

Mika Lojander

SensorTag-anturipakan käyttö lintujen pesinnän seurannassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

08.12.2017

Tekijä Otsikko	Mika Lojander SensorTag-anturipakan käyttö lintujen pesinnän seurannassa.
Sivumäärä Aika	46 sivua + 3 liitettä 08.12.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Elektroniikka
Ohjaaja	Yliopettaja, Matti Fischer
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli testata Texas Instrumentin valmistaman SensorTag CC2650STK -kehitysalustan ominaisuuksia ja soveltuvuutta lintujen pesinnän seurantaan linnunpöntössä.</p> <p>SensorTagille tehtävissä mittauksissa mitattiin Bluetooth-signaalin säteilykuviota, signaalin vaimenemista etäisyyden mukaan ja väliaineen vaikutusta, sekä pariston kulutusta. Säteilykuvio ja väliaineen vaikutusmittaukset tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadun toimipisteen kaiuttomassa huoneessa. Mittalaitteina käytettiin kahta mobiililaitetta, joihin oli asennettu Bluetooth-signaalin tehon mittaukseen tarkoitettut applikaatiot. Mittaustilanteessa SensorTag asetettiin parinmuodostustilaan ja signaalin teho katsottiin mobiililaitteesta. Etäisyyden vaikutusta mitattiin ulkona ja pariston kestoa mitattiin Albertinkadun toimipisteen laboratoriossa.</p> <p>SensorTagin käyttöä linnunpöntössä tutkittiin laitteen käyttöä, asennuksen ja käytön helppouden kannalta.</p> <p>Bluetooth-yhteydelle tehdyistä mittauksista saadut tulokset vastasivat teoreettisesti lasketuja tuloksia kohtuullisen hyvin. Pariston kestoikää mitattaessa havaittiin, että laitteelle luvattu jopa vuoden käyttöikä on vain teoreettinen ja jatkuvassa maksimikuormassa käyttöikä on todellisuudessa päiviä.</p> <p>Käyttö linnunpöntössä sellaisenaan on mahdollista, vaikkakaan ei välttämättä mielekästä. Koska laite ei tallenna tietoja sisäisesti, vaan vain pilvipalveluun, on SensorTag yhdistettävä internetiin tiedon tallentamista varten. Tällöin laitteen on oltava koko ajan päällä ja käyttöikä lyhenee. SensorTag vaatii fyysisen napin painalluksen siirtyäkseen parinmuodostustilaan, jolloin se on myös sijoitettava kosketusetäisyydelle.</p>	
Avainsanat	SensorTag, CC2650, Bluetooth

Author Title	Mika Lojander Using SensorTag sensor package to monitor bird nesting
Number of Pages Date	46 pages + 3 appendices 8 th of December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Professional Major	Electronics
Instructor	Matti Fischer, Principal lecturer
<p>In this study the goal was to test the properties and the suitability of the Texas Instruments SensorTag CC2650STK development platform to monitor bird nesting in a birdhouse.</p> <p>In the measurements made to the SensorTags, Bluetooth signal, measurements concerning the radiation pattern, the signal attenuation by distance and medium, and the battery consumption measurement were carried out. Radiation pattern- and the effect of medium measurements were carried out in Metropolia University of Applied Sciences anechoic chamber at Albertinkatu. Two mobile devices with Bluetooth signal power measurement applications were used as measuring devices. Measurements were made so that SensorTag was set to pairing mode and signal power was viewed from the mobile device. The effect of the distance was measured outside, and the duration of the battery was measured in a laboratory situated at Albertinkatu.</p> <p>The use of SensorTag in a birdhouse was considered by how easy it is to install, how long battery life it has and how easy to use the device is.</p> <p>The measured results for the Bluetooth connection corresponded reasonably well with the calculated theoretical results. When measuring the battery life, it was found that the promised battery life of up to one year for the device is only theoretical and the lifetime of the continuous load is only days.</p> <p>It is possible to use the device in a birdhouse as it is, but it is not necessarily meaningful. SensorTag needs to be connected to internet to save the data, since the device stores data only to cloud data storages and not to itself. Because of this, the device must be constantly on and that shortens the battery life. SensorTag requires a push of a physical button to go to the pairing mode, and therefore it must also be placed so that it can be reached.</p>	
Keywords	SensorTag, CC2650, Bluetooth

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lintujen pesintä Suomessa	2
3	Radioaallot	4
4	Bluetooth	9
4.1	Versiot	9
4.2	Toimintaperiaate	10
4.3	Bluetooth Low Energy	15
5	SensorTag CC2650	19
5.1	Käyttöönotto	19
5.2	SensorTag CC2650STK:n osat	22
5.3	Anturit	23
6	SensorTagin testaus	26
6.1	Testiympäristö ja laitteet	26
6.2	Säteilykuvion mittaus	27
6.3	Etäisyyden vaikutus signaalitehoon	31
6.4	Väliaineen läpäisykyky	32
6.5	Virrankulutus	34
6.6	SensorTagin toimivuus ulkona	35
7	SensorTagin käyttö linnunpöntössä	38
8	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Linnunpönttömallit ja mitoitukset	
	Liite 2. Ripustuskorkeudet ja ympäristöt	
	Liite 3. SensorTag CC2650STK pikakäyttöohjeet	

Lyhenteet

AFH	Adaptive Frequency Hopping. Mukautuva taajuushyppely.
BLE	Bluetooth Low Energy. Vähän energiaa kuluttava tiedonsiirtotekniikka.
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique. Osa kansainvälistä televiestintäliittoa.
IOT	Internet of Things. Esineiden internet.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisointijärjestö.
ISPS	Internet Protocol Support Profile. Protokolla, jonka avulla laitteet voivat kommunikoida keskenään.
LLC	Logical Link Control. Hoitaa kaikille lähiverkoille yhteiset toiminnot osana siirtoyhteyskerrosta.
MAC	Medium Access Control. Hoitaa lähiverkko kohtaiset toiminnot osana siirtoyhteyskerrosta.
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems. Mikrosysteemi on mikrometrin kokoluokkaa oleva laite, jossa yhdistyy eri toimintoja.
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model. Malli, joka kuvaa tiedonsiirron protokollat seisemässä eri kerroksessa.
RSSI	Received signal Strength Indicator. Vastaanotetun signaalin voimakkuuden ilmaisin
SIG	Special Interest Group. Järjestöjä tai ryhmittymiä, joilla on jaettu kiinnostuksen kohde ja halu kehittää sen eri osa alueita.
SSP	Secure Simple Pairing. Bluetoothin parinmuodostus protokolla.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on testata Teksas Instrumentin valmistaman CC2650STK SimpleLink SensorTag Development Kit:n ominaisuuksia ja soveltuvuutta lintujen pesinnän seuraamiseen linnunpöntössä. Linnunpöntön sisällä olevien olosuhteiden tietäminen ja seuraaminen antaisi arvokasta tietoa lintujen pesintää ajatellen. SensorTagissa olevien anturien avulla linnunpöntön sisäisistä olosuhteista voisi saada paljon tietoa pesinnän aikana. Tästä tiedosta voitaisiin päätellä pesinnän onnistumiseen tai epäonnistumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Testimittaukset suoritetaan Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadulla sijaitsevan toimipisteen kaiuttomassa huoneessa. Kaiuton huone on tila, johon elektromagneettinen säteily ei pääse ja sisällä oleva säteily ei heijastu huoneen materiaaleista. Huoneen pinnat on päällystetty säteilyä imevällä aineella, joka on yleensä pyramidien muodossa. Pyramidien terävät kärjet estävät signaalia heijastumasta ja signaali imeytyy aineeseen pikkuhiljaa pyramidin leventyessä.

Mittauksien lisäksi testataan jo olemassa olevien mobiili- ja pilvipalvelu-aplikaatioiden käyttöä ja soveltuvuutta lintujen pesinnän tarkkailuun.

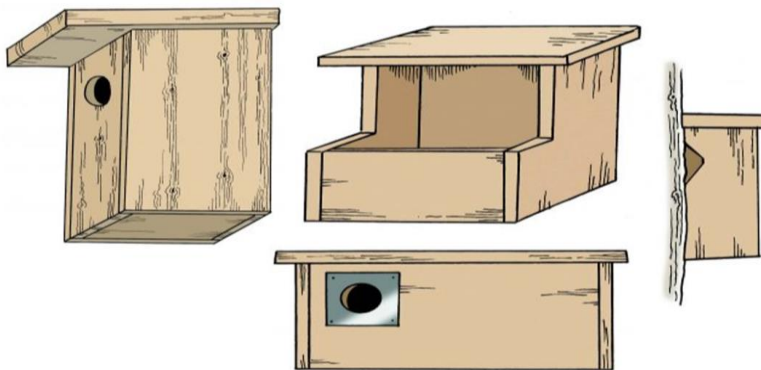
2 Lintujen pesintä Suomessa

Suomessa on 471 eri lintulajia, joista seitsemää ei ole tavattu 1950-luvun jälkeen ja viisi lajeista on istutettu. Lajilistaa ylläpitää BirdLife Suomi, joka on osa BirdLife Internationalia, yhtä maailman suurimmista ympäristöjärjestöistä. BirdLifen tarkoituksena on suojella lintuja, niiden elinympäristöä, yleistä luonnon monimuotoisuutta ja edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. BirdLife Suomella on yli 30 jäsenyhdistystä ja yli 13 000 jäsentä. [1; 2; 3.]

Lintujen pesinnän aloitus riippuu lajista ja säästä. Leutona talvena jotkut linnut voivat aloittaa pesinnän heti vuodenvaihteen jälkeen, kun taas kylmänä talvena pesintä voi siirtyä pitkälle kevääseen. Suomessa lintujen yleisin pesinnän aloitus sijoittuu kuitenkin huhtikuun tienoille ja kestää heinä-elokuulle asti. Suomessa linnuilla on pesimärauhoidusaika, jolloin edes rauhoittamattomien lintujen pesintää ei saa häiritä. Rauhoitusajat vaihtelevat lintulajin mukaan, mutta kaikkien lintujen pesintä on rauhoitettua 1.5.–31.7. välisen ajan [2; 3; 4.]

Linnunpönttö

Suomessa esiintyvillä kolopesijöillä on jatkuva pula pesintäpaikoista, joten linnunpöntön ripustaminen auttaa linnuston säilyttämisessä. Linnunpönttöihin pesii Suomessa hyvin paljon erilaisia lintuja, joten myös pönttöjä on paljon erilaisia. Kuvassa 1 on yleisimmät pönttömallit ja liitteessä 1 on näiden mallien soveltuvuus ja kokotaulukko yleisimmille lintulajeille.



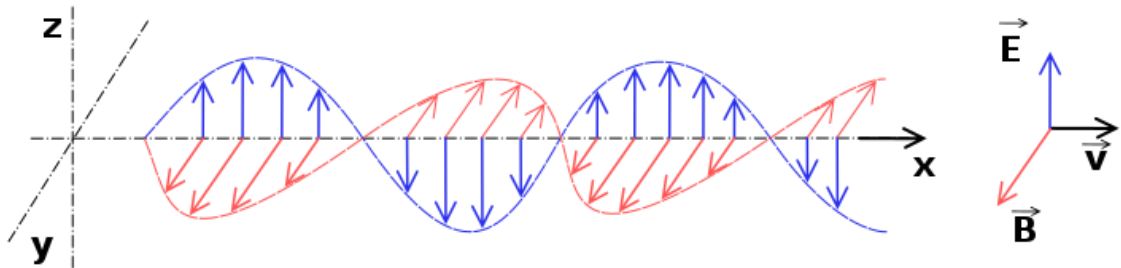
Kuva 1. Yleisimmät linnunpönttömallit. Peruspönttö pysty ja vaaka, avopönttö ja puukiipijän pönttö [5].

Tärkeimmät mitat linnunpöntössä ovat lentoaukon läpimitta ja pöntön sisämitta. Etenkin pienille linnuille tarkoitetun pöntön lentoaukko ei saa olla liian suuri, jotta pedot eivät pääse pönttöön. Pesimäpöntöistä on myös pulaa, joten lentoaukon ollessa liian suuri voi isompi lintulaji vallata pöntön. Muita huomioitavia ominaisuuksia pöntössä on lentoaukon metallinen suojuus, joka estää aukon suurentamista ja pöntön pohjalle laitettava sahanpuru tai turve, johon lintu voi munia. [5.]

Linnunpöntön voi ripustaa mihin vuodenaikaan tahansa ja käytännössä minne vain. Muutamalla lintulajilla on vahva pesän puolustusvietti, kuten viirupöllöllä, joten näiden pönttöjä ei tulisi sijoittaa pihapiiriin. Linnunpönttö tulisi ripustaa sinkkityllä rautalangalla tukevasti, jottei se heiluisi edes myrskytuulissa. Eri lajien pönttöjä voi ripustaa hyvinkin lähelle toisiaan ja, jos ei ole huolta ilkivallasta, voi suurimman osan pesistä ripustaa kurkotuskorkeudelle. Liitteessä 2 on suositeltuja ripustuskorkeuksia ja ympäristöjä, joillekin yleisimmistä lintulajeista. [6; 7.]

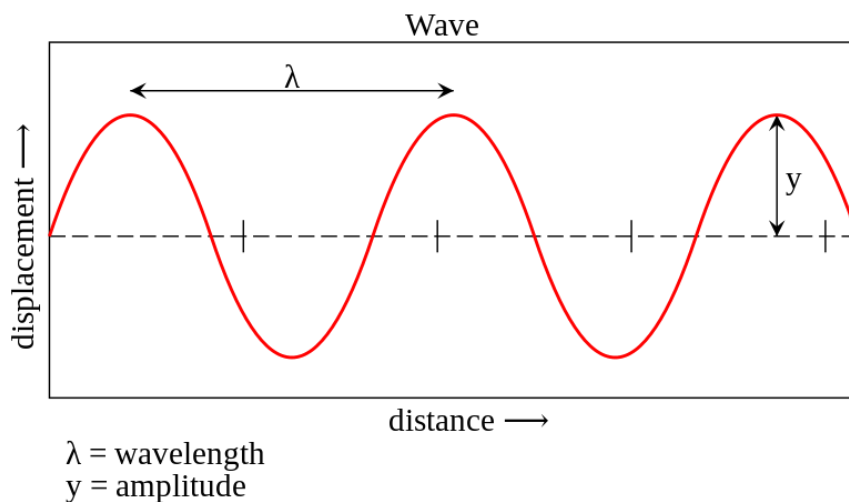
3 Radioaallot

Radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, joka aaltoilee poikittaissuunnassa. Aallon edetessä sähkö- ja magneettikenttä sykkivät kohtisuorassa toisiaan ja menosuuntaa kohti. [8, s.9.] Kuvassa 2 näkyy sähkömagneettisen aallon eteneminen.



Kuva 2. Sähkömagneettisen aallon eteneminen [9].

Aallonpituus kertoo, kuinka pitkän matkan aalto kulkee yhden jakson aikana. Kuvassa 3 näkyvässä aallossa symboli λ kuvaa aallonpituutta ja y amplitudia. Taajuus tulee siitä, kuinka monta kertaa aalto ehtii toistua tai kulkea pituutensa sekunnissa ja sen yksikkö on Hz. Amplitudi taas kertoo aallon voimakkuuden referenssipisteeseen nähden. [8, s. 9–10.]



Kuva 3. Aallonpituus ja amplitudi [10].

Radioaaltojen taajuusalue on 30 Hz–300 GHz. Taajuusalue on jaettu taulukon 1 mukaisesti alueisiin erittäin matalista erittäin korkeisiin taajuuksiin. [8, s. 9–11.]

