

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Jukka Mäkiharju

**RFID-TEKNOLOGIA MATRIX MULTIMEDIA -OPETUSSARJASSA**

Työn ohjaaja: Kaj Sundström

Tampere 2009

Mäkiharju, Jukka

RFID-teknologia Matrix Multimedia -  
opetussarjassa

Tutkintotyö  
Työn ohjaaja

30 sivua, 14 liitesivua  
Lehtori Kaj Sundström

Kesäkuu 2009

## TIIVISTELMÄ

Tässä työssä perehdytään RFID-teknologiaan ja kuinka sitä käytetään Matrix Multimedian ohjelmointilaitteessa.

Aluksi käydään lyhyesti läpi RFID:n historiaa ja toisessa osiossa esitellään RFID:n toimintaperiaatteet. Toimintaperiaatteiden ohessa paneudutaan RFID:n signalointi- ja modulaatiotapoihin. Tämän jälkeen esitellään lyhyesti passiiviset, puolipassiiviset ja aktiiviset tunnisteet.

Perusteiden jälkeen tutustutaan tarkemmin Matrix Multimedian ohjelmointilaitteeseen ja PIC-mikrokontrollerin ohjelmointiin Flowcode-ohjelmalla. Tätä varten kirjoitettiin esimerkkiohjelma RFID-laitteelle. Esimerkkiohjelmassa tarkastellaan miten kortin UID luetaan ja miten tunnisteen muistiin voidaan kirjoittaa informaatiota haluttuun muistilohkoon ja miten tätä luetaan. Luku- ja kirjoitusoperaatioita tarkastellaan sekä ICODE:n, että Mifaren tunnisteilla.

Lopuksi tarkastellaan miltä RFID-lukijalaitteen antennista spektrianalysaattorilla mitatut spektrikuvat näyttävät. Mittaukset tehtiin ilman korttia ja kun kortti on havaittu. Tämän jälkeen tehdään yhteenveto työstä.

Mäkiharju, Jukka

RFID-technology and Matrix Multimedia -  
multiprogrammer

Thesis  
Thesis Supervisor

30 pages, 14 appendices  
Lecturer Kaj Sundström

June 2009

## **ABSTRACT**

This thesis is about RFID-technology and how it is used with Matrix Multimedia - multiprogrammer.

First the history of RFID is briefly looked over and in the second section basic operating principles of RFID are introduced. Operating principles also involve signaling and modulating methods used with RFID. After this passive, semi-passive and active tags are briefly introduced.

Third section examines the Matrix Multimedia -multiprogrammer and programming the PIC-microcontroller using Flowcode. For this section an example program was written for the RFID device.

The example program examines how tag's UID is read and how a specific block of it's memory can be written and read. Operations regarding reading and writing in tag's memory are studied with tags supplied by ICODE and Mifare.

Finally measurements taken with a spectrum analyzer from the reader's antenna are studied. Measurements were taken with and without a tag in the reader antenna's electromagnetic field. After this a summary of the thesis is made.

## **ALKUSANAT**

Tämä työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle koulutuspäällikkö Ari Rantalan pyynnöstä.

Haluan kiittää laboratorioinsinööri Seppo Mäkelää laitteiden toimittamisesta.

Tampereella 11.6.2009

Jukka Mäkiharju

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ALKUSANAT</b> .....	<b>III</b>
<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b> .....	<b>V</b>
<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. RFID:N HISTORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. RFID:N TOIMINNAN PERIAATTEET</b> .....	<b>4</b>
3.1 SIGNALOINTITAVAT .....	6
3.1.1 A-tyyppin signalointi .....	6
3.1.2 B-tyyppin signalointi .....	9
3.1.3 Apukanta-aallon modulaatio .....	10
3.2 RFID-TUNNISTEET .....	11
3.2.1 Passiiviset tunnistheet .....	11
3.2.2 Puolipassiiviset tunnistheet .....	12
3.2.3 Aktiiviset tunnistheet .....	12
<b>4. MATRIX MULTIMEDIA-KEHITYSALUSTA</b> .....	<b>13</b>
4.1 RFID TÄLLÄ ALUSTALLA .....	14
4.1.1 RFID-lisäosa .....	14
4.1.2 ICODE .....	16
4.1.3 Mifare .....	18
4.2 FLOWCODE-OHJELMOINTI .....	21
4.2.1 ICODE .....	24
4.2.2 Mifare .....	24
4.3 LUKIJALAITTEEN ANTENNISTA MITATUT SPEKTRIT .....	24
4.3.1 ICODE .....	24
4.3.2 Mifare .....	27
<b>5. YHTEENVETO</b> .....	<b>29</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>30</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET

RFID	Radio frequency identificartion
OOK	On-off keying
ASK	Amplitude-shift-keying
NRZ	Non-return-to-zero
BPSK	Binary phase-shift keying
NRZ-L	Non-return-to-zero-level
PIC	Peripheral Interface Controller. (Mikrokontrolleri)
UID	Unique Identification number. (Tunnistenumero)

## 1. JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on perehtyä RFID-tekniikkaan ja sen soveltamiseen Matrix Multimedia-opetusjärjestelmässä. Työssä käydään lyhyesti läpi RFID:n historiaa ja käyttökohteita sekä selvitetään toimintaperiaatteet. Toimintaperiaatteiden yhteydessä selvitetään muun muassa miten signaalointi tapahtuu tunnisteen ja lukijalaitteen välillä.

Työssä käytetään Matrix Multimedian kehittämää opetuskäyttöön tarkoitettua ohjelmointialustaa ja siihen sarjaportilla liitettäviä lisälaitteita. Tästä kehitysympäristöstä selvitetään sen yleiset toimintaperiaatteet käyttämällä Mifaren ja ICODE:n tunnisteita.

RFID:n toimintaa tässä ympäristössä käydään läpi Flowcode-ohjelmointityökalulla kirjoitettujen esimerkkiohjelmien avulla. Flowcode kääntää vuokaavion c-kieleksi, mutta c-kielellä ohjelmointiin ei kiinnitetä huomiota.

## 2. RFID:N HISTORIA

RFID:n juuret ulottuvat 1940-luvulla sotilaskäytössä olleisiin tunnistusjärjestelmiin. RFID:n käyttöön paneuduttiin ensimmäisen kerran vuonna 1948 julkaistussa Harry Stockmanin kirjoituksessa ”Communication by Means of Reflected Power” /1/.

Kirjoituksessaan Stockman pohtii heijastuneen radiosignaalin käyttöä etäisen kohteen tunnistamisessa heijastuneen signaalin yksilöllisen tunnisteiden perusteella.

RFID:n teknologisenä edeltäjänä voidaan pitää tutkaa, jonka kehitykseen vaikutti mm. saksalainen Heinrich Hertz. Tutkan kehityksestä ei kuitenkaan ole vastuussa kukaan yksittäinen henkilö. Hertz tunnisti radiosignaalin ja teki merkittävää tutkimustyötä sen parissa tutkimalla radiosignaalin aaltomuotoisuutta. Yksi Hertzin löytämisistä radioaallon ominaisuuksista oli se, että jotkin radioaallot läpäisevät kiinteät kohteet kun taas jotkin heijastuvat niistä. Tämä mahdollisti heijastuneiden aaltojen nopeuden mittaamisen, mikä edelleen mahdollisti etäisyyden mittaamisen radioaallon lähettäjän ja radioaallon heijastaneen kohteen välillä.

Toinen maailmansota vauhditti tutkan kehitystyötä kun sotaan osallistuneet maat kukin tahollaan kehittivät omaa tutkajärjestelmäänsä ennen sodan syttymistä. Tutkan kehitys johti yleismallisen ”ystävä vai vihollinen”-tunnistusjärjestelmän käyttöönottamiseen, joka on käytössä tänäkin päivänä osana lentokoneiden kommunikointijärjestelmää. Tässä järjestelmässä lentokoneelle määrätään sille ominainen tunnistenumero, jonka se lähettää tutkajärjestelmälle lentäessään tutkan havainnointialueelle. Nykyisissä RFID-järjestelmissä tämä tunnistenumero on tunnisteiden UID.

RFID tarkoittaa käytännössä kykyä tunnistaa joku tai jokin kohde vastaanotetun radiosignaalin perusteella. Passiiviset RFID-tunnisteet toimivat pitkälti samalla tavalla kuin kohteet, jotka tutkajärjestelmä pyrkii havaitsemaan. Vaikka RFID ei varsinaisesti heijasta tutkajärjestelmän tavoin lähetettyä signaalia, on RFID:n ja tutkan periaate samanlainen. RFID-järjestelmässä lukulaitteen lähettämä energia aiheuttaa paluusignaalin RFID-tunnisteelta, joka voidaan lukea lukulaitteella.



1960-luvulla RFID:n kaupalliset sovellukset alkoivat yleistyä. Monet yritykset alkoivat kehittämään keinoja myymälävarkauksien torjumiseen RFID:n avulla. Knogo, Sensormatic ja Checkpoint kehittivät yhden bitin RFID-tunnisteen, joka deaktivoitiin kassalla maksun yhteydessä. Aktivoitu tunniste aiheutti hälytyksen varkaan kulkiessa lukijaportin läpi.

1970-luvulla modernimmat RFID-järjestelmät alkoivat kehittyä ja kulunvalvonta tuli mahdolliseksi RFID:n avulla.

Ensimmäinen RFID:tä koskeva patenttihakemus jätettiin vuonna 1973 Mario Cardullon toimesta ja se kuvaili nykyäänkin käytössä olevan RFID-tunnisteen toimintaperiaatteen. Tunnisteen valmistaminen osoittautui kuitenkin haastavaksi, koska 1970-luvun alussa ainoa virran katkaisun jälkeen säilyvä muisti perustui suuriin ferriittisydämien joukkoihin, joita käytettiin keskustietokoneissa.

Ferriittisydämet magnetoitiin tai magnetointi poistettiin kun haluttiin ilmaista bitit 1 tai 0.

Cardullon yritys esitteli tietullien maksujärjestelmän viranomaisille 1971.

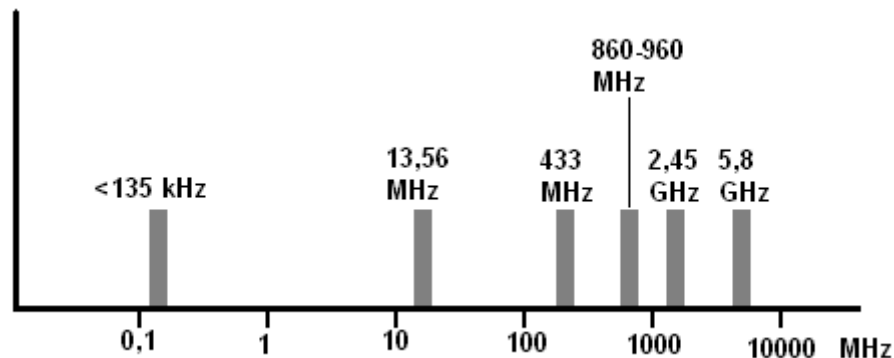
Tunnisteiden asentaminen autoihin herätti vastalauseita ja jo tässä vaiheessa tuotiin esille RFID:n mukanaan tuoma mahdollinen yksityisyyden loukkaaminen.

Philips, GE, Westinghouse ja Glenayre Technologies toivat markkinoille tietullijärjestelmiä. Muut valmistajat tarjosivat tunnisteita karjan merkintään, ajoneuvojen seurantaan ja toimitusketjun seurantaan /1/.

1980-luvulla ja 1990-luvun alussa ajoneuvojen, lähinnä junavaunujen, ja konttien jäljitys osoittautui merkittäviksi RFID:n käyttökohteiksi ja näistä Yhdysvalloissa pääasiassa vastaavat yhtiöt olivat mukana kehittämässä RFID:n standardeja ja sovelluksia.

RFID jatkoi kehittymistään ja otettiin käyttöön tietullien maksujärjestelmissä, ajoneuvojen varkaudenestojärjestelmissä ja huoltoasemien polttoaineen maksujärjestelmissä. Muun muassa näiden sovellusten kehittämisessä oli mukana Texas Instruments, joka on nykyäänkin tunnetuimpia yhtiöitä RFID:n tutkimuksessa, kehityksessä ja valmistamisessa.

RFID:llä on käytettävissä useita taajuusalueita ja käyttökohteita niiden mukaan.



Kuva 1. RFID-laitteissa käytetyt taajuudet /10/.

Taulukossa 1 on kuvattuna käytetyt taajuudet ja niiden yleisimmät käyttökohteet.

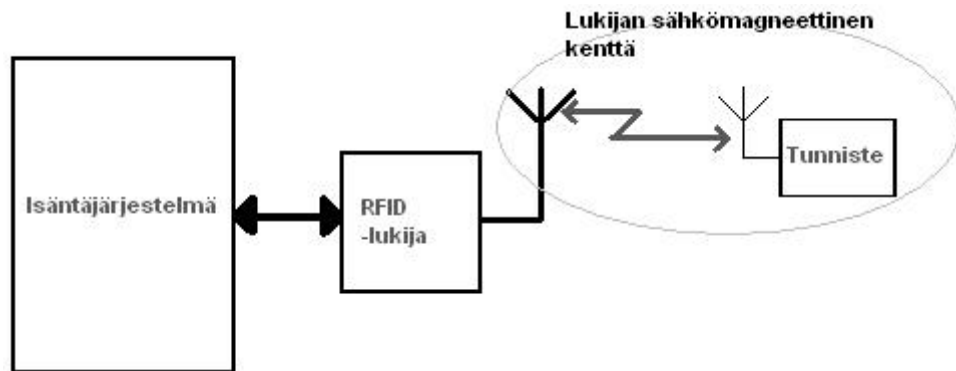
Taulukko 1. Taajuusalueet ja käyttökohteet taajuuksille /10/.

Taajuusalue	Käyttökohde
<135 kHz	kulunvalvonta, eläinten tunnistus, automaatio
13,56 MHz	kulunvalvonta, lippupalvelut, logistiikka
433 MHz	logistiikka
860-960 MHz	logistiikka, automaatio
2,45 GHz	logistiikka
5,8 GHz	tietullit

### 3. RFID:N TOIMINNAN PERIAATTEET

RFID:n periaatetta on usein verrattu viivakoodijärjestelmään, jossa kone pystyy lukemaan ennalta tallennetun tunnisteen ilman, että ihmisen tarvitsee olla osallisen lukuprosessissa.

Lukijalaitteen lähetin muodostaa sähkömagneettisen kentän, joka indusoi tunnisteen antenniin pienen virran. Virta kuitenkin riittää siihen, että tunniste kykenee lähettämään yksilöllisen tunnuslukunsa sekä mahdollisen lisäinformaation lukijalaitteelle. Yleinen RFID-järjestelmä (Kuva 2) koostuu tunnistesta, lukijalaitteesta ja isäntäjärjestelmästä, joka voi sisältää esimerkiksi listan sallituista tunnisteista kulunvalvontaa varten.



