

Kiia Tammi

# IoT, langaton tiedonsiirto ja kehitysympäristöjen vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

16.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Kiia Tammi IoT, langaton tiedonsiirto ja kehitysympäristöjen vertailu
Sivumäärä Aika	34 sivua 16.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sulautetut järjestelmät
Ohjaaja(t)	Lehtori Anssi Ikonen
<p>Insinööriyössä perehdyttiin Teolliseen internetiin (IoT) ja langattomaan tiedonsiirtoon. Raportissa myös vertailtiin kahden eri kehitysalustan soveltuvuutta opetuskäyttöön. Työssä käytettiin monia eri tietolähteitä sekä tutkittiin kehitysalustoja niille luotujen sovellusten ja sivustojen avulla.</p> <p>IoT tarkoittaa sulautettujen laitteiden yhdistämistä internetverkkoon ja niiden hallintaa verkon yli. Sulautettu järjestelmä muodostuu antureista, jotka keräävät tiedon, joka siirretään eteenpäin prosessorin ymmärtämässä muodossa ja muutetaan joko ihmisen ymmärtämään muotoon tai uudeksi tapahtumaksi. Sulautetun järjestelmän tärkeimpiä osia ovat muun muassa anturit, prosessori, piirilevy sekä nykyään myös sen yhdistämismahdollisuudet verkkoon ja pilvipalveluihin.</p> <p>Langattomissa tietoverkoissa tärkeimmät tekijät ovat mittavaatimukset, protokollan valitseminen, mahdolliset muut alueen tiedonsiirtomenetelmät, häiriöiden poissulkeminen ja tiedon muokattavuuden helppous. Työssä käsitellään useita eri langattomia tiedonsiirtomenetelmiä ja niiden ominaisuuksia. Suuriosa menetelmistä käyttää apunaan radioteknologiaa, kuten Sigfox, LoRaWAN ja Bluetooth, kun taas esimerkiksi ZigBee hyödyntää ad hoc -tietoliikenneverkkoja.</p> <p>Kehitysalustoista Particle Photon valikoitui sopivammaksi opetuskäyttöön. BLE Nanossa loi haasteita sen monimutkaisempi tekniikka, heikommat ohjeistukset ja olematon vertais-tuki. Photonia taas on jo käytetty kurssilla, sen kehitysympäristö oli selkeämpi ja käytettävyydeltään muutenkin parempi.</p>	
Avainsanat	IoT, Internet of things, BLE, Langaton tiedonsiirto, Particle Photon

Author(s) Title	Kiia Tammi IoT, wireless data transfer and comparison of development platforms
Number of Pages Date	34 pages 16 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Smart Systems
Instructor(s)	Anssi Ikonen, Senior Lecturer
<p>This thesis describes what the Internet of things (IoT) is and how it has evolved lately. The theory part mostly concentrates on the wireless data transfer technologies and smart systems. There is also a comparison of two different development platforms and their suitability in educational work.</p> <p>IoT and wireless data transfer have evolved rapidly since new ways have been discovered. With new technology the amount of smart systems has increased and new wireless data transfer technologies have been developed such as LoRaWAN and Sigfox. BLE Nano is a Bluetooth low energy based platform that uses very low energy and can transfer small amounts of data. Particle Photon uses WiFi to control a cloud based system.</p> <p>The analysis showed promising results about the growth of wireless systems and progress in development platforms although it took more time than expected. The topic of the thesis changed a few times on the way, but eventually the thesis fulfilled expectations.</p> <p>In conclusion, BLE Nano is not suitable for educational work. Instead, Particle Photon seems to be more convenient and appropriate for that kind of a project. In creating a wireless system, several things need to be taken into account, including the measurements of the device, landscape and other wireless systems in the surrounding area, suitable wireless protocol and how the data can be accessed.</p>	
Keywords	IoT, Internet of things, BLE, WSN, Particle Photon

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teollinen internet	2
2.1	Sulautettu järjestelmä	3
2.2	Proessoriarkkitehtuuri	4
2.3	Piirilevyt sulautetuissa järjestelmissä	7
2.4	Sulautetun järjestelmän yhdistäminen pilvipalveluun	9
3	Langattomat tiedonsiirtomenetelmät	11
3.1	ZigBee	11
3.2	Sigfox	12
3.3	LoRaWAN	13
3.4	Bluetooth	14
3.5	Z-wave	15
3.6	RFID/NFC	16
3.7	Viisi langattoman tiedonsiirron tärkeintä tekijää	16
4	Kehitysalustojen vertailu	20
4.1	ReadBearlab BLE Nano	20
4.2	Particle Photon	23
5	Analyysi	27
5.1	Käyttöönotto	27
5.2	Oman sovelluksen kehittäminen	28
5.3	Soveltuvuus opetuskäyttöön	29
6	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

## Lyhenteet

BLE	Bluetooth low energy, Vähän energiaa kuluttava Bluetooth tiedonsiirtomenetelmä.
IoT	Internet of Things. Teollinen tai esineiden internet.
IPv4	Internet Protocol version 4, vanhempi internet protokolla.
IPv6	Internet Protocol version 6, uusi internet protokolla.
RISC	Reduced Instruction Set Computer, yksinkertainen suoritinarkkitehtuuri.
CISC	Complex Instruction Set Computer, monimutkainen suoritinarkkitehtuuri.
GPRS	General Packet Radio Service, GSM puhelimille tarkoitettu liikkuva datapalvelu.
VPN	Virtual Private Network, virtuaalinen erillisverkko.
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network, matala tehoinen laajaverkko.
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus.
NFC	Near field communication, RFID:tä käyttävä tiedonsiirtomenetelmä.
UNB	Ultra narrow band, erittäin kapea kaistanleveys.
WSN	Wireless sensor networks, langaton anturiverkko.
USB	Universal Serial Bus, väylä oheislaitteiden liittämiseen.

## 1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan tulevaisuuden sulautettuja järjestelmiä ja langattomia tiedonsiirtomenetelmiä. Työssä vertaillaan myös kahta eri langattomaan tiedonsiirtoon liittyvää kehitysalustaa, RedBearLabin BLE Nanao ja Particle Photonia.

Työ on suurelta osin teoriapohjainen, mutta kehitysalustoja on myös testailtu ja vertailtu oman käyttökokemuksen perusteella. Teoriaosuudessa keskitytään päällisin puolin sulautetun järjestelmän rakenteeseen sekä alan tulevaisuuteen. Työssä on myös koottu vinkkejä langattoman sulautetun laitteen rakentamiseen.

Tavoitteena työssä on laajentaa ja kehittää omia taitoja sulautettujen järjestelmien yhdistämisessä langattomiin laitteisiin. Työn tarkoituksena on myös selvittää BLE Nanon alustan soveltuvuus opetuskäytössä. Lopussa myös otettiin mukaan vertailukohde kyseiselle alustalle, Particle Photon.

## 2 Teollinen internet

Teknologia on kehittynyt paljon vuosien varrella. Kaikki alkoi huoneiden kokoisista tietokoneista, jotka käsittelivät yksinkertaisia laskutoimituksia. Nykyään samoja laskutoimituksia tekevät koneet voivat olla kolikkoakin pienempiä.

Nykyajan kuuma sana on teollinen internet (Internet of Things, IoT), joka tarkoittaa sulautetun tietotekniikan yhdistämistä internetverkkoon. IoT-termin keksi Kevin Ashton vuonna 1995, mutta siihen aikaan ei ollut resursseja laitteiden luomiseen. IoT on kasvanut merkittävästi lähivuosina. Parhaiten ovat pärjänneet yritykset, jotka ovat ottaneet kasvun huomioon ja pysyneet mukana. [1, s. 74.]



Kuva 1. IoT:n pääperiaate [muokattu lähteestä 2.]

IoT:n on tehnyt mahdolliseksi tietotekniikan kehittyminen ja komponenttien hintojen lasku. Laitteissa käytettävien anturien hinta on laskenut radikaalisti. Myös niiden koko on pienentynyt ja tehokkuus kasvanut. Toinen ongelma IoT:n kasvamisen kanssa on ollut tietoliikenneprotokollat. IPv4 ei sisällä tarpeeksi osoitteita IoT:n luontia varten. Uudemmallalla IPv6-protokollalla osoitteita on 370 sekstiljoonaa, jonka pitäisi riittää hyvin tulevaisuuden verkkomääriin ainakin seuraavaksi 20 vuodeksi. [1, s. 74.]

IoT kuitenkin vaatii kasvua myös energian tuottamisen puolelta, sillä energian kulutus kasvaa kokoajan. Sen takia kehitys on vieläkin rajoittunutta. [1, s. 78] Big data, jolla tarkoitetaan massiivisten tietomäärien tallennusta, hallintaa ja analysointia, on ollut tärkeä osa IoT:n kasvamista. Ilman uutta tiedon tallentamiskeinoa, kaikkea IoT-laitteilla kerättyä tietoa ei voitaisi kerätä talteen. Suuremmat tiedon määrät ovat pakottaneet ihmisiä kehittämään järkevämpiä tiedontallennustapoja, kuten pilvipalvelut sekä tiheimmät tallennusmuodot. [3, s. 56.]

IoT venyttää yksityisyyttä äärimilleen, kun laitteet seuraavat ihmisten liikkeitä ja saavutuksia joka päivä. Sen avulla on helppo jakaa esimerkiksi sosiaalisessa mediassa tietoa itsestään. Laitteet myös tallentavat kaiken muistiin tulevaisuutta varten. [1, s. 76.]

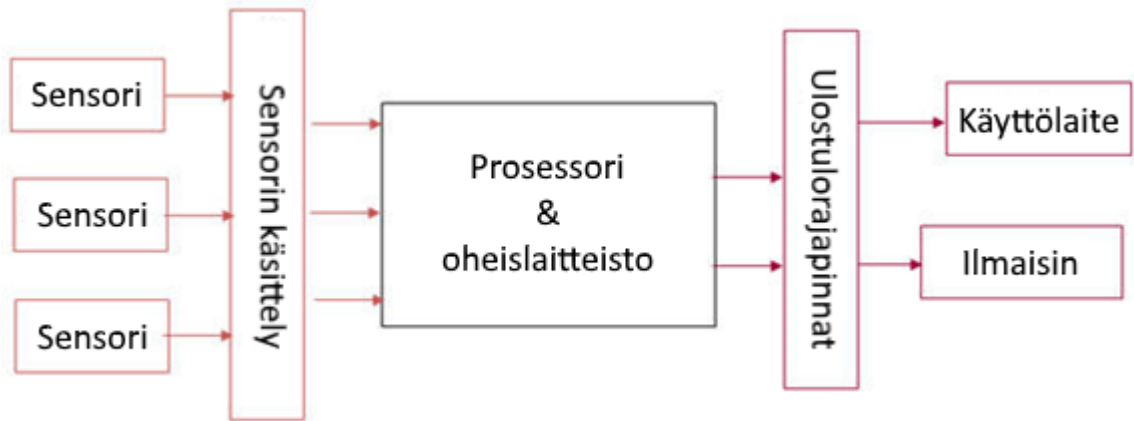
Kaupat keräävät talteen tietoa ihmisten ruokatottumuksista ja antavat tarjouksia niiden mukaan [1, s. 76.] Aktiivisuusrannekkeet taas keräävät parhaimmassa tapauksessa kaiken tiedon sykkeestä ruokatottumuksiin ja käveltyihin askeleisiin, jonka jälkeen tallentavat ne pilvipalveluun. IoT:llä voidaan myös mullistaa lääketiede. Enää ei tarvitse mennä lääkärille tutkittavaksi vaan esimerkiksi verenpainetta voidaan seurata aktiivisuus- tai älyrannekkeiden avulla. [3, s. 100.]

