

Venla Knuutila
Outi Laamanen

Bluetooth 4.0 hyvinvointiteknologian keinona

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Hyvinvointiteknologia

Insinööriytyö

9.10.2013

Tekijä(t) Otsikko	Venla Knuutila, Outi Laamanen Bluetooth 4.0 hyvinvointiteknologian keinona
Sivumäärä Aika	73 sivua 9.10.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Hyvinvointiteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	Hyvinvointiteknologia
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Mikael Soini
<p>Tämän insinööryön aihe oli selvittää, kuinka Bluetooth 4.0 sopii käytettäväksi hyvinvointiteknologiassa. Työ tehtiin osana PeopleNearMe-projektia, jossa tehtävänä oli selvittää, kuinka herkkä Bluetooth 4.0:n ominaisuus Bluetooth Low Energy eli BLE on häiriöille. Tämän lisäksi tutustuttiin muihin langattomiin teknologioihin sekä jo olemassa oleviin hyvinvointiteknologian langattomiin sovelluksiin ja laitteisiin.</p> <p>Työtä varten tehtiin mittauksia kahden kuukauden ajan keväällä 2013. Mittaukset suoritettiin Vantaan Technopoliksessa toimistoympäristössä. Mittaukset toteutettiin käyttämällä iPhone 5 -puhelinta sekä Bluetooth-testilaitteita. Tavoitteena oli lähettää syketietoja testilaitteista iPhone 5 -puhelimeen ja selvittää, kuinka herkästi yhteyden muodostus häiriintyy.</p> <p>Saatujen mittaustulosten avulla pohdittiin BLE:n soveltuvuutta hyvinvointiteknologiaan. Teoriaosuus käsittelee langatonta tiedonsiirtoa ja langattomia teknologioita, erityisesti Bluetoothia. Työssä esitellään lyhyesti myös säteilyn terveysvaikutuksia ja ihmisen käyttäytymistä virtuaaliympäristössä.</p> <p>Mittauksista kävi ilmi, että Bluetooth 4.0 sopii hyvin lyhyen kantaman hyvinvointiteknologian laitteisiin urbaaniympäristössä. Taustatutkimusta tehtäessä havaittiin, että Bluetooth 4.0 -teknologia lisääntyy koko ajan. Erityisesti liikuntasovellukset ja älypuhelimet hyödyntävät kyseistä teknologiaa. Myös virrankulutus on saatu huomattavasti alhaisemmalle tasolle kuin edellisessä Bluetooth-versiossa.</p> <p>Tuloksista havaittiin, että Bluetooth 4.0 toimii hyvin. Teknologian toiminta hidastuu häirinnästä, mutta yhteyden muodostamisen estäminen normaalioloissa on harvinaista. Työ keskittyy kolmen yhteyden muodostamiskanavan häirintään eikä ota kantaa tiedonsiirtoon, johon tutkimusta voitaisiin laajentaa haluttaessa lisätietoa Bluetooth 4.0:n toiminnasta. Saatua tuloksia voidaan hyödyntää suunnitteluvaiheessa, kun mietitään sopivinta lyhyen kantaman langatonta ratkaisua hyvinvointiteknologian sovelluksiin tai laitteisiin.</p>	
Avainsanat	Bluetooth 4.0, BLE, langaton tiedonsiirto, mainostustila, hyvinvointiteknologia

Author(s) Title	Venla Knuutila, Outi Laamanen Bluetooth 4.0 solutions in Health informatics
Number of Pages Date	73 pages 9 October 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Health Informatics
Specialisation option	Health Informatics
Instructor(s)	Mikael Soini, Principal Lecturer
<p>The purpose of this engineering study was to find out how compatible Bluetooth 4.0 is in wellbeing technology. The work was carried out as part of a PeopleNearMe project, which aimed to find out how sensitive the Bluetooth 4.0 feature BLE is to any possible disturbances. On top of this, we explored other types of wireless technology devices as well as the already existing wireless devices and applications in wellbeing technology.</p> <p>The experiment was executed by completing different measurements during two months in the spring of 2013. These measurements were carried out in the offices of Technopolis in Vantaa and they were executed by using an iPhone 5 and four Nordic Semiconductor nRF51822 evaluation kits. The goal was to send information on heart rate from the slave device to the iPhone 5 and find out how sensitive the connection between the two devices would be to disruption.</p> <p>From the measurements received we were able to contemplate the compatibility of BLE in healthcare technology. The theoretical part of the project also deals with wireless data transfer and wireless technology, especially Bluetooth. The project also shortly presents the health impacts of radiation and behavior of people in a virtual environment. The measurements showed that Bluetooth 4.0 is well compatible with short range healthcare technology devices in an urban environment. While completing the background research, it was also detected that the Bluetooth 4.0 technology is increasing all the time. Especially fitness applications and smartphones benefit from using the new Bluetooth 4.0 technology because it allows short range data transfer in real time with power consumption being notably lower than in the previous version.</p> <p>The results indicate that Bluetooth 4.0 works better than expected. The activity of the technology does slow down due to disturbances, but the inhibition of the connection between the devices in normal conditions is rare. The project is focused on the forming of connection in three different cases and it does not cover data transfer, which could be investigated if more information on Bluetooth 4.0 is needed. The results can be beneficial in the developing stage, when trying to figure out the best short range technology for devices and apps regarding wellbeing technology.</p>	
Keywords	Bluetooth 4.0, BLE, wireless technology, advertising, wellbeing technology

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Langattoman verkon tiedonsiirto	3
2.1	Radioaaltojen ominaisuuksia	4
2.2	Interferenssi	4
2.3	Heijastuminen	5
2.4	Langaton tietoturva	5
2.5	Langattomia tiedonsiirtomenetelmiä	6
2.5.1	Infared Data Association (IrDA)	6
2.5.2	Li-Fi	7
2.5.3	WLAN ja Wi-Fi	8
2.5.4	ZigBee	9
2.5.5	RFID	9
2.6	Langattomat verkot terveydenhuollossa	10
3	Bluetooth	10
3.1	Historiaa	12
3.2	Wibree osana Bluetoothia	13
3.3	Tiedonsiirto	14
3.4	Bluetoothin fyysinen kerros	15
3.4.1	BLE:n fyysiset kanavat	16
3.4.2	Mainostila	16
3.5	Arkkitehtuuri	18
3.6	Virrankulutus	19
3.7	Tietoturva	20
4	Langattomia hyvinvointiteknologian sovelluksia	21
4.1	Langattomat mahdollisuudet kotona ja hyvinvointipalveluissa	22
4.2	Langaton teknologia ja terveys	23
4.3	Terveys ja säteily	24
4.4	Bluetooth lääketieteen ja terveyden apuvälineenä	25
4.5	Bluetooth liikunnan apuvälineenä	26

4.6	Hyvinvointiranneke	27
4.7	Kuntokännykkä	28
4.8	Pelikonsolit	28
4.9	Sydänfilmi kännykkään	29
4.10	Polar	31
4.11	Fitbit-digiranneke	31
4.12	Sports Tracker	32
4.13	Wahoo Fitness	33
5	Mittaukset	34
5.1	Testeissä käytetyt laitteet	35
5.2	Mittausten tavoitteet	39
5.3	Mittausten valmistelu	41
5.4	Mittaustilanteet ja mittausten kulku	43
6	Tulokset	48
6.1	Alkumittaus	49
6.2	Lyhin etäisyys	52
6.3	Slaven etäisyys masterista	55
6.4	Erilaiset materiaalit	57
6.5	Ihmiskeho	60
6.6	Slave	63
6.7	Pisin etäisyys	63
6.8	Toiminta eri kerroksissa	68
6.9	Ihmiskehon vaikutus ilman häiriölähteitä	69
6.10	Kuuluvuuskartta	71
6.11	Testien virhearviot	72
7	Johtopäätökset	72
	Lähteet	74

Lyhenteet

AP	Access Point. Laite tai piste, josta langaton yhteys liittyy langalliseen verkkoon.
BLE	Bluetooth Low Energy. Vähän virtaa kuluttava langaton teknologia.
Bluetooth SIG	Special Interest Group. Ericssonin, IBM:n, Intelin ja Toshibaan perustama ryhmä, jonka tarkoituksena oli luoda avoin spesifikaatio lyhyen kantaman radiotekniikalle.
CCM	Cipher Block Chaining-Message Authentication Code. Tarjoaa salassapinon ja todentamisen.
CPU	Central Processing Unit. Suoritin.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum. Suorasekventointi.
EKG	Elektrokardiogrammi eli sydänsähkökäyrä.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum. Taajuushyppely, jossa lähetinvastaa- ntaanotin hajauttaa signaalin taajuudelta toiselle tietyn hyppelykuvion mukaisesti ja käyttää tiedonsiirtoon laajempaa osaa taajuuskaistasta.
GPIO	General Purpose I/O. Yleiskäyttöinen portti mikrokontrolloreissa ja mikroprosessoreissa.
GPRS	General Packet Radio Service. Pakettikytkentäinen datayhteys.
IP	Internet Protocol. Protokolla, joka reitittää paketteja verkkoon liitettyjen tietokone- laitteiden välillä.
IrDA	Infrared Data Association. Lyhyen kantaman tiedonsiirtostandardi, joka käyttää infrapuna-

ISM	Industrial Scientific and Medical applications. Maailmanlaajuinen taajuusalue 2,400-2485 GHz, joka ei vaadi erillistä käyttöilupaa.
LE	Low Energy. Vähän virtaa kuluttava.
LED	Light-Emitting Diode. Hohtodiodi joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
MAC	Media Access Control. Verkkosovittimen ethernet-verkossa yksilöivä osoite.
Tekes	Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus Suomessa.
PNM	PeopleNearMe-projekti.
PDU	Power distribution unit. Laite joka jakaa virtaa.
PHY	Physical Layer. Fyysinen yhteys.
RFID	Radio Frequency Identification. Radiotaajuinen etätunnistus.
SAR	Specific absorption rate. Suure, joka kertoo, miten paljon energiaa radio- taajuisesta sähkömagneettisesta kentästä absorboituu ihmiskehon kudoksiin.
USB	Universal Serial Bus. Sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuskeskus on Suomen valtion omistuksessa.
WLAN	Wireless local area network. Langaton lähiverkkotekniikka.

1 Johdanto

Langaton teknologia on viime vuosina kehittynyt huimasti. Nykyään haluamme langattomia ratkaisuja ja vaadimme enemmän ominaisuuksia laitteissamme. Työssä tutkitaan langatonta teknologiaa ja sen mahdollisuuksia hyvinvointiteknologiassa terveyden ja liikunnan näkökulmasta.

Länsimaissa elettiin 1968 tietoteknistyvän aikakauden murrosta. Innokkaimmat teknologian kannattajat uskoivat, että koneet hoitavat tulevaisuudessa lähes kaiken ihmisten välisen kanssakäymisen. Muutos ei kuitenkaan ole tapahtunut niin nopeasti kuin 1968 oletettiin. Teknologiset apuvälineet ovat osa arkea, ja ihminen on ottanut käyttöönsä erilaisia kommunikointivälineitä tehokkaasti. Siitä huolimatta koneet eivät ole korvanneet ihmisten välistä kommunikointia vaan vain tehostaneet ja monipuolistaneet sitä.

Aluksi erilaiset viestintävälineet mahdollistivat ihmisten välisen kommunikoinnin suurempien etäisyyksien päästä. Sitten teknologia on kehittynyt yhä edelleen, ja reaali-ilman tilojen rinnalle on kehittynyt virtuaalisia tiloja, joissa ihmiset voivat solmia uusia ihmissuhteita ja tuntea yhteenkuuluvuutta. Nykyään reaali- ja virtuaalimaailmat kytkeytyvät yhteen siten, että esimerkiksi reaali-ilman suhteita ylläpidetään virtuaalimaailmassa ja virtuaalimaailman suhteita tavataan reaali-ilmassa.

Teknologia vaikuttaa yhteisöjen ja sen jäsenten toimintaan verkossa. Uudet laitteet ja sovellukset mahdollistavat moniulotteisemman kommunikoinnin ihmisten välillä, mutta teknologia itsekseen ei kykene ylläpitämään tai luomaan yhteisöjä. Uudet tekniset keksinnöt saavat toimijat aistimaan toisen lähempänä olevaksi. Näin syntyy niin kutsuttu näennäisläheisyyden tunne, joka lisää avoimuutta ja tutustumista, joka mahdollistaa nopeammin muodostuvan yhteisöllisyyden. PeopleNearMe-projekti eli PNM on kiinnostunut erityisesti ihmisten välisestä kommunikoinnista käyttäen langattomia teknologioita. Tämä insinööriyö tehtiin Electriassa, osana PNM-projektia. Electria on Metropolia Ammattikorkeakoulun elektroniikan tutkimus- ja kehitysyksikkö. [1, s. 10–12; 175–176.]

Työssä tarkastellaan erityisesti Bluetooth 4.0:aa, ja sen Bluetooth Low Energyä, eli BLE:tä, ominaisuutta ja Bluetoothin toimintaa häiriöisessä ympäristössä ja muun muassa

sen kautta analysoidaan sen soveltuvuutta hyvinvointiteknologiaan. Bluetooth 4.0 on lyhyen kantaman langaton ratkaisu, jonka avulla tiedonsiirto nopeasti ja matalalla teholla on mahdollista. Teknologia on melko uusi ja sitä löytyy vasta muutamista laitteista. Kysyntää tällaiselle teknologialle löytyy, ja voimme olettaa sen lisääntyvän tulevaisuudessa.

Työssä keskityttiin erityisesti Bluetooth Low Energyn mainostilan tutkimiseen. Tavoitteena tutkimusten osalta oli selvittää, kuinka helposti mainostustilaa voidaan häiritä ja millaisissa tilanteissa häirintää tapahtuu. Mittaukset suoritettiin aidossa testiympäristössä toimisto-oloissa.

Opinnäytetyö toteutettiin osana laajempaa PeopleNearMe-projektia, joka on hankkeena Metropolia Ammattikorkeakoulun Electria-tutkimusyksikössä. Projektissa tutkitaan erilaisia vähävirtaisia teknologioita kommunikointikäyttöön. Tehtävänä oli tutustua tarkemmin Bluetooth 4.0:aan ja etenkin siihen sisältyvään Bluetooth Low Energy-teknologiaan.

Työn tavoitteena oli selvittää Bluetooth 4.0:n toimivuutta aidossa testiympäristössä erilaisissa mittaustilanteissa, jotka toteutetaan toimistoympäristössä, työhuoneessa ja käytävillä. Mittauksia varten koteloitiin kolme Nordic Semiconductor nRF51822 evaluation-kehitysalustaa, jotka viritettiin lähettämään signaalia samoilla taajuuksilla, joilla BLE mainostaa itseään.

BLE:n ominaisuuksia testattiin erilaisissa testitilanteissa noin kahden kuukauden ajan. Meillä ei ollut tarkkaa mittaussuunnitelmaa, koska saadut mittaustulokset määrittivät sen, mitä seuraavaksi kannattaisi testata. Tarkan mittaussuunnitelman sijaan hahmoteltiin kysymykset, joihin lähdettiin hakemaan vastauksia.

PeopleNearMe on Metropolia Ammattikorkeakoulun Electria-tutkimusyksikön käynnistämä projekti, joka tutkii vähävirtaisen aktiiviradiotunnisteen hyödyntämistä lähialueen ja lähialueella toimivien henkilöiden tunnistamiseksi ja kommunikoinnin helpottamiseksi. Projekti kestää noin 14 kuukauden ajan, ja se on aloitettu marraskuussa 2012. Projektia rahoittaa Tekes "Tutkimusideoista uutta tietoa ja liiketoimintaa" -rahoitusohjelmasta.

Projektin tarkoitus on tutkia ja kehittää menetelmiä sosiaalisen median käyttöön. Tarkoituksena on tarjota lähistöllä oleville ihmisille mahdollisuus jakaa pilvipalvelussa aktivoituja henkilökohtaisia tietoja. PeopleNearMe-konseptin mukaisesti järjestelmän tulee kyetä havainnoimaan henkilöiden yhteyksiä samalla alueella oleviin toisiin henkilöihin. Tämä ominaisuus mahdollistaa esimerkiksi sen, että tietty henkilö voi etsiä lähialueelta toista henkilöä tai kommunikoida samassa tilassa olevien muiden henkilöiden kanssa ilman näköyhteyttä. Konseptin suurin etu on se, että se mahdollistaa suuremman toimintasäteen vähävirtaisilla laitteilla, kuin esimerkiksi ihmisen näkökyky.

Projektin päätavoite on selvittää konseptin toimivuus ja markkinapotentiaali. Tarkoituksena on kohdentaa paremmin sosiaalisen median palveluita ja mainontaa sekä lisätä ihmisten välistä kommunikointia ja sosiaalistumista. Uudenlaisen viestinnän avulla on erityisesti tarkoitus helpottaa ihmisten välisten kontaktien syntymistä. [2.]

Työn teko alkoi 19.3.2013 alkuinfolla, jossa käytiin läpi projektia ja tehtäviä siinä. Ensimmäisenä tehtävänä oli tutustua Bluetoothiin ja erityisesti Bluetooth LE:n ominaisuuksiin ja toimintaan teoriassa.

2 Langattoman verkon tiedonsiirto

Langaton verkko luo mahdollisuuden, jonka avulla ihmiset voivat viestiä keskenään sekä olla yhteydessä erilaisiin sovelluksiin ja tietoon ilman fyysistä kaapelia. Tämä tuo vapauden liikkumiseen, koska sovellukset toimivat eri puolilla rakennusta, kaupunkia tai jopa ympäri maailmaa. Langattoman verkon käyttötarkoitus on tiedon siirtäminen paikasta toiseen langattomasti. Tiedon edetessä verkossa sen muotoa muutetaan, jotta siirto olisi mahdollisimman tehokasta. [3, s. 4, 57.]

Langattomien ja langallisten verkkojen tärkein ero on niiden siirtoteissä. Langalliset verkot perustuvat kaapelointiin, jossa tieto esiintyy sähköjännitteen muodossa, kun taas langattomissa verkoissa tietoa siirretään näkymättömästi, ilmatiessä radiotaajuus- tai valosignaaleina.

2.1 Radioaaltojen ominaisuuksia

Radioaallot ovat tilassa liikkuvia sähkömagneettisia aaltoja, joiden energia esiintyy sähköisinä ja magneettisina kenttinä, jotka esiintyvät yhdessä, koska muutos sähkökentässä aiheuttaa muutoksen magneettikentässä ja päinvastoin.

Antenni lähettää radioaaltoja vapaaseen tilaan kohti vastaanottimia. Radioaaltojen edessä vastaanottajaa kohti, ne saapuvat eri voimakkuuksilla ja eri teitä pitkin vastaanottajan antennille. Aallot yhdistyvät yhdeksi signaaliksi antennissa, ja tämä signaali näkyy vastaanottimelle [3, s. 7-11]. Radiotaajuussignaali eli RF-signaali on sähkömagneettinen aalto, jota tietoliikennejärjestelmät käyttävät siirtäessään tietoa ilmateitse paikasta toiseen. Se on myös yleisin tapa siirtää dataa langattomassa verkossa. Yhä useammat langattomien verkkojen standardit esimerkiksi 802.11 ja Bluetooth perustuvat RF-signaalin käyttöön. [3, s.69–72.]

2.2 Interferenssi

Interferenssillä tarkoitetaan sellaisia signaaleja, jotka ovat ”ei-toivottuja”. Ne häiritsevät langattoman verkon toimintaa, ja niiden esiintyminen huonontaa langattoman verkon toimintakykyä. Interferenssistä voidaan puhua esimerkiksi silloin, kun vastaanottavassa asemassa on samanaikaisesti läsnä kaksi sellaista signaalia, joilla on sama taajuus ja vaihe. Käytännössä tätä voidaan verrata tilanteeseen, jossa henkilö yrittää kuunnella kahta puhujaa samanaikaisesti. Tällöin vastaanottaja tekee virheitä dekodatessaan lähetetyn tiedon merkitystä.

Langattomien verkkojen lisääntyessä on hyvä muistaa kiinnittää huomiota taajuusinterferenssiin. Bluetoothin ja muiden 2,4 GHz:n kaistalla toimivien järjestelmien verkkojen välillä on havaittu merkittävää interferenssiä, joka syntyy ainoastaan silloin, kun sekä Bluetooth että 802.11-laitteet lähettävät yhtä aikaa. Interferenssin voimakkuuteen vaikuttaa myös erityisen paljon Bluetooth-laitteiden etäisyys 802.11-radioverkkokorteista ja tukiasemista. Bluetooth-laitteissa lähetysteho on yleensä alhaisempi kuin langattomien 802.11-lähiverkkojen. Tästä johtuen 802.11-aseman on oltava lähellä, suunnilleen alle kolmen metrin etäisyydellä lähettävästä Bluetooth-laitteesta, jotta interferenssiä syntyy huomattavasti. Tämä tieto on merkittävää myös tämän työn mittauksien kannalta, koska

tarkoitus on selvittää, miten Bluetooth 4.0 toimii tiloissa, joista löytyy myös muita samalla taajuudella toimivia laitteita ja tukiasemia. [3, s.98–99.]

2.3 Heijastuminen

Heijastumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa RF-signaalin osat kulkevat eri polkuja lähteestä vastaanottimeen. Osa signaaleista saattaa esimerkiksi kulkea suoraan kohteeseen, kun taas osa saattaa kimmota pöydästä kattoon ja sieltä kohteeseen. Seurauksena tästä osa signaalia viivästyy ja kulkee pidemmän matkan vastaanottajalle. Heijastumisesta syntyvät viiveet aiheuttavat signaalin informaatioyösymboleiden sotkeutumista. Signaalien muoto välittää lähetettävän tiedon, jolloin vastaanottaja tekee virheitä moduloidessaan heijastunutta signaalia. [3, s. 74-75.] Tässä työssä mittaukset tehdään sisätiloissa, jonka takia muun muassa toimintaetäisyyden arvioiminen heijastumisista johtuen voi olla vaikeaa.

2.4 Langaton tietoturva

Langattomien verkkojen ughiin liittymen on tärkeää ymmärtää, että 802.11-verkkojen päätepisteiden välinen tiedonsiirto perustuu radiotaajuuksien käyttöön, langattomien puhelinten ja radioiden tavoin. Keskeinen ero on signaalien käyttämät taajuudet. [5, s. 281.]

Yleisenä langattoman tietoliikenteen uhkana voidaan pitää verkon ruuhkautumista, esimerkiksi matkapuhelinverkoissa. Käyttäjii on paljon samanaikaisesti samalla taajuudella, ja jo pelkästään älypuhelin aiheuttaa 35 kertaa enemmän dataliikennettä kuin perinteinen puhelin. Ruuhka-aikoina käyttäjät joutuvat käyttämään 50 - 90 prosenttia pienempiä nopeuksia, joka luo uhan tietoturvalle yhteyden katkeillessa ja tiedonsiirronnopeuden heiketessä. Taajuuskaista ei nykytekniikalla yksinkertaisesti riitä kattamaan liikennettä ilman ruuhkautumista. [6.]

Langattomia uhkia on monenlaisia. Voi olla mahdollista muodostaa luvaton yhteys langattomaan tukiasemaan tai pakettinuuskimen avulla siepata paketteja ilmasta ja purkaa ne. Hyökkääjät, jotka eivät pääse langattomaan lähiverkkoon, voivat myös aiheuttaa tietoturvaohkia tukehduuttamalla tai tulvittamalla langattoman verkon staattisella liikenteellä. Nämä palvelunestohyökkäykset sulkevat tai hidastavat langattoman verkon toimintaa.

Hyökkäyksien ja ruuhkautumisen lisäksi monet muut tekijät, kuten laitteen sijainti, materiaalit ja säätölaivat voivat vaikuttaa niihin haitallisesti.

2.5 Langattomia tiedonsiirtomenetelmiä

Langaton tiedonsiirto tarkoittaa tiedonsiirtotekniikkaa, joka on nimensä mukaisesti täysin langatonta. Yleisimpiä käyttökohteita ovat matkapuhelimet, kämmenmikrot, satelliittitelevisiot, näppäimistöt, hiiret ja langattomat lähiverkot.

Langaton tiedonsiirtäminen käy läpi seuraavat signaalinkäsittelyn vaiheet. Aluksi haluttu tieto muutetaan radiosignaalksi lähetystä varten, jonka jälkeen toinen laite vastaanottaa radiosignaalin, joka muutetaan takaisin ymmärrettävään muotoon.

Langaton ja kiinteä johdollinen verkko eroavat oleellisesti toisistaan. Johdollisissa ratkaisuissa kaksi vierekkäin olevaa johdinta eivät häiritse toisiaan, vaikka käyttävät samaa lähetystaajuutta. Joissain yhteyksissä ylikuumentuminen on mahdollista, mutta sen voi välttää sähköisellä suojauksella. Langattomassa radioliikenteessä tilanne on toinen, sillä radioaaltojen leviäminen ympäristöön on huomattavasti vaikeampaa. Kaksi rinnakkain olevaa, samalla taajuudella toimivaa lähetintä, häiritsevät toistensa lähetyksiä. Tämä huomattiin mittauksia tehdessä. Langaton signaali myös vaimenee voimakkaasti, jolloin toimintaetäisyydet ovat yleensä lyhyitä, varsinkin paristokäyttöisillä laitteilla, joilta vaaditaan pientä tehonkulutusta.

Langattomuus mahdollistaa entistä vapaamman liikkumisen. [4, s. 7-11.] Nykyään langattomia tiedonsiirtomenetelmiä löytyy useita, kuten Bluetooth, infrapuna, WLAN, Wibree, DASH7, ZigBee, RFID, ja GPRS. Seuraavassa esitellään muutamia.

2.5.1 Infrared Data Association (IrDA)

Bluetoothin kilpailija IrDA on ollut toiminnassa vuodesta 1993, eli jo ennen Bluetoothia. Monista matkapuhelimesta ja kannettavista IrDA-liitäntä on löytynyt jo vuosien ajan. IrDA:n tavoitteena on luoda toimiva, edullinen, sekä matalan tehon sarjamuotoinen tietoliikennestandardi lyhyen kantaman tiedonsiirtoon.

IrDA-teknologia perustuu infrapunasäteilyyn, joka ei läpäise esteitä, kuten seiniä. Tästä johtuen IrDA-laitteiden kantama rajoittuu vain näköyhteyteen. Laitteet pitää rajoittuneesta kantamasta johtuen kohdistaa toisiinsa tarkasti yhteyden takaamiseksi. Infrapunasäteilössä käytettävät etäisyydet ovat yleensä myös lyhyitä. Tämä rajoittaa niiden käyttöä langattomassa verkossa.

IrDA on käyttökelpoinen ainoastaan kaksipistesovelluksissa. Yleisin IrDA:n käyttötarkoitus on kannettavan tietokoneen ja pöytäkoneen yhdistäminen toisiinsa ilman johtoja. Suurin etu IrDA:ssa on, ettei sen yhteydessä tarvitse kantaa huolta RF-interferenssistä. Infrapunayhteydessä esiintyvä kohina johtuu yleensä muista valon lähteistä, kuten auringon valosta ja valaisimista.

IrDA on datastandardi, joka sopii parhaiten laitteisiin, jotka vaativat jatkuvaa informaatiovirtaa, kuten MP3-soittimet, joiden nopeus voi olla enintään 4 Mbps. Kyseisen standardin versiossa etäisyys voi olla enintään metrin. Matalampitehoisten, enemmän akkua säästävien versioiden toimintasäde on ainoastaan 20 senttimetriä. [3, s. 101–102.]

Infrapunateknologialla toteutetun tiedonsiirron etu on se, että sitä on vaikea salakuunnella, koska salakuuntelu edellyttäisi tässä tapauksessa näköyhteyttä kaikkiin laitteisiin. Siirtonopeus vaihtelee 2400 -115200 bittiin sekunnissa. [4, s. 262, 287.]

2.5.2 Li-Fi

Li-Fi on uusi lyhyen kantaman valaistusdatansiirtomenetelmä, jossa dataa siirretään ledien avulla, eli valon välityksellä. Dataa lähetettäessä lähetin toimii samalla valaisimena sekä langattomana lähettimenä ja datansiirtovälineenä. Käyttökohteet Li-Fi -siirtomenetelmässä ovat samanlaisia kun WLAN tai Wi-Fi -datansiirroilla.