Taulukko 1. Radiotaajuudet jaettuna alueisiin [11].

f	λ	Band	Description
30–300 Hz	10^4 – 10^3 km	ELF	Extremely low frequency
300–3000 Hz	10^3 – 10^2 km	VF	Voice frequency
3–30 kHz	100–10 km	VLF	Very low frequency
30–300 kHz	10–1 km	LF	Low frequency
0.3–3 MHz	1–0.1 km	MF	Medium frequency
3–30 MHz	100–10 m	HF	High frequency
30–300 MHz	10–1 m	VHF	Very high frequency
300–3000 MHz	100–10 cm	UHF	Ultra-high frequency
3–30 GHz	10–1 cm	SHF	Superhigh frequency
30–300 GHz	10–1 mm	EHF	Extremely high frequency (millimeter waves)

Radioaallot kulkevat tyhjiössä valon nopeudella vaimentumatta, mutta hidastuvat ja alkavat vaimentua osuessaan väliaineeseen kuten ilmaan. Radioaaltojen etenemistä vaimentavia tekijöitä ovat heijastuminen, taipuminen, polarisaation muutos, diffraktio ja imeytyminen. [8, s. 9; 12.]

Vapaan tilan vaimennus

Harald T. Friis keksi yhtälön 1, jolla voidaan laskea lähetettävään antenniin syötetyn tehon ja vastaanottavan antennin ulostulon tehon suhde käyttämällä antennien kokoja hyödyksi. P_t on lähetettävään antenniin syötetty teho, P_r on vastaanottavan antennin ulostulossa oleva teho, A_t on lähetävän antennin koko, A_r on vastaanottavan antennin koko, d on antennien välinen etäisyys ja λ on aallonpituus. [13; 14.]

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{A_t A_r}{d^2 \lambda^2} \right) \quad (1)$$

Tämä yhtälö voidaan kirjoittaa uudelleen yhtälöksi 2, käyttäen antennien suuntaavuusarvoja.

$$\frac{P_r}{P_t} = D_t D_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

D_t ja D_r ovat antennien suuntaavuudet. Yhtälöstä saadaan vapaan tilan vaimennusyhtälö 3, kun pidetään antennia isotrooppisina ja vaimennusta vahvistuksen vastakohdaksi.

$$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (3)$$

Jos tulos halutaan saada desibeleinä, huomioidaan, että aallonpituus on aallon nopeus jaettuna taajuudella. Aallon nopeus ilmassa on hyvin lähellä valonnopeutta tyhjiössä, joten nopeutena voidaan käyttää tätä. Yhtälössä 4 f on taajuus ja c on valonnopeus 299 792 458 m/s. [13; 14.]

$$20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (4)$$

Vaimennus väliaineessa

Radioaaltojen vaimennukseen väliaineessa vaikuttaa väliaineen permittiivisyys ϵ ja permeabiliteetti μ . Permittiivisyys yhtälössä 5 kertoo, miten väliaine vaikuttaa sähkökentän etenemiseen ja sen yksikkö on faradia per metri F/m. Suhteellinen permittiivisyys ϵ_r yhtälössä 6, kertoo väliaineen permittiivisyyden suhteen tyhjiön permittiivisyyteen ϵ_0 , jonka arvo on $8,854187817 \cdot 10^{-12}$ F/m. [15, s. 21.]

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r \quad (5)$$

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} \quad (6)$$

Permeabiliteetti μ yhtälössä 7 kuvaa, miten väliaine käyttäytyy kohdatessaan magneettikentän ja sen yksikkö on henryä per metri H/m. Suhteellinen permeabiliteetti μ_r kuvaa aineen permeabiliteetin suhdetta tyhjiön permeabiliteettiin μ_0 , jonka arvo on $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m. [15, s. 21.]

$$\mu = \mu_0 * \mu_r \quad (7)$$

Aaltoluku k kuvaa aallon etenemissuuntaa ja sen pituus on vapaassa tilassa [16, s. 15–18.]

$$k = \omega \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r} \quad (8)$$

Jossa kulmataajuus ω on yhtälön 9 mukaisesti.

$$2 * \pi * f \quad (9)$$

Dielektrinen häviökerroin $\tan\delta$ on yhtälön 10 mukaisesti, permittiivisyyden imaginääriosan ja reaaliosan suhdetta kuvaava luku.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (10)$$

Etenemiskerroin γ kertoo yhtälön 11 mukaisesti aallon amplitudin ja vaiheen muutoksen aallon edetessä.

$$\gamma = j\omega \sqrt{\mu \epsilon'} * \sqrt{1 - j \frac{\epsilon''}{\epsilon'}} = j\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r' - j \epsilon_r'' - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}} \quad (11)$$

Etenemiskerroin voidaan ilmoittaa myös yhtälön 12 mukaan, jossa α on vaimennuskero ja β vaihekerroin.

$$\gamma = jk = \alpha + j\beta \quad (12)$$

Vaimennus L saadaan laskettua tästä käyttäen vaimennuskeroa ja aineen pakkuutta d , kuten kaavassa 13.

$$L = e^{-\alpha d} \quad (13)$$

Yhtälössä 14 näkyvä heijastuskertoimen ρ kertoo, kuinka paljon signaalin tehosta heijastuu takaisin sen osuessa väliaineeseen. Heijastuskertoimen ollessa 1 signaali heijastuu kokonaisuudessaan takaisin ja kertoimen ollessa 0 väliaine ei heijasta signaalia ollenkaan. [14, s. 28–29.]

$$\rho = \frac{\eta_0 - \eta_l}{\eta_0 + \eta_l} \quad (14)$$

Yhtälöissä 15 ja 16 η_0 on tyhjiön impedanssi ja η_l on väliaineen impedanssi. [14, s. 25; 16.]

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx 377 \, \Omega \quad (15)$$

$$\eta_l = \frac{\eta_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (16)$$

4 Bluetooth

Vuonna 1994 Ericsson aloitti tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli löytää halpa ja vähän energiaa kuluttava langaton tiedonsiirtomuoto tietokoneen ja matkapuhelimen välille. Vuonna 1997 Ericsson otti kehitykseen mukaan neljä suurta tekniikka-alan yritystä, jotka olivat Nokia, IBM, Intel ja Toshiba. Tarkoituksena oli luoda avoin lyhyen matkan radioteknologia, joka korvaisi kaapeloinnin laitteiden välillä. Yrityksien muodostamaa ryhmittymää alettiin kutsua Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth SIG on kansainvälinen voittoa tavoittelematon yritys, joka valvoo Bluetooth-standardeja, -lisenssejä ja -tavaramerkkiä. Bluetooth SIG:llä on yli 30 000 jäsenyritystä, ja määrä kasvaa koko ajan. [18, s. 325; 19.]

4.1 Versiot

Versio 1.0 julkaistiin vuonna 1998, ja sillä pystyttiin siirtämään tietoa useiden metrien päähän. Versiossa oli kuitenkin erittäin paljon virheitä, ja se korvattiin pian versiolla 1.1. Versiossa 1.2 tiedonsiirtonopeus oli jopa 721 kbit/s ja siinä esiteltiin taajuushyppely AFH (Adaptive Frequency Hopping). [18, s. 325; 20.]

Versio 2.0 julkaistiin vuonna 2004, ja sen tärkein parannus oli EDR (Enhanced Data Rate) -teknologian mahdollistama teoreettinen 3 Mbit/s tiedonsiirto. Versio 2.1 julkaistiin vuonna 2007, ja sen tärkeimpiä ominaisuuksia oli SSP-tekniikka, joka helpotti yhteyksien muodostamista ja paransi yhteyksien tietoturvasuutta. Tämän version mukana tuli myös EIR (Extended Inquiry Response), mikä mahdollisti lisätiedon antamisen, kun laite vastaa kutsuun. Tätä tietoa voi esimerkiksi olla laitteen nimi tai RSSI (Received Signal Strength Indicator). Versio 2.1 kulutti myös energiaa huomattavan paljon vähemmän kuin versio 2.0. [18, s. 325; 20; 21.]

Versio 3.0 ilmestyi 2009, ja se mahdollisti teoreettisesti jopa 24 Mbit/s tiedonsiirron laitteiden välillä. Tiedonsiirto ei kuitenkaan tapahdu Bluetoothin välityksellä, vaan Bluetooth luo yhteyden laitteiden välille ja tiedonsiirto tapahtuu 802.11 WLAN yhteyden kautta. [20; 21.]

Versio 4.0 julkaistiin 2010, ja siinä oli mukana Classic Bluetooth-, Bluetooth high speed- ja BLE (Bluetooth low energy) -protokollat. Bluetooth low energy -protokolla on tarkoitettu

käytettäväksi laitteiden kanssa, joilla on pieni energiankulutus. Versio 4.1 julkaistiin vuonna 2013. Tämä versio oli täysin ohjelmistollinen päivitys, ja se toi parannuksia käytettävyyteen ja mahdollisti IPv6 käytön. Versio 4.2 julkaistiin vuonna 2014, ja se toi päivityksiä käytettävyyteen ja turvallisuuteen. Versio 4.2 toi IOT (Internet of Things) -ominaisuuksia kuten ISPS (Internet Protocol Support Profile) -protokollan, joka mahdollistaa Bluetooth smart-laitteiden yhdistämisen suoraan internettiin. [20; 21.]

Versio 5.0 Julkaistiin 2016, ja sen uudet ominaisuudet painottuvat IOT-tekniikan luomisiin mahdollisuuksiin. Version 5.0 tuomia parannuksia ovat parantunut tiedonsiirron nopeus, etäisyys ja pienempi energiankulutus. [20; 21.]

4.2 Toimintaperiaate

1970-luvun lopussa ISO (International Organization for Standardization) ja CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) molemmat kehittivät itsenäisesti omaa tietoliikennemallia, ja vuonna 1983 nämä mallit yhdistettiin ja saatiin OSI (Open Systems Interconnection Reference Model) -malli. OSI-arkkitehtuurissa tietoliikennejärjestelmän toiminnot on jaettu kerroksiin, ja ideana on, että jokainen kerros luo palveluja seuraavalle kerrokselle hyödyntämällä alemman kerroksen palveluita. Kuvassa 4 on esitetty OSI-mallin kerrokset. [18, s. 7; 22.]



Kuva 4. OSI-mallin kerrokset [22].

OSI-malli muodostuu seitsemästä eri kerroksesta. Kerroksien määrittelyssä on käytetty vaatimuksina esimerkiksi seuraavia määritelmiä:

- Kerrosten lukumäärä pysyy helposti käsiteltävänä.
- Yhdessä kerroksessa on yhden tyyppisiä toimintoja ja tekniikoita.
- Jokainen kerros liittyy vain alempaan ja ylempään kerrokseen.
- Kerrokseen voi tehdä muutoksia ilman, että se vaikuttaa ylä- tai alapuolella olevaan kerrokseen. [18, s. 7.]

Fyysinen kerros on tietoliikenteen näkyvin osa, ja se määrittelee tiedonsiirron fyysiset ominaisuudet, kuten kaapeloinnin ja jännitetason. Fyysinen kerros muuttaa siirrettävän tiedon radiosignaaleiksi, valoksi tai sähköimpulsseiksi ja takaisin tiedoksi yksi bitti kerrallaan. [18, s. 8.]

Siirtokerros jakautuu kahteen alakerrokseen MAC (Medium Access Control)- ja LLC (Logical Link Control) -kerrokseen. MAC-kerros pitää huolta kahden pisteen välisestä yhteydestä. LLC korjaa fyysisellä kerroksella tapahtuneita virheitä ja rajoittaa fyysiselle kerrokselle annettavan tiedon määrän sopivaksi. [18, s. 8.]

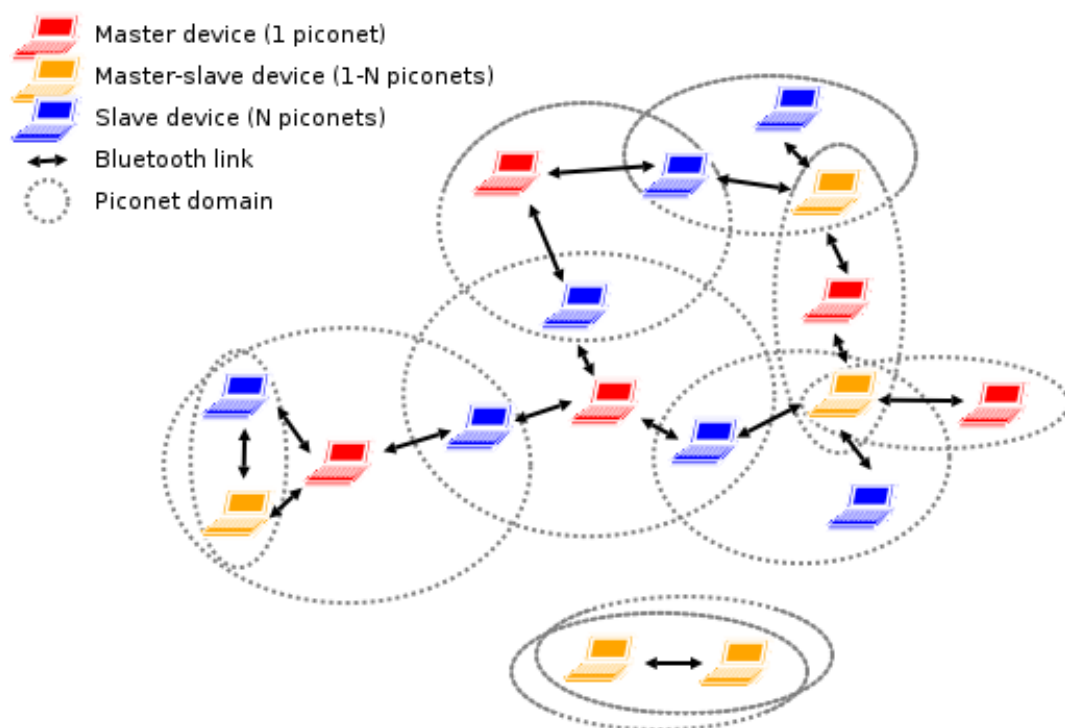
Verkkokerroksen tarkoitus on tarjota yhteys verkon yli, eikä se välitä verkon rakenteesta tai kytkentätekniikasta. Tämä vaatii kerrokselta seuraavia toimenpiteitä: loogiset osoitteet muutetaan fyysisiksi osoitteiksi ja takaisin optimoidaan tietoliikennepakettien reititys ja muutetaan siirrettävä paketti kyseiseen verkkoon sopivaksi. [18, s. 8–9.]

Kuljetuskerros järjestää tiedonsiirtoyhteyden kahden pisteen välille. Tämä yhteys voi olla yhteydellinen, jolloin yhteys avataan aina kun aiotaan siirtää dataa ja suljetaan, kun tiedonsiirto päättyy. Yhteys voi myös olla yhteydetön, jolloin vastaanottajalle ei ilmoiteta lähetettävästä sanomasta eikä sanoman perille pääsyä valvota. [18, s. 9–10.]

Istuntokerros huolehtii sovellusten välisistä ohjauksista, muodostaa niiden välille yhteyden ja huolehtii sen ominaisuuksista. Istuntokerros myös synkronoi eri datavirtoja. Esitystapakerroksessa sovitaan esitystavasta päätelaitteiden välillä. Sovelluskerros antaa sovelluksille rajapinnan OSI-järjestelmään [18, s. 10.]

Arkkitehtuuri

Bluetooth-arkkitehtuurissa yksi laite valitaan isännäksi ja muut laitteet ovat renkejä. Isäntälaitte ei poikkea laitteena rengeistä. Pienin Bluetooth-verkko koostuu näin yhdestä isännästä ja yhdestä rengistä, jotka jakavat tietoa toisilleen kaksipisteyhteyden avulla. Bluetooth-laite voi olla aktiivisesti yhteydessä kahdeksaan laitteeseen kerrallaan, mutta se voi olla passiivisesti yhteydessä useampaan laitteeseen ja ottaa aktiivisen yhteyden tarvittaessa. Verkot, joissa on yksi isäntä ja renkejä, voivat yhdistyä kuvan 5 mukaiseksi scatternet-verkoksi. [18, s. 325–326.]