## 2.1 Sulautettu järjestelmä

Sulautettu järjestelmä on laite, jota ohjataan tietokoneen avulla. Yleisesti laitetta käyttävät ihmiset eivät välttämättä edes tiedä, että laitteessa on tietokone tekemässä päätelmiä. Sulautetut järjestelmät ovat yleistyneet maailmassa tietokoneiden kehittymisen myötä. Sulautettuja järjestelmiä ovat esimerkiksi mikroaaltouuni ja kahvinkeitin.

Sulautetun järjestelmän tarkoitus on kerätä tietoa ja muuttaa se ihmisen ymmärtämään muotoon. Kuvassa 2 kuvataan, minkälainen on tyypillinen sulautettu järjestelmä. Se muodostuu antureista, jotka keräävät tiedon, jonka jälkeen tieto muutetaan prosessorin ymmärtämään muotoon. Prosessori tekee työn ja laskutoimitukset, jonka jälkeen tieto muutetaan joko ihmisen ymmärtämään muotoon tai toiseksi tapahtumaksi. Kerätty data voidaan myös siirtää suoraan pilveen, jossa sitä voidaan käsitellä ja siirtää eteenpäin.

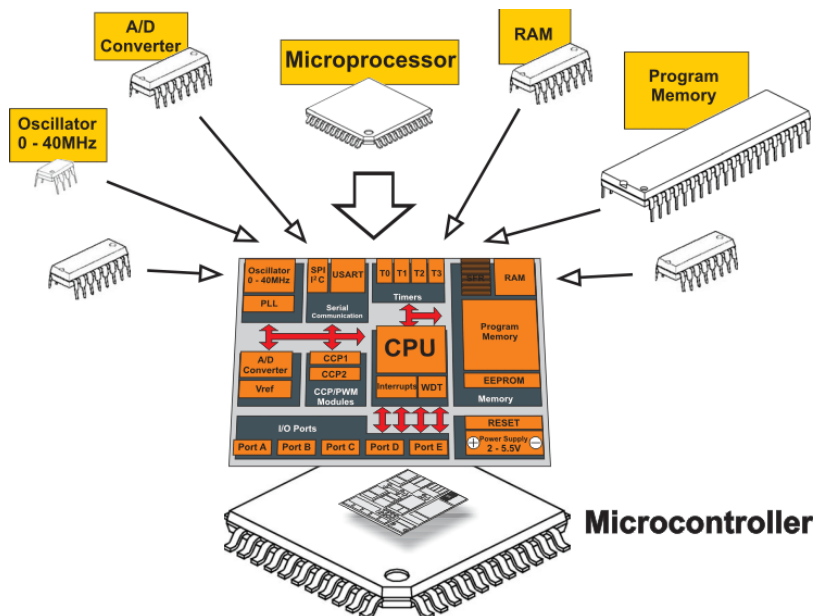




Kuva 2. Sulautetun järjestelmän lohkokaavio [suomennettu lähteestä 4.]

## 2.2 Prosessoriarkkitehtuuri

Proessori eli suoritin on tietokoneen aivot, jolla voidaan määrittää, mitä piirillä halutaan tehdä. Proessorina sulautetuissa järjestelmissä yleisesti käytetään mikroprosessoria sen pienen koon takia. Mikroprosessori sisältää itse suorittimen lisäksi muistia ja osa välimuistia. Heikkotehoisemmasta mikroprosessorista käytetään nimitystä mikrokontrolleri, joka sisältää myös liityntälohkoja muistin lisäksi. Mikrokontrollereita käytetään niiden pienen virrankulutuksen ja koon takia melkein kaikissa sulautetun järjestelmän laitteissa.



Kuva 3. Mikrokontrollerin rakenne [5.]

Nykyään on paljon valmiita ohjelmointiympäristöjä sekä alustoja, jotka sisältäväksi valmiiksi prosessorin ja ison määrän muita komponentteja. Niitä käytettäessä ei tarvitse ottaa huomioon, minkä tehoisen prosessorin tarvitsee ja miten sen yhdistää piiriin. Yleisimpiä ohjelmointiympäristöjä ovat esimerkiksi Arduino, joka käyttää omaa helpotettua ohjelmointikieltään. Tämän lisäksi myös Raspberry Pi on yleistynyt laajalti sen monipuolisuuden takia.

### Prosessoriarkkitehtuuri

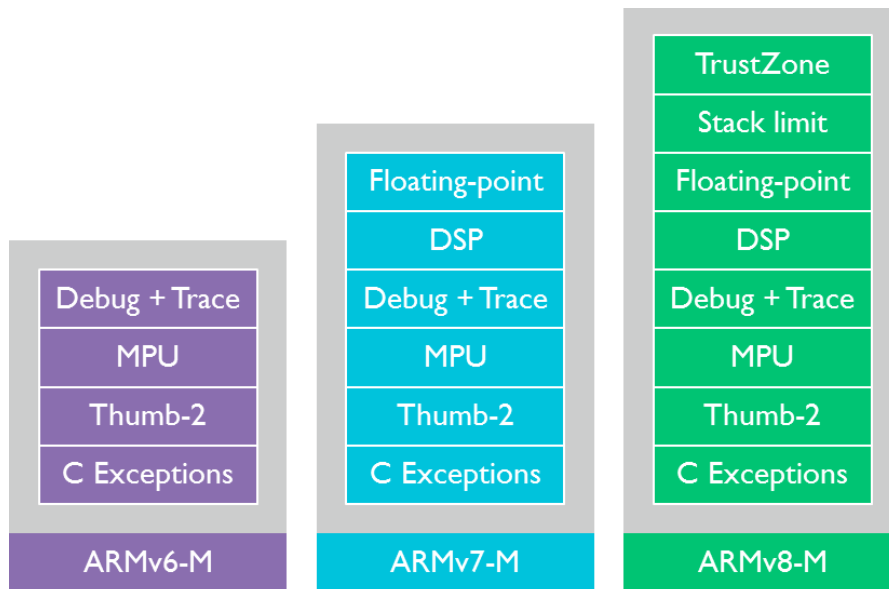
Prosessoriarkkitehtuureissa on kaksi pääluokkaa: RISC ja CISC. CISC on alkuperäinen arkkitehtuuri, jossa pääasiana on, että pystytään käyttämään mahdollisimman useita ja monipuolisia kyselyitä samaan aikaan. RISC:n idea taas on, että käskyt ovat mahdollisimman nopeita ja yksinkertaisia.

Tällä hetkellä vallassa on ARM-arkkitehtuuri, joka perustuu RISC:iin. ARM:lla on tällä hetkellä kolme arkkitehtuuria yleisesti käytössä, jotka on suunniteltu toteuttamaan eri alojen tarpeet.

- ARMv8-A on suunniteltu tehokkaille markkinoille, kuten puhelimiin.
- ARMv8-R on suunniteltu teollisuuden sulautettuihin järjestelmiin.
- ARMv8-M on suunniteltu sulautettuihin- ja IoT-laitteisiin. [6.]

Tässä opinnäytetyössä keskitymme ainoastaan ARMv8-M:ään, jota käyttävät kaikki ARM:in Cortex-M-prosessorisarjan uusimmat tuotteet. Arkkitehtuuri on luotu tietoturvaliseksi ja mahdollisimman tuottavaksi pienellä vaivalla. Viimeisimpään versioon on lisätty ARM:in oma TrustZone, jonka tarkoitus on suojata sulautettua ohjelmistoa ympäröivältä maailmalta. [7.]

Kuvassa 4 nähdään eri versioihin tehdyt muutokset. ReadBearLab:n BLE nano käyttää Cortex-M0-prosessoria, joten siinä on myös käytössä kyseinen arkkitehtuuri, mutta aiempi versio 6. [8.]



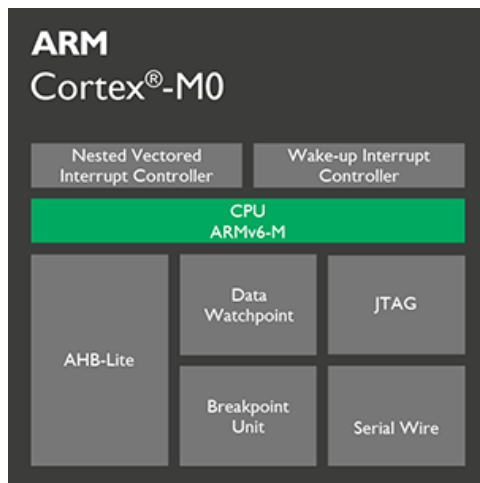
Kuva 4. ARM-arkkitehtuurien ominaisuudet [7.]

ARMv-M:n arkkitehtuurisarjan menestyksen takana ovat seuraavat asiat:

- 32-bittinen arkkitehtuuri
- ARM thumb 2 -teknologia
- C-kielen käyttö
- reaaliaikaisen käyttöjärjestelmän tukeminen suojatulla muistilla
- reaaliaikainen keskeytysvaste
- laaja toiminnallisuus. [7.]

### Cortex-M0-sarja

BLE Nanossakin käytettävä Cortex-M0 on ARM:n pienin saatavilla oleva prosessori. Prosessorista tekee erittäin kilpailukykyisen sen harvinaisen pieni porttien määrä, vähäinen energia tarve ja muistin kulutus sekä sen 32-bittinen dataväylä. Cortex-M0 on myös todella edullinen muihin vastaaviin prosessoreihin verrattuna. Sen ohjelmoiminen on myös helppoa C-kielellä, varsinkin ARM:n oman ohjelmointiportaalin kautta (ARM DesignStart™ portal). Kuvassa esitetään prosessorin sirun kaavio.[9.]



Kuva 5. Cortex-M0-sirun kaavio [9.]

### 2.3 Piirilevyt sulautetuissa järjestelmissä

Sulautetun järjestelmän yksi tärkeimmistä fyysisistä osista on piirilevy. Piirilevy muodostuu yleensä sähköä johtamattomasta materiaalista kuten lasikuidusta, johon on sisällytetty kupariset johtimet. Komponentit yhdistetään piirilevyyn juottamalla ne tinalla kiinni. Piirilevyjen suunnittelussa on alettu huomioida tilanpuutos. Tämän takia on luotu muun muassa joustavia piirilevyjä.