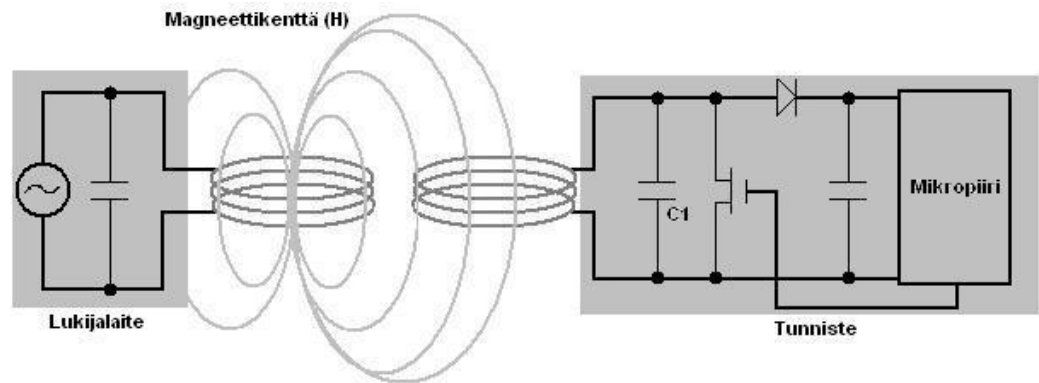
Kuva 2. Malli RFID-järjestelmästä.

Lukijalaite voi lähettää informaatiota tunnisteelle moduloimalla lähetettävänsä sähkömagneettisen signaalin amplitudia.

Tunniste voi lähettää lukijalle informaatioita muuntelemalla absorboimansa energian määrää. Kun tunniste on viritetty lukijalaitteen taajuudelle, se imee energiaa lukijalaitteen synnyttämästä sähkömagneettisesta kentästä. Jos tunniste on viritetty eri taajuudelle kuin lukijalaitteen käyttämä taajuus ei energiaa absorboi lainkaan tunnisteeseen. Tunnisteeseen lähetin vastaanotin kykenee muuntamaan antenninsa viritystaajuutta antennin kanssa rinnankytketyn kondensaattorin avulla.

Tunnisteeseen oleva integroitu mikropiiri sisältää demodulaattorin, joka muuntaa amplitudimoduloidun signaalin digitaaliseksi signaaliksi. Mikropiiri sisältää myös kellokierroksen poistopiirin, joka tuottaa 13,56 MHz:n digitaalista kellokierrosta. ISO/IEC 14443 -standardin mukaiset kortit käyttävät 847,5 kHz:n apukantoaaltoa kuormamodulaatiota varten. Tämän ansiosta lukijalaite voi suodattaa apukantoaallon taajuuden antennistaan ja tämän jälkeen dekodata vastaanotetun datan /7/.

Tunnisteeseen mikropiiri kommunikoi lukijalaitteen kanssa moduloimalla kortin antennin kuormitusta, joka edelleen muuttaa lukijalaitteen antennin kuormaa. Lukijalaite havaitsee tunnisteeseen absorboituneen energian määrän antenninsa sisäisen resistanssin yli mitatun jännitteen alenemisena. Tunniste vaikuttaa lukijalaitteen antennin jännitetasoon, jolloin kyseessä on amplitudimodulaatio. Jos jännitetaso muuttuu ovat tunnisteeseen lähetettävän datan aiheuttamia nimitetään tätä kuormamodulaatioksi /6/.



Kuva 3. Lukijalaitteen ja tunnisteiden vuorovaikutus magneettikentän avulla.

Kuvassa 3 on yksinkertainen kytkentä, joka kuvaa lukijalaitteen ja tunnisteiden välistä vuorovaikutusta ja niiden antennien käämien muodostamaa muuntajaa. Lukijalaitteen antennin läpi virtaa sinimuotoinen virta, joka synnyttää vaihtelevan magneettikentän. Lukijalaitteen synnyttämä vaihteleva sähkömagneettinen kenttä ulottuu tunnisteiden antenniin, johon indusoituu jännite. Tunnisteiden mikropiirissä on tasasuuntaaja ja tehon säädin. Antenniin indusoitunut vaihtovirta tasasuunnataan tunnisteissa ja näin saatu tasavirta toimii virtalähteenä tunnisteiden mikropiirille. Kondensaattori C1 on rinnankytketty tunnisteiden antennin muodostaman käämin kanssa. Kondensaattorin kapasitanssi on valittu siten, että se muodostaa käämin induktanssin kanssa rinnakkaisresonanssipiirin, jonka resonanssitaajuus on sama kuin lukijalaitteen toimintataajuus.

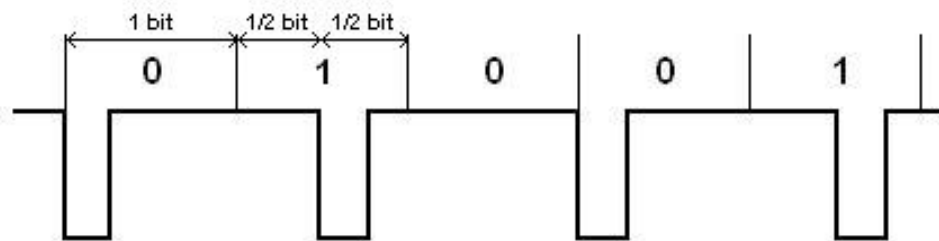
### 3.1 Signaalintitavat

RFID-laitteissa on käytössä A- tai B-tyypin signaalointi. Molemmat signaalintitavat ovat half-duplex -tyyppisiä jolloin lukijalaite ja tunniste lähettävät informaatiota omalla vuorollaan. Molempien signaalintityyppien tiedonsiirtonopeus on kumpaankin suuntaan 106 kbit/s.

#### 3.1.1 A-tyypin signaalointi

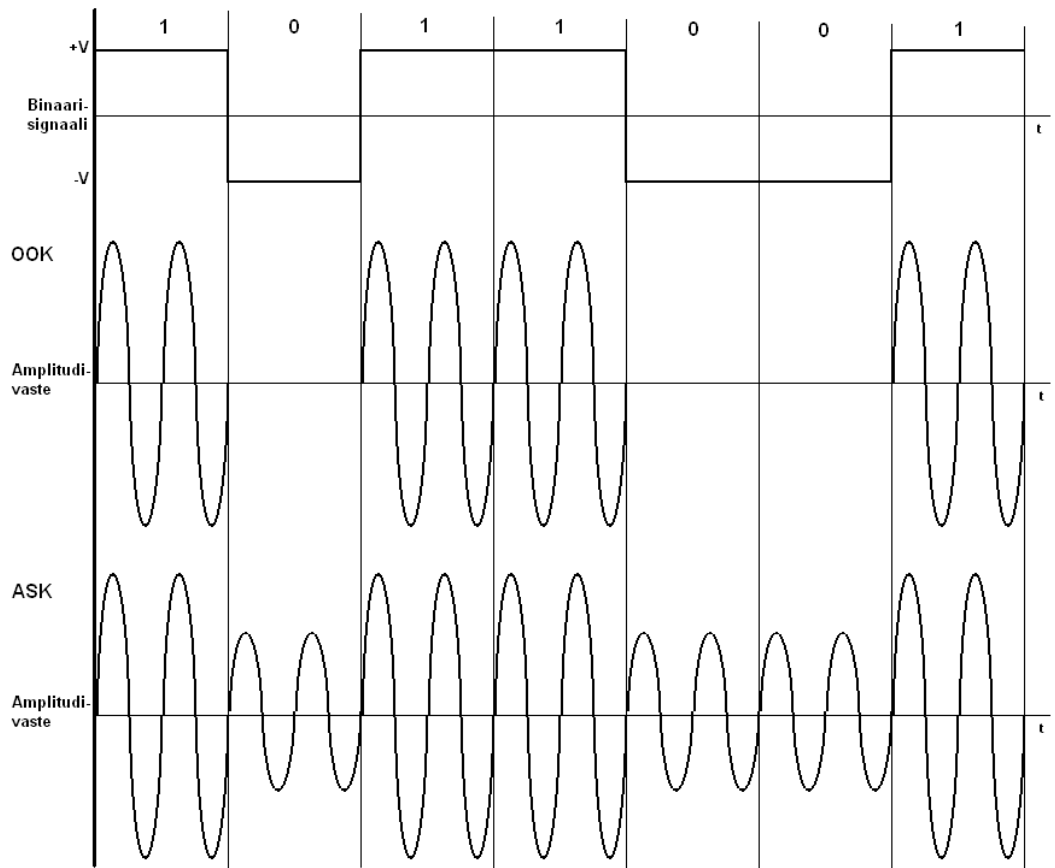
Kun lukijalaite kommunikoi tunnisteiden kanssa, käytetään 100% amplitudimodulaatiota ja data on Modified Miller -koodattua. Modified Miller -

koodausta käytetään yleisesti lähikenttäkommunikaatiossa, jossa etäisyydet ovat alle 10 cm. Modified Miller -koodauksessa bitti on ikäänkuin jaettu puoliksi bitin keston suhteen. Bitit 0 ja 1 koodataan tämän bitti-ikkunan mukaisesti. Looginen 0 koodataan kun bitti-ikkunan alussa pulssi on alhaalla. Looginen 1 koodataan siten, että alhaalla olevaa pulssia viivästetään puolella aikajaksolla. Poikkeuksena on kuitenkin, että jos 1-bitti tulee ennen koodattavaa 0-bittiä, koodataan 0-bitti tällöin ilman pulssin alhaalla oloa.



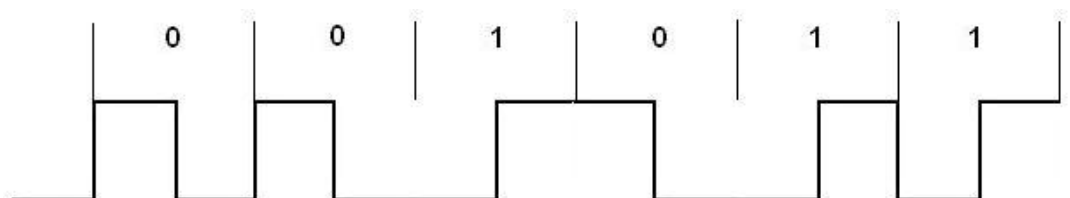
Kuva 4. Modified Miller -koodaus lukijalaitteen kommunikoidessa tunnisteelle.

Kommunikoitaessa tunnisteelta lukijalaitteelle käytetään 847,5 kHz:n apukantaalla OOK-modulointia, jossa kantaalto on välillä kokonaan päällä tai pois. OOK-modulaatio on ASK-modulaatiosta yksinkertaisempi versio. ASK-moduloidussa signaalissa suuri amplitudi merkitsee bittiä 1 ja pieni amplitudi bittiä 0. OOK-modulaatiossa 0-bitiksi tulkitaan kantaallon puuttuminen /8/. Kuvassa 5 nähdään OOK- ja ASK- moduloidut signaalit binaarisignaaliin verrattuna.



Kuva 5. OOK- ja ASK-modulaatioiden synnyttämät amplitudivasteet binaarisignaalista

Kommunikoitaessa tunnisteelta lukijalaitteelle data on Manchester-koodattua. Manchester-koodauksessa 0-bitti ilmaistaan siirtymällä alatilasta ylätilaan bitin keskikohdalta tarkasteltuna ja 1-bitti ilmaistaan siirtymällä ylätilasta alatilaan. Tässä on käytössä IEEE 802.3 -standardin määrittelemä koodauskäytäntö lähiverkkotekniikkaa varten, jolloin bitit koodataan käänteisesti verrattuna alkuperäiseen Manchester-koodaukseen (Kuva 6).



Kuva 6. IEEE 802.3-standardin mukainen Manchester-koodaus.

Tyypin A signaloinnissa sähkömagneettinen kenttä sammutetaan lyhyiksi ajoiksi lukijalaitteen lähettämän datan perusteella. Tunnisteen integroidun piirin täytyy tällöin varata sisäisiin kondensaattoreihinsa riittävästi energiaa, jotta se pysyy toiminnassa silloinkin kun sähkömagneettinen kenttä on hetkittäin pois päältä kentän modulaation aikana.

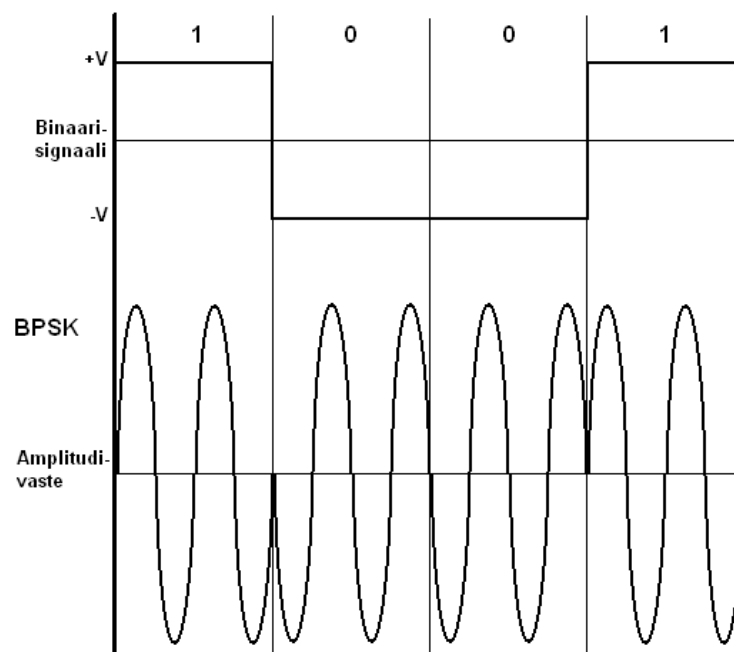
### 3.1.2 B-tyypin signalointi

B-tyypin signaloinnissa käytetään 10% amplitudimodulaatiota kun kommunikointi tapahtuu lukijalaitteelta tunnisteelle. Data on NRZ-koodattua (Kuva 8).

NRZ-koodauksessa 1-bitti esitetään jotain tilana ja 0-bitti jonain toisena tilana.

