

AKTIIVINEN

KOSTEUSANTURIJÄRJESTELMÄ

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikanala

Tietotekniikka

Tietokone-elektronikka

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Mikko Jaaksola

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka

JAAKSOLA, MIKKO: Aktiivinen kosteusanturijärjestelmä

Tietokone-elektronikan opinnäytetyö

33 sivua, 9 liitesivua

Kevät 2010

## TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella aktiivinen kosteusanturijärjestelmä. Työ pohjautui Vigilan Oy:n valmistamaan HUMI-1-kosteusanturijärjestelmään. Työn ensimmäinen tavoite oli löytää testausmenetelmä uuden aktiivianturin havaitsemiseksi. Työn keskeisiä kohtia olivat vanhan ja uuden piirin yhteistoiminta sekä uuden piirin kustannukset.

Työ aloitettiin sopivan mittausmenetelmän valitsemisella. Valinta osui LM555-oskillaattoriin. Testausympäristö pyrittiin luomaan mahdollisimman realistiseksi luotettavien tulosten saamiseksi. Mitattaville antureille valettiin sementistä muotti, johon ne sijoitettiin mittausten ajaksi. Oskillaattoriin hyväksi käyttäen suoritettiin mittauksia taajuusgeneraattoriin ja oskilloskooppiin kytkettynä. Mitatut tulokset taltioitiin taulukkoon.

Saadut tulokset eivät vastanneet täysin odotettua. Aktiivianturin kapasitiivinen kytkeytyminen oli aluksi odotettua heikompi, mutta lopulta päästiinkin kuitenkin haluttuihin tuloksiin. Piirien yhteistoiminnassa ei ilmennyt ongelmia. Aktiivipiiri ei kuormittanut passiivista anturia ja mittaukset olivat luotettavia. Tutkimus antoi hyvän pohjan piirin toteuttamiselle, mutta jatkotutkimuksia olisi kyllä suoritettava.

Avainsanat: kosteus, mittaus, anturi, mikrokontrolleri

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology

JAAKSOLA, MIKKO: Active humidity sensor system

Bachelor's Thesis in Computer Electronics

33 pages, 9 appendices

Spring 2010

## ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to design an active humidity sensor system. The work was based on the existing passive HUMI-1 humidity sensor system by Vigilan Oy. After the design stage, the first objective was to find a testing method to detect the functional circuit of the new active system. The cooperation between the old and new sensor and the costs of the new sensor was the main focus of the work.

The work was started by choosing a suitable testing method. The LM555 oscillator circuit was chosen. The aim of the testing environment was to make it as realistic as possible, to receive the best results. A cement mold was cast for sensors where they were placed during the measurement. The measurements were performed using the oscillator circuit connected to an oscilloscope and a frequency generator. The measuring results were recorded in a chart.

The measuring results were not quite what was expected. At first the capacitive connection of the active sensor was weaker than expected, but in the end the wanted results were achieved. The cooperation between the sensors was working well. The active sensor did not load the passive sensor and the measurements were reliable. The study provided a solid base for developing the circuit for commercial use, but further studies would be needed.

Key words: humidity, measuring, sensor, microcontroller

## MERKKILUETTELO

A	Ampeeri, virran yksikkö
A/D	Elektroniikassa laite, joka muuntaa jatkuvan analogisen signaalin arvoja digitaalisiksi lukuarvoiksi (Analog to Digital Converter)
Ah	Ampeeritunti, sähkövaraus, jonka ampeerin sähkövirta kuljettaa tunnin aikana (Ampere hour)
Bluetooth	Lyhyen kantaman radiotekniikkaan perustuva langaton tiedonsiirto-tekniikka
C	Kapasitanssi
°C	Celsius, lämpötilan yksikkö
F	Faradi, kapasitanssin yksikkö
f	Taajuus
$f_{RES}$	Resonanssitaajuus
FET	Kanavatransistori (Field-effect Transistor)
GND	Sähkömaa
H	Henry, induktanssin yksikkö
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
i, I	Virta
IC	Mikropiiri (Integrated Circuit)
ISM	Maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista (Industrial, Scientific and Medical)
L	Induktanssi
$\Omega$	Ohmi, resistanssin yksikkö
Q	Hyvyysluku
R	Resistanssi
RF	Radioaalto, taajuusalueen 3 Hz - 300 GHz sähkömagneettista säteilyä
RTC	Reaaliaikakello (real time clock)

s	Sekunti
SRAM	Puolijohdetekniikalla toteutettu muistityyppi (Static Random Access Memory)
SPI	Motorolan kehittämä ohjelmointiväylä. Ohjelmoitavat laitteet käyttävät Master/Slave -asetelmaa, jossa Master -laite määrää liikutettavan datan (Serial Peripheral Interface Bus)
v, u	Jännite
V	Voltti, jännitteen yksikkö
VCC	Käyttöjännite
WLAN	Langaton lähiverkkotekniikka (Wireless Local Area Network)
ZigBee	Langattomaan likiverkkon perustuva lyhyen kantaman tietoliikenneverkko

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	PASSIIVINEN KOSTEUDENMITTAUSJÄRJESTELMÄ	2
2.1	Tausta	2
2.2	Lukulaite	3
3	KOEKYTKENNÄN PYSTYTTÄMINEN	4
3.1	Koekytkentä ja komponenttien valinta	4
3.2	Mittausympäristön luonti ja mittaaminen	7
4	AKTIIVIAANTURIPPIIRI	12
4.1	Käyttöjännitelohko	12
4.1.1	LM2936-5.0- regulaattori	13
4.1.2	Kanavatransistori	14
4.2	Ajastin	14
4.3	Reaaliaikakello	15
4.4	Ohjauslohko	16
4.5	Mikrokontrolleri	17
4.6	Lähetinlohko	18
4.6.1	Lähetinlohkon toteutus	18
4.6.2	Lähetinmoduuli	19
4.7	Anturin aktivointi	20
4.8	Virtabudjetti	20
5	VASTAANOTIN	22
5.1	Vastaanotinpiiri	22
5.2	ATtiny 13 -mikrokontrolleri	23
6	LAAJENNUKSET	24
6.1	Lämpötilan mittaus	24
7	PIIRIKORTIN KYTKENTÄ	25
8	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	34

# 1 JOHDANTO

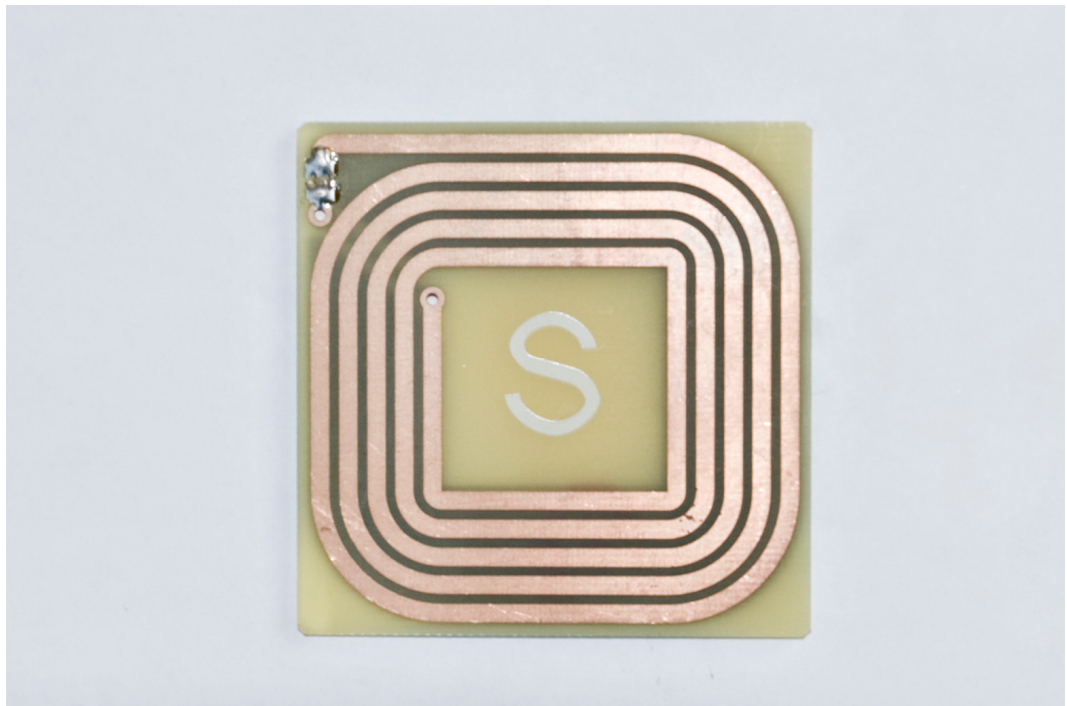
Työn tarkoituksena on suunnitella aktiivinen kosteusanturijärjestelmä sekä testata uuden ja vanhan sovelluksen yhteensopivuutta. Projekti pohjautuu jo olemassa olevaan Vigilan Oy:n valmistamaan passiiviseen Humi Control System-kosteudenmittausjärjestelmään. Aktiivinen osio tulisi sijoittaa samaan anturipiiriin passiivisen kanssa toimivaksi kaupalliseksi kokonaisuudeksi.

Työssä tarkastellaan suunnitelman kannalta kustannustehokkainta ratkaisua. Työn lähtökohta oli suunnitella järjestelmä, joka ei kuormittaisi jo olemassa olevaa passiivista järjestelmää. Kummankin osion tulisi toimia omana yksikkönään, ilman että häiritsisivät toisiaan. Suunnitelman tulisi olla erittäin luotettava, koska viikaantunutta anturia on lähes mahdotonta vaihtaa. Anturit asennetaan perusrakenteisiin, maksimissa 5 cm:n syvyyteen märkätiloihin. Aktiivisen piirin tulee siis toimia käytännössä täysin itsenäisesti. Piiri siis suorittaa mittauksia tarvittavin väliajoin ja lähettää mitatun datan langattomasti vastaanottimeen, josta voidaan tulkita anturia ympäröivän tilan kosteusarvo.

## 2 PASSIIVINEN KOSTEUDENMITTAUSJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa tutustutaan kaupallisen HUMI-1 -kosteusanturijärjestelmän perustaan lyhyesti. Tarkoitus on esitellä nykyisen passiivisen anturin toimintaperiaate sekä antureiden luentaan tarvittava lukulaite.

### 2.1 Tausta



Kuvio 1. LC-piirianturi

Vigilan Oy:n valmistama Humi Control Systems on langaton kosteudenmittausjärjestelmä rakennuksiin. Järjestelmä koostuu tutkittavaan rakenteeseen uudis- tai korjausrakennusvaiheessa asennettavista passiivisista LC-piiriantureista (Kuvio 1) sekä erillisestä lukulaitteesta, jolla rakenteen kosteustila voidaan määrittää anturin sähköisten ominaisuuksien perusteella rakenteen ulkopuolelta. Mittaus perustuu LC-piirin resonanssitaajuuden ja hyvyysluvun muutoksien mittaamiseen induktiivisen kytkeytymisen kautta 7,5 - 8,5 MHz:n taajuusalueella.



## 2.2 Lukulaite



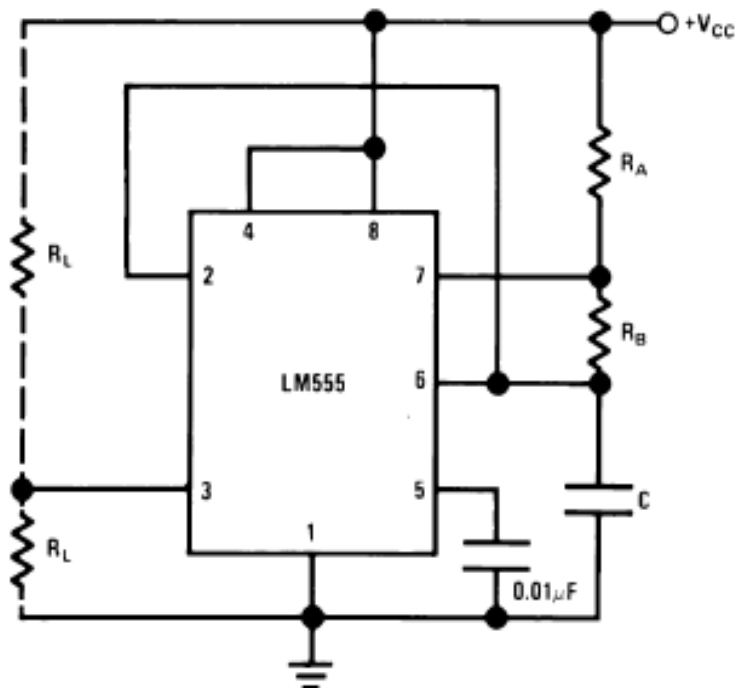
Kuvio 2. Lukulaite (Vigilan Oy 1997)

Mittaamiseen tarvittava älykkyys on sijoitettu lukulaitteeseen. Passiivinen LC-piiri herätetään luomalla sille herätepulssi lukulaitteella. Lukulaite pyyhkäisee havaitun anturin yllä mainitulla taajuusalueella olevalla pulssilla. LC-piiri reagoi tähän kytketyllä lukulaitteeseen induktiivisesti, minkä jälkeen lukulaitteelta voidaan lukea anturilta tullut tieto. (Kuvio 2.)