#### Joustava piirilevy

Joustavat piirilevyt ovat käteviä, kun tilaa on vähän ja se on epämääräisen mallinen. Piirilevyjä voidaan luoda minkä malliseksi tahansa ja vaikkapa kaaren muotoiseksi. Joustavia piirilevyjä on viidenlaisia:

- yksikerroksinen piirilevy (Single Sided Flex)
- yksikerroksinen piirilevy, jossa on kaksoisyhteys (Single Sided Flex with Dual Access)
- kaksikerroksinen piirilevy (Double Sided Flex)
- monikerroksinen piirilevy (Multi Layer Flex)
- puolijoustava piirilevy (Rigid Flex).

Yksikerroksinen piirilevy on yleensä yhdistelmä ohutta kuparilevyä ja polyimidiä. Kuparilevy kuoritaan kemiallisesti mallintamaan luodun piirilevyn johtimia. Polyimidi taas lisätään eristämään kupari toisistaan ja suojelemaan levyä ympäristöltä. Kaksoisyhteyksellisessä piirilevyssä toisen puolen polyimidikerroksen läpi voidaan yhdistää myös komponentteja esimerkiksi laserin avulla.

Kaksikerroksisessa piirilevyssä polyimidi on taas kuparikerroksien sisällä. Kerrokset voidaan yhdistää toisiinsa kuparilla päällystetyillä läpivienneillä. Näihin voidaan luoda juotokset molemmille puolille levyä. Monikerroksisessa piirilevyssä voi olla yhdistettynä yksi- ja kaksikerroksisia piirilevyjä. Tämä tosin huonontaa piirilevyn taipuvuutta, joten sitä ei suositella, jos taivutus on oleellinen ominaisuus.

Puolijoustavaa piirilevyä on käytetty paljon esim. armeijan laitteissa. Piirilevy luodaan yhdistämällä normaali FR4-levy polyimidiliuskan kanssa. Kyseisestä levystä voi lähteä suoraan joustavaa piirilevyä ilman erillistä kiinnitystä. Kuvassa on esitelty kolme erilaista joustavaa piirilevyä. [10.]



Kuva 6 Kaksoisyhteyksellinen, kaksikerroksinen ja puolijoustava piirilevy [muokattu lähteestä 10.]

### Tulevaisuuden näkymät

Piirilevyt muuttuvat monimutkaisemmiksi koko ajan. Samalla niiden koot ovat pienentyneet, jotta ne voidaan mahduttaa haluttuun tilaan. Tämä johtuu osaltaan siitä, että piirilevyjen suunnitteluun käytetyt ohjelmat alkavat sisältämään hyvän automaattisen reitintyökalun, jonka avulla voidaan tuottaa haastavampia piirilevyjä, nopeammin sekä varmemmin. Suunnitteluohjelmat kehittyvät tulevaisuudessa paremmiksi, eivätkä automaattityökalut luo virheitä enää niin paljon kuin ennen.

Piirilevyjen testauksessa on otettu avuksi 3D-mallintaminen. Alustava piirilevy voidaan luoda 3D-tulostimella, jolloin tulos ei ole yhtä vakaa kuin normaali FR4-levy, mutta kätevä prototyypeissä ja testauksissa. Tällöin tilattua piirilevyä ei tarvitse odottaa tai ostaa kallista piirilevyjyrsintä. Myöskään komponentteja ei tarvitse juottaa kiinni levyyn, sillä ne voidaan vain taittaa piirilevyn alle ja maalata metallimaalilla liitokset kiinni.

## 2.4 Sulautetun järjestelmän yhdistäminen pilvipalveluun

Sulautettuja järjestelmiä on alettu yhdistämään pilvipalveluihin yhä enemmän 2010-luvulla. Vasta nyt, huiman kehityksen jälkeen, se on tullut mahdolliseksi ja käteväksi. Aiemmin kaikki tieto tallennettiin kovalevyille tai omille palvelimille. Pilvipalvelun myötä tietoa on voitu tallentaa suuremmisakin määrin tallennustiloihin, joita ei itse omisteta. Sellaisia ovat esimerkiksi Google Drive tai Dropbox.

Sulautettu laite voidaan yhdistää pilvipalveluun monilla eri tiedonsiirtomenetelmillä. Tällä hetkellä yleisin tiedonsiirtomenetelmä on GPRS- tai 4G-yhteys osana sulautettua järjestelmää. Lisäksi suuri osa oheislaitteista, kuten älykellot, siirtävät tiedot suoraan pilveen puhelimen kautta aina, kun puhelin on yhdistettynä Internetiin.

IBM Bluemix on IBM:n luoma pilvipalvelu IoT-tarkoitukseen. Bluemixin idea on tarjota pilvipalvelu tarvittavan palvelun ja tilan mukaan. Tällöin hinta jää paljon alhaisemmaksi kuin muilla pilvipalveluilla, jotka laskuttavat kiinteää hintaa.

Käyttöönottomalleja on kolme erilaista:

- Julkinen Bluemix on pilvi, jota kautta sovellus voi yhdistyä yli 100 IBM:n tai muun valmistajan valmiiseen palveluun. Sovelluskehittäjä voi valita julkaisusta Bluemixin jaetuilla maantieteellisillä alueilla. Erillisistä julkaisualueista on hyötyä, kun yksi alue on alhaalla, muut yhä toimivat.
- Keskitetty pilvi on tarkoitettu sovelluskehittäjän omaan käyttöön. Maailmassa on tällä hetkellä yli 25 IBM:n palvelinkeskusta, jonne ohjelmiston voi yhdistää. Yhdistys tapahtuu VPN:n kautta, ja IBM ylläpitää palvelua kehittäjän puolesta.

- Paikallinen pilvipalvelu on yleensä yrityksille tarkoitettu, jossa palvelinkeskus on sijoitettu yrityksen omiin tiloihin. IBM kuitenkin huolehtii, että päivitykset ja korjauspaketit ovat ajan tasalla. Keskitettyyn pilvipalveluun luotuja sovelluksia voidaan käyttää myös julkisessa tai paikallisessa pilvessä. [11.]

### 3 Langattomat tiedonsiirtomenetelmät

Langattomia tiedonsiirtomenetelmiä on monenlaisia. Tässä luvussassa keskitytään sulautettuihin laitteisiin soveltuviin tiedonsiirtomenetelmiin.

#### 3.1 ZigBee

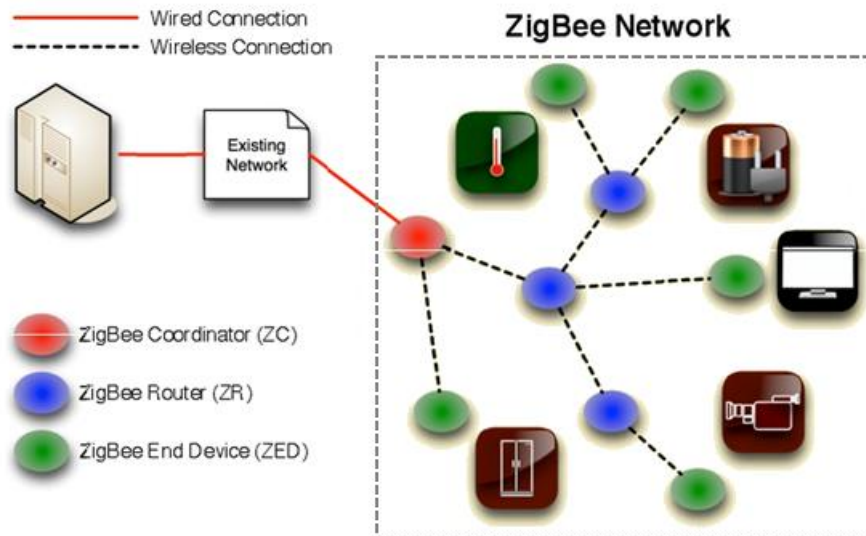
Zigbee on kehittyneimpiä IoT:ssa käytettäviä tiedonsiirtokeinoja. Laite on vähän virtaa kuluttava lyhyen matkan langaton verkko. Menetelmää voidaan käyttää tiedonsiirtoon 10–100 metrin säteellä. Hinnaltaan Zigbee on melko edullinen verrattuna muihin lyhyen matkan langattomiin tiedonsiirtomenetelmiin, kuten WiFiin tai Bluetoothiin.

Kyseistä tiedonsiirtomenetelmää voidaan käyttää monessa eri tilanteessa. Kuluttajan näkökannasta sitä voidaan käyttää seuraamaan tai kontrolloimaan kotona olevia laitteita ja lähettämään tiedot niistä talteen esimerkiksi pilveen. Sitä voidaan myös käyttää teollisissa oloissa monitoroimaan lyhyen matkan päässä olevia laitteita edullisemmalla hinnalla kuin muut vastaavat siirtomenetelmät.

Zigbee käyttää hyödyksi ad hoc -tietoliikenneverkkoja. Ad hoc -verkon idea on, että asemat kuuntelevat merkkisignaaleja ympäristöstä ja yhdistyvät toisiinsa. Täten ne lopulta muodostavat kokonaisen Mesh-verkon. Zigbee voi myös käyttää Mesh-topologian lisäksi tähti- tai puutopologiaa. [12.]

Zigbee-verkko muodostuu kolmesta erityyppisestä laitteesta: koordinaattorista, reitittimestä ja päätelaitteesta (Kuva 7). Jokainen verkko vaatii ainakin yhden koordinaattoriosan, joka ylläpitää ZigBEE-verkon sekä kytkeytyy taustajärjestelmään tai sovellukseen. Reitittimen tarkoituksena on päättää, mikä data kulkeutuu mihinkin suuntaan ja milloin. Koska päätelaitteet kommunikoivat vain reitittimien kanssa, energian kulutus on pienempää.





Kuva 7. Zigbee-kaavio [muokattu lähteestä 13.]

