



Sallamaari Tervakangas

## **BLUETOOTH LOW ENERGY -KEHITYSYMPÄRISTÖ**

# **BLUETOOTH LOW ENERGY -KEHITYSYMPÄRISTÖ**

Sallamaari Tervakangas  
Opinnäytetyö  
Syksy 2013  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka, langattomat laitteet

---

Tekijä: Sallamaari Tervakangas

Opinnäytetyön nimi: Bluetooth low energy -kehitysympäristö

Työn ohjaaja(t): Ensio Sieppi (OAMK) ja Vesa Kajanus (Bonwell Intelligence Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2013

Sivumäärä: 31

---

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa langaton sensorin mittausjärjestelmä. Testattavana sensorina toimi painesensori. Työn idea tuli Bonwell Intelligencen tarpeesta tutkia erilaisia langattomia mahdollisuuksia mittausjärjestelmän toteuttamiseen, ja tämän työn langattomaksi teknologiaksi valikoitui Bluetooth low energy. Mittausympäristössä oli tarkoituksena mitata painesensorilta tulevaa dataa ja siirtää se langattomasti tietokoneelle tarkasteltavaan muotoon. Ennen kaikkea suurin tavoite oli selvittää, miten Bluetooth low energy toimii ja miten se soveltuu käytettäväksi tällaisessa tarkoituksessa.

Työssä tutustuttiin sulautettuihin laitteisiin ja niiden toimintaan sekä Arduino Unon että Bluegigan BLE112-kehitysympäristöjen avulla. Työn toteutukseen kuului lisäksi käytettävään painesensoriin ja Bluetooth low energyyn tutustuminen. BLE:hen tutustuminen tehtiin myös Bluegigan laitteiston avulla. Työn tärkeimpiä tavoitteita oli tutkia BLE:n soveltuvuutta tiedonsiirtoon sensorilta ja sitä, kuinka onnistuu Bluegigan BLE112 käyttöönotto. Ongelmina olivat Bluegigan laitteille löytyvä heikohko tuki ja se, ettei BLE ole vielä kovin laajasti käytetty menetelmä, joten tietoa ei ole kovin paljon saatavilla.

Työssä BLE112-kehitysympäristö saatiin käyttöönotettua ja BLE:n soveltuvuutta sensoridatan siirtoon tutkittiin. Lisäksi sensorilta datan mittaaminen saatiin onnistumaan. Myös sulautettuihin järjestelmiin päästiin hyvin sisälle. Näitä kaikkia ei kuitenkaan saatu yhdistettyä yhtenäiseksi mittausjärjestelmäksi, joten se osallisuus jäi jatkokehityksen varaan.

---

Asiasanat:

BLE, mittausjärjestelmä, kehitysympäristö, sulautetut laitteet, Bluetooth

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Information Technology, Wireless devices

---

Author(s): Sallamaari Tervakangas  
Title of thesis: Bluetooth low energy development environment  
Supervisor(s): Ensio Sieppi (OAMK) ja Vesa Kajanus (Bonwell Intelligence Oy)  
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2013 Pages: 31

---

This Bachelor's Thesis's purpose was to design and accomplish a measuring system using wireless technology. The object being measured was a pressure sensor. This thesis was assigned by Bonwell Intelligence Ltd. because they wanted to investigate the possibility to use Bluetooth Low energy technology in a measurement system. That is also the reason why the wireless technology being used was BLE. The meaning of the measuring environment was to measure data from pressure sensor and transfer it wirelessly to computer in sensible form.

In this work one of the tasks was to get familiar with embedded devices and their operations using the Arduino Uno and Bluegiga Technologies BLE112 development environments. A part of the work's implementation was to explore Emfit pressure sensor and Bluetooth low energy technology. The main objectives of the work were to study the BLE's suitability for wireless sensor data transmission and how to successfully put Bluegiga BLE112 development environment into service. The problems that came up were Bluegiga's fairly poor support to their devices, and the lack of information because of the fact, that BLE is still not a very widely used technology.

The BLE112 development environment was explored and the suitability of BLE for sensor data transfer was investigated. Also measuring the sensor data was done successfully and the knowledge of embedded devices was increased. In the future this measurement system will be improved so that the sensor data will be read with BLE112 and then send to computer wirelessly with Bluetooth low energy. The goal is to get the data in legible form, for example in the xy-coordinate system.

---

Keywords:  
BLE, Bluetooth, measurement, development environment, embedded devices

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyö on tehty Bonwell Intelligence Oy:lle Oulun seudun ammattikorkeakoulun tiloissa keväällä 2013.

Haluaisin kiittää Bonwell Intelligence Oy :n Vesa Kajanusta, joka mahdollisti opinnäytetyön teon, sekä OAMK:n työnohjaajaa Ensio Sieppiä. Suurin kiitos kuuluu kuitenkin miehelleni, joka on tukenut minua sekä opinnäytetyön teossa että koulunkäynnissä.

Oulussa 5.10.2013

Sallamaari Tervakangas

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
MERKKIEN SELITYKSET	7
1 JOHDANTO	9
2 BLUETOOTH LOW ENERGY	10
2.1 Bluetooth	10
2.2 Bluetooth low energy	13
3 MUU KÄYTTETTY VÄLINEISTÖ	17
3.1 Painesensori	17
3.2 Arduino Uno	18
3.3 Käytetty ohjelmisto	19
4 BLUEGIGA BLE112	22
5 TYÖN VAIHEET	26
6 POHDINTA	29
LÄHTEET	30
LIITTEET	32

## MERKKIEN SELITYKSET

ADC	Analog to Digital Converter on analogia-digitaalimuunnos.
API	Applivation Programming Interface on määritelmä, jonka mukaan eri ohjelmat voivat keskustella keskenään.
ATT	Attribute Protokol on attribuutti protokolla protokollapinossa.
BGAPI	Kustomoitu binäärinen protokolla, jota käytetään Bluegigan moduulien ja donglejen spesifiointiin.
BGScript	BGScript on Bluegigan BLE laitteille luotu script-kieli.
BLE	Bluetooth low energy on Bluetoothiin 4.0 versioon pohjautuva langaton tiedonsiirtoteknologia.
BR, BR/EDR	Basic Rate/Enhanced Data Rate kertoo, mitä nopeutta Bluetooth käyttää.
GAP	Generic Access Profile on profiili, joka on yhteydessä sovellusten ja profiilien kanssa.
GATT	Generic Attribute Profile on datan siirtoon ja ATT:n määrittelyyn käytetty profiili.
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying on taajuusmodulaatio menetelmä.
GPIO	General Purpose I/O on yleiskäyttöinen portti mikrokontrollereissa.
HCI	Host Controller Interface on isännän ja kontrollerin kommunikointiin tarkoitettu kerros protokollapinossa.
HW	Lyhenne, joka tarkoittaa laitteistoa tai tietokonetta.

ISM	Industrial, Scientific and Medical taajuusalue, joka on tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
L2CAP	Local Link Control and Adaption Protocol on loogisen linkin kontrolli- ja sovitusprotokolla.
LL	Link Layer on protokollapinon linkkikerros.
PAN	Personal Area Network on tiedonsiirtoverkko, missä verkossa olevat laitteet voivat kommunikoida ja siirtää tietoaan keskenään.
PHY	Physical Layer, eli protokollapinon fyysinen kerros.
RF	Lyhenne radiotaajuudelle.
RX	Lyhenne vastaanottimelle.
SIG	Special Interest Group on Bluetoothin kehittänyt ryhmä yrityksiä.
SPI	Serial Peripheral Interface on sarjaväylä, jossa tieto liikkuu kahden tai useamman laitteen välillä.
SW	Lyhenne ohjelmalle tai ohjelmistolle.
TX	Lyhenne lähettimelle.
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter, eli mikropiiri, joka muuntaa rinnakkaismuotoisia tietoja sarjamuotoisiksi ja päinvastoin.
USB	Universal Serial Bus, eli sarjaväyläarkkitehtuuri, jota käytetään laitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.



