



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Miikka Tuomaala & Ville Turpeinen

SENSORITIETOJEN LÄHETTÄMINEN LORAWAN-VERKOSSA

Liiketalous
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Miikka Tuomaala & Ville Turpeinen
Opinnäytetyön nimi	Sensoritietojen lähettäminen LoRaWAN-verkossa
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	52
Ohjaaja	Raija Tuomaala

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia LoRa-teknologiaa sekä hyödyntää sitä osana esineiden internettiä. Työn käytännön tavoitteena oli luoda päätelaite, joka lähettää sensoreilla mitattua tietoa LoRaWAN-verkossa. Aihe opinnäytetyölle tuli Vaasan ammattikorkeakoulun IoT-hankkeen myötä Raija Tuomaalalta sekä Antti Mäkitalolta.

Teoriapohjana toteutuksessa hyödynnettiin kirja- sekä verkkolähteitä. Tiedon hankkiminen joistakin aiheista osoittautui yllättävän hankalaksi, koska LoRa-teknologia ei ole vielä yleisessä käytössä jokapäiväisessä elämässä. Lisäksi laitteistotasolla joidenkin yritysten dokumentaatio osoittautui puutteelliseksi, mikä vaikeutti työn etenemistä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tuotettua prototyyppi Arduino-pohjaiselle LoRa-päätelaitteelle. Prototyypillä voidaan mitata ja lähettää lämpötila-, ilmankosteus- sekä ilmanpainetietoa LoRaWAN-verkon välityksellä pilvipalvelualustalle, josta tietoja voidaan tarkastella visuaalisesti. Jatkokehityksenä prototyyppi voitaisiin toteuttaa pienemmällä laitteistokokonaisuudella, jonka ansiosta virrankulutus saataisiin vähäisemmäksi.

ABSTRACT

Author	Miikka Tuomaala & Ville Turpeinen
Title	Transmitting sensor data in a LoRaWAN network
Year	2019
Language	Finnish
Pages	52
Name of Supervisor	Raija Tuomaala

The objective of this thesis was to study LoRa technology and use it as an element of the Internet of Things. The practical aim of the thesis was to create a LoRa device that transmits the measured data via the LoRaWAN network. The topic of this thesis came from Senior Lecturers Raija Tuomaala and Antti Mäkitalo from the IoT project of Vaasa University of Applied Sciences.

Literature and online sources were used as the theoretical basis of the practical implementation. Finding information on some subjects proved to be surprisingly difficult, as LoRa technology is not yet commonly used in everyday life. In addition, at the hardware level, the documentation of some companies proved to be insufficient, which slowed down the progress of the work.

As a result of this thesis, a prototype for an Arduino-based LoRa device was produced. The prototype can be used to measure and send temperature, humidity, and barometric pressure data via the LoRaWAN network to the cloud platform for visualized viewing. For future development, the prototype could be implemented with a smaller set of hardware, which would reduce power consumption.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	ESINEIDEN INTERNET	10
3	LORA-TEKNOLOGIA	13
	3.1 LoRaWAN	13
	3.2 Vaihtoehtoisia LPWAN-teknologioita	15
4	LORA-PÄÄTELAITTEIDEN RAKENNE.....	16
5	PILVIPALVELUT JA INTEGRAATIOT.....	18
	5.1 Amazon Web Services	18
	5.2 Microsoft Azure IoT Hub.....	18
	5.3 The Things Network.....	19
	5.3.1 The Things Network-integraatiot	19
	5.3.2 WolkAbout	20
6	PROTOTYYPIN SUUNNITTELU	22
	6.1 Mikrokontrollerialusta.....	22
	6.2 LoRa-moduuli	26
	6.2.1 Arduino LMIC-ohjelmistokirjasto	27
	6.2.1 Lähettimien ajastus	29
	6.2.2 LMIC-ohjelmistokirjaston liitännät	29
	6.3 Sensori	30
	6.4 Tiedon kulkeminen loppukäyttäjälle.....	32
7	PROTOTYYPIN TOTEUTUS	36
	7.1 The Things Network-palvelun käyttöönotto.....	38
	7.2 WolkAbout kojelauta	46
	7.3 Toteutuksen hinta	47
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	49
	LÄHTEET	50