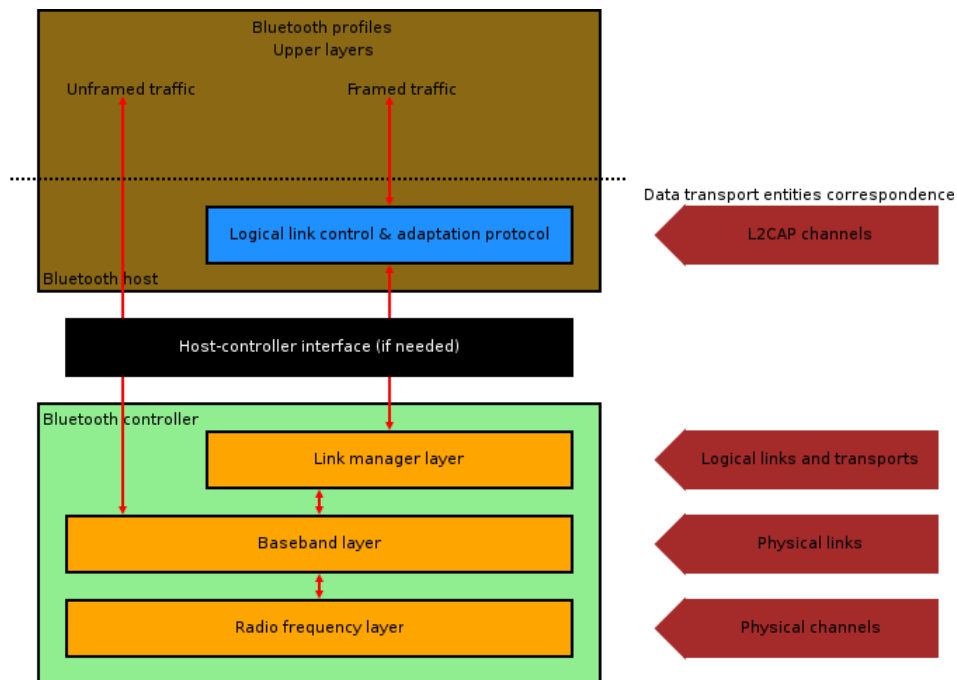


Kuva 5. Bluetooth scatternet -verkko, jossa punaiset ovat isäntiä, siniset renkejä ja keltaiset molempia. [23.]

Yksittäisten verkkojen välinen yhteyslaite voi olla renki molemmissa verkoissa tai renki toisessa ja isäntä toisessa. Verkkojen välinen yhteyslaite voi kommunikoida vain toisen siihen yhteydessä olevan laitteen kanssa. [18, s. 326–326.]

Protokollapinot

Bluetooth-protokollat ovat vain Bluetoothin käyttämiä protokollia, jotka määrittelevät miten tiedonsiirto tapahtuu. Kuvassa 6, oleva Bluetooth-spesifikaation protokollapino kattaa OSI-mallin fyysisen kerroksen ja siirtokerroksen. Isäntälaitte, jossa on Bluetooth su-lautettuna, ohjaa HCI-rajapinnan (Host Control interface) avulla tietoliikennettä. [18, s. 326–327.]



Kuva 6. Bluetooth-protokollapino [24].

Bluetooth-protokollapino ei noudata OSI-mallia suoraan. Radiokerros ja osa baseband-kerroksesta kuuluu OSI-mallin fyysiseen kerrokseen ja loput baseband-kerroksesta, link manager-kerros ja L2CAP (Logical Link Control and Adaption Protocol) -kerros kuuluvat OSI-mallin siirtokerrokseen. Bluetooth ei myöskään noudata OSI-mallissa käytettävää kerroshierarkiaa, jossa yksi kerros kommunikoisi vain ylemmän ja alemman kerroksen kanssa. [18, s. 326–327.]

Fyysinen kerros

Bluetooth toimii 2,4 GHz:n ISM-alueella (Industrial Medical and Scientific). ISM-alueen laajuus Euroopassa on 83,5 MHz, ja se on välillä 2400–2483,5 MHz. Taajuusalue on

jaettu 79 kanavaan, joiden väli on 1 MHz. Kanavat hyppivät alkaen taajuudesta 2401 MHz +n, jossa n on 1 MHz–79 MHz. Käytössä olevat kanavat alkavat 2402 MHz:stä ja päättyvät 2480 MHz:iin, joten alueen alkuun ja loppuun jää muutaman MHz:n turva-alue. [18, s. 328–329.]

Taajuushyppely

Taajuushyppelyn tarkoituksena on vähentää häiriöitä hyppimällä näennäissatunnaisesti kanavalta toiselle. Koska radiotien häiriöt ovat hyvin taajuuteen ja aikaan sidottuja, hyppimällä kanavalta toiselle saadaan näitä häiriöitä vähennettyä. Jokaiselle hypylle annetaan kiinteä aikaväli ja lähetettävä tieto jaetaan osiin ja lähetetään tämän aikavälin puitteissa. [18, s 116–117.]

Bluetooth hyppii 1600 kertaa sekunnissa, jolloin yhden aikavälin pituudeksi tulee 625 µs. Bluetoothin käyttämä taajuushyppely on poikkeuksellista, sillä sanoman pituuden ylittäessä aikavälin pituuden, lähetetään koko sanoma samalla kanavalla ja vasta sitten jatketaan taajuushyppelyä. Kuvassa 7 on havainnollistettu Bluetooth-taajuushyppelyä.

	AV ₀	AV ₁	AV ₂	AV ₃	AV ₄	AV ₅	AV ₆	AV ₇	AV ₈
f _{i+9}									
f _{i+8}									
f _{i+7}									
f _{i+6}									
f _{i+5}									
f _{i+4}									
f _{i+3}									
f _{i+2}									
f _{i+1}									
f _{i+0}									

Kuva 7. Esimerkki Bluetooth-taajuushyppelystä.

Samalla kanavalla pysyminen koskee kuitenkin vain isäntää ja renkiä, joka lähettää tai vastaanottaa sanoman. Muut samassa verkossa olevat laitteet jatkavat taajuushyppelyä

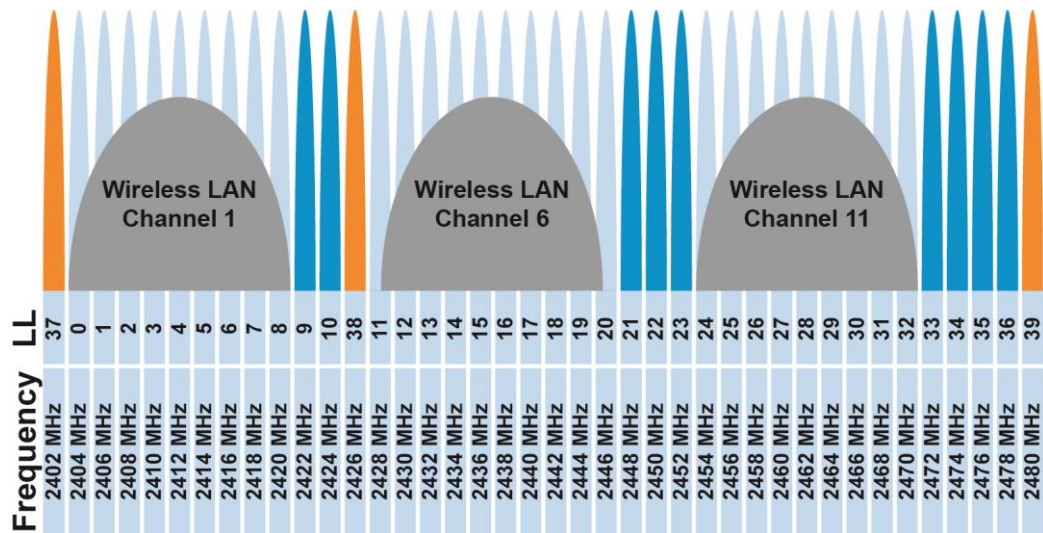
normaalisti. Bluetooth-verkossa hyppely synkronoidaan isäntälaitteen kelloon. Bluetoothiin käyttämä AFH-tekniikka pyrkii välttämään kanavia, joissa esiintyy häiriöitä tai on jo liikennettä. [18, s. 116–117, s. 328–329.]

RSS -indikaattori

Bluetooth-laitteissa, kuten monissa muissakin langattomien verkkojen laitteissa, on sisään RSSI eli Received Signal Strength indicator. RSSI kertoo signaalin voimakkuuden, jonka lähetyksen vastaanottava laite havaitsee. RSSI on mielivaltainen luku, joka kertoo signaalin voimakkuuden. RSSI ei ole standardisoitu, joten valmistajat voivat käyttää haluamaansa aluetta RSSI-arvolle, mutta nykyään käytetään yleensä aluetta 0–100. Valmistajat kuitenkin yleensä kalibroivat laitteensa niin, että RSSI-luvun avulla voidaan laskea ja ilmoittaa dBm (desibeli-milliwatti) -arvo. Riippumatta siitä, miten RSSI-luku ilmoitetaan, vahvistuu signaali aina lähestyttäessä nollaa. [25; 26.]

4.3 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy julkaistiin Bluetooth 4.0. kanssa ja BLE:n tärkeimpiä uudistuksia oli huomattavasti pienempi energiankulutus, joka mahdollistaa paristokäyttöisten laitteiden toiminnan jopa vuosia ilman vaihtoa. Tämän lisäksi tärkeitä uudistuksia olivat kehitysalustan ja käytön halpuus. BLE käyttää samaa ISM-aluetta kuin Classic Bluetooth, mutta alue on jaettu 40:een kanavaan, jotka ovat 2 MHz. Kuvassa 8 näkyy BLE-kanavajako. Kolmea kanavista käytetään yhteydenmuodostamiseen ja loppuja tiedonsiirtoon. [27, s.145–146; 28.]

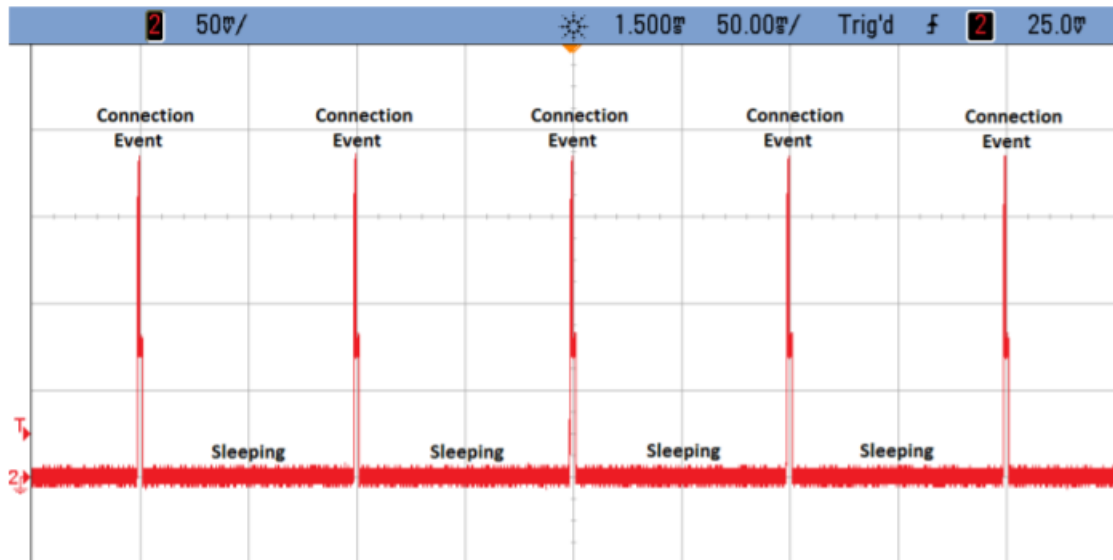


Kuva 8. Bluetooth Low Energy kanavajako [24].

Yhteydenmuodostamiskanavat on valittu niin, etteivät ne ole kolmella yleisimmällä langattoman lähetyksen alueella. Vaikka kolmen kanavan skannaaminen yhteyttä etsiessä on huomattavasti nopeampaa ja energiaa säästävää, on siinä huomattava riski, että kanavilla on jo liikennettä tai häiriötä, vaikka ne on sijoitettu yleisimpien alueiden ulkopuolelle. [27, s.145–146; 28.]

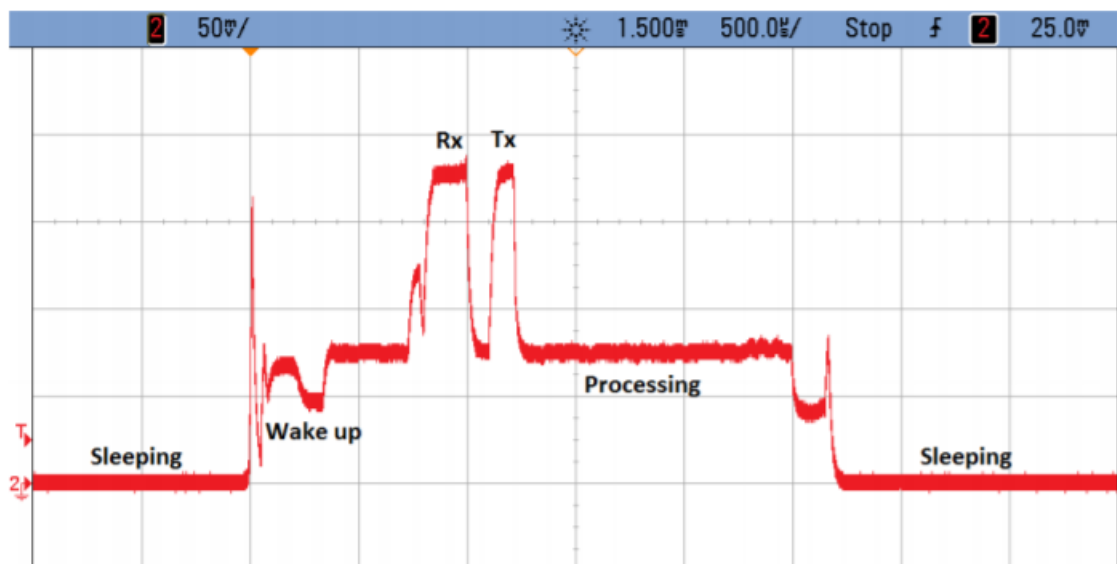
Virrankulutus

Tärkein ominaisuus BLE:ssä on pienentynyt energiankulutus. BLE on suurimman osan ajasta lepotilassa ja herää vain, kun yhteys on muodostunut. BLE lähettää siis hyvin pieniä paketteja todella nopealla rytmillä kuvan 9 mukaan. Kuvissa 9 ja 10 näkyvät mitaukset ovat tehty CC2541 -mikrokontrollerille, joka on käytössä SensorTagin aikaisemmassa mallissa. Kuvissa näkyvät tulokset käyvät esimerkistä, miten BLE kuluttaa energiaa. Jännitemittaukset on tehty 10 ohmin vastuksen yli, jolloin virrankulutus on helppo laskea. [30.]



Kuva 9. Esimerkki BLE:n jännitteen kulutuksesta [30].

BLE:n huippukulutus on hetkellisesti vain 15 mA, ja sen keskiarvokulutus on vain 1 μ A. Koska BLE-laitteet ovat lähetystilassa niin lyhyen ajan kerrallaan, on kokonaiskulutusta vaikea arvioida pelkkien yksittäisten lähetystapahtumien huippuarvojen mukaan. Siksi kuvassa 10 näkyy yksittäisen lähetystapahtuman lähetysrutiini ja virrankulutus. [30.]



Kuva 10. Esimerkki yksittäisen BLE-lähetystapahtuman virrankulutuksesta [30].