Li-Fi-teknologia tuo mahdollisuuksia koti- ja toimistoverkkojen toteutuksiin. Parhailaan maailmassa on yli 10 miljardia hehkulamppua, korvaamalla nämä Li-Fi-lähettimillä varustetuilla ledilampuilla olisi mahdollista saada langaton verkko kaikkialle. Yksi lähetin kattaa noin kymmenen neliömetrin kokoisen alan. [7.]

Lampun muuttaminen lähettimeksi onnistuu muutaman lisäkomponentin avulla. Ratkaisu on taloudellinen ja ympäristöystävällinen. Teknologiaa voitaisiin käyttää esimerkiksi tiedonsiirtoon kannettavan tietokoneen ja tulostimen välillä. [8, s. 65.]

Li-Fi on tulevaisuudenteknologiaa, jota ei vielä käytetä yleisesti. Tämä teknologia soveltuisi hyvin hyödynnettäväksi hyvinvointitekniologiassa. Nykyään sairaaloissa käytettävät Wi-Fi-verkot ovat ongelmallisia, koska ne häiritsevät sairaalalaitteita, Li-Fi-teknologian avulla tämä ongelma voitaisiin ratkaista tiloissa, joissa kirkkaita valoja käytetään jo ennestään. [9.]

2.5.3 WLAN ja Wi-Fi

WLAN tarkoittaa langatonta lähiverkkoa, joka perustuu IEEE 802.11 -standardiin. WLAN mahdollistaa nopean tiedonsiirtoyhteyden laajalle alueelle. Kuten BLE, WLAN-versiot 802.11b, 802.11g ja 802.11n toimivat taajuusalueella 2,4GHz. Taajuusalue on pilkottu pienempiin osiin eli kanaviin, joilla operoivat WLAN-verkot tai tukiasemat toimivat lähekkäin ilman, että ne häiritsevät toisiaan. 2,4 GHz:n taajuusalueella toimivat kanavat kuuluvat maailmanlaajuiseen taajuusalueeseen Industrial Scientific and Medical applications (ISM) -kaistaan, joka on maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa.

WLAN-verkot koostuvat kahdentyyppisistä peruselementeistä: langattomista päätteistä sekä tukiasemista. Tukiasemat toimivat siltana langattoman verkon ja langallisen verkon välillä, jolloin tukiasema kytketään langalliseen lähiverkkoon kaapelilla. Kyseisen kokoonpanon suurin etu on, että käyttäjät voivat nopeasti muodostaa tilapäisen langattoman lähiverkon. Langattomia verkkoja voi suojata piilottamalla tukiaseman tunnisteen tai sallia vain tiettyjen WLAN-laitteiden yhteydet tukiasemaan verkkosovittimen ethernet-verkossa olevan yksilöidyn osoitteen eli MAC-osoitteen perusteella. Paras tapa suojata langatonta lähiverkkoa on käyttää salausta.[3, s. 117; 15, s. 28; 11.]

Wi-Fi on nykyään yksi suosituin langatonta verkkoa koskeva markkinointitermi. Wi-Fi on Wi-Fi Alliancen tavaramerkki, joka keskittyy 802.11-standardin mukaisten langattomien lähiverkkotuotteiden markkinointiin ja yhteensopivuuteen. Wi-Fi Alliancen tavoite on saada termi Wi-Fi kattamaan kaikki nykyiset ja tulevat 802.11-pohjaiset langattomat lähiverkot.

Wi-Fi sertifiointi on prosessi, jossa varmistetaan langattomien 802.11-lähiverkkotuotteiden, kuten tukiasemien ja väyläratkaisuja noudattavien radiokorttien yhteensopivuus. Jos yritys haluaa itselleen ja tuotteelleen Wi-Fi sertifiointia, on sen liityttävä jäseneksi Wi-Fi Allianceen. [3, s. 130; 5, s. 279.]

2.5.4 ZigBee

ZigBee on IEEE 802.15.4 –standardin mukainen lyhyen kantaman verkkotekniikka, joka on kehitetty langattomia ohjaus- ja automaatiojärjestelmiä varten. ZigBee-tyylisiä verkkoja on alettu suunnitella jo vuonna 1998, kun WiFin ja Bluetoothin arvioitiin olevan kelpaamattomia joihinkin käyttötarkoituksiin. ZigBee on Bluetoothia pienemmällä kaistalla ja halvemmalla elektroniikalla toteutettu. ZigBee-laitteiden käyttöaika akuilla on vähintään kuukausia, jopa vuosia pienen siirtonopeuden ja yksinkertaisen elektroniikan ansiosta. Ominaisuuksistaan huolimatta sen ideana ei ole haastaa Bluetoothia, vaan tarkoitus on saada laitteille äärimmäisen vähäinen virrankulutus, jolloin paristojen kesto on vuosia. Kuten Bluetooth, myös ZigBee on lyhyen kantaan teknologia, jonka toimintasäde on 10 – 75 metriä. Maailmanlaajuinen taajuus on 2,4 GHz, ja siirtonopeus on 250 kb/s.[12; 13.]

Hyvinvointiteknologiassa tekniikkaa voitaisiin hyödyntää nimenomaan vähäisen virrankulutuksen ansiosta, mikä mahdollistaa laitteen käytön ja tarkkailun jatkuvasti.

2.5.5 RFID

RFID on yleisnimitys tekniikoille, jotka toimivat radiotaajuuksilla ja joita käytetään tiedon etälukuun ja –tallettamiseen. Teknologian toiminta perustuu tiedon tallentamiseen ensin RFID-tunnisteeseen ja sen jälkeen lukemiseen RFID-lukijalla radioaaltojen avulla. RFID-teknologia on verrattavissa viivakoodiin. Kohteeseen kiinnitetään tunniste, joka kertoo kohteesta. Suurin ero viivakoodiin on, että RFID tai voidaan lukea ilman näkökontaktia. [14.] RFID-tunnisteita on neljää erilaista, ja ne eroavat toisistaan käytetyn radiotaajuuden perusteella. Vain yksi näistä taajuuksista on kansainvälisessä käytössä, ja se käyttää Bluetoothin tavoin ISM-alueella olevaa 2,45 GHz:n taajuusaluetta.

RFID–tekniikalla varustettuja mikrosiruja käytetään erityisesti lemmikkieläimillä ja vähitellen niitä on istutettu myös ihmisiin. Ehkä muutaman vuoden päästä voimme maksaa

ruokakaupassa ostoksemme ihonalaisella RFID mikrosirun avulla. Hyvinvointitekniikan kannalta RFID- teknologiaa voitaisiin hyödyntää erilaisissa rannekeissa, joiden avulla voitaisiin seurata ja paikantaa esimerkiksi potilas. Saksassa on hyödynnetty RFID- tekniikkaa ainakin Klinikum Saarbrücken -sairaalassa, jossa potilaat tunnistetaan rannekorussa olevalla RFID-tunnisteella. [15.]

2.6 Langattomat verkot terveydenhuollossa

Langattomat verkot ovat käytössä yhä useammassa sairaaloissa, jotta niiden toiminta olisi tehokkaampaa ja joustavampaa. Verkkoja rakennetaan alueille, joissa potilaat liikkuvat, esimerkiksi ensiapuasemat, potilaiden odotustilat ja lääkäreiden vastaanottohuoneet.

Sairaalan henkilökunta hyödyntää langatonta verkkoa työssään mobiililaitteiden avulla. Terveydenhuollon toimipisteillä on erityisen tärkeää ylläpitää tarkkoja potilastietoja laadukkaasti terveydenhuollon takaamiseksi. Tämän takia sekä hoitajien että lääkäreiden on tärkeää tallentaa koetuloksia, lääkemääräyksiä ja kirurgisia toimenpiteitä koskevat tiedot. Kun tiedonkeruussa ja -tallentamisessa hyödynnetään mobiililaitteita, paranee tietojen tarkkuus ja käytettävyys.

Lääkärit ja hoitajat liikkuvat paljon työpäivän aikana huoneesta toiseen, kun potilastietoja voidaan syöttää ja tarkastella mistä tahansa sairaalan tiloista, terveydenhuollon tehokkuus paranee huomattavasti. Jos jokaisella sairaalan henkilökunnan jäsenellä on kämmenentietokone, joka on yhdistettynä langattoman verkon kautta tietokantoihin, on potilastietojen päivittäminen merkittävästi nopeampaa. [3, s. 17–18.]

3 Bluetooth

Bluetooth 4.0 sisältää klassisen Bluetooth- ja Bluetooth high speed-, sekä Bluetooth Low Energy -protokollat. Yleisesti Bluetooth 4.0:sta käytetään nimitystä BLE, vaikka se onkin vain osana suurempaa kokonaisuutta. Nimitys johtuu siitä, että suurin muutos edelliseen Bluetooth 3.0 on 4.0 lisätty BLE-teknologia, joka on vähemmän virtaa kuluttava malli.

Aiemmin Bluetooth-yhteyttä ei voitu pitää kovin pitkään päällä, sillä se kulutti todella paljon virtaa. Nykyään Bluetooth 4.0:lla varustetuilla matkapuhelimilla yhteyttä voidaan kuitenkin pitää päällä niin kauan kuin tarpeellista, sillä virrankulutus ei nouse merkittävästi.

Bluetooth Low Energy on Bluetooth 4.0 langattoman radioteknologian ominaisuus, mikä on tarkoitettu pääasiassa pienitehoisten ja lyhyen viiveen omaavien langattomien laitteiden sovellusten toimintaan lyhyellä etäisyydellä, noin 50 metrin etäisyydelle. Bluetooth Low Energy kehitettiin erityisesti, jotta voitaisiin lähettää pieniä määriä dataa kerralla kuluttamalla vähemmän virtaa perinteiseen Bluetoothiin verrattuna. Tämä helpottaa useiden sovellusten ja pienten laitteiden käyttöä, muun muassa terveydenhuollossa, liikunnassa, turvallisuuspalveluissa ja kodinviihteessä.

Bluetooth Low Energyn avulla virrankulutus on saatu alenemaan merkittävästi. BLE-teknologiaa on mahdollista käyttää jopa parin kuukauden ajan yhtäjaksoisesti valmiustilassa pelkän nappipatterin avulla, kun aiemmin tämä oli mahdollista vain muutaman päivän ajan. Virrankulutus on siis tärkein ominaisuus BLE-teknologiassa.

Vähäinen virrankulutus perustuu pääasiassa siihen, että BLE lähettää pieniä paketteja nopeassa rytmissä, jolloin datan lähetyksen latenssi on hyvin pieni verrattaessa normaaliin Bluetoothiin. Esimerkiksi kun normaali Bluetooth lähettää datan 100 ms, BLE lähettää saman alle 6 ms.

BLE käyttää samaa taajuutta kuin normaali Bluetooth eli 2,4 GHz:ä. Tämä taajuus on jaettu 40 kanavaan, jotka ovat kooltaan 2 MHz. Näistä kanavista 37 on datan käytössä ja loput kolme ovat yhteyden muodostamista varten. Mittauksissa hyödynnetään tätä tietoa ja yritetään vaikuttaa BLE-teknologian heikoimpaan kohtaan häiritsemällä kolmea yhteyden muodostamiseen tarkoitettua kanavaa.

BLE-teknologia on suunniteltu kahdesta yhtä tärkeästä implementaatiovaihtoehdosta, jotka ovat single mode ja dual mode. Pienet laitteet, kuten kellot ja urheilusensorit perustuvat single mode BLE-teknologian käyttöön. Dual mode -laitetta käytetään integroituna klassiseen Bluetooth mikropiiriin. Bluetooth 4.0 yhdistyy siis kaksi laitetta. Ensimmäinen on dual mode -laite, joka pystyy käyttämään BLE:tä normaalin Bluetoothin kanssa, ja toinen on single mode -laite, joka tukee vain BLE-protokollia. Single mode-laitteita ovat itsenäisesti ja paristolla toimivat laitteet, kuten sydämensykesensori. Dual

mode-laitteita ovat laitteet, jotka sisältävät BLE-tekniikkaa sekä klassista Bluetooth -tekniikkaa. Dual mode-laitteiden virran säästäminen ei ole yhtä suurta kuin pelkästään single mode-laitteissa, sillä dual mode-laitteet tukevat kumpaakin tekniikkaa. Tyypillisiä dual mode-laitteita ovat matkapuhelimet ja tietokoneet.

3.1 Historiaa

Matkapuhelinvalmistaja Ericsson aloitti vuonna 1994 tutkimukset, joiden tarkoituksena oli löytää edullinen ja vähän virtaa kuluttava radiotekniikka, joka korvaisi kaapelit. Vuonna 1998 Ericsson laajensi tutkimusta ottamalla kehitystyöhön mukaan muita alan yrityksiä, joista suurimpina olivat Nokia, IBM, Toshiba ja Intel. Yhdessä he muodostivat Bluetooth SIG:n, jonka tarkoituksena on edistää tekniikan kehitystä ja markkinoille tuontia. Bluetoothin vaatimuksena oli tavoittaa pieni tehonkulutus, halpa hinta, pieni koko, äänen- ja datansiirto sekä toimivuus kaikkialla. [17, s. 67.]

Bluetooth-tuotteeksi voidaan kutsua mitä tahansa tuotetta, joka sisältää Bluetoothin langatonta tekniikkaa. Bluetoothin langaton tekniikka on lyhyen alueen kommunikaatiojärjestelmä, jonka tarkoituksena on korvata langallisesti tehtyjä ratkaisuja helpottamaan laitteiden käyttöä.

Bluetooth on langaton tiedonsiirtotekniikka, jolla erilaiset elektroniset laitteet voivat viestiä keskenään käyttäen radioaaltoa 2400–2480 MHz:n välillä. Tekniikka on tarkoitettu erityisesti lyhyille, noin kymmenen metrin matkoille, mutta myös pidemmät matkat ovat mahdollisia. Bluetoothia käytetään yleisesti esimerkiksi matkapuhelimien ja tietokoneiden välillä. Bluetooth-tekniikan tavoitteena on yhdistää erilaisia tekniikoita ja siten helpottaa pienten mobiililaitteiden välistä viestintää.

Jokaisessa Bluetooth-laitteessa on lähetin ja vastaanotin. Erona perinteiselle johdolliselle tekniikalle on se, että lähetin kommunikoi radioaaltojen avulla vastaanottimelle. Jokaisessa Bluetooth-laitteessa on myös antenni, joka lähettää ja vastaanottaa aaltoja. [10, s. 13.]

Vuonna 2001 Nokian tutkijat tulivat siihen tulokseen, että monissa tapauksissa käytössä olevat langattomat teknologiat eivät olleet riittäviä. Ongelman ratkaistakseen Nokia Research Center aloitti uuden langattoman teknologian kehittämisen, joka tarjoaisi mahdollisuuden vähän virtaa käyttävään ja edulliseen ratkaisuun. Tulokset julkaistiin 2004 nimellä Bluetooth Low End Extension. Kehittelyä jatkettiin useiden kumppaneiden kanssa ja teknologia julkaistiin lokakuussa 2006 nimellä Wibree. Bluetooth SIG jäsenten keskeisten neuvotteluiden jälkeen. Kesällä 2007 päätös tehtiin Wibreen liittämiseksi tuleviin Bluetooth-määritelmiin Bluetooth Low Power -teknologiana. Nykyään tämä teknologia tunnetaan BLE-teknologiana.

BLE integroitiin Core Specificationiin vuoden 2010 alussa. Ensimmäinen laite, jossa on Bluetooth 4.0, oli iPhone 4S, joka julkaistiin lokakuussa 2011. Tulevaisuudessa Bluetooth SIG toivoo, että suurin osa matkapuhelimista on varustettu tällä teknologialla.

3.2 Wibree osana Bluetoothia

Wibree on Nokian tutkimuskeskuksen kehittämä tekniikka langattomaan tiedonsiirtoon, joka perustuu radioteknologiaan. Nokian kanssa kehitystyötä ovat olleet tekemässä Broadcom, Epson sekä Suunto. Wibree-teknologia on nykyään osana Bluetooth-standardia nimellä Bluetooth Low Energy, joka on nykyisin osana Bluetooth 4.0 -standardia.

Wibree oli lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikka, jonka suurin etu perinteiseen Bluetooth-teknologiaan verrattuna oli sen pienikokoisuus ja tehonkulutus, joka oli vain murto-osa perinteisen Bluetoothin tehonkulutuksesta. Alun perin Wibree-teknologian toimintasäde oli 5 - 10 metriä, ja se toimi 2,4 GHz:n taajuudella, 1 Mb/s siirtonopeudella. Nykyään kun teknologia on osana Bluetoothia, toimintasäde on kasvanut hieman.

Wibree-tekniikan linkkitaso mahdollisti erilaisia toimintoja, kuten vähävirtaisen valmiustilan, yksinkertaisen laitteiden löytämisen, point-to-multipoint eli yhdestä pisteestä moneen pisteeseen mahdollistavan tiedonsiirron sekä tiedonsiirron salausmahdollisuuden. Wibree-teknologialla ei pysty siirtämään äänisignaalia.

Wibree-tekniikkaa oli mahdollista käyttää hyvin pienissä tuotteissa, sitä voitiin hyödyntää muun muassa pienillä paristoilla toimivissa laitteissa, kuten kelloissa tai leluissa. Lisäksi sitä voitiin hyödyntää erilaisissa urheilusensoritoteutuksissa, kuten rannekellon tapaisissa monitoimilaitteissa, jotka mittaavat erilaisia arvoja, kuten sydämen sykettä, lisäksi se arvioi suorituskykyä. Wibree pystyttiin liittämään myös kännyköihin tai PC-tietokoneisiin, mikä mahdollisti sen hyödyntämisen myös terveydenhuollossa. Wibree tunnetaan nykyään osana Bluetooth 4.0:aa nimellä BLE, ja sen tarkoitus on täydentää Bluetooth tekniikkaa eikä toimia sen kilpailijana. [18; 19.]

3.3 Tiedonsiirto

Bluetoothissa tiedonsiirto tapahtuu taajuushyppelyyn perustuvalla hajaspektritekniikalla, joka tunnetaan nimellä Frequency Hopping Spread Spectrum eli FHSS. Hajaspektritekniikassa radiosignaalit hajautetaan laajalle taajuusalueelle, jolloin häiriöiden vaikutus yksittäisillä ja kapeilla taajuuskanavilla vähenee. Perinteisen Bluetoothin käyttämä taajuushyppelynopeus on 1600 hyppyä sekunnissa, eli yhdessä sekunnissa voidaan lähettää jopa 1600 pakettia. Taajuushyppelystä puhuttaessa tarkoitetaan sitä, että jokainen paketti lähetetään satunnaisesti eri kanavalla eli taajuudella. Mahdolliset häiriöt esiintyvät yleensä jollain tietyllä osalla taajuuskaistaa, joten taajuuden vaihtaminen mahdollistaa häiriöiden välttämisen. Kun pakettiin tulee häiriötä, se lähetetään myöhemmin uudelleen. Uudessa lähetyksessä saman häiriön esiintyminen on epätodennäköistä, koska käytössä on eri taajuus. Merkittävimmät keinot suojautua häiriöiltä on laaja taajuusalue jota käytetään tiedonsiirrossa, taajuushyppely, lyhyet paketit ja mukautuva lähetysteho. [17, s. 72–74.]

Perinteisen Bluetoothin käyttämä taajuusalue on jaettu 1 MHz:n levyisiin tiedonsiirtokanaviin. Maissa, joissa sallitaan koko taajuusalue, on yhteensä 79 siirtokanavaa, kun taas maissa, joissa on käytössä kapeampi taajuusalue, kokonaiskaistalle mahtuu vain 23 kanavaa. Jokainen kanava on aikajakoinen, ja tieto siirtyy kanavaa pitkin ajan mukaan jaettuina paketteina. Suomessa ja Euroopassa yleisesti käytetään laajempaa taajuusaluetta.

Bluetooth mahdollistaa automaattisen yhteydenmuodostuksen muiden kantaman sisällä olevien laitteiden kesken. Laitteet, jotka ovat kantaman sisällä, vastaavat, mikäli ne on

asetettu havaittavaksi. Jos laitteet on asetettu piilotetuksi, eivät ne vastaa etsintään. Bluetooth mahdollistaa myös tiedonsiirron usealle laitteelle samanaikaisesti.

Protokollat ovat sääntöjä, joiden avulla kaksi eri laitetta voi kommunikoida keskenään. Bluetooth käyttää kahta erilaista tiedonsiirtomenetelmää: synkronista yhteyttä ja asynkronista yhteyttä. Synkronista yhteyttä käytetään sellaisissa sovelluksissa, jotka vaativat jatkuvaa ja tasaista bittivirtaa, esimerkiksi äänensiirto, jolloin tiedonsiirtonopeus molempiin suuntiin on 434 kb/s. Asynkronista yhteyttä käyttää master silloin, kun lähettää kyselyitä, joihin slave-laitteet vastaavat. Jos slave ei pysty tunnistamaan saatua osoitetta, tiedon siirtäminen verkkoon ei ole sallittua. Datat siirtoon käytettävän asynkronisen yhteyden siirtonopeus yhteen suuntaan on 723 kb/s paluukanavan ollessa vain 57 kb/s. [10, s. 24-25; 4, s. 295.]

Perinteinen Bluetooth ja BLE eivät eroa paljon toisistaan. BLE on kuitenkin teknologiaa, joka on sulautettu osaksi kokonaisuutta, jota kutsutaan Bluetooth 4.0:ksi. BLE-teknologia toimii samalla kantamalla (2402–2480) kuin klassinen Bluetooth-teknologia, mutta käyttää eri kanavia. Bluetooth-teknologia käyttää seitsemääkymmentäyhdeksää 1 MHz:n levyistä kanavaa, kun taas BLE käyttää neljäkymmentä 2 MHz:n kanavaa. BLE käyttää myös eri hyppelytaajuutta kuin klassinen Bluetooth-teknologia; tästä johtuen BLE-teknologia luokitellaan systeemiksi, joka käyttää muun muassa suorasekventointia eli tekniikkaa, jossa lähetettävä paketti jaetaan pieniin osiin, jonka jälkeen se lähetetään koko taajuusalueella yhtenä signaalina.

3.4 Bluetoothin fyysinen kerros

Bluetoothin fyysisen kerroksen suunnittelussa on pitänyt ottaa huomioon useita rajoituksia. Bluetoothia käytetään yleisesti mobiililaitteissa, joten niiden on luotettava akkuun tai paristoon tehonlähteenä. Se vaatii vähätehoisia pieniä piirejä, joita voidaan sijoittaa kädessä pidettäviin laitteisiin. Maailmanlaajuinen käyttö vaatii sellaisten taajuuksien käyttöä, jotka ovat saatavilla kaikkialla. Bluetooth-verkko toimii vapaalla 2,4 GHz ISM - alueella, mikä mahdollistaa sen maailmanlaajuisen käytön. Klassinen Bluetooth käyttää aluetta, joka on jaettu 79 kanavaan, joiden väli on 1 MHz. Ensimmäinen kanava alkaa taa-

juudesta 2,402 MHz. Radiotiellä data siirretään aikaväleissä, joiden pituus on 625 mikrosekuntia. Aikaväleissä ideana on, että data siirtyy vuoro- ja suuntaisesti siten, että samalla kanavalla vaihdetaan siirtosuuntaa, kun vuoro siirtyy osapuolelta toiselle.

Siirto perustuu taajuushyppelyyn, jossa lähettäjän lähetystaajuus vaihtelee. Jokaisen aikavälin jälkeen vaihdetaan taajuutta, ja yhden aikavälin pituuden ollessa 625 mikrosekuntia hyppelytaajuudeksi tulee 1600 hyppyä sekunnissa.

Joissain maissa kansalliset rajoitukset sallivat vain 23 hyppykantoaaltoa. Kaikki laitteet, jotka käyttävät samaa hyppelysekvenssiä samassa vaiheessa, muodostavat Bluetooth-pikoverkon. Pikoverkossa tiedonsiirtoa ohjaava master voi samaan aikaan kommunikoida enintään seitsemän aktiivisen laitteen kanssa. Laite voi olla samaan aikaan osallisena useassa pikoverkossa, mutta ohjata vain yhden pikoverkon liikennettä kerrallaan. Bluetoothin lähetystehon ollessa enintään 10 mW sen toimintaetäisyys on noin 10 metriä. Kun tätä tehoa käytetään akkujen kanssa, Bluetooth-laite ei voi olla aktiivisena lähetystilassa kaiken aikaa.[20, s. 202–203.]

3.4.1 BLE:n fyysiset kanavat

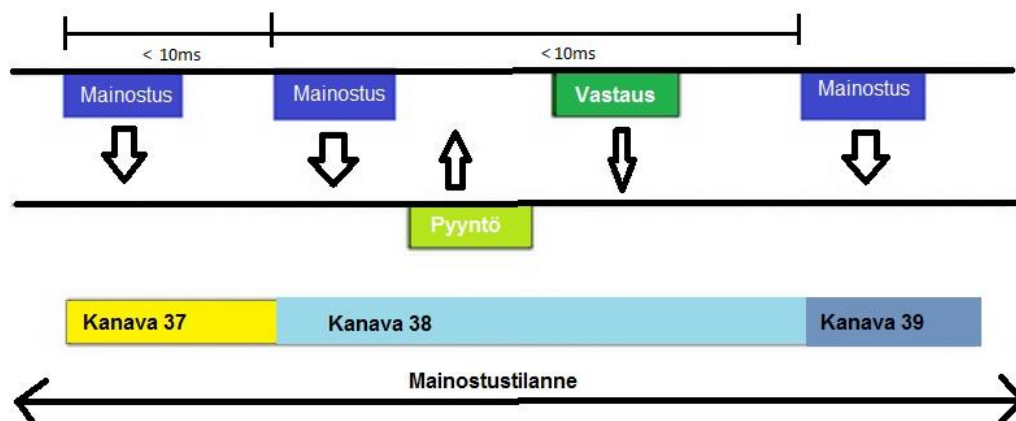
BLE-systeemissä kaksi Bluetooth-laitetta käyttää jaettua fyysistä kanavaa kommunikointiin. Tämän saavuttamiseksi, niiden lähetin-vastaanottimien täytyy olla viritetty samalle PHY-taajuudelle samaan aikaan, ja niiden täytyy olla riittävällä etäisyydellä toisistaan.

Ottaen huomioon, että PHY kanavien määrä on rajallinen, ja useat Bluetooth-laitteet voivat toimia itsenäisesti samalla alueella, on mahdollista, että kaksi paria itsenäisiä Bluetooth-laitteita on viritetty samalle PHY-kanavalle. Tällöin syntyy fyysisten kanavien törmäys. BLE-laitteessa kahden laitteen jakaessa saman PHY-kanavan samalla alueella, Access Address päättää, mihin laiteeseen kommunikaatio suunnataan. [21, s. 54.]

3.4.2 Mainostila

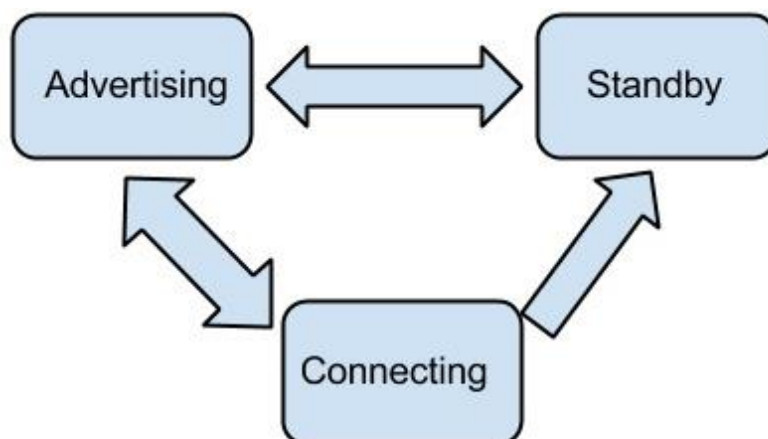
Siirrot fyysisen kerroksen mainostuskanavilla tapahtuvat mainostilanteissa. Aluksi mainostaja lähettää mainospaketteja liittyen mainoksen tyyppiin. Laitteet, joiden täytyy muodostaa yhteys toiseen laitteeseen, kuuntelevat mainospaketteja, kuten kuvasta 1 käy

ilmi. Tällaisia laitteita kutsutaan aloitteentekijöiksi. Aloitteentekijä voi tehdä yhdistyspyynnön mainostajalle mainostukseen käytetyllä kanavalla, jota seuraa vastaus mainostajalta jälleen samaa kanavaa käyttäen. Mainostus lopetetaan ja yhteys alkaa, jos mainostaja saa ja hyväksyy yhdistyspyynnön toiselta laitteelta. Kun yhteys on muodostettu, aloitteentekijästä tulee master ja mainostuslaitteesta tulee slave.



