

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka

Opinnäytetyö

Jari Hirvi

## **SISÄTILAPAIKANNUS**

Työn ohjaaja

Lehtori Ilkka Tervaoja

Työn teettäjä

TAMK / MWW OY

Tampere 06/2010

Tekijä	Jari Hirvi
Työn nimi	Sisätilapaikannus
Sivumäärä	20
Valmistumisaika	06/2010
Työn ohjaaja	Lehtori Ilkka Tervaoja
Työn teettäjä	TAMK / MWW OY
Avainsanat	Paikannus, Sensoriverkko, ZigBee, RFID

## TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia mahdollisuuksia ja tekniikoita paikannuksen toteuttamiseen sisätiloissa. GPS-satelliitit eivät toimi sisätiloissa halutulla tavalla, mutta silti paikannukselle on tarvetta ja kysyntää. Paikannusta voitaisiin käyttää laitteiden ja henkilöiden paikkatiedon tutkimiseen. Näin voitaisiin seurata esimerkiksi kalliita ja elintärkeitä laitteita ja tiedettäisiin aina, missä tarkasteltavat laitteet sijaitsevat. Tästä voisi olla elintärkeää hyötyä esimerkiksi lääketieteellisissä laitoksissa joissa tarvittavat laitteet täytyy löytyä ja olla saatavilla aina. Henkilöiden paikannuksessa tai jäljityksessä voisi tekniikkaa soveltaa esimerkiksi työaikojen valvonnassa. Tulipalon tai muun hätätilanteen sattuessa voitaisiin nopeasti selvittää, onko joku jäänyt loukkuun ja mihin tilaan rakennuksessa apu pitäisi eritoten suunnata.

Tutkimuksessa käytettiin avuksi sensoriverkkoa ja sen avulla tehtyjä erilaisia mittauksia. Verkon sensoreiden mittausdatan tutkimiseen ja tulostamiseen käytettiin MWW oy:n palvelimella olevan käyttöliittymän eri ominaisuuksia.

Tutkimuksen tuloksena saatiin tietoa siitä, mitä käytettävältä tekniikalta ja laitteilta vaaditaan. Työtä tehdessä huomattiin, että käytössä olleet laitteet vaativat jo suunnitteluasteelta muokkausta ja kehittelyä juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Writer	Jari Hirvi
Thesis	Indoor Positioning
Pages	20
Graduation time	06/2010
Thesis supervisor	Lehtori Ilkka Tervaoja
Co-operating Company	TAMK / MWW INC
Keywords	Positioning, MESH, ZigBee, RFID

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to study the different possibilities and techniques to implement positioning in indoors. GPS-satellites do not work properly indoors but still the need and demand for this kind of application is present. Positioning could be used to study the location of devices and people. This way it would be possible to track, for example, expensive equipment and vital devices (healthcare) and it would be always known where the devices are. This could be a matter of life and death in medical facilities where the place of needed equipment must be known at all times. When tracking people this technique could be used to monitor working hours. In case of fire or other emergency this technique could help guide the rescue personnel to those who are in the need of help. This way the rescuers would know if someone is trapped and if so, where they are trapped.

Implementation was carried out using a meshnetwork preinstalled in TAMK. MWW Inc provided the devices and server interface which was used to collate the information from the sensors in the network.

As a result information about the technique and the devices were collected. This information showed what is needed from the devices and from the technique. It comes to show that the devices needed must be designed and developed exactly for this use.

## Esipuhe

Ari Rantala kertoi tästä työstä ja mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen vuoden 2009 joulukuussa. Kiinnostukseni aiheeseen heräsi välittömästi ja osoitin mielenkiintoa ja halukkuutta tehtävään. Olin aikaisemmin jo halukas tekemään mieluummin käytäntöön kuin teoriaan pohjautuvan työn sillä uskon, että käytännön työllä on enemmän merkitystä työmarkkinoilla kuin pelkästään teoreettisella työllä. Teoreettisissa tutkimuksissa saattaa jäädä tärkeitä käytännön ongelmia huomioimatta.

Rantala kertoi lisää projektin aiheesta ja alustavista toimintasuunnitelmista. Projekti oli niin laaja, että siihen saattoi ottaa mukaan toisen opiskelijan. Ehdotin luokkakaveriani Jussi Jokista, jonka kanssa olin jo monta kertaa aiemmin ollut työparina tämän kaltaisissa tehtävissä. Rantala antoi työhön selkeät ohjenuorat, mutta itse työn tekemiseen saimme hyvin vapaat kädet. Työssä olivat apuna viimeisen lukuvuoden ohjelmointitekniikan opiskelija Henri Vuorela sekä laitteet ja tekniikan tarjoava MeshWorks Wireless Oy.

Haluaisin erityisesti kiittää työparini Jussi Jokisen lisäksi Ari Rantalaa työn ohjeistamisesta sekä Henri Vuorelaa MWW Oy:n laitteiden ja serveripuolen osaamisen jakamisesta.

Uskon, että laitteita ja tekniikkaa juuri tähän käyttötarkoitukseen kehittämällä saadaan luotua toimivia kokoonpanoja. Kyseinen tekniikka tulee olemaan suureksi hyödyksi tulevaisuudessa, kun tarpeet tällaisille sovelluksille kasvavat.

Tampereella 25. toukokuuta 2010

Jari Hirvi

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Laitteisto.....	2
2.1	ZigBee.....	2
2.2	RFID .....	6
3	Tutkimustyö .....	8
4	Mittausdatan tutkiminen.....	10
5	Ongelmat .....	18
5.1	Laitteiden ominaisuudet paikannusta ajatellen. ....	18
5.2	Verkon muodostuminen.....	18
5.3	Paikannuksen toimimattomuus. ....	19
6	Loppusanat .....	19
	Lähteet .....	20
	Liitteet.....	20

## Keskeisiä termejä ja lyhenteitä

MWW	MeshWorksWireless Oy, Yhteistyökumppani, laitetoimittaja
RFID	Radio Frequency Identification
ZC	ZigBee Coordinator, Gateway
ZR	ZigBee Router
ZED	ZigBee End device
dBm	Signaalinvoimakkuuden yksikkö
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, kanavanvaraus menetelmä, jossa useat lähettävät laitteet jakavat saman siirtotien.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, Suorasekventointi
FFD	Full Function Device, ZigBeen laitetyyppi
RFD	Reduced Function Device, ZigBeen laitetyyppi
GSM	Global System for Mobile Communications, maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
XRR	RSSI, Received Signal Strength Indication, vastaanotetun signaalin voimakkuus

## 1 Johdanto

Sisätilapaikkannusta tutkittaessa täytyi aluksia selvittää, mitä käyttökelpoisia tekniikoita meillä olisi käytettävissä. Myös mahdolliset työn rajoitukset täytyi selvittää. Työn tilaajana oli Tampereen ammattikorkeakoulu, yhteistyössä tulisi toimimaan MeshWorksWireless Oy.

Ari Rantala tiesi kertoa, että tällaiselle sovellukselle on kysyntää jo nyt ja sovelluksen eri käyttömahdollisuudet kasvavat tulevaisuudessa huomattavasti. Työhön sisältyi paljon tietotekniikan alaan liittyviä asioita, kuten tiedonsiirtoteknisiä ratkaisuita. Kyseinen työ oli siis enemmän kuin mielekäs minulle.