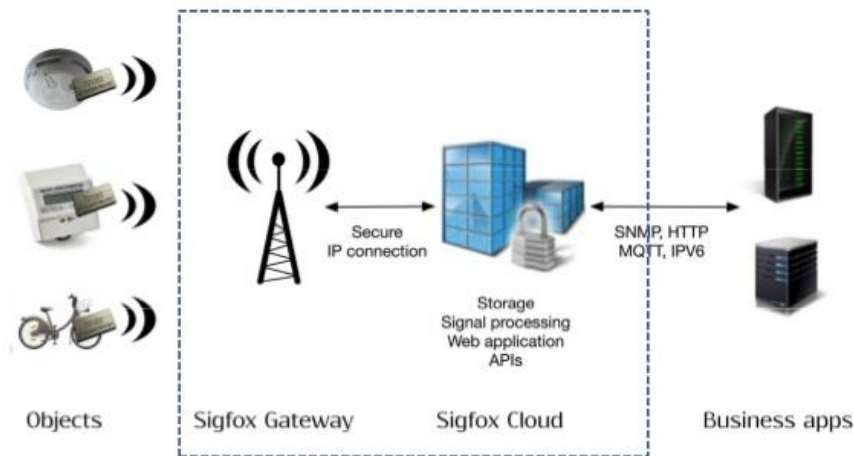
### 3.2 Sigfox

Sigfox on LPWAN-radioteknologiaa (low power wide area network) hyväksi käytävä langaton tiedonsiirtomenetelmä. Menetelmää käytetään yhdistämään kaukaisia laitteita erittäin kapeaa kaistanleveyttä (UNB) käyttäen. Sigfoxia voidaan käyttää esim. kuljetuksessa, etävalvonnassa ja turvallisuudessa. Sen huonoja puolia on, että se ei ole saatavilla kaikkialla, koska laitteen valmistava yhtiö ei ole vielä levittänyt verkkoaan kaikkialle. Suomeen Sigfox-verkko tuli vuoden 2016 lopussa.

Sigfoxilla voidaan jakaa vain pieniä määriä tai hyvin hitaasti. Erittäin kapean kaistanleveyden takia menetelmä sietää hyvin häiriöitä. Myös menetelmän käyttämä matala taajuusalue parantaa esteiden läpäisyä esimerkiksi kaupunkialueilla. [14.]

Sigfox-verkko muodostuu edullisista päätelähtimistä, jotka yhdistyvät LPWAN:in avulla tukiasemaan. Tukiasema on paljon hienostuneempi ja monimutkaisempi sekä siten myös kalliimpi. Tukiaseman kautta data voidaan siirtää pilveen ja kuluttajille.

## Topology



Countrywide networks being installed around the world



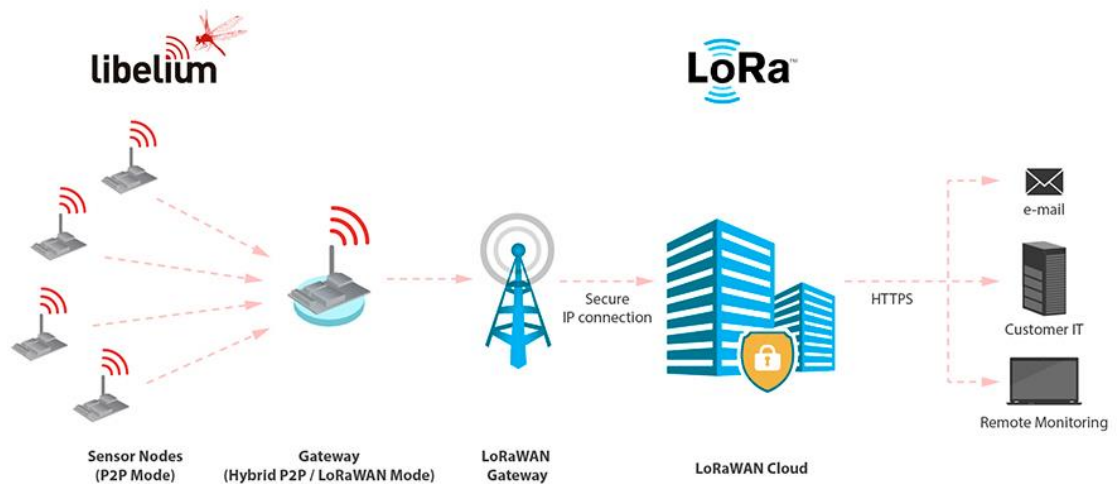
Kuva 8. Sigfox-kaavio [15.]

### 3.3 LoRaWAN

LoRaWAN eli Long range wide area network on Mac-protokolla, jota voidaan käyttää, kun tarvitaan suuri kapasiteetti, ison alue ja pientä energian kulutusta vaativa laaja-verkko. LoRaWAN-verkkoja on luotu Suomessa pääkaupunkiseudulle syksystä 2015 alkaen.

LoRaWAN käyttää samaa tiedonsiirtomenetelmää kuin Sigfox eli LPWAN-radioteknologiaa, mutta toisin kuin Sigfox, menetelmän kaistanleveys on laajempi. Kaistanleveys lisää häiriötä, mutta sitä voidaan kompensoida ohjelmointimahdollisuuksilla. [16.]

Kuvassa 8 näytetään, miten LoRaWAN toimii. Menetelmällä voidaan yhdistää vain yksi päätelähetin tukiasemaan. Muuten menetelmä yhdistetään IP-liitännällä pilveen ja kulluttajille. Yksinkertaisuuden takia molemmat laitteen osat ovat edullisia.



Kuva 9. LoRaWAN-kaavio [17.]

### 3.4 Bluetooth

Bluetooth on 2,4 GHz:n taajuusalueella ja 2400-2483.5 MHz:n kaistanleveydellä toimiva radioteknologiaan perustuva tiedonsiirtomenetelmä. Bluetooth on vanhimpia langattomia lyhyenmatkan tiedonsiirtokeino. Se on kehitetty korvaamaan johdot puhelinten, tietokoneiden sekä muiden tietoteknisten laitteiden välillä. Bluetoothia voidaan käyttää siirtämään tietoa metristä sataan metriin riippuen käytetystä tehosta.

Bluetoothin ja työssä tutkitun Bluetooth low energyn (BLE) erot ovat virrankulutuksessa ja tiedonsiirtomäärissä. BLE käyttää todella vähän energiaa ja on tarkoitettu laitteisiin, joiden virtalähdettä ei haluta vaihtaa useaan vuoteen. Haittapuolena on huomattavasti pienenevä datansiirtomäärä. BLE nukkuu suurimman osan ajasta, jolloin se ei kerkeä siirtämään tietoa, mutta säästää samalla virtaa. [18.]

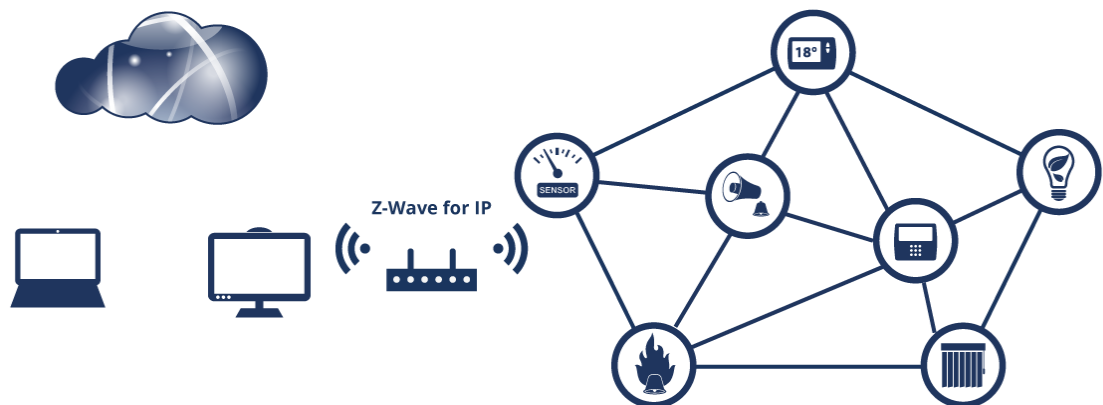
BLE:tä käytetään esimerkiksi iBeacon-nimisen toiminnon kanssa. Sitä voidaan käyttää sisätiloissa sijainnin ilmoittamislaiteena. IBeacon ilmoittaa sijainnin älypuhelimien tai tablettiin. Sen avulla voi myös lähettää tietoa, mutta vain pienissä määrissä. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi tarjouksien lähettämisessä asiakkaille, jotka liikkuvat tiettyllä alueella kaupassa. [3, s. 107.]

### 3.5 Z-wave

Z-Wave on radiotaajuuksia hyväksi käyttävä lyhyenmatkan langaton tiedonsiirtomenetelmä. Alue, jolle tällä teknologialla voidaan tietoa siirtää, on noin 40 metriä. Menetelmä on kehitetty erityisesti ohjauksen valvomista ja anturien seuranta varten. Sitä käytetään pääasiassa asuin-alueilla, mutta myös kevyissä tuotantotiloissa.

Toisin kuin esimerkiksi Zigbee, Z-wave käyttää 900 MHz:n kaistanleveyttä. Z-wave on alueittain määritelty, eli eri maissa on sallituissa taajuuksissa eroja. Kyseisellä teknologialla on samoja hyviä puolia kuin Sigfoxilla, matala taajuus ja laaja kaistaleveys vähentävät häiriöitä ja parantavat esteiden läpäisyä.

Z-wave käyttää mesh-topologiaa, eli kaikki osat voivat olla yhteydessä toisiinsa. Koordinaattori ohjaa tietoa isäntälaitteelle antureihin yhdistetyistä toissijaisista osista. Mesh-topologian hyötyjä on muun muassa sen kyky johtaa tietoa eri reitin kautta isännälle, jos jokin osista on poissa käytöstä. Z-wavessa kaikilla osilla on sama verkko-ID, joka helpottaa tiedon kulkua sisäisessä verkossa ja samalla estää ulkopuolisten laitteiden yhteydenotot. [18.]



Kuva 10. Z-wave-kaavio [19.]

### 3.6 RFID/NFC

NFC on lyhyen matkan langaton yhteys, joka perustuu toiminnaltaan RFID-tekniikkaan. Suurimassa osassa nykypuhelimista on NFC-vastaanotin, jonka avulla voidaan kerätä tietoa tunnisteista. NFC toimii lyhyenmatkan tiedonsiirtona, maksimissaan parin senttimetrin matkalla.

RFID-tunnisteita on monenlaisia. Yleisimpiä ovat passiiviset eli täysin ilman sähköä toimivat tunnistet. On olemassa myös puolipassiivisia tunnisteita, jotka sisältävät virtalähteen, muttei omaa lähetintä. Aktiivisilla tunnisteilla on myös muistia ja niillä voidaan lähettää tietoa pidempiä matkoja.

Suurin osa RFID-tunnisteista toimivat hyvin yksinkertaisesti. Ne luovat sähkömagneettisen kentän tegin ja lukijan välille, jonka avulla pieni datamäärä siirtyy. Siirrettävän tiedon matkaan vaikuttavat antennin pituus, muistin määrä sekä sähkömagneettisen kentän voimakkuus. Tällöin siis esteenä laitteen ominaisuuksille on ainoastaan laitteen haluttu koko. [21.]

Monet eri yritykset ovat ottaneet käyttöön NFC:n tuotteissaan. Esimerkiksi Helsingin seudun liikenteellä on käytössä Oma matkakortti -sovellus, joka käyttää NFC:tä matkakortin tietojen lukemiseen.

### 3.7 Viisi langattoman tiedonsiirron tärkeintä tekijää

#### Mittavaatimusten huomioonottaminen

Valitessa langatonta tiedonsiirtomenetelmää, tulee ensin tutkia, minkälainen anturi laitteeseen tarvitaan. Antureissa täytyy huomioida mittaustapa, tarvittava käyttöjännite sekä kommunikointikeino anturin ja muun laitteen välillä.