# 1 JOHDANTO

Langattomia menetelmiä on nykyään useita ja niitä käytetään laajasti erilaisissa mittausjärjestelmissä. Bluetooth low energy on sekä tehokas että vähän energiaa kuluttava langaton menetelmä siirtää tietoa sensorilta tietokoneelle. BLE perustuu klassiseen Bluetoothiin, ja Bluetooth löytyy nykyään lähes jokaisesta matkapuhelimesta ja tietokoneesta. Aiheen opinnäytetyöhön sain Bonwell Intelligence Oy:ltä, joka halusi tutkia, mikä olisi sopivin tapa siirtää langattomasti tietoa sensorilta tietokoneelle. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuutta BLE:n käyttöön kyseisessä tarkoituksessa.

Bonwell Intelligence Oy on oululainen startup-yritys, joka on perustettu tammi-kuussa 2013, ja sen perustana on hyvinvointiteknologia ja sen eri sovellusten tekeminen hausemmaksi pelien avulla. Yrityksen hyvinvointisovellukset mahdollistavat täysin uuden ja joustavan tavan tuottaa kuntoutuspalveluja. (7.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa langaton sensorin mittausjärjestelmä. Testattavana sensorina toimi painesensori. Työn toteutukseen kuului ensin tutustumista sulautettuihin järjestelmiin, käytettävään painesensoriin ja BLE:hen. Sen lisäksi toteutettavassa mittausjärjestelmässä käytettiin Bluegigan BLE112-kehitysympäristöä.

Työn tärkeimpinä tavoitteina oli tutkia BLE:n soveltuvuutta tiedonsiirtoon sensorilta sekä sitä, kuinka onnistuu Bluegigan BLE112 käyttöönotto. Ongelmina olivat Bluegigan laitteille löytyvä heikohko tuki ja se, ettei BLE ole vielä kovin laajasti käytetty menetelmä, minkä vuoksi tietoa ei ole kovin paljon saatavilla.

## 2 BLUETOOTHLOW ENERGY

Bluetooth on sisäänrakennettu useisiin eri tuotteisiin autoista ja matkapuhelimista lääketieteellisiin laitteisiin ja tietokoneisiin sekä jopa haarukkoihin ja hammasharjoihin. Bluetooth-teknologia mahdollistaa äänen, tiedon, musiikin, kuvien, videoiden ja monien muiden informaatioiden siirron langattomasti laitteiden välillä. (13.)

### 2.1 Bluetooth

Bluetooth-teknologia on globaali langaton ja turvallinen menetelmä yhdistää laitteita ja palveluita laajenevalla alueella. Se on erittäin tarpeellinen nykypäivänä, sillä se tuo yhteen jokapäiväisiä laitteita langattoman yhteyden avulla. Bluetooth löytyy nykyään monista laitteista sisäänrakennettuna. Se on yksi tunnetuimmista ja käytetyimmistä langattomista teknologioista.

Vuonna 1994 ryhmä insinöörejä Ericssonilla keksivät langattoman kommunikointitekniikan, jota nykyään kutsutaan Bluetoothiksi. Nimi juontaa juurensa entisestä tanskalaisesta kuninkaasta nimeltään Harald Blåtand (eng. Bluetooth). Vuonna 1998 ryhmä yrityksiä (Ericsson, Intel, Nokia, Toshiba ja IBM) muodostivat yhdessä Bluetooth Special Interest Groupin (SIG). Koska teknologiaa ei omista vain yksi yritys, SIG:in jäsenyritykset työskentelevät yhdessä kehittämään Bluetoothia yhdistämään laitteet ympäri maailmaa.

Matkapuhelimet, FM radio ja televisio käyttävät kaikki radioaaltoja lähettämään tietoa langattomasti. Bluetooth-teknologia käyttää myös radioaaltoja, mutta se siirtää dataa lyhyemmällä kantamalla. Se toimii 2.4-2.485 GHz taajuusalueella, joka on vapaa ja lisenssitön useimmissa maissa. Bluetooth vaihtaa lähetystaajuutta taajuushyppelyn avulla, ja kyseisellä taajuusalueella kanavia on 79. Bluetooth on yhdistelmä ohjelmistoa ja laitteistoa. Laite, jossa on Bluetooth, sisältää pienen sirun, joka sisältää itse Bluetooth-radion. Laitteessa on myös ohjelmisto, joka yhdistää Bluetooth-sirun muihin laitteisiin langattomasti.

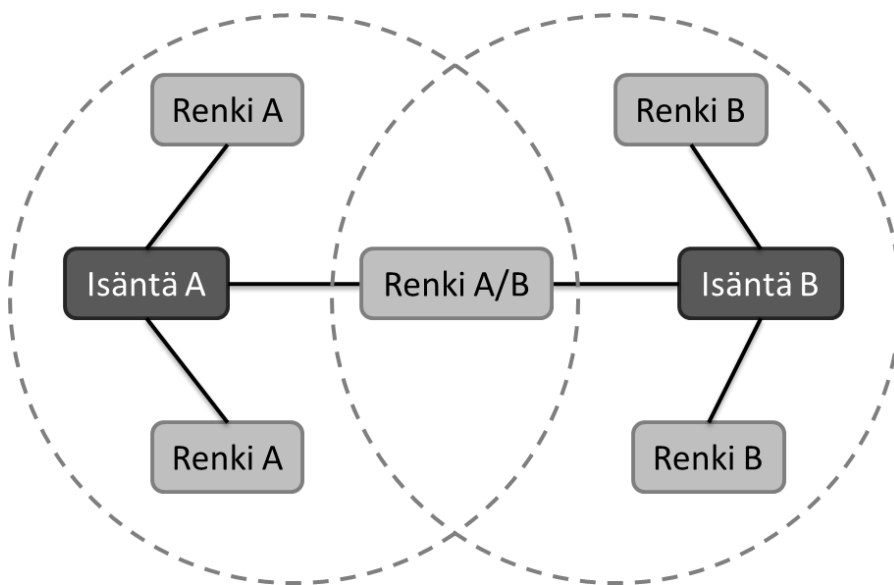
Vuonna 2011 esitellyt Bluetooth Smart ja Bluetooth Smart Ready ovat laajennuksia tavalliselle Bluetoothille. Smart ja Smart Ready nimitykset osoittavat

tuotteiden yhteensopivuuden käyttää vähäenergistä Bluetooth versio 4.0:a. Bluetooth Smart Ready tuotteet toimivat yhdessä sekä normaalin Bluetoothin että Bluetooth Smart -tuotteiden kanssa. Bluetooth Smart -tuotteet toimivat pienellä kolikkopatterilla kuukausia tai jopa vuosia. Smart toimii kuin sensori pitkän aikaa pienellä patterilla (esimerkiksi sykemittari), ja Smart Ready -tuote kerää tiedon esimerkiksi älypuhelimessa tai tabletissa ja näyttää tuloksen. (6. 12.)