Aloimme suunnitella Rantalan kanssa miten työssä edetään. Muistin nähneeni televisiossa erään yrityksen oman sovelluksen, joka käytti langattoman lähiverkon signaalin voimakkuustietoa navigoinnin toteuttamiseen. Päätimme aloittaa soveltamalla kyseistä ajatusmallia ja jatkaa mahdollisesti muilla tekniikoilla, jos aikataulut näin sallivat. Muita tekniikoita, joita tuli mieleen, oli muun muassa RFID.

Seuraavaksi selvitimme Henri Vuorelan kanssa, mitä vaatimuksia meillä oli laitteille, jotta niitä voitaisiin käyttää tässä tarkoituksessa. Kerroimme Henrille, miten tulemme testaamaan kyseistä tekniikkaa ja Henri alkoi selvittää, mihin koulun tiloissa jo asennetut laitteet pystyisivät. Aloituspalaverissa Henri otti yhteyttä MWW:n henkilökuntaan ja sieltä ilmoitettiin, että laitteisiin on tullut uusi päivitys, joka mahdollistaisi muun muassa signaalin voimakkuustiedon tutkimisen.

Tässä opinnäytetyössä on esiteltynä tarkemmin työn eri vaiheet, tutkimuksissa esiintyneet ongelmat ja niiden mahdolliset ratkaisut. Loppusanoissa kerrotaan työn yhteenveto ja lopputulokset.

## 2 Laitteisto

Tässä luvussa kerrotaan hieman tutkimuksessa käytetyistä tekniikoista. Signaalin voimakkuuteen perustuvaa paikannusta tutkittiin koululla olevien ZigBee-laitteiden avulla. Tämän jälkeen oli tarkoitus tutkia muita mahdollisia tekniikoita aikataulun sallimissa rajoissa. Aikataulu ei kuitenkaan riittänyt muiden tekniikoiden käytännön testaamiseen, ainoastaan RFID-tekniikan nopeaan, teoreettiseen tutkimiseen. Tämä vaikutti myös työn laajuuteen merkittävästi.

### 2.1 ZigBee

ZigBee on lyhyen kantaman, erityisesti IEEE 802.15.4 -standardin mukainen vähävirtainen tietoliikenneverkko. Tekniikan ja standardin kehittämisestä vastaa ZigBee-allianssi. Allianssiin kuuluu suuria yrityksiä, kuten esimerkiksi Intel, HP ja Philips. Allianssin jäsenmäärä on tänä päivänä noin 200. Allianssiin pääsee liittymään suorittamalla jäsenmaksun, joka oikeuttaa käyttämään standardia kaupallisissa sovelluksissa. Jäsenmaksun suuruus on 3500 dollaria. /1/

Käyttökohteita ZigBee-tekniikalle voi olla kodin automaatio, kuten valaistus ja lämmitys. Tekniikkaa käytetään myös teollisuusautomaatiossa erilaisissa mittaustehtävissä. Tekniikassa pyritään mahdollisimman edullisiin ja yksinkertaisiin ratkaisuihin. Pieni virrankulutus tukee edullisuutta ja pitkäikäisyyttä. Lääketieteessä tekniikkaa voi kehittää käytettäväksi ihon alla.

ZigBee-verkkoon voidaan liittää 65 536 laitetta. Verkkoon kytkeytyminen on hyvin nopeaa, alle 30 millisekuntia. Sleep-tilasta heräämiseen aikaa kuluu alle 15 millisekuntia ja lähetyksen aloittaminen tapahtuu alle 15 millisekunnissa. Laitteiden kantomatka on noin 100 metriä, mutta käytännössä etäisyydet jäävät paljon lyhyemmiksi /2/.



ZigBee-tekniikan taajuusalueet:

- Euroopassa käytettävä 868 Mhz, 1 kanava, 20 kb/s.
- Yhdysvalloissa käytettävä 915 MHz, 10 kanavaa 2 MHz välein, 40 kb/s.
- Maailmanlaajuisesti käytössä oleva 2,4 GHz, 16 kanavaa 5 MHz välein, 250 kb/s.

Saantimenetelmänä ZigBee käyttää CSMA/CA:ta, mikä tarkoittaa sitä, että siirtotietä kuunnellaan ja tietoa lähetetään vain siirtotien ollessa vapaana.

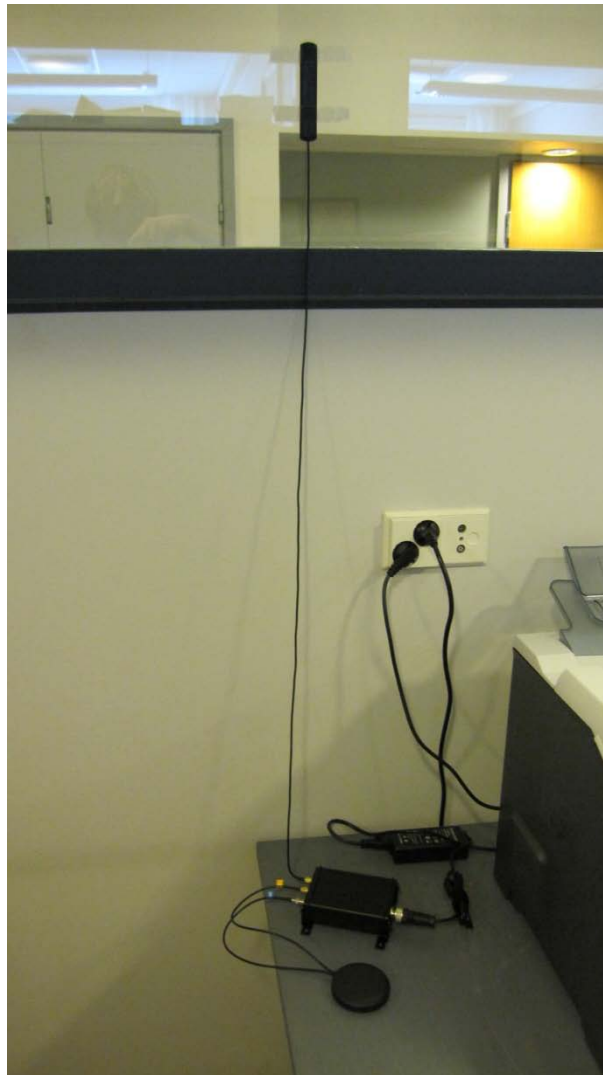
Kanavointimenetelmänä tekniikassa käytetään DSSS:ää.

Standardissa on kaksi laitetyyppiä, FFD (Full Function Device) sekä RFD (Reduced Function Device). FFD on laite, joka voi toimia minkälaisena laitteena tahansa verkossa, (PAN-koordinaattori, koordinaattori tai tavallinen laite). PAN-koordinaattori vastaa verkon rakentumisesta sekä pakettien ohjauksesta. RFD voi toimia vain tavallisena laitteena ja sen on muodostettava yhteytensä aina FFD-laitteen kautta. RFD-laite ei voi olla yhteydessä toiseen RFD-laitteeseen.

Standardissa on kaksi erilaista verkkotopologiaa, Tähti- ja peer-to-peer-topologia. Tähtitopologiassa FFD-laite toimii PAN-koordinaattorina ja välittää tietoa muille laitteille. Peer-to-peer-topologiassa laitteet voivat kommunikoida keskenään, mutta tässäkin topologiassa on oltava PAN-koordinaattori. Peer-to-peer-verkko voi olla huomattavasti monimutkaisempi kuin Tähti-verkko.