Antureilla on myös erilaisia energiatarpeita. Osassa antureissa on virtalähde mukana, mutta suurin osa tarvitsee erillisen lähteen. Tiedonsiirtokeinoissa tulee ottaa siis huomioon, minkälainen energiantarve menetelmällä on.

Kolmas mittavaatimus on näytteenottotaajuus. Tämän avulla voidaan säästää energiaa, jolloin laitteen energiavarasto kestää pidempään. Yleensä langaton anturiverkko vaatii matalamman näytteenottotaajuuden juuri pienen virrankulutuksen takia.

#### Langattoman protokollan valitseminen

Langattomat protokollat eroavat suuresti energiantarpeen, suoritustehon ja toiminta-alueen osalta. Matkapuhelinverkkoa ja laajaverkkoa käyttävät protokollat, kuten aiemmin luvussa mainittu Sigfox ovat hyvin laaja-alaisia ja tehokkaita protokollia. Niiden huonopuoli on suuri energiankulutus, jolloin ne eivät sovellu akkuvirralla toimiviin laitteisiin. Vastaavasti BLE kuluttaa vain vähän energiaa, mutta sen kantomatka ei ole pitkä.

Nämä kolme vaatimusta täyttävät langattomat protokollat perustuvat kahteen kommunikaatiostandardiin: IEEE 802.11:een ja IEEE 802.15.4:een. MAC-standardia IEEE 802.15.4 noudattaa esimerkiksi ZigBee. Tätä standardia on järkevä käyttää WSN-laitteissa (wireless sensor network), koska se vie vähän virtaa ja kantomatka on suhteellisen pitkä. IEEE 802.11 -standardia taas käytetään WiFi:in yhdistettävissä laitteissa, kuten kannettavassa tietokoneessa ja puhelimissa. Kuvassa 7 näkyy standardien erot.

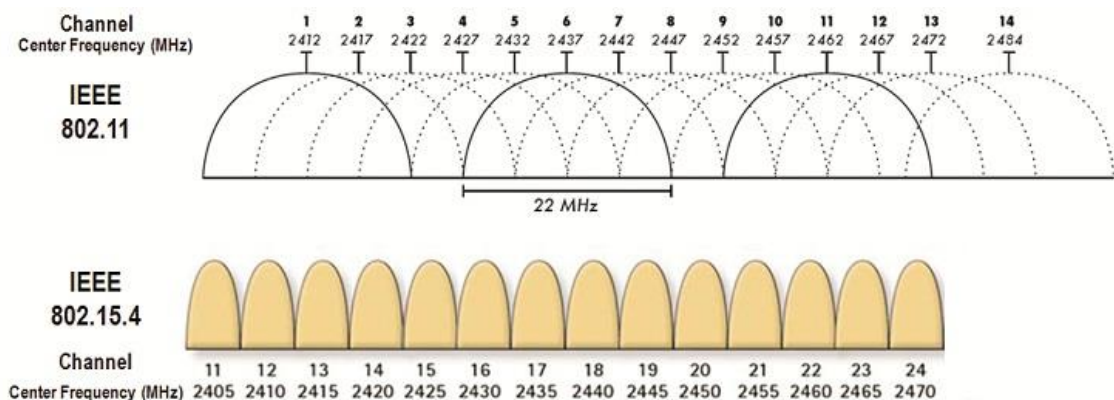
	Typical IEEE 802.11 (n) Devices	Typical IEEE 802.15.4 Devices
Typical Battery Lifetime	1-2 Days	2-3 Years
Bit Rate (Maximum)	300 Mbit/s	250 kbit/s
Range (without repeaters)	100 m	300 m

Kuva 11. Standardien vertailu [22.]

Protokollan toimiminen muiden lähellä olevien langattomien protokollien kanssa

Protokollien kanssa tulee ottaa huomioon muut ympäröivät verkot. Molemmilla aiemmin hyväksi todetuilla protokollilla on 14 mahdollista kanavaa 2,4 GHz:n taajuudella. IEEE 802.11 -protokollalla yksi kanava on 22 MHz leveä ja 5 MHz:n etäisyydellä toisistaan, kun taas IEEE 802.15.4 kanavan leveys on vain 2 MHz. Lähetystaajuudet tulee valita siten, että ne eivät osu yhteen WiFi-kanavien kanssa.

Kuvassa 8 kuvataan, miten standardit toimivat vierekkäin. Esimerkiksi jos valitsee laitteelle, joka käyttää IEEE 802.11 -standardia taajuudeksi kanavan 11, voi standardin IEEE 802.15.4 -laite käyttää vain kanavia 11–20.



Kuva 12. IEEE 802.11 ja IEEE 802.15.4 kanavat [21.]

## Ympäristön hallinta

Protokollaan valitessa tulee ottaa huomioon myös, minkälainen ympäristö laitteella on. Puut ja rakennukset saattavat estää signaalin kulkua, sekä ilmassa leijailevat radiosignaalit voivat aiheuttaa häiriöitä. Radiosignaaleja voidaan välttää kartoittamalla alueella käytettävät signaalit ja välttämällä samojen kanavien käyttöä.

Ymmärtämällä verkkotopologioita voi valita sopivan protokollan sekä paikan reitittimille sekä solmukohdille. Verkkotopologioita on kolme erilaista, joista protokolla IEEE 802.11 kuuluu tähti- tai puumalliin, joissa haarat eivät yhdisty toisiinsa. Kun taas IEEE 802.15.4 käyttää mesh-mallia, jolla voidaan lisätä kantomatkaa sekä luotettavuutta, mutta se myös lisää virrankulutusta sekä on monimutkainen.

## Ohjelmiston ja tiedon muokkaus

Viimeinen asia, joka tulee ottaa huomioon, on laitteen ohjelmiston tiedonkeruukeinot. WSN-laitteisiin on helppo ottaa yhteys puhelimella ja muokata laitteen ohjelmistoa tai kerätä tietoa talteen. Pitkänmatkan laitteissa on tärkeää, että voi etänä, nopeasti ja kätevästi saada tiedot ja reagoida niihin. [22.]



## 4 Kehitysalustojen vertailu

### 4.1 ReadBearlab BLE Nano

Bluetooth Low Energy eli BLE on langaton tiedonsiirtomenetelmä, joka on kehitetty vähän virtaa kuluttavaksi. Se on luotu toimimaan nappiparistolla tai esimerkiksi aurinkopaneelin voimalla. BLE käyttää tiedonsiirrossa Bluetoothia, ja siten se voidaan yhdistää mihin tahansa Bluetooth-laitteeseen, kuten matkapuhelimeen.

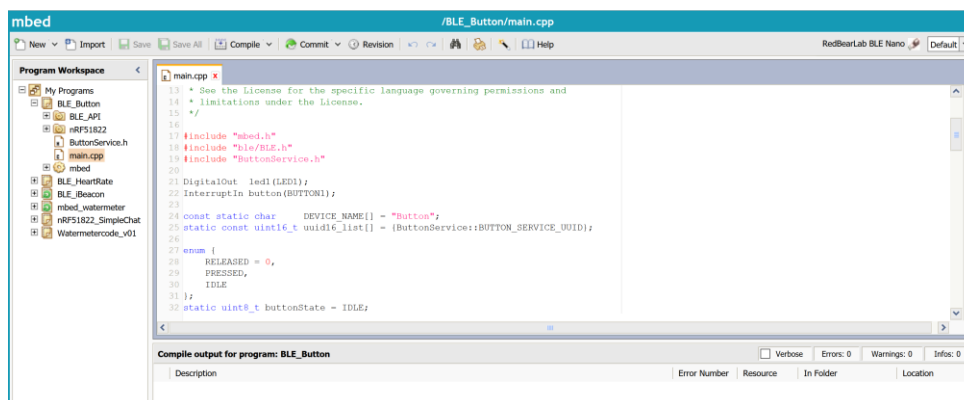
BLE Nanossa on käytössä ARM:in suunnittelema Cortex-M0-prosessori. Järjestelmäpiirinä laitteessa toimii nRF51822, jonka avulla Bluetooth ja prosessori on yhdistetty. BLE käyttää 16 MHz:n taajutta ja kuluttaa täten hyvin vähän energiaa.

BLE Nanoa voidaan ohjata kolmella eri keinolla Nordic nRF51822 BLE SDK:n kautta, ARM:n sivuilla mbed-alustalla tai Arduinon avulla. Tässä luvussa esitellään ARM:n sivujen kautta toimivaa alustaa. [8.]

Ensimmäisessä käyttöönotossa BLE Nano vaatii ajurien asennuksen koneelle, jonka kautta ohjelma siirretään alustalle. ARM:n sivuston MBED:n käyttö vaatii kirjautumisen, joten tarvitsee luoda myös tunnukset. Seuraavana kuva ARM-sivuston kirjautumisruudusta <https://developer.mbed.org/account/login/>

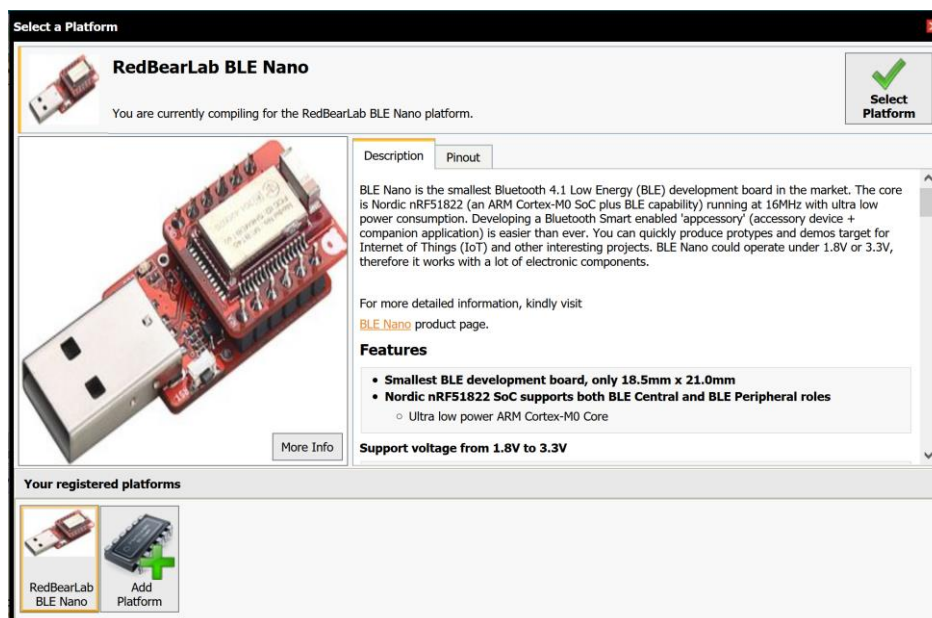
Kuva 13. Sisäänkirjautuminen

Sivustolta löytyy paljon tietoa eri ARM:n tuotteista sekä käyttäjien keskustelupalstoja. Ohjelmoinnin kannalta tärkein asia sivustolla on Compiler eli kääntäjä. Siellä voi luoda koodia ja sivuston kautta ohjelman voi ajaa suoraan laitteeseen.