*TAULUKKO 1. Bluetoothin ja Bluetooth low energyn eroavaisuudet*

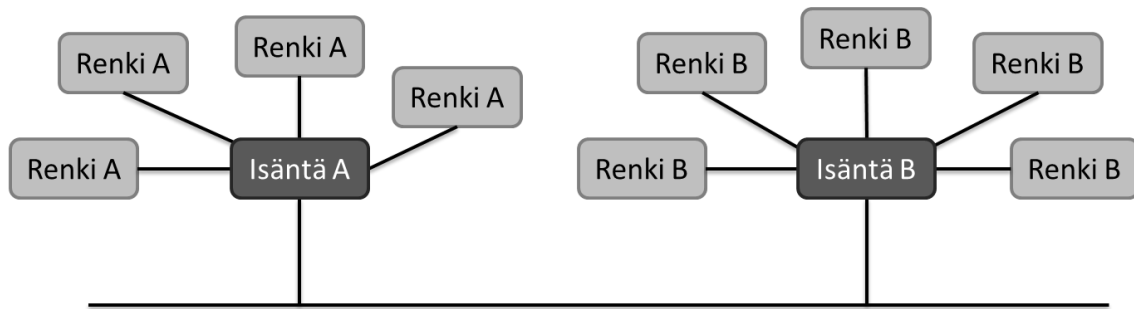
Technology	Classic Bluetooth technology (EB/EDR)	Bluetooth low energy technology
Radio Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz
Distance / Range	10 to 100 meters	10 to 100 meters
Over the air Data Rate	1-3 Mbps	1 Mbps
Application Throughput	0.7-2.1 Mbps	0.2 Mbps
Nodes/Active Slaves	7 / 16777184	Unlimited
Security	64b/128b and applications layer user defined	128b AES and application layer user defined
Robustness	Adaptive fast frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive fast frequency hopping
Latency (from a non connected state)		
Total time to send data (det. Battery life)	100ms	<3ms
Government Regulation	Worldwide	Worldwide
Certification Body	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG
Voice capable	Yes	No
Network topology	Scatternet	Star-bus
Power Consumption	1 as the reference	0.01 to 0.5 (depending on use-case)
Peak current consumption (max 15mA to run on coin cell battery)	<30mA	<15 mA
Service discovery	Yes	Yes
Profile concept	Yes	Yes
Primary Use Cases	Mobile phones, gaming, headsets, stereo audio streaming, automotive, PCs, consumer electronics, etc.	Mobile phones, gaming, PCs, watches, sports & fitness, healthcare, automotive, consumer electronics, automation, industrial, etc.

Bluetoothin ja Bluetooth low energyn ominaisuuksia on listattu taulukossa 1. Suurimmat eroavaisuudet löytyvät virrankulutuksesta. Bluetooth low energyssä pienempään virrankulutukseen on päästy pienemmällä tiedonsiirron määrällä, pienemmillä paketeilla, vähentämällä käytettäviä kanavia ja yksinkertaisemmalta yhteysarkkitehtuurilla. Oleellista on myös se, että Bluetooth low energyssä käytetään vain yhtä häiriönsietomenetelmää, joka estää häiriöitä signaalissa. Bluetoothissa pakettien koko on 0,7-2,1Mbps, kun taas BLE:ssä se on vain 0,2Mbps. BLE:ssä datan lähetysaika on myös lyhempi. Tämän ansiosta BLE:n virrankulutus on 50-99% pienempi kuin Bluetoothissa ja se voi toimia 230 mA paristolla jopa vuoden yhtäjaksoisesti. (4. 9.)



KUVA 1. Bluetoothin Scatternet topologia

Bluetooth ja Bluetooth low energy eroavat toisistaan myös verkkotopologioidensa osalta. Bluetoothissa on käytössä scatternet topologia, joka on esitetty kuvassa 1. Siinä pienemmät verkot voivat yhdistyä toisiinsa siten, että esimerkiksi rengillä on kaksi isäntää. Bluetooth low energyssä verkkotopologia on star-bus topologia, joka on esitelty kuvassa 2. Siinä isännät voivat olla yhteydessä toisiinsa bus topologian mukaisesti, mutta rengit ovat yhteydessä aina vain yhteen isäntään. (17. 18.)



KUVA 2. Bluetooth low energy Star-bus

## 2.2 Bluetooth low energy

Ensimmäisen version BLE:stä kehitti Nokia vuonna 2001 nimellä BTLite, sillä aikaisemmat langattomat tekniikat eivät sopineet mobiililaitteisiin. Teknologia julkaistiin vuonna 2006 nimellä Wibree ja tässä vaiheessa suunnittelussa tulivat mukaan myös myös Suunto ja Nordic Semiconductor. Vuotta myöhemmin Nokia ja Bluetooth SIG päättivät yhdessä Wibreen yhdistämisestä Bluetoothiin. Vuosina 2009–2011 tekniikkaa saatiin kehitettyä ja ensimmäisiä versioita core spesifikaatioista ja host spesifikaatioista julkaistiin. Ensimmäinen Bluetooth low energyä käyttävä laite tuli markkinoille 2011. (1. 3. 15.)

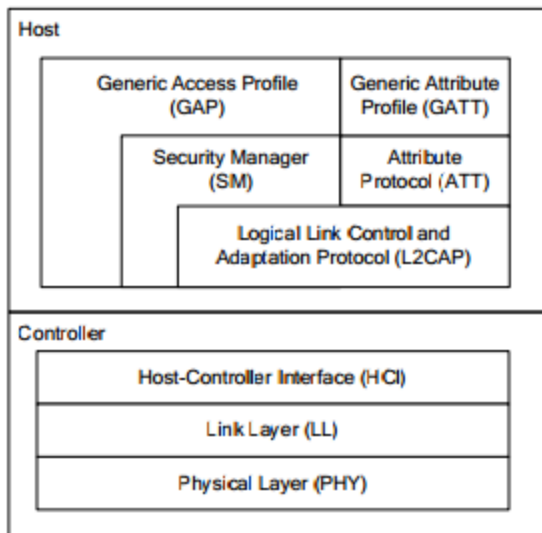
Bluetooth low energy (BLE) perustuu Bluetooth Core versio 4.0:an ja se on kehitetty erityisesti terveydenhuollon, lääketieteen, urheilun, kodin turvallisuuden ja viihde-elektroniikan tarpeisiin, sillä sen energiankulutus on tehty mahdollisimman pieneksi. Monissa tapauksissa on mahdollista käyttää BLE:llä varustettua laitetta jopa vuoden yhdellä patterilla. BLE on yhteensopiva Bluetooth Smart- ja Bluetooth Smart Ready -laitteiden kanssa. (Bluetooth SIG) Bluetoothin versio 4.0 mahdollistaa kaksi langatonta teknologiaa: Basic Rate (BR, useasti myös BR/EDR /Enhanced Data Rate) ja Bluetooth low energyn.(4. 5.)

Bluetooth low energyn kehityksen tarkoitus on ollut luoda uusi yhteys protokolla, joka mahdollistaisi Bluetooth-yhteyden muodostuksen mahdollisimman vähällä virrankulutuksella. Vaikka se esiteltiin osana Bluetooth versio 4.0:a, on se teknologialtaan ja tiedonsiirtoprotokollaltaan selvästi muista Bluetooth teknologioista erottuva eikä tästä syystä sovi yhteen vanhempien Bluetooth-versioiden kanssa. Bluetooth low energy voidaan yhdistää myös samaan laitteeseen dual-

mode-tekniikalla, mutta tällöin menetetään BLE:n tärkein etu eli vähäenergisyys ja siksi tätä tekniikkaa käytetäänkin useasti vain isäntälaitteessa. Renkilaitteet taas on toteutettu single-mode- eli low energy -tekniikalla. (4.)

BLE:ssä yhdistyy vanhan Bluetooth-tekniikan edut ja lisäksi sen käyttöönotto-kustannukset ovat alhaiset ja lopullisen toteutuksen virrankulutus on huomattavan alhainen. BLE:n alhainen virrankulutus johtuu lyhyistä lähetyspaketeista, jotka taas johtavat lähetystapahtuman alhaisempaan virran huippuarvoon. Lyhyet lähetyspaketit mahdollistavat myös ajallisesti lyhemmän vastaanottoajan.

Vähävirtaisuuteen on päästy myös vähentämällä käytettäviä kanavia, ja tämä myös mahdollistaa laitteiden löytämisen ja yhteydenmuodostamisen nopeammin. Yksinkertaisemman yhteysarkkitehtuurin lisäksi BLE käyttää vain yhtä protokollaa, joka mahdollistaa yksinkertaisemmat ja kevyemmät sovellukset. Pienet tiedonsiirtopaketit ja yksinkertainen protokolla vaativat vähemmän puskurointia, joka tarkoittaa vähempää muistin käyttöä, ja tämä taas laskee virrankulutusta. Bluetooth low energy -laitteen käyttöikä voi olla jopa vuoden, kun se käyttää tavallista 200-230mA-nappiparistoa. (15.)