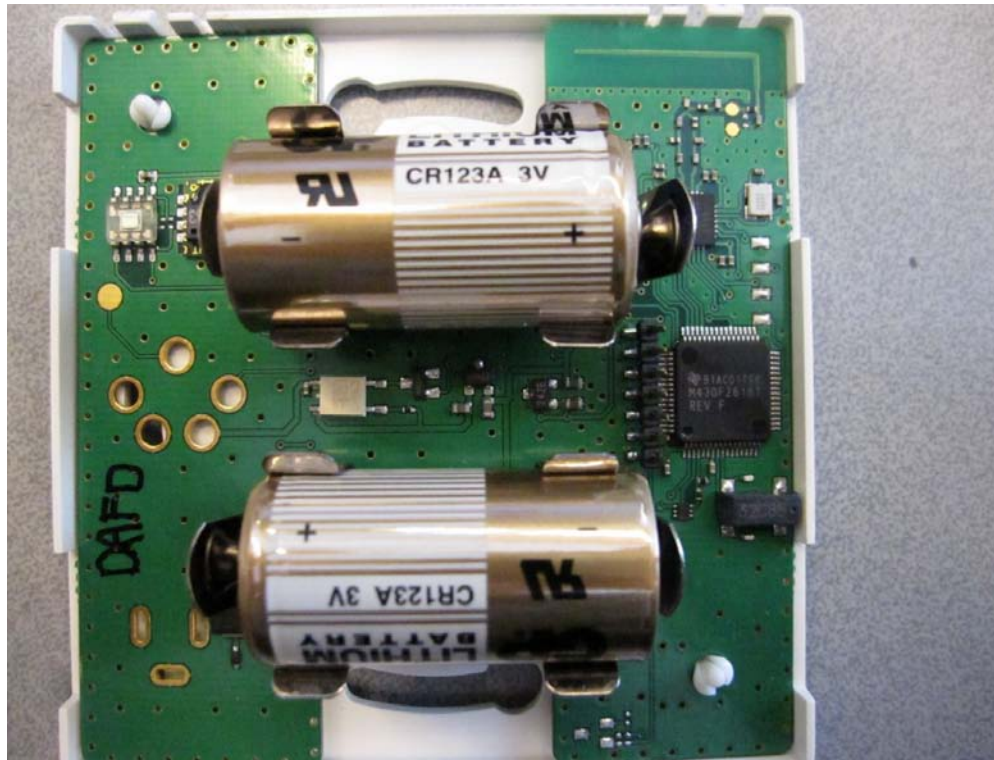
Laitteet ovat lepotilassa jos ne eivät lähetä tietoa. Kun tietoa lähetetään, laitteet heräävät, lähettävät tai lukevat tiedon ja kytkeytyvät jälleen pois aktiivitulasta. Näin optimoidaan virransäästöä.

ZigBeessä on kolme erilaista laitetta: ZigBee Coordinator (ZC), ZigBee Router (ZR) ja ZigBee End Device (ZED).



***Kuva1:*** ZigBee Coordinator

Kuvassa 1 näkyy A3-kerrokseen asennettu ZigBee koordinatori. Laitteen ZigBee-antenni on teipattu kiinni ikkunaan parhaan mahdollisen radiopeiton saamiseksi. Laitteen toinen antenni on pöydällä, ja siinä on molemmat GSM- ja GPS-antennit samassa kotelossa. GSM-yhteys mahdollistaa mittausdatan siirtymisen MWW:n palvelimelle, laite voidaan myös päivittää verkon kautta. GPS-antennia käytetään paikkatiedon ja esimerkiksi nopeuden mittaukseen, jos laite on ulkotiloissa, liikkuvassa kohteessa.



*Kuva2: ZigBee End-device*

Kuvassa 2 on ZED ilman koteloaa. Laite toimii kahdella kolmen voltin paristolla. Laitteen vasemmassa yläkulmassa näkyy valoisuudentunnistin, tämän alapuolella mittausanturin viisi kytkentäjalkaa. Oikeassa yläreunassa näkyy radioantenni ja sen alapuolella kytkentärima päivitystä varten. Neliön mallinen piiri kuvassa oikealla on ZigBee-prosessori. Laitteita oli myös uudempaa versiota, joka toimi yhdellä kolmen voltin paristolla. Laitteet olivat vielä kehitysasteella, joten ominaisuudet, optimointi ja fyysinen koko varmasti paranevat tulevaisuudessa.

Koordinattori toimii samalla lailla kuin FFD eli on vastuussa verkon muodostamisesta sekä verkon tietojen säilyttämisestä. Koordinattori laitteita on yksi jokaista Zigbee-verkkoa kohden.

Router-laite puolestaan huolehtii datan reitittämisestä muille laitteille. Routerilla voidaan parantaa kuuluvuutta ja saada muita end-laitteita koordinaattorin kuuluvuusalueelle.

EndDevice-laite taas on samantyylinen, yksinkertainen laite kuin RFD-laite. ZED vaatii myös vähemmän muistia kuin ZC tai ZR.

ZigBee-laitteet toimivat beacon- tai non-beacon-tilassa. Beacon-tilassa laite odottaa verkon koordinaattorilta herätepakettia, joka laukaisee datan lähetyksen. Non-beacon-tilassa laite saa ulkopuolisen herätteen, esimerkiksi savu palohälyttimissä, joka laukaisee datan lähetyksen koordinaattorille. Tässä tilassa koordinaattori ei voi olla sleep-tilassa.

Laitteiden käyttö on vielä vähäistä, mutta tekniikan etuna on se, että se on standardoitu ajoissa ja ZigBee-allianssi pitää huolen siitä, että tekniikka on yhteensopiva eri valmistajien laitteiden kanssa.

## 2.2 RFID

RFID-tekniikkaa käytetään ihmisten, eläinten tai tavaroiden tunnistamiseen. Tekniikka välittää radiotaajuuksien avulla kohteelle ainutlaatuista sarjanumeroa, jota käytetään kohteen tunnistamiseen [3]. Tekniikkaa on ollut käytössä kaikkialla jo vuosikymmeniä. Sen periaate on sama kuin viivakodeilla, mutta käytännön edut ovat suurempia. RFID ei tarvitse näköyhteyttä lukijaan, joten se voidaan lukea paljon pienemmällä vaivalla ja esteidenkin takaa. RFID sisältää myös enemmän ja yksilöllisempää tietoa kuin perinteinen viivakoodi. Ihon alle sijoitettavat kapselit auttavat tunnistamaan ihmisiä ja eläimiä. Potilaiden terveystietoja on myös mahdollista sisällyttää RFID-tunnisteeseen helpottamaan sairaanhoitoa. Suomen biometrisissä passeissa on RFID-tekniikkaa.

Yksinkertainen RFID-järjestelmä koostuu kolmesta eri laitteesta, Tagista (tunniste), lukijasta ja tiedonkäsittelyyn käytetystä laitteesta ja sen ohjelmistosta. Joissakin lukijoissa on tiedon prosessointiin tarvittavat ominaisuudet. Tagien avulla voidaan seurata postin lähetyksiä tai tavaroita isojen laitosten sisällä. Tagissa voi olla tuotteen tarkkoja tietoja kuten, sen hinta ja väri. Tagissa voi olla informaatiota isomman kontin sisällöstä. RFID-tekniikkaa voidaan käyttää hyväksi myös

maksamisessa, sillä tagille voidaan ladata tietty määrä rahaa ja sitä voidaan käyttää tarpeiden hankkimiseen. Kulunvalvonta ja turvallisuus ovat myös käyttökelpoinen sovelluskohde. Tulevaisuuden käyttökohteita voisi olla esimerkiksi ostosten tekeminen. Ostoksissa olisi RFID-tunniste jonka kaupan portilla oleva lukija tunnistaisi. Näin ostoksia ei tarvitsisi lukea jokaista erikseen ja ostajan voisi tunnistaa toisella tagilla. Kauppa toimittaisi lukijasta saadut tiedot pankille joka veloittaisi ostokset asiakkaan tililtä.