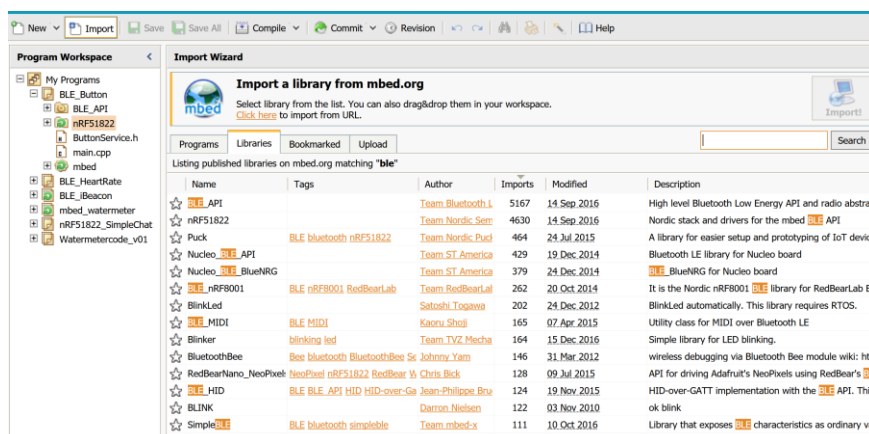
Kuva 14. Kehitysympäristön etusivu

Kääntäjään voi yhdistää useampia eri ARM:n tukemia alustoja. Sivuston oikeasta ylä-laidasta näkee, mikä alusta on käytössä. Alustan nimeä painamalla pääsee myös vaihtamaan sen toiseen tarvittaessa. Yhdistettävistä alustoista löytyy todella monia ARM:n prosessoria käyttäviä malleja.



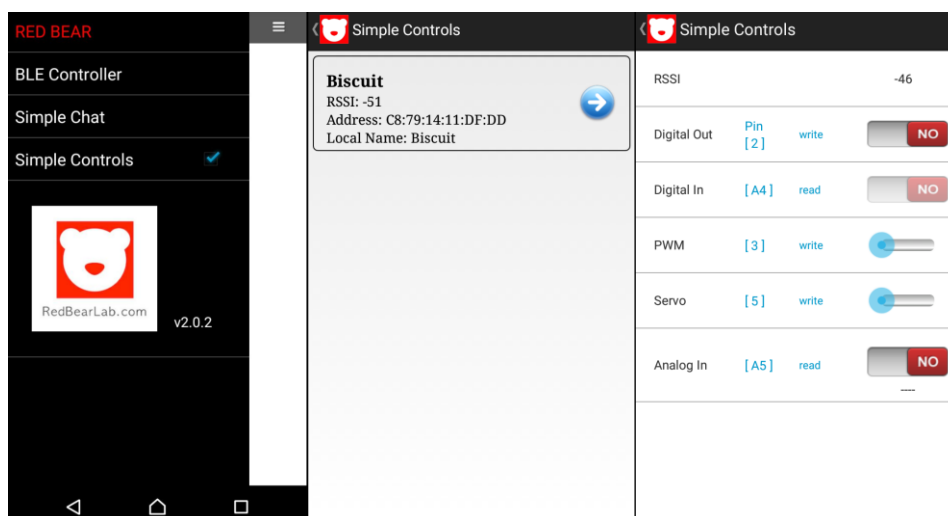
Kuva 15. Kehitysalustan yhdistäminen

ResBearLab sekä muut valmistajat ovat luoneet MBED:n arkistoihin erilaisia ohjelmistoja. Nämä voi ladata suoraan kääntäjään ja ajaa alustalle. Sivustolta löytyy myös useita kirjastoja, joita voi käyttää ohjelmoinnissa apuna. Suuri osa kirjastoista tosin liittyy vain ja ainoastaan valmistajien luomiin ohjelmistoihin, jolloin niitä on hankala käyttää hyödyksi.



Kuva 16. Kirjastohaku

RedBearLab on myös luonut yksinkertaisen mobiilisovelluksen, jonka avulla voi testata heidän luomia ohjelmistoja. Kuvassa 17 näytetään kolme vaihetta sovelluksesta. Ensimmäiseksi valitaan, mikä ohjelmisto BLE Nanoon on asennettu. Tämän jälkeen sovellus etsii laitteen lähettämän Bluetooth signaalin, kertoo sen tiedot ja mahdollistaa siihen liittymisen. Sovelluksen kautta voidaan ohjata erilaisia ominaisuuksia, mikäli BLE:hen on myös yhdistetty toiminnallisia osia. Sovelluksessa on myös valittavana Simple Chat, jonka avulla voidaan lähettää tekstiä koneelta laitteeseen ja toisin päin.

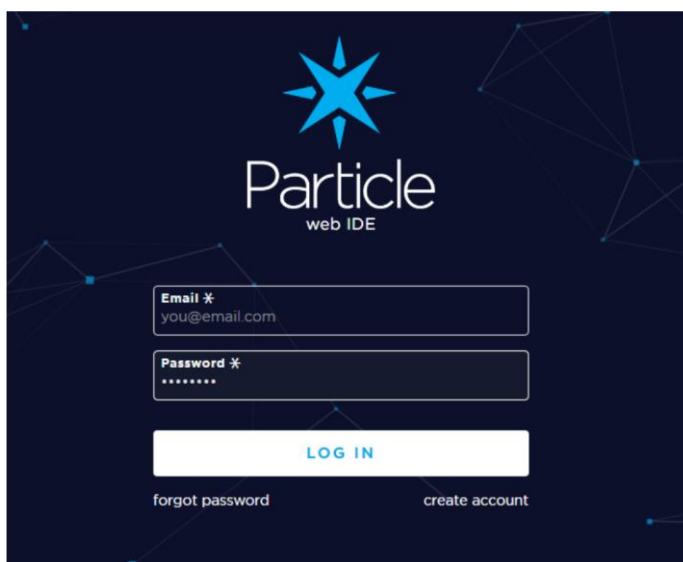


Kuva 17. Mobiilisovelluksen eri vaiheet

## 4.2 Particle Photon

Tässä luvussassa esitellään täysin pilvipalvelun avulla toteutettu sulautettujen laitteiden kehitysympäristö. Ympäristö tukee Particle Inc. -yhtiön toteuttamia ARM-pohjaiseen Cortex-M3-prosessoriin perustuvia kehitysalustoja, joita on tällä hetkellä markkinoilla kahta eri tyyppiä (<https://www.particle.io/>), sekä erittäin suosittua Raspberry Pi -kehitysalustaa. Cortex-M3 on uudempi ja kehittyneempi versio BLE Nanossa käytettyä M0:sta.

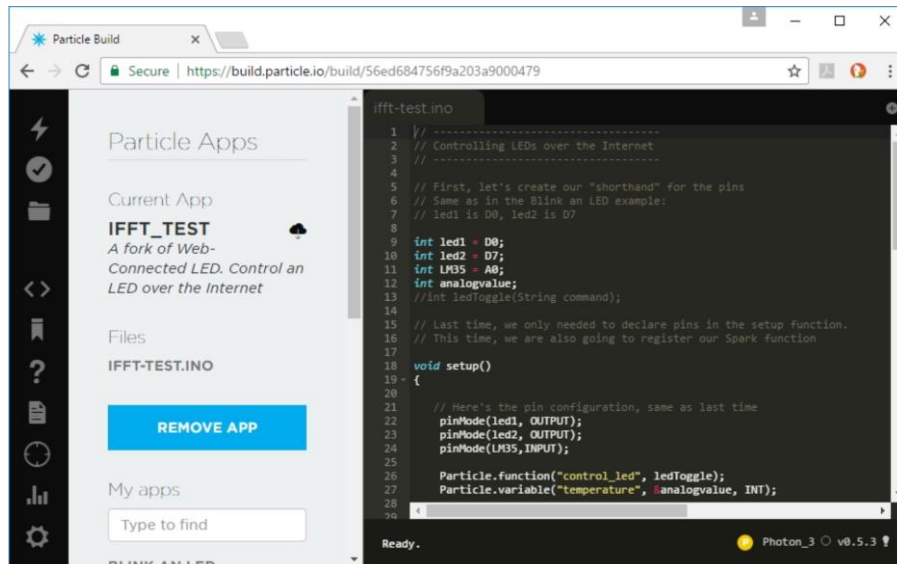
Ohessa esitellään kehitysympäristöä hieman tarkemmin. Palvelu vaatii käyttäjän rekisteröitymisen, jonka jälkeen kirjaudutaan palveluun osoitteessa [build.particle.io](https://build.particle.io).



Kuva 18 Kehitysympäristöön kirjautuminen ([build.particle.io](https://build.particle.io))

Seuraavassa vaiheessa palveluun kytkettävä laite tai laitteet tulee kytkeä pilvipalveluun, jolloin niiden ohjelmointi ja hallinta pilvipalvelun kautta mahdollistuu. Yksinkertaisinta ja suositeltavaa on tehdä tämä puhelimeen asennettavalla sovelluksella, jolla on mahdollista myös testata laitteen toiminta ilman pilvipalvelua. Sovellus on ladattavissa suosituimmille puhelinten käyttöjärjestelmille vastaavista palveluista ja löytyy hakusanalla "Particle".

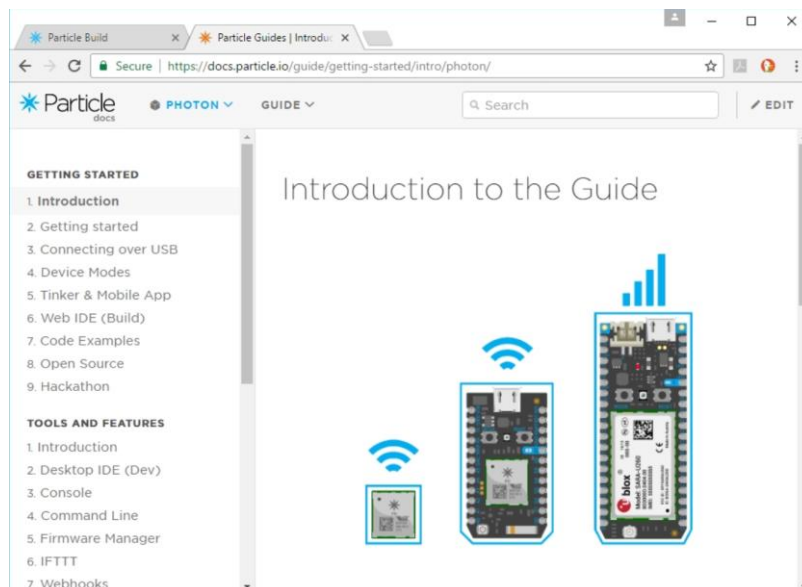
Kehitysympäristö on selkeä ja tarjoaa työkalut sekä ohjelmointiin, että laitteiden hallintaan. Oheisessa kuvassa on esitelty kehitysympäristön etusivu.