### 3 KOEKYTKENNÄN PYSTYTTÄMINEN

Seuraavaksi oli vuorossa LC-piirille tarkoitettu koekytkentä. Ideana oli rakentaa yksinkertainen kytkentä, jolla voitaisiin havaita aktiivisen piirin toiminta passiivisen anturin rinnalla. Kytkentää alettiin rakentaa periaatteella, jossa LC-anturin ympärille kytketään avonainen kuparisilmukka, joka taas kytketään oskillaattoriin. Tällä menetelmällä tulisi havaita LC-anturin kytkeytyminen oskillaattoriin kapasitiivisesti ja havaita se oskilloskoopilta. Tämä antaisi hyvän pohjan sille, onko mahdollista sijoittaa aktiivinen ja passiivinen kytkentä samalle anturipiirille ja voidaanko kosteuden muutokset havaita oskillaattoriin hyväksi käyttäen.

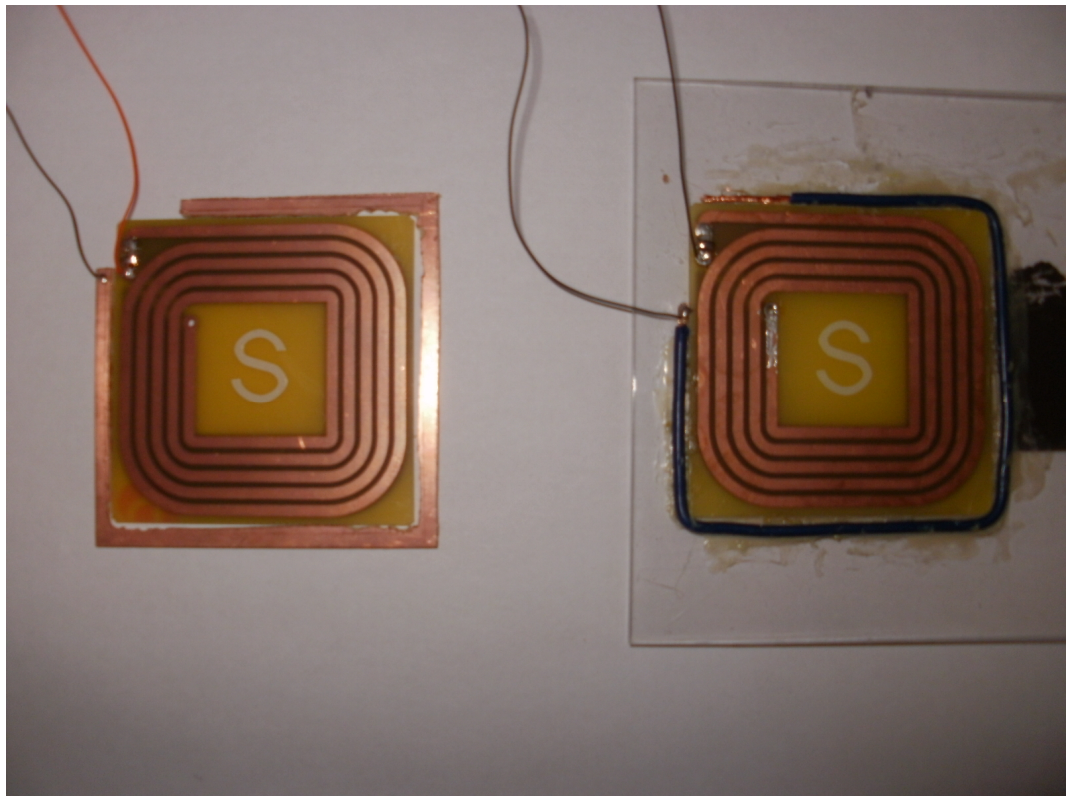
#### 3.1 Koekytkentä ja komponenttien valinta



Kuvio 3. Oskillaattoriin (National Semiconductor 2006, 7)

Testipenkin rakentaminen aloitettiin valitsemalla sopivat komponentit. Kytkennän keskeinen komponentti oli LM555 -oskillaattoriin. Piiri haluttiin kytkeä väräh-

telemään tietyllä taajuudella, joka sitten voidaan havaita oskilloskoopilta. Datasivuilta löytyy esimerkki värähtelevästä astabiilista kytkennästä Kuvion 3. mukaisella kytkennällä piiri ”syttyää” itsensä ja toimii vapaasti juoksevana oskillaattorina. Kondensaattori C latautuu vastuksien  $R_A$  ja  $R_B$  kautta ja purkautuu vastuksen  $R_B$  kautta. Kondensaattori latautuu ja purkautuu, kun käyttöjännite on  $1/3V_{CC}$  ja  $2/3V_{CC}$  välissä. Tätä hyväksikäyttäen kytkettiin LC-piirianturi rinnalle kondensaattorin C kanssa. Kytkentä tapahtui kolvaamalla pienet johtimet anturipiirin kelaan ja avoimeen kuparisilmukkaan (Kuvio 4.). Avoimia silmukoita valmistettiin useita testausta varten. Lopulliseen testipenkkiin valittiin kuitenkin Kuviossa 4. vasemmalla oleva kuparisilmukka. Piirille on määritelty oma suotokondensaattori, joka on kuvassa oleva kondensaattori arvoltaan  $0,01 \mu\text{F}$ . Vastukset  $R_L$  on määritelty datasivuilla arvoltaan äärettömiksi, joten ne jätettiin kytkennässä huomioitta. (Horowitz & Hill 1989, 286–287.)



Kuvio 4. Kolvatut anturipiirit

Datasivuilta löytyy myös kaava, jolla LM555 värähtelevä taajuus voidaan määrittää (National Semiconductor 2006, 8).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2 R_B) C} \quad , \text{ jossa} \quad (1)$$

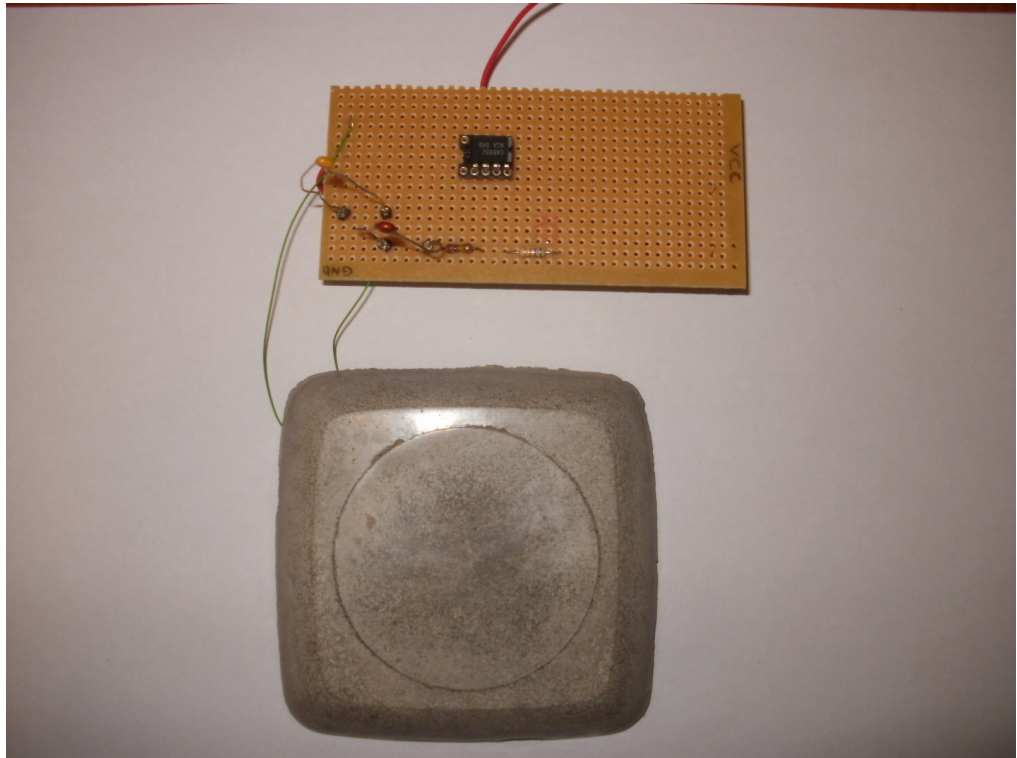
$f$  = taajuus,  $T$  = yhden pulssin jaksonaika,  $R_A$ = vastus A,  $R_B$  = vastus B.

Värähtelytaajuudeksi valittiin noin 250 kHz, joka on passiivisen anturin kosteuden muutosten referenssitaajuus. Kaavaa hyödyntäen komponenttien arvoiksi valittiin  $C = 0,33 \mu\text{F}$ ,  $R_A = 5,6 \Omega$  ja  $R_B = 5,6 \Omega$ . Teoriassa tämä antaisi taajuudeksi arvon, joka on hyvin lähellä haluttua arvoa ( $f = 260.281646 \text{ kHz}$ ). Valittu kondensaattori  $C$  havaittiin kuitenkin arvoltaan liian pieneksi piirillä olevaan kondensaattoriin nähden. Toinen ongelma ilmeni, kun piiri kytkettiin oskilloskooppiin taajuuden varmistamiseksi. Oskilloskoopin pulssista laskettu arvo näytti, ettei kyseinen piiri päässyt värähtelemään kuin maksimissaan 100 kHz:n taajuudella. Kyseistä raja-taajuutta ei ollut ilmoitettu valmistajan datasivuilla eikä vastaavien muidenkaan komponentin valmistajien datasivuilla. Haluttu 250 kHz:n taajuus ei kuitenkaan ollut täysin ehdoton piirin testaamisen suhteen. Tarkemmat tulokset se kyllä toisi, mutta kyseisellä piirillä saatu 100 kHz mahdollistaa kytkennän havaitsemisen. Kondensaattorin uudeksi arvoksi valittiin 10 pF, tämän myötä vastuksetkin jouduttiin muuttamaan, jotta haluttu taajuus pysyisi teoriassa lähes samana. Vastukset muutettiin arvoihin  $R_A = 56 \text{ k}\Omega$  ja  $R_B = 270 \text{ k}\Omega$ , tällöin taajuus olisi  $f = 242.114336 \text{ kHz}$ . Kyseisillä vastuksilla saadaan asetettua piirin antaman pulssin duty cycleksi noin 43 % datasivuilla olevaa kaavaa hyödyntäen.

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad , \text{ jossa} \quad (2)$$

$D$  = signaalin aika, jolloin piiri on ”aktiivinen”,  $R_A$ = vastus A,  $R_B$  = vastus B. (National Semiconductor 2006, 7-8.)

### 3.2 Mittausympäristön luonti ja mittaaminen



Kuvio 5. Esivalettu anturi ja oskillaattoriipiiri

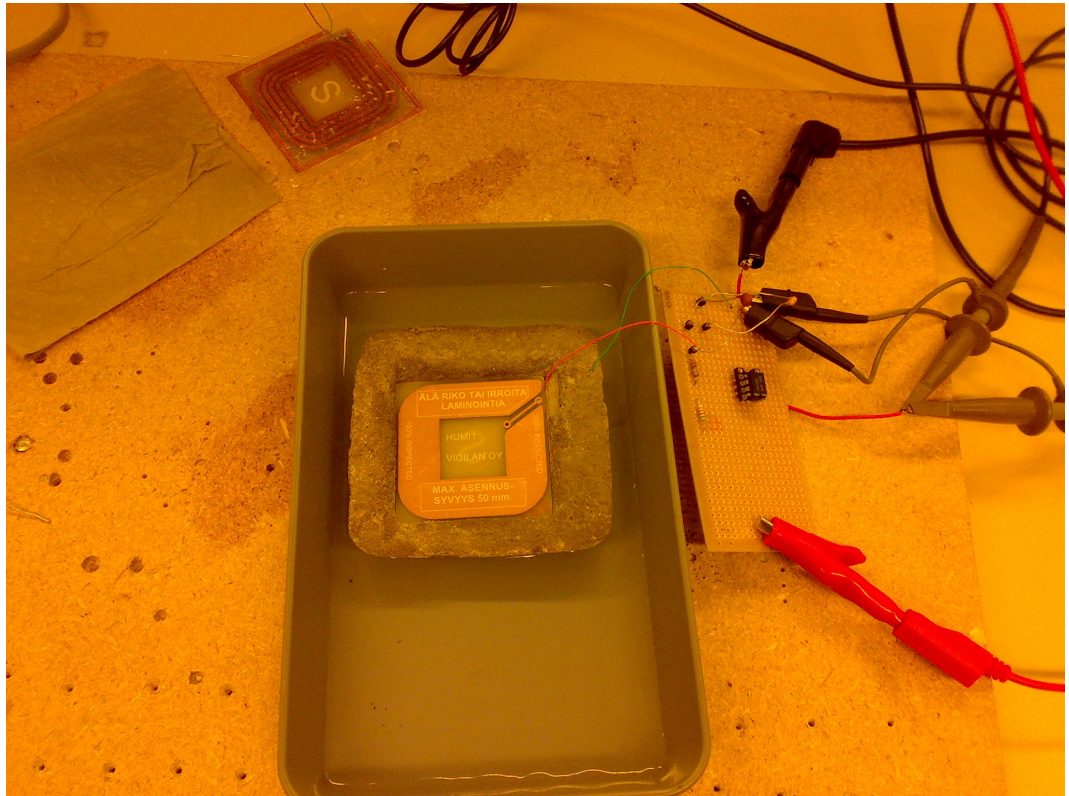
Jotta mittaustulokset antaisivat hyviä tuloksia, oli mittausympäristön valitseminen tärkeässä roolissa. Antureista saatu data haluttiin demonstroida samassa tilassa, johon itse anturi lopulta päätyisi. Kuviossa 5. on valmistettu esivalettu muotti, johon upotettiin avoin kuparisilmukka sekä anturi. Muotissa käytettiin samaa laastiseosta, jota toimitetaan valmiissa HUMI-1 -kosteusanturijärjestelmäpaketissa. Näin ollen tilanteesta saatiin mahdollisimman realistinen.