Kuva 1. BLE Mainostilan toiminta.

Laitteet voivat olla mainostustilassa monesta eri syystä. Ne voivat lähettää jatkuvasti mainostuspaketteja tai lähettää dataa aiemmin yhdistettyyn laitteeseen. Mainostajat voivat myös mainostaa läheisyyttään yhteyttä haluavalle laitteelle, tai ne voivat uudelleen yhdistyä asynkronisesti. Mainostustila, joka on kuvattuna kuvassa 2, on heikoin kolmesta muusta tilasta, jos se pätkii seuraa ongelmia, koska vain kolme kanavaa on käytössä tässä tilassa ja ruuhkautuminen on mahdollista.

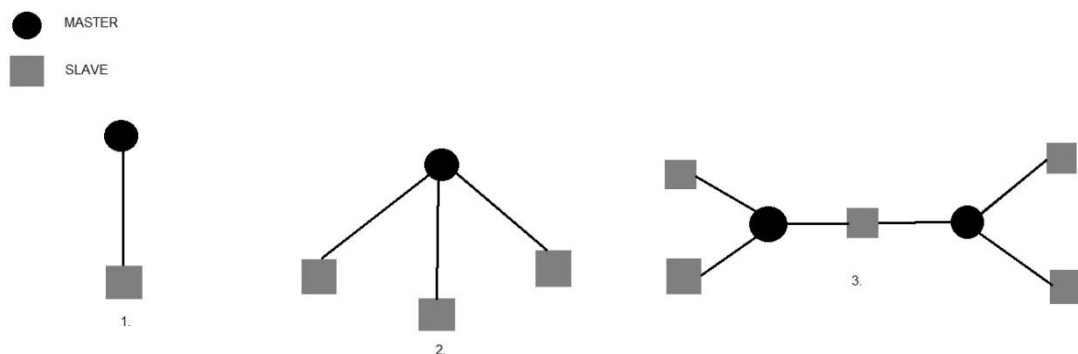


Kuva 2. Bluetoothin kolme tilaa.

Mittausten kannalta tämä herkin tila on avainasemassa. Myös muiden tilojen tutkiminen jatkossa on kiinnostavaa, mutta herkin tila paljastaa suurimmat ongelmat BLE-tekniikan käytössä hyvinvointiteknologiassa. [22.]

3.5 Arkkitehtuuri

Bluetooth-tekniikka perustuu master-slave-arkkitehtuuriin, jossa yksi laite ottaa itselleen masterin roolin ja muut laitteet toimivat slave-roolissa verkossa. Master ei poikkea laitteena muista laitteista; ainoa ero on sen ottama rooli. Pienin mahdollinen verkko sisältää yhden masterin ja yhden slaven. Kyseistä yhteyttä kutsutaan kaksipisteyhteydeksi, eli point-to-point-yhteydeksi, jossa kaksi samanlaista laitetta välittää tietoa toisilleen. Bluetooth-tekniikka tavoittelee ensisijaisesti yhden masterin ja enintään seitsemän slaven muodostamaa pikoverkkoa, kuten kuvasta 3 käy ilmi. Pikoverkolla tarkoitetaan sellaista langatonta verkkoa, joiden kantama rajoittuu yhteen huoneeseen tai asuinrakennukseen.



Kuva 3. Esitettyinä pikoverkon kolme toimintatapaa. [17, s. 80]

Pikoverkossa voi olla myös suuri joukko passiivisia laitteita, joilla ei ole tiedonsiirtotarpeita tai jotka eivät muuten vain mahdu mukaan, koska verkko on jo täysi. Yksi pikoverkon rajoitteista on se, että aktiivisia laitteita on hyvin vähän. Määrä kattaa juuri ja juuri yhden työaseman langattomia tarpeita, kuten hiiren, näppäimistön ja internetyhteyden kirjoittimen. [4, s. 289–290.]

3.6 Virrankulutus

Laitteiden, jotka käyttävät BLE:n langatonta teknologiaa, oletetaan kuluttavan vain pieni osa siitä virrasta, jonka ne kuluttaisivat käyttämällä klassista Bluetoothia. Useissa tapauksissa laite voi pysyä toimintakykyisenä yli vuoden ilman uudelleenlatausta. Ominaisuus mahdollistaa sensoreiden, kuten lämpömittareiden käytön jatkuvasti niin, että ne kommunikoivat muiden laitteiden, kuten esimerkiksi matkapuhelimen kanssa. Tämä saattaa herättää kysymyksiä yksityisyydestä ja tietoturvasta, kun laite, joka käyttää BLE-teknologiaa, on jatkuvasti päällä ja näkyvissä muille laitteille.

Useat siruvalmistajat ovat julkaisseet Bluetooth Low Energy -siruja. Osa näistä tarjotuista sirumalleista sisältää koko protokollan ja osa mahdollistaa toisenlaisten strategioiden toteuttamisen. Perusradiomikropiiri BLE-teknologiassa sisältää lähes samanlaisen virrankulutuksen kuin perus-Bluetooth-radio, mutta kokonaistehonkulutusta on pyritty madaltamaan, pääasiassa pienemmän pulssisuhteen avulla. Tiedon lähettämisen ja vastaanottamisen aikana BLE-laitteet saavat virran käytölle huippuarvoja, jotka ovat

kymmeniä milliampeereja. Lepotilassa tavoitteena on vähentää virrankäyttöä kymmeniin nanoampeereihin. [23.]

3.7 Tietoturva

Koska Bluetooth viestii radiotaajuuksilla, on tiedon salakuuntelu helpompaa kuin johtoyhteyksillä. Radiotaajuuksia on mahdollista kaapata, tosin kokonaisten viestien kaappaaminen on hankalampaa Bluetoothin taajuushypelyn ja lyhyiden aikavälien ansiosta. Bluetooth-laitteet voivat lähettää yksityisluontoista dataa, jonka vuoksi tietoturva on tärkeää.

Laite, joka käyttää BLE-teknologiaa saattaa olla käyttötarkoituksesta riippuen jatkuvasti päällä, joten turvallisuusasiat ovat erityisen tärkeitä. Myös erilaiset sovellukset ja käyttötarkoitukset tarvitsevat erilaista tietoturvaa. Tästä johtuen Bluetoothille on kehitetty kolme tietoturvasoaa; suojaamaton tiedonsiirto, joustavan palvelutason suojaus ja kiinteä yhteystason suojaus.

Bluetoothin käyttämiä tietoturvamekanismeja ovat auktorisointi, tunnistus ja salaus, joiden täytyy olla toteutettuna jokaisessa Bluetooth-laitteessa samalla tavalla. Tunnistus tarkoittaa kommunikaation osapuolten oikeaksi vahvistamista, eli laite varmistaa, että se keskustelee varmasti oikean vastinlaitteen kanssa. Mode 1 eli suojaamaton tiedonsiirto ei sisällä Bluetooth-tietoturvaa, eli tunnistusta tai salausta. Siitä johtuen se sopii hyvin julkisen tiedon siirtoon. Mode 2 eli palvelutason tietoturva käyttää yhteystason tietoturvatoimintojen lisäksi auktorisointia. Auktorisoinnissa määritellään, onko jollakin laitteella oikeutta käyttää toisen laitteen palveluita. Tämän lisäksi laitteet kategorisoidaan luotettaviksi tai epäluotettaviksi. Näiden tietojen ja toimintojen avulla pystytään määrittämään erilaisia tietoturvan tasoja eri laitteille ja niiden palveluille. Mode 3 on yhteystason tietoturva, jossa kaikki tietoturvatoimenpiteet suoritetaan heti kun yhteys avataan laitteiden välille. Varmin tapa suojautua hyökkäyksiltä on kytkeä Bluetooth päälle vain silloin kun sitä tarvitsee. [20, s. 207; 17, s.77–78.]

Tiedonsiirtoyhteyserros tarjoaa salauksen ja tunnistuksen käyttäen CCM-teknologiaa, joka toteutetaan IETF RFC 3610 luokitellun algoritmin mukaisesti. CCM tarvitsee uuden

väliaikaisen avaimen aina, kun salaus aloitetaan. CCM tarvitsee myös ainutlaatuisen arvon jokaiselle datakanava PDU:lle, jotka on suojattu annetulla väliaikaisella avaimella. Salatuissa ja tunnistusta vaativissa yhteyksissä kaikki datakanava PDU:t salataan. Jos tunnistautuminen epäonnistuu, yhteys menetetään, eikä tiedonsiirtoyhteyserros lähetä tai vastaanota enää mitään paketteja yhteyttä käyttäen. Tiedonsiirtoyhteyserros menee lepotilaan ja masterille ilmoitetaan yhteyden katkeamisesta, mikä johtuu epäonnistuneesta tunnistautumisesta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että LE-version arkkitehtuuri turvallisen yhteyden muodostamiseksi on tehty yksinkertaisemmaksi kuin aiemmassa Bluetooth-versiossa.

Bluetoothin tietoturva-arkkitehtuuri on pyritty pitämään käyttäjälle näkymättömänä. Tästä syystä turva-arkkitehtuurin rakenne on monimutkainen. Langattoman yhteyden uhkana ovat myös muun muassa häirintä ja palvelunestohyökkäykset. Työssämme keskitymme häirintään, mainostustilan aikana. Tällöin heikkouden aiheuttaa se, että käytössä olevia kanavia on vain kolme. [24, s. 122.]

Bluetooth-liikenne käyttää yhteiskäytössä olevaa ISM -taajuutta, joka tekee todennäköiseksi sen, että samalla taajuusalueella on muita häiriöitä aiheuttavia laitteita, koska taajuuden käyttö ei vaadi erillistä lupaa. Koska BLE käyttää vain kolmea kanavaa yhteyden muodostamiseen (2402, 2426, 2480 MHz), on myös mahdollista, että joku kanavista ruuhkautuu. Jos yhteyden muodostus häiriintyy tai kanavat ovat ruuhkaisia eikä data pääse perille, seuraukset voivat olla kohtalokkaita, erityisesti jos teknologiaa hyödynnetään esimerkiksi sairauden monitoroimisessa. [21.]

4 Langattomia hyvinvointiteknologian sovelluksia

Bluetoothin merkitys hyvinvointiteknologiassa tulee koko ajan lisääntymään. Jo nyt monet yritykset ovat huomanneet Bluetoothin mahdollisuudet, ja uusia laitteita ja sovelluksia tulee jatkuvasti markkinoille.

4.1 Langattomat mahdollisuudet kotona ja hyvinvointipalveluissa

Teknologia kehittyy jatkuvasti ja tarjolle tulee koko ajan uusia laitteita, palveluita ja sovelluksia. Tällä hetkellä, esimerkiksi kännyköiden, kämmenmikrojen ja kannettavien tietokoneiden käyttö on yleistynyt erittäin paljon.

Mobiili- ja sensortechnologian avulla voidaan lisätä turvallisuutta. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi potilaan ja sairaalan välillä, muun muassa pitkäaikaissairaiden monitorointiin kotona. Nykypuhelin mahdollistaa myös ihmisen fysiikan seurannan. Voidaan seurata esimerkiksi verenpainetta, verensokeria ja sykettä. Tekniikka mahdollistaa myös ihmisen unen, stressitason sekä syömistottumusten valvomisen. Mobiili- ja sensortechnologia voi tulevaisuudessa edesauttaa sairauksien diagnosointia ja mahdollistaa niiden havaitsemisen jo aiemmin. Mobiili- ja sensortechnologian mahdollisuudet hyvinvoinnin saralla ovat suuret. Sen käyttö ei rajoitu pelkästään sairauksien hoitoon, vaan se soveltuu hyvin myös liikunnan seurantaan ja esimerkiksi tutkimuskäyttöön. [25.]

Teknologia lisää mahdollisuuksia myös kotona, Nykyään puhutaan paljon älykodeista ja älytaloista. Pelkästään tekniset laitteet eivät tee kodista älykystä. Älytekniikalla tarkoitetaan automaatiojärjestelmää, jolla voidaan ohjata, keskitetysti tässä tapauksessa, kodin erilaisia toimintoja, kuten sisä- ja ulkovalaistusta, lämmitystä, ilmanvaihtoa, hälytys- ja turvajärjestelmiä sekä viihde-elektroniikkaa.

Tietoliikenne, jolla toimintoja kotona ohjataan, kulkee joko langallisesti tai langattomasti. Järjestelmää on myös mahdollista käyttää etänä, eli kotiin voi ottaa yhteyden esimerkiksi tietokoneen tai matkapuhelimen kautta. Älytekniikka on asiakasystävällistä, koska se on helppokäyttöistä ja joustavaa. Käyttäjän ei tarvitse tietää tekniikasta mitään osatakseen käyttää järjestelmää ja ohjelmoidakseen talon toimintoja.

Älykoti toimii siis kotiautomaatiojärjestelmällä, jonka tarkoituksena on huolehtia esimerkiksi sopivasta valaistuksesta ja lämmityksestä sekä lisätä asukkaalle turvaa ja viihdyttää. Esimerkiksi asuntoon voidaan asentaa kotiautomaatiojärjestelmän, jossa lämmitystä, valaistusta ja turvajärjestelmiä voidaan ohjata helposti, kun ne on kytketty samaan järjestelmään. Jokaisella perheenjäsenellä on oma yksilöity avain, joka mahdollistaa muun muassa tietokoneen käytön tiettyinä ajankohtina perheen lapsille.

Älykodin on tarkoitus toimia ihmiskeskeisesti ja intuitiivisesti. Sen tulee helpottaa asu- mista sekä tehdä asumisesta entistä turvallisempaa, terveellisempää, taloudellisempaa, viihtyvämpää ja terapeuttisempaa. Rajanveto älykkään ja ei-älykkään toiminnan välillä on vaikea. Älykkäät toiminnot eivät saa olla asukkaalle haitallisia, eli ne eivät saa vangita asukasta, vaan tämän tulee pystyä halutessaan asumaan ilman älytoimintoja.

Älytalo on kuten älykotikin, automatisoitu paikka. Asumistarkoitusten sijaan siellä voi- daan kuitenkin kehittää, oppia ja testata erilaisia turvallisen ja esteettömän asumisen ratkaisuja. [26; 27; 28.]

4.2 Langaton teknologia ja terveys

Paineet tekniikan kehittämisestä kasvavat jatkuvasti. Tämä tarkoittaa sitä, että asuin- ja työympäristöjen sähkömagneettinen kuormitus lisääntyvät edelleen. Voidakseen hyvin ihminen tarvitsee luonnollista staattista magneettikenttää ja pientä taustavärähtelyä. Tut- kija R. Wever osoitti tämän tutkimuksessaan vuonna 1974. Kokeessa havaittiin, että ih- minen, joka eristettiin luonnon sähkömagneettisesta kentästä, kadotti nopeasti vuoro- kausirytmensä, joka kuitenkin korjaantui välittömästi, kun taustavärähtely palautettiin heikkonakin signaalina.

Sähkömagneettiset ilmiöt ovat tärkeä osa solujen toiminnassa, koska solujen kalvora- kenteiden yli muodostuu jännite-ero. Solujen sähköisen toiminnan voidaan havaita ole- van erityisen tärkeää hermosoluissa, koska niiden avulla kuljetetaan viestejä. Tavallisten matkapuhelimien käyttämä taajuus lähestyy sitä aluetta, jota mikroaaltouunit käyttävät ja joka soveltuu veden lämmittämiseen. Ihminenhan on suurimmaksi osaksi vettä. [4, s. 27–29.]

Erilaisia teknologioita on otettu käyttöön ilman, että terveysvaikutuksia on ennalta tut- kittu. Maailman sähköistäminen alkoi Amerikassa yli 100 vuotta sitten, kun amerikkalai- nen Thomas Edison kehitti hehkulampun. Edisonin luoma järjestelmä toimi tasavirralla, joka rajoittui lyhyisiin sähkön siirtoihin. Tällainen teknologia oli tekniseltä luonteeltaan vielä hyvin lähellä normaalia luonnon sähkömagneettista taustasäteilyä.

Tekninen kehitys edistyi paljon 1970-luvulla, kun amerikkalainen Intel-yritys kehitti mikroprosessorin. Tämän jälkeen teknologia on kehittynyt entisestään, ja nykyään käytössä on tietokoneita, matkapuhelimia ja langattomia teknologioita.

Tietokone säteilee useilla eri taajuuksilla, mutta eniten korkeita taajuuksia muodostavat WLAN-yhteys ja Bluetooth-ominaisuus. WLAN toimii järjestelmästä riippuen taajuusalueilla 2,4 - 2,5 GHz tai 5,0 - 8,8 GHz. Säteily on luonteeltaan radiotaajuista, pulssimaista mikroaaltosäteilyä. Pulssimainen säteily toimii dataryöppyinä matalilla taajuuksilla. Tietokoneet ja WLAN-reitit lähettävät laitetunnuksiaan 10 hertsin taajuudella. Ihmisen aivojen sähköisestä järjestelmästä löytyy vastaavia, alle 30 hertsin taajuuksia.

Langattomista verkoista on raportoitu joitain oireita. Herkimmät käyttäjät kokevat WLAN-tai muun langattoman yhteyden aiheuttavan neurologisia oireita, kuten päänsärkyä, huijausta, väsymystä, voimattomuutta, keskittymiskyvyn ja ajattelun vaikeutumista, unettomuutta, unihäiriöitä ja lihaskipuja. Vakavimmissa ja harvinaisemmissa tapauksissa sydämessä voi esiintyä rytmihäiriöitä, ja henkilö voi kokea katkonaista hengitystä ja vaihtelua pulssissa. Silmissä voi tuntua painetta tai kipuja, ja henkilöllä voi esiintyä vaikeuksia tarkentaa katsetta sekä kaihia. Korvat voivat tinnittää ja kuulo heikentyä. Muiksi oireiksi on raportoitu valoherkkyyttä, kemikaaliherkkyyttä, hajuserkkyyttä, polttelua ja pistelyä iholla, ruuansulatusongelmia ja vatsaoireita.

Suosittelavaa olisi että langattomien teknologioiden terveysvaikutuksia tutkittaisiin tulevaisuudessa. Vielä ei voida varmasti sanoa, onko lyhyen langattomien teknologioilla vaikutusta terveyteen vai ei. Jokainen tekee päätöksen käyttämisään henkilökohtaisista teknologioista itse. Täytyy myös muistaa, että erilaisilla laitteilla on suuria eroja säteilyjen määrissä.

4.3 Terveys ja säteily

Radiotaajuinen säteily on ionisoimatonta säteilyä, jonka taajuus on yli 100 kHz. Se aiheuttaa ihmisessä induktiovirtoja, jotka lämmittävät kudosta. Suurilla taajuuksilla lämpeneminen rajoittuu vain kehon pintaosiin, sillä säteily ei pääse etenemään kehon sisäosiin asti. On mahdollista, että ionisoiva säteily vaurioittaa elävien solujen perimää. Soluvaurion kannalta ei ole merkitystä, onko kyseessä luonnonsäteily vai keinotekoinen säteily.

Merkitystä on sillä, saako ihminen säteilyannoksen pitkän vai lyhyen ajan kuluessa. Pienikin säteily voi lisätä syöpäriskiä tai muita terveyshaittoja.

On lähes välttämätöntä, että osa radioaaltojen kuljettamasta energiasta jää antennin lähellä oleviin ihmisiin. Laitteen etäisyys ihmiseen vaikuttaa eniten, paljonko säteilylle altistuu, mutta myös lähettimen teho, taajuus, antennin ominaisuudet sekä muut ympäristöasiat vaikuttavat altistumiseen. [4, s. 11–12.]

Radiotaajuisen säteilyn terveysvaikutukset johtuvat aaltojen imeytymisestä kehoon ja sen myötä kudosten lämpötilan nousuun. Mikäli kehon lämmönsäätelyjärjestelmä ei pysty poistamaan ylimääräistä lämpöä, voi seurauksena olla terveyshaittoja, jotka ilmaantuvat heti altistumisen aikana tai pian sen jälkeen. Tieteellisesti todistetuista haitallista vaikutuksista on johdettu väestön altistumisrajat.

Radioaaltoja käyttäviä laitteita on kaikkialla ympäristössä: matkapuhelimissa, langattomissa verkoissa ja mikroaaltouuneissa. Jopa arkipäiväiset asiat kuten television katselu ja radion kuuntelu perustuvat radioaaltojen vastaanottoon. Ionisoimaton säteily on sähkömagneettista aaltoliikettä. Sähkömagneettisia kenttiä hyödynnetään esimerkiksi mikroaaltouuneissa, langattomassa tiedonvälityksessä ja lääketieteellisessä tekniikassa.

Tutkimuksemme kannalta meitä kiinnostaa erityisesti Bluetooth ja sen aiheuttama altistuminen. Bluetoothissa SAR-arvo, joka kuvaa altistumisen suuruutta, on suurimmillaan noin 0,5 W/kg, kun laitteen antenni on kehossa kiinni. Tämä arvo on alle kansainvälisesti määritellyn raja-arvon 2W/kg, joten Bluetoothin sopii hyvin käytettäväksi hyvinvoinnin ja terveyden sovelluksissa, altistumisen ollessa vähäistä. [29; 30; 31; 32.]

4.4 Bluetooth lääketieteen ja terveyden apuvälineenä

Nykyään on olemassa miljoonia Bluetoothia hyödyntäviä koti- ja ammattikäyttöön tarkoitettuja terveydenhuollon laitteita.

Lääkärit voivat hyödyntää elektronista stetoskooppia, jonka avulla he voivat perinteisesti kuunnella sydämen toimintaa samalla, kun stetoskooppi lähettää tietoa langattomasti

tietokoneeseen tai jopa puhelimeen. Terveystieteissä voidaan hyödyntää myös glukosimittareita, jotka stetoskoopin tapaan voivat lähettää tietoa suoraan tietokoneeseen tai puhelimeen. Näin helpotetaan glukosiarvojen seuranta. Näiden laitteiden lisäksi on kehitelty myös muun muassa pulssi- ja happiarvoja mittaava laite Pulse Oximeter, joka mahdollistaa kyseisten arvojen mittaamisen langattomasti sormesta. [33.] Kuvan 4 on tarkoitus havainnollistaa Bluetoothin toimintatapaa esimerkiksi juuri terveyden apuvälineenä.

Sairaaloissa on käytössä herkkiä laitteita, joilla seurataan ja säädetään potilaiden elintoimintoja. Näissä paikoissa radiolaitteen lähettämällä voimakkaalla signaalilla voi olla vaikutusta mittalaitteisiin ja tätä kautta sillä on vaikutusta elämää ylläpitävien laitteiden toimintaan. Sydäntahdistimen toimintaa ohjaa pieni elektroninen laite, joka syöttää pienen jännitepulssein, joka aikaansaa supistuksen sydänlihaksessa. Tahdistimen rytmi voi häiriintyä lähellä olevasta radiolaitteesta. [34.]



Kuva 4. Klassinen tapa käyttää Bluetoothia.

4.5 Bluetooth liikunnan apuvälineenä

Bluetoothia voidaan hyödyntää liikunnassa. Sen avulla on mahdollista saada tarkkaa palautetta liikunnan tehoista ja selkeä tuloste siitä, miten treeni on mennyt. Käytettävissä on monia erilaisia ominaisuuksia erilaisille liikkujille. Saatavilla on esimerkiksi kaikkea sykemittareista, kelloihin ja GPS-paikantimiin.

Bluetooth löytyy nykyään muun muassa Polarin laitteista, ja se mahdollistaa tiedonsiirron esimerkiksi puhelimen ja sykevyön välillä. Sykkeen lisäksi voidaan tarkkailla myös muita päivittäisiä elintoimintoja ja tapoja, kuten unta, jonka mittaaminen onnistuu BodyMedian Fit-laitteella. Moni harrastaja on huomannut, että juostessa kuulokkeiden langat menevät helposti sekaisin. Bluetoothin langattomat kuulokkeet mahdollistavat myös treenaamisen ilman ongelmia sekautuvien lankojen kanssa. [34.]

4.6 Hyvinvointiranneke

Suomalaisen Vivagon kehittämä ja patentoima hyvinvointiranneke seuraa käyttäjän mikro- ja makrotason liikkeitä, kuten käden liikuttamista, jänteiden ja lihasten jännittymistä sekä pulssia. Näihin perustuen kello laskee henkilökohtaisen aktiivisuustason, jota käytetään sekä hyvinvoinnin että unen seurantaan. Jos hyvinvointiranneke havaitsee aktiivisuustasossa merkittäviä poikkeamia, hälyttää se automaattisesti auttajalle, joka on suorassa yhteydessä hälyttäjään. Tukiasema vastaanottaa langattomasti rannekkeen lähettämät mittaustiedot, sekä lähettää hälytykset ja tiedoksiannot eteenpäin hälytysten vastaanottajalle. [35.] Kuvassa 5 on erityisesti naisille sopiva malli värien puolesta.



Kuva 5. Vivagon hyvinvointiranneke. [36.]

4.7 Kuntokännykkä

Kuntokännykkä sisältää sykemittarin, askelmittarin, GPS-paikantimen, puhelimen, harjoituspäiväkirjan, nettivalmentajan sekä tekstiviestit. Laite on kellon muotoinen, jotta sitä on helppo pitää mukana esimerkiksi juostessa. Laite on suunniteltu helppokäyttöiseksi, kello laitetaan ranteeseen, jonka jälkeen käyttäjä on rajattomassa tietoverkossa. [37.]

4.8 Pelikonsolit

Hyvinvointia edistäviä digitaalisia pelejä tuodaan koko ajan lisää markkinoille. Onnistuneissa peleissä on selkeä tavoite ja sopiva haaste. Kun pelaaja saa välittömästi palautetta ja palkkioita saavutuksistaan, saa se pelaajan mielihyvän kasvamaan. Pelaajan edetessä liikunta- ja terveystelien maailmassa hän voi harjoittaa muistiaan ja kartuttaa tietoaan terveistä elämäntavoista, ikään kuin vahingossa. Pelien avulla voidaan saada helpommin liikkeelle sellaisia ihmisiä, jotka muuten eivät innostu liikunnasta.

Nintendo Wii (kuva 6) on Nintendon pelikonsoli, joka on julkaistu vuonna 2006. Wiissä käytetään kaukosäädintä muistuttavaa ohjainta, joka on Bluetoothin avulla yhteydessä langattomasti pelikonsoliin. Lisävarusteena on myös tasapainolauta, jolloin pelaamiseen todella tarvitaan koko kehoa. Virtuaaliympäristössä löytyy vaihtoehtoja esimerkiksi joo-gasta lumilautailuun. Motivaatiota harjoitteluun tuo virtuaalivalmentaja, joka kommentoi harjoittelussa onnistumista. Pelisovelluksessa oma edistyminen tulee konkreettiseksi, pelaaja näkee esimerkiksi painonpudotuksen ja kunnon kohenemisen. Nintendo Wiitä on povattu laihdutuskeinoksi ja motivaattoriksi. Sen tavoite on saada lapset ja nuoret liikkumaan enemmän ylipainon lisääntyessä useissa varakkaisissa valtioissa. [38.]



Kuva 6. Nintendo Wii-pelikonsoli. [39.]

Playstation Move on langaton liikeohjain Playstation3-pelikonsolille, joka perustuu Bluetooth-tekniikkaan. Moven liikkeiden seuraamiseen tarvitaan Playstation Eye-kamera, joka tarkkailee sijaintia ja asentoja. Idealtaan Move toimii kuten Wii. Mahdollisuuksia eri lajeista löytyy, ja treenata voi oman kunto-ohjelman tahdissa henkilökohtaisen kuntovalmentajan kanssa. [40.]