KUVA 3. Bluetooth low energyn protokollapino

Protokollapino (Kuva 3) sisältää kaksi osa-aluetta: kontrollerin ja isännän. Tämä erottelu juontaa juurensa alkuperäiseen Bluetooth BR/EDR-laitteeseen, jossa

nämä kaksi osa-aluetta on toteutettu erikseen. Kaikki käytettävät profiilit ja applikaatiot sijaitsevat GAP:in ja GATT:in tasolla pinossa. PHY-kerros on 1Mbps mukautuva taajuushyppely GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) radio, joka käyttää lisensöimätöntä 2,4GHz ISM-kaistaa.

LL olennaisesti kontrolloi RF-puolta laitteessa, joka voi olla viidessä eri tilassa: valmius-, mainonta-, skannaus-, aloitus- tai yhdistettytila. Mainontatila lähettää tietoa olematta kuitenkaan yhteydessä toiseen laitteeseen, kun taas skannaus vastaanottaa mainostusta. Aloitusstilassa laite vastaa mainostukseen yhteyden aloituspyynnöllä. Jos mainostustilassa oleva laite hyväksyy pyynnön, molemmat aloitus- ja mainostustilassa olevat laitteet siirtyvät yhteystilaan. Yhteystilassa laitteella voi olla joko isännän tai rengin rooli. Laite, joka on lähettänyt yhteyspyynnön, on isäntä, kun taas laite, joka on hyväksynyt pyynnön, toimii renkinä.

HCI-kerros tarjoaa mahdollisuuden kommunikoida isännän ja kontrollerin välillä standardoidulla rajapinnalla. Tämä kerros voidaan toteuttaa joko API ohjelmistolla tai -laitteistolla, kuten UART, SPI tai USB.

L2CAP-kerros tarjoaa datan kapsilointipalveluita ylemmille kerroksille mahdollistaen end-to-end-kommunikoinnin. SM-kerros määrittelee paritus- ja avainjake-lun ja toimittaa funktion toisille kerroksille pinossa, jotta turvallinen yhteys ja datan vaihto onnistuu toiseen laitteeseen.

GAP-kerros on suorassa yhteydessä sovelluksen ja profiilien kanssa ja hallitsee laitteiden löytämistä ja yhdistämistä. Lisäksi GAP käsittelee turvallisuustoimintoihin johdattamista.

ATT-protokolla antaa laitteen paljastaa tiettyjä osia datasta, jotka tunnetaan attribuutteina, toisille laitteille. Laite, joka paljastaa attribuutteja toimii serverinä, ja attribuutteja tutkivaa laitetta kutsutaan asiakkaaksi. LL-tila on itsenäinen ja riippumaton ATT-protokollan roolista, esimerkiksi isäntälaitte voi toimia sekä ATT-serverinä että ATT-asiakkaana. Laitteen on myös mahdollista olla ATT-serveri ja ATT-asiakas samaan aikaan.

GATT-kerros on palvelukehys, joka määrittelee aliproseduurit ATT:in käyttöön. GATT määrittelee myös profiilien rakenteet. BLE:ssä kutsutaan "characteris-

tics”- eli ominaisuudet-nimellä kaikkia datan palasia, joita käyttävät profiilit tai palvelut. Kaikki yhteydenmuodostukset, joissa on kaksi BLE:llä yhdistettyä laitetta, käsitellään GATT:in aliohjelmatoimintosarjoissa. Siksi sovellukset ja profiilit käyttävät automaattisesti GATT:ia. (4.)



### 3 MUU KÄYTETTY VÄLINEISTÖ

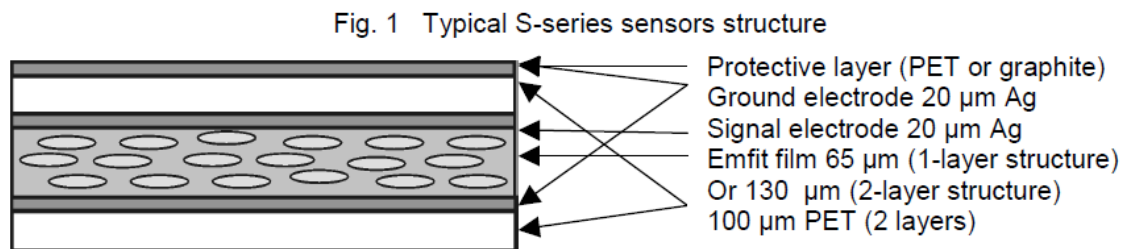
Tässä kappaleessa esitellään muuta työssä käytettyä välineistöä ja ohjelmia.

#### 3.1 Painesensori



KUVA 4. Käytettävä sensori

Toteutettavassa mittausjärjestelmässä toimi sensorina Emfit s-sarjan painesensori, joka on kuvassa 4. S-sarjan sensorit ovat keveitä ja pienen alueen peittäviä sensoreita. Sensori koostuu elastisesta elektronisesta Emfit filmistä ja kahdesta polyesterifilmikerroksesta hopeatahnaelektrodeilla. (10.)



KUVA 5. Painesensorin rakenne

Sensorissa on suojaava kerros, jonka sisällä on Emfit-filmikerros ja johtava kerros. Kuvassa 5 on esitelty sensorin rakenne. Sensoria painettaessa se antaa virtapiikin, joka on sitä isompi mitä enemmän sensoria painetaan. Täten sensorilla voidaan mitata siihen kohdistuvan paineen suuruutta.

### 3.2 Arduino Uno

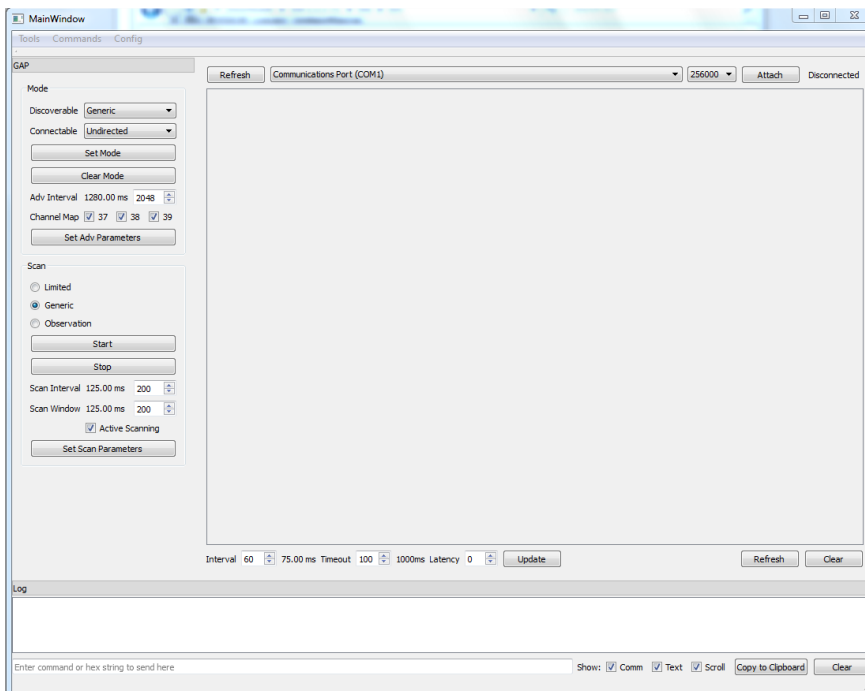
Arduino-mikrokontrollerikehitysalustat ovat avoimen lähdekoodin periaatteella kehitettyjä, ja niillä on mahdollista toteuttaa monenlaisia asennuksia yksinkertaisesta ledinvilkkutuksesta älykkääseen robottiin. Arduino-alustat on tehty helpoiksi lähestyä ja ohjelmoida, sillä useissa versioissa on FTDI:n USB-sarjamuunninpiiri ja tällöin erillistä ohjelmointikaapelia ei tarvita, vaan ainoa investointi alusta lisäksi on USB-kaapeli. Arduino-alustat ovat edullisia ja kehitetty juuri aloitteleville sulautettujen laitteiden käyttäjille. (2.)