Mittaustilasta varten luotiin suolavesi seosta hyödyntäen jo valmiiksi eriarvoisia LC-anturipiirejä. Suolana käytettiin jodipitoista mineraalisuolaa, jota löytyy jokaisesta elintarvikekaupasta. Erisuuruiset paperinpalat kostutettiin suolaveteen ja laitettiin tämän jälkeen LC-piirille. Näin saatiin kosteusarvoltaan eroavia antureita, joista luettiin tiedot lukulaitetta hyväksikäyttäen ennakkoon. Tämän jälkeen anturit liitettiin oskillaattoriipiiriin johtimilla ja laitettiin piiri värähtelemään. Oskillaattoriipiiri kytkettiin oskilloskooppiin ja funktiogeneraattoriin, jotta nähtiin piirillä tapahtuvat muutokset kuvaajasta ja taajuudesta. Antureiden arvot kuvaajas-

ta ja funktiogeneraattorilta taltioitiin. Kytkeyt anturit mitattiin vielä yksi kerrallaan lukulaitteen kanssa, jotta nähtiin kuinka aktiivinen osio vaikuttaa LC-piiriin. (Liite 2.)

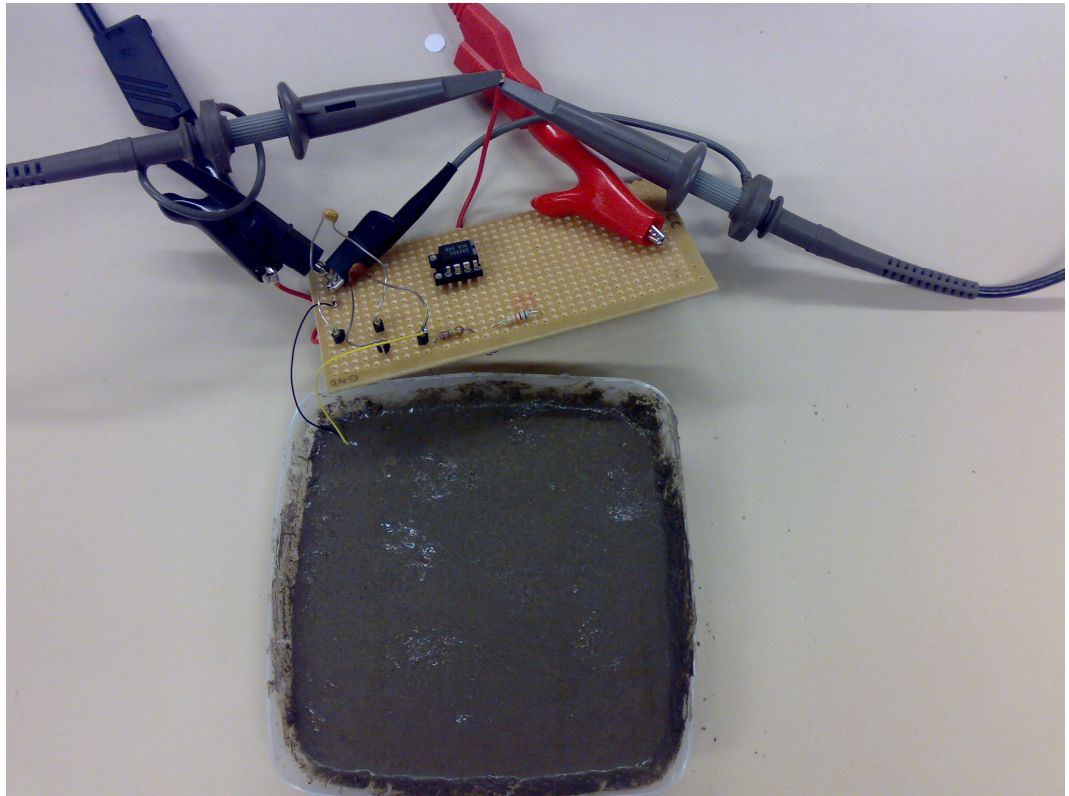
Tuloksista huomataan, että aktiiviosio ei juuri kuormita passiivista anturia. Taajuuden ja Q-arvon muutokset ovat erittäin pieniä silmukan ollessa kytkettynä anturiin. Kyseiset muutokset voivat tulla jo pelkästään saman passiivianturin mittauksien välissä. Taajuusgeneraattorilta saadut oskillaattoriin arvot ovat suoraan yhteydessä anturien Q-arvoon. Tosin taajuuden muutokset ovat kohtalaisen heikot. Liitteissä olevista laskutoimituksista huomataan arvojen muutokset prosentteina. Kyseisellä testipiirillä päästiin vain alle 20 %:n muutoksiin, vaikka Q-arvossa tapahtui melkein 60 %:n muutos. Kyseisellä menetelmällä ei saatu haluttuja tuloksia, mutta se antaa hyvän pohjan jatkotutkimuksille. (Liite 3.)

Testausmenetelmässä havaittiin puute saatuihin aikaisempiin tuloksiin nähden. Kun aikaisempaan silmukkapiiriin tuotiin kosteutta koko piirille, niin taajuus laski rajusti. Uusi testi suoritettiin laittamalla anturi ja silmukka laminaatin sisään ja tuotiin kosteutta koko piirin päälle. Tällä menetelmällä huomattiin reilusti suuremmat muutokset taajuudessa. Piirin lähtötaajuus kuivalle anturille hieman tipui, mutta resoluutio oli silti huomattavasti suurempi. (Liite 4.)



Kuvio 6. Esivalettu muotti vesihauteessa

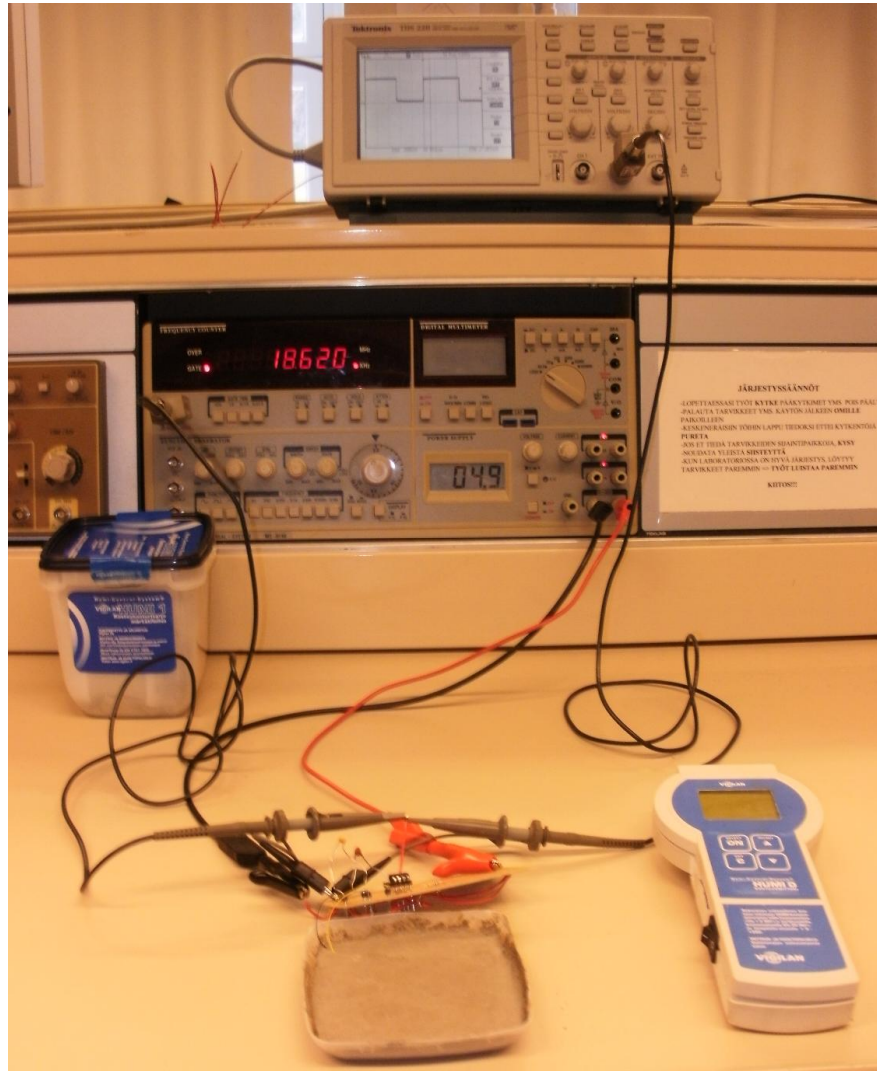
Seuraavaksi sijoitettiin esivalettu muotti vesihauteeseen Kuvion 6. mukaisesti ja seurattiin betonin kostumisen tuomat muutokset anturipiirille. Taajuus reagoi muutokseen voimakkaammin kuin Q arvo, joka saatiin lukulaitteella luettaessa. Betoni muotin kostuminen oli hidasta, koska valu oli niin paksu. Tästä johtuen myös taajuus laski hitaasti. Ongelman tuotti myös avonainen anturi silmukka. Anturin, silmukan ja betonin välissä oli laminaatti suojaamassa, ettei syntyisi galvanista kytkeytymistä ja tätä kautta oikosulkua piirille. Laminaatti ei kuitenkaan ollut tarpeeksi tiivis, joten kosteuden tullessa laminaatille se aiheutti piirille oikosulun ja taajuus tippui nolnaan. Mittauksista saatiin kuitenkin hyvä pohja tulevalle ja tulokset taltioitiin. (Liite 5.)



Kuvio 7. Betoniseoksen valmistus

Tämän jälkeen testattiin betonin kuivuminen. Mittauksia varten luotiin uusi anturipiiri. LC-anturi ja avonainen silmukka sijoitettiin tiiviiseen laminaatti muottiin. Silmukka valmistettiin yksipuolisesti kuparoidusta piirilevystä. Silmukkaan ja anturiin kolvattiin tarvittavat johtimet ja muotti tiivistettiin vielä kuumaliimalla. Muoviseen muottiin valmistettiin märkä betoniseos johon anturipiiri upotettiin Kuvion 7. mukaisesti.

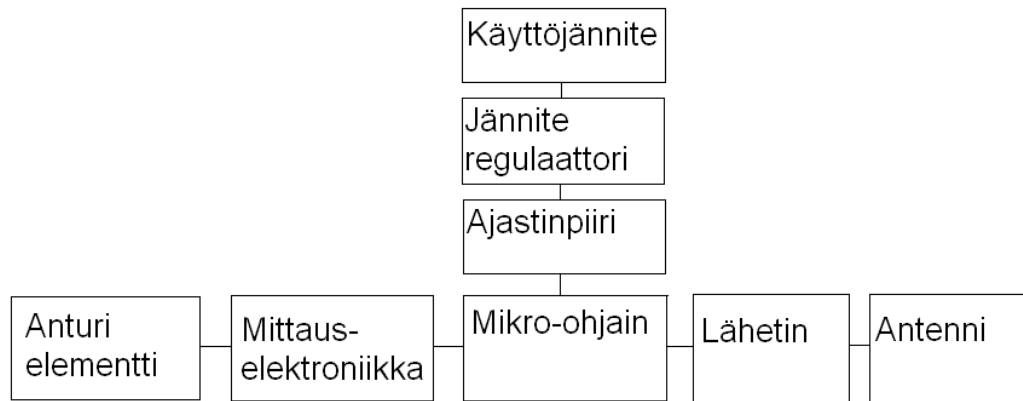




Kuvio 8. Betonin kuivumisen testausympäristö

Tällä kertaa betonikerroksesta tehtiin ohuempi, jotta kuivuminen sekä mahdollinen kosteuden lisäämisvaihe sujuisivat nopeammin. Anturipiirille saatiin lähtöarvoiksi  $Q = 96$ ,  $f_{\text{lukulaite}} = 8019 \text{ kHz}$  ja  $f_{\text{taajuusgeneraattori}} = 72,49 \text{ kHz}$ . Testipenkistä luotiin Kuvion 8. mukainen. Kuivumista seurattiin useana päivänä säännöllisesti mittauksia tehden. Tulokset taltioitiin taulukkoon. Tuloksista voidaan havaita kuinka taajuus reagoi voimakkaasti ympäristön kosteuteen. LC-anturilta luettu  $Q$  arvo reagoi muutokseen hitaammin. Taajuuden käyttäytymisestä voidaan havaita jopa ympäröivän elementin tila, eli onko elementti kuivumassa vai kostumassa. Tämä on lopputuotetta ajatellen äärimmäisen hyvä ominaisuus. Mahdollisiin ongelmiin saadaan nopeampi varmistus ja ongelmaan ehditään reagoida ilman suurempia tuhoja. (Liite 6 ja 7.)

## 4 AKTIIVIANTURIPIIRI



Kuvio 9. Anturipiirin lohkokaavio

Tässä osiossa suunniteltiin ja valittiin alustavaan aktiivianturipiiriin tarvittavat komponentit sekä lohkot. Jokaisessa lohkossa päädyttiin yhteen varteenotettavaan komponenttiin, joka esiteltiin tarkemmin kyseisessä osiossa. Anturipiiriin tarvittavat lohkot on esitetty oheisessa kaaviossa. (Kuvio 9.)

