-laite ohjelmoitiin lähettämään sarjaportin kautta referenssiaikaa. Samalla ohjelmoitiin merkkien vastaanotto sarjaportin kautta. E-Di2-laitteen sarjaporttina oli se sarjaportti, johon RF-moduuli kytkettiin. E-Di2 kytkettiin PC:n sarjaporttiin sarjakaapelilla ja alettiin kommunikoida sarjaporttien välityksellä. Viestit toimivat kumpaankin suuntaan bittinopeuden ollessa 9600 bittiä/sekunti. PC-ohjelmana toimi Tieto-Oskari Oy:ssä tehty TOCOMM32-ohjelma.

Seuraavaksi testattiin nRF24L01 RF-moduulien välinen langaton tiedonsiirto. TAG RF-moduuli ohjelmoitiin lähettämään omaa ID-tunnusta 80 millisekunnin välein. Toinen nRF24L01 RF-moduuli ohjelmoitiin vastaanottamaan viestejä. Tämän jälkeen vastaanottava RF-moduuli kytkettiin PC:n sarjaporttiin vastaanottamaan lähetettyä ID-tunnusta. Tiedonsiirto toimi, ID-tunnusta alkoi tulostua TOCOMM32-ohjelmaan.

TRC102 RF-moduulit testattiin ohjelmoimalla RF-moduulit vastaamaan toisiaan. Ohjelma toimi siten, että radiot lähettivät ja vastaanottivat merkkejä radion yli. Tämän jälkeen kytkettiin kumpikin RF-moduuli PC:n sarjaportteihin. Langaton tiedonsiirto aloitettiin lähettämällä merkkejä RF-moduulilta toiselle TOCOMM32-ohjelmalla. Vastaanottavan pään ohjelmaan tuli lähettävän pään merkit ja päinvastoin, jolloin todettiin, että tiedonsiirto toimii 433 MHz RF-moduulien kautta.

Kun tiedonsiirron radiosiirtotiet oli saatu testattua lohkokatasolla, alettiin järjestelmää koota itsenäisiksi toimintalohkoiksi, lähinnä ajanottopisteen ja E-Di2-laitteen RF-moduulin osalta. Ajanottopisteen MCU:n SPI-väylään liitettiin nRF24L01 RF-moduuli ja ohjelmoitiin ajanottopiste toimintakuntoiseksi. Alussa ongelmaksi tuli RF-moduulien vuoroittainen toiminta MCU:lla. RF-moduulit toimivat alussa siten, että vain toinen toimi. Kun toimimattomaan lohkoon tehtiin muutos, toinen RF-moduuleista meni toimimattomaksi. Ongelmana oli keskeytysten käyttö radiopiirien yhteydessä, jolloin ohjelma ei päässyt lukemaan kyseisen radiopiirin vastaanottopuskuria eli FIFOa. Kun RF-moduulien keskeytys käsittely siirrettiin pääohjelmaan, jossa radiopiirien keskeytykset pollattiin ja samalla suoritettiin keskeytysrutiini, ongelmaa ei enää esiintynyt.

Ajanottopisteen toimintaa testattiin aluksi sisätiloissa kummankin RF-moduulin osalta. Signaalit toimivat lähes moitteettomasti. Testattaessa 2,4 GHz vastaanottoantennin vastaanottosektoria havaittiin, että vastaanottosektori oli epämääräinen. Havaittiin sisätiloissa olevan paljon heijastavia pintoja, jotka vaikuttivat lähettävän tagin signaalin etenemiseen epäedullisesti vastaanottavan antennin kannalta.

Testattaessa avoimessa tilassa 2,4 GHz vastaanottoantennia havainnot alkoivat olla lupaavia. Koska TAG RF-moduulin lähetysteho oli asetettu minimiin, tiedettiin, että tunnistusetäisyys ei olisi kovin suuri. Tärkeämpänä tietona oli vastaanottoantennin vastaanottosektorin määrittäminen.

Tagin tunnistukseen käytetyn vastaanottoantennin kohtisuora tunnistusetäisyys oli noin neljän metrin luokkaa, johon vaikutti suuresti tagin asento. Tunnistetta liikuteltiin eri asennoissa oletetussa vastaanottokentässä, jolloin vastaanottoalue alkoi määrittäytyä. Indikaattorina oli led, joka vilkkui ajanottopisteessä, kun tunniste oli vastaanottoalueella. Liitteessä 3 on havaintoihin perustuva vastaanottoantennin vastaanottosektori. Vastaanottosektoriksi varmistui noin 90 asteen alue, säteen ollessa noin kaksi metriä. Tämä oli odotettu tulos, jos ajatellaan laitteen toimintaperiaatetta. Tässä sovelluksessa kuitenkin tulee ottaa huomioon se seikka, että ajanottamisen toimintaperiaate on puhtaasti matemaattinen. Kilpailijan aika väliaikapisteellä lasketaan siis ensimmäisen ja viimeisen kuullun ajan perusteella, ajanottopisteen vastaanottoantennin sektorilta.