KUVA 6. Arduino Uno

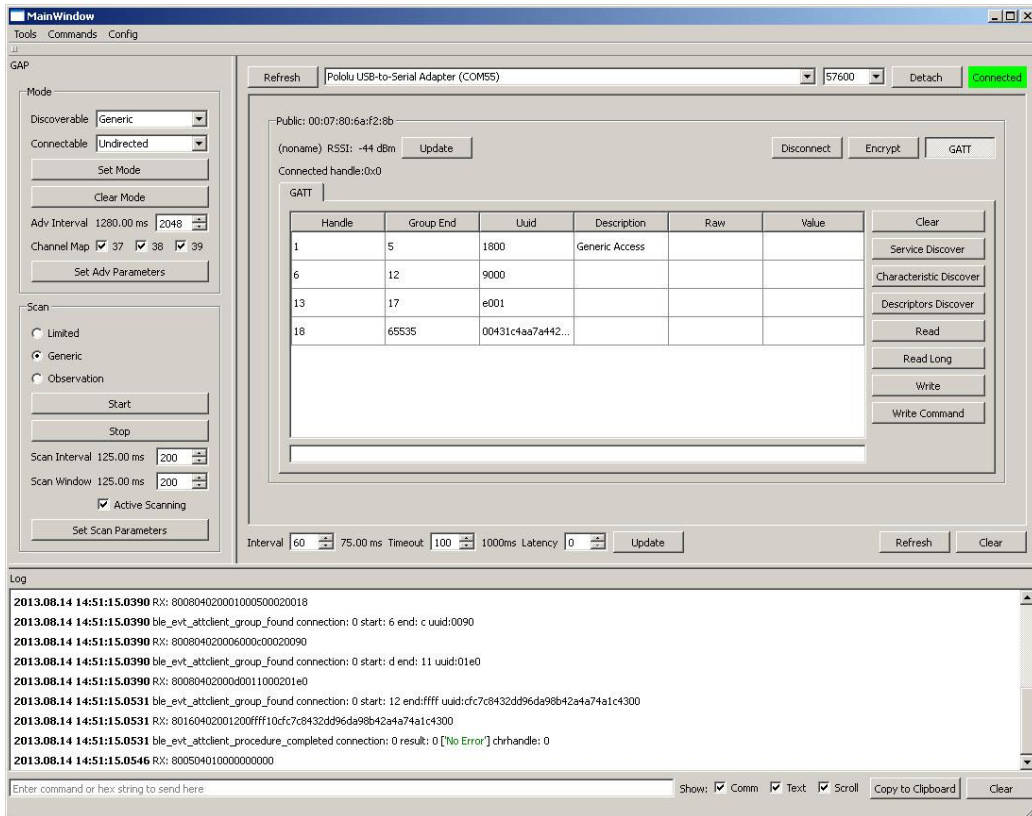
Arduino Uno (Kuva 6) perustuu ATmega328-piirille. Siinä on 14 digitaalista sisään- ja ulostuloa, 6 analogista sisääntuloa, 16MHz keraaminen resonaattori, USB-liitin, virtaliitin, ICSP header- ja reset-nappi. Arduinon koodaus tehdään C++:n perustuvalla Arduino-ohjelmointikielellä ja se on tehty mahdollisimman helpoksi lähestyä. Arduino Uno on löytyy paljon ohjeita ja valmiita ohjelmia käytettäväksi, ja se on tekniikan harrastelijoiden suuressa suosiossa helppokäyttöisyytensä vuoksi. (11.)

### 3.3 Käytetty ohjelmisto



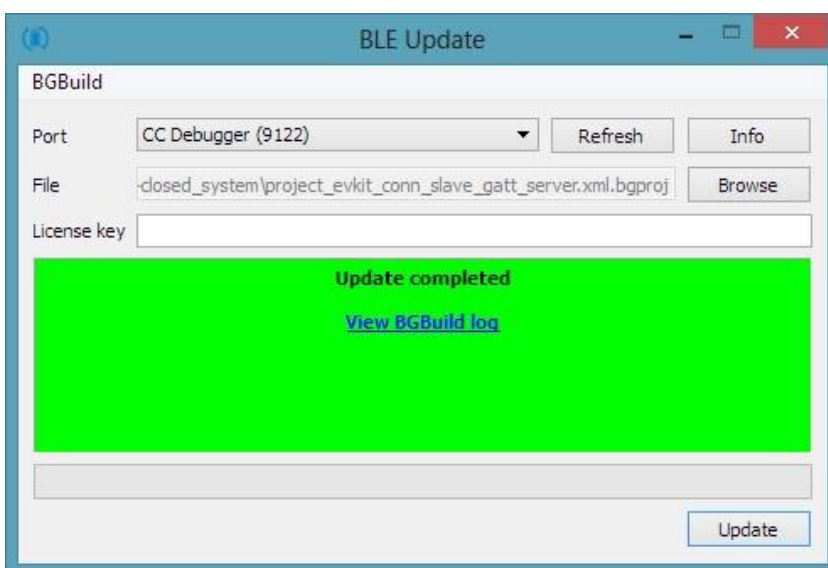
KUVA 7. BLEGUI ohjelman aloitusnäky

BLEGUI on Bluegigan kehittämä ohjelma, ja sitä käytetään kontrolloimaan BLE112:ta UARTin tai USB:n avulla. Aloitusnäky näkyy kuvassa 7. BLEGUI lähettää BGAPI komennon prosessorille ja yhdistää vastaukset. Se on hyödyllinen työkalu BLE112-kehitysympäristöön tutustumisen ja BLE-sovellusten kannalta. Bleguissa yhteys piirin ja tietokoneen välille otetaan donglen avulla, joka luo BLE-yhteyden. Kun haluttu laite on saatu yhdistettyä, voidaan laitteen GATT-tietoja tarkkailla ja muuttaa BLEGUI:n avulla. Malliesimerkki tällaisesta tilanteesta on kuvassa 8. (9.)



KUVA 8. BLEGUI-ohjelmassa näkymä, kun yhteys on luotuna

Kuvassa 9 on BLE Update, joka on myös Bluegigan oma sovellus. Se kääntää koodiprojektin .hex-tiedostoksi, ja sillä saa tiedoston myös siirrettyä BLE112:sen prosessorille. Se on tarkoitettu käytettäväksi Bluegigan laitteiden kanssa.



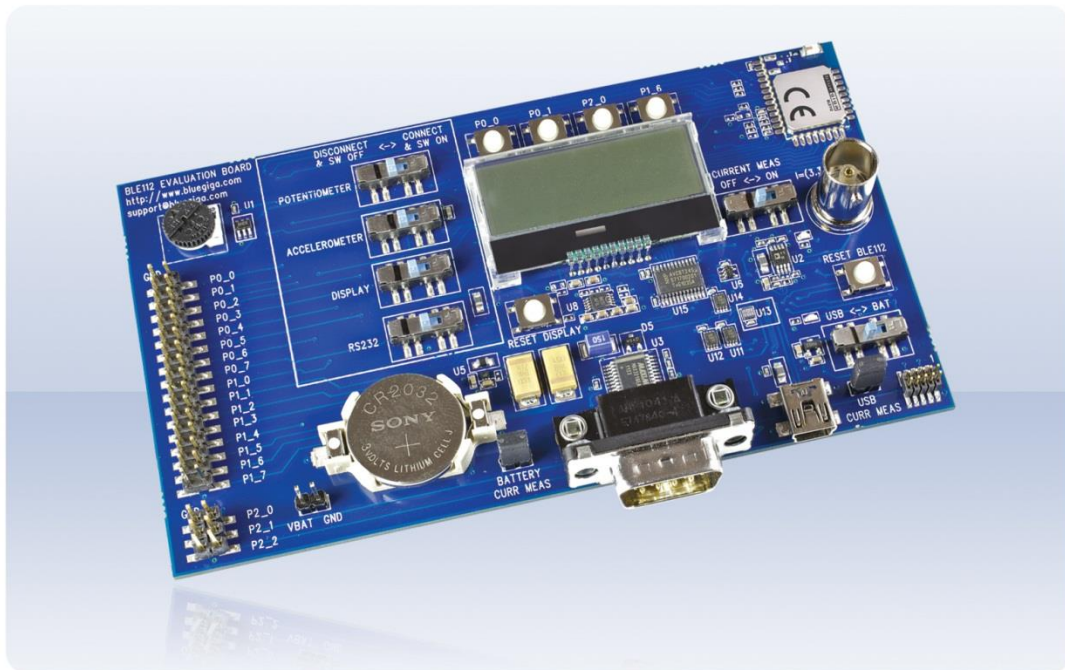
KUVA 9. BLE Update ohjelman näkymä, kun yhteys on luotu