Kuva 19. Kehitysympäristön etusivu

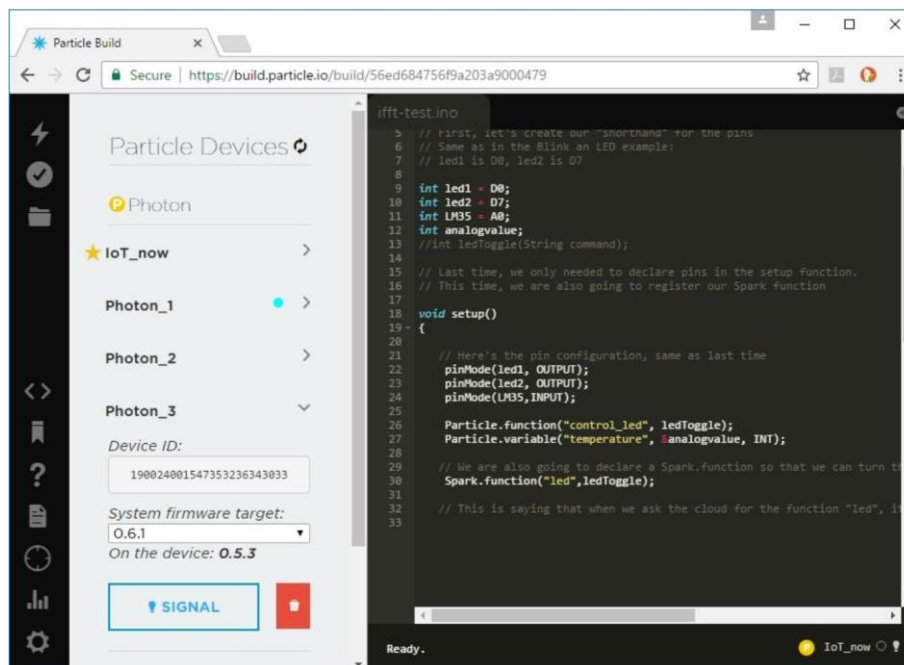
Käyttöliittymän vasemmassa laidassa on kuvakkeet eri toiminnoille ja oikealla puolella kohtuullisen laadukas editori ohjelmakoodin kehittämiseen. Editori tukee ohjelmointikielen eri elementtien korostamista.

Kehitysympäristö sisältää laajan kirjaston käyttöohjeita sekä esimerkkejä eri toiminnallisuuksien testaamiseksi ja soveltamiseksi. Lisäksi tarjolla on erittäin selkeät ja havainnolliset käyttöönotto-oppaat eri prosessorikorteille.



Kuva 20. Laitteiden käyttöoppaat ja esimerkit.

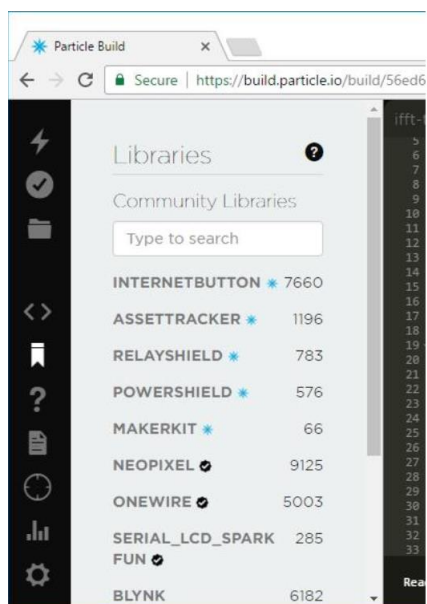
Laitteiden hallinta on toteutettu kehitysympäristön kautta. Oheisessa kuvassa nähdään, että kehitysympäristöön on kytketty neljä prosessorikorttia, joista yksi on tällä hetkellä kytköksissä palveluun, josta merkinä turkoosi pallo laitteen nimen perässä. Laitenimen edessä oleva tähti osoittaa kohdelaitteen, jolle käännetty ohjelmakoodi lähetetään.



Kuva 21. Kytkettyjen laitteiden hallinta

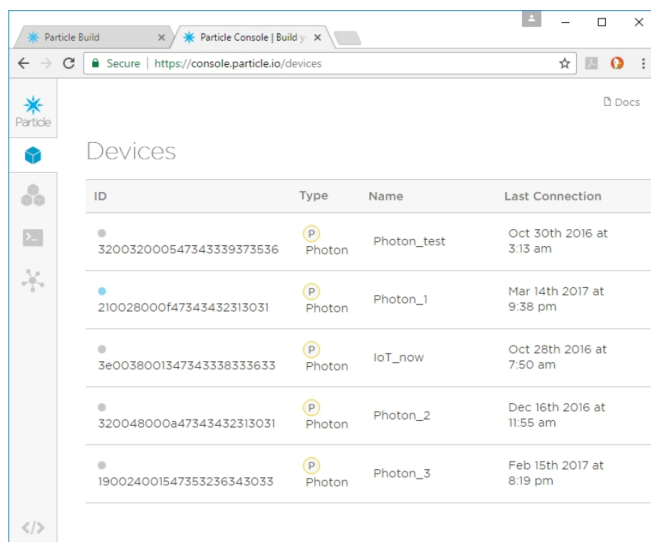
Käyttöliittymän kautta on myös mahdollista ylläpitää laitteiden ohjelmistoversioita sekä lähettää testisignaali, jolla voidaan testata laitteen toimivuutta mahdollisissa ongelmataapauksissa. Huomion arvoista kehitysympäristössä on myös laaja kehittäjien yhteisö sekä palvelusta löytyvät tuhannet selkeät esimerkit ja kirjastot. Näitä voidaan hakea ja hallita Libraries-osiosta.

Kuvasta 22 voidaan nähdä, että esimerkiksi Internetbutton-mallikirjastoa käytetään palvelun kautta jo 7660 eri sovelluksessa. Avoimia kirjastoja ja esimerkkejä löytyy tunnetuimpiin lisälaitteisiin, antureihin, pilvipalveluihin sekä esimerkiksi sulautetun web-palvelimen toteuttamiseen.



Kuva 22. Avoimen koodin kirjastot ja esimerkit

Viimeiseksi voidaan mainita kehitysympäristön konsolitoiminto, joka ylläpitää lokia laitteista ja niiden tapahtumisista sekä tarjoaa mahdollisuuden kytkeä useita laitteita "hallinnollisiksi" ryhmiksi, jolloin laitteiden ohjelmaversioiden päivittäminen yksinkertaistuu laajemmista sovelluksista.



Kuva 23. Laitteiden lokitiedot ja laajennettu laitehallinta

Kehitysympäristöä kokeiltiin opetuskäytössä keväällä 2016 opintojaksolla IoT Challenge. Toteutuneen kurssin tulosten ja opiskelijapalautteen perusteella voidaan todeta kehitysympäristön sekä palvelun tukevien prosessorikorttien sopivan opetuskäyttöön erittäin hyvin.

## 5 Analyysi

Työssä perehdyttiin sulautetun internetin mahdollistaviin teknologioihin ja niiden tarjoamiin mahdollisuuksiin sekä rajoituksiin. Tarkoituksena oli esitellä järjestelmien eri komponentteja ja luoda kattava kuvaus sulautetusta järjestelmästä osana sulautettua internetiä. Lisäksi työssä tutkittiin kahden eri kehitysympäristön soveltuvuutta ja käytettävyyttä sulautetun internetin, eli teollisen internetin, opetuksessa.

### 5.1 Käyttöönotto

BLE Nano muodostuu kahdesta osasta: Usbista ja itse BLE Nano alustasta, jotka voidaan irrottaa toisistaan. Komponentteja voidaan yhdistää BLE Nano -alustaan ja niitä voidaan ohjata puhelimesta olevan sovelluksen avulla. Puhelimesta voidaan myös lähettää esimerkkisovelluksella viestejä koneella auki olevaan terminaaliin.

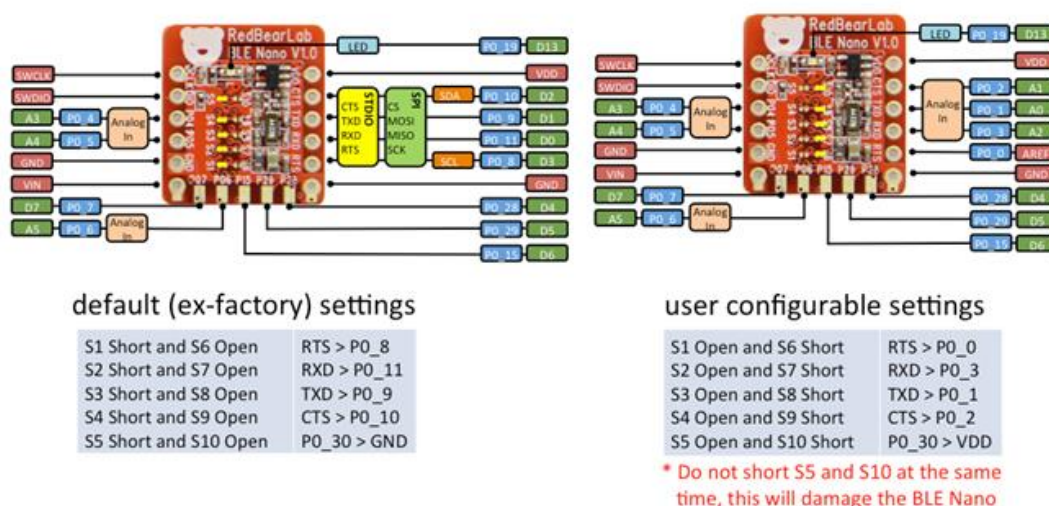
BLE Nanon käyttöönottoon löytyvät kattavat ohjeet RedBearLabin omilta sivuilta. Ensin tulee valita ohjelmointitapa, jonka jälkeen voidaan siirtyä ajureiden asentamiseen. Jotta BLE Nano voidaan yhdistää Windows-koneeseen usb-liitännän avulla, vaatii se ARM:n mbed:in porttiajurit. Ajurien asentaminen tapahtuu ARM:n sivuilta linkistä <https://developer.mbed.org/handbook/Windows-serial-configuration>. MAC- ja Linux-koneille ajurien asennusta ei tarvita. Myöskään Windows 10 ei vaadi enää ajureita toimiakseen BLE Nanon kanssa.