## 12 ANALYSOINTIA TYÖN TOTEUTTAMISESTA

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin radiotaajuiseen tunnistukseen perustuva langaton ajanottolaitteisto. Liitteessä 4 on kuvattu ajanottolaitteiston laitteistokokonaisuus. Työ oli todella vaativa, johtuen laitteiston monista erillisesti kehitettävistä osa-alueista. Laitteiston toimintaan saattamiseksi kehityksen kohteina olivat E-Di2-laitteen ohjelma, E-Di2-laitteeseen liitettävä RF-moduulin ja sen ohjelma, ajanottopisteen elektroniikan muutokset, vastaanottoantenni, ajanottopisteen ohjelma sekä TAG RF-moduulin ohjelma. Kaikkien osa-alueiden kattavaan läpikäymiseen yksi insinöörityö ei riittäisi, joten tässä työssä kuvattiin laitteiston toiminta pääpiirteittäin.

Ennen kuin laitteistoa alettiin kehittää, mietittiin vaihtoehtoja radiosiirotien rakenteeseen. Yhtenä vaihtoehtona oli ZigBee-protokollan käyttö, joka hylättiin sen ylimitoituksen takia tähän sovellukseen. Työssä voitiin hyödyntää Tieto-Oskari Oy:n suunnittelemia RF-moduuleita, joihin sovelluspohjaa oli jo ennestään kehitetty. RF-moduuleihin tehtyjä ohjelmia jouduttiin muuttamaan halutunlaisen toiminnan aikaansaamiseksi. Elektroniikkaa kehitettiin käytännössä vain ajanottopisteen osalta, johon liitettiin 2,4 GHz:n nRF24L01-radiopiiri MCU:n SPI-väylään. Työn toteutus oli todella vapaata ja itsenäistä, mutta Tieto-Oskari Oy:n henkilökunta auttoi tarpeen vaatiessa.

Radiopiirien käsittely mikrokontrollereilla oli itsellekin uusi aihealue, joten perusteista jouduttiin lähtemään liikkeelle. Työn aikana kokemusta karttui radiopiirien käytöstä langattoman tiedonsiirron sovelluksissa sekä mikrokontrollereiden käytöstä tiedonsiirrossa yleisesti. Mikrokontrollereiden ohjelmointi sekä radiopiirien parametrien asettaminen havaittiin tarkkuutta vaativaksi toimenpiteeksi. Tämä näkyi työn kehitysvaiheissa siten, että jokainen koodattu lisätoiminto aiheutti muutoksia alkuperäiseen koodiin ja siten laitteiston toimimattomuuden. Kehitystyön aikana ajankäyttö painottui tehtyjen muutosten jälkeisiin virheiden etsimiseen ja korjaamiseen, jotka kuitenkin vähenivät työn edetessä. Työssä tärkeimmäksi ja sen myötä työhön eniten vaikuttavaksi asiaksi tuli mikrokontrollereiden ohjelmointi sekä radiopiirien parametrien asettaminen radiopiirien rekistereihin. Ajanottolaitteiston toiminnan kokonaisvaltainen hallitseminen jäi kuitenkin vajaaksi, koska ei ennätetty määrittää tarkasti ajanottolaitteiston käyttämää aikaa viestiketjussa. Ajanottopisteen kehitystyön tavoitteet kuitenkin saavutettiin ja langaton viestiketju saatiin toimimaan halutulla tavalla.

## 13 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tavoitteena oli kehittää radiotaajuiseen tunnistukseen perustuva automaattinen ja langaton ajanottolaitteisto. Ajanottolaitteena käytettiin Suomen Biathlon Oy:n ja Tieto-Oskari Oy:n yhteistyössä suunnittelemaa E-Di2-laitetta. E-Di2-laitteeseen oli tehty manuaalisesti toimiva ajanottosovellus, jonka ongelmaksi muodostui usean kilpailijan yhtäaikainen ajanottaminen.

Työssä perehdyttiin langattoman tiedonsiirron ja radiotaajuisten tunnistuksen periaatteisiin ja toteutustapoihin. Työssä käydään läpi passiivisen ja aktiivisen tunnistuksen toimintaa. Aihealueena työn teoreettinen kokonaisuus oli laaja ja sitä joutui rajaamaan aika voimakkaasti.