### 4.1 Käyttöjännitelohko



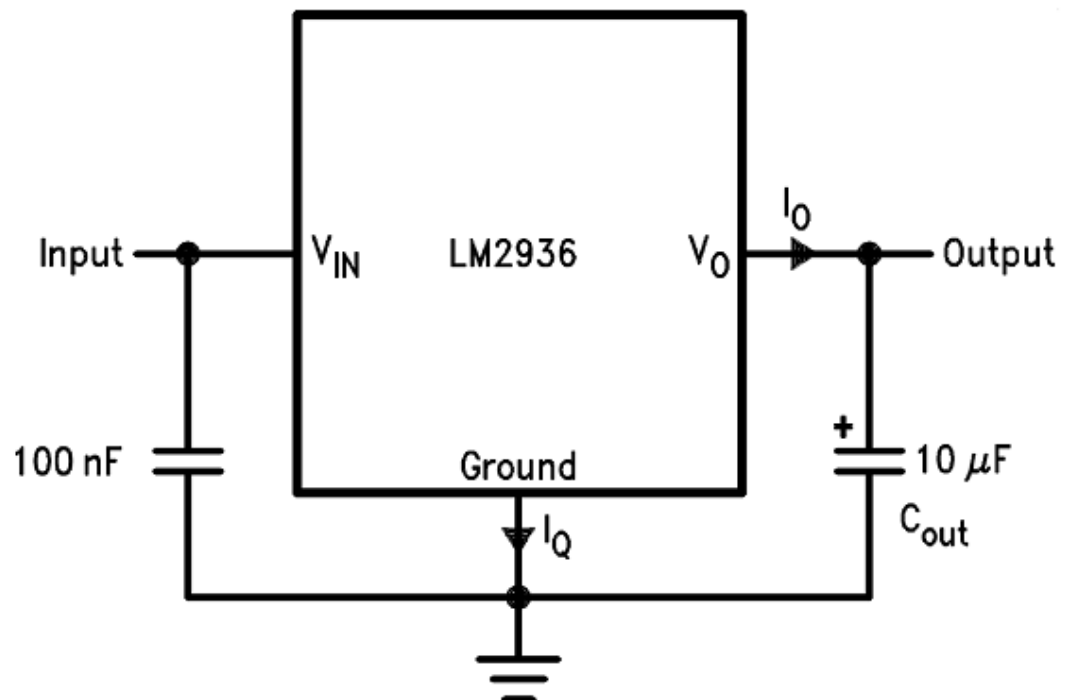
Kuvio 10. CR2430 3 V:n lithium paristo

Anturille valittiin käyttöjännitteen lähteiksi kaksi 3 V:n Lithium-nappiparistoa. Keskeisiä valintaparametreja olivat koko, kapasiteetti ja suurin jatkuva purkausvirta. Tärkein valintakriteeri oli kuitenkin aktiiviselle anturipiirille laskettu käyt-

töikä. Aktiiviselle anturille kaavailtiin eliniäksi noin 10 vuotta, jonka jälkeen piiri olisi vielä luettavissa vanhalla metodilla lukulaitetta hyväksikäyttäen. Paristojen napajännite laskee ajan myötä kapasiteetin purkautuessa. Suunnittelussa päädyttiin CR2430-lithiumparistoihin, jotka täyttäsivät tarvittavat kriteerit. Liitteessä 1 on tarkempia tietoja paristoiden ominaisuuksista. (Renata Batteries 2006.)

Anturin mittauspiiri on herkkä käyttöjännitteen muutoksille, joten käyttöjännite tulee reguloida sopivalla jänniteregulaattorilla esimerkiksi 5 V:iin. Yksi varteenotettava regulaattori olisi LM2936M-5.0. Samaa on käytetty myös HUMID-kosteusmittalaitteessa. Regulaattorin valinnassa olisi keskeistä, että se kuluttaa mahdollisimman vähän virtaa kuormittamattomana, ellei sitä kytketä lepoajaksi pois päältä. (National Semiconductor 2000.)

#### 4.1.1 LM2936-5.0- regulaattori

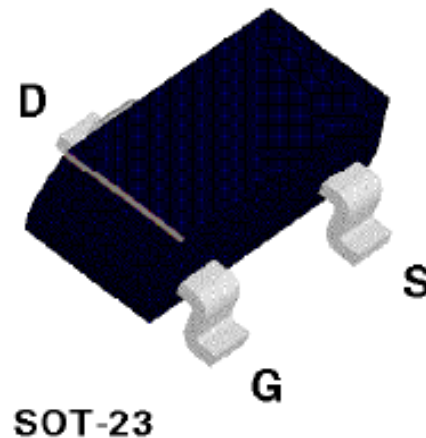


Kuvio 11. LM2936-5.0 -regulaattorin peruskytkentä

Jotta piirille tuleva käyttöjännite olisi kaikille komponenteille sopiva, on regulaattori tarpeen. Koska sarjaan kytketyt paristot tuottavat 6 V jännitteen, se täytyy

säätää suunnitelmassa valittuun 5 V:iin. Regulaattori voidaan pitää päällä jatkuvasti ilman virtaa katkaisevaa kytkintä. Tämä tarkoittaa sitä, kun piiri on kytketty pois päältä, se on ns. virransäästötilassa. Kyseinen regulaattori valittiin juurikin pienen virrankulutuksen takia. Yllä kaavio 5 V:n regulointiin. (Kuvio 11.)

#### 4.1.2 Kanavatransistori



Kuvio 12. FDV302P -kanavatransistori SOT-23 -kotelossa

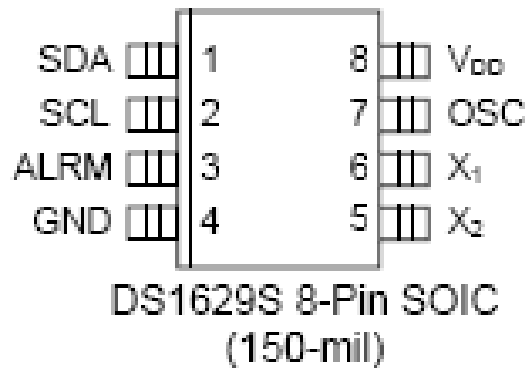
Mikrokontrollerin ja RF -elektronikan käyttöjännitteen kontrollointiin valittiin FDV302P FET. Kyseisessä sovelluksessa FET toimii ON/OFF -kytkimenä. Kun halutaan suorittaa mittauksia, FET yhdistää 5 V:n käyttöjännitteen mikrokontrollerille ja lähetin elektronikalle. Kun taas mittauksia ei suoriteta tai piiri on kokonaan lepotilassa, FET katkaisee komponenteille menevän jännitteen. (Fairchild Semiconductor, FET 1997.)

#### 4.2 Ajastin

Koko järjestelmän toiminnan kannalta olisi kriittistä mahdollisimman pieni virrankulutus mittausten välisenä aikana. Tästä syystä kaikki elektronikka olisi saatava ”nukkumaan” mittausten välillä ja herätettävä mittaamisen ja mittaustulosten lähettämisen ajaksi. Tämä voitaisiin toteuttaa reaaliaikakellolla tai muulla ajasti-

mella. Keskeisiä valintaperusteita olisivat mahdollisimman pieni lepovirrankulutus sekä mahdollisuus herättää muu elektroniikka esimerkiksi keskeytyksellä. Reaaliaikakello löytyy esim. monesta Atmelin ATMEGA-perheen mikrokontrollerista, tosin virrankulutuksen saa todennäköisesti pienemmäksi käyttämällä erillistä ajastinpiiriä. Mielenkiintoinen vaihtoehto olisi Dallas Semiconductor, Maxim DS1629, jossa on yhdistetty RTC ja lämpötila-anturi. Lopputuotteen kannalta olisi lämpötilan mittaaminen oiva lisä kosteuden rinnalla. (Dallas Semiconductor 2005.)

#### 4.3 Reaaliaikakello



Kuvio 13. DS1629 reaaliaikakello SOIC -kotelossa ja piirin portit nimettyinä

Reaaliaikakello on juuri sopiva ajastin itsenäisesti toimiviin sovelluksiin. Se sisältää kideoskillaattorin ja useamman peräkkäisen laskurin, joilla ajan kulumista seurataan. Nimensä mukaan se laskee reaaliaikaa eli sekunnit, minuutit, tunnit, päivät, päivät kuukaudessa sekä viikossa, kuukaudet ja vuodet. Kalenteri tunnistaa kuukausien päivämäärät, jopa karkausvuodet. Suunnitelmaan valittiin DS1629 -reaaliaikakello. Kyseiseen komponenttiin päädyttiin sen alhaisen virrankulutuksen ja sisäisen lämpötila-anturin takia. Lämpötila-anturia ei ole välttämättä pakko hyödyntää ensi vaiheessa, mutta on hyvä, että optio on jo valmiiksi piirillä. Toimiakseen halutulla tavalla se tarvitsee kellokiteen. Kyseinen piiri käyttää 32,768 kHz:n kidettä.

Mikrokontrollerin ohjaukseen piiristä löytyy ALRM-pinni. Käyttäjä saa itse määrittää joko lämpötila tai aikarajan, jolloin piiri tulee aktiiviseksi. Halutun

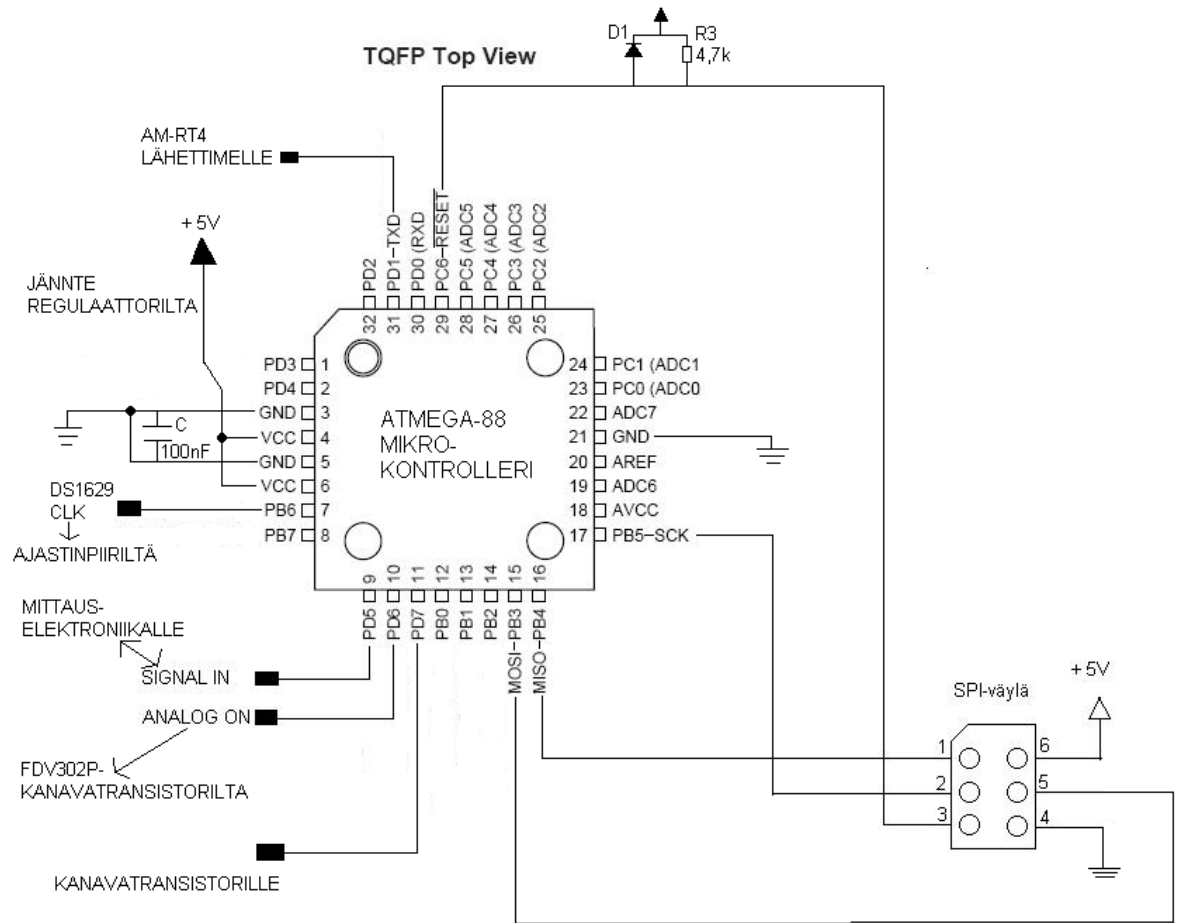
rajapinnan voi tallentaa joko piirin omaan 32 tavun SRAM-muistiin tai mikrokontrollerin muistiin.

Piirin lämpötila-anturi toimii 2-suuntaisen pinnin kautta. Mikä tarkoittaa sitä, että piiri kirjoittaa ja lukee samasta pinnistä. Digitaalinen lämpömittari tuottaa 9 bitin lämpötilalukemat, jotka ilmoittavat laitteen lämpötilan. Anturi kattaa laajan lämpötila-alueen aina -55 °C:sta +125 °C:seen, joka on kyllin riittävä mietittynä asuinrakenteiden lämpötiloihin. Talojen rakenteissa ei kuitenkaan näin suuria lämpötilaeroja pääse syntymään. Anturi ei tarvitse mitään muuta komponenttia toimiakseen, vaan se muuttaa lämpötilan itse digitaaliseen muotoon, joka voidaan esim mikrokontrollerin kautta lukea. Anturi on siinäkin mielessä helppokäyttöinen, että se on valmiiksi tehtaalla kalibroitu. Kun piiri kytketään ensimmäisen kerran päälle, se alkaa välittömästi suorittaa lämpötilan muutoksia ja tallettaa ne omiin rekistereihin. Rekisteristä voi lukea viimeisimmän arvon, eikä se häiritse piirin toimintaa. Käyttäjä voi itse määrittää, mittaako anturi lämpötilaa jatkuvasti vai jollakin tietyllä aikapulssilla. Piirin datasivuilta löytyy kattavat ohjeet ajastuksien suhteen.