Järjestelmää on kolmea erilaista versiota: passiivinen, puolipassiivinen ja aktiivinen. Passiivinen RFID-järjestelmä on kaikkein edullisin ja pienikokoisin. Siinä olevassa tagissa ei ole erillistä virtalähdettä eikä lähetintä. Kun tagi luetaan, sen antenniin indusoituu lukijan radioaaltoista jännite, jonka avulla tagi lähettää tiedon. Puolipassiivisessa tagissa on oma virtalähde, mutta ei lähetintä. Virtalähteellä saavutetaan pidempi toimintaetäisyys ja tagien lukeminen helpottuu. Aktiivinen tunniste sisältää sekä virtalähteen, että lähetimen. Näiden avulla lukuetaisyydet saadaan kymmeniin metreihin, mutta paristojen ikä pysyy silti useissa vuosissa.

Sisätilapaikannuksessa RFID-tekniikkaa voisi käyttää hyödyksi siten, että eri tilojen oviin sijoitettaisiin RFID-lukijat, jotka lukisivat siitä kulkeneet tunnistet. Tämä ei antaisi varsinaista paikkatietoa, mutta jos laite on kulkenut ovesta sisään eikä ole tullut sieltä pois, voidaan hyvin suurella todennäköisyydellä päätellä laitteen yhä olevan kyseisessä tilassa. Kehitettävää ja huomioitavaa olisi tunnisteen lukuetaisyydet. Tunnisteita ei saisi lukea liian kaukaa, jottei tunniste vaikuttaisi olevan kahdessa huoneessa yhtä aikaa. Tunnisteen lukeminen tulisi tapahtua siis vain ja ainoastaan, kun tunniste kulkee oviaukon läpi eikä ohi. Tähän voisi olla mahdollista kehittää jonkinlainen radiokeila, joka suuntaa lukijan aallot vain oven suuntaisesti, hyvin kapealla keilalla.

### 3 Tutkimustyö

Kun aloitimme projektin palaverilla Henrin kanssa, selvitimme hänelle meidän vaatuksemme laitteille ja tekniikalle. Meidän kannalta oli tärkeää, että laitteista saadaan tietoon vastaanotetun signaalin voimakkuus. Lähtökohta selvitykselle oli se, että selvittäisimme yhden kerroksen jokaisen huoneen signaalin voimakkuustiedot joita voitaisiin myöhemmin verrata kerroksessa liikkuvaan sensoriin ja näin tietää, missä tilassa sensori kulloinkin on. Saimme oikeudet käyttää A-siiven kolmea kerrosta tutkimuksissamme.

Henri selvitti, että laitteet täytyisi käydä päivittämässä MWW:n tiloissa Hervannan Hermiassa, koska päivityksen jälkeen sensoreista saataisiin signaalin voimakkuustiedot selville. Keräsimme Henrin koululle sijoittamat laitteet minkä jälkeen kävin Henrin kanssa Hervannassa, jossa MWW:n ohjelmoijat auttoivat ohjelmistokoodin päivittämisessä. Me suoritimme varsinaisen työn, MWW tarjosi flash-laitteet ja uuden ohjelmiston. Myös palvelimet pitäisi päivittää, jotta palvelinpuoli ymmärtäisi laitteiden lähettämää uutta dataa. Päivitys luvattiin suorittaa seuraavan viikonlopun aikana.

Suunnittelimme laitteiden parhaita mahdollisia sijoituspaikkoja, jotta laitteet peittäisivät tarpeeksi laajan tilan, mutta eivät aiheuttaisi liikaa päällekkäisyyksiä. Saimme koulun vahtimestareilta A-siiven kerrosten pohjapiirroksset, joiden avulla meidän piti merkitä jokaisen sensorin paikka. Kuvat olivat kuitenkin meidän käyttöömmme huonoja, joten päädyimme ottamaan kerroksissa olevista pohjakuvista valokuvat ja käyttämään pelkistettyjä, itse tehtyjä pohjakuvia karttana. Kun olimme sijoittaneet laitteet paikoilleen, aloimme tutkia, minkälaisia arvoja sensorit antavat. Kävi selväksi, ettei serveripäivitystä ollutkaan tehty ajallaan ja tulosten tutkiminen lykkääntyi päivillä. Sijoitimme laitteita myös 1- ja 2-kerroksiin. Jokaisessa kerroksessa on nyt yksi koordinaattori (gateway) ja vaihteleva määrä end-laitteita.

Päivityksen jälkeen tarkastimme, päivittääkö jokainen end-laite tietojaan koordinaattorille, eli ovatko laitteet kuuluvuusalueen sisäpuolella. Jotkin

laitteista eivät olleet päivittyneet. Selvisi, että end-laite lähettää signaalin voimakkuustiedon vain silloin, kun se liittyy verkkoon. Tämä tulisi olemaan suuri ongelma projektissamme, mutta emme antaneet sen häiritä vielä liikaa. Uudelleenkäynnistimme jokaisen laitteen omilla paikoillaan. Tämä lisäsi laitteiden näkyvyyttä listalla. Jotkin laitteet vaativat uudelleenkäynnistyksen alkuperäisestä paikastaan poiketen lähempänä gatewayta. Kaikki laitteet päivittyivät palvelimelle.

Laitteista saadut signaalin voimakkuustiedot olivat kaikki lähes samansuuruisia. Laitteiden etäisyys koordinaattoriin ei ollut siis verrannollinen signaalin voimakkuuteen. Näitä tietoja ei siis voida käyttää hyväksi paikannuksessa lainkaan. Signaalin voimakkuuserojen tulisi olla riittävän suuret toisiinsa nähden, jotta etäisyystiedot saataisiin tarpeeksi tarkoiksi. Päätimme lopettaa ZigBee-tekniikan tutkimisen paikannustarkoitukseen.

Seuraavana aloimme tutkia RFID-tekniikan käyttöä paikannuksessa, tarkemmin aktiivi-RFID:tä. MWW:n sensoreissa on myös RFID-lukijat ja tagit, joten otimme yhteyttä MWW:n henkilökuntaan lisätietojen toivossa. Kiinnostusta aiheeseen löytyi, mutta heidän ohjelmistokehityksensä oli vielä niin alussa, että meidän aikataulumme eivät kohdanneet enää tämän projektin yhteydessä. Konetekniikan koulutusohjelmassa opiskeleva Onni Manninen oli tehnyt opinnäytetyön eräästä training kitistä, jossa oli myös RFID-tekniikkaa, joten sovimme hänen kanssaan tapaamisen koululle. Kyseisessä harjoitusalueella olevat RFID-lisäosat toimivat kuitenkin vain muutamien senttien etäisyyksiltä eikä kyseinen kehitysalusta soveltunut meidän tarkoituksiimme. Apu tässä tilanteessa oli siis vain teoreettista.