4.9 Sydänfilmi kännykkään

VTT on kehittänyt sovelluksen älypuhelimeen, jonka avulla kuluttaja voi mitata oman EKG:nsä eli sydänsähkökäyränsä missä vain, ja milloin vain. Kännykän kanssa Bluetoothin avulla kommunikoiva lisälaite kulkee mukana rinnalle asetettuna sykevyön tavoin rekisteröiden muun muassa rytmihäiriöitä. Samalla se auttaa ehkäisemään sydänperäisiä sairauksia ja uupumukseen asti johtavaa stressiä. Sydänoireista kärsivät henkilöt voivat mitata ja tallentaa EKG:nsä heti oireiden ilmetessä ja lähettää tulokset lääkärille internetin kautta tai sähköpostilla. Beat2Phone-laite ja sovellus mittaavat EKG:tä sekä terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseksi että liikuntasovelluksia varten. Kun kestävyysurheilua

harrastavan henkilön kunto nousee lähelle huippukuntoa, on tärkeää seurata sydänsignaaleja, ettei kuntoilija rasita itseään liikaa ja joudu ylikuntoon. Ylikuormitustilaa voidaan välttää laitteella, joka seuraa sydänsignaaleja. Laite mittaa EKG-signaalin suurella näytteenottotaajuudella, jonka jälkeen signaalit välitetään Bluetoothin avulla älypuheliin. Sovellus näyttää EKG-signaalin, sykekäyrän sekä sykevälivaihtelun, jonka voi huomata kuvasta 7. Laitteessa on myös kiihtyvyyssanturi, jonka signaalista lasketaan muun muassa askeltiheys.

Laitetta kehitetään todennäköisestipidemälle, jolloin se sopisi muihinkin sovelluksiin, kuten unen valvontaan varoittamaan nukkujaa uniapneakohtauksesta. Sitä voitaisiin käyttää myös apuna tuki- ja liikuntaelinsairauksien ehkäisyssä, kuten niska-hartiakivissa, joita esiintyy usein toimistotyötä tekevillä. [41.]



Kuva 7. EKG-käyrä. [42.]

4.10 Polar

Polar Electro on suomalainen sykemittareita valmistava yritys. Suomalainen Polar kehitti ensimmäisen langattoman sykemittarin 1979 ja on nykyään yksi markkinoiden johtava yritys urheilu- ja treenikellojen valmistuksessa. Polar päätti siirtyä käyttämään BLE-tekniologiaa jo ennen kuin Bluetooth 4.0 -spesifikaatiot ja teknologia oli valmista. Yritys olikin ensimmäinen, joka julkaisi sykemittarin joka toimii kyseisellä teknologialla. [43.]

Polar H7 on Bluetooth 4.0 -tekniikkaa hyödyntävä sykellähetin (kuva 8), joka toimii yhdessä iPhone 4S:n, iPhone 5:n, iPod touchin, iPadin, iPad minin ja iPod Nanon kanssa. Sykellähettimen voi yhdistää myös suurimpaan osaan Polarin kelloista, useisiin kuntosalilaitteisiin sekä moniin älypuhelimien, liikuntasovelluksiin. [44.]



Kuva 8. Sykevyö. [45]

4.11 Fitbit-digiranneke

Fitbit-digiranneke (kuva 9) on rannenuha, joka tarjoaa samoja ominaisuuksia kuin sykemittari, ja vielä enemmän. Suurimpana erona perinteiseen sykemittariin on, että ranneke yhdistetään Bluetooth 4.0:n avulla älypuhelimeen. Tarjolla on erilaisia vaihtoehtoja. Vedenpitävät rannekkeet laskevat muun muassa askelten määrän, kalorikulutuksen ja

kuljetun matkan. Jotkut mallit tarkkailevat myös käyttäjänsä unen laatua. Tällöin tarkoituksena on auttaa käyttäjää nukkumaan paremmin ja heräämään levänneenä. Rannekeissa on myös värinäefekti, joka herättää nukkujan häiritsemättä muita. Älyranneke on ladattava. Akku kestää siinä maksimissaan noin viikon yhdellä latauksella. [46.]



Kuva 9. Digiranneke. [45.]

4.12 Sports Tracker

Sports Tracker on sovellus älypuhelimeen, jonka avulla pystyy seuraamaan muun muassa kuljetun matkan pituutta, nopeutta ja omaa energiankulutusta. Sports Tracker -tiimi on tiiviissä yhteistyössä tunnetuimpien puhelinvalmistajien kanssa.

Sports Tracker on kehittänyt muutamia oheistuotteita harjoittelun avuksi. Esimerkiksi Sports Tracker HRM2 (kuva 10) on ensimmäinen Bluetooth-yhteyttä käyttävä sykellähetin, jonka avulla luotettavan yhteyden muodostaminen älypuhelimeen on mahdollista.

Sports Tracker SMART on vastikään lanseerattu oheistuote, joka hyödyntää Bluetooth 4.0 -tekniikkaa. Pidemmän kantaman ansiosta, joka on jopa yli 20 m, mittaus onnistuu myös pelatessa esimerkiksi koripalloa tai tennistä, kun puhelimen voi jättää kentän laidalle. Toistaiseksi laite on yhteensopiva ainoastaan iPhone 4S:n ja iPhone 5:n kanssa, koska muista puhelimista ei löydy vielä Bluetooth 4.0 -tekniikkaa. [46; 47.]



Kuva 10. Sports Tracker HRM2-sykelähetin. [39.]

4.13 Wahoo Fitness

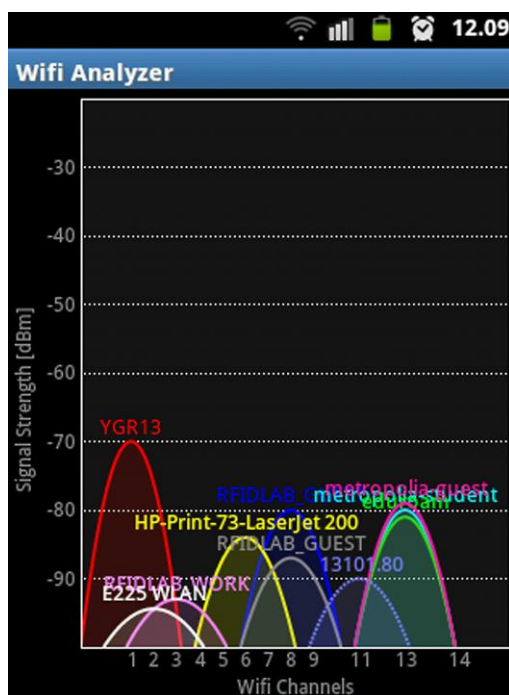
Wahoo on nopeasti kasvava fitness-yritys, joka yhdistää älypuhelimet ja liikunnan. Yritykseltä löytyy sykemittareita sekä sensoreita, niin spinning-pyöriin kuin juoksumattoihin, joiden avulla informaatio treenistä siirtyy käyttäjän omaan puhelimeen tai tablettiin.

Kun Apple julkaisi maailman ensimmäisen Bluetooth Smart Ready-puhelimen iPhone 4S, Wahoo näki tilaisuuden ja julkaisi uuden version sen Bluetooth-sykemittarista, joka sisältää nykyään Bluetooth 4.0 -teknologiaa. Sykemittari voidaan yhdistää Bluetooth Smart Ready-laitteisiin, kuten iPhone 4S ilman muuntimia, samalla tavalla kuin Wahoon aiemmissa sykemittari versioissa.

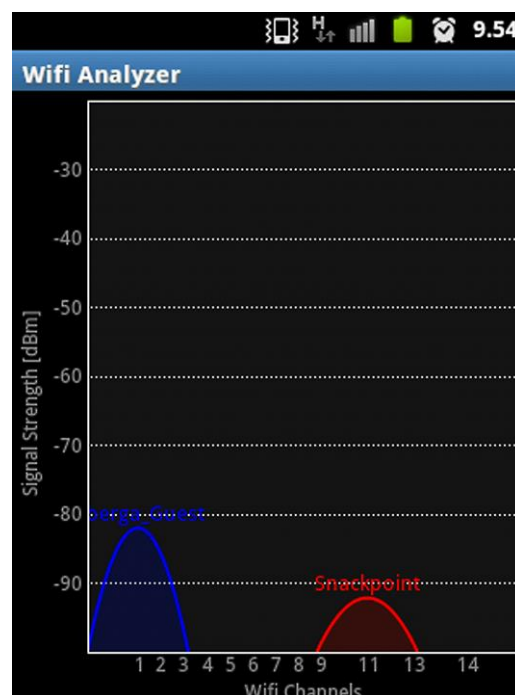
Wahoo valmistelee parhaillaan myös laitetta, jonka avulla pyöräilijä voi saada jatkuvaa dataa puhelimeensa. Hän voi esimerkiksi nähdä sykkeensä ja ajonopeutensa puhelimestaan. Wahoon tarkoituksena on jatkossa yhdistää tuottamansa fitness-laitteet iPhoneen, sekä myöhemmin myös muihin älypuhelimiin. [48.]

5 Mittaukset

Tavoitteena PNM-projektissa oli selvittää, kuinka herkkä BLE on yhteydenmuodostuksen aikana tapahtuvalle häiriölle. Tehtävänä oli aiheuttaa häiriötä BLE-teknologiaa käyttävän laitteen kolmelle yhteydenmuodostus kanavalle siten, että laitteen yhteydenmuodostus estyy tai keskeytyy jatkuvasti. Mittauksissa ympäristönä toimi normaali toimisto, jossa on Wi-fi:n vaikutus. Toimistoa ei siis muutettu millään tavalla mittauksia varten. Kuvassa 11 on käytetty älypuhelimien Wifi Analyzer-sovellusta havainnollistamaan verkkoliikennettä toimistolla. Kuva 12 on otettu kuntosalilta vertailun vuoksi havainnollistamaan verkkoliikenteen eroa toisenlaisessa ympäristössä.



Kuva 11. Verkkoliikenne toimistossa.



Kuva 12. Verkkoliikenne kuntosalilla.

5.1 Testeissä käytetyt laitteet

Testeissä käytettiin aina master- ja slave-laitetta. Master-laitteena toimi iPhone5, Bluetooth 4.0 -ominaisuudesta johtuen. Slave-laitteena, kuten myös häiriölähteinä käytettiin Nordic Semiconductor nRF51822-kehitysalustoja. Ajanmittaukseen käytettiin Android-puhelimen sekuntikelloa. Laitteessa ei ollut päälle kytkettynä Bluetooth-ominaisuutta eikä Wifi-verkkoa.

Master eli iPhone 5 valittiin, koska se on aito, markkinoilla oleva laite, joka sisältää Bluetooth 4.0 -ominaisuuden. iPhone 5 ladattiin Electria/Metropoliassa valmistettu ohjelma, joka vastaanottaa sykettä. Laitteen lähetysteho on 4 dBm, Testeissä seurassimme, onnistuuko yhteyden muodostus ja alkaako iPhone näyttää sykearvoja.

Slave (kuva 13) eli Nordic Semiconductor nRF51822 evaluation-kehitysalusta on laite, joka lähettää syketietoja. Slave-laitteen vastaanotto herkkyys on -90 dBm. Laitteelle ominaisia ovat kolme eri tilaa: valmiustila, mainostustila sekä tiedonsiirtotila. Laite ohjelmoitiin Electria/Metropoliassa lähettämään syketietoja. Slave käynnistettiin joka testin alussa uudelleen, jotta se menee kolme minuuttia kestävään mainostilaan, jota suurimassa osassa testeistä tutkittiin. Testit lopetettiin aina kolmen minuutin kuluttua käynnistyksestä, jos master-laite ei onnistunut luomaan yhteyttä slave-laitteeseen.



Kuva 13. Slave-laite.

Häiriölähteet tuottivat signaalia kolmella eri mainostustaajuudella, jotka olivat 2402, 2426 ja 2480 Mhz (kuva 14).



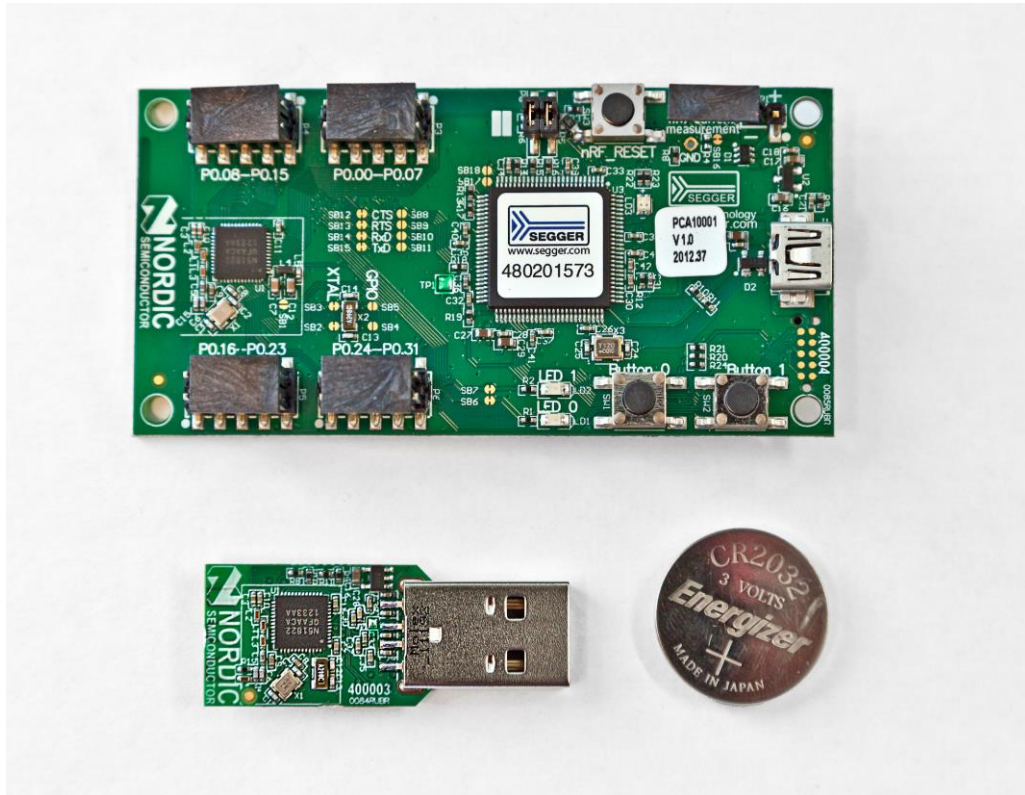
Kuva 14. Häiriölähteet.

Testeissä käytetään nRF51822 evaluation-kehitysalustaa, joka on itsenäisesti toimiva laite (kuvat 15 ja 16). Kehitysalustaa hyödynnetään yleisesti BLE-prototyyppien arviointiin ja ominaisuuksien kehittelyyn.

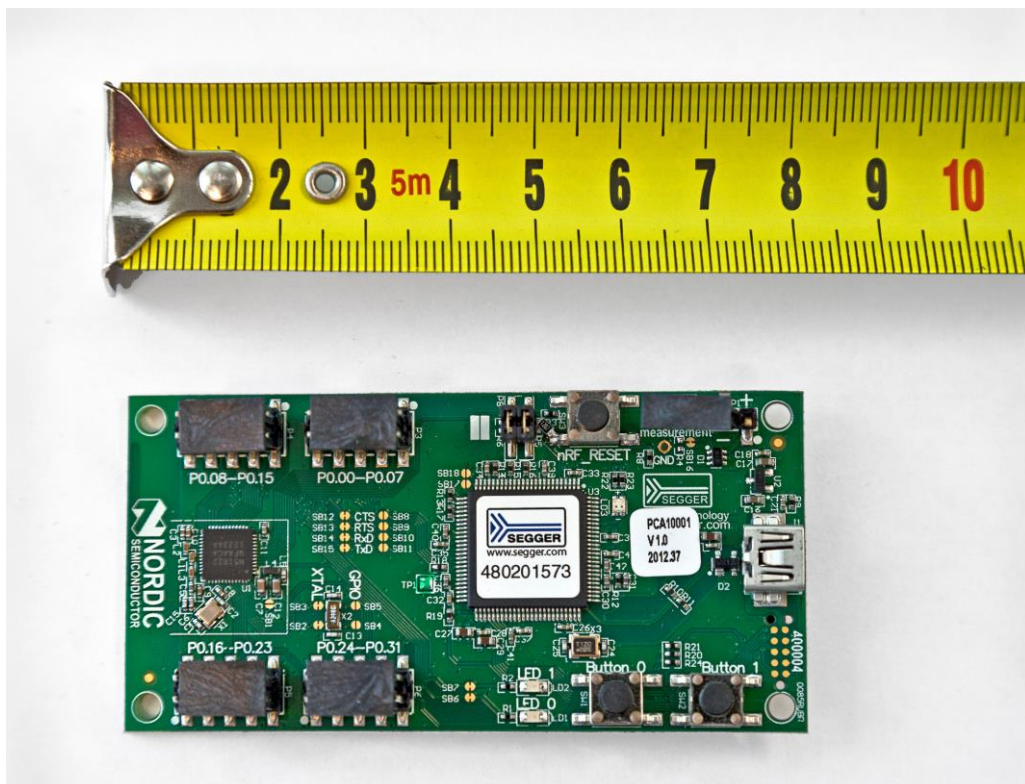
Jokaisessa kehitysalustassa on 2 nappia, 2 LEDiä, DC/CD-muuntaja, virtalähde sekä virranmittausneulat ja Segeer J-Link-laite, joka sallii laitteen kommunikoinnin USB-liitintä käyttäen. Kehitysalusta antaa myös käyttöön kaikki GPIO-pinnit. Alustaa voidaan käyttää nappipatterilla, joka mahdollistaa laitteen liikuteltavuuden. Mittauksissa virrantarve oli niin suuri, että virranlähteenä käytettiin kannettavaa tietokonetta, joka oli liitetty laitteisiin USB-liittimen avulla.

Kehitysalusta nRF51822 on tehokas, useita protokollia kattava, yhden sirun ratkaisu ULP-langattomille sovelluksille. NRF51822 käyttää 32-bittistä ARM Cortex M0 MCU:ta yhdessä flashin kanssa. Systemi sisältää 16-kanavaisen väylän suoraan ja autonomiseen kommunikointiin ilman suorittimen (CPU) häirintää. [49; 50.]

Kehitysalusta on joustava. Sitä voidaan käyttää monipuolisesti erilaisiin tarkoituksiin. Testeissä käytetään ainoastaan kehitysalustan radio-ominaisuuksia ja pyritään tukki-
maan Bluetooth 4.0 kolme yhteydenmuodostuskanavaa lähettämällä häiriösignaalia kol-
mesta kehitysalustasta. Bluetoothissa on useita kerroksia, mutta työssä tarkastellaan
fyysistä kerrosta.



Kuva 15. nRF51822EK-kehitysalusta



Kuva 16. Kehitysalustan koko havainnollistettuna.

5.2 Mittausten tavoitteet

Mittauksia suoritettiin niin työhuoneissa kuin käytävillä. Testeissä käytettiin iPhone 5:sta, joka toimi master-laitteena, neljää Nordic Semiconductor nRF51822 evaluation kehitysalustaa, joista yksi toimi slave-laitteena ja loput kolme laitetta oli ohjelmoitu lähettämään häiriösignaalia niillä kolmella taajuudella, jota Bluetooth 4.0 käyttää yhteydenmuodostukseen. Yhteydenmuodostus taajuuksia on kolme 2402 MHz, 2426 MHz ja 2480 MHz ja laitteita oli kolme, joten jokainen laite lähetti häiriötä omalla taajuudellaan.

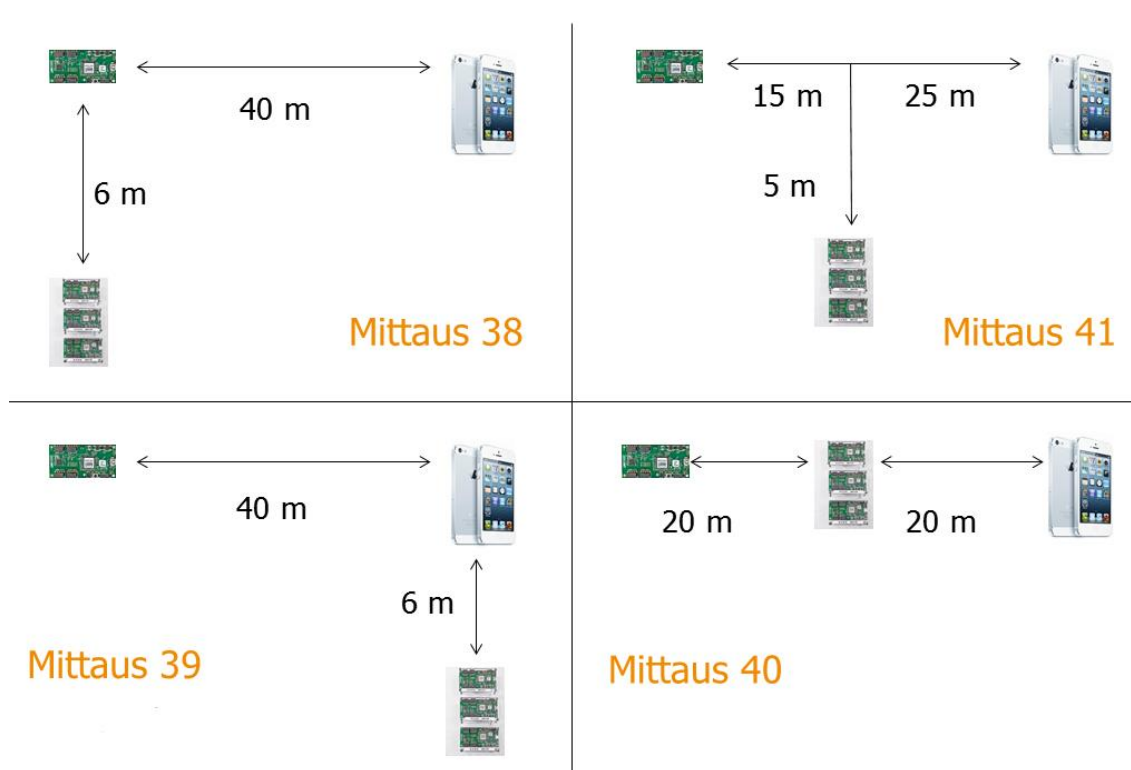
Tarkoituksena oli selvittää seuraavia asioita, kuinka slaven ja masterin etäisyys toisiinsa vaikuttaa yhteyden muodostamiseen ja miten häiriölähteiden etäisyys masterista vaikuttaa yhteyteen sekä häiriölähteiden etäisyys slavesta. Onko ihmiskeholla, ovelta, lampulla tai korkeuseroilla vaikutusta yhteyden luomiseen? Mikä on pisin etäisyys, jolla yhteyden muodostus onnistuu ilman häiriölähteitä ja niiden kanssa? Kuva 17 havainnollistaa mittausta ovenläpi, kuva 18 havainnollistaa asetelmaa, jossa häiriölähteet ovat lampun päällä ja kuvassa 19 on esitetty muutamia mittaasetelmiä.



Kuva 17. Havainnollistava kuva mittaustilanteesta



Kuva 18. Havainnollistava kuva mittausasetelmasta.

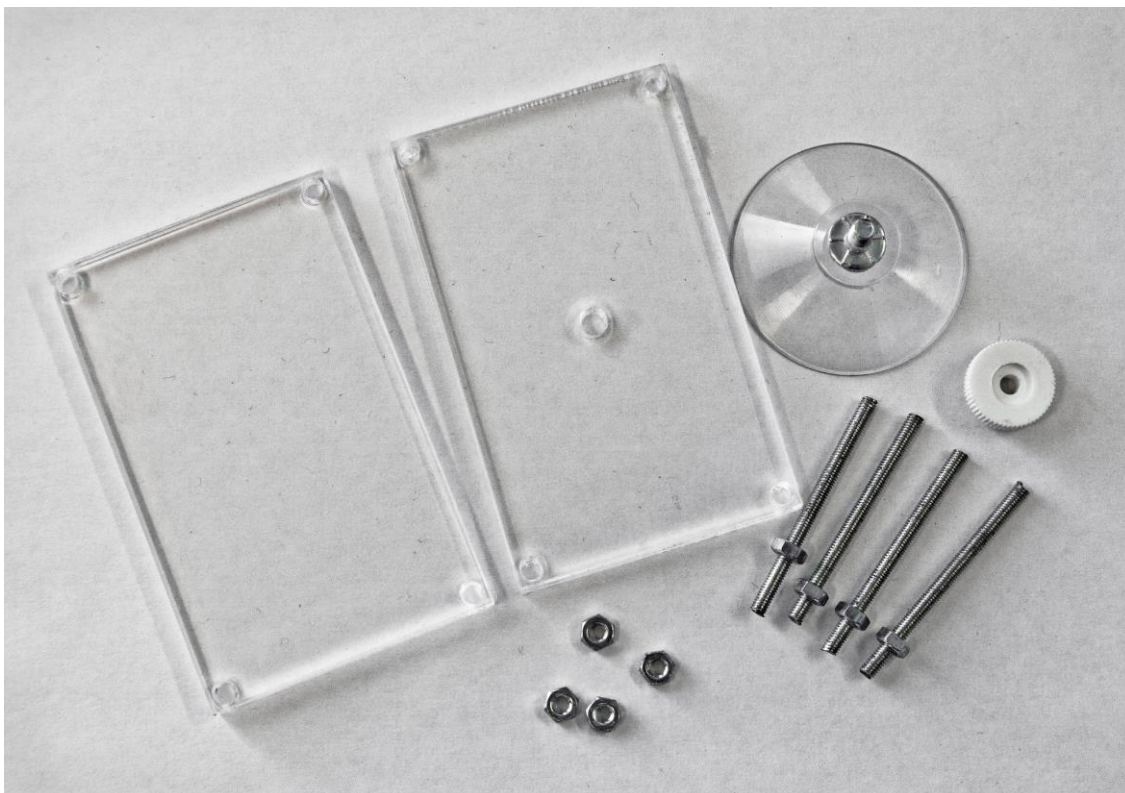


Kuva 19. Mittaustilanteet havainnollistettuna.

5.3 Mittausten valmistelu

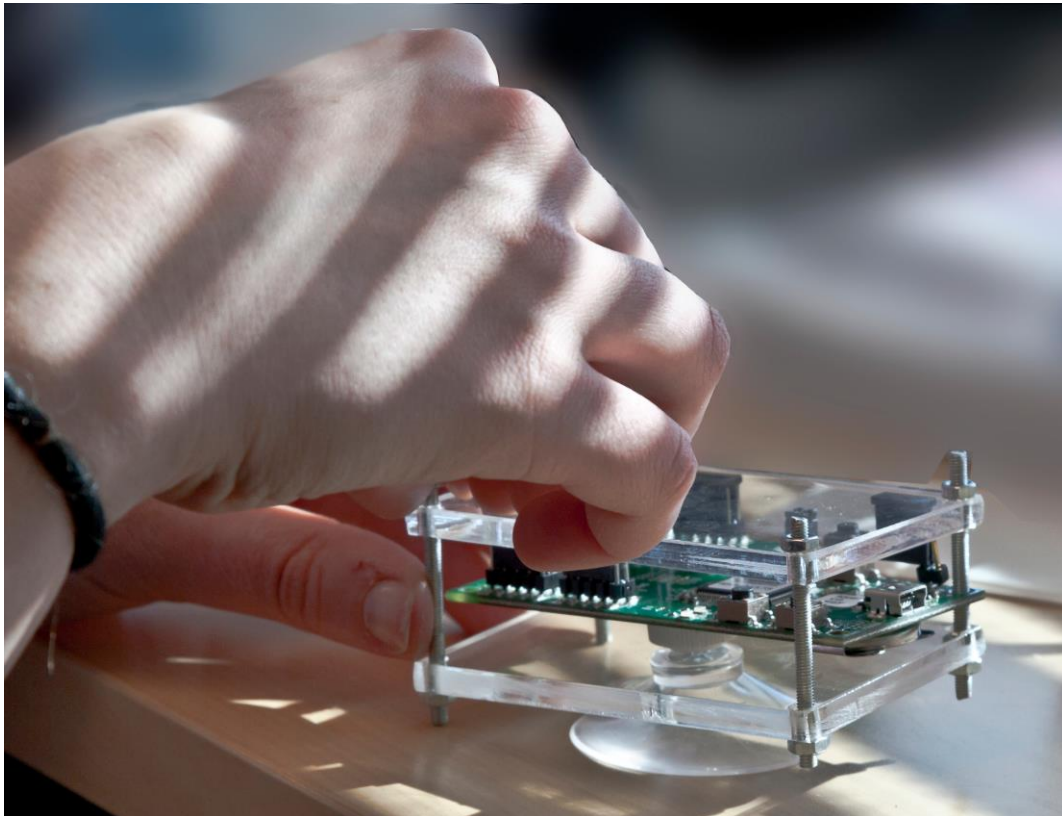
Tehtävä aloitettiin tutustumalla tarkemmin Bluetooth LE-tekniikan ominaisuuksiin. Tärkeää oli ymmärtää BLE-tekniikan käyttämien tiedonsiirtokanavien merkitys, sekä kuinka niiden toimintaa on mahdollista häiritä. Työssä keskitytään mainostustilan häiritsemiseen, koska se on herkin tila häiriölle ja paljastaa, kuinka BLE-tekniikka soveltuu käytettäväksi hyvinvointitekniikassa.