Firmware päivitetään TI Flash program -ohjelmalla, eli käytännössä se päivittää BLE112:sta sen sisäisen haihtumattomaan muistiin tallennetun ohjelmaosion, joka ei ole muilla keinoilla päivitettävissä. Firmware sisältää kaikki käynnistykseen ja muuhun yleiseen ja hyvin matalantason toimintaan vaadittavat toiminnot.

Notepad++ on avoimeen lähdekoodiin perustuva tekstieditori. BGScript-lisäosa on Bluegigan kehittämä lisäys Notepad++:aan, joka helpottaa koodin kirjoittamista ja lukemista, sillä se muuttaa sanat koodin osiksi ja näyttää ne eri väreillä. Lisää työssä testatuista, mutta ei siihen soveltuvista ohjelmista, on liitteessä 1, joka on tarkoitettu vain yrityksen sisäiseen käyttöön.

## 4 BLUEGIGA BLE112

Opinnäytetyössä käytettäväksi kehitysympäristöksi Bonwell Intelligence valitsi Bluegigan BLE112-kehitysympäristön (Kuva 10) ja BLE donglen. Dongle on klassista Bluetoothia ja BLE:tä tukeva lähetinvastaanotin, joka kiinnitetään USB-portin kautta tietokoneeseen. Jos tietokoneessa ei ole valmiiksi Bluetoothia, sen saa siihen donglen avulla. Kehitysympäristö eli kitti sisälsi piirilevyn, jossa on BLE112-moduulin lisäksi näyttö ja monia muita ominaisuuksia. Kitin saa toimimaan sekä verkkovirralla että patterilla ja dataa siihen saa siirrettyä johdolla ja langattomasti BLE:n avulla.



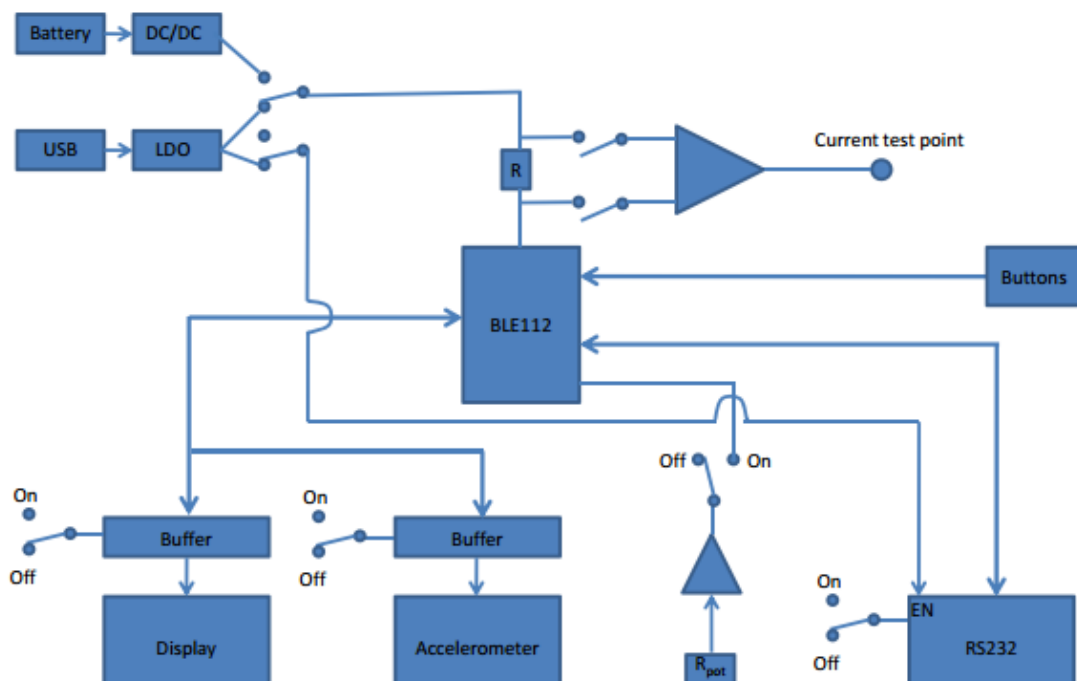
KUVA 10. Bluegiga BLE112-kehitysympäristö

Bluegigan BLE-moduuli on kuvassa 11. Se pohjautuu Texas Instrumentsin CC2540-mikropiiriin, jonka päälle Bluegiga on rakentanut oman BLE-kokonaisuutensa. Siihen kuuluu myös oma ohjelmointikieli BGScript, jonka pitäisi mahdollistaa nopea ohjelmistojen koodaaminen kielen helppouden takia. BGScriptiin pohjautuvaa ohjelman koodia voidaan muokata lähes millä tahansa tekstieditorilla ja se käännetään sitten Bluegigan omalla kääntäjällä BLE Updattella.



KUVA 11. Bluegigan BLE112-moduuli

Kuvassa 12 on Bluegigan BLE112-kehitysympäristön toiminta kuvattuna lohko-kaaviona. Levy on muokattavissa haluttuihin tarpeisiin sen mukaan, tahdotaanko näyttöä (display) tai kiihtyvyyssanturia (accelerometer) pitää päällä ja tarvitaanko niitä pyöritettävässä ohjelmassa. BLE112-moduuli pitää sisällään prosessorin, joka ohjaa koko levyä. (14.)

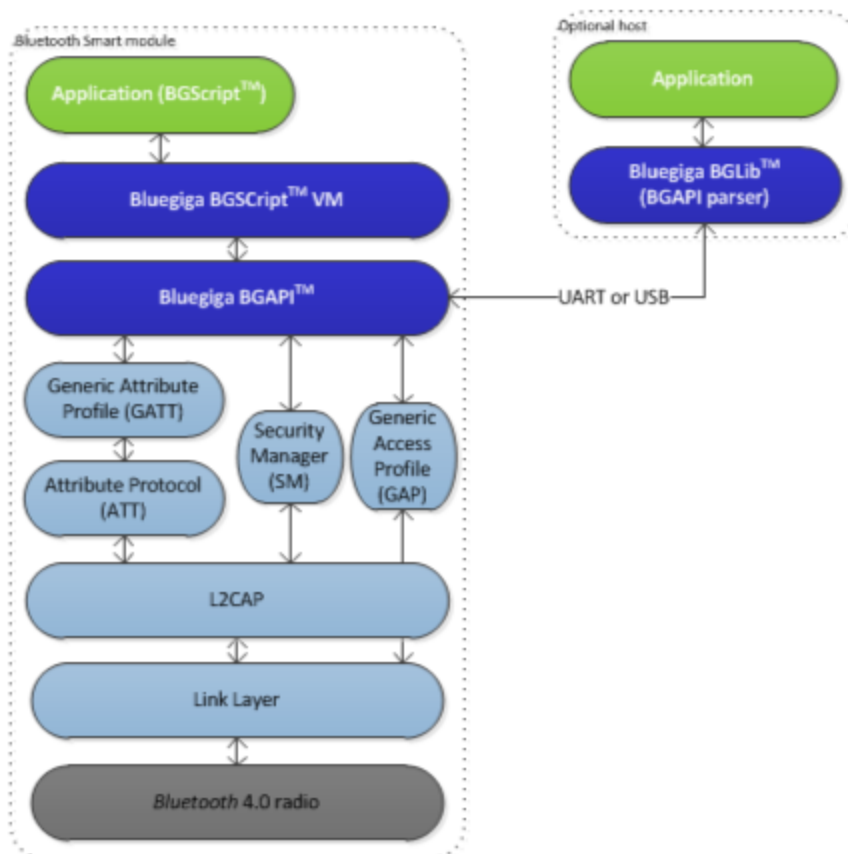


KUVA 12. BLE112-kehitysympäristön lohko-kaavio

Koodia tarkastellaan Notepad++-ohjelmalla, jossa oli lisäosana BGScript-tuki, sillä se soveltuu tähän tarkoitukseen parhaiten. Koodia voi myös tarkastella muilla tekstieditoreilla, mutta niihin ei saa BGScript yhteensopivuutta. Yhteen