Päätimme palata ZigBee-tekniikkaan viimeistelläksemme opinnäytetyön käytännön työosuuden. Kirjasimme jokaisen laitteen sijainnin entistä tarkemmin ja selkeämmin ylös ja piirsimme kartan laitteiden sijoituksista. Liitteissä 1, 2 ja 3 on esitetty piirroksia kerroksista ja niihin sijoitetuista laitteista. Liitteessä neljä on kaavio siitä miten verkko muodostui. Uudelleenkäynnistimme laitteet jälleen kerran ja listasimme uudet signaalinvoimakkuudet. Yksi laite ei päivitynyt listalle olleenkään, joten se oli mitä ilmeisemmin rikki. Kaksi laitetta ei tulostanut signaalin voimakkuustietoa. Muilta

laitteilta saimme tiedot aivan normaalisti. Kun selvitimme verkon tarkan rakenteen, selvisi, että verkko ei rakennu lainkaan niin johdonmukaisesti kuin aluksi kuvittelimme. Vaikka sisätilanmallinnuksen ongelmat olivat jo aluksi tiedossa, emme kuvitelleet verkon muodotumista näin monimutkaiseksi. Laite ottaa yhteyden aina siihen routeriin tai koordinaattoriin, johon sillä on paras yhteys, mikä saattaa aiheuttaa suuriakin yllätyksiä reiteissä, sillä lyhin fyysinen etäisyys ei välttämättä tarkoita parasta signaalireittiä. Lopuksi poistimme 1- ja 2-kerroksen laitteet verkosta ja suoritimme mittauksia ainoastaan 3-kerroksessa yhdellä koordinaattorilla ja end-devicella. Poistamalla muut laitteet verkosta saimme luotettavaa mittausdataa etäisyyden vaikutuksesta signaalin voimakkuuteen. Signaalin voimakkuus käyttäytyi nyt niin kuin sen pitääkin, lineaarisesti etäisyyteen nähden. Mittaustuloksiin vaikuttivat hyvin paljon pienetkin asiat. Myös End-devicen suuntaus vaikutti tuloksiin yllättävän paljon. Liitteessä 5 on esitetty kaavio mittaustuloksista. Näistä tuloksista vedimme viimeiset johtopäätökset ja päätimme lopettaa käytännön tutkimukset ja jatkaa työn kirjallista raportointia.


## 4 Mittausdatan tutkiminen

Laitteilta saadaan monia erilaisia mittaustietoja sekä muuta informaatiota. End device mittaa muun muassa:

- ilmankosteutta
- hiilidioksidipitoisuutta
- lämpötilaa
- pariston varausta
- signaalinvoimakkuutta.

Seuraavissa kuvissa on esitelty MWW:n palvelimelta saatavia mittaustuloksia ja niiden erilaisia tulostusmahdollisuuksia. Jokainen laite sisältää digitaalisen numeroinnin jonka avulla laitteet erottaa toisistaan ja voidaan yksilöidä.





The screenshot shows a web interface for ZigBee monitoring. At the top, there is a header with the 'ZigBee' logo on the left and 'Status | List Devices' on the right. Below the header, the main content area is titled 'List Devices'. It contains two tables. The first table lists 22 devices with columns for NAME, TEMP, HUMIDITY, BATTERY, XRR, Status, and DETAILS. The second table lists 5 additional devices with columns for NAME, Co2, SEQ, XRR, Status, and DETAILS. Status indicators are shown as green or red circles, and details are accessible via small icons.

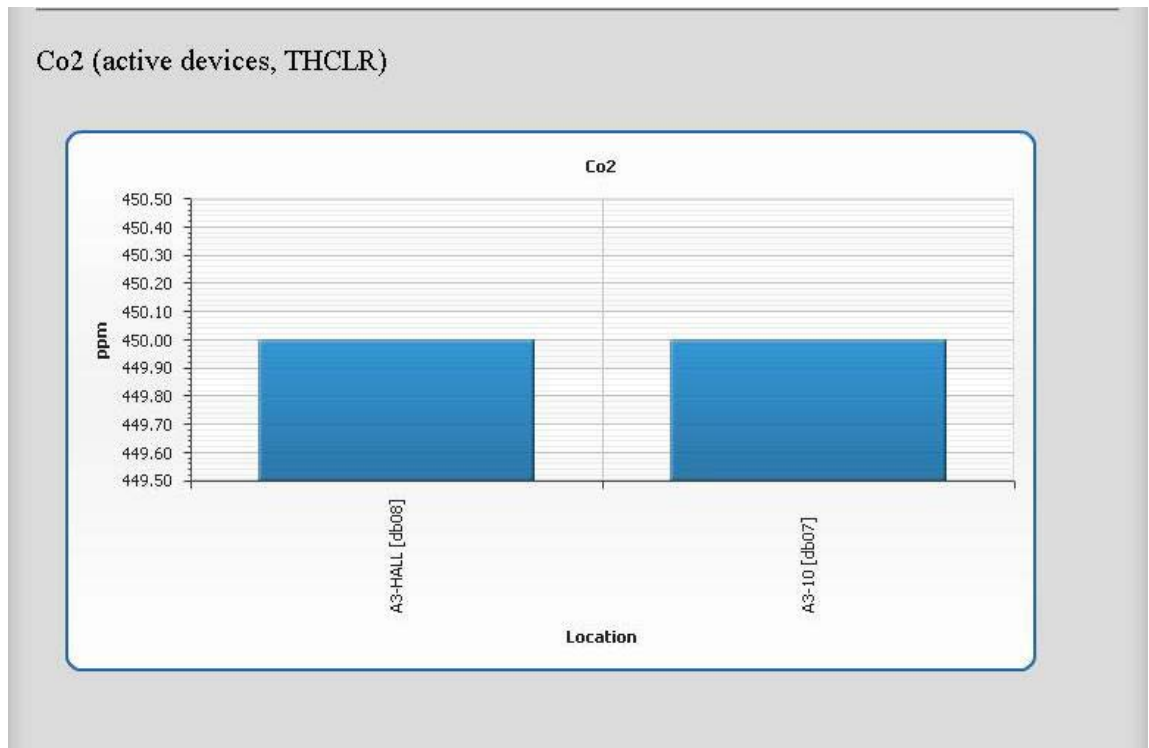
	NAME	TEMP	HUMIDITY	BATTERY	XRR	Status	DETAILS
1	A1-18 [daf0]	21.4	15.6	6.1	-9	●	▶
2	A3-14 [daf1]	23.7	13.6	6.4	-9.4	●	▶
3	A2-15 [daf2]	21.6	16	3.6	-10.2	●	▶
4	A2-20 [daf3]	21.3	17.5	6	-9.1	●	▶
5	A3 - Auditorio [daf4]	25.6	42.3	6.2	-4.1	●	▶
6	A2-23 [daf5]	21.8	17.9	6.2	-8.4	●	▶
7	A3-27 [daf7]	21.8	16.7	6.1	-9.4	●	▶
8	A2-28 [daf8]	21.8	16	6.2	-9.4	●	▶
9	A3-20 [daf9]	23.5	15	5.4	-10	●	▶
10	A1-21 [dafa]	NaN	18	3.6	NaN	●	▶
11	A2-27 [dafb]	23.8	20.1	6.3	-8.6	●	▶
12	A2-01 [dafc]	22.4	16.2	6	-8.1	●	▶
13	A3-15 [dafd]	20	16.9	6.2	-9.4	●	▶
14	A2-24 [dafe]	21.3	15.3	5	-8.9	●	▶
15	Rantala - cabin [daff]	15.7	42.1	6.1	-7.9	●	▶
16	Rantala - cabin [db00]	12	44.2	6.1	-9.4	●	▶
17	A3-21 [db01]	23.6	13.4	6.1	-8.4	●	▶
18	A3-24 [db02]	22.5	15.1	6.2	-9.3	●	▶
19	A2-16 [db1f]	20.7	15	3.8	-9.1	●	▶
20	A3-16 [db31]	19.2	16.7	3.8	-7.8	●	▶
21	A1-24 [db33]	NaN	16.2	3.8	-9.2	●	▶
22	A1-17 [db35]	NaN	16.8	NaN	-7.8	●	▶