Lähetysrutiinin eri osia ovat:

- Valmiustila (sleeping).
- Herääminen (Wake-up).
- Radio vastaanottaa tiedon (RX).
- Radio lähettää tiedon (TX).
- BLE-protokollapino käsittelee tiedon (Processing).
- Laite palaa valmiustilaan odottamaan seuraavaa tapahtumaa.

Kuten kuvasta 10 nähdään, tiedon vastaanotto ja lähetys ovat kaikkein eniten virtaa kuluttavia, mutta myös herääminen ja tiedon prosessointi vievät paljon virtaa verrattuna lepotilaan. Lepotilassa virrankulutus on hyvin vähäistä, mutta lepotilassa oleva laite ei myöskään skannaakaan yhteyksiä tai ole löydettävissä skannaaville laitteille. Tästä nähdään, että kokonaisvirrankulutus on erittäin paljon sidoksissa laitteen käyttökertoihin. [30.]

BLE skannaa vain kolmea kanavaa etsiessään yhteyttä, joten skannaus saadaan tehtyä vain 0,6–1,2 ms ajassa, kun se Classic Bluetoothin 32 kanavalla vie 22,5 ms. Tämä pelkästään säästää huomattavasti energiaa. [28.]

BLE käyttää Classic Bluetoothin tapaan modulointiin GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) -modulointia. GFSK:ssa signaali ajetaan Gaussin filterin läpi ennen modulaatiota, jolloin signaalin muutoksista tulee pehmeämpiä. BLE käyttää pienempää modulaatioindeksiä kuin Classic Bluetooth, joten tämäkin säästää energiaa. [27, s. 147; 28.]

5 SensorTag CC2650

SensorTag CC2650STK on Texas Instrumentin valmistama BLE-kehitysalusta. SensorTagin ideana on auttaa sovelluskehittäjiä luomalla valmis laitteisto, joka käyttää MEMS (MicroElectroMechanical Systems) -antureita. Tällöin sovelluskehittäjät voivat keskittyä heti kehitystyöhön laitteiston rakentamisen sijaan. SensorTagin avulla luotavien sovellusten pääpaino on mobiili- ja pilvipalvelusovelluksissa. SensorTagin langaton MCU (Micro Controller Unit) toimii 2.4 GHz taajuusalueella, joten se toimii Bluetooth Smart-, ZigBee- ja 6LoWPAN-yhteyksillä. [30; 31.]

5.1 Käyttöönotto

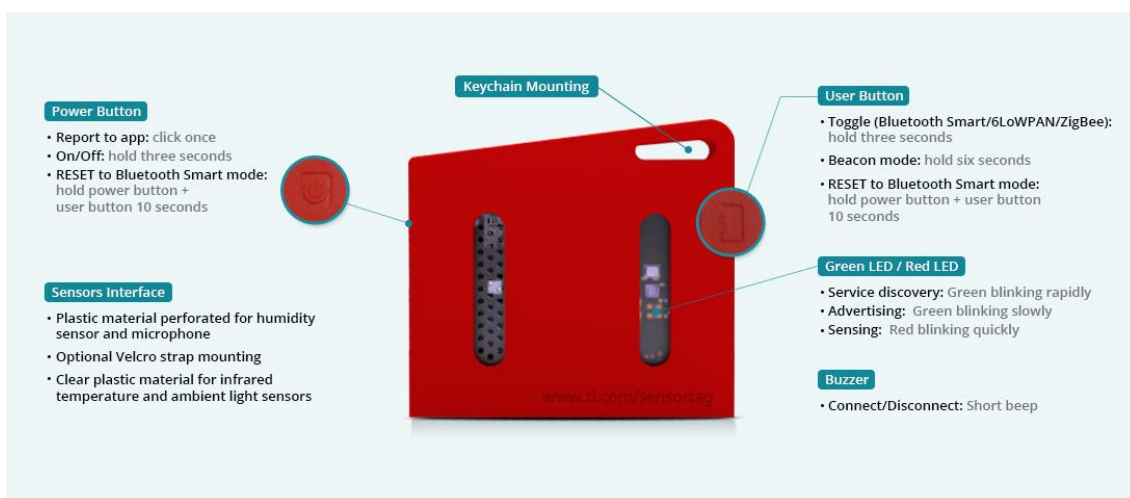
SensorTagin myyntipakkauksessa tulee SensorTag CC2650STK alusta, pikakäyttöohjeet ja CR2032-paristo. Mobiilisovellus, jolla käytön voi aloittaa, on ladattavissa Google Play -kaupasta tai App Storesta. Kuvassa 11 on SensorTag myyntipakkauksensa päällä ja pikakäyttöohje on liitteenä 3.



Kuva 11. SensorTag myyntipakkauksensa päällä.

Myyntipakkauksen avattua voi SensorTagin pohjasta vetämällä poistaa muovikalvon palan, jonka jälkeen paristo ottaa kontaktin ja laite voidaan käynnistää painamalla sivussa olevaa virtapainiketta. Tämän jälkeen laite on parinmuodostustilassa kaksi minuuttia,

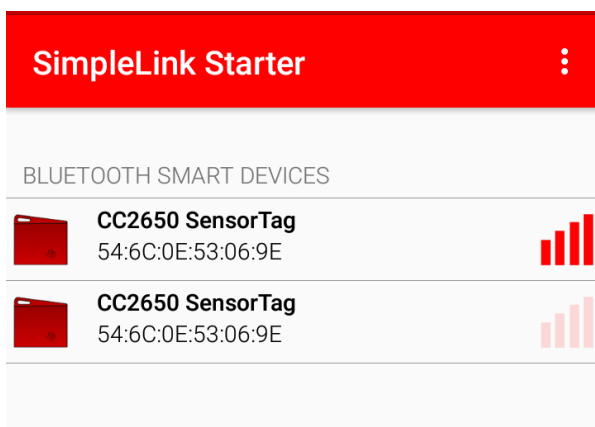
josta kertoo välkkyvä vihreä LED-valo. Kuvassa 12 näkyy SensorTag takaa, jossa on aukot infrapunalämpömittarille ja valoisuusanturille sekä käyttöpainikkeet.



Kuva 12. SensorTagin takaosa ja käyttöpainikkeet. [32.]

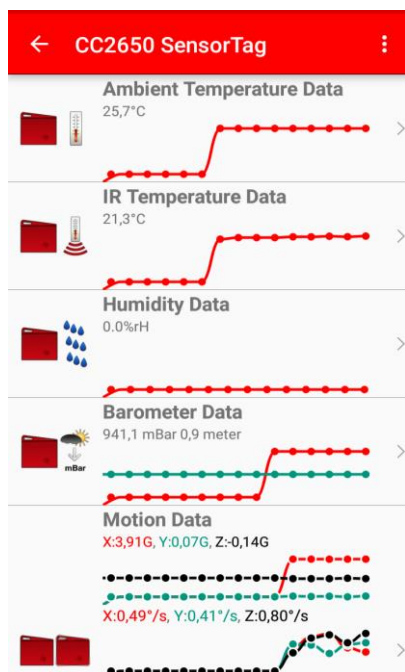
Mobiililaitteeseen voidaan ladata Texas Instrumentin SimpleLink SensorTag -applikaation esimerkiksi Google Play-kaupasta tai App Storesta. Sopivasta mobiililaitteesta laitetaan Bluetooth päälle ja SensorTagin ollessa parinmuodostustilassa pitäisi sen ilmestyä valittavaksi parinmuodostukseen.

Laitteiden muodostettua parin käynnistetään applikaatio, jolloin näytölle ilmestyy valittavissa olevat Bluetooth Smart -laitteet, kuten kuvassa 13 näkyy.



Kuva 13. SimpleLink SensorTag-applikaation aloitussivu.

Tämän jälkeen valitaan oikea laite ja applikaatio ottaa yhteyden SensorTagiin ja herättää sensorit, jonka jälkeen sensorien arvot ovat luettavissa mobiililaitteen näytöltä, kuten kuvassa 14.



Kuva 14. SimpleLink SensorTag-aplikaation sensorien tarkkailusivu.

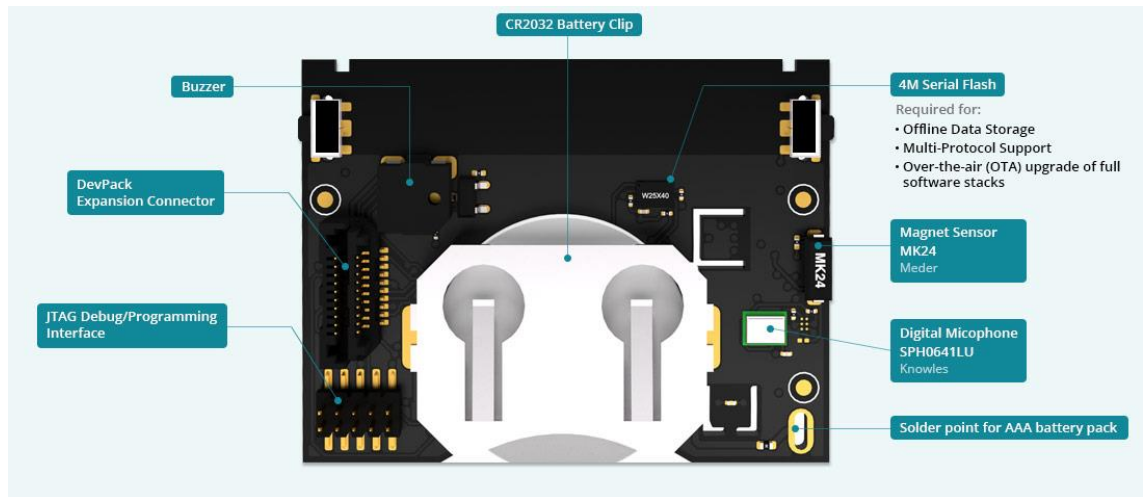
Valmiissa applikaatiossa on rajalliset säätömahdollisuudet, mutta esimerkiksi eri sensorien näytteenottoaikoja pystyy säätämään välillä 100 ms–2500 ms. Myös yhteyden muodostus tiheyttä pystyy säätämään välillä 10 ms–500 ms.

SensorTag voidaan siis ottaa yksinkertaisimmillaan käyttöön ilman tuntemusta laitteista, sovelluksista tai sulautetuista järjestelmistä.

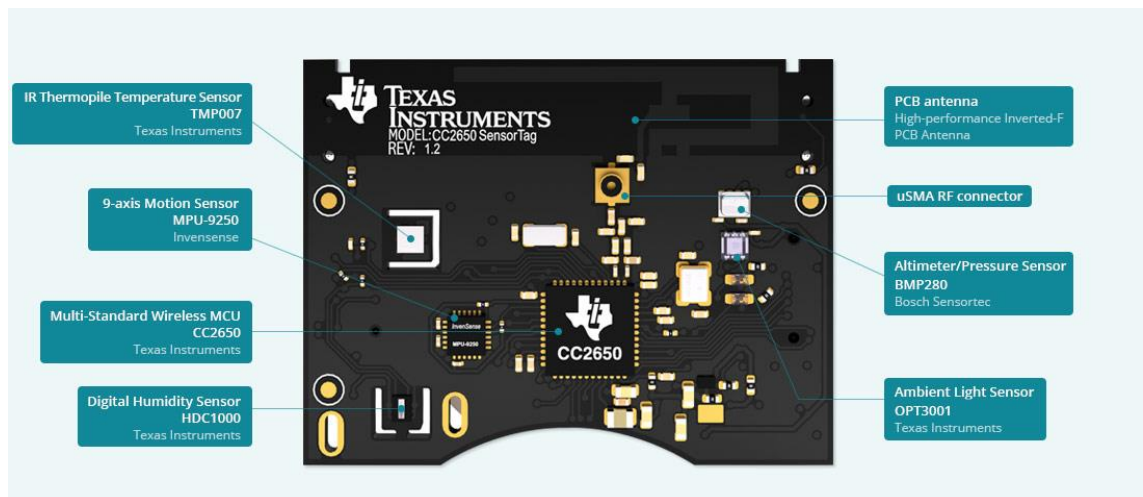
Sensortagin antamia tuloksia ei pysty tallentamaan mobiililaitteen muistiin, vaan applikaatiolla otetaan yhteys pilvipalvelualustaan, jossa tuloksia pystyy muokkaamaan ja tallentamaan. Oletuspilvipalveluna on IBM Watson. Suositellut pilvipalvelut ovat maksullisia, mutta niissä on ilmaisia kokeilujaksoja. Pilvipalveluissa ei myöskään ole valmiita sovelluksia, vaan ne ovat alustoja, joilla tehdään sovelluksia antureiden antaman tiedon käsittelyyn.

5.2 SensorTag CC2650STK:n osat

SensorTagissa on kymmenen MEMS-anturia, jotka ovat valoisuus-, kosteus-, infrapuna lämpötila-, ympäristön lämpötila-, kiihtyvyy-, gyroskooppi-, magnetometri-, paine-, kosteusanturit, mikrofoni ja CC2650 langaton MCU. Kuvissa 15 ja 16 on esitelty SensorTag-piirilevy.



Kuva 15. SensorTag-piirilevy edestä [32].



Kuva 16. SensorTag-piirilevy takaa [32].

CC2650-Wireles MCU

CC2650 langaton mikrokontrolleri on tarkoitettu Bluetooth-, ZigBee- ja 6LowPan-sovelluksille. CC2650 kuuluu Texas Instrumentin 26XX halpojen ja hyvin energiatehokkaiden 2.4Ghz laitteiden ryhmään. Hyvin alhainen virrankulutus mahdollistaa kontrollerin toiminnan nappiparistoilla. CC2650 sisältää tehokkaan 32-bittisen ARM-Cortex-M3 prosessorin, joka toimii 48MHz kellotaajuudella. Mikrokontrollerissa on myös energiatehokas anturiohjain, joka voi itsenäisesti ohjata ulkoisia antureita ja kerätä analogista ja digitaalista tietoa. [30; 33.]

5.3 Anturit

SensorTag käyttää MEMS- eli mikrosysteemi -antureita. Mikrosysteemit ovat mikrometrisiä mekaanisia ja sähkömekaanisia laitteita tai järjestelmiä, joissa yhdistyy eri toimintoja. Pääsääntönä on, että joku osa mikrosysteemistä toimii mekaanisesti, kuten metallin taipuminen paineanturissa. Mikrosysteemit valmistetaan yleensä piikiekoille, jolloin niitä voidaan valmistaa jopa tuhansia kerralla. [34.]

Valoisuusanturi

OPT30001 on Texas Instrumentin yhden sirun lux-mittari, joka mittaa valon intensiteettiä mukaillen ihmisen silmää. Jotta anturin mittaustulokset vastaisivat mahdollisimman paljon ihmisen näköaistia, on siinä vahva suodatus, joka suodattaa jopa 99 % infrapunasäteilyä. Mittausalue on 0,01–83000 lux. Pieni tehonkulutus mahdollistaa anturin käytön pattereilla toimivissa piireissä. [35.]

Infrapunalämpömittari

TMP007 on Texas Instrumentin täysin integroitu MEMS, joka mittaa kohteen lämmön koskematta siihen. Sirussa oleva sähkölämpöpari mittaa kohteesta lähtevää passiivista infrapunasäteilyä 4 µm ja 16 µm aallonpituuksien välillä. Sirun sisäinen laskupiiri kokoaa vastaavan jännitteen muutoksen ja vertaa sitä vertailuanturin tulokseen sekä laskee kohteen lämpötilan. TMP007 on suunniteltu pieni energiankulutus ja liikuteltavuus mielessä, joten se soveltuu hyvin paristokäyttöisiin piireihin. Sirun käyttölämpötila on -40°...+125°,

mutta sirulla pystyy mittaamaan tämän alueen ulkopuolella olevia lämpötiloja, kunhan siru itse pysyy näiden rajojen sisällä. [36.]