Ajanottolaitteiston periaatteena oli saada siitä mahdollisimman kevyt ja yksinkertainen, unohtamatta sen käyttöön liittyviä vaatimuksia. Ajanottolaitteistossa hyödynnettiin Tieto-Oskari Oy:ssä suunniteltuja kahden tyyppisiä, 433 MHz:n ja 2,4 GHz:n taajuudella toimivia RF-moduuleita. 433 MHz:n TRC102-radiopiiriin perustuvaa RF-moduulia käytettiin pitemmän matkan radiosiirtotienä. Tunnistuksessa ja ajanottamisessa käytettiin 2,4 GHz:n taajuudella toimivia nRF24L01-radiopiiriin perustuvia RF-moduuleita. Ajanottolaitteistosta tehtiin prototyyppi, johon kuuluu kolme itsenäistä laitetta, TAG RF-moduuli, ajanottopiste ja ajanottolaitte E-Di2. Ajanottopisteessä tuli lisäksi tutkia 2,4 GHz:n taajuudella toimivia suuntaavia vastaanottoantenneja. Suuntaavaksi vastaanottoantenniksi valittiin aaltoputken teorian perustuva antennityyppi.

Työssä tutustuttiin ZigBee-protokollassa käytettyyn tiedon kehystämisen ja todennusmenetelmään ja verrattiin sitä radiopiireissä käytettyihin OSI-mallin fyysisen kerroksen menetelmiin. Langattoman tiedonsiirron varmentamiseksi tehtiin radiosiirtotielle oma yksinkertainen tiedon kehystämisen ja varmennusmenetelmä. Siinä kahdeksanbittisen tavun ylintä bittiä käytetään merkitsemään, onko kyseessä tieto- vai ohjausmerkki. Ajanottolaitteiston laitteiden väliseen kommunikointiin tehtiin C-kieliset ohjelmat, jotka ohjelmoitiin mikrokontrollereille. Ajanottopisteen kehitystyön tavoitteet saavutettiin ja laitteiden välinen langaton viestiketju saatiin toimimaan halutulla tavalla.

## LÄHTEET

- 1 Inkinen, P. Manninen, R. Tuohi, J. Momentti 2 Insinööri fysiikka. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2003, ISBN 951-1-18457-1
- 2 Matthe Loy, Raju Karingattil, Louis Williams. ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview, [www-dokumentti]  
<http://focus.ti.com.cn/cn/lit/an/swra048/swra048.pdf> (Luettu 15.3.2009)
- 3 ISM-taajuusalue, [www-dokumentti] <http://fi.wikipedia.org/wiki/ISM-taajuusalue>  
(Luettu 16.3.2009)
- 4 Määräys 15Y/2008, Luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistaajuuksista ja käytöstä, [pdf-dokumentti]  
<http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5DfHIU2rt/viestintavirasto15Y2008M.pdf> (Luettu 16.3.2009)
- 5 Syed Ahson, Mohammad Ilyas, RFID HANDBOOK Applications, Technology, Security, and Privacy. CRC Press 2008, ISBN-13 978-1-4200-5499-6
- 6 Sandip Lahiri, RFID Sourcebook. Prentice Hall PTR 2005, ISBN: 0-13-185137-3
- 7 Granlund Kaj, Tietoliikenne, WSOY 2007, ISBN 9789510328217
- 8 Krister Wikström, ZigBee tuotteistuu, Prosessori, 1/2005, s.26–30
- 9 TRC102-radiopiirin testausraportti [pdf-dokumentti]  
<http://www.trt.ru/products/rfm/notes/TRC102%20Range%20Test.pdf> (Luettu 20.3.2009)
- 10 Palomäki, M. Wlan antenna Waveguide type. viimeksi muutettu 29.9.2002 [www-dokumentti] <http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html> (Luettu 16.3.2009)
- 11 TRC102-radiopiirin datalehti [pdf-dokumentti]  
<http://www.rfm.com/products/data/trc102.pdf> (Luettu 20.3.2009)

- 12 nRF24L01-radiopiirin datalehti [pdf-dokumentti]  
[http://www.nordicsemi.com/files/Product/data\\_sheet/nRF24L01\\_Product\\_Specification\\_v2\\_0.pdf](http://www.nordicsemi.com/files/Product/data_sheet/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf) (Luettu 20.3.2009)

## LIITTEET

LIITE 1: Kilpailulista esimerkki

LIITE 2: Tuloslista esimerkki

LIITE 3: Ajanottopisteen antennin vastaanottoalue

LIITE 4: Ajanottopisteen laitteistokokoonpano