#### 4.4 Ohjauslohko

Anturin toiminnan ohjaus voidaan toteuttaa lähes millä tahansa mikrokontrollerilla. On edullista, jos kontrollerissa on itsessään laskuri ja SPI-väyläliitäntä tai muu liityntä lähettimen ohjaamiseen. Mikrokontrollerin tulisi toimia valitulla käyttöjännitteellä (esim. 5 V) ja kuluttaa mahdollisimman vähän virtaa niin aktiivitilassa kuin lepotilassa. Sopiva kellotaajuus määräytyy, kuten edellä todettiin virrankulutuksen ja mittaustaaajuuden kompromissina. Mikrokontrolleri voi myös sisältää muita anturin lohkoja, kuten lähettimen tai reaaliaikakellon, kuten edellä mainittiin. Radiolähettimen sisältäviä mikrokontrollereita ovat mm. Atmelin AT86RF-perhe ja Microchipin RF-PIC-perhe. Suunnitelmaan valittiin Atmelin ATMEGA-88-mikrokontrolleri, juurikin ominaisuuksiensa puolesta.

## 4.5 Mikrokontrolleri



Kuvio 14. ATMEGA-88 -mikrokontrolleri ja kytkennät

ATMEGA-88-kontrolleri valittiin muutamastakin syystä. Yksi syy oli sen virrankulutus. Se kuluttaa 5 V:n käyttöjännitteellä ja 1 MHz:n taajuudella noin 0,9 mA. Toinen syy oli kaupallista tuotetta ajatellen hinta. Esimerkiksi Elfan sivuilla +25 kpl maksaa 2,12 €/kpl. Valitussa TQFP-pintaliitospaketissa on kaikkineen 32-pinniä, jotka riittävät mainiosti jopa mahdollisiin lisälaitelisyksiin. Kontrollerissa on 8 kilotavun sisäinen ohjelmoitava FLASH-muisti sekä 1 kilotavun sisäinen SRAM-muisti, jotka pitäisivät riittää hyvinkin sovelluksen tarkoituksiin. Mitattu data kuitenkin tullaan lähettämään vastaanottimeen eikä kaikkea mitattua dataa ole tarkoitus jättää muistiin. Koodin avulla sovelluksen voisi esimerkiksi asettaa tallentamaan piirin muistiin yhden päivän aikana mitatut tulokset, minkä jälkeen seuraavan päivän tulokset tallennetaan päälle tai ensin tyhjennetään muistista. Yllä kaavio mikrokontrollerista ja piirin kytkennöistä. (Kuvio 14.)

## 4.6 Lähetinlohko

Mitatun datan lähettämiseen otettiin lähtökohdaksi yleisesti tunnetut sekä yleisillä taajuuksilla toimivat ratkaisut. Oman lähetinlinkkitoteutuksen pystyttäminen olisi todennäköisesti hyödyllisesti erittäin pieni siihen vaadittavaan työmäärään nähden. Yleisesti tunnettuja vaihtoehtoja ovat mm. Bluetooth, WLAN sekä ZigBee, jolloin vaadittavat viranomaismääräyksetkin olisivat kunnossa. Toisaalta tässä sovelluksessa siirrettävä tietomäärä oli varsin pieni eikä siirtonopeudella ole erityisvaatimuksia. Linkin toimintaetäisyys on tyypillisen kylpyhuoneen kokoluokkaa eli alle 10 m. Edullinen kokonaisuus sekä pieni virrankulutus olivat lisäksi määrääviä tekijöitä. Näiden perusteella suunnitelmaan valittiin 433 MHz:n ISM-kaistalla toimiva radiolinkki.

### 4.6.1 Lähetinlohkon toteutus

Ensimmäinen vaatimus radiolinkin toiminnalle olisi, että 433 MHz:n taajuinen signaali saadaan siirrettyä ulos esimerkiksi betonirakenteesta ilman, että se vaimenee liikaa. Radiotaajuuslohkon toteutuksessa tuli ottaa huomioon seuraavia asioita:

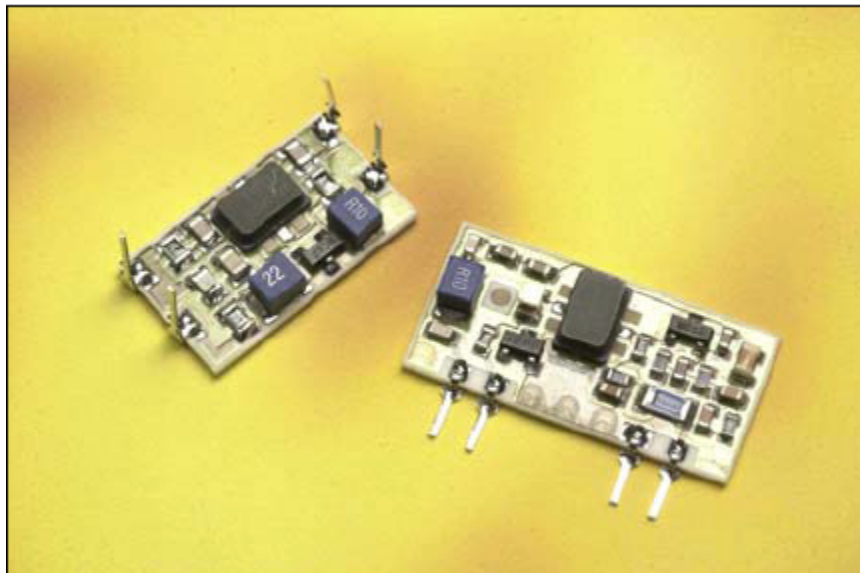
1. Antenni tulisi todennäköisimmin toteuttaa litteänä silmukkana piirilevyn pinnalle. Antennin ominaisuuksia laskettaessa tulisi huomioida betonin dielektrisyys, tai vaihtoehtoisesti järjestää antennin läheisyyteen ilmatasku.
2. Lähetinpiirin tulisi toimia mahdollisimman pienellä virrankulutuksella, eli käytännössä sen käyttöjännitteet tulisi katkaista lepovaiheen ajaksi. Lähettyksen aikana tarvittava virta saattaa hetkellisesti ylittää nappipariston maksimiantovirran, joten käyttöjännitettä tulisi mahdollisesti tukea riittäväällä kondensaattorilla.
3. Lähetinpiirin- tai moduulin tulisi olla melko matala, käytännössä noin 2 mm:n korkeusluokkaa oleva pintaliitoskotelo.



4. Olisiko mahdollista toteuttaa radiolinkin sekä anturin ohjaus samalla mikrokontrollerilla? On olemassa lähetinpiiri-mikrokontrolleri yhdistelmäpiirejä, jolloin sekä RF-linkki ja anturin ohjaus olisi toteutettu samalla komponentilla. Tällaisen komponentin lepovirrankulutus saattaa kuitenkin olla sovellukseen liian suuri.

Eräs sopiva valmis lähetinmoduuli voisi olla AM-RT4-433FR, RF Solutions. (RF Solutions 2006).

#### 4.6.2 Lähetinmoduuli



Kuvio 15. AM-RT4-433FR -lähetin vasemmalla ja oikealla AM-RT5 hieman erilaisilla porteilla

Lähetinmoduuliksi valittiin AM-RT4-433FR (Kuvio 15.). Kyseinen lähetin valittiin muutaman ominaisuutensa perusteella. Jälleen kerran avainasemassa oli komponentin virrankulutus, joka datasivujen perusteella olisi 4 mA:n luokkaa. Toinen merkittävä tekijä oli sen helppokäyttöisyys. Kyseinen lähetin tarjoaa kantaman aina 70 metriin saakka, joka on hyvinkin riittävä käyttötarkoituksiin. Lähetinpiiri ei tarvitse kuin yhden datasihtaaln mikrokontrollerilta, ulkoisen antennin, piirin maa-kytkennän sekä käyttöjännitteen toimiakseen. Erillistä RF Encoderia ei tarvita, koska lähetin ei tässä sovelluksessa tarvitse useampaa kanavaa datan siirtoon. Koska itse

lähettimessä ei ole säädettäviä komponentteja, se takaa erittäin luotettavan ja vakaan tiedonsiirron.

433 MHz:n ISM-kaistalla suurin sallittu lähetysteho on 10 mW e.r.p. Vapaan tilan vaimennus 433 MHz:n taajuudella 10 m:n etäisyydellä on noin 45 dB. Noin 10 m:n päässä sijaitsevalle vastaanottimelle saataisiin siis noin -35 dBm (~0.3 uW) säteilyteho. Valmiin vastaanotinmodulin herkkyys on tyypillisesti vähintään -100 dBm:n luokkaa, esimerkiksi AM-RRQ3-433 –lähettimessä se on 107 dBm. Marginaalia jäisi siis helposti vaikka otetaan huomioon häviöt betonin vaimennukseen, heijastuksiin ja huonosti suuntaaviin ja suunnattuihin antenneihin, vaikka lähetystehoa pienentäisi sallitusta maksimista. (ERC RECOMMENDATION 70-03 2009.)

#### 4.7 Anturin aktivointi

Koska piiri toimii paristojen varassa, ongelmaksi ilmeni tuotteen mahdollinen varasto aika. Toiminta-ajan ollessa 10 vuotta ei tuote saisi vanheta hyllyyn ennen asennusta. Paristo kiinnitetään anturiin todennäköisesti jo kokoonpano vaiheessa, jolloin koko piirilevy asetetaan laminaattiin tai vastaavaan muottiin, joka suojaa sitä betonisen ympäristön vaikutuksilta. Anturin piirilevyn reunalle voitaisiin esim. tuoda pinnirima, joka ulottuisi suojaavan muotin ulkopuolelle. Anturin mahdollinen ohjelmointi ja aktivointi voitaisiin sitten suorittaa tämän pinniriman välityksellä esim. jumppereilla oikosulkemalla.

#### 4.8 Virtabudjetti

Suunnittelun virtabudjetti täytyy kattaa lähtökohtaisesti määritetyt kriteerit. Suurin haaste oli 10 vuotta valittu käyttöikä. Valituilla teholähteinä olivat kaksi CR2430-paristoa sarjassa, joista saadaan jännitteeksi 6 V ja varaukseksi 285 mAh. Kyseisillä paristoilla suurin jatkuva purkausvirta on 4 mA, joskin ne kestävät kyllä helposti 10 ms pulssin ajan 10 mA:n virrallakin. Tällainen virtapiikki syntyy luultavasti ainakin datan lähettämisen aikana. Keskimääräinen virrankulutus 10 vuoden ajalta saa olla kyseisillä komponenteilla maksimissaan 3,3 µA. Tämän perusteella

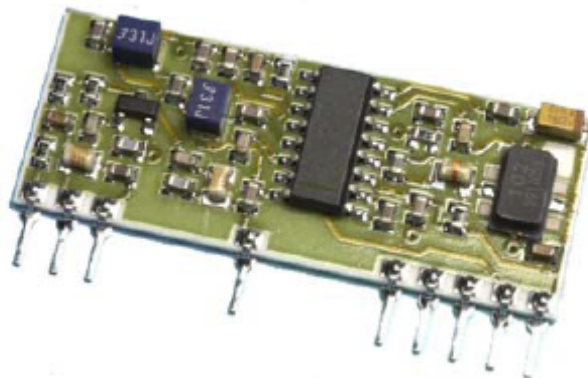
voidaan kapasiteetti jakaa piirille jos oletetaan, että puolet paristojen varauksesta käytetään piirin lepotilaan ja puolet aktiivitilaan. Tällöin lepotilan virrankulutus saisi olla maksimissaan  $1,65 \mu\text{A}$ . Jos lepotilassa on aktiivisena ainoastaan reaaliaikakello, on tämä virrankulutus mahdollista saavuttaa. Esimerkiksi DS1629-reaaliaikakellolla on lepovirrankulutus  $200 \text{ nA}$ .

## 5 VASTAANOTIN

Vastaanottimen tehtävä on vastaanottaa anturin lähettämät mittaustulokset sekä esittää ne käyttäjälle. Vastaanottimen käyttöliittymä voidaan toteuttaa erittäin yksinkertaisesti siten, että siinä on vastaanotinpiirin lisäksi ainoastaan kevyt mikrokontrolleri, joka ohjaa ledejä. Tämä oli lähtökohtaisesti yksinkertaisin toimintamalli, jossa niin sanotut liikennevalot ilmoittavat anturilta luetun tiedon. Vihreä kuvastaa normaaliolosuhdetta kun taas punainen led ilmoittaisi epäilyttävästä kosteuden muutoksesta. Tämä tietysti vaatisi sen että varmempi tieto tilasta saataisiin ainoastaan lukulaitteella luettaessa. Yksi vaihtoehtoinen vaihtoehto vastaanotin moduuliksi olisi AM-RRQ3-433, RF Solutions. (AM Superhetrodyne Receivers 2006.)