Kosteusanturi

HDC1000 on Texas Instrumentin digitaalinen kosteusanturi integroidulla lämpömittarilla. Kosteuden mittaus tapahtuu kapasitiivisellä kosteusanturilla, joka mittaa kapasitanssin muutosta, kun eristeaineeseen pääsee kosteutta. Mittausalue on 0 %–100 % kosteudelle ja -40° ... $+125^{\circ}$ lämpötilalle. Pieni energiankulutus ja uusi WLCSP (Wafer Level Chip Scale Package) helpottavat piirien suunnittelua. Koska aistiva osa anturista sijaitsee sirun pohjassa, on anturi erittäin vastustuskykyinen pölyä ja likaa vastaan. [37.]

Parometri

BMP280 on Boschin parametrinen paineanturi integroidulla lämpömittarilla. BMP280 perustuu piezoresistiiviseen mittaukseen, jossa mitataan metallin resistiivisyyden muutosta mekaanisen paineen mukaan. Anturin mittausalue on paineelle 300–1100 hPa ja lämpötilalle 0° ... $+65^{\circ}$. Käyttöjännitealue on 1,71 V–3,6 V käyttövirta on 2,8 μ A. [38.]

9-akselinen liikeanturi

MPU-9250 on Invensensen luoma maailman pienin yhdeksänakselinen liikkeen seurantaan tarkoitettu MEMS-anturi. MPU-9250 yhdistää kaksi sirua MPU-6500 ja AK8963. MPU-6500 sisältää kolmeakselisen gyroskoopin, kolmeakselisen kiihtyvyyssanturin ja Digital Motion Processorin, joka käsittelee liikealgoritmeja. AK8963 sisältää kolmeakselisen digitaalisen kompassin. [39.]

Gyroskoopissa on digitaalinen ulostulo X-, Y- ja Z-akseleille, jotka voidaan ohjelmoida alueelle ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 /sekunti. Gyroskoopin käyttövirta on 3,2 mA. [39.]

Kiihtyvyyssanturissa on digitaalinen ulostulo X-, Y- ja Z-akselille, ja ne voidaan ohjelmoida ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g ja ± 16 g. Kiihtyvyyssanturin käyttövirta normaalissa tilassa on 450 μ A ja virransäästötilassa 8,4 μ A 0,98 Hz:n taajuudella ja 19,8 μ A 31,25 Hz:n taajuudella. [39.]

Kompassi on kolmeakselinen magnetometri, jossa on magneettinen Hall-ilmioanturi ja magneettikeskitin. Hall-ilmiossa johtimessa, jossa kulkee sähkövirta, ovat elektronit muuttavat suuntaa, kun ne kohtaavat magneettikentän kohtisuoraan. Näin syntyy Hall-jännite kohtisuoraan virran suunnalle. Kompassin mittausalue on $\pm 4800 \mu\text{T}$ ja käyttövirta on $280 \mu\text{A}$ 8 Hz:n toistotaajuudella. [39.]

Digitaalimikrofoni

KNOWLESin valmistama SPK0833 on tehokas ja vähän kuluttava digitaalimikrofoni. MEMS sisältää akustiikkasensorin, matalan taajuuden filterin ja sigma-delta modulaattorin. Käyttöjännite on 1,6 V–3,6 V ja käyttövirran keskiarvo on $500 \mu\text{A}$. Lepotilassa virrankulutus on vain $4\text{--}7 \mu\text{A}$. Toimintalämpötila alue on $-40 \text{ }^\circ\text{C}\dots+100 \text{ }^\circ\text{C}$. SPK0833 on asennettu SensorTagiin, sille ei ole tehty ohjelmallisesti käyttöönottoa. Kun halutaan ottaa mikrofoni käyttöön, on SensorTag ohjelmoitava uudelleen. [40.]

6 SensorTagin testaus

6.1 Testiympäristö ja laitteet

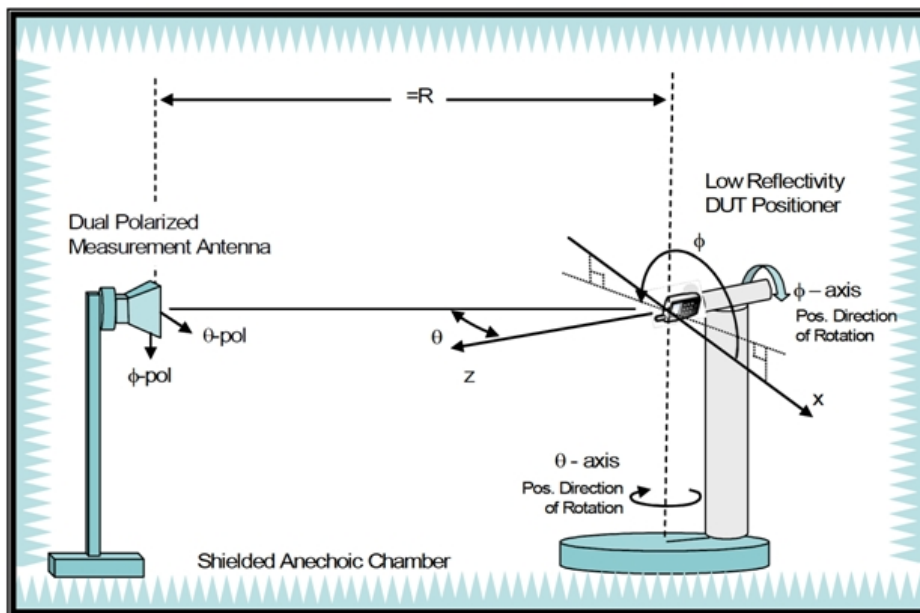
Suurin osa SensorTagin Bluetooth-yhteyteen liittyvistä mittauksista tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadulla sijaitsevan toimipisteen kaiuttomassa huoneessa ja muut mittaukset suoritettiin ulkona tai Albertinkadun toimipisteen laboratorioissa. Käytössä oleva kaiuton huone ei ole täysin kaiuton, mutta se oli silti tarkoitukseen soveltuva, koska mahdollisia häiriösignaaleja saatiin vähennettyä huomattavasti. Koska mitattavat luvut oli katsottava mobiililaitteen näytöltä, oli mittaajan myös oltava kaiuttomassa huoneessa. Tämä omalta osaltaan lisäsi mahdollisia häiriöitä ja virheitä mittaustuloksissa. Signaalimittauksissa mitataan SensorTagin signaalia sen ollessa parinmuodostustilassa. Teoreettisissa laskuissa Bluetoothin taajuutena on käytetty 2,45 GHz.

Koska Bluetooth käyttää RSSI-tekniikkaa signaalin tehon mittaamiseen, tehtiin signaalimittaukset kahdella eri mobiililaitteella. Laitteet olivat Samsung Galaxy S5 mini, jossa on Bluetooth 4.0 ja Samsung Galaxy A3 (2017), jossa on Bluetooth 4.2. Molempiin laitteisiin ladattiin Google Play-kaupasta NexGen Technology Ltd:n Bluetooth analyzer ja Alexandros Schillingsin luoma Bluetooth LE Scanner. Muitakin sovelluksia kokeiltiin ja todettiin, että lähes kaikkien sovellusten tulokset olivat samankaltaisia. Nämä sovellukset valittiin niiden nopean päivitysnopeuden ja selkeyden takia.

Sovelluksien antamat tulokset mukailevat toisiaan hyvin, mutta laitteiden välillä oli eroa. Galaxy S5 mini antoi koko ajan noin 10–15 dBm pienempiä tuloksia kuin Galaxy A3. Tämä ero saattaa johtua laitteiden rakenteellisista eroista, kuten kuorien materiaaleista ja kulumisesta. Eron syynä saattaa olla myös Bluetooth-versioiden lievät eroavaisuudet tai se, että vanhemman laitteen RSSI-alue on eri kuin uudemman. Tämä ero ei kuitenkaan vaikuta suuresti mittaustuloksiin, sillä mittauksissa mitataan lähtökohtaisesti signaalissa tapahtuvaa muutosta.

6.2 Säteilykuvion mittaus

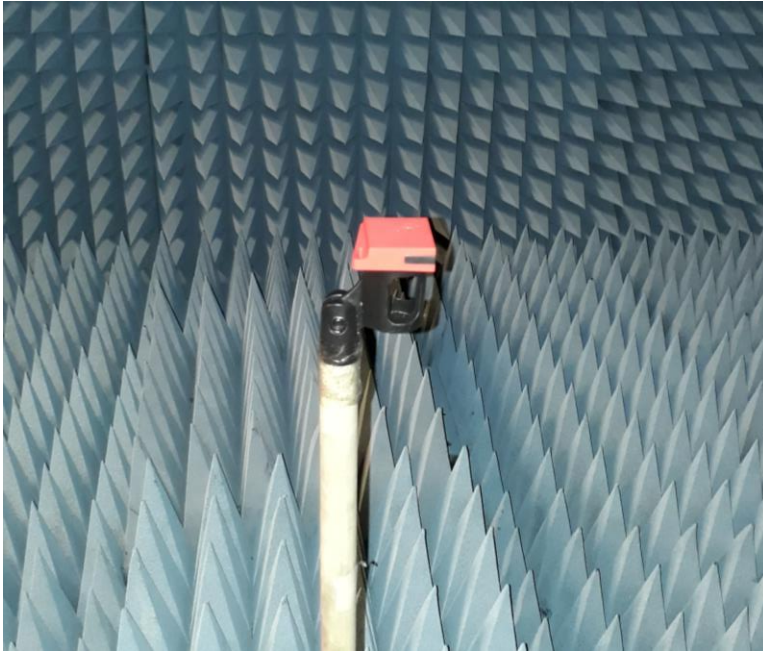
Säteilykuvio mitataan kaiuttomassa huoneessa yleensä kuvan 17 mukaisella järjestelyllä.



Kuva 17. Esimerkki kaiuttomassa huoneessa tehtävästä säteilykuvion mittauksesta. [41.]

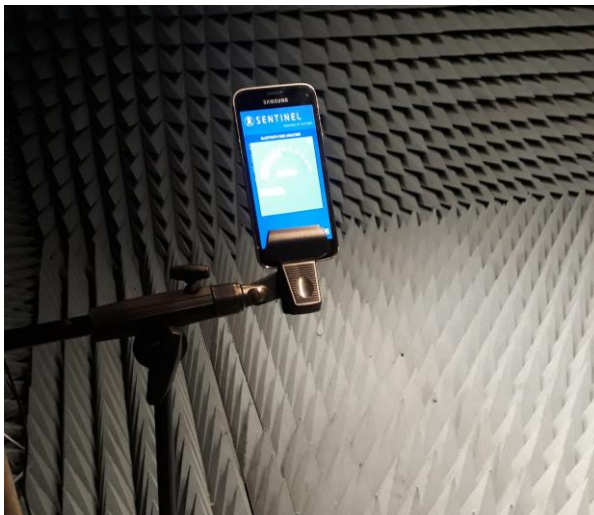
Mittaava ja mitattava antenni ovat molemmat kiinni verkkoanalysaattorissa, jonka avulla tarkastellaan antennien ominaisuuksia. Mitattava antenni asennetaan alustaan, jossa antenna voidaan pyörittää sekä vaaka- että pysty suunnassa. Mittauksen aikana mitattavaa antenna pyöritetään alustassa ja signaalin teho tallennetaan halutun kääntöas-teen välein. [41.]

SensorTagin lähettämän Bluetooth-signaalin säteilykuviota mitatessa tätä järjestelyä ei pystytty noudattamaan, koska verkkoanalysaattorin sijaan arvot luettiin mobiililaitteesta. Tästä johtuen mittauksen suorittaja joutui olemaan kaiuttomassa huoneessa, jolloin pyö- rivän alustan koneellinen ohjaus ei ollut mielekästä. Siksi SensorTag asetettiin kuvan 18 mukaisesti telineen päälle.



Kuva 18. SensorTag kaiuttomassa huoneessa.

Mobiililaite oli tässä mittauksessa sekä mittaava antenni että verkkoanalysoitsija. Mobiililaite asetettiin telineeseen kahden metrin päähän SensorTagista samalle korkeudelle kuvan 19 mukaisesti.



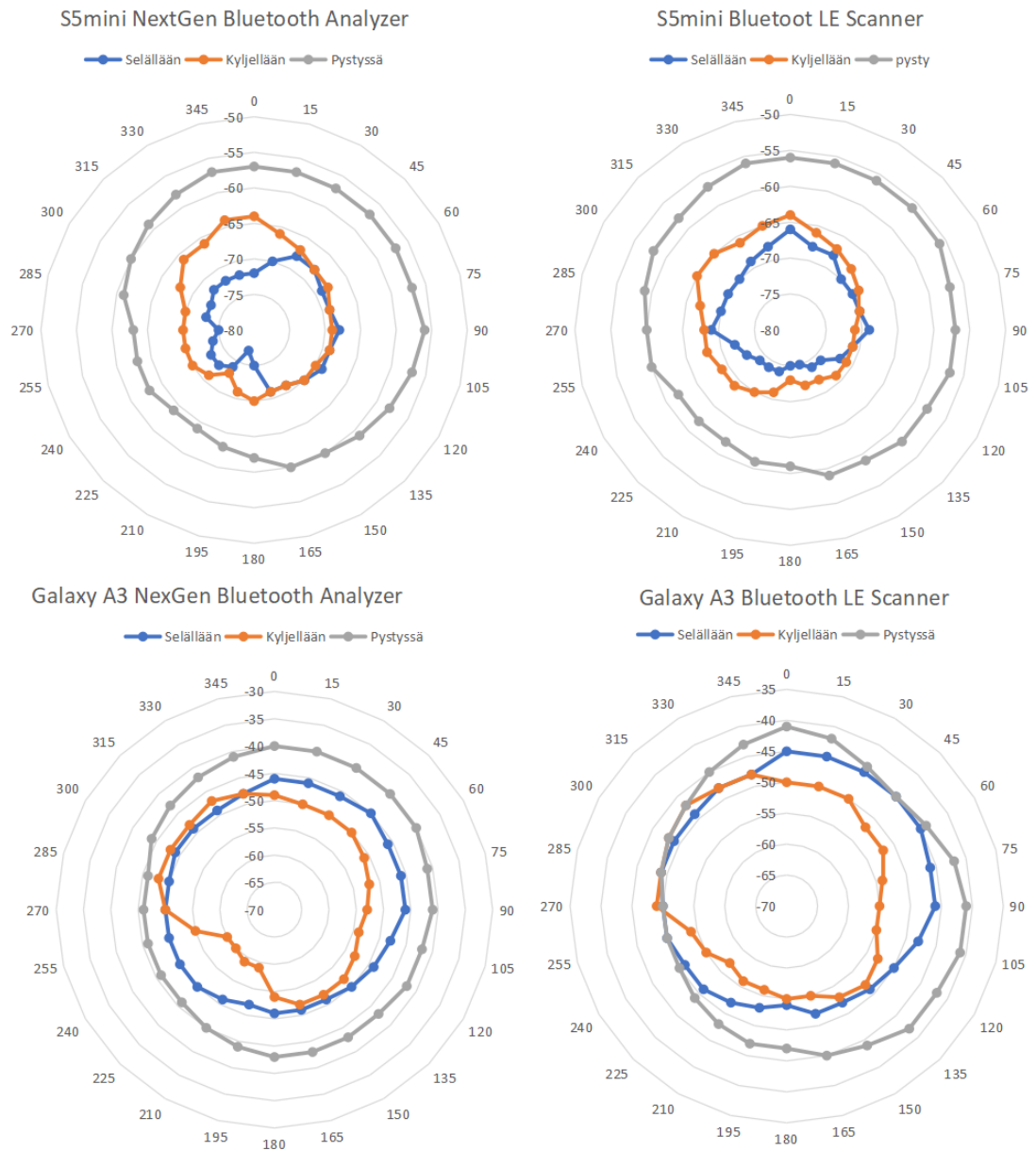
Kuva 19. Mobiililaite valmiina mittaukseen kaiuttomassa huoneessa.