Varsinainen työskentely alkoi kehitysalustojen koteloinnin suunnittelulla. Suunnitelma toteutettiin paperille, jonka jälkeen hankittiin tarvikkeet koteloimista varten. Kehitysalustat suojattiin molemmin puolin akryylilasilla niin, että pohjaan tulee imukuppi, joka mahdollistaa kehitysalustojen kiinnittämisen tarvittaessa esimerkiksi oveen tai muuhun tasaiseen pintaan. Materiaaliksi valittiin läpinäkyvä akryylilasi, jotta kehitysalusta jää selkeästi näkyville. Tämä helpottaa mittauksissa havaitsemaan, että laite on päällä, jopa pitkien etäisyyksien päästä, kun vilkkuva valo näkyy selkeästi. Akryylilasi ei myöskään eristä syötettävää signaalia, vaan se pääsee vaivattomasti kulkemaan sen läpi. Akryylilasin kiinnittämiseen käytettiin kierretankoa ja muttereita. Kuvassa 20 on esitetty koteloimista käytettävät materiaalit.



Kuva 20. Kotelointiin käytetyt materiaalit.

Rakennusvaiheet olivat yksinkertaisia: osat yhdistettiin toisiinsa kierretankojen avulla (kuva 21). Ainoastaan akryylin leikkaaminen ja poraaminen täytyi delegoida enemmän rakennustaustaa omaavalle henkilölle.



Kuva 21. Kotelon rakentaminen.

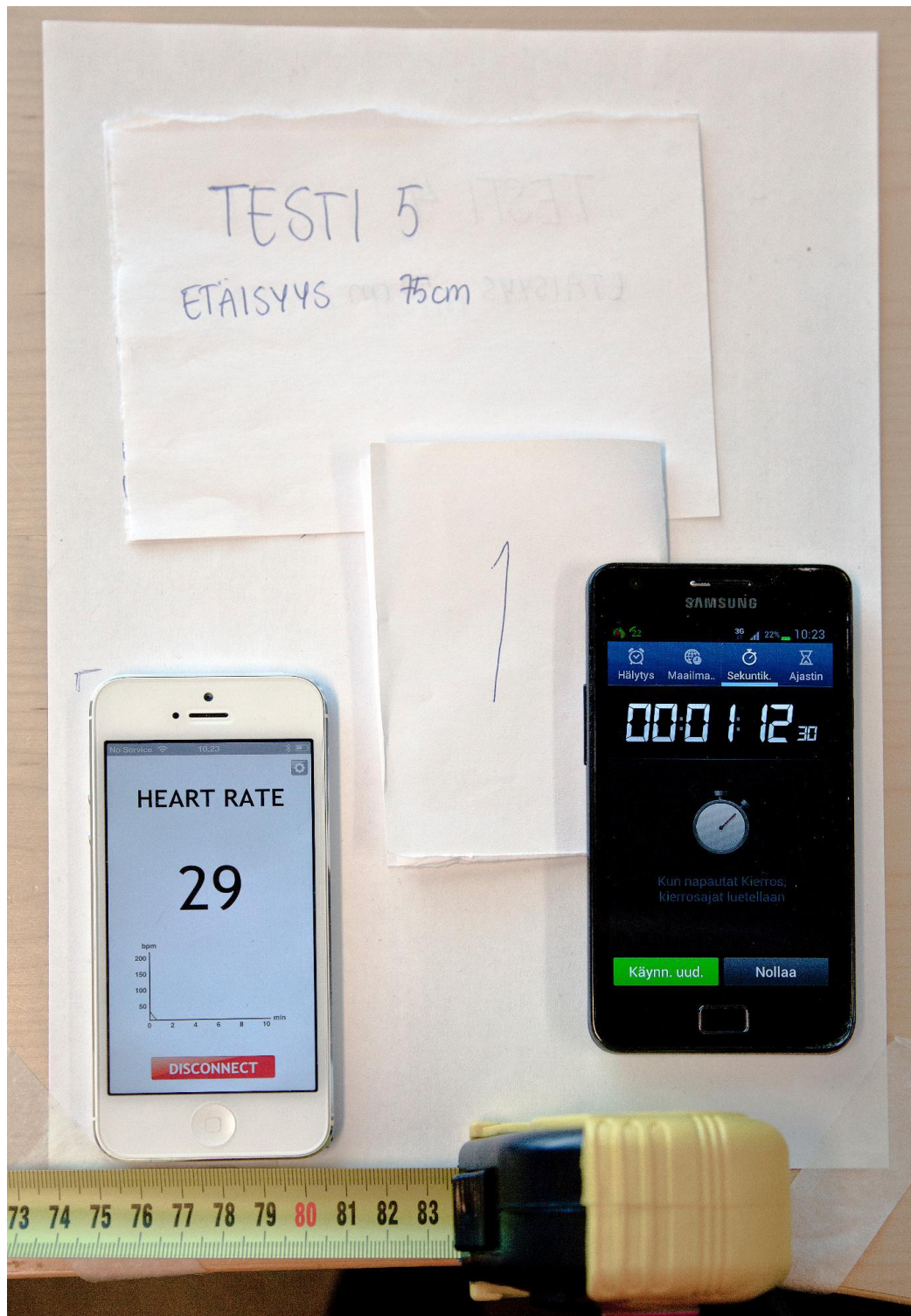
5.4 Mittaustilanteet ja mittausten kulku

Käytössä ei ollut tarkkaa mittaussuunnitelmaa, vaan mittauksia varten muodostettiin kysymykset, joihin lähdettiin etsimään vastausta. Käytännössä mittaussuunnitelma muuttui siis aina saatujen tulosten mukaan.

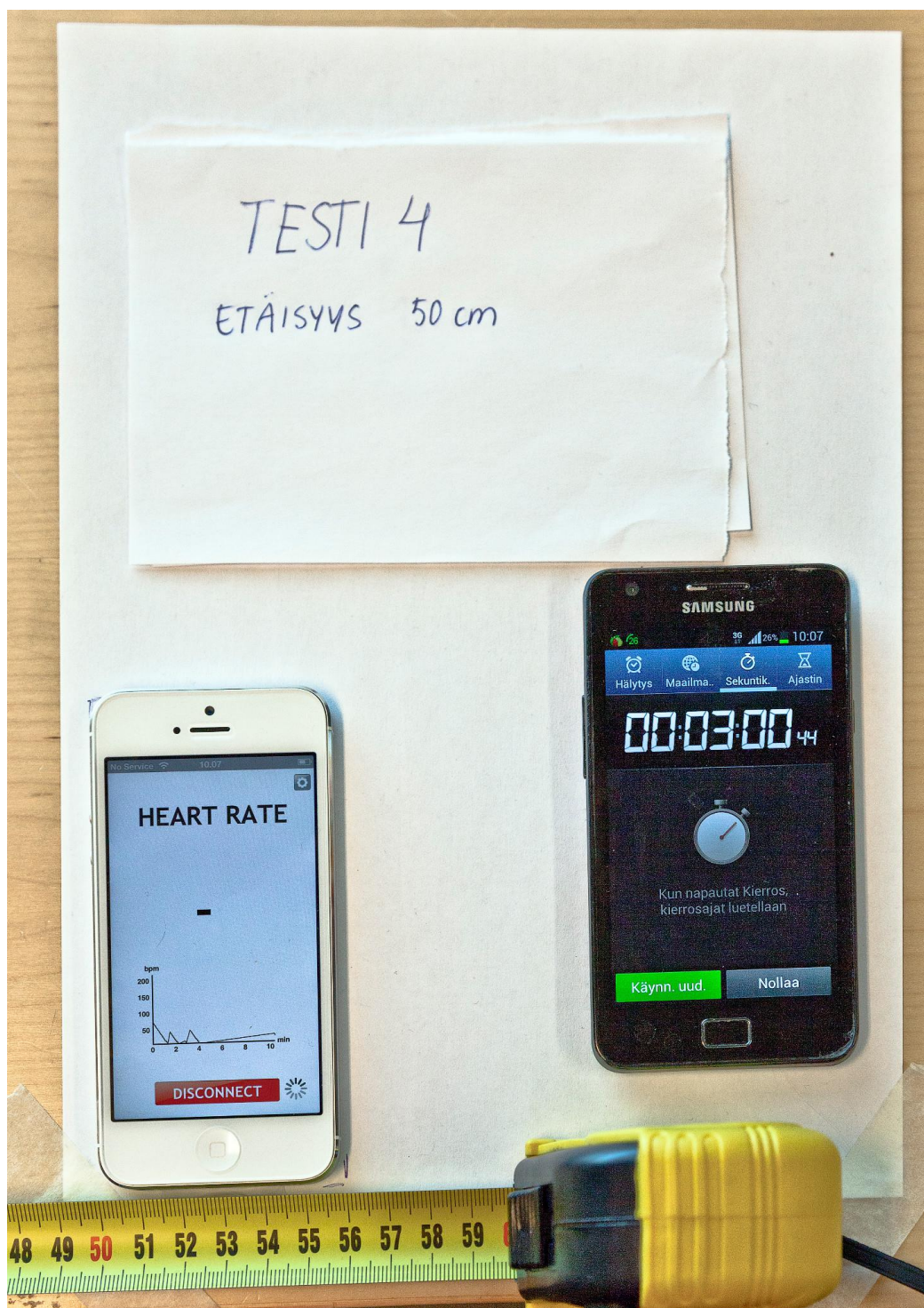
Mittauksissa käytettiin aina slave- ja master -laitteita, sekä joissain testeissä kolmea häiriölähdettä, jotka oli ohjelmoitu toimimaan yhteyden muodostamiseen käytettävien kanavien aallonpituuksilla. Slave-laitteena toimi samanlainen kehitysalusta kuin häiriölähteenäkin ja master-laitteena käytimme iPhone5:ttä. Lisäksi ajan ottamiseen käytettiin älypuhelimien sekuntikelloa.

Aluksi testattiin oletusta, että kolmella tiedonsiirtoon käytettävän kanavan aallonpituuksilla on mahdollista estää tiedonsiirto slave-laitteen ollessa mainostustilassa. Testi toteutettiin asettamalla slave, master ja häiriölähteet vierekkäin. Kuvassa 22 on esitetty

onnistunut mittaustilanne: yhteydenmuodostus toimii ja slave on onnistunut lähettää syketiedot masterille. Kuvassa 23 on epäonnistunut mittaustilanne, jossa yhteydenmuodostus ei ole onnistunut.



Kuva 22. Onnistunut mittaustilanne.



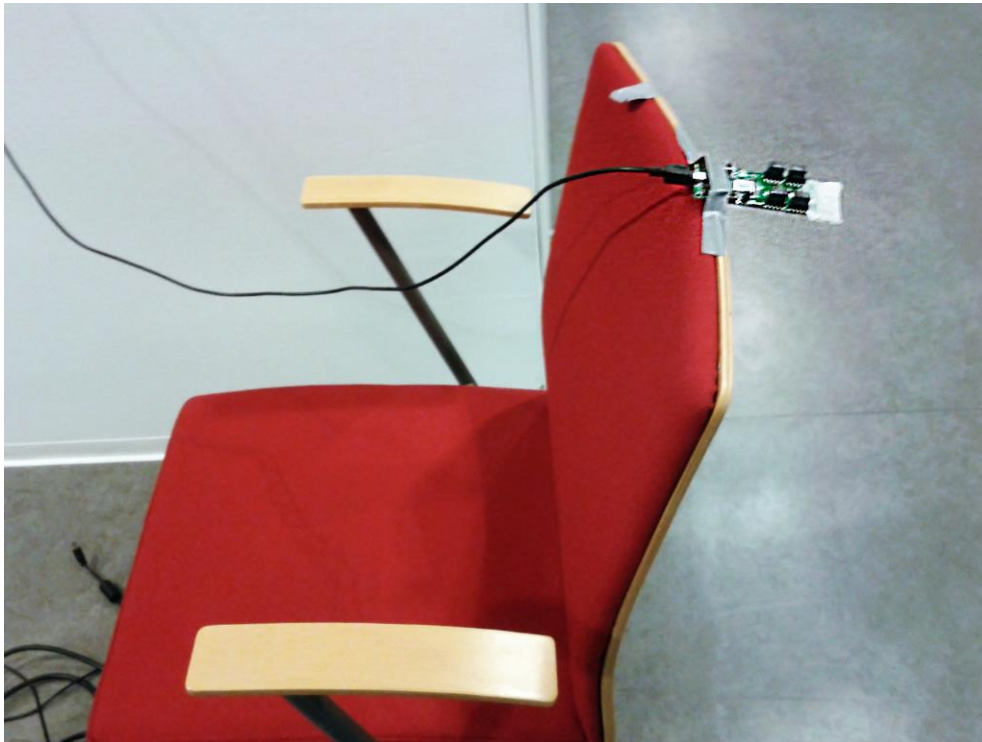
Kuva 23. Epäonnistunut mittaustilanne.

Seuraavaksi lähdettiin etsimään lyhintä etäisyyttä, jolla laite toimii, kun masterin ja slaven välinen etäisyys on 2,40 metriä ja häiriölähteitä siirrettiin suhteessa masteriin. Kaikki laitteet oli sijoitettu pöydille samaan tasoon. Seuraavaksi selvitettiin, kuinka lähelle häiriölähteet voidaan asettaa ilman, että yhteyden muodostus häiriintyy. Tämän jälkeen selvitettiin, miten tulokset muuttuvat, kun master ja slave siirretään lähemmäs toisiaan.

Toimistoympäristössä mitattiin myös kuuluvuusalue BLE:lle. Mittaus oli tarkoin suunniteltu, koska tuloksien haluttiin olevan mahdollisimman hyvin verrattavissa samanaikaisesti Electriassa tutkittavan DASH7:n kanssa.

Mittaaminen alkoi sillä, että signaalin lähde sijoitettiin tuolin päälle (kuva 24), jossa se oli paikoillaan koko testin ajan. Spektrianalysointilaitteita liikuteltavan tason päälle (kuva 25), jotta korkeus pysyisi koko ajan samana. Asettelussa otettiin huomioon myös laitteiden antennien suunnat, jotta ne vastaisivat mahdollisimman hyvin DASH7-testin antennien asentoa. Ratkaisuna antennit asetettiin niin, että ne antavat suurimman mahdollisen arvon kyseisellä alueella. Tuloksissa tulee ottaa huomioon muu verkkoliikenne. Kuuluvuuskartta on tehty toimistoympäristössä, jossa on Wi-fi:n vaikutus, lukuisia tietokoneita ja matkapuhelimia sekä printtereitä.

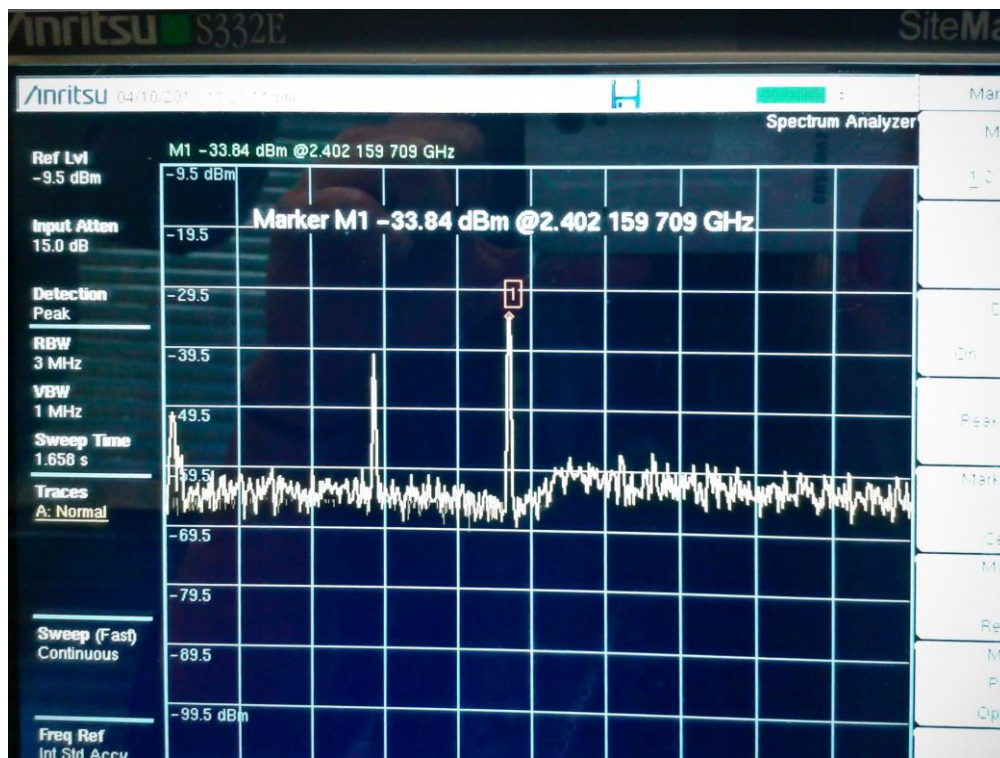
Testaaminen ja mitaaminen ovat usein haasteellisia ja virheiltä on vaikea välttyä. Mittauksia on hyvä ottaa useasti varmuuden saamiseksi. Kuuluvuuskartan ensimmäiset mittaukset olivat ikävä kyllä menneet väärin, joten koko mittaus tehtiin uudestaan oikean tuloksen saamiseksi. Mittaukset poikkesivat aiemmista, siten että spektrianalysointilaitteen asetukset oli skaalattu eri tavalla. Signaali näkyi selkeämmin ja oli matalampi kuin aiemmassa mittauksessa (kuva 26).



Kuva 24. Signaalinlähde asetettiin tuolin päälle.



Kuva 25. Spektrianalysaattori asetettiin liikkuvan tason päälle, mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi.



Kuva 26. Esimerkki tilanteesta, jossa signaali näkyy selkeästi. Tulokset luettiin yläkulmassa olevasta vihreästä palkista, tässä signaali saa arvon -33,84 dBm. Signaalianalysaattori on sijoitettu signaalin lähteen viereen.

6 Tulokset

Tulosten analysoinnissa päätettiin, että 30 sekuntia on maksimiaika yhteydenmuodostamiselle. Muutoin laite voi toimia käyttäjän mielestä liian hitaasti tai liikkuesssa laite voi olla liian hidas huomatakseen toisen laitteen. Joissain mittauksissa on voinut tapahtua heijastumista, jonka takia yhden testin aikaerot toisiinsa verrattuina voivat vaihdella.

Testejä tehtiin myös erilaisilla konkreettisilla asioilla, joita toimistosta löydettiin, sillä oli mielenkiintoista nähdä, millainen vaikutus niillä on tulokseen. Oven vaikutusta yhteyden muodostamiseen testattiin laittamalla slave käytävälle ja master sekä häiriölähteet oven toiselle puolelle työhuoneeseen. Testi tehtiin siis oven läpi, jonka perusteella huomattiin, ettei ovelta ollut vaikutusta laitteen toimintaan. Myös lampun vaikutusta testattiin, jolloin häiriölähteet asetettiin lampun päälle, masterin suoraan niiden alapuolelle slaven ollessa

jälleen 2,40 metrin päässä masterista. Yhteyden muodostus toimi välillä. Projektin kannalta tärkeää oli myös testata, onko ihmiskeholla vaikutusta yhteydenluontiin. Laite toimi lähes poikkeuksetta, slaven ja masterin etäisyytenä oli jälleen 2,40 metriä, häiriölähteiden ja masterin ollessa vastakkaisilla puolilla kehoa, toinen vatsan ja toinen selän puolella.

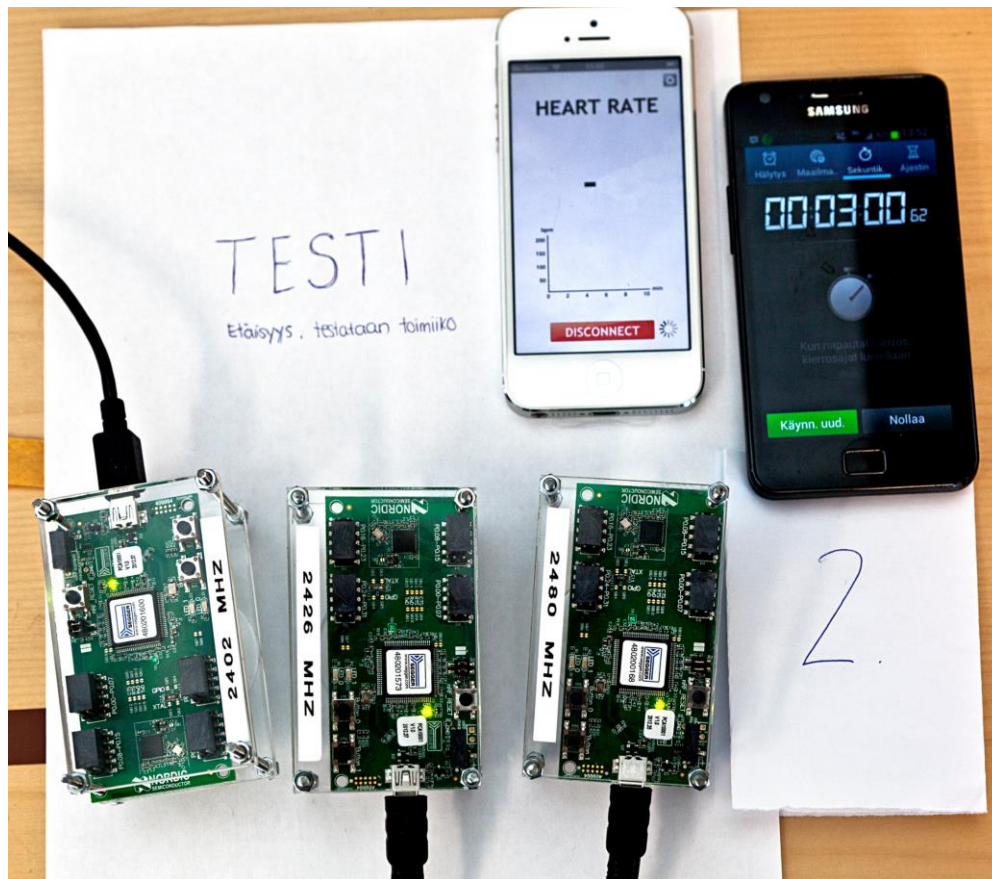
Bluetooth 4.0 on sanottu toimivan noin 50 metrin etäisyydellä, joten seuraavana oli vuorossa väitteen todistaminen. Pisimmäksi etäisyydeksi, jolloin laite toimi saatiin huikeat 59 metriä! Pisin etäisyys testattiin myös häiriölähteiden kanssa.

Lopuksi mitattiin portaikossa, kuinka korkeuserolla ja hissillä on vaikutusta tuloksiin. Testissä käytettiin ainoastaan master- ja slave-laitteita. Mitä kauempana hissistä oltiin, sitä paremmin yhteyden muodostus onnistui. Hissillä on siis huomattava merkitys yhteyden luomisen kannalta.

Viimeinen tehtävä oli tehdä kuuluvuuskartta toimistokerroksesta. Kuuluvuusmittauksia tehtiin tietyin etäisyyksin välein niin käytäviltä kuin työhuoneista. Ensimmäinen mittaus ei ollut vertailukelpoinen projektissa, joten mittaus jouduttiin uusimaan.

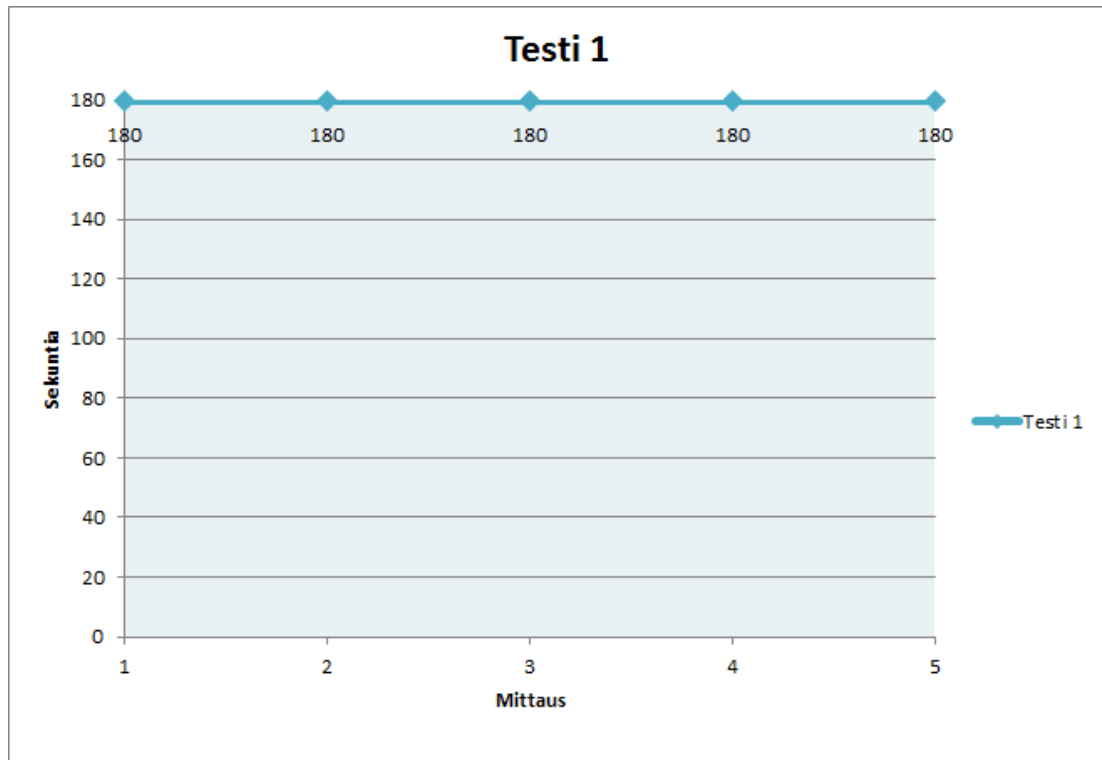
6.1 Alkumittaus

Mittaukset aloitettiin testaamalla ensin ääriasennon avulla, estävätkö häiriölähteet yhteyden luomisen master- ja slave-laitteiden välille. Master-laite ja häiriölähteet oli sijoitettu vierekkäin (kuva 27), niin että slave oli 2,40 metrin päässä..



Kuva 27. Ensimmäinen testi.

Testitulokset olivat, mitä oletettiin: häiriölähteet estivät toiminnan, eikä master pystynyt luomaan yhteyttä slave-laitteeseen mainostustilan aikana (kuva 28).