	NAME	Co2	SEQ	XRR	Status	DETAILS
23	A3-HALL [db08]	450	187	-8.6	●	▶
24	Vuorela - Janka [db1e]	1050	2068	-6.3	●	▶
25	Vuorela - Janka [db0b]	NaN	2064	-5.2	●	▶
26	A3-10 [db07]	450	7496	-9.5	●	▶
27	A3-20 [db11]	450	11009	-7.5	●	▶

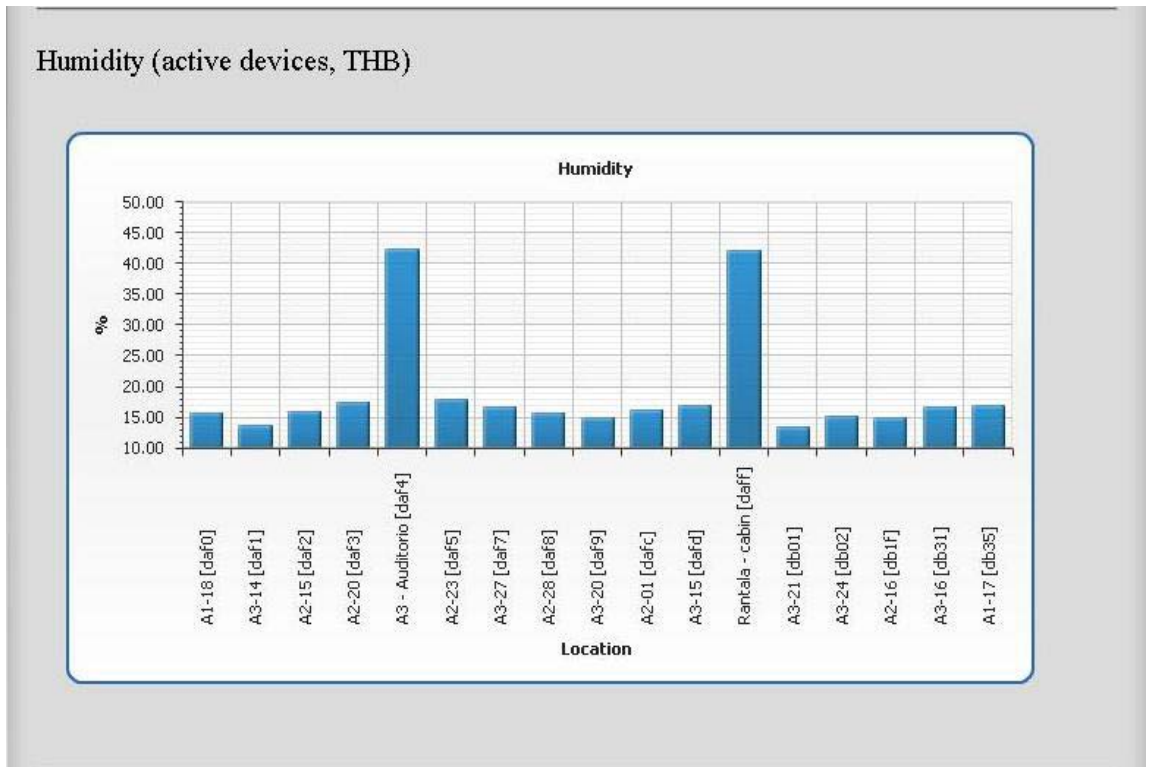
**Kuva 3:** Laitelistaus palvelimelta

Kuvassa 3 näkyy listaus laitteista. Laitteen sijainti rakennuksessa sekä mittaustuloksia sensorilta on listattu graafisesti yhteen yksinkertaiseen näkymään. Listauksessa olevasta virheestä johtuen XRR-arvo on 10 kertaa liian pieni. Tulosten pitäisi olla luokkaa -60... -90 dBm, mutta listauksessa tuloksille on virheellisesti suoritettu jakolasku.



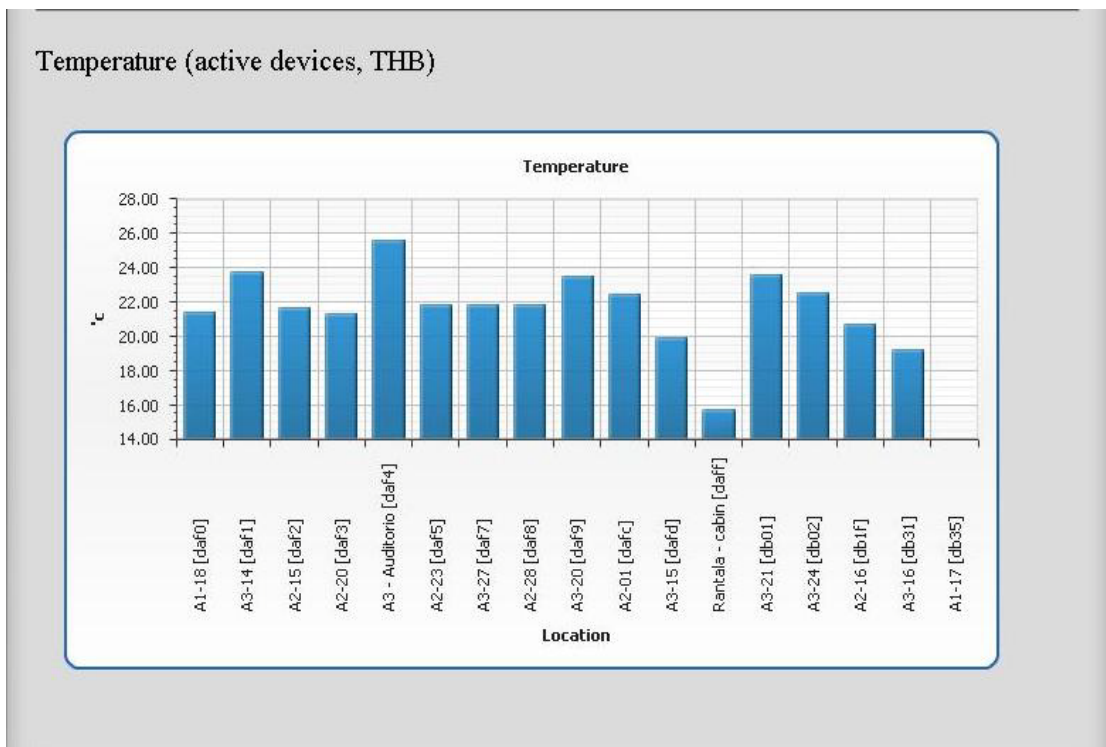
**Kuva 4:** Hiilidioksidipitoisuustuloksia

Kuvassa 4 näkyy kahden sensorin mittaamia hiilidioksidipitoisuusarvoja. Kahdessa eri tilassa tuskin on tismalleen samat miljoonasosa-arvot, mutta kuvan tarkoituksena onkin esitellä erilaisia tapoja tulostaa ja esittää mitattuja arvoja.