SensorTag käynnistettiin parinmuodostustilaan ja mobiililaitteesta luettiin signaalin teho, minkä jälkeen SensorTagia käännettiin 15 astetta käsin. Tämä toistettiin, kunnes SensorTag oli kääntynyt täyden ympyrän. Mittaus tehtiin kummallakin laitteella ja ohjelmalla ja SensorTagin ollessa kuvan 20 mukaisissa asennoissa.



Kuva 20. SensorTagin mittausasennot vasemmalta oikealle pystyssä, kyljellään ja selällään.

Kuvassa 21 näkyy mittaustulokset atsimuuttitasossa. Atsimuutti kuvaa, miltä säteilykuvio näyttää, jos laitetta katsotaan suoraan ylhäältä päin. Mitä symmetrisempi ja isompi kuvaaja on, sitä isotrooppisempi on säteilykuvio.



Kuva 21. Mittaustulokset atsimuuttikuvaajina.

Kuvaajissa harmaalla näkyy säteilykuvio, kun SensorTag on kuvan 18 mukaisessa asennossa ja tämä säteilykuvio on selvästi isotrooppisin. SensorTagin ollessa pystyssä on signaalikuviot symmetrisin ja tehokkain. Toisissa asennoissa kuvio ei ole läheskään yhtä symmetrinen tai tehokas, josta voi päätellä, että SensorTag on tarkoitettu asetettavaksi pystyasentoon.

6.3 Etäisyyden vaikutus signaalitehoon

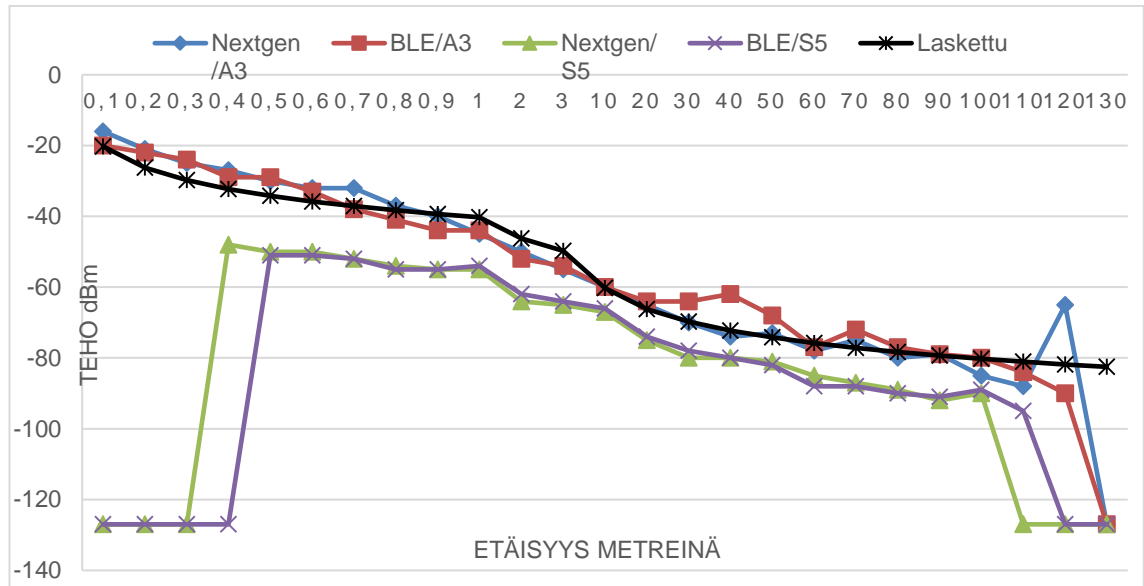
Tämä mittaus toteutettiin nolasta kolmeen metriin kaiuttomassa huoneessa ja toistettiin 0–20 m urheiluhallissa ja 0–100 m ulkona urheilukentällä. Mittauksessa SensorTag laitetiin parinmuodostustilaan ja mobiililaitteista katsottiin signaalin teho eri etäisyyksillä. Taulukossa 2 näkyy mitatut tulokset ja luvussa 3 olevien kaavojen avulla lasketut vaimennukset.

Taulukko 2. Etäisyyden vaikutus signaalin tehoon.

Etäisyys m/ teho dBm	Galaxy A3		Galaxy S 5 mini		Laskettu
	Nextgen /A3	BLE/A3	Nextgen/ S5	BLE/S5	
0,1	-16	-20	-127	-127	20,2
0,2	-21	-22	-127	-127	26,3
0,3	-25	-24	-127	-127	29,8
0,4	-27	-29	-127	-127	32,3
0,5	-30	-29	-50	-51	34,2
0,6	-32	-33	-50	-51	35,8
0,7	-32	-38	-52	-52	37,1
0,8	-37	-41	-54	-55	38,3
0,9	-40	-44	-55	-55	39,3
1	-45	-44	-55	-54	40,2
2	-50	-52	-64	-62	46,3
3	-55	-54	-65	-64	49,8
10	-60	-60	-67	-66	60,2
20	-65	-64	-75	-74	66,3
30	-70	-64	-80	-78	69,8
40	-74	-62	-80	-80	72,3
50	-73	-68	-81	-82	74,2
60	-78	-77	-85	-88	75,8
70	-75	-72	-87	-88	77,1
80	-80	-77	-89	-90	78,3
90	-79	-79	-92	-91	79,3
100	-85	-80	-90	-89	80,2
110	-88	-84	-127	-95	81,1
120	-65	-90	-127	-127	81,8
130	-127	-127	-127	-127	82,5

Taulukossa 4 olevat -127 arvot tarkoittavat, että sovellus ei saa yhteyttä SensorTagiin. Mittausta tehtäessä ulkona havaittiin, että RSSI-arvo on erittäin epävakaata ja siinä on suurta vaihtelua. RSSI -arvo vaihteli koko ajan noin ± 5 dBm ja hetkelliset vaihtelut olivat jopa useita kymmeniä dBm:iä. Ulkona laitteet ovat huomattavasti enemmän häiriöiden

vaikutuksen alaisena. Häiriöitä syntyy heijastuksista, kuten maasta ja aidoista, sekä muiden laitteiden lähettämistä signaaleista. Sadan metrin jälkeen signaalitehossa alkoi näkyä häiriöistä johtuvaa signaalin voimakkuuden kasvua. Kuvassa 22 myös lasketut arvot ovat muutettu negatiivisiksi, jotta voidaan verrata mittaustulosten ja laskettujen tulosten suhdetta.



Kuva 21. Mittaustulokset ja lasketut arvot graafisessa muodossa.

Kuvasta 22 nähdään, että mitatut arvot seuraavat noin puolen metrin etäisyydestä noin 100 metriin asti laskettuja arvoja melko hyvin. Huomioitavaa tuloksissa on myös Galaxy S5 minin koko ajan saama pienempi RSSI-arvo sekä se, ettei S5 mini löytänyt hyvää signaalia kuin vasta noin puolen metrin kohdalla.

6.4 Väliaineen läpäisykyky

Mittaus toteutettiin kaiuttomassa huoneessa niin, että SensorTagin ja mobiililaitteen väliin sijoitettiin eri materiaaleja ja mitattiin signaalissa tapahtunut vaimentuminen. Väliaineille etsittiin mahdollisimman paljon valmiita tietoja, kuten suhteellinen permittiivisyys, häviökerroin ja johtavuus. Johtavuus saatiin joillekin aineille resistiivisyyden kautta näiden ollessa toistensa vastaluvut.

Mitattavia väliaineita olivat polykarbonaatti, akryyli, kuiva puu eli linnunpönttö ja ihminen. Mittauksessa SensorTagin ja mobiililaitteen väliin laitettiin mittauksen kohteena oleva

väliaine ja katsottiin mobiililaitteesta signaalin vaimennus. Koska aineiden valmistajaa ei tiedetty tai valmistajan tiedoista ei löytynyt tarvittavia sähköisten ominaisuuksien arvoja, etsittiin aineille tarvittavat tiedot muista lähteistä. Koska arvoissa on lähteestä riippuen vaihtelevuutta, yritettiin näistä ottaa keskiarvo. Puun permittiivisyys ja häviökerroin kasvavat puuhun imeytyneen veden mukaan. Koska mittauksissa käytettävä puu tuntui kuivalta, mutta varsinaisesta kosteusprosentista ei ollut tietoa, otettiin taulukkoon useampia arvoja. Taulukossa 3 on aineille löydettyjä arvoja.

Taulukko 3. Eri aineiden sähköisiä ominaisuuksia. [42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49].

	ϵ_r'	loss δ	σ	ρ
Polycarbonaatti 0,4 mm	2,8-3,4	0,00066-0,01		$10^{15} \Omega m$
Akryyli (PMMA) 0,4mm	2,6-3			$10^{15} \Omega m$
Puu kosteus 5%	1,8	0,08-0,081		
Puu kosteu 10%	2-2,1	0,11-0,127		
Puu kosteus 20%	2,7-3,2	0,17-0,185		
Ihminen	28,16		1,4 S/m	

Ihmiskehon eri osilla, kuten esimerkiksi iholla ja luulla, on erilaiset permittiivisyys- ja ominaiskonduktanssi arvot. Kehon eri kohdissa on myös vaihtelevasti eri aineita, siksi laskuissa on käytetty teoreettista kehon keskiarvoa, jossa on 10 % ihoa, 30 % rasvaa, 40 % lihasta ja 20 % luuta. Kehon paksuudeksi valittiin 150 mm. [49.]

Kappaleessa 3.1.2 olevia kaavoja hyväksikäyttäen voidaan taulukon 3 tiedoilla laskea teoreettinen vaimennus signaalille. Taulukossa 4 on lasketut ja mitatut arvot signaalin vaimennukselle.

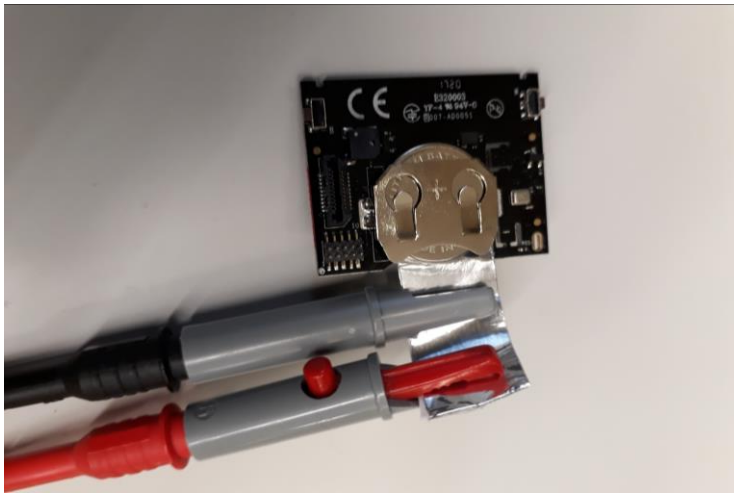
Taulukko 4. Mitattuja ja laskettuja arvoja signaalin vaimenemiselle väliaineessa.

Aine	Galaxy A3		Galaxy S5 Mini		Laskettu
	NextGen	BLE	NextGen	BLE	
Polykarbonaatti (PC)/ 0,4mm	-1 dBm	0 dBm	-1 dBm	0 dBm	-0,15051...-0,416 dBm
Akryyli (PMMA) / 0,4 mm	-1 dBm	+1 dBm	0 dBm	0 dBm	-0,1387...-0,379 dBm
PC & PMMA / 0,8mm	0 dBm	-2 dBm	-2 dBm	-1 dBm	-0,299...-0,8105 dBm
Puu kosteus 5% 16 mm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	-0,191 dBm
Puu kosteus 10% 16 mm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	0 dBm	-0,277...-0,327 dBm
Puu kosteus 20% 16 mm	-2 dBm	-1 dBm	0 dBm	+1 dBm	-0,626...-0,947 dBm
Ihminen 150 mm	-28 dBm	-29 dBm	-25 dBm	-26 dBm	-35,26 dBm

Kuten taulukosta 4 nähdään, ei testattavilla materiaaleilla ollut suurta vaikutusta signaalin etenemiseen. Ainoastaan ihminen vaimensi signaalia huomattavasti. Mitatuissa tuloksissa havaittiin vaimenemista ja jopa vahvistusta aineille, joille niitä ei teoriassa pitäisi näkyä. Nämä tulokset voidaan olettaa johtuvan RSSI-arvon normaalista vaihtelevuudesta.

6.5 Virrankulutus

Virrankulutusta mitattiin yleismittarilla sijoittamalla metalliteipistä ja sähköteipistä rakennettu mittauslaite pariston ja piirilevyn väliin kuvan 23 mukaisesti.



Kuva 23. Virrankulutuksen mittauskytkentä.

Koska virrankulutus ei ole tasaista, vaan kulutus muuttui koko ajan, otettiin mittaustuloksista ylös silmämääräinen keskiarvo. Esimerkiksi mitattaessa kulutusta pelkkien lämpötila-antureiden ollessa päällä virrankulutus hyppi taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. Virrankulutus, kun vain lämpötila-anturit ovat päällä 1000 ms näytteenotto-ajalla ja 150ms yhteyden ottovälillä.

0,32 mA	0,36 mA	0,31 mA	0,36 mA
0,54 mA	0,55 mA	0,55 mA	0,52 mA
Keskiarvo			0,4387 mA

Koska tuloksiin vaikuttaa myös yleismittarin päivitysaika, on tulokseksi otettu silmämääräinen keskiarvo, joka esimerkiksi taulukon 5 tuloksille on 0,4 mA. Tällä tavalla saadut tulokset eivät tietenkään ole tarkkoja, mutta niillä saadaan tarpeeksi hyvä käsitys kulutuksen kokoluokasta, jotta voidaan arvioida pariston käyttöaikaa.

Virrankulutusta mitattiin SensorTagin ollessa pois päältä, parinmuodostustilassa ja yksittäisten anturien ollessa päällä. Myös maksimi- ja minimivirrankulutus mitattiin kaikkien anturien ollessa päällä. Yksittäisten antureiden kulutukset mitattiin minimi ja maksimi näytteenotto- ja yhteydenottoajalla. Taulukossa 6 on mitatut arvot eri tiloissa.

Taulukko 6. Silmämääräiset keskiarvot SensorTagin virrankulutuksista eri tiloissa.

Off	0,04 mA
Käynnistyksen huippu	10 mA
Parinmuodostus Led on/off	0,3 mA 1,5 mA
	Näytteenotto aika 2500 ms 100 ms
Kaikki anturit pois päältä	0,2 mA 0,3 mA
Lämpötila-anturit	0,3 mA 0,5 mA
Kosteusanturi	0,3 mA 0,3 mA
Barometri	0,3 mA 1 mA
Liikeanturi	3,2 mA 3,9 mA
Valoisuus anturi	0,3 mA 0,4 mA
Kaikki anturit päällä ja minimi yhteydenotto 500 ms	3,3 mA 3,8 mA
Kaikki anturit päällä ja maksimi yhteydenotto 15 ms	4,5 mA 5,1 mA

Koska SensorTag käyttää CR2032-nappiparistoa, jolla on tyypillisesti virtaa 2400 mAh, nähdään taulukosta, että Texas Instrumentin lupaama jopa vuoden käyttöikä ei ole koikaikaisessa käytössä mahdollinen. Jos kaikki anturit ovat päällä maksimi näytteen- ja yhteydenotolla, ei paristo riitä kuin noin 48 tunniksi eli pariin päiväksi. Vaikka antureista olisi päällä vain yksi energiatehokkaimmilla asetuksilla, ei paristo riittäisi kuin noin kuu-kaudeksi.

6.6 SensorTagin toimivuus ulkona

Texas Instruments antaa SensorTagille käyttölämpötila $-40\text{ °C} \dots +85\text{ °C}$, mutta muita ympäristöllisiä tekijöitä ei kuitenkaan mainita. Texas Instruments kuitenkin varoittaa, että

SensorTagia ei ole suunniteltu ääriolosuhteisiin ja tekijät, kuten kosteus tai isku, saattavat vahingoittaa laitetta. [5.]