Anturissa toteutettavat laajennukset asettavat toki lisävaatimuksia esimerkiksi näytön suhteen. Mikäli lämpötila-anturi halutaan toimivaksi, tarvittaisiin näyttöä. Yksi vaihtoehto olisi tehdä vastaanottimesta PC:hen liitettävä versio, jolloin esim. laajennukset saadaan käyttöön vasta erillisen PC-ohjelmiston hankinnan yhteydessä. PC antaisi tietysti mittavat mahdollisuudet erilaisten käyttöliittymien toteuttamiseksi, toisaalta vastaanottimen toiminnan tulisi kuitenkin olla PC:stä riippumaton.

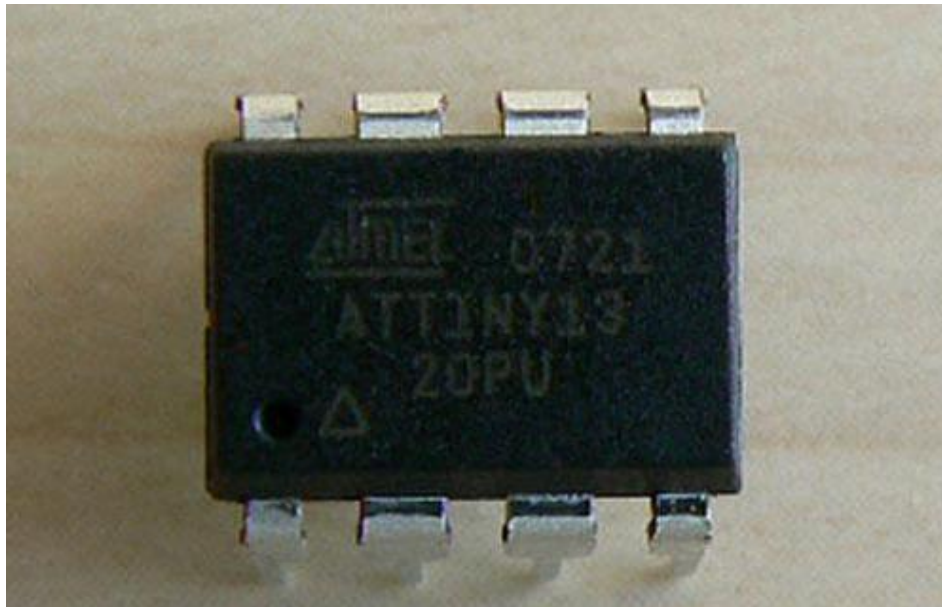
### 5.1 Vastaanotinpiiri



Kuvio 16. AM-RRQ3-433 vastaanotin moduuli

Vastaanotinpiiriä varten valittiin AM-RRQ3-433 -vastaanotin (Kuvio 16.). Kyseinen piiri on saman valmistajan kuin lähettimenä käytetty AM-RT4-433FR. Vastaanotinmoduuli tulisi olla fyysiseltä kooltaan kohtalaisen pieni. Käyttöjännitettä varten olisi vaihtoehtoina joko paristo tai verkkovirtaan liitettävä muuntaja. Vastaanotin sijoitetaan kuitenkin kylpytiloihin, joten paristo olisi ehkä varteenotettavampi vaihtoehto. Paristoversiota varten piirille olisi sijoitettava myös jänniteregulaattori. Valitaan vastaanottimeen jo kertaalleen esitelty LM2936-regulaattori. Datan käsittelyä varten piirille valittiin ATtiny13-mikrokontrolleri. Kyseinen kontrolleri on sopivan pieni ja riittävä toiminnaltaan ledien ohjaukseen. Tähän tarkoitukseen ei tarvita kuin kaksi ohjelmoitavaa I/O-pinniä, jotka ohjelmassa ohjelmoidaan rajapinnoista riippuen vilkuttamaan oikean väristä lediä. Piirille voisi myös lisätä yhden ylimääräisen ledin, jolla ilmoitettaisiin paristojen tilasta.

## 5.2 ATtiny 13 -mikrokontrolleri



Kuvio 17. ATtiny 13 -mikrokontrolleri

ATtiny 13 -mikrokontrolleriin päädyttiin sen koon ja hinnan perusteella. Virrankulutus on komponentilla myös alhainen. Fyysiseltä kooltaan se käytännössä mahtuisi AM-RRQ3 -vastaanotinpiirille. Vastaanotinpiiri voisi käytännössä olla juurikin moduulin kokoinen, kunhan koteloon järjestäisi korkeus suunnassa tilaa kontrollerille, paristoille, regulaattorille ja ledeille. (ATtiny 13 2008.)

## 6 LAAJENNUKSET

Kosteusanturijärjestelmään voidaan haluttaessa liittää lisäarvoa tuovia laajennuksia, joskin niiden lisääminen anturipiirille on tehtävä virrankulutus huomioiden. Yksi näistä olisi vastaanotin moduuliin liitetty näyttö, josta käyttäjä näkisi suoraan anturipiiriltä tapahtuvat mittaukset. Vähävirtaisella ja edullisella mikrokontrollerilla on yleensä rajallinen määrä I/O-pinnejä, joten kaikkia laajennuksia ei kustannusten ja komponenttien rajoitusten takia ole mahdollista sisällyttää ensimmäiseen versioon.

### 6.1 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittaamiseen löytyy runsaasti valmiita IC-piirejä, joiden mittaustarkkuus sekä rajapinnat vaihtelevat. Yksi vartenotettava vaihtoehto olisi jo edellä mainittu DS1692-piiri. Tässä sovelluksessa yhden asteen mittaustarkkuus lienee riittävä, mikä ei itsessään ole kovin kummoinen vaatimus IC-piirille. Komponentin osalta yksi huomioitava rajaava tekijä on fyysinen koko. Piiri ei korkeudeltaan saisi olla kuin maksimissaan 4 - 5 mm.

Lämpötilan mittauksen voisi myös yksinkertaisesti toteuttaa jännitteenjaolla termistoria hyödyntäen. Tällöin kontrollerin yhteydessä mahdollisesti oleva A/D-muunnin voisi mitata jännitettä termistorin yli.

## 7 PIIRIKORTIN KYTKENTÄ

Lopullisten komponenttien valinnan jälkeen aloitettiin piirin schematicin suunnittelu. Piirin kokoamiseen käytettiin CadSoft Onlinen, EAGLE Layout -editoria. Ohjelma muistuttaa hyvin paljon koulussa käytettyä PADS Logic -ohjelmaa. EAGLE on ilmaisohjelma, minkä takia kyseinen ohjelma valittiin. Yksi suuri plussa oli myös valmistajan kotisivuilta löytyvä komponenttikirjasto. Ohjelman käyttäjät lisäsivät itse suunniteltuja komponentteja kirjastoon, josta jokainen sai halutessaan ladata haluamansa komponentit omalle koneelle. Suunnittelu toteutettiin lohkokaavioon piirretyssä järjestyksessä. (CadSoft online 2009.)

Vaihe 1: Sarjaan kytketyt paristot yhdistettiin plus-navasta regulaattorin Input: in  $V_{IN}$  sekä suotokondensaattorin  $C_2$  kautta maihin. Paristojen miinus-napa kytkettiin maihin. Regulaattorin Ground-portti kytkettiin maihin. Regulaattorin  $V_O$ -portti kytkettiin suoto- ja stabilointikondensaattorin  $C_{out}$  kautta maihin ja anturipiirille käyttöjännitteeksi. Kondensaattoreiden arvoiksi valittiin  $C_2 = 100 \text{ nF}$  ja  $C_{out} = 10 \text{ }\mu\text{F}$ .

Vaihe 2: Regulaattorilta kytkettiin käyttöjännite FDV302P-kanavatransistorille D-jalkaan, jotta transistori saisi ohjattavan käyttöjännitteen. Kanavatransistorilta kytkettiin S-jalka lähetinmoduulin  $V_{CC}$ -porttiin, jotta lähetin saisi käyttöjännitteen itselleen. Mikrokontrollerilta kytkettiin PD6-portti kanavatransistorin G-jalkaan sekä vastuksen  $R_3$  kautta käyttöjännitteeseen. Näin varmistetaan kontrollerilta signaali lähettimen aktivoimiseksi. Vastuksen arvoksi valittiin  $R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$ .

Vaihe 3: DS1629-reaaliaikakello kytkettiin SDA-portista mikrokontrollerin PD3(1)-porttiin, jotta lämpötila-anturin data voitaisiin lähettää kontrollerille. SCL-portti kytkettiin kontrollerin PD4(2)-porttiin kaksisuuntaisen kellopulssin ohjauksen vuoksi. ALRM-portti kytkettiin kontrollerin PD2(32)-porttiin, jotta saataisiin reaaliaikakellolle käyttäjän haluamat rajapinnat piirin aktivoimiseksi. GND kytkettiin anturipiiriin maahan.  $V_{DD}$  kytkettiin piirin käyttöjännitelohkoon. OSC-portti kytkettiin kontrollerin PB6(7)-porttiin, josta kontrolleri saa kellopuls-

sin.  $X_1$  kytkettiin kiteen  $Q_1$  Input-porttiin ja  $X_2$  kiteen Feedback-porttiin. Näin piirille saatiin ajastin, joka säätelee mittauksia ja virrankulutusta. Kiteen  $Q_1$  arvoksi valittiin 32,768 kHz.

Vaihe 4: Seuraavaksi kytkettiin ATMEGA-88 mikrokontrollerin pinnit. Kytkennät aloitettiin pinnien numerojärjestyksestä. GND -portit 3, 5 ja 21 kytkettiin suotokondensaattorin  $C_3$  kautta maahan.  $V_{CC}$ -portit 4, 6 ja 18 kytkettiin jänniteregulaattorilta saatuun 5 V:n käyttöjännitteeseen. Portti 7(PB6) kytkettiin DS1629-reaaliaikakellon OSC -porttiin. Portti 9(PD5) kytkettiin mittaaselektronikalle, tässä tapauksessa testauksessa käytettyyn LM555-oskillaattoriin Output-pinniin. Portti 6(PD6) kytkettiin FDV302P -kanavatransistorille. Portti 15(MOSI) kytkettiin SPI-ohjelmointiväyläliittimen MOSI-pinniin. Tällä mahdollistetaan Master -laitteelta tiedonsiirto Slave-laitteelle, esimerkiksi STK500-ohjelmointialustalta tiedonsiirto aktiivianturipiirille. Portti 16(MISO) kytkettiin myös ohjelmointiväyläliittimelle MISO-pinniin. Tämä kytkentä taas mahdollistaa päinvastaisen tiedonsiirron. Portti 17(SCK) kytkettiin myös liittimelle SCLK-pinniin, jolla saadaan kellopulssi tiedonsiirtoon. Portti 29(PC6-RESET) kytkettiin väyläliittimelle diodin ja ylösvetovastuksen  $R_3$  kautta 3 -pinniin. Kyseinen pinni toimii väyläliittimessä tiedonsiirron käskyttäjänä. RESET-pinni on nolla-aktiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että kun kyseisen signaalin tila muuttuu nollassi, on SPI-väylä silloin aktiivinen. SPI-väylällä on aina oltava vähintään yksi Master-laite ja yksi Slave-laite. Signaalin ollessa nolla alkaa tiedonsiirto kellopulssin määräämäksi ajaksi. Käytännössä Master-laite pakottaa RESET-linjan alas tiedonsiirron mahdollistamiseksi. RESET-pinnin signaalin muuttuessa ykköseksi loppuu tiedonsiirto. Uusi tiedonsiirto voidaan aloittaa vasta kun tila on taas muuttunut nollassi. Portti 31(TXD) kytkettiin AM-RT4 -lähettimelle piirin Data Input -pinniin, jotta saataisiin mitattu data lähetettyä vastaanotinpiirille. Komponenttien arvoiksi valittiin  $C_3= 100$  nF,  $R_3= 4,7$  k $\Omega$  ja diodi  $D_1= 1N4148$ .

Vaihe 5: Seuraavaksi oli vuorossa AM-RT4-433FR lähetinmoduulin kytkeminen. Lähettimen portti 1( $V_{CC}$ ) kytkettiin kanavatransistorin S-jalkaan. Lähettimen portti 2(GND) kytkettiin maahan. Portti 3(IN) kytkettiin kontrollerin TXD(31)-pinniin ja portti 4(ANT) ulkoiseen antennisilmukkaan. Lähetinmoduuli ei tarvitse muita ulkoisia komponentteja.