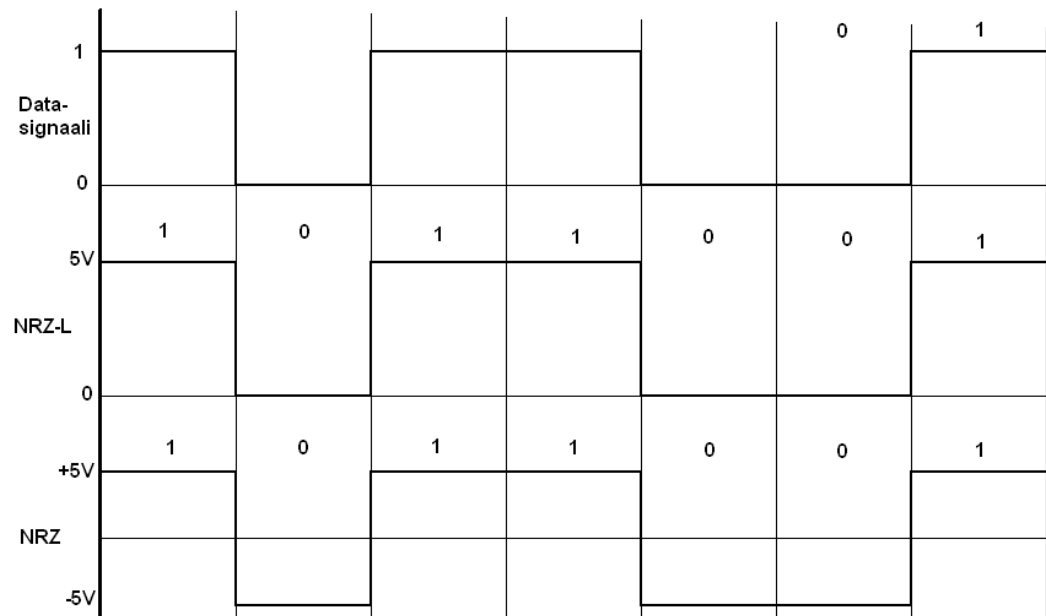
Tässä koodauksessa ei ole selkeää neutraalia tilaa ja signaalin keskiarvo on nolla.

Kommunikointi tunnisteelta lukijalaitteelle käyttää BPSK-modulaatiota 847,5 kHz:n kanta-aallolle. Kuvassa 7 on kuvattuna BPSK-koodauksen amplitudivaste binaarisignaaliille. BPSK-koodaus kestää hyvin häiriötä, koska kahden bitin välillä on  $180^\circ$  vaihe-ero, jolloin kaksi bittiä ovat ikäänkuin kaukana toisistaan. BPSK kykenee kuitenkin moduloimaan vain yhden bitin symbolia kohden, joten se ei sovellu nopeisiin tiedonsiirtosovelluksiin.



Kuva 7. Binaarisignaali BPSK-koodattuna.

Data on NRZ-L-koodattua kun tunniste kommunikoi lukijalaitteen kanssa. NRZ-L-koodauksessa signaalin taso ilmaisee bitin arvon. NRZ-L -koodauksessa signaalilla on DC- eli tasavirtakomponentti, jolloin signaalin keskiarvo on enemmän kuin nolla. Esimerkissä on käytetty jännitteitä +5 V...-5 V (Kuva 8). Sähkömagneettinen kenttä on koko ajan päällä B-tyypin kommunikaatiossa.



Kuva 8. Datasignaali NRZ- ja NRZ-L -koodattuna.

### 3.1.3 Apukantoaallon modulaatio

Tyyppin B-lukijalaitteet lähettävät koko ajan moduloimatonta 13,56 MHz:n kantoaaltoa silloin kun ne eivät lähetä dataa tunnisteelle. Tunnisteet kommunikoiivat lukijalaitteen kanssa moduloimalla tunnisteiden antennin kuormaa käyttäen 847,5 kHz:n apukantoaaltoa ja BPSK-koodattua dataa. Tunniste voi lähettää apukantoaaltoa vain kun se lähettää dataa. Jokaisen bitin kesto on kahdeksan apukantoaallon jaksonaika.

Tunnisteiden integroitu piiri voi tuottaa kuormamodulaatiota käytännössä usealla tavalla. Kuormamodulaatiota tuotetaan kytkemällä sisäistä vastusta tai kondensaattoria antennin virtapiiriin tai piiristä pois. Sisäinen komponentti on liitetty tunnisteiden antennin päiden väliin eli se on kytketty rinnan antennin muodostaman kelan kanssa.

Vastuksen liittäminen piiriin kasvattaa tunnisteiden antennin läpi kulkevaa virtaa.



Kondensaattorin kytkeminen piiriin muuttaa tunnisteiden antennin resonanssitaajuutta. Kummassakin tapauksessa lukijalaitteen antennin kuorma muuttuu ja aiheuttaa heikon signaalin, jonka lukijalaitteen demodulaattori havaitsee /7/.

## 3.2 RFID-tunnisteet

RFID-tunnisteissa on tyypillisesti antenni, integroitu piiri ja jonkin verran muistia. Antennin tehtävänä on vastaanottaa ja lähettää radioaaltoja. Antennin muoto riippuu suurelta osin käyttöympäristöstä ja sovelluskohteesta.

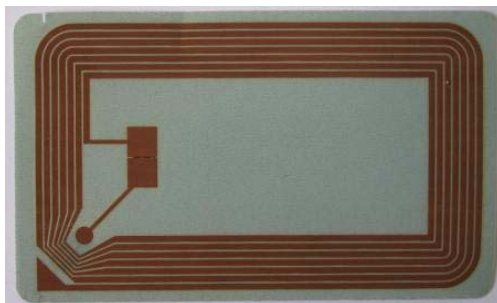
Integroitu piiri toimii tunnisteiden ”aivoina” ja sisältää mikroprosessorin, muistia ja lähetinvastaanottimen. Sen päätehtävänä on lähettää tunnisteelle yksilöllinen tunnusnumero ja muu mahdollinen lisäinformaatio ennalta määrätyn protokollan mukaisesti /2/.

Muistiin on tallennettu tunnisteiden UID ja sinne voidaan tallentaa haluttu lisäinformaatio. Tunnisteita on kolme tyyppiä: Passiivisia, puolipassiivisia ja aktiivisia.

### 3.2.1 Passiiviset tunnisteet

Passiivisissa tunnisteissa ei ole omaa virtalähdettä. Passiiviset tunnisteet aktivoituvat kun tunnisteiden antenniin indusoituu riittävä määrä energiaa lukijalaitteen lähettämästä sähkömagneettisesta kentästä.

Koska passiivisissa tunnisteissa ei ole omaa virtalähdettä, voidaan niistä tehdä erittäin pieniä ja niiden valmistaminen on halpaa. Passiiviset tunnisteet ovat käyttöikänsä periaatteessa ikuisia. Monille tuttuja sovelluksia ovat mm. kaupungin liikennelaitoksen matkakortit ja oppilaitosten ovien kulkukortit.



Kuva 9. Tyypillisen passiivisen tunnisteiden rakenne.

### 3.2.2 Puolipassiiviset tunnistet

Puolipassiivissa tunnisteeissa on virtalähde, joka mahdollistaa pitkäaikaisen tiedon keräämisen esimerkiksi lämpötilan valvonnassa. Lähetin vastaanotin on kuitenkin passiivinen ja toimii kuten passiivisissa tunnisteeissa, mikä pidentää tunnisteen käyttöikää. Sisäinen virtalähde kestää vuosia. Puolipassiiviset tunnistet ovat virtalähteensä takia isompia ja kalliimpia valmistaa kuin passiiviset.



Kuva 10. Alien Technologyn puolipassiivinen tunnistee /4/.

### 3.2.3 Aktiiviset tunnistet

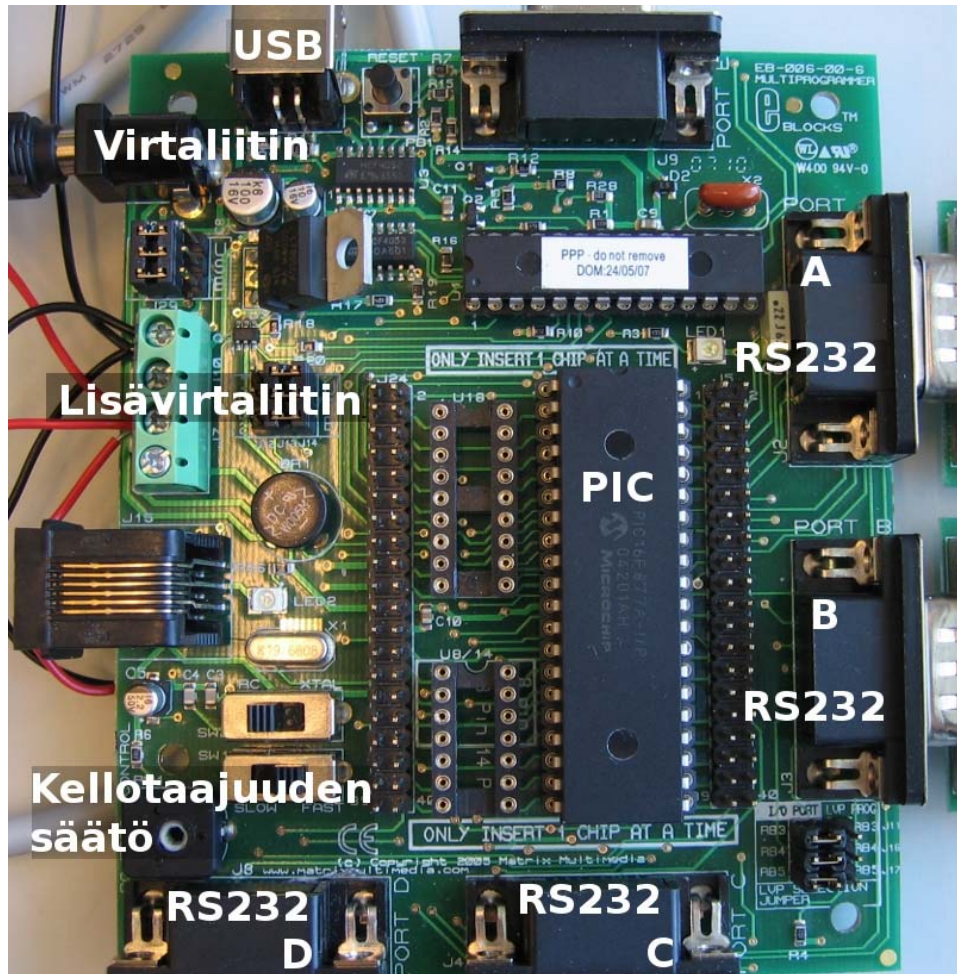
Aktiivisissa tunnisteeissa on virtalähde, jota käytetään esimerkiksi tiedon jatkuvaan keräämiseen ja lähettämiseen. Aktiivinen tunnistee pystyy havaitsemaan heikompia signaaleja ja kykenee lähettämään lähettämään suuremmalla teholla kuin passiiviset ja puolipassiiviset tunnistet. Suuri lähetysteho mahdollistaa aktiivisten tunnisteen käyttämisen sovelluksissa, joissa lukijalaitteen ja tunnisteen välimatka on pitkä. Aktiiviset tunnistet ovat suuria ja kalliita verrattuna passiivisiin ja puolipassiivisiin tunnisteeisiin.



Kuva 11. Newbury Networksin aktiivinen tunniste /5/.

#### 4. MATRIX MULTIMEDIA-KEHITYSALUSTA

Matrix Multimedian valmistama E-Blocks -sarja on tarkoitettu opetuskäyttöön. Käytössä oli PICmicro-ohjelmointialusta, jonka avulla ohjelmoidaan PIC-mikrokontrolleria käyttämällä sopivaa Matrix Multimedian toimittamaa Flowcode-, Assembly- tai C-ohjelmointiin kykenevää ohjelmointiympäristöä. Ohjelmointialusta liitetään tietokoneeseen USB-johdolla. Ohjelmointialustaan liitetään RS-232 -sarjaliitännällä E-blocks -sarjaan kuuluvia piirilevyjä, joihin on asennettu esimerkiksi RFID-komponentit, LED-valot tai painonapit. Ohjelmointialustassa oli käytössä virtaliitin PIC-piirille, RS232-sarjaportit A-D lisälaitteille ja lisävirtaliitin näille laitteille (Kuva 12).



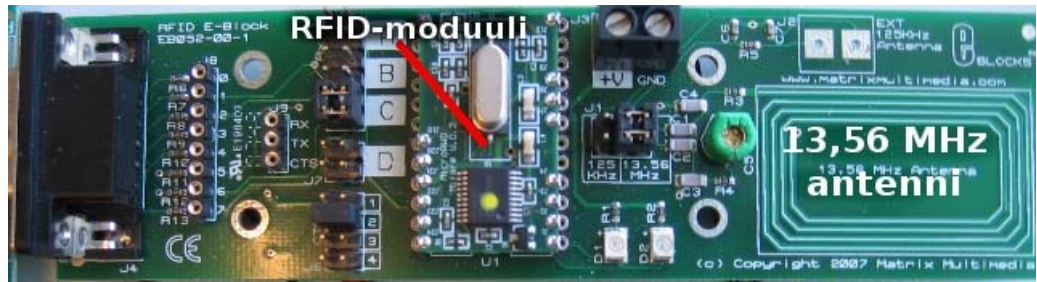
Kuva 12. Matrix Multimedia –ohjelmointialusta ja sen käytössä olleet osat.

## 4.1 RFID tällä alustalla

RFID:n käyttöä varten toimitettiin ICODE:n ja Mifare:n kortit. ICODE on suojaamaton, mutta Mifare vaatii lukijalle asetettavaksi tietyt avainbitit, jotka sallivat kortin muistilohkojen lukemisen. Suurin osa tunnisteelle lähetettävistä komennoista on samoja molemmilla korteilla lukuunottamatta Mifaren vaatimia lisäkomentoja. Molemmat tunnisteet toimivat samalla 13,56 MHz:n taajuusalueella, mutta eivät ole keskenään yhteensopivia.

### 4.1.1 RFID-lisäosa

E-blocks RFID-lisäosa toimitetaan integroidulla antennilla, joka toimii 13,56 MHz:n taajuudella. Lisäosaan saa myös liitettyä ulkoisen antennin 125 kHz:n taajuusalueella varten. RFID-tunnisteiden lukuetaisyysdeksi luvataan 10 cm.

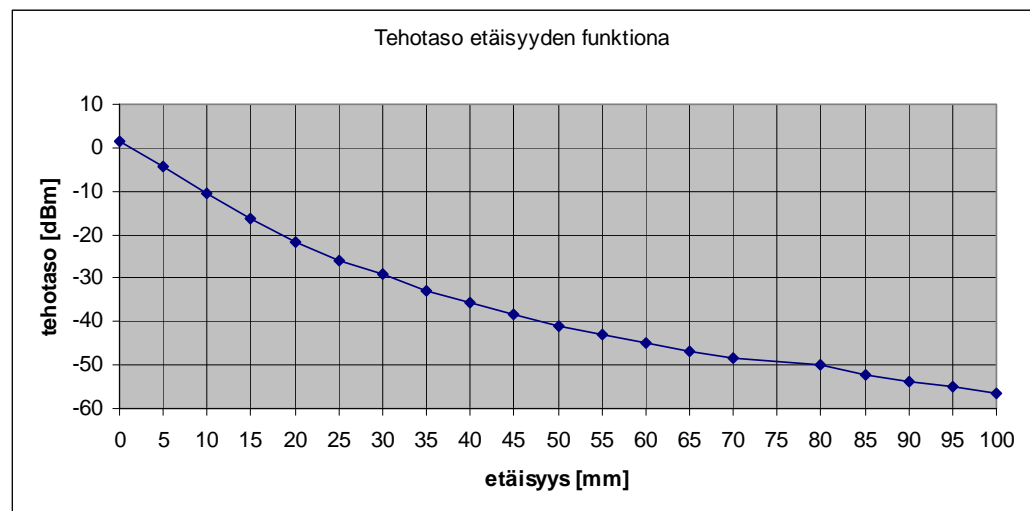


Kuva 13. Työssä käytetty RFID-lisäosa.