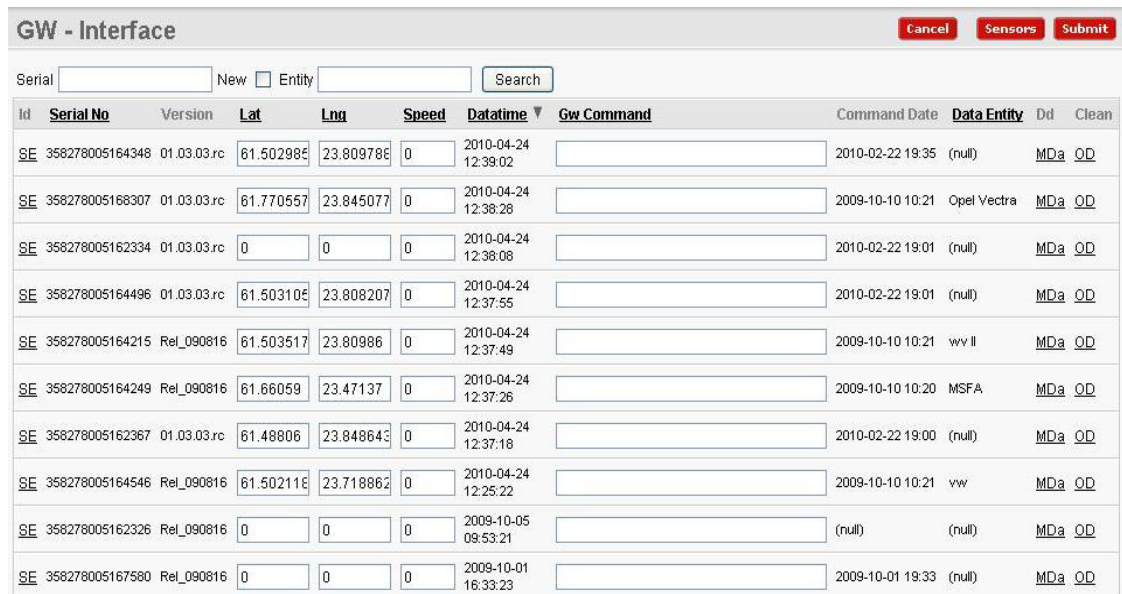
Kuva 5: Ilmankosteusarvoja

Kuvassa 5 näkyy useita ilmankosteuden mittaustietoja. Kaksi anturia antaa virheellistä tietoa, mutta muut A-siiven huoneissa olevat sensorit toimivat moitteetta ja tulostavat ilmankosteusprosentin pylväsdigrammiin.



Kuva 6: A-siiven lämpötiloja

Kuvassa 6 on esitetty diagrammi mitatuista lämpötiloista. Yksi sensoreista sijaitsee Rantalan kesämökillä ja sieltäkin saadaan reaaliaikaista mittausdataa lämpötilasta.



The screenshot shows a web interface titled "GW - Interface" with a search bar and a table of gateway data. The table has columns for Id, Serial No, Version, Lat, Lng, Speed, Datatime, Gw Command, Command Date, Data Entity, Dd, and Clean. Each row represents a gateway with its respective coordinates and status.

Id	Serial No	Version	Lat	Lng	Speed	Datatime	Gw Command	Command Date	Data Entity	Dd	Clean
SE	358278005164348	01.03.03.rc	61.502986	23.809786	0	2010-04-24 12:39:02		2010-02-22 19:35	(null)	MDa	OD
SE	358278005168307	01.03.03.rc	61.770557	23.845077	0	2010-04-24 12:38:28		2009-10-10 10:21	Opel Vectra	MDa	OD
SE	358278005162334	01.03.03.rc	0	0	0	2010-04-24 12:37:55		2010-02-22 19:01	(null)	MDa	OD
SE	358278005164496	01.03.03.rc	61.503106	23.808207	0	2010-04-24 12:37:55		2010-02-22 19:01	(null)	MDa	OD
SE	358278005164215	Rel_090816	61.503517	23.809886	0	2010-04-24 12:37:49		2009-10-10 10:21	wv II	MDa	OD
SE	358278005164249	Rel_090816	61.66059	23.47137	0	2010-04-24 12:37:26		2009-10-10 10:20	MSFA	MDa	OD
SE	358278005162367	01.03.03.rc	61.48806	23.848643	0	2010-04-24 12:37:18		2010-02-22 19:00	(null)	MDa	OD
SE	358278005164546	Rel_090816	61.502116	23.718862	0	2010-04-24 12:25:22		2009-10-10 10:21	wv	MDa	OD
SE	358278005162326	Rel_090816	0	0	0	2009-10-05 09:53:21		(null)	(null)	MDa	OD
SE	358278005167580	Rel_090816	0	0	0	2009-10-01 16:33:23		2009-10-01 19:33	(null)	MDa	OD

Kuva 7: Gateway-palvelimen käyttöliittymäkuva.

Kuvassa 7 näkyvät gatewayt, jotka lähettävät tietoa palvelimelle. Koordinaattorit erottaa toisistaan sarjanumerolla. Tästä näkymästä saatavia tietoja ovat muun muassa paikkatietokoordinaatit ja nopeus. Jos koordinaattorin tietoja halutaan tarkastella tarkemmin, valitaan haluttu laite hiirellä ja saadaan seuraavia näyttöjä esille.

358278005162334 - Sensors		
<u>Serial No</u> ▲	<u>Last Update</u>	<u>Update Date</u>
<u>0050c2fffeacd927</u>	10-02-17 15:30	10-03-12 07:19
<u>0050c2fffeacdaf7</u>	10-04-24 12:36	10-04-24 15:37
<u>0050c2fffeacdaf9</u>	10-04-24 12:36	10-04-24 15:37
<u>0050c2fffeacdb01</u>	10-04-24 12:38	10-04-24 15:39
<u>0050c2fffeacdb02</u>	10-04-24 12:37	10-04-24 15:38
<u>0050c2fffeacdb31</u>	10-04-24 12:37	10-04-24 15:38
<u>daf1</u>	10-01-26 09:38	10-01-26 11:39
<u>daf2</u>	10-01-26 09:38	10-01-26 11:39
<u>daf3</u>	09-12-02 17:13	09-12-02 19:14
<u>daf4</u>	10-01-26 09:38	10-01-26 11:39
<u>daf7</u>	10-01-26 09:40	10-01-26 11:41
<u>dafa</u>	09-10-14 20:48	09-10-19 12:20
<u>dafb</u>	10-01-26 09:38	10-01-26 11:39
<u>db00</u>	10-01-26 09:40	10-01-26 11:41
<u>db01</u>	10-01-25 17:54	10-01-25 19:55

1 - 15 Next ▶

*Kuva 8: Koordinaattoriin liittyneet laitteet*

Kuvassa 8 nähdään tarkastelun alla olevaan ZC:hen liittyneet muut laitteet, routerit ja end devicet. Laitteet erotetaan sarjanumeron perusteella. Yksittäisiä sensoreita tarkastellessa valitaan jälleen hiirellä ja saadaan seuraavia näyttöjä näkyviin.

0050c2fffeacdaf7 - Values						
Sensor ▲	Data Value	Update Date	Create Date	Seq.	Seq. Date	LINK
xba	6.1	10-04-24 08:47	10-02-09 01:23	-	-	4333
xdt	-	-	10-02-08 20:03	-	-	-
xhu	16.4	10-04-24 15:37	10-02-08 20:03	18487	04-24 12:21	4335
xrr	-9.4	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02	-	-	4760
xrt	-	-	10-02-10 11:02	-	-	-
xsq	18488	10-04-24 15:22	10-02-08 20:13	-	-	4337
xte	21.9	10-04-24 15:37	10-02-08 20:03	18488	04-24 12:21	4338
						1 - 7

**Kuva 9:** Tärkeimmät mittaustulokset sensorilta.

Tärkeimmät ja oleellisimmat tulokset on näkyvillä kuvassa 9:

Laitteen sarjanumero näkyy yllä ja sen alapuolella listaus sensorin eri mittauksista:

- xba, pariston varaus
- xhu, ilmankosteus
- xrr, signaalin voimakkuus
- xte, lämpötila.