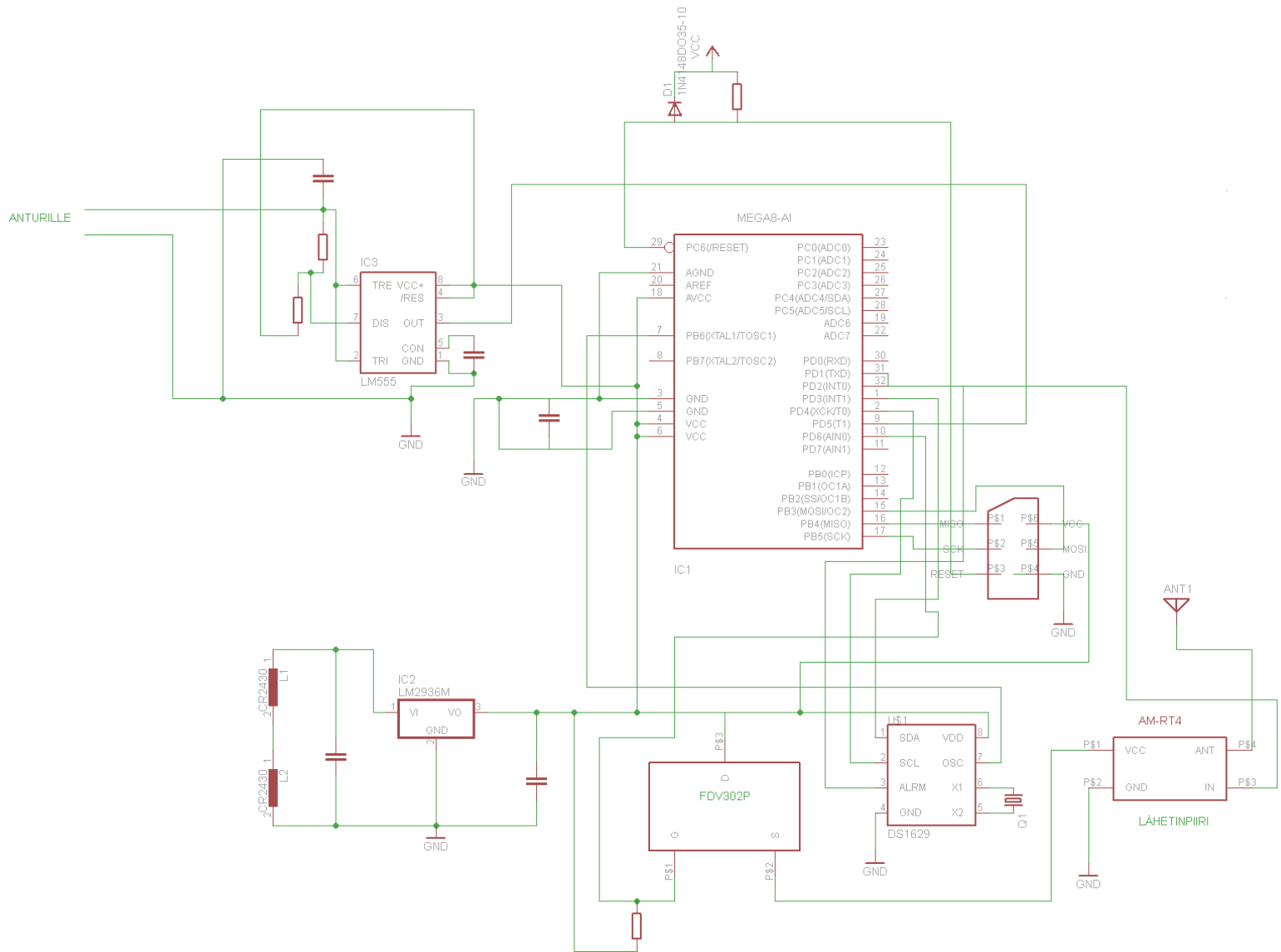


Mittaus- ja lähetinelektronikan kytkennän jälkeen oli vuorossa vastaanotinpiirin kytkentäkaavio.

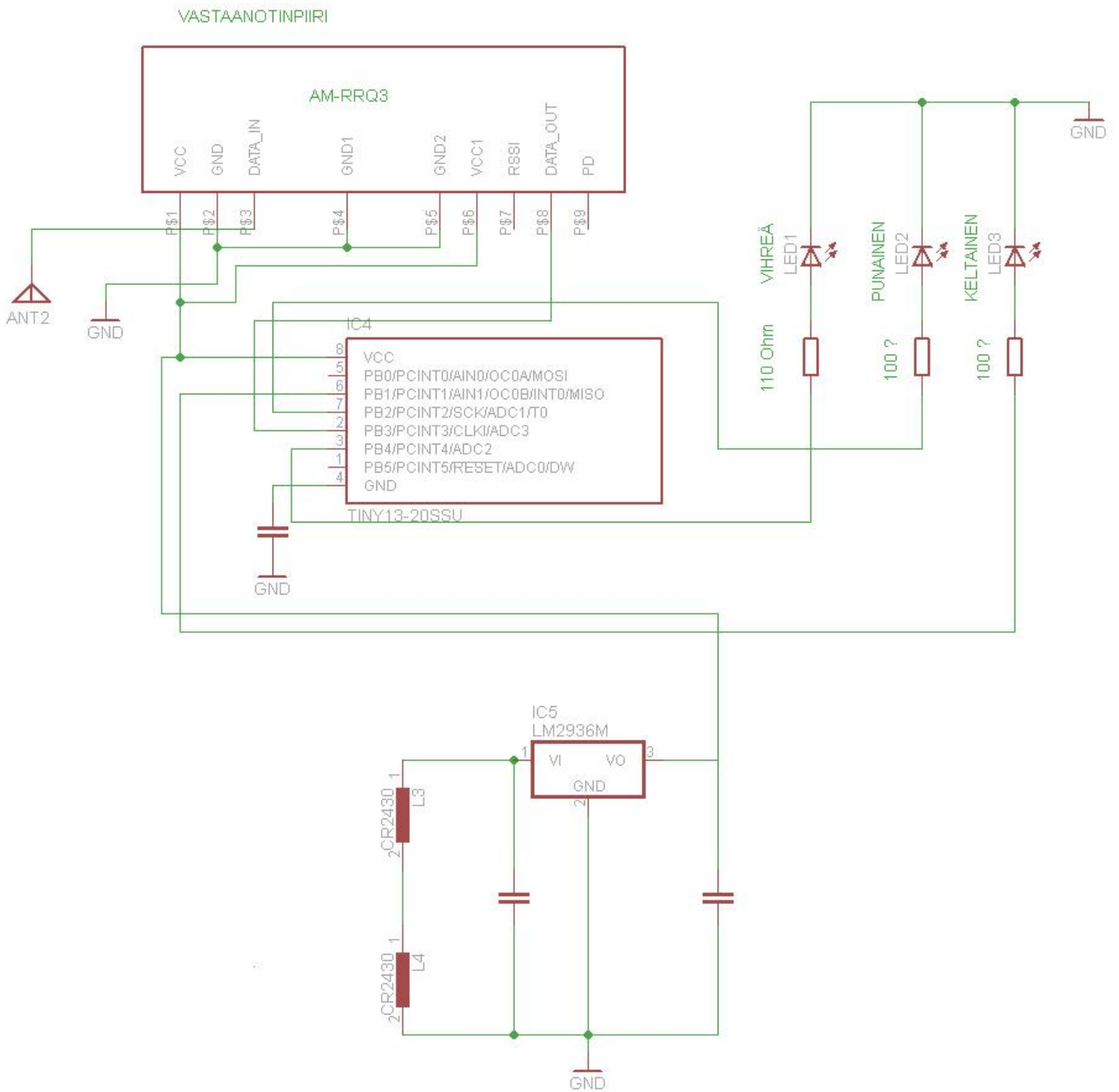
Vaihe 1: Ensimmäinen vaihe oli käytännössä täsmälleen sama kuin lähetinpiirin ensimmäinen vaihe. Paristot ja regulaattori kytkettiin kiinni toisiinsa.

Vaihe 2: Sitten oli vuorossa ATtiny 13 -mikrokontrolleri. Kontrolleri sai käyttöjännitteen portista 8:n( $V_{CC}$ ), regulaattorilta. Portti 4(GND) kytkettiin suotokondensaattorin  $C_4$  kautta maahan. Portti 2(I/O) kytkettiin AM-RRQ3 vastaanottimen porttiin 14(Data Out), jotta vastaanotettu data saataisiin kontrollerille käsiteltäväksi. Portti 3(I/O) kytkettiin vastuksen  $R_6$  kautta vihreälle ledille, jotta saataisiin OK-valoa näytettäväksi käyttäjälle kosteuden ollessa normaali. Portti 7(I/O) kytkettiin vastuksen  $R_7$  kautta punaiselle ledille, jotta saataisiin VAROITUS-valo näytettäväksi hälyttävän kosteuden muutoksen vuoksi. Portti 6(I/O) kytkettiin vastuksen  $R_8$  kautta keltaiselle ledille, jotta käyttäjä näkisi paristojen tilan. Keltainen valo voisi esimerkiksi sammua/syttyä, kun paristojen varaus alkaa olla loppumaisillaan. Vastuksien arvoiksi valittiin  $R_6 = 110 \Omega$ ,  $R_7 = 100 \Omega$  ja  $R_8 = 100 \Omega$ .

Vaihe 3: Viimeisenä oli vuorossa vastaanottimen kytkentä. Portit 2, 7 ja 11(GND) kytkettiin maahan. Portti 1 ja 12( $V_{CC}$ ) kytkettiin regulaattorin 5 V:n käyttöjännitteeseen. Portti 3(Data In) kytkettiin vastaanotinpiirin antenniin. Portti 14(Data Out) kytkettiin kontrollerin porttiin 2.



Kuvio 18. Anturipiirin mittaus- ja lähetysohjelot piirikaaviona



Kuvio 19. Vastaanotinpiirin kytkentäkaavio

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli projektina haastava. Lähtökohtaisesti se tarjosi paljon uutta opittavaa. Projektin laajuutta jouduttiin miettimään uudestaan työn aloituksen jälkeen. Alkusuunnitelmissa olisi ollut myös mukana aktiivianturipiirin prototyypin valmistaminen ja siihen liittyvät testaukset. Passiivi- ja aktiivianturien yhteistoiminta osoittautui erittäin toimivaksi. Aktiivinen osio ei kuormittanut passiivista anturia, joten kyseinen tuote olisi ainakin ensi testausten perusteella mahdollista toteuttaa. Aktiivisen anturin havaitseminen osoittautui odotettua hankalammaksi. Oskillaattoriin LM555 toiminta teoriassa todettiin parhaimmaksi lähtökohdaksi testauksen ja testipenkin rakentamisen suhteen. Kyseisellä testipenkillä ei aluksi meinattu päästä haluttuihin tuloksiin, mutta yrityksen ja erehdyksen kautta päästiin hyviin lopputuloksiin. Suoritetut mittaukset antoivat hyvän lähtökohdan kaupallisen aktiivipiirin havaitsemiselle.

Aktiivipiirin lohkojen ja komponenttien valitseminen osoittautui erittäin opettavaiseksi vaiheeksi. Piirin valintaan oli keskeisimmät lähtökohdat hinta ja käytöikä. Näiden lähtökohdian perusteella aloitettiin piiriin toimintaan vaadittavien lohkojen kartoittaminen. Kun projektissa oli päätetty tarvittavat osiot, oli seuraavaksi vuorossa komponenttien valinta. Komponenttien valinta olikin sitten hankalampi vaihe, mikä johtui erittäin kattavasta valikoimasta. Vaikka virtabudjetti rajasi valintaa hiukan, silti markkinoilta löytyi paljon vähän virtaa kuluttavia osia. Hinnallisestikaan ei suuria eroja löytynyt valmistajien kesken. Osien valinta aloitettiin tutustumalla Vigilan Oy:n jo olemassa olevaan tuotevalikoimaan ja tekniikkaan. Yrityksen valmistama lukulaite olikin hyvä lähtökohta osien valintaan. Koska yritys jo entuudestaan hankkii komponentit toiseen sovellukseen, oli loogista tarkastaa, josko sieltä löytyisi hyödynnettäviä komponentteja. Tähän projektiin löytyikin hyödynnettäväksi LM2936-jänniteregulaattori sekä FDV302P -kanavatransistori. Muiden komponenttien valintaan keskeisimmin vaikuttivat juurikin virrankulutus ja hinta. Liitteissä on listattu aktiivipiiriin tarvittavien komponenttien hinnat ja alustavasti piirin kokonaiskustannus. Listasta on jätetty pois pienemmät komponentit, kuten vastukset, diodit, ledit ja kondensaattorit. Listan perusteella yksittäisen anturiin hinnaksi tulisi 30,97 € ilman pienkomponentte-

ja sekä passiivista anturia. Yli sadan kappaleen tuotannossa yksikköhinta tippuisi 19,53 €oon. Vastaavasti vastaanotinmoduulin hinnaksi tulisi 26,30 € Yli sadan kappaleen tuotannossa hinnaksi jäisi 21,02 € Vastaanottimessa ei suurta hinnallista muutosta tapahtuisi tuote-erän koosta huolimatta. Valmiin lähetin- ja vastaanotinpiirin yksikköhinnaksi tulisi noin  $30,97 \text{ €} + 26,30 \text{ €} = 57,27 \text{ €}$  ja useamman kappaleen erässä noin  $19,53 \text{ €} + 21,20 \text{ €} = 40,73 \text{ €}$  Työssä käydyt laskelmat ovat tosiaan tehty yhtä anturipiiriä ajatellen. Nykyisessä HUMI 1-kosteusanturisarjassa toimitetaan ostajalle kymmenen kappaletta kosteusantureita. Aktiiviseen pakkaukseen tämä kymmenen kappaletta olisi varmaan myös ideaali määrä. Tässä tapauksessa valmiin anturisarjan valmistamisessa tulisi ongelmaksi juurikin kustannukset. Massatuotannon kannalta komponenttien hankinta olisi varmaankin viisainta tilata ulkomailta, lähinnä Aasiasta, jossa hinnat ovat suuresti halvemmat suhteessa kotimaisiin jälleenmyyjiin. Prototyypin kannalta hinta on ihan suotava ja kehityskelpoinen. (Liite 8 ja 9.)

Piirikortin suunnitteleminen toteutettiin EAGLE Layout -editoriohjelmalla. Ohjelma osoittautui erittäin helppokäyttöiseksi muutaman tutoriaaliin tutustumisen jälkeen. Kaikkia komponentteja ei ohjelman kirjastosta löytynyt, vaan ne jouduttiin itse valmistamaan. Tähänkin löytyi helpot ohjeet ja ongelmasta selvittiin pienellä opiskelulla. Kaiken kaikkiaan projekti oli mieluisa, vaikkakin laajuudessaan ei alkuperäistä tavoitetta saavutettu. Työ kuitenkin antaa hyvän esiselvityksen mahdollisesta kaupallisesta tuotteesta ja siihen tarvittavista osista.