Lukuetäisyyttä mitattaessa tarkkailtiin koska RFID-laitteessa oleva kortin havaitsemisesta ilmoittava LED-valo paloi jatkuvasti, jolloin kortti on havaittu ja yhteys on muodostettu. Suurimmaksi lukuetäisyydeksi saatiin noin 5 cm ICODE:n kortilla.

Kentänvoimakkuutta mitattiin Hewlett Packardin HP11941A lähikenttäanturilla 5 mm:n välein määriteltäyn 10 cm:iin asti. Suurin kentänvoimakkuus 1,44 dBm mitattiin kun anturi oli kiinni antennissa. Luvatus maksimietäisyyden eli 10 cm:n etäisyydellä RFID-moduulin antennista kentänvoimakkuus oli -56 dBm.

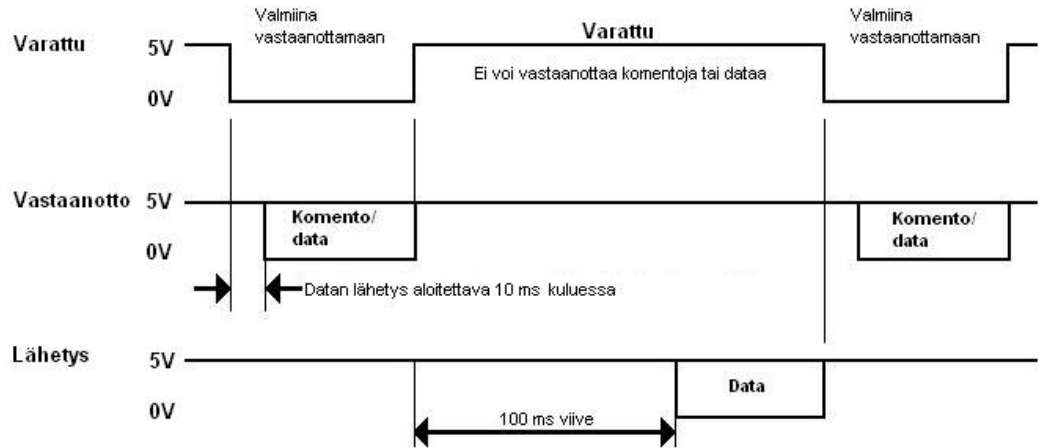
On kuitenkin huomattava ettei käytetty anturi ole sama asia kuin tunnisteiden antenni, jolloin tehotaso on erisuuruinen, mutta kuvaaja on suuntaa antava.



Kuva 14. Kentänvoimakkuuden tehotaso etäisyyden funktiona antennista mitattuna.

RFID-moduuli noudattaa kuvan 15 mukaista ajoitusta toiminnassaan. RFID-moduuli voi vastaanottaa informaatiota kun ”varattu”-signaalitaso putoaa nolnaan. Datan lähetys RFID-moduulille on aloitettava 10 ms kuluessa siitä kun ”varattu”-

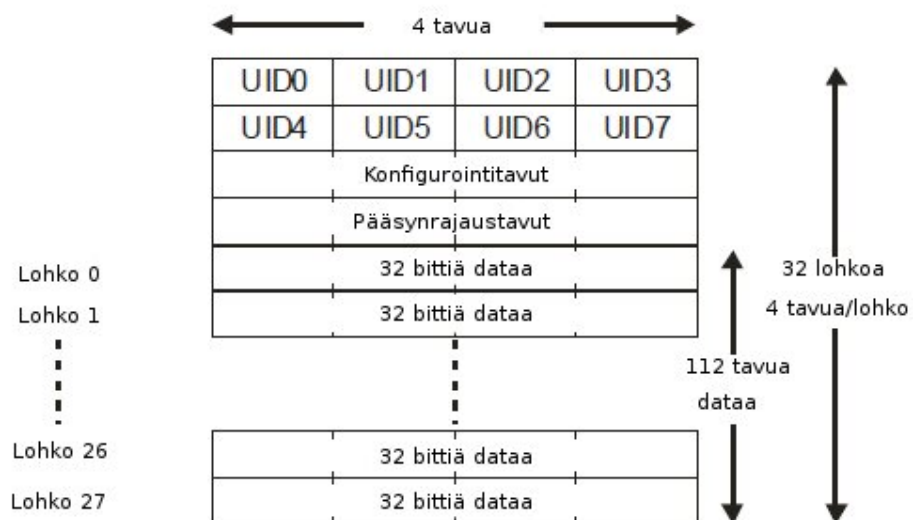
signaalitaso laskee nolnaan. Datan lähettämisen jälkeen on odotettava vähintään 100 ms ennenkuin data palautetaan RFID-moduulilta.



Kuva 15. RFID-moduulin ajoituskaaviot tiedonsiirrossa.

#### 4.1.2 ICODE

ICODE:n tunnisteen lähetin vastaanotin-yksiköt ovat Mifaren tunnisteita yksinkertaisempia ja sisältävät vain 128 tavua muistia 32 lohkoissa, joissa jokaisessa on 4 tavua muistia (Kuva 16).



Kuva 16. ICODE-tunnisteen muistialue /3/.

Toisin kuin Mifaren:n tunnisteissa, ICODE:n tunnisteisiin ei saa lisättyä muita rajoituksia kuin tekemällä joistain lohkoista ”read-only” -tyyppisiä, joita voidaan vain lukea.

ICODE-protokollan mukaisesti joidenkin lukulaitteiden on mahdollista lukea useampaa tunnistetta samanaikaisesti. Tästä syystä ICODE:n kahdeksan tavun pituinen UID pitää liittää jokaiseen luku- ja kirjoitustoimintoon, jotta voidaan erottaa mikä tunniste on kyseessä. Tällä kehitysalustalla usean tunnisteiden samanaikaista lukua ei kuitenkaan tueta. Kuvassa 17 on erään ICODE:n tunnisteiden UID tulostettuna LCD-näytölle.

1	5	5		2	3	7		4	1			2	6		
0				1				4				2	2	4	

Kuva 17. LCD-näytölle tulostettu ICODE:n tunnisteiden UID.

Taulukossa 2 on määriteltynä ICODE-protokollan mukainen lukijalaitteen tilaa kuvaava tavu.

Taulukko 2. Lukijalaitteen tilaa kuvaavat bitit ICODE-tilassa.

Bitti	Arvo	Merkitys
7	1	Aina arvo 1
6	1	Sisäinen virhe tai antennivirhe
5	0	Aina 0
4	0	Aina 0
3	1	RS232-virhe
2	1	Kortin lähetyvastaanotin toimii oikein
1	1	Kortin UID hyväksytty
0	1	Lukijan muistin kirjoitusvirhe

ICODE-protokollassa lukijalaitteen tila voi olla jokin seuraavista:

- 10000000 = Tunnistetta ei havaittu. Ei virhetilaa  
 10000110 = ICODE:n kortti havaittu. UID hyväksytty. Ei virhetilaa  
 10000001 = Tunnistetta ei havaittu. Muistinkirjoitusvirhe

### 4.1.3 Mifare

Mifare on Philipsistä irtautuneen NXP Semiconductorsin omistama standardi. Mifare perustuu ISO/IEC 14443 –standardin määrittelemään A-tyypin signalointiin. Mifaren kortteja ovat Mifare Ultralight, Mifare 1K ja Mifare 4K, mutta tässä työssä käsitellään vain 1K-korttia, jossa on muistia yksi kilotavu eli 1024 tavua.

Mifaren vaatimat avaimet ja pääsytbitit ovat valmistajalta tullessaan oletusarvoiset. Avaimet tallennetaan ohjelmointivaiheessa lukijamoduulin muistiin. Esimerkkiohjelmassa käytetyt oletusavaimet ovat heksamuodossa taulukossa 3.

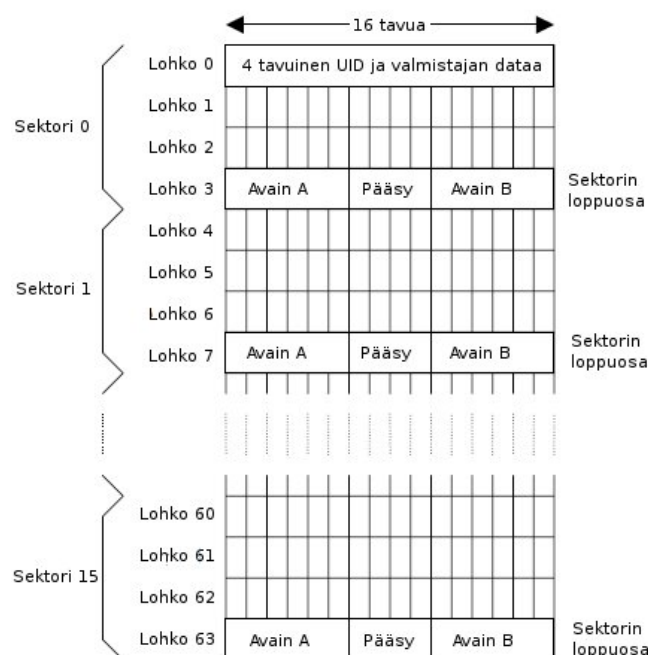
Taulukko 3. Mifare-protokollassa käytetyt avaimet heksamuodossa.

Avain A	0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF
Avain B	0xA0, 0xA1, 0xA2, 0xA3, 0xA4, 0xA5

Mifaren 1K-kortin 1024 tavun muistialue on jaettu 16 sektoriin (Kuva 18).

Jokaisessa sektorissa on 4 lohkoa, joista jokainen sisältää 16 tavua muistia.

Ensimmäisen sektorin ensimmäinen lohko voidaan vain lukea ja se sisältää neljän tavun mittaisen UID-tunnuksen. Jokaisen sektorin viimeinen lohko sisältää tietoa lohkon turvallisuuteen liittyen.



Kuva 18. Mifare-tunnisteen muistialue /3/.



Käytössä on siis 47 lohkoa eli 752 tavua muistia, johon voidaan tallentaa haluttua tietoa. Mifaren tilaa kuvaava tavu koostuu taulukon 4 mukaisista biteistä.

Taulukko 4. Mifare-protokollan määrittelemät tilat lukijalaitteelle.

Bitti	Arvo	Merkitys
7	1	Aina arvo 1
6	1	Sisäinen virhe tai antennivirhe
5	1	Korttina Mifare Ultralight
	0	Korttina Mifare Classic (1K tai 4K)
4	1	Mifare 4K
	0	Mifare 1K
3	1	RS232-virhe
2	1	Kortin lähetinvastaanotin toimii oikein
1	1	Kortin UID hyväksytty
0	1	Lukijan muistin kirjoitusvirhe

Mifare-protokollan mukaisesti lukijalaitteen tila voi olla jokin seuraavista:

10000000 = Tunnistetta ei havaittu. Ei virhetilaa  
 10000110 = Mifare 1K kortti havaittu. UID hyväksytty. Ei virhetilaa  
 11000000 = Sisäinen virhe tai antennivika

Erona ICODE:n vastaaviin bitteihin bitit 4 ja 5 on Mifaressa varattu Mifaren tunnisteen tyyppin valinnalle. Lisäksi UID:ssa on Mifaren korteilla 7 tavua tietoa verrattuna ICODE:n 8 tavuun. UID:n 7 tavua vaaditaan yhteensopivuuden takaamiseksi Ultralight-tunnisteiden kanssa, mutta käytetyt Classic-tunnisteet käyttävät vain 4 tavua UID:n tallentamiseen, joten lukijalaite merkitsee loput 3 tavua nolliksi. Kuvassa 19 on Mifaren tunnisteen UID LCD-näytölle tulostettuna.

2	8			1	6	0		8	7			5	7		
0				0				0				3	2		

Kuva 19. Käytetyn Mifaren tunnisteen UID tulostettuna LCD-näytölle.

Kortin lähetinvastaanottimen luku- ja kirjoituskomennot eivät vaadi UID:n liittämistä komentoon, koska lukijamoduuli voi kommunikoida vain yhden

tunnisteen kanssa. ICODE:n korteissa vaaditaan UID:n mukaan ottaminen, koska lukija voi käsitellä useita ICODE-tunnisteita.

A- ja B-avaimet ovat 6 tavun mittaisia. Pääsy- tavut määräävät kumpaa avainta käytetään kunkin muistilohkon lukemiseen tai kirjoittamiseen vai vaaditaanko molempien avainten käyttöä. Pääsy-tavut (Kuva 18) määrittelevät onko lohkon luku- vai kirjoitusoikeus vai molemmat. Lisäksi määritellään onko tallennettava data tavallisessa vai muokattavissa olevassa Value-muodossa. Avain pitää olla mukana jokaisessa komennossa.

Muistilohkojen luku- ja kirjoituskomennot vaativat avainten käyttöä. Avaimet tallennetaan lukijalaitteeseen.

Mifare-moodissa on käytettävissä komennot kasvata, vähennä ja siirrä tiedon muokkaamiseen. Lisäkomentoja voidaan käyttää kun tieto on tallennettu Value- eli arvoformaattissa. Value-formaatti käyttää virheentarkistusta ja sitä voidaan turvallisuutensa takia käyttää sovelluksissa, joissa kortille on esimerkiksi tallennettu rahaa kortilla maksamista varten. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää esimerkiksi matkalippu-periaatteella, jossa jokainen matka vähentää muistissa olevasta luvusta halutun määrän. ICODE-korteissa ei ole mitään varmennusta eikä niitä voi käyttää missään turvallisuutta vaativissa sovelluksissa.

Tallennettaessa lukuja tunnisteen muistiin, täytyy ne ennen lohkon kirjoittamista muuntaa Value-muotoiseksi, jolloin luvuille voidaan tehdä edellä mainittuja toimenpiteitä.

Mifaren tunnisteet käyttävät 16 tavun mittaisia muistilohkoja neljän tavun mittaisen Value-muotoisen informaation tallentamiseen. Vain ensimmäiset neljä tavua eli 32 bittiä käytetään suoraan halutun tiedon tallentamiseen. Loput 12 tavua sisältävät kopion tallennetusta numeroarvosta ja sen käänteisarvon sekä lohkon osoitteen käänteisarvoineen (Kuva 20). Datan ja osoitteen sekä näiden käänteisarvojen moninkertainen tallentaminen toimii yksinkertaisena tarkistussummana, jonka tarkoituksena on vähentää virheitä.