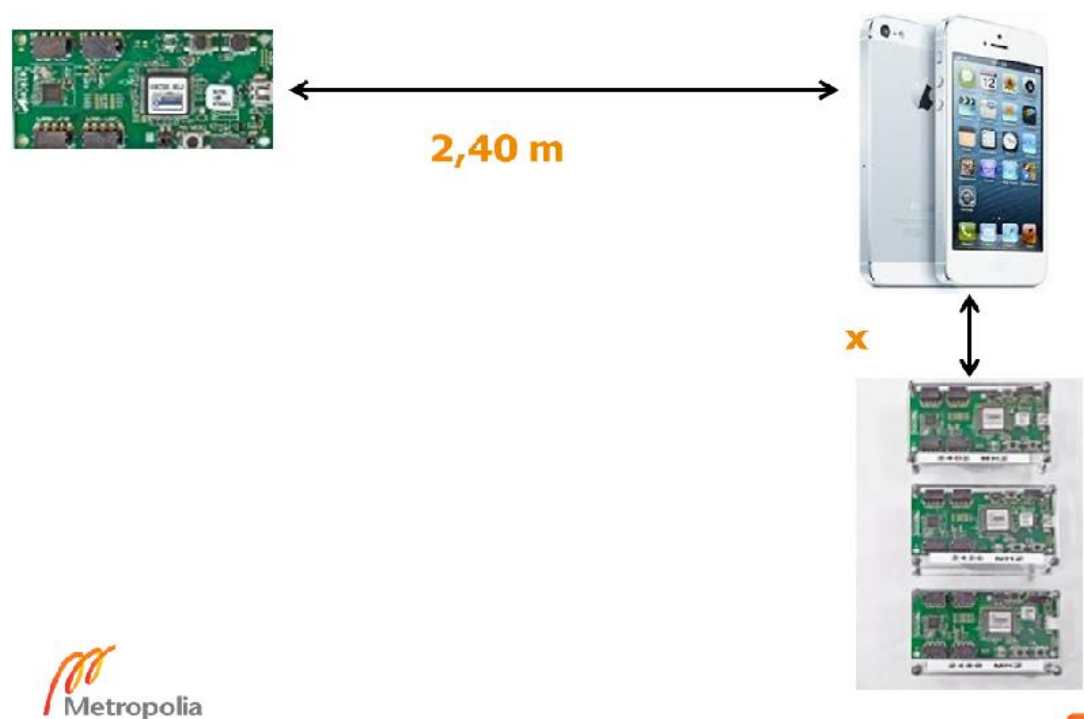


Kuva 28. Testi 1.

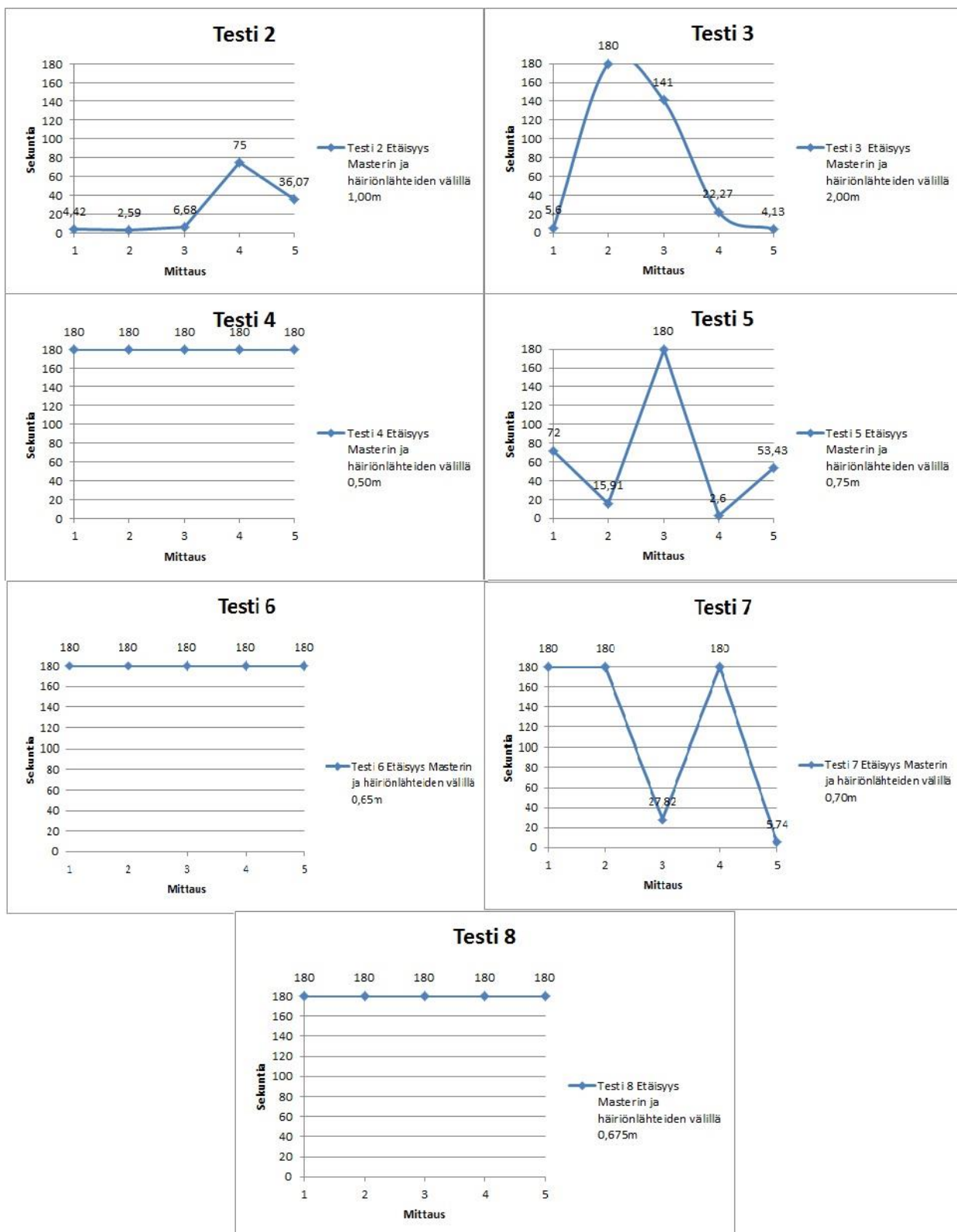
Testin onnistuessa iPhone alkaa näyttää syketietoja. Jos kolme minuuttia on kulunut ja iPhoneen ruudussa näkyy edelleen viiva, yhteydenmuodostus ei ole onnistunut.

6.2 Lyhin etäisyys

Testeissä 2-9 selvitettiin lyhintä etäisyyttä, jolla master toimii, kun slave on 2,40 metrin päässä masterista. Slave ja master pysyvät koko ajan paikoillaan; häiriölähteitä liikuteltiin masteriin nähden (kuva 29). Yhteyden muodostamiseen kulunut aika vaihteli suuresti; kesto saattoi olla myös yli 30 sekuntia. Häiriölähteet onnistuivat siis hidastamaan yhteyden muodostamista niin, että aikaa yhteyden luomiseen kului käytettävän ohjelman kannalta liikaa (kuva 30).



Kuva 29. Masterin ja slaven välinen etäisyys pysyy samana, häiriölähteiden ja masterin välinen etäisyyden vaihtelu on kuvattu x:llä.



Kuva 30. Testit 2-8, lyhimmän etäisyyden etsiminen slave laitteen ollessa 2,40 metrin päässä master-laitteesta.

Testissä 2 lähdettiin etsimään lyhintä etäisyyttä, jolla yhteyden muodostaminen onnistuu slave-laitteen ollessa 2,40 metrin päässä master-laitteesta. Häiriölähteet asetettiin 1,00 metrin päähän masterista, jolloin yhteydenmuodostus onnistui jokaisella kerralla, ainoastaan yhdellä kerralla yhteyden muodostamisessa kesti yli minuutin. Muutoin toiminta oli nopeaa.

Testissä 3 kasvatettiin häiriölähteiden etäisyyttä masterista 2,00 metriin. Yhteyden muodostaminen onnistui neljänä kertana viidestä, yksi epäonnistunut yhteyden muodostaminen saattaa johtua slave-laitteen sijoittelusta huoneessa tai muista Wlan-verkoista. Yhteyden muodostamiseen kului aikaa vaihtelevasti, kun kahdessa testissä aikaa kului yli 30 sekuntia.

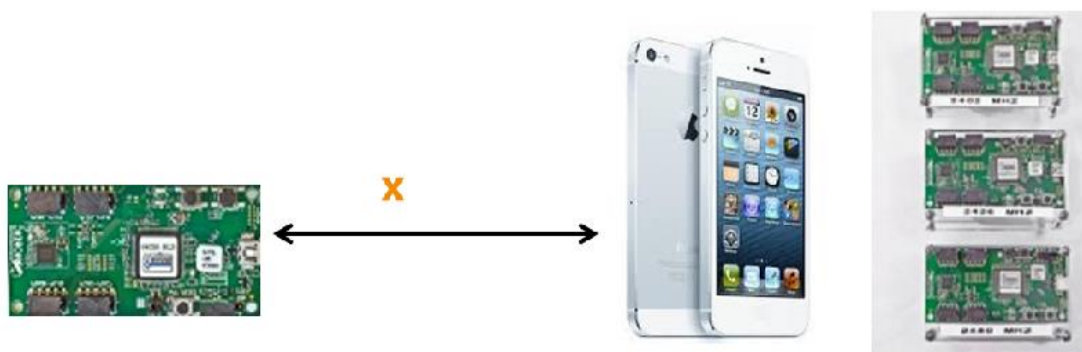
Testissä 4 etsittiin lyhintä etäisyyttä. Tiedossa oli, että laite toimii 1,00 metrin etäisyydellä häiriölähteistä hyvin, joten etäisyyttä pienennettiin puoleen, eli 0,50 metriin. Viiden mittauksen aikana yhteyden muodostaminen slave- ja masterin-laitteiden välillä ei onnistunut kertaakaan.

Testissä 5 haravoitiin tarkemmin aluetta 0,50 ja 1,00 metrin välillä. Häiriölähteet asetettiin 0,75 metriin, jossa laite toimi neljänä kertana viidestä. Tarkemman tuloksen saamiseksi häiriölähteet siirrettiin testissä 6 edelleen hieman lähemmäs 0,65 metrin etäisyydelle master-laitteesta. Tässä etäisyydessä laite ei toiminut kertaakaan.

Testissä 7 asetettiin häiriölähteet 0,70 metrin päähän masterista. Tällä etäisyydellä laitteiden onnistui muodostaa yhteys kahtena kertana viidestä. Jotta tämä olisi varmasti lyhin etäisyys, jolla laite toimii, testattiin vielä 0,675 metrin etäisyyttä. Kuten oli oletettua, laite ei tässä etäisyydessä onnistunut muodostamaan yhteyttä. Lyhin etäisyys, jolla yhteyden muodostaminen onnistuu slave-laitteen ollessa 2,40 metrin päässä masterista on 0,70 metriä. Tulos on kannustava, koska näyttää siltä, että Bluetooth 4.0 kykenee muodostamaan luotettavan yhteyden, vaikka häiriölähteet olisivat hyvin lähellä master-laitetta.

6.3 Slaven etäisyys masterista

Testeissä 10–17 selvitettiin, onko slaven etäisyydellä masteriin merkitystä. Tulokset osoittavat, että slaven ollessa lähempänä laite toimii paremmin myös alle 0,70 metrin etäisyydellä. Testissä 10 häiriölähteet olivat 0,675 metrin etäisyydellä masterista, muissa mittauksissa (11-17) häiriölähteet olivat aivan masterin vieressä (kuva 31).

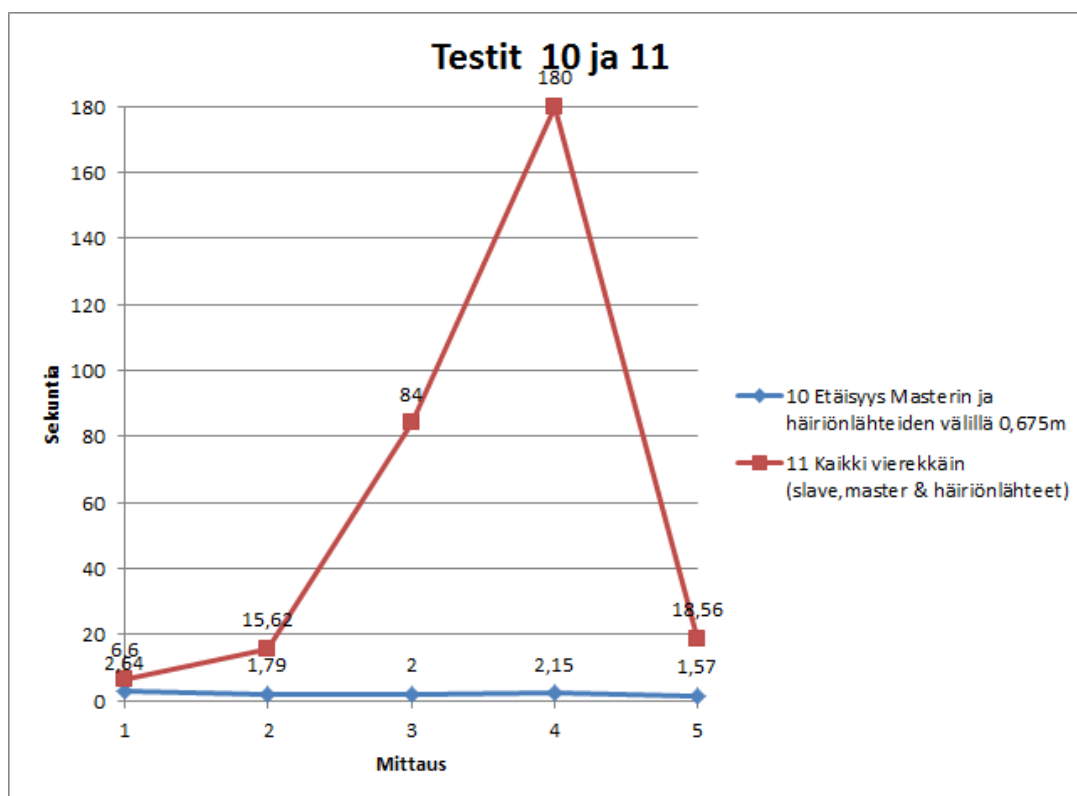


Kuva 31. Master ja häiriölähteet pysyivät paikoillaan. X kuvaa etäisyyttä, jota vaihdeltiin masterin ja slaven välillä.

Slaven ja masterin ollessa vierekkäin laite toimii pääsääntöisesti, vaikka häiriölähteet olisivat vieressä. Häiriölähteiden ollessa vieressä master ei enää toiminut, kun sen etäisyys slavesta oli 1,10 metriä.

Testeissä 10 ja 11 tarkastettiin, onko slave-laitteen etäisyydellä masterista suurta vaikutusta yhteyden muodostamiseen. Molemmissa testeissä asetettiin slave- ja master-laite vierekkäin ja ainoastaan häiriölähteiden sijainti muuttui. Testissä 10 asetettiin häiriölähteet 0,675 metrin päähän masterista, koska tällä etäisyydellä yhteyden muodostus ei ollut onnistunut masterin ja slaven välisen etäisyyden ollessa 2,40 metriä. Yhteyden muodostaminen onnistui nopeasti jokaisessa mittauksessa. Testissä 11 laitettiin myös

häiriölähteet aivan slave- ja master-laitteiden viereen, koska etäisyys edellisessä testissä oli jo niin pieni ja laitteet toimivat hyvin. Mittauksissa yhteyden muodostaminen onnistui neljänä kertana viidestä. Kaksi mittausta kesti yli 30 sekuntia (kuva 32).

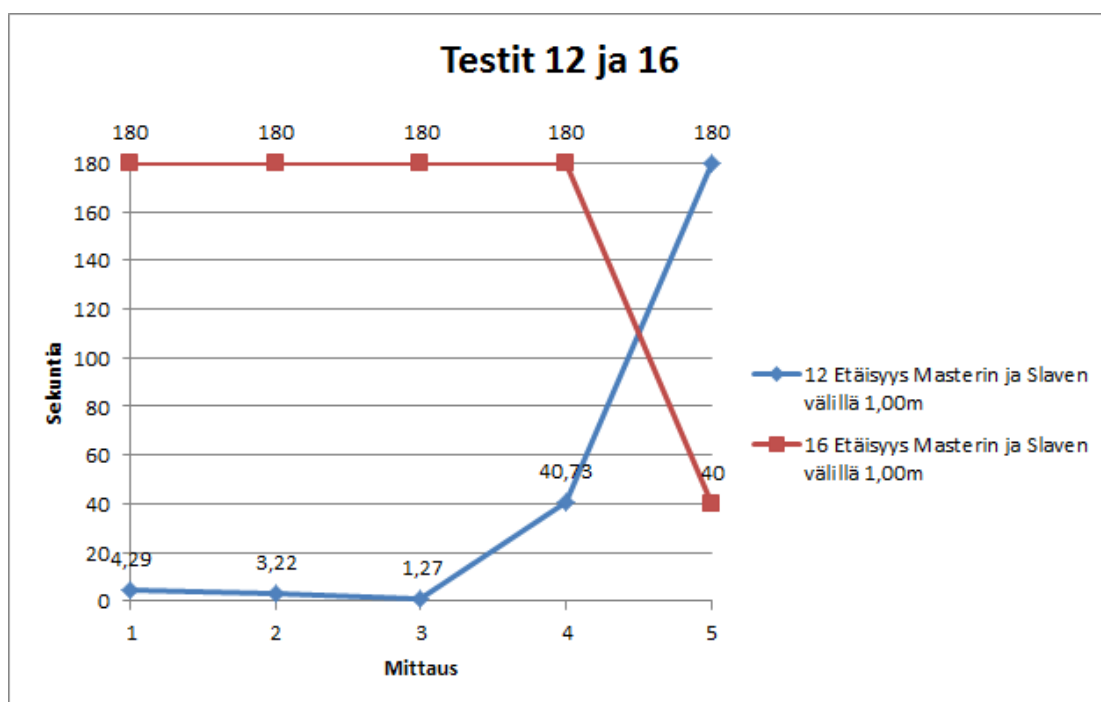


Kuva 32. Kuvassa näkyy testit 10 ja 11. Testissä 10 häiriölähteet ovat olleet 0,675 metrin päässä master-laitteesta. Testissä 11 kaikki laitteet ovat olleet vierekkäin. Voidaan huomata laitteen toimivan nopeammin ja varmemmin häiriötekijöiden ollessa kauempana masterista.

Testeissä 12–17 tarkasteltiin slaven etäisyyden masterista, vaikutusta tarkemmin. Jokaisessa testissä häiriölähteet olivat aivan master-laitteen vieressä, ainoastaan slave-laitteen etäisyyttä muutettiin.

Testissä 12 asetettiin slave-laitteen 1,00 metrin päähän master-laitteesta. Tällöin yhteyden muodostus onnistui neljänä kertana viidestä. Vain kaksi yhteyden muodostusta kesti yli 30 sekuntia. Tulosten perusteella kasvatettiin etäisyyttä masterin ja slaven välillä 1,50 metriin. Testin 13 tuloksista käy ilmi, että slaven sijainnilla on merkitys laitteiden toimintaan. Master ja slave eivät onnistuneet luomaan yhteyttä keskenään kertaakaan. Sama tulos toistui myös mittauksissa 14 ja 15, joissa pienennettiin slave- ja master-laitteen

etäisyyttä aina 1,10 metriin asti. Testissä 16 saatiin laitteiden välille yhteyden kerran viiden mittauksen aikana laitteiden etäisyyden ollessa 1,0 metriä. Varmistukseksi sille, ettei laitteiden sijoittelulla tuolin käsinojalle ollut merkitystä tulokseen, testi 15 toistettiin vielä muuttamalla laitteiden paikkaa pahvilaatikon päälle. Kyseisessä testissä 17 laite ei kuitenkaan toiminut kertaakaan ja saimme varmistuksen sille, ettei tuolilla todella ollut vaikutusta tuloksiin. Kuvassa 33 nähdään hyvin, kuinka erilaisia testien 12 ja 16 tulokset ovat.



Kuva 33. Testit 12 ja 16, olivat ainoat joissa saimme masterin yhdistämään slaven kanssa. Molemmissa etäisyys masterin ja slaven välillä oli 1,0 metriä.

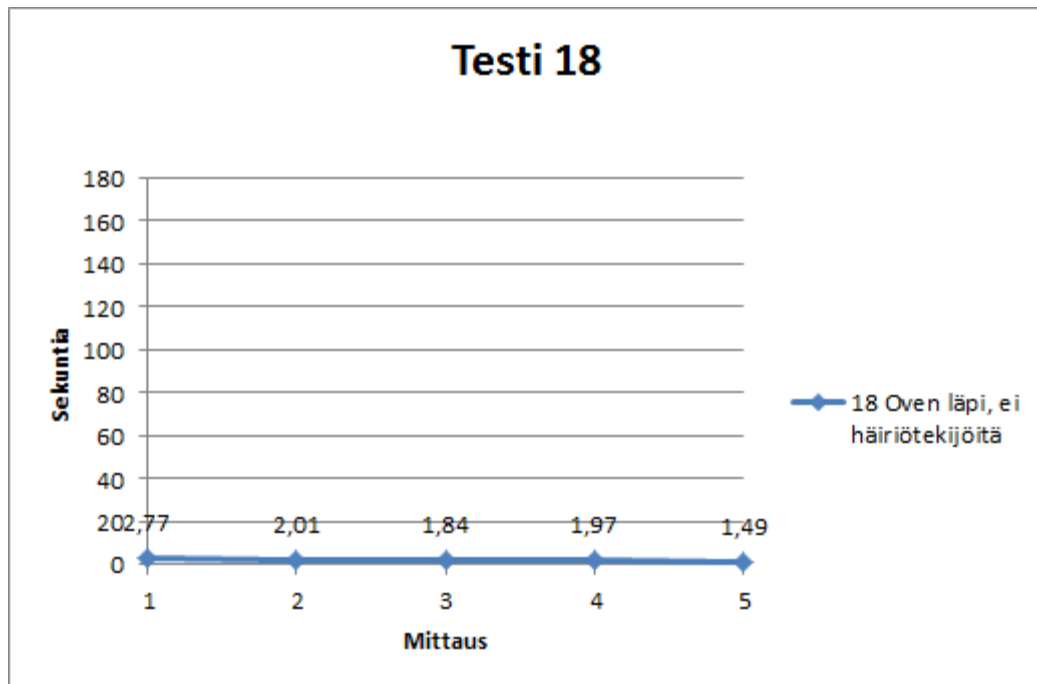
6.4 Erilaiset materiaalit

Testeissä 18–21 selvitettiin oven vaikutusta masterin toimivuuteen. Aluksi testattiin toimivuutta ilman häiriölähteitä, niin että master ja slave olivat eri puolilla ovea. Muissa testeissä häiriölähteet otettiin mukaan ja sijoitettiin ne 0,50–1,00 metrin päähän masterista. On tärkeää muistaa, että eri materiaaleilla on erilainen vaikutus yhteyden muodostamiseen. Testeissä mitattiin mdf -oven läpi, joka on puolikovaa kuitulevyä.

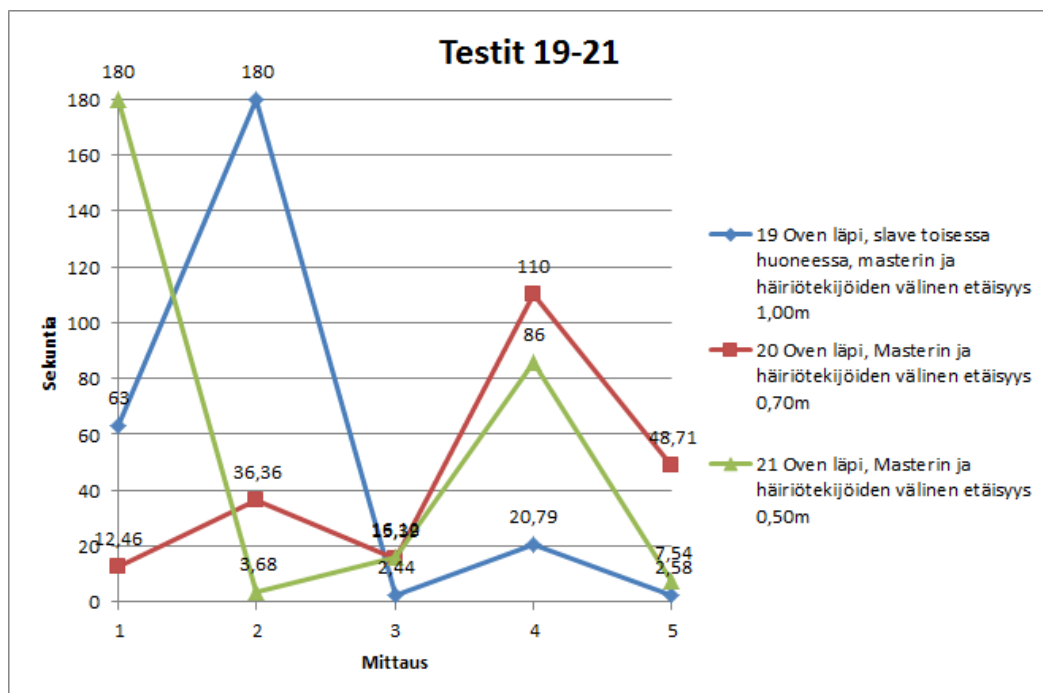
Ovi ei näyttänyt vaikuttavan masterin toimintaan millään lailla. Laite toimi nopeasti jokaisella kerralla testattaessa toimivuutta ilman häiriölähteitä. Häiriölähteet näyttävät hidastavan yhteyden muodostamista masterin ja slaven välillä. Testien aikana havaittiin myös, että häiriölähteiden paikka slaveen nähden vaikuttaa masterin toimintaan. Jos häiriölähteet eivät ole masterin ja slaven välissä, yhteyden muodostaminen laitteiden välille sujuu nopeammin kuin häiriölähteiden ollessa masterin ja slaven välissä.

Testissä 18 testattiin, onko ovella minkäänlaista vaikutusta yhteyden muodostamiseen ilman häiriölähteitä (kuva 34). Laitteet toimivat jokaisella mittauskerralla hyvin, joten häiriölähteet lisättiin mukaan.

Testeissä 19–21 (kuva 35) käytettiin jo aiemmin testattua etäisyyttä 2,40 metriä masterin ja slave laitteen välillä, jotta tulosten vertailu on mahdollista. Testissä 19 häiriölähteet oli aseteltu samaan huoneeseen master-laitteen kanssa, kyseisten laitteiden etäisyys toisistaan oli 1,00 metrin. Laite toimi neljänä kertana viidestä, mutta kaksi mittauksista kesti yli 30 sekuntia. Tulosten perusteella siirrettiin häiriölähteitä entistä lähemmäs master-laitetta. Testissä 20 häiriölähteet asetettiin 0,70 metrin päähän masterista. Tällä etäisyydellä laite oli toiminut viimeisen kerran aiemmissa mittauksissa, joissa masterin ja slave-laitteen etäisyys oli sama. Laite toimi jokaisella kerralla, mutta kolme tuloksista kesti kuitenkin yli 30 sekuntia. Yhteyden muodostamisessa kesti enemmän aikaa kuin ilman häiriölähteitä. Saatujen tulosten perusteella tuotiin häiriölähteitä vielä lähemmäksi masteria 0,50 metrin päähän. Tässä etäisyydessä yhteyden muodostaminen ei ollut onnistunut aiemmissa mittauksissa. Yllätykseksi yhteyden muodostaminen onnistuu neljänä kertana viidestä, kuitenkin kahden tuloksen mennessä yli 30 sekunnin. Tuloksista voidaan päätellä, että aiemmassa testiympäristössä oli läsnä enemmän häiriölähteitä, kuten Wlan-verkkoja kuin tässä mittauksessa. Häiriölähteiden vieminen lähemmäksi masteria ei tässä vaiheessa ollut enää tarpeellista, koska etäisyys oli jo niin lyhyt.



Kuva 34. Testi 18.