## LÄHTEET

Atmel. 8-bit AVR Microcontroller. 2004. ATMEGA-88-kontrollin datisivut [viitattu 11.2.2010]. Saatavissa Datasheetcatalog.org-tietokannassa:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2545S.pdf>

ATtiny 13. 2008. Atmel 8-bit AVR Microcontroller datisivut [viitattu 3.4.2010]. Saatavissa Atmel.com-tietokannassa:  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2535.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2535.pdf)

CadSoft Online. 2009. EAGLE Layout Editor ohjelman kotisivut [viitattu 8.4.2010]. Saatavissa: <http://www.cadsoft.de/info.html>

Dallas Semiconductor. 2005. Maxim. DS1629 reaaliaikakellon/lämpötila-anturin datisivut [viitattu 13.2.2010]. Saatavissa Datasheets.com-tietokannassa:  
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1629.pdf>

ERC RECOMMENDATION 70-03. 2009. Lyhyen kantaman RF-laitteiden direktiivit [viitattu 5.4.2010]. Saatavissa Erodocbd.dk-tietokannassa:  
<http://www.eroocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC7003E.PDF>

Fairchild Semiconductor, FET. 1997. FDV302P Digital Fet, P-Channel datisivut [viitattu 5.3.2010]. Saatavissa valmistajan tietokannassa:  
<http://www.fairchildsemi.com/ds/FD/FDV302P.pdf>

Horowitz, P. & Hill, W. P. 1989. The Art of Electronics, Second Edition, Australia, Melbourne: Cambridge University Press.

National Semiconductor. 2000. LM2936-5.0 jänniteregulaattorin datisivut [viitattu 13.2.2010]. Saatavissa:  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8827/NSC/LM2936M-5.0.html>

National Semiconductor. 2006. LM555 oskillaattoriipiirin datasivut [viitattu 7.2.2010]. Saatavissa:  
<http://www.national.com/ds/LM/LM555.pdf>

RF Solutions. AM-RT4-433 lähetinmoduulin datasivut. 2006 [viitattu 12.2.2010].  
Saatavissa: <http://www.farnell.com/datasheets/56733.pdf>

RF Solutions. AM Superhetrodyne Receivers. 2006. AM-RRQ3-433 vastaanotinmoduulin datasivut [viitattu 1.4.2010]. Saatavissa RF Solutions.co.uk-tietokannassa: [http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/DS015-3\\_AM-RRQx.pdf](http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/DS015-3_AM-RRQx.pdf)

Renata Batteries. 2006. CR2430 lithium -paristojen datasivut [viitattu 10.2.2010].  
Saatavissa Elfa.se/fi-tietokannassa:  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/CR2430\\_data\\_e.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/CR2430_data_e.pdf)

Vigilan Oy. 1997. [viitattu 4.2.2010]. Saatavissa:  
[http://www.vigilan.fi/www/humi\\_D.htm](http://www.vigilan.fi/www/humi_D.htm)

## LIITE 1. Paristojen ominaisuudet

Valmistaja	Malli	Halkaisija (mm)	Korkeus (mm)	Paino (g)	Kapasiteetti (mAh)	Max. jatkuva purkuvirta (mA)	Hinta (Farnell 100+ kpl, EUR)
Renata	CR1025	10	2.5	0.6	30	0.4	1.86
Renata	CR1216	12.5	1.6	0.7	25	1	1.86
Renata	CR1220	12.5	2	0.8	38	1	1.29
Renata	CR1225	12.5	2.5	0.9	48	1	1.72
Renata	CR1616	16	1.6	1.1	50	1	1.72
Renata	CR1620	16	2	1.2	68	1	1.29
Renata	CR1632	16	3.2	1.8	125	1.5	1.14
Renata	CR2016	20	1.6	1.7	80	3.5	1.14
Renata	CR2025	20	2.5	2.3	170	3	1.14
Renata	CR2032	20	3.2	2.8	235	3	1.14
Renata	CR2320	23	2	2.7	170	3	1.86
Renata	CR2325	23	2.5	3	190	3	1.86
Renata	CR2430	24.5	3	4.1	285	4	1.86 Elfa
Renata	CR2450N	24.5	5	5.9	540	3	1.98 Elfa
Renata	CR2477N	24.5	7.7	8.2	950	2.5	2.01



## LIITE 2. Mittaustulokset aktiivipiirin havaitsemiseksi oskilloskoopilla

<b>Anturin värikoodi</b>	<b>Q-suola + ilman silmukkaa</b>	<b>Q-suola + silmukka</b>	<b>F-suola + ilman silmukkaa(kHz)</b>	<b>F-suola + silmukka(kHz)</b>	<b>LM555-piirin taajuus(kHz)</b>
<b>Valkoinen</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>8045</b>	<b>8040</b>	<b>83,333</b>
<b>Keltainen</b>	<b>71</b>	<b>71</b>	<b>8000</b>	<b>7992</b>	<b>88,889</b>
<b>Oranssi</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>8042</b>	<b>8032</b>	<b>97,876</b>
<b>Punainen</b>	<b>117</b>	<b>116</b>	<b>8028</b>	<b>8024</b>	<b>100</b>

## LIITE 3. Laskutoimitukset mittausten resonanssiksi (esimerkki)

Q-arvon suhteellinen muutos	Taajuuden suhteellinen muutos
48	83,333
- 116	- 100
<hr/> 68	<hr/> 16,667
68	16,667
<hr/> 116	<hr/> 100
* 100	* 100
<hr/> 58,62069	<hr/> 16,667

## LIITE 4. Aktiivipiiri laminaatissa ja sen kosteuden muutokset

Q	f lukulaite (kHz)	f oskilloskooppi (kHz)
127	8020	74,8
126	8026	73,5
85	7833	24,8
75	7783	22,7
66	7753	21
60	7741	20
53	7709	15,5

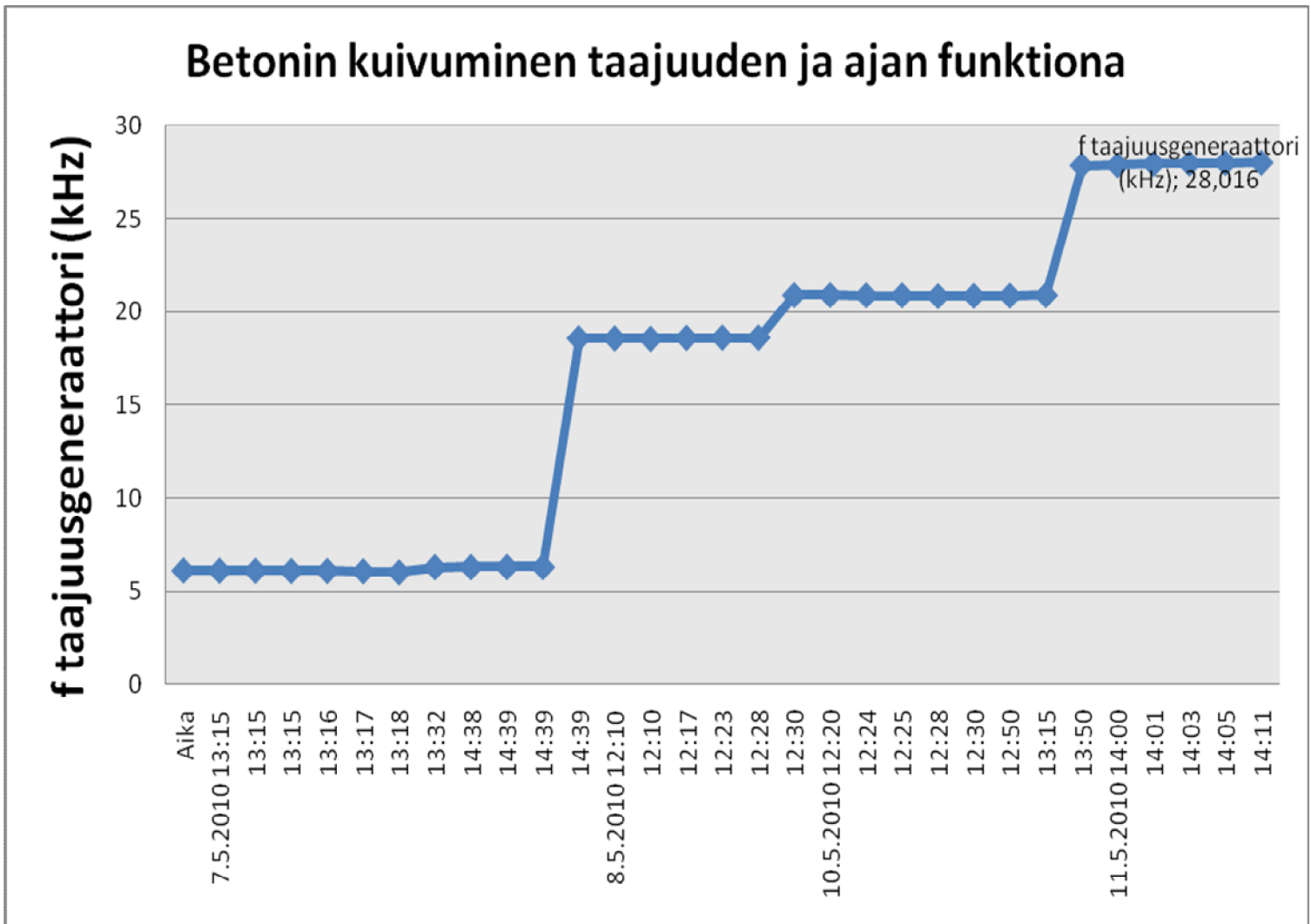
## LIITE 5. Sementtimuotti vesihauteessa

Q	f lukulaite (kHz)	f oskilloskooppi (kHz)	Aika
93	7999	61,36	5.5.2010 13:00
86	7997	59,9	13:15
90	7997	58,77	13:30
92	7999	58,7	13:31
91	7998	58,57	13:32
90	7994	52,78	15:00
90	7992	51,52	15:20
89	7990	51,13	15:25
88	7990	49,93	15:42
87	7989	49,25	15:52
87	7988	48,17	16:02
83	7985	47,35	16:12
78	7982	46,83	16:17
80	7980	43,97	16:30
86	7982	41,12	16:45
84	7981	39,3	16:56
81	7976	38,33	17:06
76	7975	34,77	17:25

## LIITE 6. Betonin kuivumisen seuranta

<i>Q</i>	<i>f lukulaite</i> (kHz)	<i>f taajuusgeneraattori</i> (kHz)	<i>Aika</i>
47	7696	6,142	7.5.2010 13:15
46	7693	6,13	13:15
44	7689	6,128	13:15
42	7686	6,12	13:16
42	7686	6,113	13:17
42	7685	6,101	13:18
42	7687	6,04	13:32
51	7710	6,325	14:38
48	7705	6,327	14:39
47	7703	6,331	14:39
46	7700	6,334	14:39
40	7891	18,578	8.5.2010 12:10
40	7891	18,581	12:10
40	7890	18,554	12:17
40	7889	18,612	12:23
40	7889	18,619	12:28
40	7890	18,623	12:30
44	7907	20,888	10.5.2010 12:20
44	7907	20,888	12:24
42	7904	20,879	12:25
Valu irrotettiin muotista			12:28
42	7906	20,834	12:30
45	7909	20,849	12:50
45	7909	20,862	13:15
45	7910	20,882	13:50
75	7959	27,864	11.5.2010 14:00
75	7959	27,874	14:01
75	7960	27,951	14:03
75	7960	27,963	14:05
75	7959	28	14:11
75	7960	28,016	14:13

## LIITE 7. Betonin kuivuminen



## LIITE 8. Hintataulukko lähetinpiiri

Aktiivianturipiiri					
Komponentti	Tilaukoodi	Hinta €/1kpl	Hinta €/+ 100kpl	Toimittaja	Valmistaja
Paristo CR2430	69-274-61	2,08 €	1,74 €	Elfa	Renata
LM2936 regu- laattori	9494421	2,72 €	1,84 €	Farnell	National Semi- conductor
DS1629 reaaliai- kakello	9724745	8,18 €	3,02 €	Farnell	Maxim
ATMEGA-88 mikrokontrolleri	9171509	5,37 €	2,59 €	Farnell	Atmel
FDV302P kana- vatransistori	9846115	0,32 €	0,06 €	Farnell	Fairchild Semi- conductor
LM555 oskillaat- toripiiri	9488227	0,79 €	0,42 €	Farnell	National Semi- conductor
AM-RT4-433FR lähetinmoduuli	1201014	9,43 €	8,12 €	Farnell	RF Solutions
YHTEENSÄ €		30,97 €	19,53 €		

## LIITE 9. Hintataulukko vastaanotinpiiri

Vastaanotinpiiri					
Komponentti	Tilaukoodi	Hinta €/1kpl	Hinta €/+ 100kpl	Toimittaja	Valmistaja
Paristo CR2430	69-274-61	2,08 €	1,74 €	Elfa	Renata
AM-RRQ3-433 vastaanotinmoduuli	1623845	16,59 €	14,40 €	Farnell	RF Solutions
AT Tiny 13 mikrokontrolleri	1455133	2,83 €	1,30 €	Farnell	Atmel
LM2936 regulaattori	9494421	2,72 €	1,84 €	Farnell	National Semiconductor
Yhteensä		26,30 €	21,02 €		