Tavu	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	11	12	13	14	15		
Sisältö	Data				Datan käänteisarvo				Data				Osoite	Osoiteen käänteisarvo		Osoite	Osoiteen käänteisarvo	

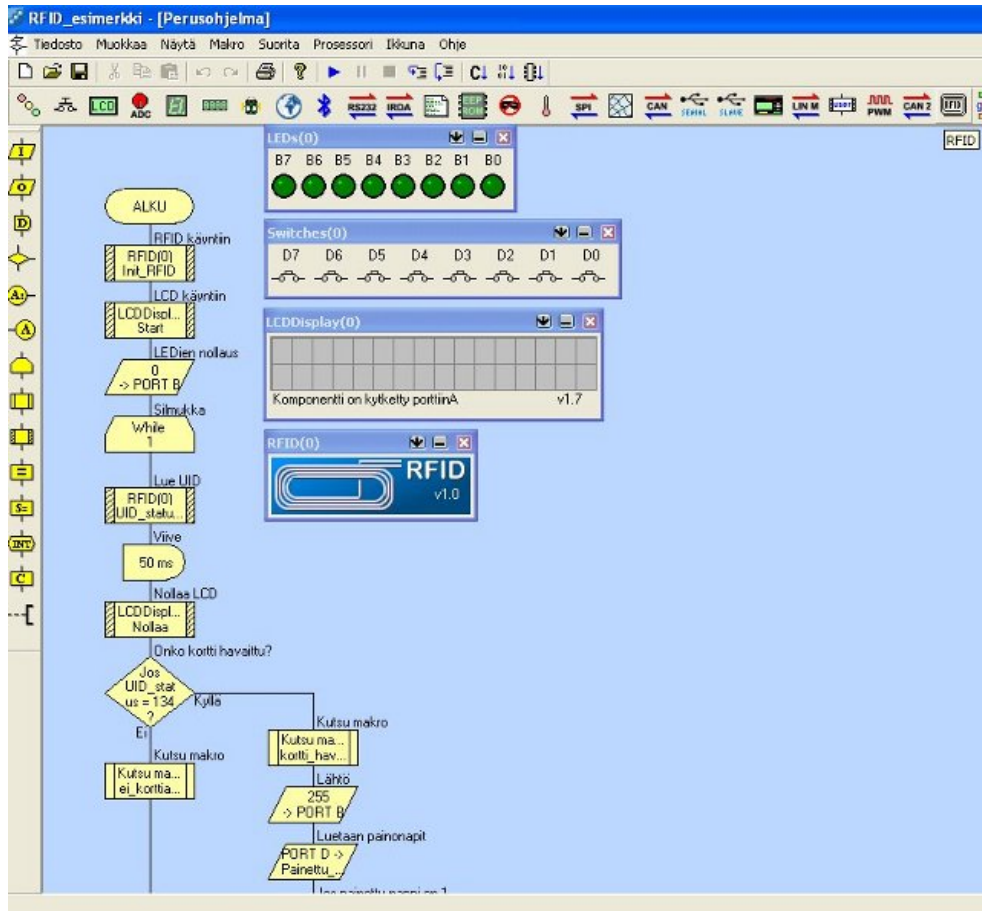
Kuva 20. muistilohko Value-muotoisen informaation tallennuksessa.

## 4.2 FlowCode-ohjelmointi

Flowcode on Matrix Multimedian toimittama graafinen ohjelmointisovellus, jolla tässä työssä ohjelmoitiin PIC-mikrokontrolleri RFID-käyttöön. Ohjelman käyttäminen ei vaadi minkään ohjelmointikielen tuntemusta vaan kaikki ohjelman toiminnot toteutetaan graafisesti raahaamalla hiirellä toiminto, kuten silmukka tai ehtolauseke, haluttuun paikkaan. Flowcode kääntää suunnitellun vuokaavion c-kieleksi ja edelleen konekieleksi mikrokontrollerille siirtoa varten.

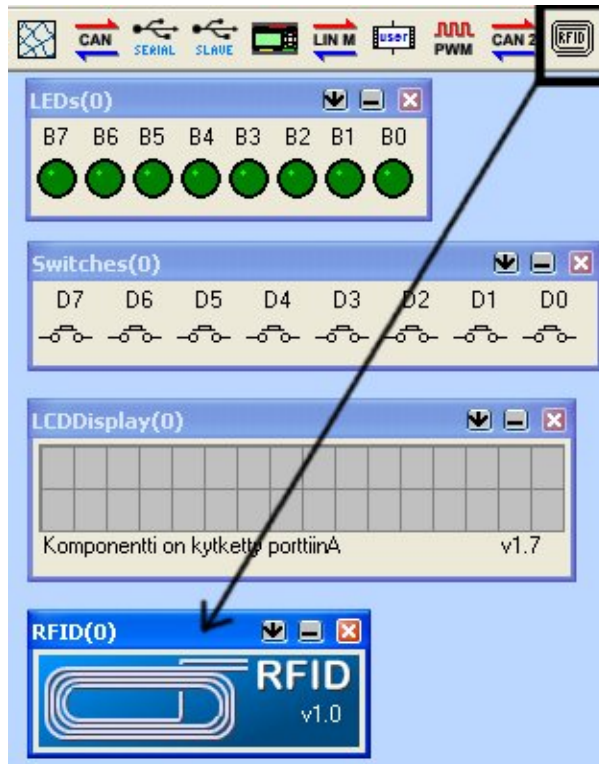
Normaalisti vuokaaviota käytetään ohjelman logiikan suunnittelussa ennen varsinaista ohjelmointia. Tällöin suunnitellaan mitä ohjelma tekee kun se esimerkiksi saa käyttäjältä jonkin syötteen näppämistöltä.

Ohjelmointi tapahtuu kuvan 21 osoittamassa ympäristössä.



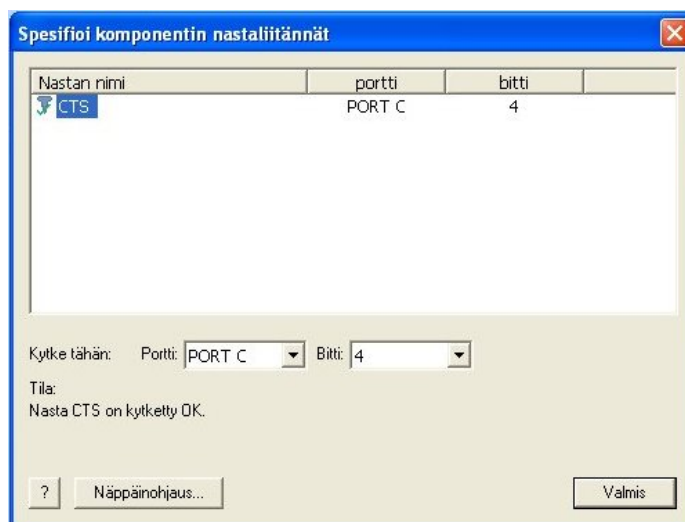
Kuva 21. Näkymä Flowcode-ohjelman työpöydältä.

Jokainen ohjelmointialustan sarjaporttiin liitettävä laite on otettava käyttöön myös Flowcode ohjelmassa ja jokaiselle laitteelle on määriteltävä portti, johon se on liitetty fyysisesti ohjelmointialustassa. Laitteen lisätään valitsemalla se laitevalikosta (Kuva 22).



Kuva 22. Laitteen ottaminen käyttöön Flowcode-ohjelmassa.

Laitteelle määritellään portti, johon se on liitetty ohjelmointialustassa. Esimerkkiohjelmassa RFID-laite on liitetty porttiin C (Kuva 23).



Kuva 23. RFID-laite on määritelty liitettäväksi porttiin C.

#### **4.2.1 ICODE**

Esimerkkihjelma ICODE:n tunnistetta varten on kuvattu liitteessä 1. Esimerkkihjelmassa päädyttiin käyttämään painonappi-moduulia UID:n lukemiseen sekä muistipaikkoihin kirjoittamiseen ja niistä lukemiseen. Työtä tehtäessä ei numeronäppäimistö-moduulia ollut käytettävissä.

#### **4.2.2 Mifare**

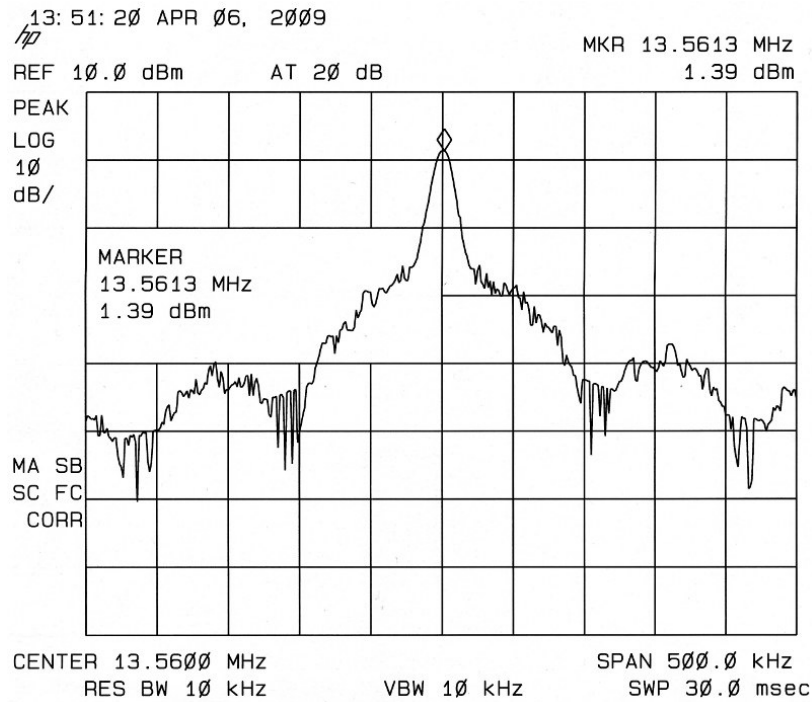
Mifaren ohjelma muokattiin ICODE:n ohjelmasta, joten vuokaavio on samanlainen lukuunottamatta avainten käyttöönottoa ohjelman alussa (Liite 2/4(7)).

### **4.3 Lukijalaitteen antennista mitatut spektrit**

Lukijalaitteen antennista tutkittiin spektrejä lähikenttäanturilla ja spektrianalysaattorilla. Spektrikuvia tulostettiin ICODE:n ja Mifaren korteilla, jolloin myös PIC-piirille ajettavat ohjelmat olivat näille kirjoitetut. Yksilölliset Flowcode-ohjelmat tarvitaan, jotta kortit tunnistuisivat oikein.

#### **4.3.1 ICODE**

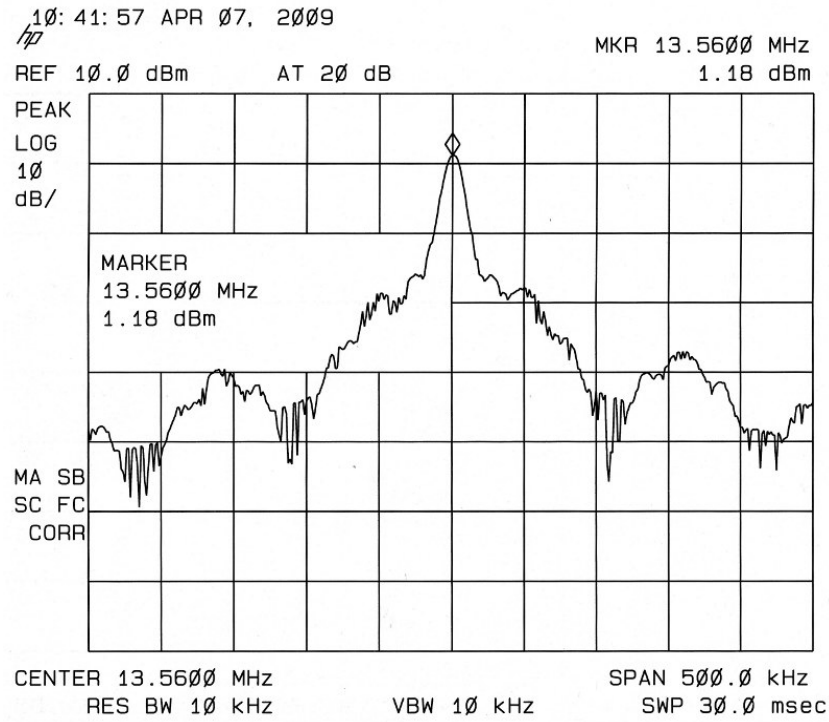
Kun tunnistetta ei ole lukijan lähettyvillä suurin tehotaso on 1,39 dBm eli . Spektrin merkittävin piikki 13,56 MHz:n kohdalla on noin 20 dB arvioitua signaalin perustasoa korkeammalla. Suurimman tehotason kohta leviää 20 dB alempana noin 100 kHz molempiin suuntiin keskikohtaan nähden. Koko kanavan kaistanleveyden voidaan katsoa olevan noin 200 kHz (Kuva 24).



Kuva 24. ICODE-tilan spektri kun tunnistetta ei ole havaittu.

Spektrin leviäminen kupumaiseksi lähetystaajuuden piikin alapuolella on todennäköisesti seurausta käytetyn suorakaideaallon Fourier-muunnoksesta kun käytössä on NRZ-modulaatio kanta-aallolle /9/.

Kun lukijalaitte havaitsee tunnisteen, putoaa antennista mitattava tehotaso 0,21 dB. Tämä verrattain pieni pudotus on kuitenkin mitattavissa toistuvasti. Lukijalaitteen antennin tehotason putoaminen on luultavasti seurausta tunnisteen antenniin indusoituvasta energiasta (Kuva 25).



Kuva 25. ICODE-tilan spektri kun tunniste on havaittu.

Jännitteinä tarkasteltuna anturiin indusoituva jännite on suurimmillaan 257,03 mV kun kortti ei ole lukijalaitteen kentässä. Kun kortti havaitaan, mitta-anturiin indusoituu 248,88 mV jännite eli jännite putoaa 8,15 mV.

Mittapään herkkyyskerroin eli vaimennus A[dB] katsottiin mittalaitteen kyljen taulukosta ja valittiin 13,56 MHz:n taajuudelle sopiva arvo 39.

Mittapään herkkyyskerroimen A kaavasta (1) ratkaistaan magneettikentän voimakkuus H kun tiedetään signaalin amplitudi U.

$$A = 20 \log\left(\frac{H}{U}\right)$$

$$39 = 20 \log\left(\frac{H}{2570 \mu V}\right) \quad (1)$$

$$\Rightarrow H = 0,229051 \frac{A}{m} \approx 229 \frac{mA}{m}$$

Permeabiliteettina huomioidaan usein vain tyhjiön permeabilitetti  $\mu_0$ , joka on likimain sama kuin ilman, jolloin permeabiliteetti saadaan kaavasta (2).