Siksi tässä testissä kokeiltiin SensorTagin toimivuutta ulkona. SensorTag sijoitettiin ulkona olevan linnunpöntön sisään kuvan 24 mukaisesti ja tämän jälkeen SensorTag herätettiin muutamia kertoja päivässä ja kokeiltiin sen toimivuutta. Toimivuutta kokeiltiin muodostamalla yhteys mobiililaitteeseen ja katsomalla, että kaikki anturit lähtevät toimi-



Kuva 24. SensorTag linnunpöntössä.

Lämpötila- ja valoisuusanturin toimivuutta kokeiltiin vertaamalla niiden ulkona antamia tuloksia sisällä saatuihin vertailuarvoihin. Lämpötila-anturin ja elohopealämpömittarin sisällä antamien arvojen ero katsottiin ennen ulos vientiä. Toimivuuskokeen aikana katsottiin, säilyykö tämä ero arvoissa myös ulkona. Elohopeamittarin lukutarkkuus on yksi

aste. Koska valoisuusanturi on erittäin herkkä muutokselle, otettiin valoisuusanturin vertailuarvo osoittamalla LED-lampulla anturia ja etsimällä maksimi arvo valoisuudelle. Tämä koe oli helppo toistaa ulkona, ja koska LED-lamppu laitettiin anturin päälle, niin että lampun reunat olivat kiinni SensorTagissa, ei taustavalaistus päässyt häiritsemään mittausta. Myös barometrin ja kosteusanturin arvoja seurattiin. Taulukossa 7 nähdään saadut arvot kahdeksan päivän ajalta.

Taulukko 7. SensorTagin antamia tuloksia ulkona toimivuus testin aikana.

	Elohopea- mittari	Lämpötila - anturi	valoisuusanturi	Barometri	Kosteusanturi
Sisällä	23°C	25,1 °C	12 300 lx	881 mBar / 0,9 m	30,4 %
Ulkona	1 °C	3,6 °C	12 350 lx	871 mBar / 0,6 m	70,2 %
	-2 °C	0,2 °C	12 300 lx	875 mBar / -0,2 m	60,5 %
	-3 °C	-1,1 °C	11 900 lx	892 mBar / 0,7 m	62,4 %
	-4 °C	-1,9 °C	12 200 lx	880 mBar / 1,1 m	61,8 %
	2 °C	3,7 °C	12 200 lx	882 mBar / 0,6 m	88,1 %
	0 °C	3 °C	12 300 lx	890 mBar / 0,9 m	84,7 %
	0 °C	1,4 °C	12 350 lx	888 mBar / 0,6 m	79,0 %
	1 °C	2,6 °C	12 300 lx	882 mBar / -1,7 m	80,3 %
	-2 °C	0,3 °C	12 200 lx	879 mBar / 0,5 m	74,5 %
	-3 °C	-0,5 °C	12 350 lx	880 mBar / 0,8 m	71,1 %

Taulukosta 7 nähdään, että elohopeamittarin ja SensorTagin ero sisätiloissa oli 2,1 °C. Tämä ero ulkotiloissa on 1,4–2,6 °C. Lämpötilan seuranta siis toimi hyvin ulkona. Valoisuus anturin antamat arvot LED-valolle ovat myös melko tasaisia, josta nähdään valoisuusanturin toimivan hyvin, myös ulkona. Barometrin painetiedot olivat hyvin tasaisia, mutta korkeuden arvioinnissa olisi parantamisen varaa. Kosteusanturi vaikutti toimivan halutusti. Barometrin ja kosteusanturin tuloksia ei kuitenkaan voida verrata mihinkään niiden oikeaksi todentamiseksi. Vaikka infrapuna lämpötila-anturin tuloksia ei seurattu, havaittiin siinä muutaman päivän ulkona olon jälkeen virhetuloksia. Infrapuna-anturi alkoi näyttää tuloksia välillä 0–500 °C, Tämä saattoi johtua anturiin päässeestä kosteudesta. Kaiken kaikkiaan SensorTag toimii kohtuullisen hyvin myös ulkotiloissa ja ulkona olon ei pitäisi olla este laitteen käytölle linnunpöntössä.

7 SensorTagin käyttö linnunpöntössä

SensorTagin sijoittamista linnunpönttöön suunniteltiin niin, että antureista saadaan paras hyöty, mutta laitteen parinmuodostusnappi olisi kuitenkin helposti painettavissa. Huomi-oon otettiin myös asentamisen helppous ja halpuus. Koska SensorTag sellaisenaan vaa-tii fyysisen kosketuksen herätäkseen parinmuodostustilaan, voidaan SensorTag asentaa linnunpönttöön miten tahansa ilman, että säteilykuvion muutos estäisi sen käytön. Myös-kään pöntön rakennusmateriaali ei aiheuta niin huomattavaa vaimennusta, että se es-täisi SensorTagin käyttöä millään tavalla. Vaikka SensorTagin käyttölämpötilaksi ilmoi-tetaan $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, ei SensorTag ole suunniteltu käytettäväksi ulkona. Joten Sensor-Tag on asennettava pönttöön niin, että se on mahdollisimman hyvin suojassa luonnon voimilta.

Parhaimmaksi paikaksi SensorTagin asennukselle todettiin olevan linnunpöntön katon sisäpuoli. SensorTagin ollessa katossa pöntön sisäänkäyntiä vastapäätä häiritsee se vä-hiten lintujen liikkumista. Myöskin tässä asennossa saadaan infrapunalämpömittarista ja valoisuusmittarista paras hyöty niiden osoittaessa pöntön pohjalle. SensorTag voidaan kiinnittää kattoon muovisella reikänauhalla ja ruuveilla. Käynnistyspainike saadaan esiin poraamalla pieni reikä seinän ja katon kulmaan.

Negatiivisena puolena tässä asennuspaikassa on linnunpöntön matala asennuskorkeus maasta nähden. Käynnistääkseen SensorTagin on käyttäjän yletettävä koskemaan lin-nunpöntön kattoon. Toisaalta käynnistyspainike on melko herkkä, joten jonkinlaisen työ-kalun käyttö painikkeen painamiseksi pitäisi olla mahdollista.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä oli tavoitteena testata SensorTagin ominaisuuksia ja tutkia sen käyttöä lintujen pesinnän tarkkailussa. Mittaustuloksissa nähtiin, että SensorTagin Bluetooth-yhteys toimii varsin hyvin laskennallisiin arvoihin nähden. Säteilykuvio laitteen ollessa pystyssä on erittäin symmetrinen, ja vaimenemiset etäisyyden ja väliaineen mukaan vastasivat melko hyvin laskennallisia arvoja.

Pariston käyttöaika tutkittaessa kuitenkin huomattiin, että luvattu vuoden käyttöaika ei vastaa todellisuutta. Vuoden käyttöaika saadaan teoreettisesti riisumalla laitteesta kaikki olennainen pois ja laittamalla yhteydenmuodostusajat ja -kerrat minimiin. Todellisuudessa laitteen käyttöaika on lähempänä päiviä tai viikkoja kuin vuotta.

Laitteen käyttö linnunpöntössä on mahdollista, joskaan ei välttämättä mielekästä. Jos pönttö sijoitetaan helposti lähestyttävään paikkaan ja sopivalle korkeudelle, voidaan tietoja käydä lukemassa yksittäisinä kertoina. Koska SensorTag ei tallenna tietoa muualle kuin pilvipalveluihin, on tieto luettava itse mobiililaitteen näytöltä tai SensorTag on yhdistettävä internettiin mobiililaitteen avulla. SensorTag vaatii fyysisen napin painalluksen mennäkseen parinmuodostustilaan. SensorTag on sijoitettava siten, että nappiin yletää aina, kun haluaa lukea tietoa. Tämä heikentää sen käytettävyyttä huomattavasti.

Jos SensorTag sijoitetaan linnunpönttöön, joka on esimerkiksi talon seinällä, on mahdollista pitää SensorTag koko ajan yhteydessä internetiin tietokoneella, kunhan tietokone on sijoitettu niin, että Bluetooth-yhteys säilyy. Tällöin tietoa saadaan tallennettua jatkuvasti säädetyllä intervallilla. Tämä tietenkin lyhentää laitteen pariston käyttöikää etenkin, jos kaikki sensorit ovat päällä.

Koska SensorTag on tarkoitettu alustaksi sovelluskehittäjille, ei pilvipalveluissa ole valmiina sovelluksia tiedon tallentamiseksi, vaan applikaatiot tiedon näyttämiseksi, käsittelemiseksi ja tallentamiseksi on tehtävä itse.

Uudelleen ohjelmoimalla ja lisälaitteilla SensorTagin käyttömukavuus pesinnän seurannassa paranee. SimpleLink SensorTag Debugger DevPack -lisälaitteella SensorTag voidaan uudelleenohjelmoida, jolloin pystytään muuttamaan esimerkiksi tietojen päivitysaikaa ja virransäästöasetuksia. SensorTag pystytään ohjelmallisesti pitämään jatkuvasti hereillä, jolloin napin fyysinen painaminen ei ole tarpeen. Tämä tietenkin taas lyhentää

pariston käyttöikä. Debugger toimii USB-virralla ja syöttää SensorTagille virtaa, jolloin SensorTag voidaan teoriassa pitää käynnissä USB-virtalähteellä. Huonoina puolina tässä on, että Debugger toimii 0°–35° lämpötiloissa eikä siinä ole suojakuorta. Jos SensorTag ja Debugger sijoitettaisiin säältä suojaan linnunpöntön sisälle ja Debuggerin USB-virtajohto tuotaisiin pöntön ulkopuolelle, voitaisiin laitteet käynnistää kytkemällä johon varavirtalähde. Tällöin linnunpönttö voitaisiin sijoittaa käden ulottumattomiin. [50.]

Raymond Genovese on suunnitellut data-loggerin, jossa SensorTagin tietoja saadaan tallennettua SD-muistikortille Arduino 101 -piiriä käyttäen. [51] Tämän huonoja puolia on sen hinnan lisäksi, että myös Arduino-piirille pitäisi saada virtaa, jolloin komponenttien määrä ja koko alkaisivat olemaan ongelmallisia, etenkin pieniä pönttöjä ajatellen.

Lähteet

1. Järjestö. Verkkoaineisto. BirdLife Suomi ry. <<https://www.birdlife.fi/jarjesto/>>. Luettu 05.11.2017.
2. Luettelo Suomen linnuista. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Luettelo_Suomen_linnuista>. Päivitetty 02.09.2017. Luettu 05.11.2017.
3. Linnut. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Linnut>>. Päivitetty 02.11.2017. Luettu 05.11.2017.
4. Lintujen lainsuoja. Verkkoaineisto. BirdLife Suomi ry. <<https://www.birdlife.fi/suojelu/vaikuttaminen/rauhoitussaannokset/>>. Luettu 05.11.2017.
5. Mallit ja mitat. Verkkoaineisto. BirdLife Suomi ry. <<https://www.birdlife.fi/lintuharrastus/linnunpontot/mallit-ja-mitat/>>. Luettu 05.11.2017.
6. Ripustaminen ja huolto. Verkkoaineisto. BirdLife Suomi ry. <<https://www.birdlife.fi/lintuharrastus/linnunpontot/ripustaminen-ja-huolto/>>. Luettu 05.11.2017.
7. Vinkkejä ripustukseen. Verkkoaineisto. Linnunpontto.com. <http://www.linnunpontto.com/index.php?sivu=i_vinkit.php>. Luettu 05.11.2017.
8. Räisänen, Antti & Lehto, Arto. 2011. Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto. ISBN 978-951-672-367-2.
9. Onde Electromagnetique. Verkkoaineisto. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onde_electromagnetique.svg>. Luettu 06.11.2017.
10. Wave characteristics. Verkkoaineisto. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wave_characteristics.svg>. Luettu 06.11.2017.
11. Introduction to RF & Wireless Communications Systems. 2015. Verkkoaineisto. National Instruments. <<http://www.ni.com/tutorial/3541/en/>>. Luettu 06.11.2017.

12. Radio propagation. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation>. Päivitetty 18.10.2017. Luettu 08.11.2017
13. Calculation of free-space attenuation. 2016. Verkkoaineisto. International telecommunication union (ITU). <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-E.pdf>. Luettu 09.11.2017.
14. Friis Transmission Equations. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Friis_transmission_equation>. Päivitetty 25.09.2017. Luettu 12.11.2017.
15. Räisänen, Antti & Lehto, Arto. 1994. Radiotekniikka. Espoo: Otatiето. ISBN 951-672-172-9.
16. Lindell, Ismo. 1996. Radioaaltojen Eteneminen. Helsinki: Otatiето. ISBN 951-672-227-X
17. Wave impedance. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_impedance>. Päivitetty 21.09.2017. Luettu 08.11.2017
18. Granlund Kaj. 2007. Tietoliikenne. Jyväskylä: Docendo. ISBN: 978-951-0-32821-7
19. Our History. Verkkoaineisto. Bluetooth Sig <<https://www.bluetooth.com/about-us/our-history>>. Luettu 10.11.2017.
20. Bluetooth Versions and Their Differences. Verkkoaineisto. CloviTek LLC. <www.clovi.tech/blog/bluetooth-versions-and-their-differences.html>. Päivitetty 13.06.2017. Luettu 10.11.2017
21. Bluetooth. Verkkoaineisto. Wikipedia. <www.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>. Päivitetty 08.11.2017. Luettu 10.11.2017
22. OSI-malli. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli>>. Päivitetty 06.06.2016. Luettu 10.11.2017.

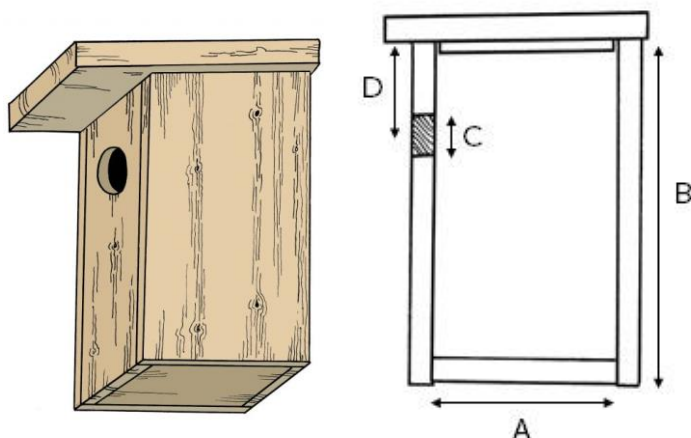
23. Bluetooth network topology. Verkkoaineisto. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bluetooth_network_topology.png>. Julkaistu 08.2007. Luettu 10.11.2017.
24. Bluetooth protocol stack. Verkkoaineisto. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bluetooth_protocol_stack.png>. Julkaistu 08.2007. Luettu 11.11.2007.
25. Vincent Gao. Proximity and RSSI. Verkkoaineisto. Bluetooth Sig. <<https://blog.bluetooth.com/proximity-and-rssi>>. Julkaistu 21.09.2015. Luettu 11.11.2017.
26. Received Signal Strength Indicator. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication>. Päivitetty 26.10.2017. Luettu 11.11.2017
27. Gupta, Naresh Chand. 2013. Inside Bluetooth Low Energy. Artech House. E-kirja. ISBN-13: 978-1-60807-579-9.
28. Bluetooth Low Energy. 2016 Verkkoaineisto. LitePoint. <<http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2016/10/Bluetooth-Low-Energy-Whitepaper-102416.pdf>>. Luettu 11.11.2017.
29. Kamath, Sandeeph & Lindh, Joakim. 2012. Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf>>. Luettu 28.10.11.
30. CC2650 SensorTag User's Guide. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC2650_SensorTag_User%27s_Guide#Sensors>. päivitetty 24.10.2017. Luettu 28.10.2017.
31. Multi-Standard CC2650 SensorTag Design Guide. 2015. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/ug/tidu862/tidu862.pdf>>. Luettu 28.10.2017.