Listauksessa näkyy myös aika, jolloin laite on viimeksi mitannut kyseisen datan.



0050c2fffeacdaf7 - Sensor parameters					
<u>Sensor</u> ▲	<u>Parm</u>	<u>Parm Name</u>	<u>Parm Value</u>	<u>Update Date</u>	<u>Create Date</u>
0050c2fffeacdaf7	zrv	gzics	01.01.01.rc	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	znt	gzics	3	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zid	gzics	3	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zpi	gzics	0050c2fffeacd927	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zst	gzics	te;hu;ba	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zti	ge	300	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zmc	ge	3	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zct	ge	1800	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zor	gzics	53	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zcr	gzics	50	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zpo	gzics	300	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zmi	te	300	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zmi	hu	300	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02
0050c2fffeacdaf7	zmi	ba	43200	10-03-24 21:31	10-02-10 11:02

**1 - 14**

**Kuva 10:** Lisää tuloksia sensorilta

Kuvassa 10 on lisää tuloksia sensorilta. Yksi työmme kannalta tärkeitä parametrejä oli zpi, parent id, tämän sarjanumeron avulla saimme tietää, mihin muuhun laitteeseen kyseinen laite oli yhdistänyt. Tämän tiedon avulla pystyimme rakentamaan kuvan verkosta ja siitä, miten se oli muodostunut.

## 5 Ongelmat

Työn edetessä ilmeni monia eri ongelmia. Suurin ongelma meidän kannalta oli aikataulut ja ajan puute. MWW:n resurssit auttaa ja ohjeistaa meitä olivat hyvin rajalliset. Palvelinpäivityksen venyminen viivästytti meidän työskentelyä ja muutenkaan aikataulutus ei onnistunut lähes ollenkaan. Laitteista ja tekniikasta sai kyllä sähköpostitse lisäinformaatiota, mutta laitteiden ohjelmiston muokkaamiseen MWW:n puolelta ei riittänyt aikaa eikä intressejä. Ohjelmistokoodia emme saaneet tutkia lainkaan. Kun tiedustelimme yhteistyöhalukkuutta RFID:n tutkimiseen, halukkuutta kyllä löytyi, mutta aikataulujen yhteen saattamiseen ei enää riittänyt kiinnostusta. Nämä olivat suurimmat ongelmat koko työtä ajatellen. Seuraavaksi yksittäisiä teknisiä ongelmia.

### 5.1 Laitteiden ominaisuudet paikannusta ajatellen.

Laitteita ei ole suunniteltu pelkästään, jos lainkaan, käytettäväksi paikannuksessa, joten laitteiden ominaisuudet eivät täysin vastanneet vaatimuksiamme. Signaalin voimakkuuden mittaus tapahtui ainoastaan silloin, kun laite liittyi verkkoon joten näitä laitteita ei voisi käyttää paikannuksessa, joka vaatisi tiheämpää päivitystaajuutta. Ohjelmistoon voisi varmasti tehdä muokkauksia, jotka sallisivat mittaukset esimerkiksi minuutin intervalleilla. Laitteiden kehitysvaiheesta johtuen signaalinkuuluvuus oli hyvin heikkoa. Kuuluvuus riippui hyvin tarkkaan siitä, miten laite ja sen antenni oli suunnattu gatewayhin nähden.

### 5.2 Verkon muodostuminen.

Verkko muodostui erilailla kuin olisi ollut tarpeellista. Verkko ei muodostunut kerroksittain, vaan laitteet muodostivat yhteyden toisen kerroksen laitteisiin.



Laitteet muodostivat yhteyden siis laitteisiin, joihin oli paras kuuluvuus eikä välttämättä lyhin etäisyys. Tämä on toki tiedossa oleva ongelma. Verkon muodostumiseen liittyviä ongelmia voisi korjata esimerkiksi tekemällä sääntöjä miten ja mihin laitteet saavat muodostaa yhteyden. MAC-suodatus voisi olla yksi tämänkaltainen ratkaisu. Koordinaattorille määritettäisiin laitteet, jotka saavat muodostaa siihen yhteyden. Näin voitaisiin pakottaa tietyn kerroksen laitteet ottamaan yhteys juuri sen kerroksen koordinaattoriin.

### **5.3 Paikannuksen toimimattomuus.**

Käytössämme olleilla laitteilla sisätilapaikannus ei toimi niin kuin sen pitäisi. Laitteiden signaalivoimakkuus suhteessa etäisyyteen koordinaattorista ei ole verrannollinen. Tämän kaltaiset ongelmat voitaisiin korjata sijoittamalla riittävä määrä kiinteitä laitteita kerrokseen eri tiloihin. Näitä kiinteitä laitteita hyväksi käyttämällä voitaisiin verrata signaalivoimakkuuksia tarkemmin ja saada tarkempaa sijaintitietoa tutkitavasta kohteesta. Näin saataisiin eliminoitua sisätilanmallinnuksen muodostamia ongelmia kuten ovien ja seinien vaimennusta signaalille.

## **6 Loppusanat**

Työn lopputuloksena saatiin testituloksia ZigBee-tekniikan käyttämisestä paikannukseen. Tutkimus- ja kehitysluoteisen työn vuoksi ongelmia tuli vastaan odotettua enemmän.

Seuraavana kehityssaskeleena tulisi käytettäviin laitteisiin kiinnittää enemmän huomiota. Tekniikkaa itsessään voi käyttää, mutta laitteet vaativat vielä kehittämistä juuri tähän käyttötarkoitukseen. Laitteiden tulee toimia juuri halutulla tavalla, niiden mittauksien pitää toistua tarpeeksi nopealla taajuudella, jotta

paikannusta voi sanoa reaaliaikaiseksi. Sisätilan mallinnuksessa tulee ottaa huomioon monia eri tekijöitä, esimerkiksi mitä reittiä signaali kulkee ja kuinka se vaimenee. Signaalin voimakkuustietoja hyväksi käytettäessä tulee myös kiinnittää huomiota laitteisiin, joita tarvitsee sijoittaa kiinteästi alueelle, jota tutkitaan. Pelkät signaalivoimakkuustiedot eivät riitä paikan määrittämiseen vaan, tarvitaan myös paikallaan olevia kiintopisteitä varsinaisten sijaintien selvittämiseen.

Sisätilapaikannuksen kaltaisille sovelluksille tulee varmasti olemaan paljon kysyntää lähitulevaisuudessa joten toivon tästä tutkimuksesta olevan hyötyä niille, jotka aihetta myöhemmin tutkivat.

## Lähteet

- 1 ZigBee-alliance. [www-sivu]. [viitattu 25.05.2010]  
Saatavissa: <http://zigbee.org/>
- 2 Savonia AMK. [www-sivu]. [viitattu 25.05.2010]  
Saatavissa:[http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=5&id=21&Itemid=41](http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=5&id=21&Itemid=41)
- 3 Association for Automatic Identification and Mobility. [www-sivu].  
[viitattu 25.05.2010]  
Saatavissa: [http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/what\\_is\\_rfid.asp](http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/what_is_rfid.asp)

## Liitteet

- |         |  |
|---------|--|
| Liite 1 | Pohjapiirros A-siipi 1.kerros              |
| Liite 2 | Pohjapiirros A-siipi 2.kerros              |
| Liite 3 | Pohjapiirros A-siipi 3.kerros              |
| Liite 4 | Kaavio verkon muodostumisesta              |
| Liite 5 | Diagrammi signaalin voimakkuusmittauksesta |