$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \approx 1,2566371 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \quad (2)$$

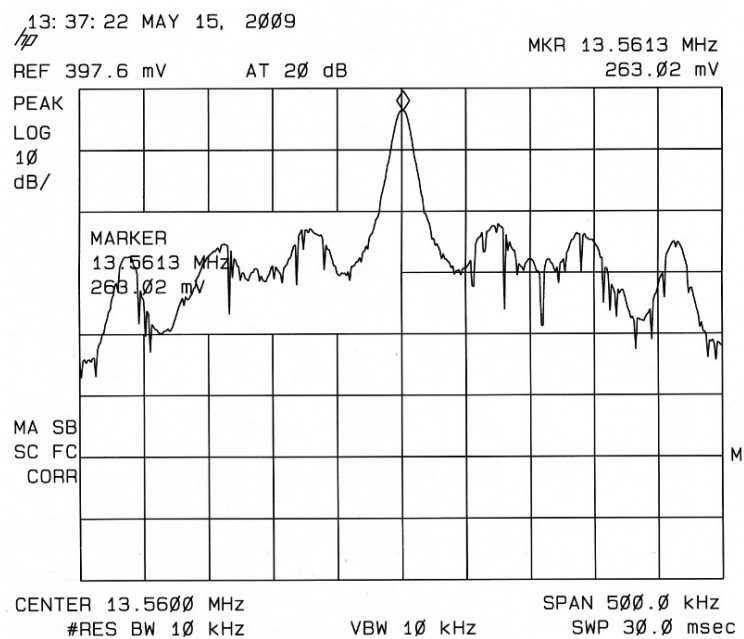
Magneettivuon tiheys B voidaan laskea kaavasta (3) kun tiedetään magneettikentän voimakkuus.

$$B = \mu H = 1,2566371 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \cdot 0,229 \dots \frac{\text{A}}{\text{m}} = 287,834 \dots \text{nT} \approx 288 \text{ nT} \quad (3)$$

### 4.3.2 Mifare

Mifaren tunnistetta ei havaittu, lukijalaitteen antennista mitattu suurin tehotaso on

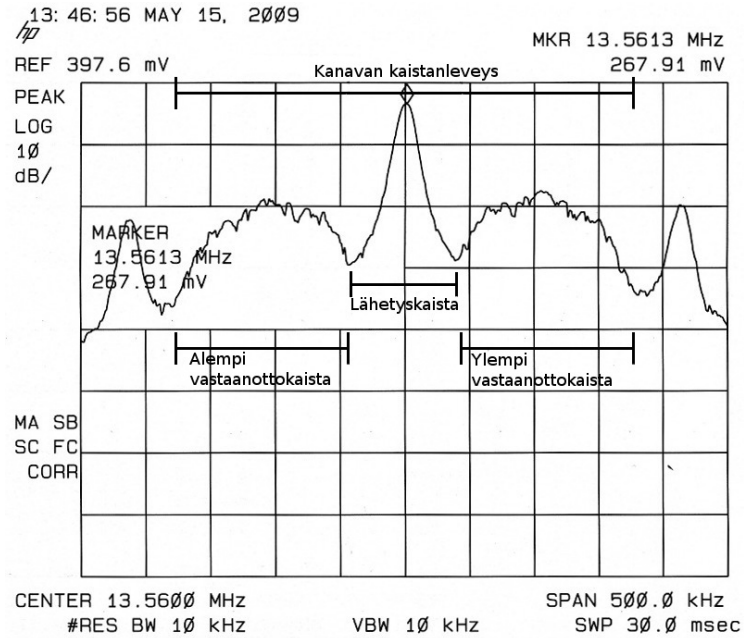
1,24 dBm, joka vastaa 263,02 mV:n jännitettä.



Kuva 26. Mifare-tilan spektri kun tunnistetta ei ole havaittu.

Verrattaessa ICODE-protokollaan Mifaren spektri muuttuu selvästi kun tunniste havaitaan. Lisäksi toisin kuin ICODE:n tapauksessa tehotasot nousevat. Keskikohdan molemmille puolille 100 kHz:n etäisyydelle nousee tunnistettomaan tilanteeseen verrattuna selvä kohouma. Nämä kaistat on varattu tiedon vastaanottamiseen. Lähetyskaistan leveys on noin 100 kHz ja molempien

vastaanottokaistojen leveys on noin 125 kHz, jolloin koko kanavan kaistanleveys on noin 350 kHz.



Kuva 27. Mifare-tilan spektri ja kanavan alueet kun tunniste on havaittu.

## 5. YHTEENVETO

Työssä oli pääasiallisena tarkoituksena tutustua Matrix Multimedian valmistamaan ohjelmointialustaan ja sen mukana tulleeseen Flowcode-ohjelmointityökaluun erityisesti RFID-käytössä. Tämän lisäksi katsottiin kuitenkin aiheelliseksi selvittää RFID:n historiaa, toimintaperiaatteita ja sovelluksia.

RFID:n toimintaperiaatteiden selvittäminen toi työn tekijälle eniten sovellettavaa tietoa signaalointiin ja modulaatiotapoihin liittyen. Työn tekeminen oli mielekästä, koska tutkittavana oli fyysinen laite eikä työn tekeminen ei perustunut pelkkään teoriaan.

RFID-lisälaitteen toimintaan tutustuttiin esimerkkiohjelmien avulla.

Matrix Multimedian tarjoama kehitysalusta on tarkoitettu opetuskäyttöön eikä sen soveltaminen suoraan muuhun kohteeseen olisikaan järkevää. Lisäksi laitteessa havaittiin rajoituksia kuten se ettei RFID-laitetta voi käyttää toimivana kuin ohjelmointialustan portissa C. Ylimääräistä työtä aiheutti kellotaajuuden säätövivun pyörähtäminen väärään asentoon, jonka takia PIC-piirille ajettu ohjelma ei toiminutkaan kuten piti.

Mitatut spektrikuvat ovat lähinnä suuntaa antavia eikä mitatuista numeroarvoista voida juurikaan vetää johtopäätöksiä. Lähikenttäanturi asetettiin lukijalaitteen antennin päälle antennimittausta varten, mutta vietäessä tunniste antennin lähelle ei mitattu spektrikuva välttämättä ollutkaan suoraan antennista mitattu tulos. Mifare-mittauksissa kuitenkin havaittiin onnistuneesti ylempi ja alempi vastaanottokanava, joka teki siitä hyödyllisemmän ICODE:n mittaukseen verrattuna.

Työssä käytetyllä Matrix Multimedian ohjelmointialustalla on varmasti käyttöä siellä mihin se on suunniteltukin eli opetusympäristössä.

## LÄHTEET

Painetut lähteet:

1. Shepard, Steven: RFID Radio Frequency Identification. McGraw-Hill. 2005.  
256 s.
2. Banks, Hanny, Pachano, Thompson: RFID Applied. John Wiley & Sons. 2007.  
509 s.

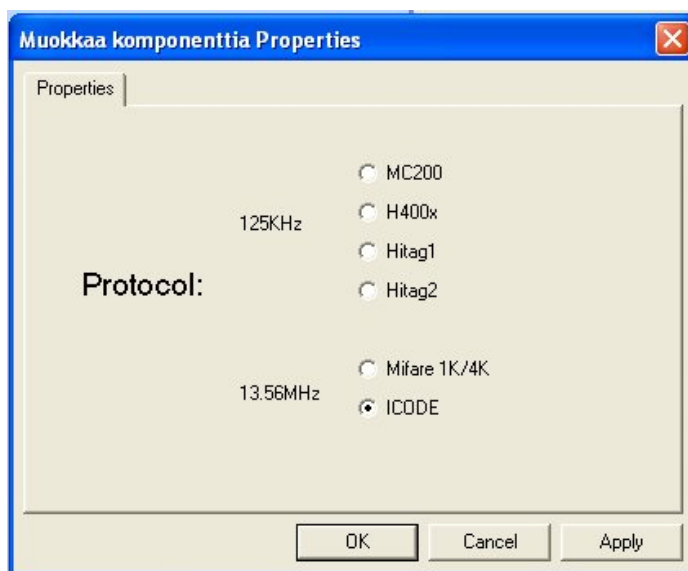
Sähköiset lähteet:

3. Matrix Multimedia Limited 2008. RFID Solution – Instructor Guide. [www-sivu]. [viitattu 20.4.2009] Saatavissa:  
<http://www.matrixmultimedia.com/LearningCentre/EB829-80-1-unlicensed%20version.pdf>
4. Cisco - Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide. [www-sivu]. [viitattu 5.5.2009] Saatavissa: <http://www.cisco.com/en/US/i/100001-200000/190001-200000/190001-191000/190594.jpg>
5. Newbury Networks. [www-sivu]. [viitattu 5.5.2009] Saatavissa:  
[http://www.newburynetworks.com/documents/images/AT-320%20asset\\_tag.JPG](http://www.newburynetworks.com/documents/images/AT-320%20asset_tag.JPG)
6. RFID Handbook – Operating principles of RFID. [www-sivu]. [viitattu 6.5.2009] Saatavissa: [http://rfid-handbook.de/rfid/types\\_of\\_rfid.html](http://rfid-handbook.de/rfid/types_of_rfid.html)
7. Requirements of ISO/IEC 14443 Type B Proximity Contactless Identification Cards. [www-sivu]. [viitattu 12.5.2009] Saatavissa:  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2056.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2056.pdf)
8. Planet Analog. I'm OOK. You're OOK? [www-sivu]. [viitattu 12.5.2009] Saatavissa:  
<http://www.planetanalog.com/article/printableArticle.jhtml?articleID=209400474&printable=true>
9. Understanding Ultra Narrowband Modulation. [www-sivu]. [viitattu 25.5.2009] Saatavissa: <http://www.mwrf.com/Articles/Index.cfm?ArticleID=6992&pg=1>
10. RFID frequency specrum – requirements and recommendations. [www-sivu]. [viitattu 25.5.2009] Saatavissa:  
[http://www.rfidconsultation.eu/docs/ficheiros/Walk\\_\\_session2.pdf](http://www.rfidconsultation.eu/docs/ficheiros/Walk__session2.pdf)

Seuraavassa käydään läpi RFID:lle tehdyn ohjelman toimintaa vaiheittain.

## 1. ICODE

RFID-laitteelle määritetään ominaisuudet-valikosta käytetäänkö ICODE:n vai Mifaren korttia (Kuva 1).



Kuva 1. Käytettävä protokolla on määriteltävä RFID-moduulin asetuksista.

Aluksi käynnistetään RFID-moduuli makrolla Init\_RFID.

Tämän jälkeen käynnistetään LCD-näyttö makrolla Start.

Seuraavaksi nollataan ledit laittamalla portin B ulostuloon arvo 0.

Sitten siirrytään while-silmukkaan, jossa ”pyöritään” koko ohjelman ajan.

Silmukassa suoritetaan ensin makro Get\_RFID\_UID, jolla haetaan RFID-lukijan tila eli tarkastellaan onko virhetiloja tai onko kortti lukijan lähetyvillä. Tila tallennetaan muuttuun UID\_status.

50 ms:n viiveen jälkeen nollataan LCD-näyttö jos näytölle on jäänyt jotain tulosteita edelliseltä ohjelman suorituskerralta.

Tämän jälkeen tulee ehtolauseke, jossa tarkastellaan onko kortti havaittu eli onko UID\_status-muuttujan arvo 134 eli binaarinä 10000110. Jos kortti havaitaan kutsutaan itse määriteltyä makroa kortti\_havaittu, joka tulostaa LCD-näytölle tekstin ”Kortti havaittu”. Tilanteen havainnoillistamiseksi LED-valot sytytetään asettamalla B-portissa olevaan LED-moduuliin arvo 255 eli kahdeksalle bitille annetaan arvo 1 (Liite 2 /1(3)). LED-moduuli on kuvassa 2.



Kuva 2. Käytetty LED-moduuli.

Ohjelma odottaa tässä tilassa niin kauan kun kortti on lukijan lähetyvillä tai kunnes painetaan jotain painonappia. Painonapit (kuva 3) on liitetty porttiin D.



Kuva 3. Kytkennässä käytetty painonappi-moduuli.

Seuraavaksi ohjelmassa tarkastellaan mitä nappia on painettu.

Jos painetaan ensimmäistä nappia, jonka arvo on 1 (Taulukko 1), tulostetaan LCD-näytön toiselle riville teksti ”Nappi 1” ja siirrytään makroon Lue\_ ja \_nayta\_UID (Liite 3).

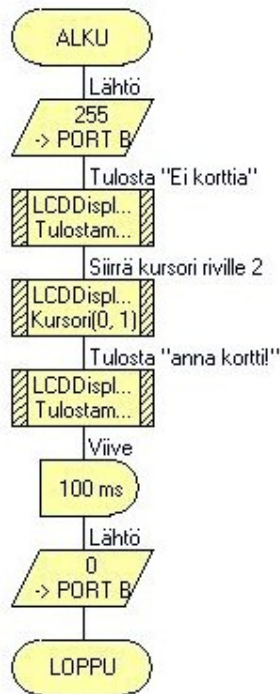
Lue\_ ja \_nayta\_UID-makrossa tyhjennetään LCD-näyttö (Kuva 4) ja tarkastellaan onko kortti vielä lukijan ulottuvilla UID\_status-muuttujan arvon perusteella. Jos kortti on luettavissa tulostetaan kortin kahdeksan tavun mittainen UID LCD-näytön kahdelle riville tavut välilyönneillä erotettuina. Jos kortti poistetaan lukemisen aikana tulostetaan näytölle ”Lukuvirhe” ja jäädään odottamaan korttia.

Jos korttia ei havaita siirrytään itse määriteltyyn makroon ei\_korttia\_havaittu, jossa asian havainnollistamiseksi tulostetaan ensimmäiselle riville teksti ”Ei korttia,” ja toiselle riville tulostetaan teksti ”anna kortti!”.



Kuva 4. Käytetty LCD-näyttö ja näkyvä tuloste kun korttia ei ole havaittu.

Koko sen ajan kun korttia ei ole havaittu vilkutetaan LED-valoja sytyttämällä LED:it, jonka jälkeen odotetaan 100 millisekuntia ja sammutetaan LED:it. Tämä makro nähdään kuvassa 5.



Kuva 5. ei\_kortti\_havaittu-makro Flowcode-ohjelmassa.

Taulukko 1. Painonappien binaariset arvot.

Nappi	8	7	6	5	4	3	2	1
Arvo	128	64	32	16	8	4	2	1

Napilla 2, jonka arvo on 2 (Taulukko 1) luetaan ohjelmassa määritellystä data-lohkosta sen sisältö. LCD-näytölle tulostetaan ”Muistilohkossa:”, jonka jälkeen luetaan muistilohkon tila makrolla Read\_RFID\_Block (Liite 4). Tässä ohjelmassa

lohkoksi on määritelty makron ominaisuuksissa lohko 5. Paluuarvo tallennetaan muuttujaan `block_status`.