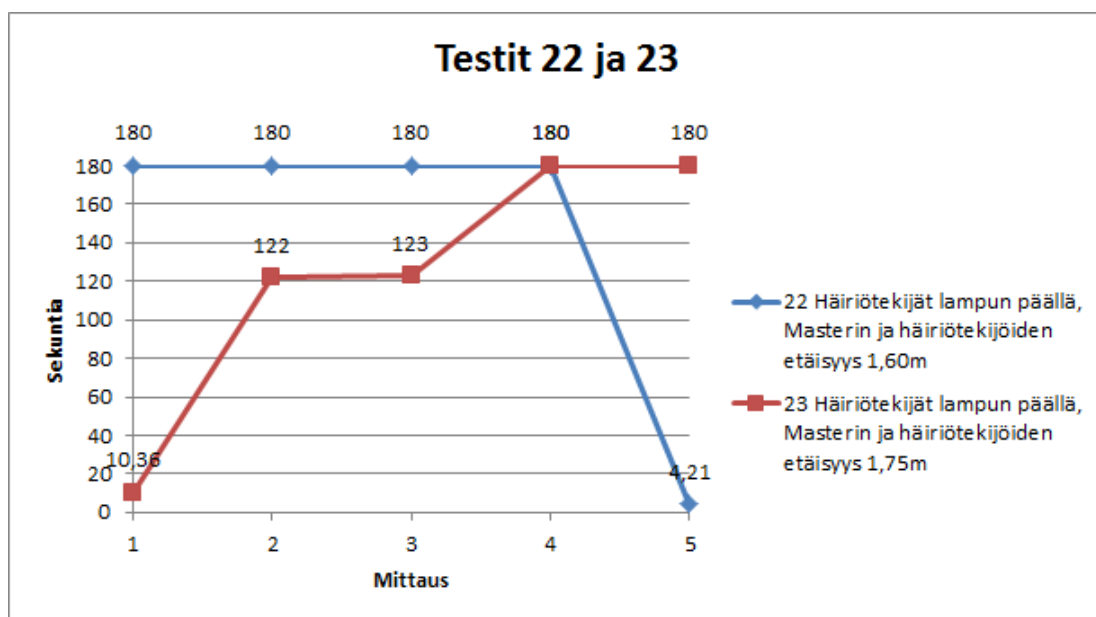


Kuva 35. Testit 19–21.

Testeissä 22–23 (kuva 36) kokeiltiin, minkälainen vaikutus kattovalaisimella on yhteyden muodostamiseen. Häiriölähteet sijoitettiin valaisimen päälle katon rajaan ja masterin suorassa linjassa alapuolelle. Laite toimi huonommin, kun häiriölähteet olivat suoraan masterin yläpuolella.

Testissä 22 häiriölähteet olivat lampun päällä, ja niiden korkeusero masterista oli 1,60 metriä. Masterin ja slaven välinen etäisyys 2,40 metriä. Laite ei toiminut kuin kerran.

Testissä 23 häiriölähteet olivat lampun päällä, ja niiden korkeusero masterista oli 1,75 metriä. Slaven ja masterin etäisyys oli jälleen 2,40 metriä. Laite toimi, mutta vain yksi tulos oli alle 30 sekuntia.



Kuva 36. Testit 22 ja 23. Häiriölähteet oli asetettu suoraan masterin yläpuolelle kattovalaisimen päälle.

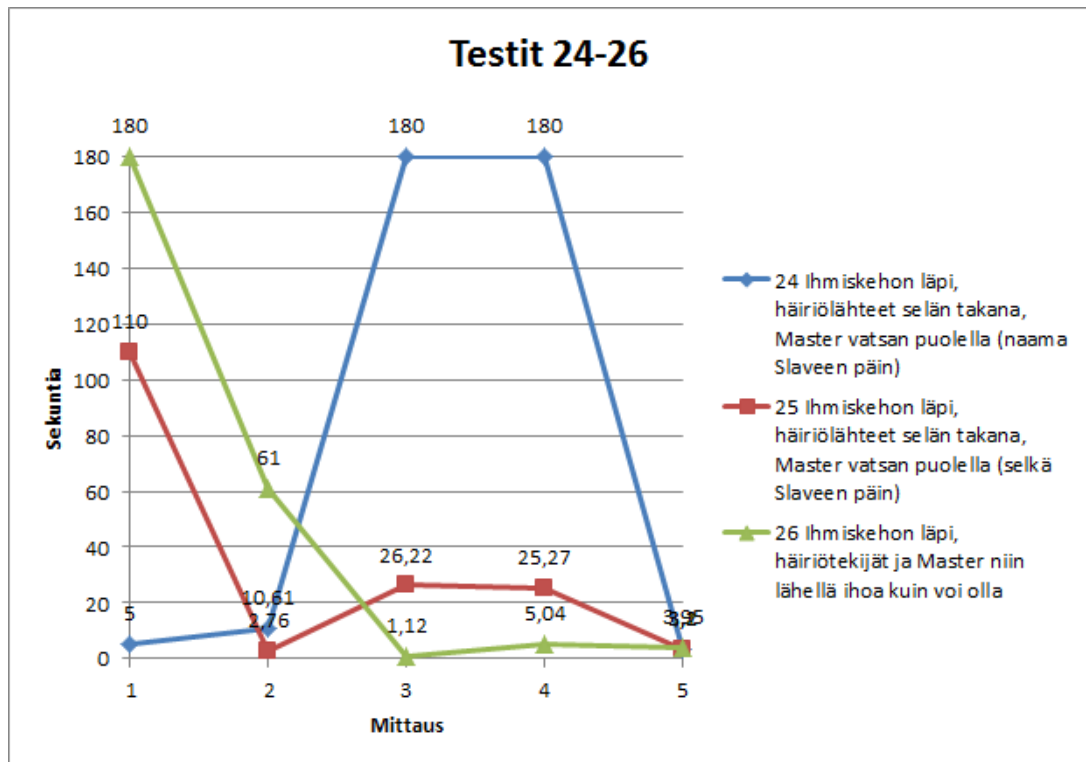
6.5 Ihmiskeho

Testeissä 24–26 testattiin, minkälainen vaikutus ihmiskeholla on laitteen toimintaan. Masterin ja slaven välinen etäisyys oli jälleen tutut 2,40 metriä, häiriölähteet selässä, master vatsassa ja päinvastoin. Laite toimi lähes poikkeuksetta, ja yli puolissa tuloksista yhteyden muodostus kesti alle 30 sekuntia. Ihmiskeho koostuu vedestä, eikä laitteiden

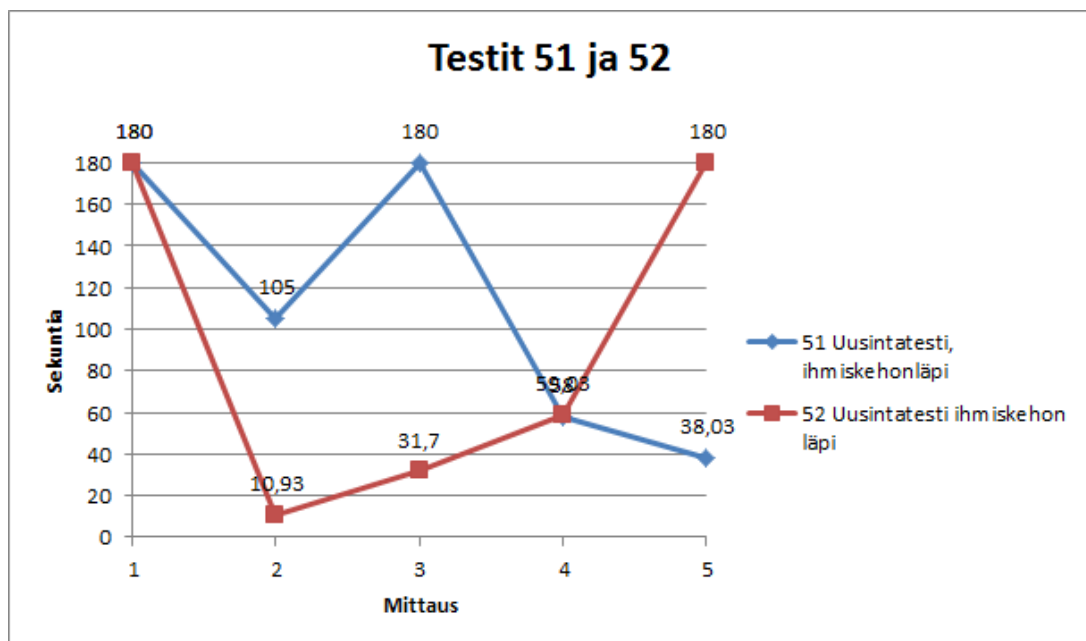
oletettu toimivan näin hyvin. Siksi testi toistettiin vielä uudelleen testeissä 51 ja 52. Tällöin laite toimi hitaammin kuin edellisissä testeissä, eikä alle 30 sekunnin tuloksiin päästy kuin kaksi kertaa. Ihmiskeholla näyttää olevan jonkinlainen vaikutus yhteyden muodostamiseen, mutta tällä laitteistolla ei kyetty suorittamaan testiä niin, että master-laite olisi aivan ihon pinnassa kiinni, joten vaikutus voi todellisuudessa olla suurempi kuin mitä mittauksista käy ilmi.

Testissä 24 asetettiin häiriölähteet selän taakse, masterin vatsan puolelle ja slaven 2,40 metrin etäisyydelle masterista niin, että ihminen oli suorassa linjassa slave-laitteen kanssa. Laite ei toiminut kahtena kertana viidestä, mutta muilla kerroilla yhteyden muodostaminen oli nopeaa. Sama asetelma toistettiin testissä 51, jossa kuitenkin kasvatettiin slave- ja master-laitteiden etäisyyttä toisistaan 4,30 metriin. Myös tällöin yhteyden muodostaminen epäonnistui kahtena kertana viidestä. Muilla kerroilla yhteyden muodostamiseen kului kuitenkin enemmän aikaa kuin laitteiden ollessa lähempänä toisiaan.

Testissä 25 ja 26 muutettiin laitteiden järjestystä niin, että master oli edelleen vatsan päällä ja häiriölähteet selän takana. Tällä kerralla ihminen oli kuitenkin käännetty selin slave laitteeseen nähden. Tällöin häiriölähteet olivat siis masterin ja slave laitteiden välissä. Testissä kävi ilmi, että laite toimi jokaisella kerralla. Yhteyden muodostamiseen kului hieman enemmän aikaa kuin edellisessä testissä. Myös tämä testi uusittiin. Testissä 52 asetelma oli sama, mutta kuten testissä 51, etäisyys master ja slave-laitteiden välillä oli kasvatettu 4,30 metriin. Laitteiden välinen yhteyden muodostus ei onnistunut kahtena kertana viidestä. Tulos poikkesi siis hieman testin 25 ja 26 tuloksista. Kuvat 37 ja 38 havainnollistavat hyvin, kuinka vaihtelevia aikoja yhteydenmuodostamiseen on menneet, ihmiskehon ollessa välissä.



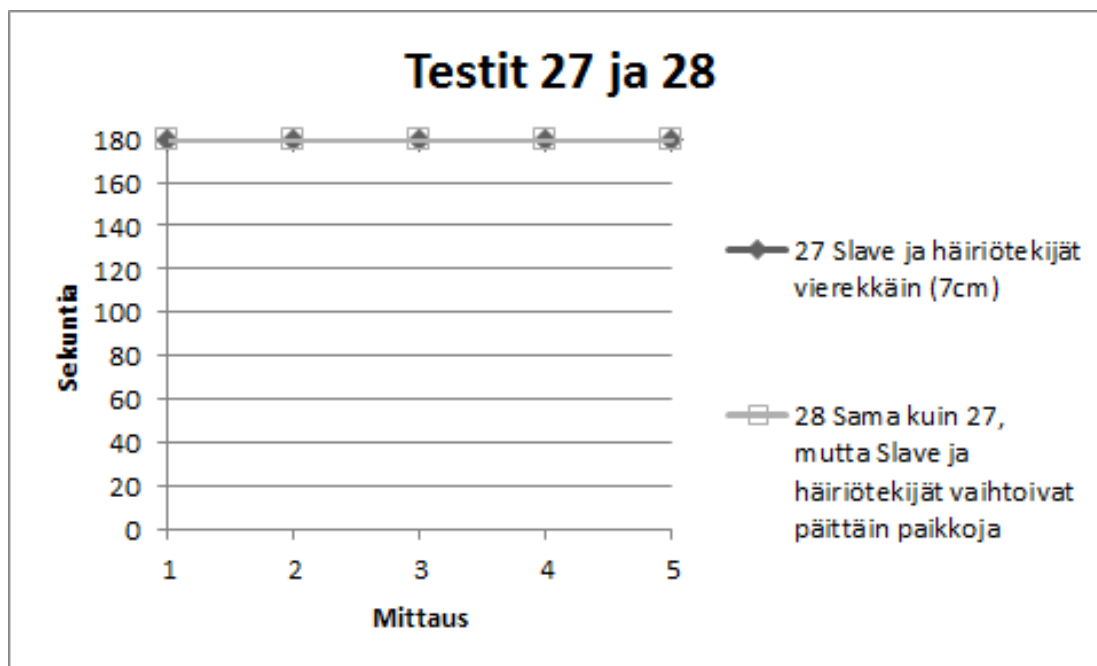
Kuva 37. Testit 24–26.



Kuva 38. Testit 51 ja 52.

6.6 Slave

Testeissä 27–28 (kuva 39) varmistettiin häiriölähteiden vaikutus slaveen siten, että häiriölähteet sijoitettiin slaven viereen, ja master 2,00 metrin päähän slavesta. Tuloksista huomattiin, että häiriölähteet vaikuttavat myös slaveen, eikä master toiminut ollenkaan.



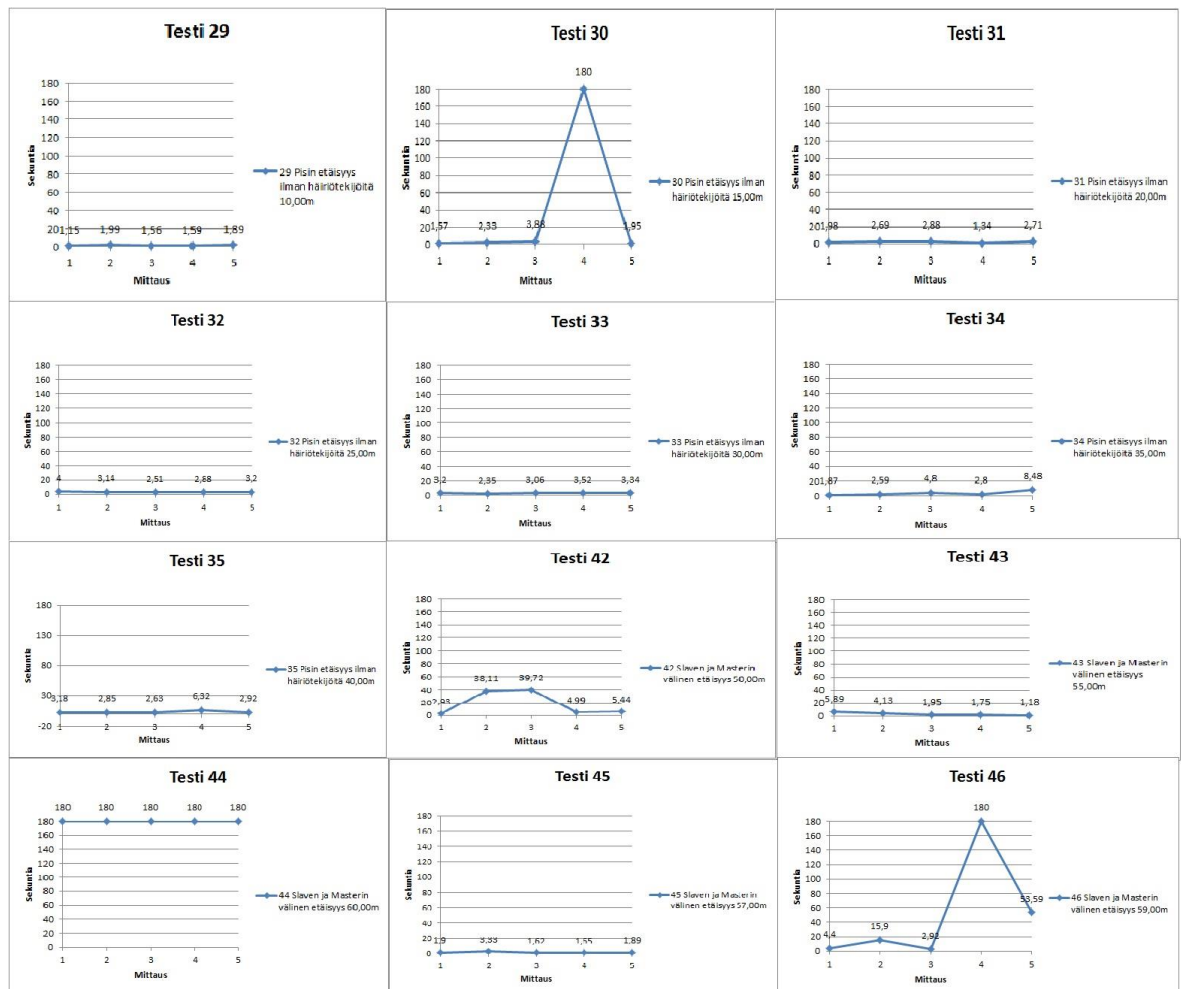
Kuva 39. Testit 27 ja 28. Tarkasteltiin häiriölähteiden vaikutusta slaveen. Molemmissa testeissä master oli 2,00 metrin päässä slave-laitteesta.

6.7 Pisin etäisyys

Testeissä 29–35 ja 42–46 (kuva 40) selvitettiin pisintä etäisyyttä, jolla laite toimii, ilman häiriölähteitä. Mittauksia tehtiin 5,00 metrin välein ja pisimmäksi etäisyydeksi, jossa laite toimi hyvin, saatiin 59,00 metriä, mutta jo metrin lisääminen etäisyyteen lopetti laitteen toiminnan täysin. Tietämyksen mukaan Bluetooth 4.0:n ominaisuuksiin kuuluu 50 metrin laajuinen kantavuusalue, joka kuitenkin riippuu vahvasti ympäristöstä. Testeissä on hyvä huomioida, että käytävä saattaa vahvistaa signaalia, jolloin se etenee paremmin kuin avoimessa tilassa. Yleensä etäisyydet sisällä ovat huomattavasti pienempiä kuin

ulkona johtuen esimerkiksi rakennuksen rakenteista ja ihmisistä. Kaikesta huolimatta pisin mahdollisin etäisyys testattiin ja tutkittiin myös, ovatko yhteyden muodostamiseen kuluneet ajat hyvin poikkeavia toisistaan.

Testeissä 29–35 mitattiin pisintä etäisyyttä 40 metriä pitkässä käytävässä. Mittaukset aloitettiin 10,00 metrin kohdalta ja etäisyyttä kasvatettiin aina viiden metrin verran. Testissä 29 etäisyys masterin ja slave-laitteen välillä oli 10,00 metriä. Laite toimi hyvin nopeasti jokaisella mittauskerralla; aikaa yhteyden muodostamiseen kului aina alle 2 sekuntia. Testissä 30 kasvatettiin etäisyyttä 15,00 metriin. Laite toimi tällöin neljänä kertana viidestä; toiminta muutoin oli hyvin nopeaa. Luultavasti joku häiriö on vaikuttanut yhteen mittaukseen, jossa yhteyden muodostaminen ei onnistunut. Testissä 31 kasvatimme etäisyyttä 20,00 metriin. Kuten aiemmin, yhteyden muodostaminen onnistui jokaisella kerralla ja aikaa toimintaan kului maksimissaan 4 sekuntia. Samanlainen tulos toistui testeissä 32 ja 33, jolloin etäisyys masterin ja slaven välillä oli 25,00 metriä ja 30,00 metriä.



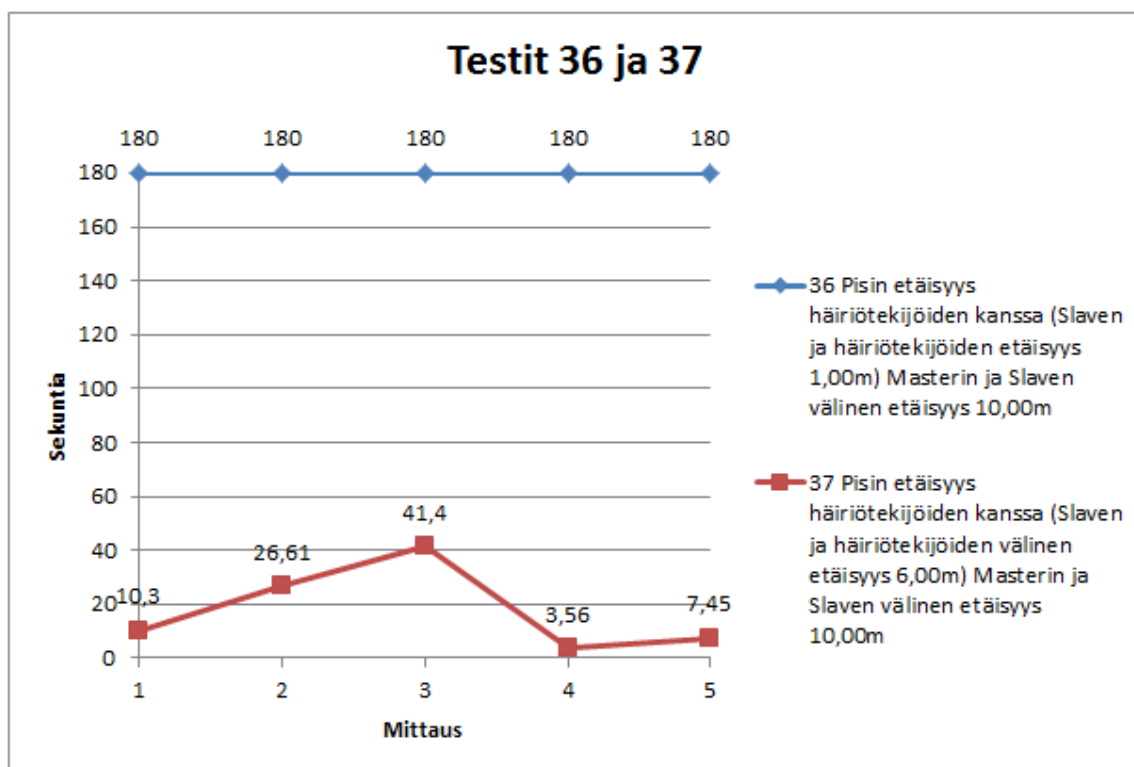
Kuva 40. Testit 29–35 sekä 42–46.

Testissä 34 etäisyyttä oli kasvatettu 35,00 metriin. Laitteiden välisen yhteyden muodostaminen onnistui tällöinkin jokaisella kerralla suhteellisen nopeasti. Viimeisen mittauksen kohdalla laitteiden välisen yhteyden muodostus kesti pisimpään, melkein 9 sekuntia. Testissä 35 etäisyys oli koko käytävän pituus, eli 40 metriä. Laitteen onnistui muodostaa yhteys nopeasti jokaisella mittauskerralla.

Laitteiden onnistuessa muodostaa yhteys keskenään niin nopeasti edellisissä testeissä, oli aika etsiä pidempi käytävä. Rakennuksesta löytyi hieman yli 60 metriä oleva käytävä. Toisin kuin edellisissä testeissä tämän käytävän varrelta löytyi kaksi ovea. Ovet pidettiin kiinni mittauksien ajan, koska aiemmin oli havaittu, ettei ovella ole vaikutusta yhteyden muodostamiseen.

Testi 42 aloitettiin pisimmästä etäisyydestä, jolla Bluetooth 4.0 tiedetään kykenevän muodostamaan yhteys. Slave- ja master-laitteiden välillä oli siis 50 metriä. Mittaustuloksista käy ilmi, että laitteiden onnistui muodostaa yhteys jokaisella kerralla, vaikka yhteyden muodostamiseen kulunut aika oli hieman kasvanut aiemmista mittauksista. Aikaa kului maksimissaan 40 sekuntia. Koska laitteet toimivat niin hyvin 50,00 metrissä kasvatettiin etäisyyttä 55,00 metriin. Testissä 43 laitteiden onnistui taas luoda yhteys ja tällä kertaa erittäin nopeasti, aikaa kului maksimissaan 6 sekuntia. Koska jokainen mittaus oli onnistunut, kasvatettiin etäisyyttä edelleen 60 metriin asti. Laitteet eivät onnistuneet muodostaa yhteyttä kertaakaan toisiinsa viiden mittauksen aikana. Tulosten perusteella lähdettiin etsimään metrin tarkkuudella pisintä etäisyyttä, jolla yhteyden muodostaminen onnistuu. Aluksi kokeiltiin 57,00 metrin etäisyyttä, jossa yhteyden muodostus oli nopeaa ja onnistui jokaisella kerralla. Etäisyyttä kasvatettiin testissä 46 59 metriin, jossa laitteiden onnistui muodostaa yhteys keskenään neljänä kertana viidestä. Testien perusteella havaittiin, että Bluetooth 4.0 voi toimia jopa 59,00 metrin etäisyydellä.

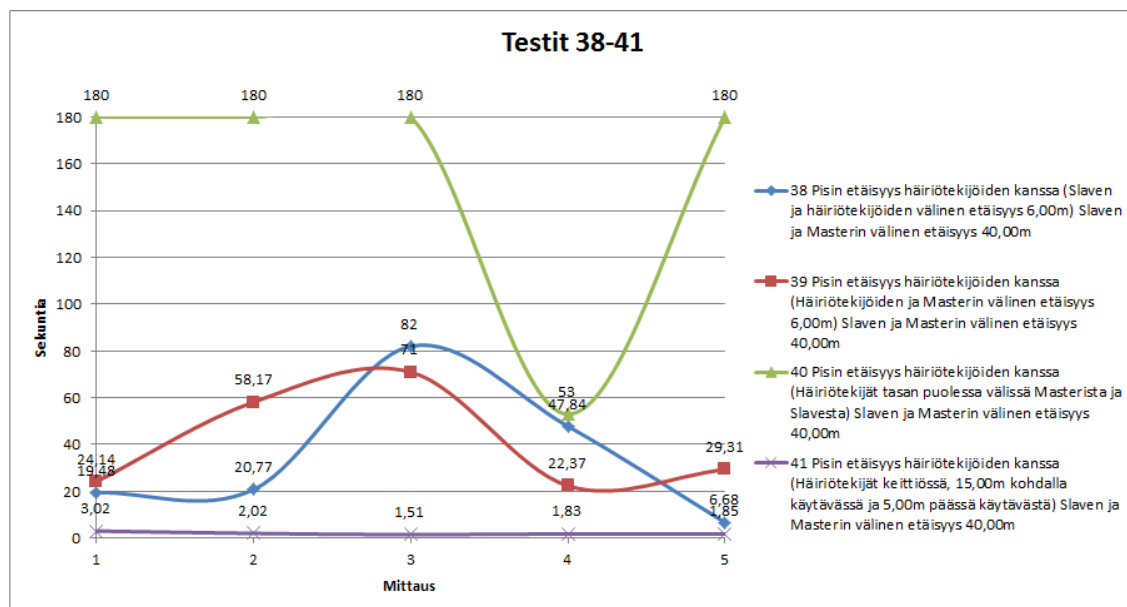
Testeissä 36–41 etsittiin pisintä etäisyyttä, jossa laite toimii häiriölähteiden kanssa. Testissä 36 slaven ja häiriölähteiden etäisyys oli 1,00 metriä, masterin ja slaven välinen etäisyys oli 10,00 metriä, jolloin laite ei toiminut ollenkaan. Testissä 37 slaven ja häiriölähteiden välinen etäisyys oli 6,00 metriä, masterin ja slaven välinen etäisyys 10,00 metriä. Laite toimi hyvin (kuva 41).



Kuva 41. Testit 36 ja 37.

Testissä 38 toistettiin muutoin saman asetelma, mutta masterin ja slaven välinen etäisyys kasvatettiin 40 metriin, häiriölähteet olivat edelleen 6,0 metrin päässä slavesta niin, etteivät ne asettuneet slave ja master-laitteiden väliin. Myös tällöin laite toimi jokaisella kerralla. Seuraavaksi toistettiin sama asetelma, mutta häiriölähteet siirrettiin masterin lähelle. Testissä 39 masterin ja slaven välinen etäisyys on edelleen 40,00 metriä, ja häiriölähteet on aseteltu 6,00 metrin päähän masterista, taas niin, etteivät ne tule masterin ja slaven väliin. Kuten edellisessä testissä, jokainen mittaus onnistuu ja laitteet muodostavat yhteyden. Aikaa kuluu maksimissaan 71 sekuntia.