projektiin kuuluu viisi erilaista koodin osa-alueita: bgs, hardware.xml, gatt.xml, config.xml ja bgproj. Lisäksi koodia käännettäessä saadaan out.hex -tiedosto, jossa koodi on pakattu siirrettäväksi prosessorille. (16.)

Koodin osa-alueista ensimmäinen, bgs, on itse script-osuus, eli siihen muokataan haluttu toiminto välittämättä HW-osuudesta tai Bluetoothista. Hardware.xml-osuus taas on HW-rajapintojen konfigurointiin käytettävä koodiosuus, jonka kautta saadaan toimimaan UART, SPI, USB ja GPIOt. Kolmas osuus gatt.xml:ää käytetään konfiguroimaan Bluetooth low energysssä käytetty GATT-tietokanta eli itse data, jota halutaan lähettää. Config.xml:ssä tehdään aplikaation eli sovelluksen toiminnan optimointi. Nämä kaikki koodin osa-alueet kokoaa yhteen projektitiedosto bgproj.



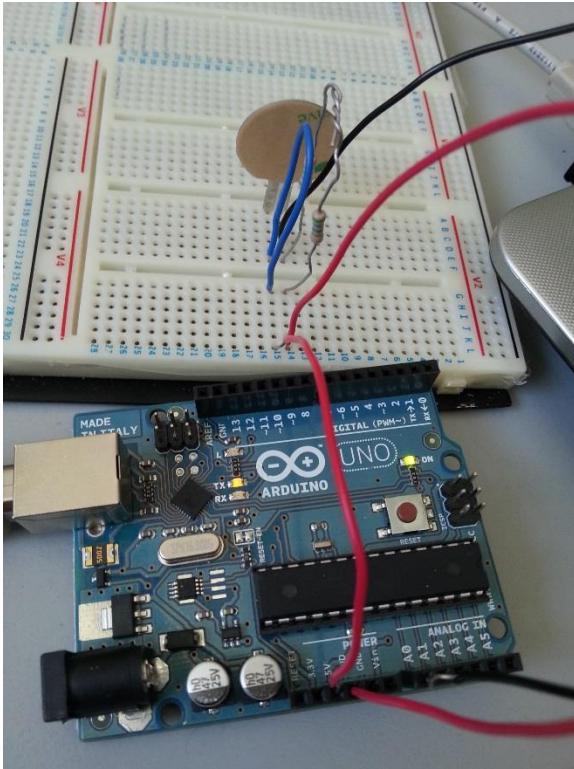
KUVA 13. BLE112-kehitysympäristön lohkokkaavio

Kun koodin kaikki osa-alueet on tehty, koodi käännetään .hex-tiedostoksi, joka taas lähetetään sarjaportin kautta BLE112-levyn prosessorille. Tätä kautta BLE-



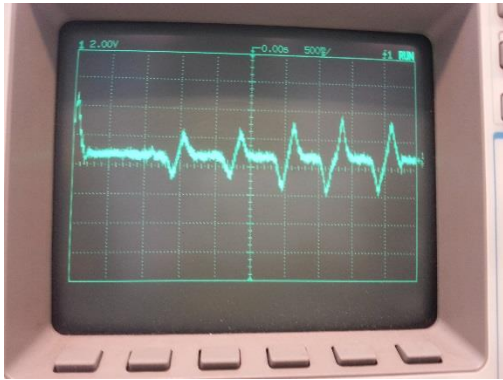
osio saadaan toimivaksi ja siirtämään haluttua dataa. Dataa voidaan tarkastella donglella kehitysympäristön eli moduulin ja tietokoneen välillä. Tämä yhteys on esitetty kuvassa 13. Kuvassa näkyy myös, kuinka BGScript-koodi siirtyy eri protokollakerrosten välillä ja miten langaton osuus liittyy tähän. BGAPI-protokolla yhdistää BGScriptin eli koodin ja langattoman osuuden. Sitä ohjataan UART:n tai USB:n kautta tietokoneelta.

## 5 TYÖNVAIHEET



*KUVA 14. Arduino, jolla mitataan painesensorilta dataa*

Itse työn toteutus alkaa tutustumalla sulautettuun järjestelmään Arduino Unon avulla. Aluksi tavoitteena on lukea dataa analogiapinnistä ja tehdä AD-muunnos, jotta tietoja voitaisiin tulkita tietokoneella. Tämä osuus oli suhteellisen helppo, sillä Arduinolla on valmiit koodiesimerkit tällaista varten. Tämän jälkeen käytettävä paineanturi liitetään analogiapinniin ja katsellaan saatavia tuloksia. Signaali luetaan signaaligeneraattorilta, jotta saatava tulos on helppo varmentaa oikeaksi. Tämän jälkeen tehdään koekytkentä sensorilla (kuva 14) ja tarkastellaan saatavaa dataa myös oskilloskoopilla (kuva 15).



KUVA 15. Painesensorin käyränäkymä oskilloskoopilla

Sensoridatan lukemiseksi tehtiin myös suunnitelma, jossa tarkasteltiin, miten sen pitäisi toimia. Tämä on esitetty kuvassa 16. Ongelmaksi Arduinolla kuitenkin muodostui itse sensoria mitattaessa se, että sensori antaa myös negatiivisia jännitteitä. Näiden lukeminen ei onnistunut, joten sensorin lisäksi täytyy laittaa erinäinen vastus- ja vahvistinjärjestelmä, jotta tulos on luettavissa analogiapinistä. Tämä osuus kuului toisen opinnäytetyön tekijän tehtäväksi. Arduino-osuus oli kaiken kaikkiaan lyhyt ja sen tarkoitus oli opetella sulautettujen järjestelmien käyttöä ja koodausta.



KUVA 16. Suunnitelma sensoridatan lukemiseksi

Alun tutustumisen jälkeen alkoi varsinainen Bluegigan BLE112-kitin käytön opettelu. Aluksi asennettiin kaikki tarvittavat ohjelmat ja ajurit. Bluegigan kitin mukana tuli demo-ohjelmia ja valmiita kokeiltavia koodeja, joita tutkittiin ja kehitettiin, jotta saataisiin käsitystä ja kokemusta laitteiston käytöstä ja sen koodauksesta.

Tämän jälkeen tavoitteena oli ymmärtää koodin eri osa-alueet ja niiden toiminta. Sen jälkeen tarkoituksena oli kääntää koodi, ajaa se prosessorille ja testata koodin toimivuus käyttämällä sen vaatimia toimintoja Bluegigan kitillä. Texas Instrumentsin SmartRF Flash Program -ohjelmaa käytettiin firmwaren päivitykseen ja aluksi myös hex-tiedostojen siirtämiseen prosessorille. Myöhemmin hex-tiedostojen siirrossa käytettiin BLE Update -ohjelmaa, sillä se soveltui tähän tarkoitukseen huomattavasti paremmin.