Seuraavaksi tarkastellaan onnistuiko lohkon lukeminen eli onko `block_status`-muuttujan arvo 134. Jos tunnisteen lukeminen onnistui, halutun lohkon neljän tavun mittainen sisältö tallennetaan lukijalaitteen puskuriin.

Tämän jälkeen luetaan puskurin sisältö makrolla `Read_RFID_Buffer` ja tulostetaan se LCD-näytölle kunnes kaikki neljä tallennettua arvoa on tulostettu (Liite 2/2(3)).

Kolmannella napilla, jonka arvo on 4 (Taulukko 1) kirjoitetaan halutut neljä tavua haluttuun lohkoon. Tässä tapauksessa kirjoitetaan tavuille arvot 1, 2, 3 ja 4 lukijalaitteen puskuriin makrolla `Write_RFID_Buffer`. Puskurin sisältö kirjoitetaan tämän jälkeen lohkoon 5 makrolla `Write_RFID_Block` (Liite 5). Kirjoitusprosessin paluuarvo tallennetaan muuttujaan `block_status`, jonka arvolla 134 kirjoitusprosessin katsotaan onnistuneen.

Napilla 4, jonka arvo on 8 (Taulukko 1), on samat toiminnot kuin kolmannella napilla, mutta lohkoon 5 kirjoitettavat arvot ovat 10, 11, 12 ja 13 (Liite 2/3(3)).

## 2. Mifare

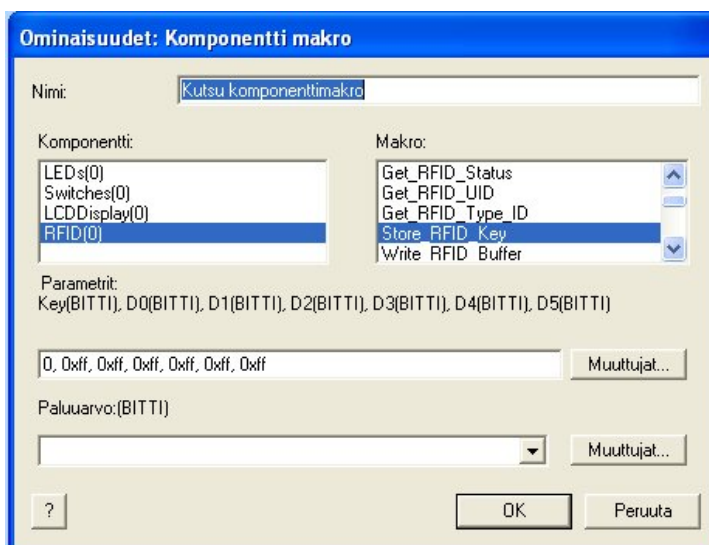
Käytettäessä Mifaren tunnistetta pitää ottaa käyttöön turva-avaimet. Avaimet täytyy tallentaa lukijan muistiin `Store_RFID_Key`-makrolla ennen kuin tunnisteiden muistilohkoista voi lukea tai niihin kirjoittaa (Kuva 6).



Kuva 6. Mifare-protokollan vaatimat avaimet tallennetaan lukijalaitteeseen makroilla.



Tässä tapauksessa paikkaan 0 tallennetaan avain ”0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF” ja paikkaan 2 tallennetaan avain ”0xA0, 0xA1, 0xA2, 0xA3, 0xA4, 0xA5” (Kuva 7).



Kuva 7. Avaimen tallentamiseen käytetty Store\_RFID\_Key-makro.

## 2.1 Mifare: Increment ja decrement

Ohjelman pohjalla käytettiin edellä mainittua Mifaren ohjelmaa, joka edelleen perustuu ICODE:n tunnisteelle kirjoitettuun ohjelmaan. Mifaren perusohjelmaan lisättiin kaksi painonappia ja niille funktiot muistilohkoon tallennetun numeroarvon kasvattamiseen ja pienentämiseen.

Edellisissä ICODE:n ja Mifaren ohjelmissa painonapilla 3 tallennettiin muistilohkoon 5 neljälle tavulle arvot 1, 2, 3 ja 4. Tulostettaessa muistilohkon sisältö, näyttää se LCD-näytöllä kuvan 8 mukaiselta.

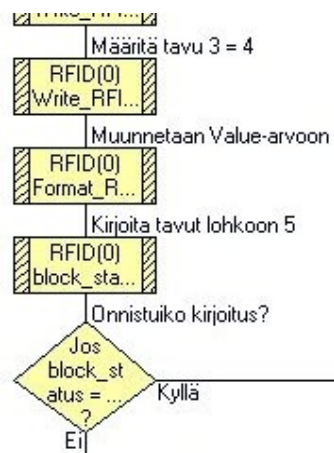
<b>M</b>	<b>u</b>	<b>i</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>i</b>	<b>l</b>	<b>o</b>	<b>h</b>	<b>k</b>	<b>o</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>a</b>	<b>:</b>	
<b>1</b>				<b>2</b>				<b>3</b>				<b>4</b>			

Kuva 8. Muistilohkon sisältö LCD-näytölle tulostettuna.

Vaikka luvut olisi edellisten ohjelmien jälkeen tallentuneina tunnisten muistiin täytyy ne tallentaa uudestaan Value-formaatissa, jolloin luvuille voidaan suorittaa yksinkertaisia aritmeettisia toimenpiteitä. Ohjelman toiminta on siis sama kuin edellisissä ohjelmissa, mutta Format\_RFID-makro on lisätty lukijalaitteen

puskuriin kirjoittamisen jälkeen eli ennen kuin luvut kirjoitetaan kortin muistilohkoon.

Painettaessa nappia 5 siirrytään muistissa olevaa lukua yhdellä kasvattavaan makroon, joka on muokattu muistiin lukuja kirjoittavasta makrosta. Makroa muokattiin siten, että puskuriin kirjoitetaan tavut arvoltaan 0, 0, 0 ja 1 eli vasemmalta luettuna viimeisen tavun arvoa kasvatetaan yhdellä (Liite 6). Ennen Increment\_RFID\_Value-makron käyttämistä tulee tallennettavat arvot muuttaa Value-muotoon Format\_RFID\_Value-makrolla (Kuva 9).



Kuva 9. Tallennettava informaatio muutetaan Value-muotoon ennen tallennusta.

Seuraavaksi kasvatetaan muistissa olevaa lukua yhdellä käyttämällä Increment\_RFID\_Value-makroa (Kuva 11).

Makrolle annetaan parametreina lähdelohko, kohdelohko ja paikka, johon on tallennettu käytettävä avain.

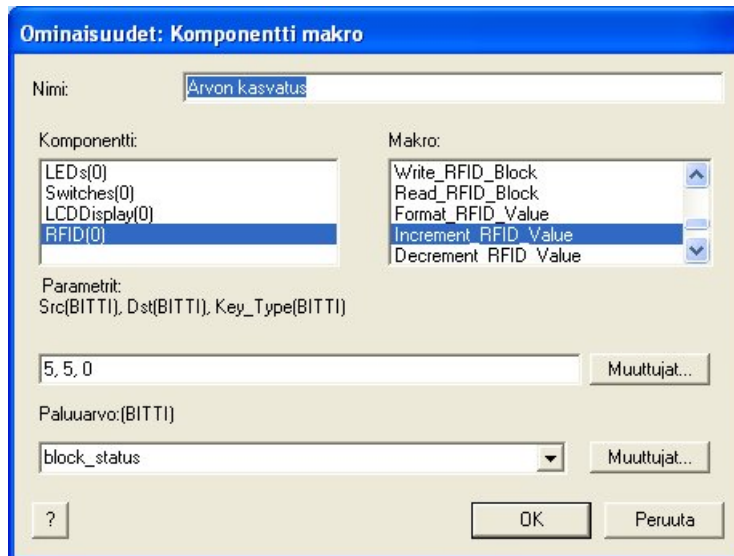
Tässä lähde- ja kohdelohko on sama lohko 5, koska muistiin tallennettua lukua vain kasvatetaan yhdellä. Avain on tallennettu paikkaan 0, kuten Mifaren perusohjelmassakin.

Paluarvo tallennetaan muuttujaan block\_status, jonka arvon perusteella tarkastellaan ehtolausekkeessa onnistuiko luvun lisäämis-toiminto.

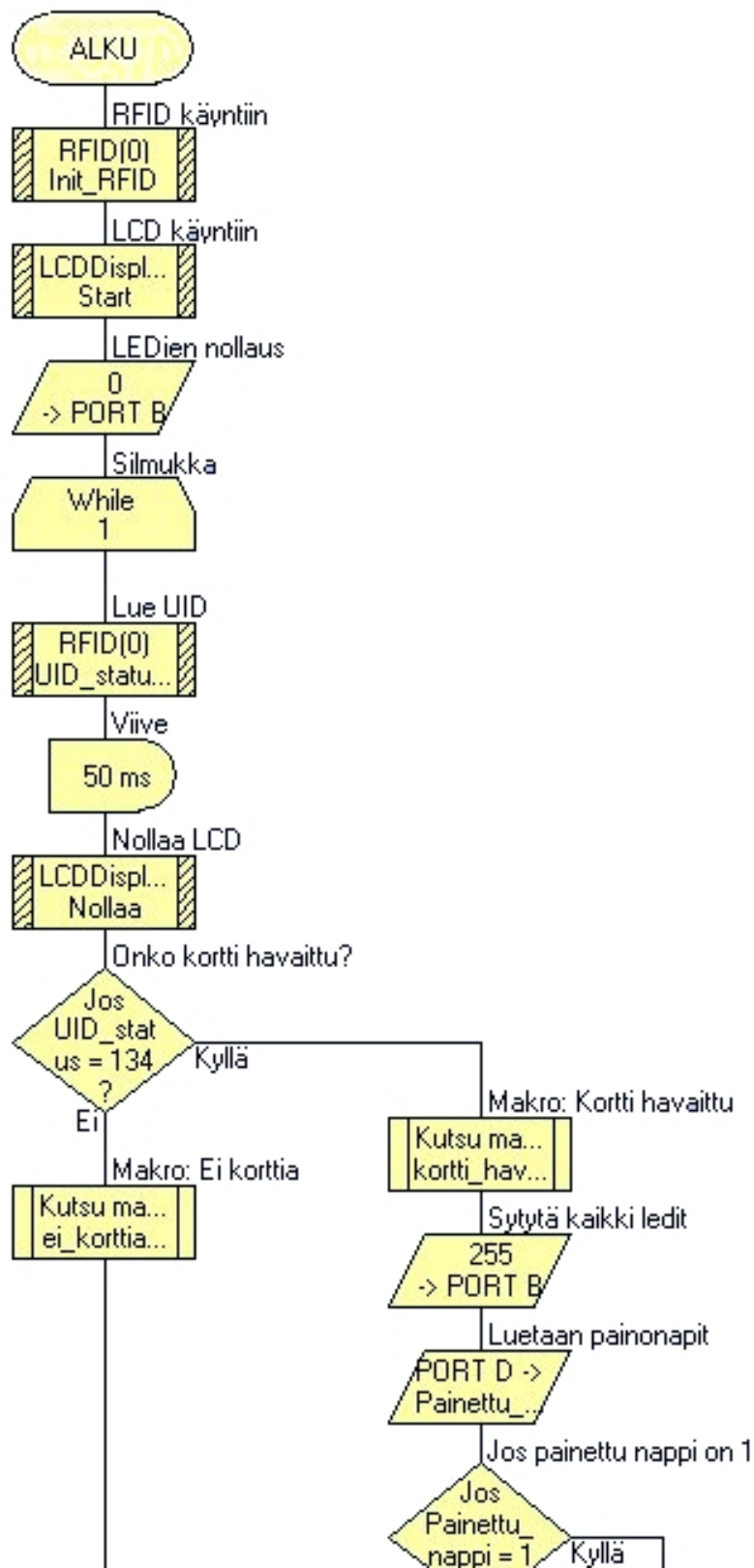
<b>M</b>	<b>u</b>	<b>i</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>i</b>	<b>l</b>	<b>o</b>	<b>h</b>	<b>k</b>	<b>o</b>	<b>s</b>	<b>s</b>	<b>a</b>	<b>:</b>	
<b>1</b>				<b>2</b>				<b>3</b>				<b>5</b>			

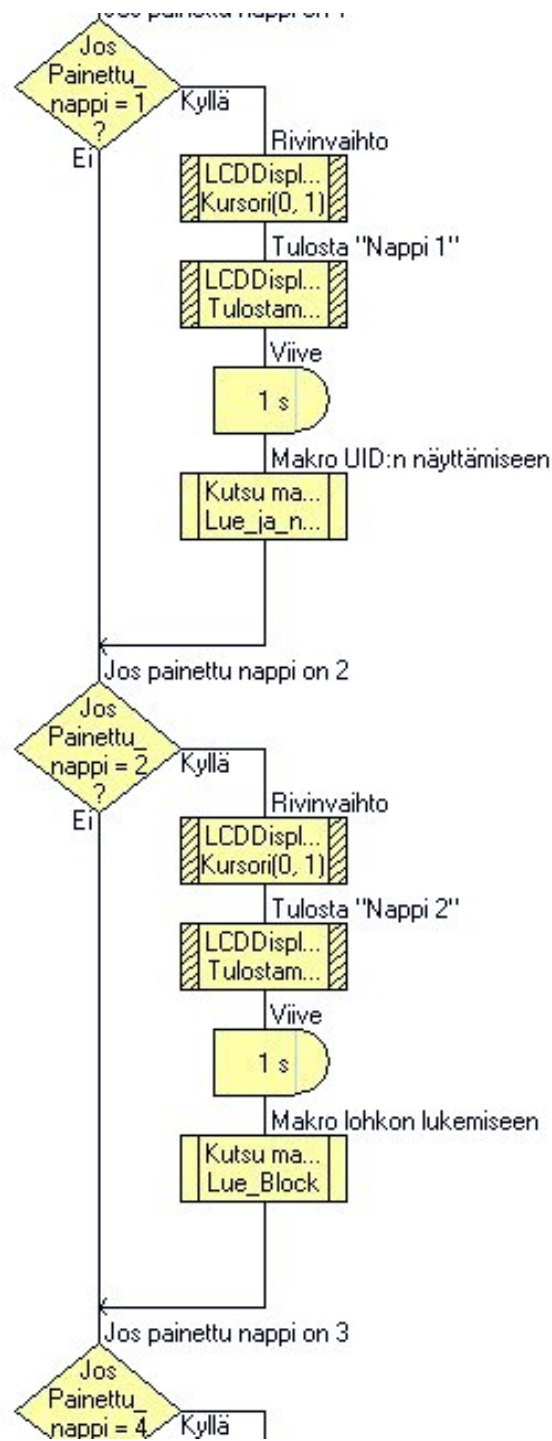
Kuva 10. Muistilohkon sisältö LCD-näytöllä kun viimeistä lukua on kasvatettu.