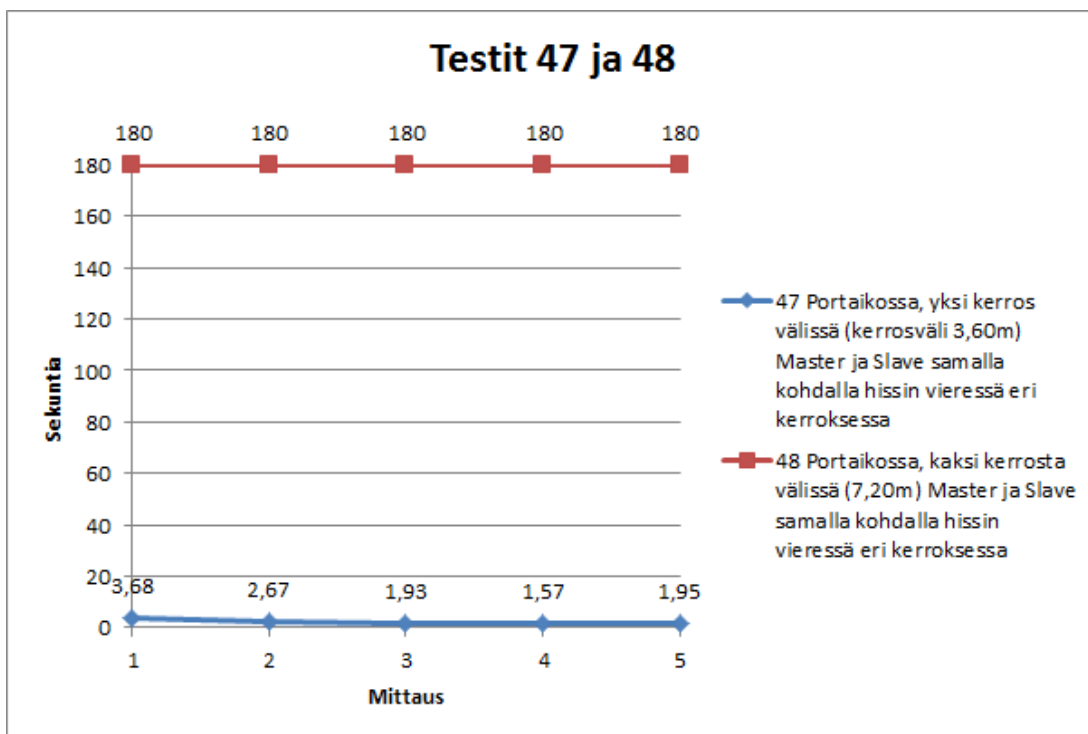
Testissä 40 masterin ja slaven etäisyyden ollessa 40,00 metrin häiriölähteiden ollessa yhtä kaukana sekä masterista että slavesta eli 20,00 metrin kohdalla, laite ei toiminut. Testissä 41 asetelma oli muuten sama, mutta häiriölähteet siirrettiin keittiöön, joka oli 15,00 metrin päässä slavesta ja 5,00 metrin etäisyydellä käytävästä, jolloin laite alkoi toimia hyvin. Asetelmasta voidaan havaita sen, että laitteiden onnistuu luoda yhteys keskenään varmemmin silloin, kun häiriölähteet eivät ole suoraan master ja slave-laitteiden välissä. Kuvasta 42 voi huomata, kuinka yhteydenmuodostus vaihteli radikaalisti.



Kuva 42. Testit 38–41.

6.8 Toiminta eri kerroksissa

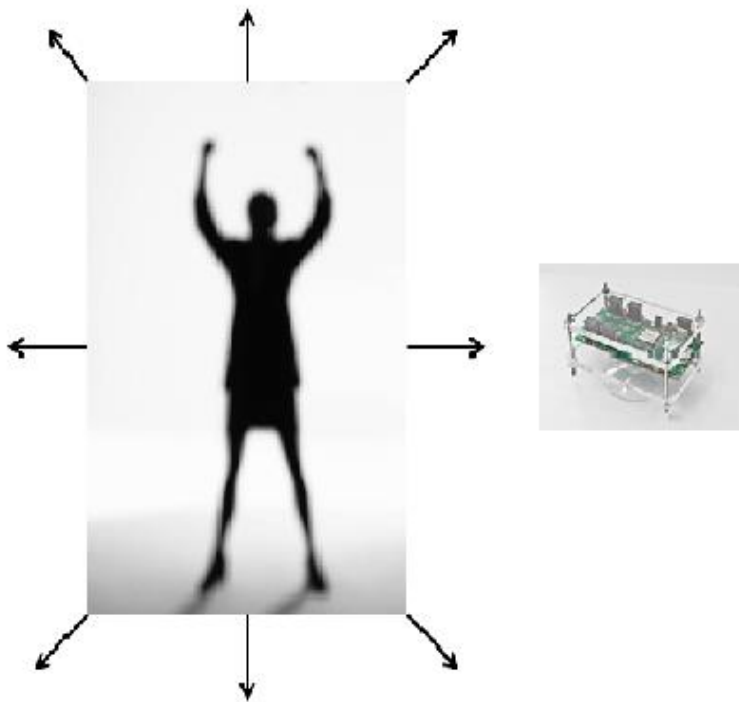
Testeissä 47–50 kokeiltiin, kuinka eri kerroksilla on vaikutusta yhteyden muodostamiseen ja laitteiden toimintaan. Testaus aloitettiin siten, että laitteet olivat eri kerroksissa, noin 3,6 metrin korkeuserolla toisistaan. Testissä 47 slave ja master olivat samoissa kohdissa huoneita, aivan hissien vieressä yhden kerroksen etäisyydellä toisistaan, jolloin korkeusero oli 3,60 metriä ja laite toimi hyvin. Tulosten perusteella kasvatettiin korkeuseroa laitteiden välillä. Testissä 48 korkeutta lisättiin yksi kerros; muuten asetelma pysyi samana. Laitteen toiminta lakkasi välittömästi. Kuvasta 43 voidaan huomata, kuinka tulokset muuttuivat, kun korkeutta lisättiin. Tiedossa oli, että hissi voi vaikuttaa yhteyden muodostamiseen ja koska laite ei toiminut testissä 48, siirrettiin laitteistoa kauemmas hissistä. Testeissä 49 ja 50 slave ja master olivat vähintään 2,00 metrin päässä hissistä, jolloin laitteiden toiminta taas alkoi. Mitä kauemmaksi hissistä masteria ja slavea siirrettiin, sitä paremmin laite vaikutti toimivan. Mittauksilla saatiin varmuus siitä, että hissi vaikuttaa laitteiden toimintaan.



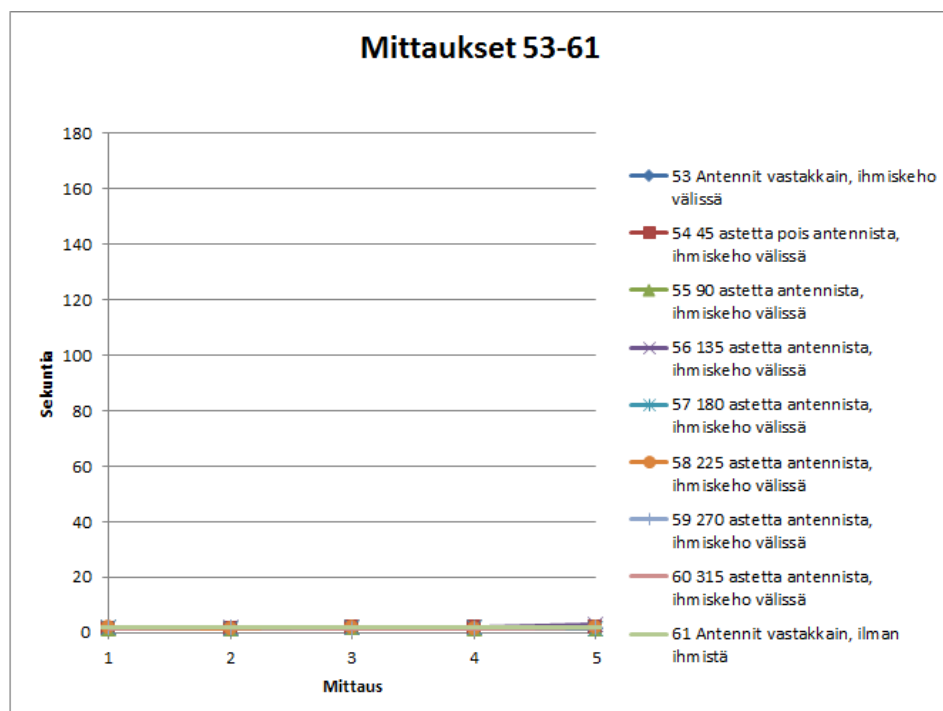
Kuva 43. Testit 47–48.

6.9 Ihmiskehon vaikutus ilman häiriölähteitä

Testeissä 53–61 haluttiin vielä tarkistaa, kuinka ihmiskeholla on vaikutusta yhteyden muodostamiseen. Erona muihin ihmiskeho testeihin oli, että häiriölähteitä ei käytetty ollenkaan. Master oli pöydällä paikallaan ja slave liikkui ihmisen mukana. Testi 53 tehtiin antennit vastakkain metrin etäisyydellä, jonka jälkeen lähdettiin etenemään 45 astetta kerrallaan kierros ympäri (kuva 44). Testissä 61 toistettiin muuten sama kuin testissä 53, mutta ilman ihmiskehoa masterin ja slaven välissä. Tulokset olivat odotettuja, ja yhteys toimi erinomaisesti, kuten kuvasta 45 nähdään.



Kuva 44. Slavea liikuteltiin 45 asteen välein.

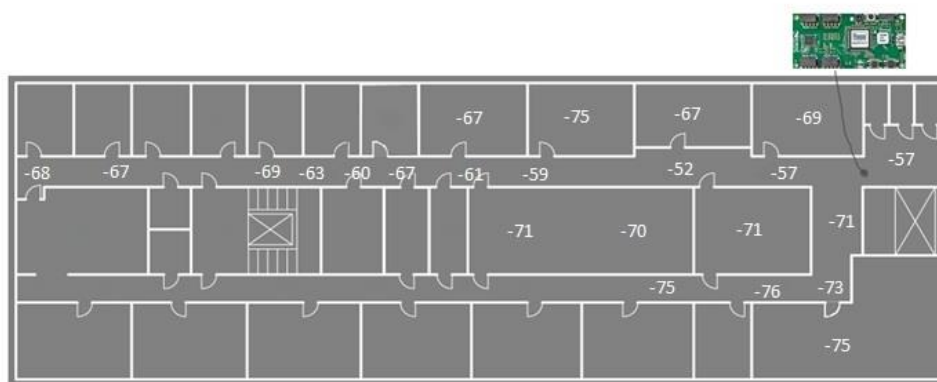


Kuva 45. Testit 53–61.

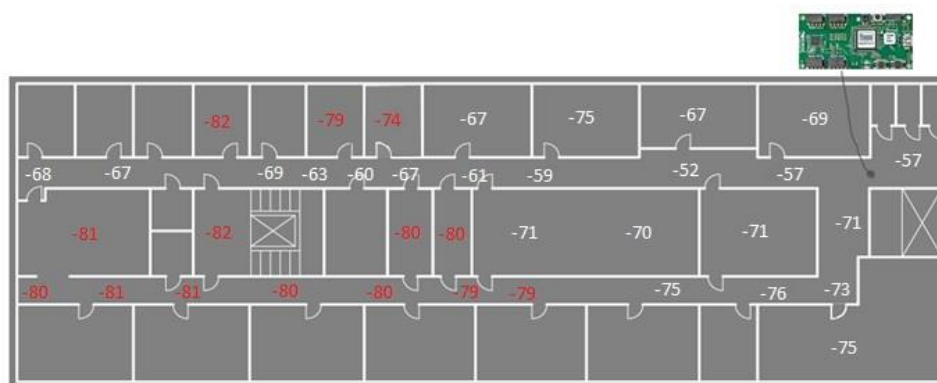
6.10 Kuuluvuuskartta

Kuvassa 46 on esitetty kuuluvuuskartta niillä arvoilla, joissa kuuluvuutta esiintyi. Kuten kuvasta huomataan, kuuluvuus oli parhaimmillaan suoralla käytävällä signaalilähteen edessä tai lähihuoneissa. Kuvassa 47 on esitetty kaikki arvot, valkoisella kuuluvat ja punaisella ne arvot, joissa on ollut liikaa kohinaa eikä signaali ole erottunut selkeästi.

Mittaukset poikkesivat aiemmista, siten että spektrianalysaattorin asetukset oli skaalattu eri tavalla. Signaali näkyi selkeämmin ja oli matalampi kuin aiemmassa mittauksessa.

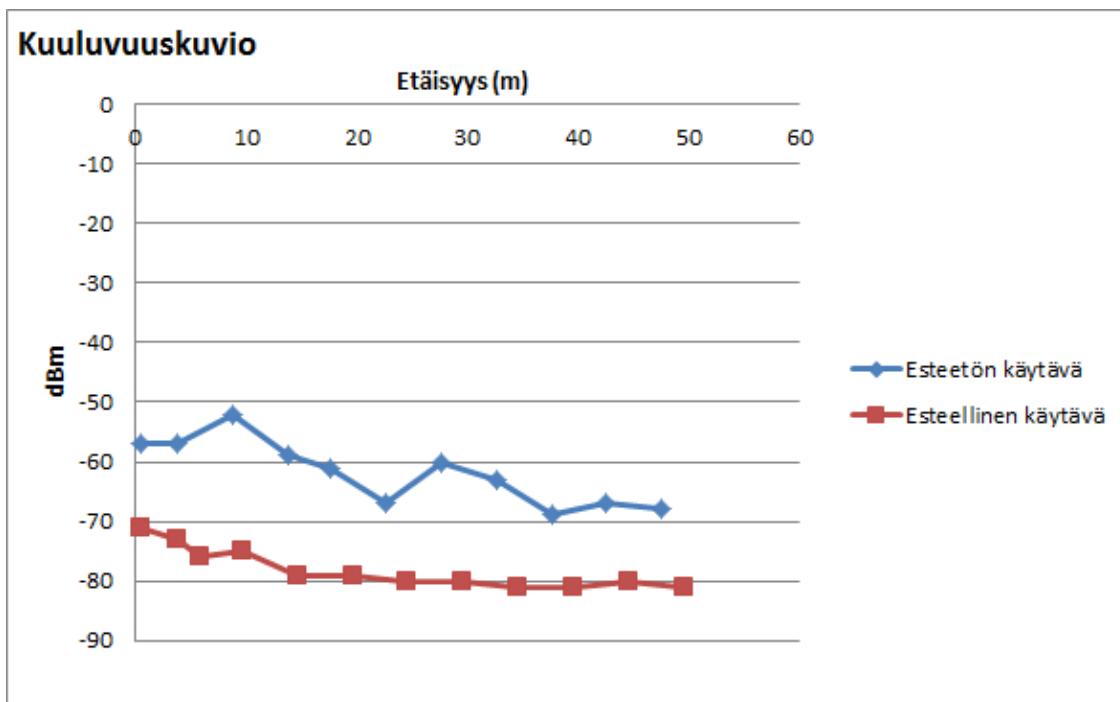


Kuva 46. Kuuluvuuskartta, jossa näkyvät alueet, joissa on kuuluvuutta.



Kuva 47. Kuuluvuuskartta, jossa näkyvät myös ne arvot, jotka eivät kuulu.

Kuvassa 48 on vielä graafinen esitys kuuluvuuskartasta, josta voidaan vielä todeta, että kuuluvuus on selkeästi parempi sillä puolella käytävää, johon signaalin lähde on sijoitettu. Esteettömällä puolella kuuluvuus on huomattavasti parempi. Kuvissa saadut arvot ovat yksikköä dBm.



Kuva 48. Graafinen esitys kuuluvuuskartasta.

6.11 Testien virhearviot

Tuloksissa, joissa tarkastellaan aikoja, tulee huomioida ihmisen reaktioaika sekuntikellon käytössä, joka lisää aikaa muutamalla sekunnin sadasosalla. Ympäristönä ei toiminut kliininen tila, vaan kyseessä oli todellinen käytössä oleva toimistoympäristö, jossa ihmiset liikkuvat vapaasti ja ympäristö sisältää paljon muuta sähköistä liikennettä.

7 Johtopäätökset

Mittauksissa huomattiin, että ympäristö vaikuttaa yhteyden muodostamiseen. Materiaalit rakenteissa, ihmiset ja muut verkot sekä tukiasemat hidastavat yhteyden muodostamista

ja heijastumista on esiintynyt. Mittausten toteuttaminen tapahtui normaalissa toimisto- ympäristössä, joten on otettava huomioon, että mittauslaitteet eivät ole olleet kaukana radioverkkokorteista ja tukiasemista, joten interferenssiä on syntynyt. On myös muistettava, että kapeissa toimiston käytävissä on paljon heijastumisia ja sitä kautta virheitä vastaanottopäässä. Sisätiloissa toiminta voi onnistua esimerkiksi 20 metrin etäisyydellä, muttei 19 metrin etäisyydellä, johtuen heijastumisesta.

Tulokset tiivistettynä ovat, että häiriölähteiden täytyy olla erittäin lähellä joko master- tai slave-laitetta, jotta yhteyden muodostuminen voidaan estää täysin. Bluetooth 4.0 toimii siis melko hyvin, vaikka lähistöllä olisi häiriötekijöitä. Tärkeää on myös muistaa, että erilaisilla materiaaleilla on erilainen vaikutus yhteyden muodostamiseen, mittauksissa esimerkiksi oven rakenteilla, tässä tapauksessa MDF- ja lasiovilla ei näyttänyt olevan vaikutusta masterin ja slaven toimintaan. Tosin oven ollessa metallia tulos olisi täysin toinen. Toisaalta yhteyden muodostuminen hidastui lammputtauksissa, häiriölähteiden ollessa suoraan masterin yläpuolella. Myös ihmiskeholla näytti olevan jonkinlainen vaikutus yhteyden muodostamiseen ja sitä kannattaisi tutkia jatkossa tarkemmin. Pisin mitattu etäisyys, jolla yhteyden muodostus onnistui, oli 59 metriä. Bluetoothin lupaama 50 metriä saavutettiin siis helposti, mutta myös tässä täytyy huomioida, että erilaiset rakenteet, kuten käytävä, ovat voineet edesauttaa yhteyden muodostumista. Viimeisenä havainnointona mittauksista voidaan huomata että häiriölähteiden vaikutus yhteydenmuodostukseen on suurempi silloin, kun häiriölähteet ovat masterin ja slaven välissä.

Hyvinvointiteknologiaa ajatellen on muistettava kuitenkin, että esimerkiksi kuntosaleilla häiriötä aiheuttavia tekijöitä on vähemmän kuin toimistossa. Hyvinvointiteknologiset laitteet ovat yleensä henkilökohtaisessa käytössä ja lähellä ihmiskehoa. Testeissä huomattiin, ettei ihmiskeho vaikuta huomattavasti toimivuuteen, joten Bluetoothin käyttö hyvinvointiteknologiassa on tällöin kannattavaa. Verrattaessa toimistoympäristön verkkoliikennettä kuntosalin verkkoliikenteeseen, voidaan huomata, että BLE soveltuu hyvin kuntosaliympäristöön, joistain laitteista kyseinen ominaisuus löytyykin.

Yleisesti ottaen BLE toimi paremmin kuin mitä aluksi odotettiin. Esimerkiksi pisin etäisyys osoittautui pidemmäksi, kuin mitä Bluetooth on ilmoittanut. BLE soveltuu hyvin käytettäväksi hyvinvointiteknologiassa. Kuluneen vuoden aikana BLE:n käyttö hyvinvointitekniikan laitteissa on lisääntynyt huomattavasti.

Lähteet

- 1 Haapala Juha – Bluetooth käytäntöä ja teoriaa. Turku 2004: Turun kaupungin painatuspalvelut.
- 2 Metropolia tutkimus ja kehitys. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.metropolia.fi/tutkimus-ja-kehitys/hankkeet/teollinen-tuotanto/peoplenearme/>> Luettu 11.4.2013.
- 3 Geier Jim - Langattomat verkot. Helsinki 2005: Edita Prima Oy.
- 4 Granlund Kaj - Langaton tiedonsiirto. 1.painos. Helsinki 2001: WSOY.
- 5 Thomas - Verkkojen tietoturva. 2005.
- 6 Sipilä Markku. 2002. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2146.pdf>>. Luettu 18.8.2013
- 7 Tamminen Erja - Langaton teknologia ja terveys. Järvenpää 2011: HouseProtector.
- 8 International Journal of Applied Engineering Research. 2012. Verkkodokumentti. <http://gimt.edu.in/client-Files/FILE_REPO/2012/NOV/23/1353645362045/69.pdf>. Luettu 3.6.2013.
- 9 Kotilainen Samuli. 2006. Verkkodokumentti. <http://www.tietokone.fi/uutiset/2006/nokian_wibree_liittaa_kellot_ja_pienlaitteet_kannykoihin>. Luettu 6.6.2013.
- 10 Kontio, Tervo, Jääskeläinen, Arokoski, Vierimaa, Raatikainen ja Köykkä - Mobicellitekniikat. 1.painos. Helsinki 2002: Edita Prima Oy.
- 11 Bluetooth. Verkkodokumentti. <<http://www.bluetooth.com/Pages/Sports.aspx>>. Luettu 18.4.2013.
- 12 Deloitte internetsivut. <http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Shared%20Assets/Documents/TMT%20Predictions%202013%20PDFs/dttl_TMT_Predictions2013_Final.pdf>. Luettu 18.8.2013
- 13 Zigbee. Verkkodokumentti. <<http://www.zigbee.org/>>. Luettu 18.8.2013

- 14 RFID Lab Finland ry. Verkkodokumentti. <<http://www.rfidlab.fi/rfid-tietoutta>>. Luettu 10.9.2013
- 15 Klinikum Saarbrücken: RFID-Pilotprojekt jetzt mit Blutkonserven. <<http://www.medizin-edv.de/modules/AMS/article.php?storyid=538>> Luettu 10.9.2013.
- 16 Säteilyturvallisuuskeskus. 2013. Verkkodokumentti. STUK. <http://www.stuk.fi/stuk/tiedotteet/2011/fi_FI/news_692/>. Luettu 14.5.2013
- 17 Bluetooth SIG. 2013. Verkkodokumentti. <www.bluetooth.com/Pages/low-energy.aspx>. Luettu 17.4.2013.
- 18 Lukkari Jukka. 2006. Verkkodokumentti. <<http://www.tekniikkatalous.fi/incoming/korvaako+wibree+bluetoothin/a33885>>. Luettu 6.6.2013
- 19 Heinonen Ulla - Sähköinen yhteisöllisyys. Luettu 18.4.2013.
- 20 Ojanperä Veijo. 2011. Verkkodokumentti. <http://www.tietokone.fi/uutiset/lifi_tulee_valo_vilkkuu_ja_data_siirtyy>. Luettu 3.6.2013.
- 21 Bluetooth 4.0: Low Energy. 2010. Verkkodokumentti. <<http://chapters.com-soc.org/vancouver/BTLER3.pdf>>. Luettu 17.4.2013.
- 22 Nordic Semiconductorin internetsivut. <<http://www.nordicsemi.com/chi/Products/Bluetooth-R-low-energy/nRF51822-Evaluation-Kit>>. Luettu 20.3.2013.
- 23 Bluetooth Serial Port Adapter Security. 2011. Verkkodokumentti. <<http://support.connectblue.com/display/PRODBTSPA/Bluetooth+Serial+Port+Adapter+Security>>. Luettu 17.4.2013.
- 24 Specification of the Bluetooth system, Covered Core Package version 4.0, 30.6.2010. Vol 1.
- 25 Bluetooth SIG. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.bluetooth.com/Pages/polar-testimonial.aspx>>. Luettu 21.3.2013.
- 26 Von Weissenberg Minna. Älykoti: Mukavuutta napin painalluksella! Verkkodokumentti. <<http://www.suomela.fi/Arkisto/Kodinelektronikka/Alykoti/Alykoti-Mukavuutta-napin-painalluksella-49869>>. Luettu 10.6.2013.
- 27 Tietoverkot oppivassa organisaatiossa. 2002. Verkkodokumentti. <<http://users.jyu.fi/~atsoukka/pub/alykoti/alykoti.html>>. Luettu 10.6.2013.

- 28 Kakko Kaisa. Tulevaisuuden lääketiedettä – mikrosiruja ja mobiiliteknologiaa? 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.terve.fi/terveydenhuolto/tulevaisuuden-laaketiedetta-mikrosiruja-ja-mobiiliteknologiaa>>. Luettu 10.6.2013.
- 29 Säteilyturvallisuuskeskus. 2013. Verkkodokumentti. STUK. <http://www.stuk.fi/stuk/tiedotteet/2011/fi_FI/news_692/>. Luettu 14.5.2013
- 30 Säteilyturvallisuuskeskuksen internetsivut. <http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset_files/12222632510030893/default/ionisoimaton_sateily.pdf>. Luettu 14.5.2013.
- 31 WLAN. Verkkodokumentti. <http://www.tol.oulu.fi/users/ari.vesanen/Langan_TT/luennot/wlan/Wlan.html>. Luettu 8.4.2013.
- 32 Bluetooth. Verkkodokumentti. <<http://www.bluetooth.com/Pages/Medical.aspx>>. Luettu 18.4.2013.
- 33 Vivagon internetsivut. <<http://www.vivago.fi/>>. Luettu 20.5.2013
- 34 VTT. Verkkodokumentti. <http://www.vtt.fi/news/2013/16052013_beat2phone.jsp>. Luettu 18.5.2013.
- 35 Nuotio Jarmo. 2013. Verkkodokumentti. <http://yle.fi/uutiset/kuntokannyykka_on_valmis_maailmanvalloitukseen/6664394>. Luettu 10.6.2013.
- 36 Polarin internetsivut. <<http://www.polar.com/fi>>. Luettu 4.6.2013.
- 37 Kotilainen Samuli. 2007. Verkkodokumentti. <http://www.tietokone.fi/uutiset/2007/nintendo_wii_ylattaa_laihdutuskeinona>. Luettu 20.5.2013.
- 38 PlayStation Move -liikeohjain julkistettu. 2010. Verkkodokumentti. <<http://fi.playstation.com/ps3/news/articles/detail/item268788/PlayStation-Move-liikeohjain-julkistettu/>>. Luettu 20.5.2013.
- 39 Low-cost, low-power, wireless networking for device monitoring and control. Verkkodokumentti. <<http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>>. Luettu 18.9.2013
- 40 VTT internetsivut. <<http://www.vtt.fi/>>. Luettu 18.5.2013
- 41 Kytölä Anne. Älykoti: Tekniikkaa toiveiden mukaan. Verkkodokumentti. <<http://www.suomela.fi/Arkisto/Kodinelektronikka/Alykoti/Alykoti-Tekniikkaa-toiveiden-mukaan--49868>>. Luettu 10.6.2013.
- 42 Fitbit. Verkkodokumentti. <<http://www.fitbit.com/flex>>. Luettu 23.5.2013.

- 43 H7 heart rate sensor. Verkkodokumentti. <http://www.polar.com/en/products/accessories/H7_heart_rate_sensor>. Luettu 4.6.2013.
- 44 Nintendo Wii -internetsivut. <<http://www.nintendo.fi/wii/>>. Luettu 23.5.2013
- 45 Lehto Tero. 2011. Verkkodokumentti. <http://www.tietokone.fi/uutiset/suomalainen_sports_tracker_sai_parannellun_sykemittarin> Luettu 28.5.2013.
- 46 Sports Tracker HRM2 sykeyö. Verkkodokumentti. <<http://shop.sports-tracker.com/heart-rate-monitor-2.html>>. Luettu 28.5.2013.
- 47 Connecting Bluetooth Smart fitness devices to smartphones. Verkkodokumentti. <<http://www.bluetooth.com/Pages/Wahoo-Fitness-testimonial.aspx>>. Luettu 21.3.2013.
- 48 Säteilyturvallisuuskeskus. 2013. Verkkodokumentti. STUK. <http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset/_files/87327465798369328/default/radioaallot-ymparistossamme_tammikuu2009.pdf>. Luettu 14.5.2013.
- 49 Clere internetsivusto. <<http://www.clere.com/pdf/data-0146.pdf>>. Luettu 26.3.2013.
- 50 Bluetooth Low Energy Serial Port Adapter - Getting Started. 2013. Verkkodokumentti. <<http://support.connectblue.com/display/PRODBTSPA/Bluetooth+Low+Energy+Serial+Port+Adapter+-+Getting+Started>>. Luettu 22.4.2013.