Ensimmäisenä esimerkkinä toimi tekstin kirjoitus BLE112-näytölle. Tämä onnistuikin kohtuullisen helposti Bluegigan esimerkkien avulla, ja haluttu teksti saatiin näkymään BLE112:n näytöllä. Tällä saatiin todettua, että käännös toimii ja hex-tiedosto saadaan siirrettyä onnistuneesti prosessorille.

Seuraavana tavoitteena oli ymmärtää koodin eri osa-alueet ja saada sensorin tietoa luettua pinniltä ja tehtyä AD-muunnos. Tässä vaiheessa koodin eri osa-alueiden ymmärtäminen vei paljon aikaa.

Koodia luettiin ja käsiteltiin Notepad++ -ohjelmalla, johon oli lisäksi asennettu bgscript-lisäosa, joka näytti koodin oikeassa muodossa. Koodin kirjoitus, kääntäminen ja siirtäminen levyille onnistuivat hyvin, mutta ongelmaksi muodostui saatujen tietojen tarkastelu ja tiedon lukeminen sensorilta.

Lopputuloksena sensorilta saatiin hyvin luettua dataa Arduinon avulla. Lisäksi sulautetut järjestelmät tulivat erittäin tutuiksi. Bluetooth low energy -osuus onnistui myös siltä osin, että BLE112 saatiin toimimaan hyvin ja sillä saatiin Bluegigan esimerkkejä toistettua. Myös tietoa saatiin siirrettyä langattomasti BLE112-kehitysympäristöstä tietokoneelle.

## 6 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli siis saada toteutettua toimiva sensorin mittausympäristö, jossa käytetään Bluetooth low energyä. Työtä lähestyin ensin tutustumalla sulautettuihin järjestelmiin yleensä ja Arduinon avulla, minkä jälkeen siirryin Bluegigan BLE112-kitin käyttöön. Suurimmat ongelmat koinkin juuri Bluegigan ja BLE112-kitin kanssa. BLE on vielä melko vähän käytössä oleva langaton teknologia, joten tietoa on heikosti saatavilla. Bluegigan kitin piti olla suoraan käyttöönotettava ja helppo päästä sisälle, mutta toisin kuitenkin kävi. Ohjeistus oli heikkoa ja paljon aikaa tuhlaantui siihen, kun yritti etsiä tietoa tarvittavista ohjelmaloikoista ja ohjelmista. Myös monta ohjelmaa tuli kokeiltua turhaan ja työtä meni tätä kautta hukkaan.

Varsinaiseen haluttuun tavoitteeseen työssä ei päästy, sillä mittausta ei saatu kokonaan toimivaksi järjestelmäksi. Tässä varmaan suurin syy oli osaamisen puute ja se, ettei tietoa löytynyt tarpeeksi hyvin. BLE-yhteys saatiin toimimaan, mutta sillä halutun sensoridatan siirto ei onnistunut niin kuin oli suunniteltu. Lisäksi sensorilta saatiin luettua tietoa, mutta sen siirtäminen oli haastavampaa. Työn yksittäiset osa-alueet siis onnistuivat, mutta kokonaisuus jäi toteuttamatta. Työn täydellinen loppuunvieminen olisi tarvinnut ohjeistusta BLE:n kanssa asiantuntijalta, mutta koska sitä ei löytynyt mistään ja Bluegigalla ei ollut resursseja eikä halua auttaa, tämä ei toteutunut. Työssä oli vähän onnistumisen tunteita ja paljon ongelmia, mikä söi työinnokkuutta melko paljon.

BLE sopii hyvin mittausjärjestelmän toteutukseen ja onkin tarkoitettu erityisesti juuri tällaisiin käyttötarkoituksiin. Pohjatyö BLE:n tutustumiseen ja käyttöönottoon on tehty, mutta työ jatkuu yrityksessä kokonaisen mittausjärjestelmän luomista kohti. Seuraava vaihe työssä olisi sensorivahvistinsysteemiltä tulevan datan yhdistys BLE112-moduuliin ja siten lähetys tietokoneeseen. Tämän jälkeen tuleva data pitäisi muuttaa helpommin käsiteltävään muotoon, kuten esimerkiksi kuvaajaksi xy-akseliin.

## LÄHTEET

1. Vinod, Kumar 2007. Wibree. Saatavissa: <http://developer.nokia.com/Community/Wiki/Wibree>. Hakupäivä 5.10.2013
2. Jämsä, Lauri. 2010. Arduino-alustat esittelyssä. Saatavissa: <http://www.ruuvipenkki.fi/2010/08/12/arduino-alustat-esittelyssa>. Hakupäivä 5.10.2013
3. Stone, Adam. 2007. What is Wibree?. Saatavissa: <http://www.wi-fiplanet.com/news/article.php/3652391>. Hakupäivä 5.10.2013
4. TI CC254x Bluetooth Low Energy Software Developer's Guide. 2013. Texas Instruments. Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ug/swru271f/swru271f.pdf>. Hakupäivä 5.10.2013
5. Khoo, Chien-Fa. Bluetooth-enabled ASICs versus standard Bluetooth chipsets. Saatavissa: [http://www.eetasia.com/ARTICLES/2002APR/2002APR08\\_ICD\\_NTEK\\_RFD\\_ID\\_PD\\_TAC.PDF](http://www.eetasia.com/ARTICLES/2002APR/2002APR08_ICD_NTEK_RFD_ID_PD_TAC.PDF). Hakupäivä 5.10.2013
6. Tikkanen, Ville 2013. Bluetooth low energy EKG-lähetin. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Elektroniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
7. Bonwell Intelligence Oy. 2013. Saatavissa: <http://www.bonwellin.com/fi>. Hakupäivä 5.10.2013
8. Bluetooth Low Energy Technology. 2013. Bluetooth SIG. Saatavissa: <https://www.bluetooth.org/en-us/marketing/low-energy-technology>. Hakupäivä 5.10.2013
9. Kunz, Michael. 2013. BLE112-Protostick – Connecting, Characteristics, Handles, Services and Notifications under Windows. Saatavissa: [http://www.blelabs.com/blog/bl\\_t0003-ble112-protostick-connecting-](http://www.blelabs.com/blog/bl_t0003-ble112-protostick-connecting-)

- [characteristics-handles-services-and-notifications-under-windows](#). Hakupäivä 5.10.2013.
10. S-Series sensors specifications. 2013. Emfit. Saatavissa: [http://www.emfit.com/uploads/pdf/Emfit\\_S-series\\_specifications.pdf](http://www.emfit.com/uploads/pdf/Emfit_S-series_specifications.pdf). Hakupäivä 5.10.2013.
  11. Arduino Uno. 2013. Arduino. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Hakupäivä 5.10.2013
  12. Bluetooth Core Specification v4.0. 2013. Bluetooth SIG. Saatavissa: <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/v4.aspx>. Hakupäivä 5.10.2013
  13. Getting Started with Bluetooth Smart. 2013. Bluegiga Technologies Oy.
  14. BLE112 Product Presentation. 2013. Bluegiga Technologies Oy.
  15. Bluetooth low energy technology Presentation. 2013. Bluegiga Technologies Oy.
  16. BLE112 Development kit datasheet. 2013. Bluegiga Technologies Oy.
  17. Björnsson, Martin. 2001. Bluetooth in Secure Products. Saatavissa: [http://www.lysator.liu.se/~martinb/Bluetooth/Bluetooth\\_in\\_Secure\\_Products.html](http://www.lysator.liu.se/~martinb/Bluetooth/Bluetooth_in_Secure_Products.html). Hakupäivä 8.10.2013
  18. Tyson, Jeff. 2011. How LAN Switches work. Saatavissa: <http://www.howstuffworks.com/lan-switch2.htm>. Hakupäivä 8.10.2013

## **LIITTEET**

Liite 1 Opinnäytetyön teossa esiintyneet ongelmat (Vain yrityksen sisäiseen käyttöön)