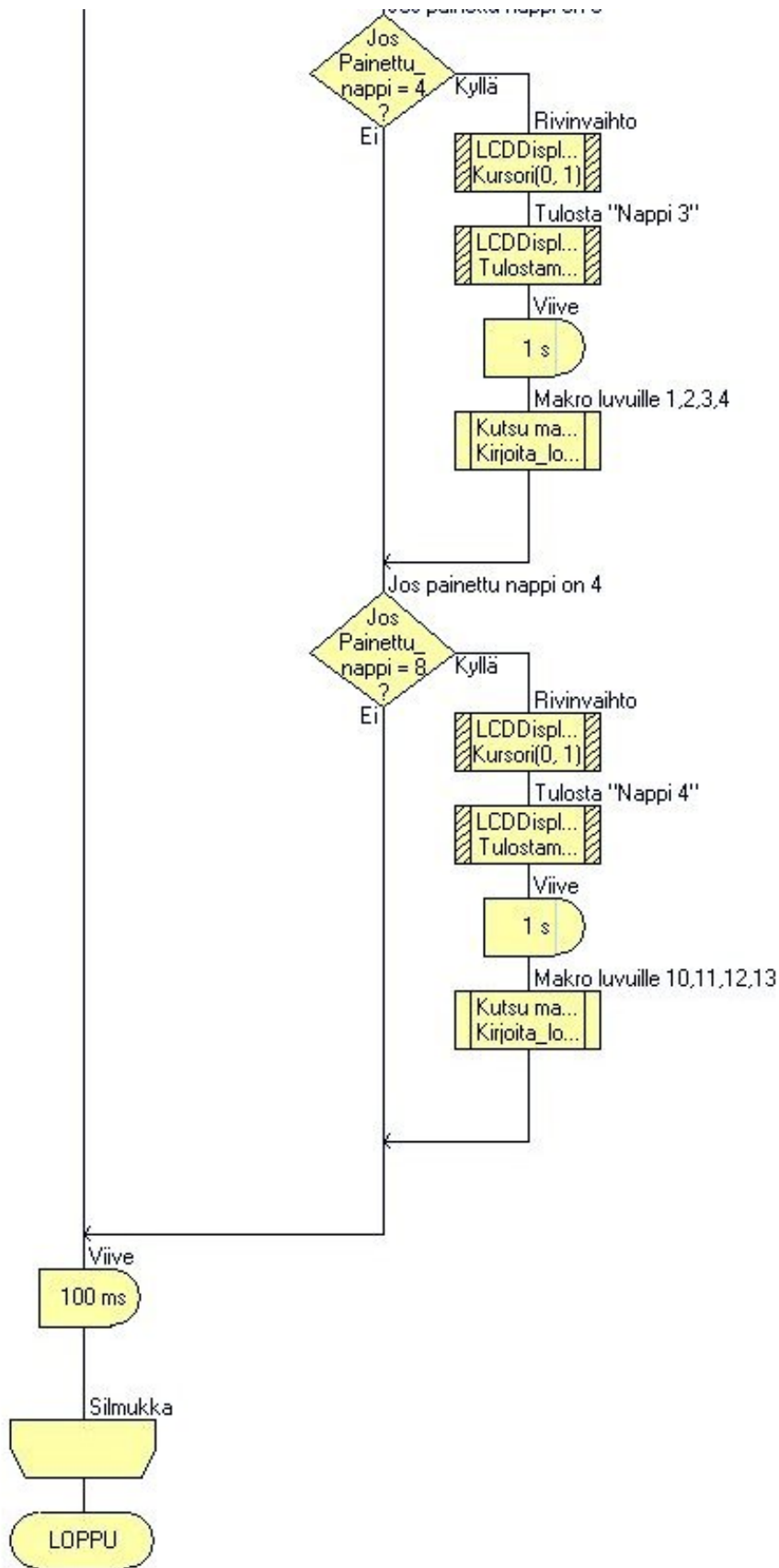
Muistissa olevasta luvusta vähentäminen toimii ohjelmallisesti samalla tavalla kuin kasvattamistoimintokin, mutta makrona käytetään Decrement\_RFID\_Value-makroa.



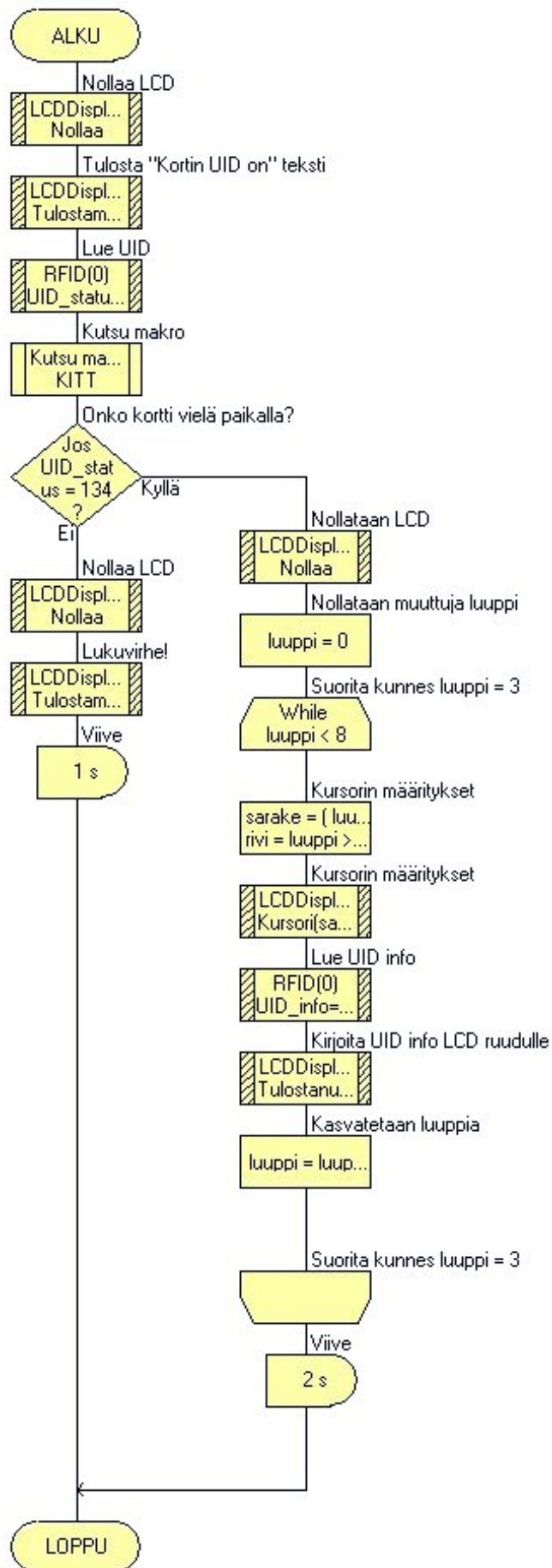
Kuva 11. Increment\_RFID\_Value-makron määrittely.



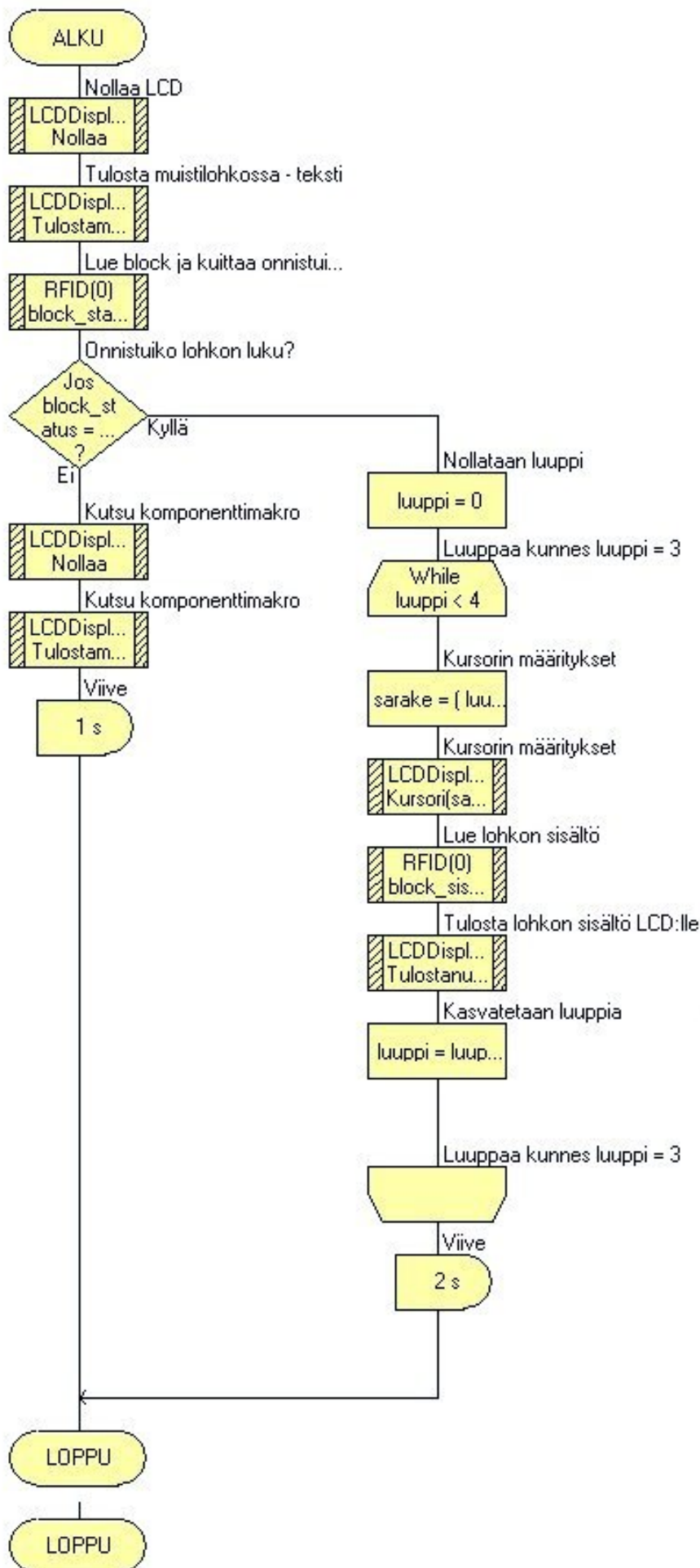




Liite 3. Flowcode-vuokaavio. Makro ICODE:n tunnisteelle UID:n lukemista varten.

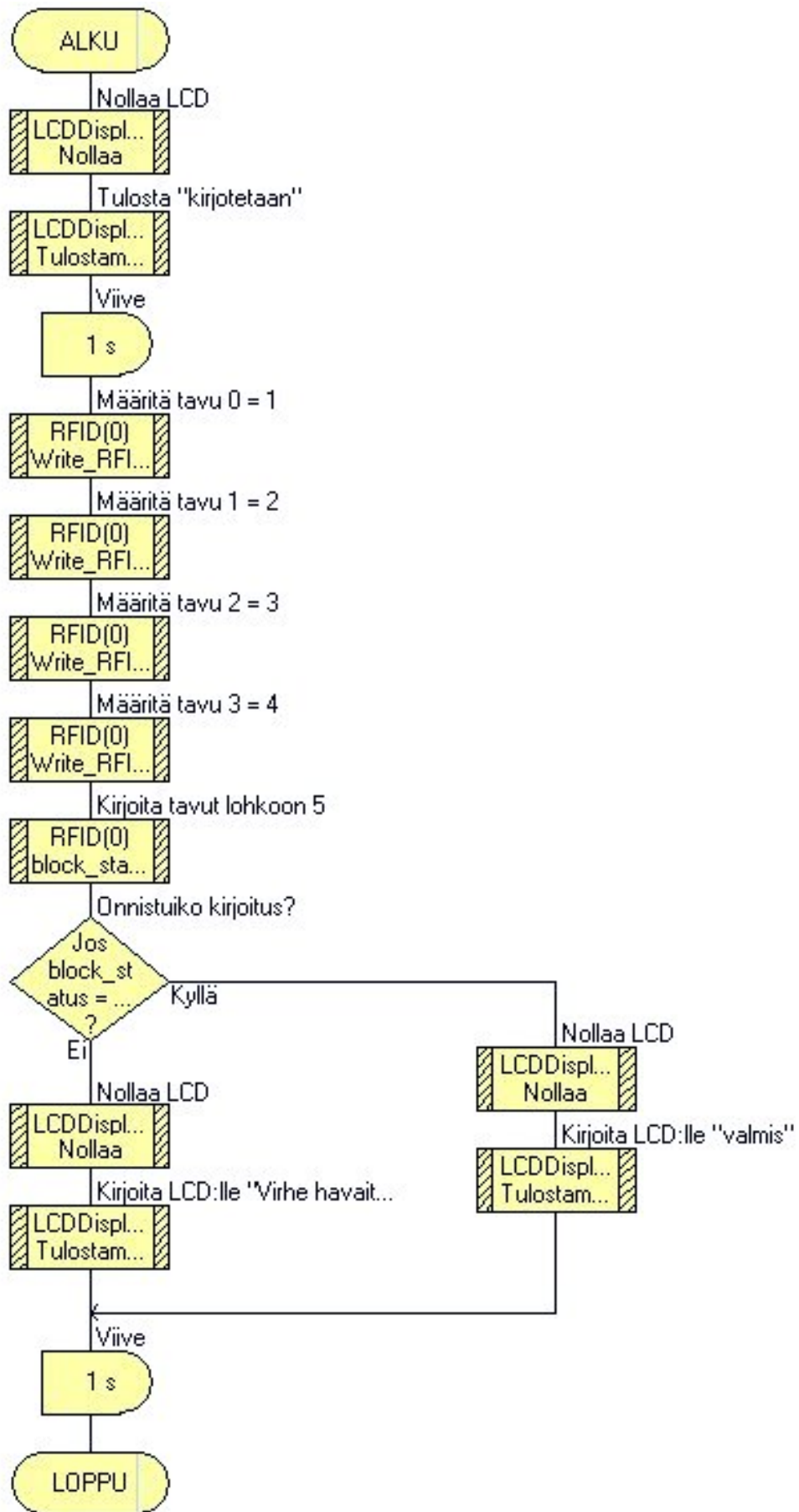


Liite 4. Flowcode-vuokaavio. Makro ICODE:n tunnisteelle lohkon lukemista varten.





Liite 5. Flowcode-vuokaavio. Makro ICODE:n tunnisteelle lohkon kirjoittamista varten.



Liite 6. Flowcode-vuokaavio. Makro Mifaren tunnisteelle lohkon tallennetun luvun kasvattamista varten.