Particle Photonin mukana tulee ohje aloittaa [build.particle.io](http://build.particle.io)-sivustolta. Puhelimeen voidaan myös ladata Particlen oma sovellus, jonka kautta käyttöönotto on kannattavampaa. Kun laitteeseen lisätään virrat, voi sen löytää mobiilisovelluksen avulla. Sovelluksesta valitaan oikea laite ja yhdistetään laite suoraan WiFiin. Tämän jälkeen laite on käyttövalmis ja sitä voi ohjata puhelimitse tai luoda ohjelmiston koneella.

BLE Nanolla ajurien asennuksen jälkeen laitteelle pääsee siirtämään koodia. Mbed:in sivuille tarvitaan tunnukset, jotta sitä voidaan käyttää. Tämän jälkeen voidaan ohjelmisto luoda osoitteessa <https://developer.mbed.org/compiler/>. RedBearLabilla on useita koodeja, jotka voidaan ladata kääntäjään. Samalla sivusto lataa myös toimintoihin tarvittavat kirjastot.



Kuten aiemmin mainitsin, MBED-sivustolla voidaan yhdistää oikea alusta, jonka avulla löytyy mahdollisia ohjelmistoja. Alustassa on eri pinnijärjestyksiä, jotka voidaan ottaa käyttöön juottamalla tietyt johtimet yhteen. Kuvassa 24 näytetään pinnien mahdollinen asettelu. Mbedin kirjastossa olevissa malliesimerkeissä käytetään ainoastaan vakio-pinnejä.



Kuva 24. BLE Nanon mahdolliset pinnien asetukset [8.]

Tällaista ominaisuutta ei Particle Photonilla ole, joka on käytettävyyden kannalta hyvä asia. Laitteessa on selkeästi merkitty eri pinnit, ja niiden käyttö on rajatumpaa. BLE Nanon käytöstä haastavampaa tekee nimenomaan sen ylivedetty monipuolisuus.

Toisin sanoen BLE Nanon käyttöönotto ja ympäristö on selkeästi haastavampi. Particle Photon on suunniteltu loppuun asti ja kehittyneempi sekä selkeämpi laite. Photonissa pilveen yhdistäminen helpottaa paljon laitteen kanssa toimimista. Laitteen Thinker toiminnolla voidaan reaaliajassa muodostaa yhteys puhelimen ja Photonin välille, jolloin laite voi esimerkiksi vilkuttaa LEDejä käyttäjän painalluksesta. Sama toiminto on toki BLE Nanolla, mutta sen valmistelu sekä yhdistäminen ovat vaikeampaa.

## 5.2 Oman sovelluksen kehittäminen

Oman sovelluksen kehittäminen BLE Nano -alustalla osoittautui haastavammaksi kuin oletettiin. Laitteeseen liittyvien mobiilisovelluksien luomiseen löytyi paljon ohjeita ja kirjastoja, mutta rautapuolen ohjelmoinnissa joutui tyytymään RedBearLabin muutamiin valmiisiin ohjelmistoihin ja kirjastoihin.

Kirjastojen liittäminen ohjelmistoon on yksinkertaista, mutta lähdekoodi on vaikeasti ymmärrettävää ja kommentointi uupuu suuresta osasta. Jotta valmiita kirjastoja pystyy hyödyntämään, tulee niihin perehtyä ajan kanssa.

Loin BLE Nanolla testausta varten ohjelmiston, joka toimii hieman eri tavalla kuin Rebe-BearLabin omat ohjelmat. Sen toimivuutta ei pysty testaamaan, sillä valmistajan omat ohjelmat hyväksyvät vain heidän omaa koodia. Pieniä muutoksia koodiin voi tehdä, esimerkiksi iBeaconin määrittämiä, mutta siitä ei paljoa hyödy. Kun taas Particle Photonilla, jolla ohjelmointi onnistuu selkeän ympäristön ansiosta melko helposti.

Particle Photon tarjosi työkalut laitteiden hallintaan, ohjelmien ja sovellusten kehitykseen sekä palveluun rekisteröityjen laitteiden ohjelmointiin ja testaamiseen. Tämän lisäksi palvelu tukee jaettuja kirjastoja, joiden avulla käyttäjien yhteisö voi jakaa kehittämäänsä sovelluksia ja kirjastoja, joiden avulla oheislaitteiden kytkeminen ja prosessorin laajennettujen ominaisuuksien käyttöönotto nopeutuu.

### 5.3 Soveltuvuus opetuskäyttöön

Käyttökokemukseni perusteella BLE Nano- ja mbed ohjelmiston käyttäminen vaativat aiempaa tuntemusta ohjelmoinnista. Myös BLE:n toimintaperiaate on tarpeellista olla tiedossa, sillä tietoa voidaan siirtää vain pienissä määrissä. Suurin osa esimerkkikoodista on kirjastojen käyttöä, joten niihin tulisi olla perehdytty ennen BLE Nanon käyttöä.

Particle Photonin vahvuus opetuskäytössä on sen yksinkertaisuus ja selkeys, jonka avulla sovelluksen kehittämiseen päästään hyvin pienillä valmisteluilla. Pilven ansiosta ohjelmistoa voidaan muokata helposti etänäkin. Particle on sivustona selkeämpi ja internetistä löytyy vertaistukea sovellusten toteuttamiseen. Myös kirjastot ja malliohjelmit ovat kattavampia ja helpompia käyttää.

Virrankulutus, joka oli oleellinen osa kehitysalustan valintaa, on Photonissa suurempi BLE Nanon verrattuna. BLE Nanon tärkeimpiä ominaisuuksia on nukkuminen ja reaaliaikainen herääminen takaisin tilaan, jossa tietoa voi kerätä ja lähettää. Photonissa tämä vie enemmän energiaa. Photonin virrankulutus on 80 mA, kun käytössä on 5 V, kun taas BLE Nano käyttää maksimissaan 10 mA 3,3 V:n akulla.

Jos virrankulutusta ei oteta huomioon, parempi tai ainakin selkeämpi kehitysalusta on Particle Photon. Sillä voi kätevästi luoda haluamansa sovelluksen ja hallita laitetta pilven kautta. BLE Nanon hyödyt ovat sen riippumattomuus muista laitteista, kuten WiFi-lähteestä, sekä minimoitu virrankulutus, jonka ansiosta laite voi toimia jopa 5 vuotta samalla akulla.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyössä perehdyttiin kattavasti IoT:n maailmaan ja langattomaan tiedonsiirtoon. Työssä hyödynnettiin monia eri tietolähteitä sekä kokeiltiin ohjelmistoja tietokoneella ja puhelimesta. Kehitysalustoista saatiin selvitettyä hyvät ja huonot puolet sekä opetus- käyttöön soveltuvuus.

Insinööriyön tekeminen edistyi melko hitaasti ja vaihtoi raiteitaan useaan kertaan. Lopulta olen tyytyväinen työn aiheeseen ja opittuihin asioihin. BLE Nanon epäselkeät lähdekoodit sekä tuntematon ympäristö lisäsivät tutustumisaikataulua. Laite pidettiin kuitenkin aiheessa mukana tiedostaen sen epäkelpoisuus opetustyössä.

Useat eri kurssit opintojen aikana tukivat aiheen tutkimista ja kehitysalustojen käyttöä. Silti olisin tarvinnut parempaa tietämystä nimenomaan langattomien osien ohjelmoinnista ja yhdistämisestä.

## Lähteet

1. Jeremy Rifkin. 2014. The Zero Marginal Cost Society. 1. painos  
USA: Palgrave Macmillan.
2. Sagar Basag. Internet of Things Devices – Top 5 IoT Devices List And  
Technology. 2015. Verkkodokumentti. <<http://iotworm.com/internet-of-things-devices-iot-devices>> Luettu: 15.1.2017.
3. Samuel Greengard. 2015. The Internet of things. 1. painos  
USA: Massachusetts Institute of Technology.
4. Preeti Jain. Embedded System. 2012. Verkkodokumentti.  
<<http://www.engineersgarage.com/articles/embedded-systems>>  
Luettu: 20.2.2017.
5. Introduction to the World of microcontrollers. Verkkodokumentti.  
<<http://learn.mikroe.com/ebooks/picmicrocontrollersprogramminginassembly/front-matter/introduction-to-the-world-of-microcontrollers>> Luettu: 15.12.2016.
6. ARM Processor Architecture. Verkkodokumentti.  
<<https://www.arm.com/products/processors/instruction-set-architectures/index.php>> Luettu: 30.1.2017.
7. ARMv8-M Architecture. Verkkodokumentti.  
<<https://www.arm.com/products/processors/instruction-set-architectures/armv8-m-architecture.php>> Luettu: 30.1.2017.
8. BLE Nano & MK20 USB Board. 2015. Verkkodokumentti.  
<<http://redbearlab.com/blenano/>> Luettu: 1.4.2017.
9. Cortex-M0 Processor. Verkkodokumentti.  
<<https://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m0.php>>  
Luettu: 30.1.2017.

10. Flex Printed Circuits. Verkkodokumentti. <<http://www.flexiblecircuit.com/product-category/flex-printed/>> Luettu: 19.2.2017.
11. IBM Bluemix's new features IoT solutions faster and more efficiently. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.espotel.com/-/ibm-bluemix-s-new-features-iot-solutions-faster-and-more-efficiently>> Luettu: 20.1.2016.
12. Ian Poole. ZigBee Technology Tutorial. Verkkodokumentti. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/zigbee/zigbee.php>> Luettu: 5.3.2017.
13. Tarun Agarwal. ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications. Verkkodokumentti. <<https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>> Luettu: 5.3.2017.
14. Ian Poole. SIGFOX for M2M & IoT. Verkkodokumentti. <<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/sigfox/basics-tutorial.php>> Luettu: 5.3.2017.
15. Sigfox overview. Verkkodokumentti. <<http://www.astius.co.uk/wp-content/uploads/2015/10/sigfox-overview.jpg>> Luettu: 5.3.2017.
16. Rohit Narayan. All You Need to Know About LoRaWAN and How It Works. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.iotleague.com/lorawan-low-power-wide-area-network/>> Luettu: 5.3.2017.
17. LoRaWan diagram. Verkkodokumentti. <[https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_kit\\_lorawan/diagram\\_a\\_lorawan\\_2\\_big.jpg](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_kit_lorawan/diagram_a_lorawan_2_big.jpg)> Luettu: 5.3.2017.
18. Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What's The Difference?. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.link-labs.com/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy/>> Luettu: 15.1.2017.
19. About Z-Wave Technology. Verkkodokumentti. <[http://z-wavealliance.org/about\\_z-wave\\_technology/](http://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology/)> Luettu: 5.3.2017.

20. Z-Wave Technology: The New Standard in Home Automation. Verkkodokumentti. <<https://smartify.in/knowledgebase/z-wave-technology/>> Luettu: 5.3.2017.
21. Near field communication. Verkkodokumentti. <<http://nearfieldcommunication.org/>> Luettu: 22.2.2017.
22. Five Factors to Consider When Implementing a Wireless Sensor Network (WSN). 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.ni.com/white-paper/10789/en/>> Luettu: 19.2.2017.