32. Teardown. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <http://www.ti.com/ww/en/wireless_connectivity/sensortag/tearDown.html>. Luettu 17.11.2017.
33. CC2650 SimpleLink Multistandard Wireless MCU. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2650.pdf>>. Päivitetty 06.2016. Luettu 12.11.2017.
34. Liutu, Mikko. 2016 Mikrosysteemit. Verkkoaineisto. Helsingin Yliopisto. <<http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/lukseminaari/sl2016/liutu-kooste-hl.pdf>>. Luettu 15.11.2017.
35. OPT3001 Ambient Light Sensor (ALS). Verkkoaineisto. Texas Instrument. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt3001.pdf>>. Päivitetty 10.2017. Luettu 15.11.2017.
36. TMP007 Infrared Thermopile Sensor with Integrated Math Engine. Verkkoaineisto. Texas Instrument. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp007.pdf>>. Päivitetty 06.2015 Luettu 18.11.2017
37. HDC1000 Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1000.pdf>>. Päivitetty 01.2016. Luettu 18.11.2017
38. Digital Pressure Sensor. 2016. Verkkoaineisto. Bosch Sensortec. <https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP280-DS001-18.pdf>. Luettu 18.11.2017
39. MPU-9250 Product Specification Revision 1.1. 2016. Verkkoaineisto. InvenSense Inc. <<https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>>. Luettu 18.11.2017.

40. SPK0833LM4H-B. Verkkoaineisto. Knowles Acoustics. <<http://www.mouser.com/ds/2/218/SPK0833LM4H-B-1173807.pdf>>. Luettu 18.11.2017.
41. Measuring Passive Antenna Gain (dBi). Verkkoaineisto. Antenna Test Lab. <<http://antennatestlab.com/antenna-education-tutorials/gain-dbi-passive-antenna>>. Luettu 20.11.2017.
42. Dielectric Constant, Strength, & Loss Tangent. Verkkoaineisto. Elmatica. <<https://connect.elmatica.com/hc/en-us/articles/201043188-Dielectric-Constant-Strength-Loss-Tangent>>. Päivitetty 09.08.2017. Luettu 21.11.2017.
43. Electrical Properties of Plastics. Verkkoaineisto. <<http://users.tm.net/lapointe/Plastics.htm>>. Luettu 21.11.2017.
44. PC Tekniset tiedot. Verkkoaineisto. Vink Finland Oy. <http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pc/vink_pc_esite_a4_web.pdf>. Luettu 21.11.2017.
45. PMMA Tekniset tiedot. Verkkoaineisto. Vink Finland Oy. <http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pmma/vink_pmma_esite_a4_web.pdf>. Luettu 21.11.2017.
46. Sähköoppi. Verkkoaineisto. Taulukot.com. <http://www.taulukot.com/fysiikka/sahko_magnetismioppi/>. Luettu 21.11.2017
47. Dielectric Constants of Common Materials. Verkkoaineisto. KAB Electro Acoustics. <<https://www.kabusa.com/Dielectric-Constants.pdf>>. Luettu 21.11.2017.
48. Sahin Kol, Hamiyet. 2015. Thermal and dielectric properties of pine wood in the transverse direction. Verkkoaineisto. Researchgate. <https://www.researchgate.net/figure/38106929_tbl1_Table-1-Dielectric-Constant-e%27-Loss-Factor-e%27%27-Loss-Tangent-tand-and-Thermal>. Luettu 21.11.2017.

49. Investigation of on-body Bluetooth transmission. Verkkoaineisto. The Institution of Engineering and Technology.
<<http://www.eecs.qmul.ac.uk/~yueg/PDFs/2010/IET%20MAP%202010%20Investigation%20of%20on-body%20bluetooth%20transmission.pdf>>. Päivitetty 25.08.2009. Luettu 21.11.2017.
50. SimpleLink SensorTag Debugger DevPack. Verkkoaineisto. Texas Instruments.
<<http://www.ti.com/tool/CC-DEVPACK-DEBUG?keyMatch=cc-dev&tisearch=Search-EN#descriptionArea>>. Luettu 23.11.2017.
51. Genovese, Raymond. Build an Arduino 101 Data Logger with the TI SensorTag. 2017. Verkkoaineisto. All About Circuits. <<https://www.allaboutcircuits.com/projects/build-a-full-featured-ble-multi-sensor-data-logger/>>. Luettu 31.10.2017.
52. CC2650 SensorTag Quick Start Guide. 2016. Verkkoaineisto. Texas Instruments.
<<http://www.ti.com/lit/ml/swru410a/swru410a.pdf> >. Luettu 30.10.2017.

Linnunpönttömallit ja mitoitukset



Kuva 1. Tavallisin pönttömalli [5].

Mitat (senttimetrejä):

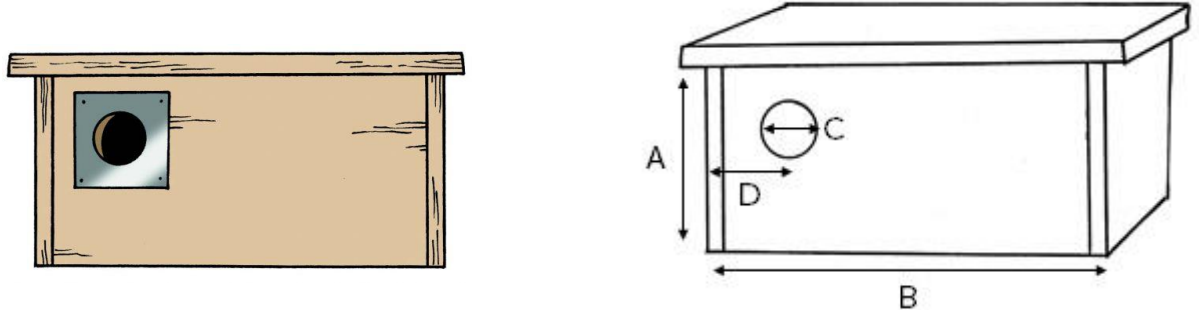
- A = pöntön leveys sisäpuolelta
- B = seinälaudun korkeus
- C = lentoaukon halkaisija
- D = lentoaukon keskipisteen etäisyys seinän yläreunasta

Taulukko 1. Tavallisimman linnunpöntön mittoja ja asukkeja [5].

Laji	A	B	C	D	Muuta huomioitavaa
sinitiainen, kuusitiainen	10	25	2,8	7	
hömötiainen, töyhtötiainen	10	25	2,8	7	Pönttö kannattaa täyttää sahanpurulla, lahoppuulla tms.
kirjosieppo, talitiainen, lapintiainen	10–12	30	3,2	8	
leppälintu	12–15	28	7	8	
kottarainen, käenpiika	12–15	35	4,6	8	

terva- pääsky	12– 15	35	4,6	8	Laudan on oltava erityisen karkeaa. Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
liito-orava	15– 18	60	4,5	20	Lentoaukko ei saa olla yli 4,5 cm, jotta näätä ei mahdu pönttöön.
varpus- pöllö	15– 18	60	4,6	20	Etuseinän on oltava vähintään 5 cm paksu. Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
helmipöllö	18– 20	50	8,5	10	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
lehtopöllö	26	60	13	13	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
viirupöllö	30– 35	60– 70	18	15	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
uuttu- kyyhky	18– 20	50	8,5	10	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
naakka	18– 20	50	8,5	10	
telkkä	22– 24	55	11,5	14	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
uivelo	22– 24	55	7,5	14	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.
isokos- kelo	26	70	13	22	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.

Vaakamallinen on kuin tavallinen pönttö, mutta kyljellään. Yhdestä seinästä tehdään katto ja reikä sijoitetaan toiseen yläkulmaan, kuten kuvassa 2. Pöntön voi ripustaa esimerkiksi talon seinälle. [5.]



Kuva 2. Vaakamallinen perulinnunpönttö [5].

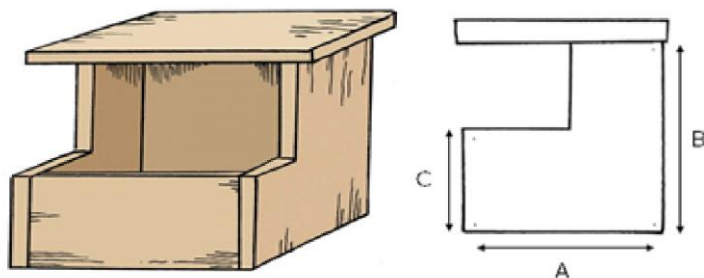
Mitat (senttimetrejä):

- A = pöntön korkeus ja leveys sisäpuolelta
- B = pitkän sivun pituus
- C = lentoaukon halkaisija
- D = lentoaukon keskipisteen etäisyys seinän sivureunasta

Taulukko 2. Vaakamallisen perulinnunpöntön kokoja ja asukkeja [5].

Laji	A	B	C	D	Muuta huomioitavaa
pikkuvarpunen	10–12	30	3,2	8	Voi kelpuuttaa pystypöntönkin.
varpunen	12–15	35	3,2–5	8	Voi kelpuuttaa pystypöntönkin.

Kuutiomainen pönttö, jossa ainakin etuseinä on puoliksi avoin. Pönttö on vielä mieluisampi useimmille lajeille, jos myös sivuseinistä sahaa palat pois, kuten kuvassa 3. Taulukossa 3 on avomallisen linnunpöntön kokoja ja asukkeja [5.]



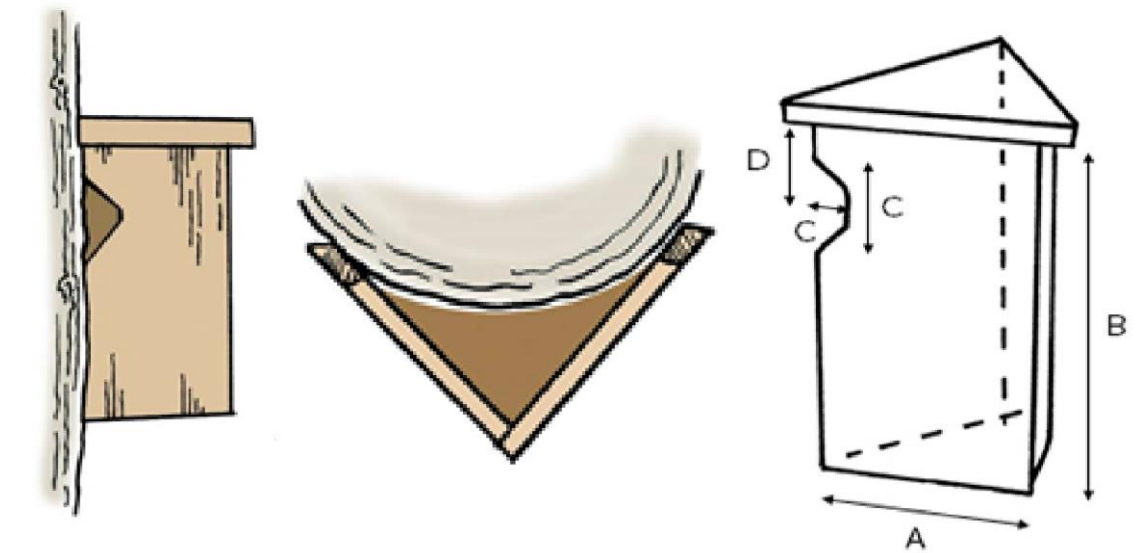
Kuva 3. Avomallinen linnunpönttö. [5.]

Laji	A	B	C	Muuta huomioitavaa
harmaasieppo, västäräkki	13–15	18	9	
koskikara	20	22	11	
tuulihaukka, hiiripöllö	26–30	40	20	Pohjalle laitetaan vähintään 5 cm sahanpurua, turvetta tms.

Taulukko 3. Avomallisen linnunpöntön kokoja ja asukkeja [5].

- A = pöntön leveys sisäpuolelta
- B = seinälaudun takakorkeus
- C = seinälaudun etukorkeus

Puukiipijän kolmimaisen pöntön takaseinänä on puun runko. Lentoaukko tehdään molemmille sivuille, kuten kuvassa 4.



Kuva 4. Puukiipijän pönttö [5].

- A = seinälaudan leveys
- B = seinälaudan korkeus
- C = lentoaukon leveys ja korkeus
- D = lentoaukon keskipisteen etäisyys seinän yläreunasta

Puukiipijän pönttö voi olla myös nelikulmainen. Taulukossa 4 on Puukiipijän pöntön kokoja [5.]

Taulukko 4. Puukiipijän pöntön tiedot [5].

Laji	A	B	C	D
puukiipijä	6–10	35	3–6	8

Ripustuskorkeudet ja ympäristöt

Taulukossa 1 näkyy linnunpönttöjen ripustuskorkeuksia ja eri lintulajeille sopivia sijoituspaikkoja.

Taulukko 1. Ripustuskorkeuksia ja sijoituspaikkoja eri lintu lajeille [6].


Laji	Korkeus	Elinympäristö, sijoituspaikka
sinitiainen	1,5–2 m	pihat, lehtimetsät
hömö-, töyhtö- ja kuusitiainen	1,5 m	havu- ja sekametsät
kirjosieppo, tali- ja lapintiainen	1,5–2 m	pihat, lehti- ja sekametsät
leppälintu	1,5–3 m	pihat, mäntykankaat
kottarainen, käenpiika, varpunen	3–5 m	pihat, lehti- ja sekametsät
harmaasieppo, västäräkki	1,5–3 m	pihat, mäntykankaat, rannat
pikkuvarpunen	4–6 m	pihat, peltoaukeat (yksinäinen puu näkyvällä paikalla)
puukiipijä	1,5 m	vanhat kuusi- ja sekametsät
tervapääsky	5–8 m	pihat, mäntykankaat
naakka	4–6 m	puistot
uuttukyyhky	4–6 m	lehtimetsät, pellonreunat
tuulihaukka	4–6 m	peltoaukeat (yksinäinen puu, ladonseinä)
Liito-orava	4–6 m	lehti- ja sekametsät
varpuspöllö	4–6 m	kuusi- ja sekametsät
helmipöllö	4–6 m	kuusi- ja sekametsät
hiiripöllö	4–6 m	hakkuuaukot, suot (yksinäinen puu tai reu-napuu)
lehtopöllö	4–6 m	lehtimetsät ja -metsiköt peltojen äärellä

viirupöllö	4–6 m	laajat kuusi- ja sekametsät hakkuuaukkojen lähellä tai laidalla
telkkä, uivelo	1,5–3 m	rannat
isokoskelo	1,5–3 m	rannat
tukkakoskelo	maassa	rannat
koskikara	1,5–3 m	rannat ja sillat virtaavan veden äärellä

SensorTag CC2650STK pikakäyttöohjeet


Kuvassa 1 on SensorTagin pikakäyttöohjeet, jotka tulevat myyntipakkauksessa.


Getting started




Thank you for purchasing the TI SimpleLink™ Multi-Standard SensorTag Development Kit

1 Download the SensorTag app from the Apple App Store or Google Play.






2 Pull the tab on the SensorTag battery to power on.




Battery tab → ↓ Pull

3 Within the app select your SensorTag from the device list, then select "Sensor View" to see the sensor's readings.



For more information about SensorTag, visit:
www.ti.com/sensortag

For technical support, visit the TI E2E™ community:
www.ti.com/lprf-forum

 **Caution!** Dispose of the battery properly and keep out of reach of children. If swallowed, contact a physician immediately.

Battery information: Perchlorate material – Special handling may apply.
 See www.dtsc.ca.gov/hazardouswaste/perchlorate

SWRU410A

Kuva 1. SensorTag pikakäyttöohjeet [52].