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Arvioitu IoT -laitteiden määrä biljoonissa vuosina 2015-2025 (Statista 2019)	10
Kuvio 2. Esineiden internetin teknologiapino (Elizalde 2016)	11
Kuvio 3. LoRaWAN-verkon arkkitehtuuri (Technical Marketing Workgroup 2015)	14
Kuvio 4. Arduino Uno R3-mikrokontrollerialusta ja sen liitännät	23
Kuvio 5. Arduino IDE-käyttöliittymä	26
Kuvio 6. Elecrow Lora RFM95 Shield	27
Kuvio 7. Käyttämämme asetukset Arduino LMIC -ohjelmistokirjaston konfiguraatitiedostossa	28
Kuvio 8. Käyttämämme LMIC-ohjelmistokirjaston liitännät	30
Kuvio 9. BME280-multisensori	31
Kuvio 10. Tiedon kulku päätelaitteelta käyttäjälle	34
Kuvio 11. LoRa-päätelaite koottuna liitännäisineen	36
Kuvio 12. Lähetyksen valmistelu	37
Kuvio 13. Sovelluksen tai reitittimen lisääminen	38
Kuvio 14. Reitittimen sijainti kartalla punaisella ympyröitynä The Things Network-palvelussa	39
Kuvio 15. Sovelluksen tietojen täyttäminen	40
Kuvio 16. Laitteen lisääminen	41
Kuvio 17. Laitteen yleiskatsaus	42
Kuvio 18. Laitteen asetukset	43
Kuvio 19. Mitattuja arvoja TTN-palvelussa	44
Kuvio 20. Mitattujen arvojen tarkemmat tiedot	45
Kuvio 21. WolkAbout kojelauta	46
Taulukko 1. BME280-sensorin kytkeminen Arduinoon I2C-liitännällä (Waveshare 2018.)	31
Taulukko 2. BME280-sensorin kytkeminen Arduinoon SPI-liitännällä (Waveshare 2018.)	32

Taulukko 3. Käyttäjätarinoita.....	35
Taulukko 4. Laitteiston hinta	47

KÄSITTEET

AC	Alternating Current, vaihtovirta
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta
AWS	Amazon Web Services, Amazonin omistama pilvipalvelu
CSS	Chirp Spread Spectrum, chirp-hajaspektritekniikka
DC	Direct Current, tasavirta
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory, haihtumaton puolijohdemuisti
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla
IaaS	Infrastructure as a service, infrastruktuuri palveluna
IoT	Internet of Things, esineiden internet
LMIC	LoraMAC-in-C, ohjelmistokirjasto LoRa-moduuleille
LoRa	Long Range, modulaatiotekniikka
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network, LoRa-teknologiaa käyttävä verkkoprotokolla
LAN	Local Area Network, lähiverkko
LPWAN	Low Power Wide Area Network, laaja-alainen ja vähävirtainen verkkoprotokolla
PaaS	Platform as a service, alusta pilvipalveluna
SDK	Software Development Kit, ohjelmistokehitys-työkalu
SaaS	Software as a service, ohjelmisto pilvipalveluna
SRAM	Static Random Access Memory, staattinen luku- ja kirjoitusmuisti

TTN	The Things Network, LoRaWAN-protokollaa hyödyntävä verkkopalvelu
WAN	Wide Area Network, laaja-alainen verkko
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
Wi-Fi	Kaupallinen tuotemerkki WLAN-lähiverkkotekniikalle
XaaS	Anything as a service, mitä tahansa pilvipalveluna

1 JOHDANTO

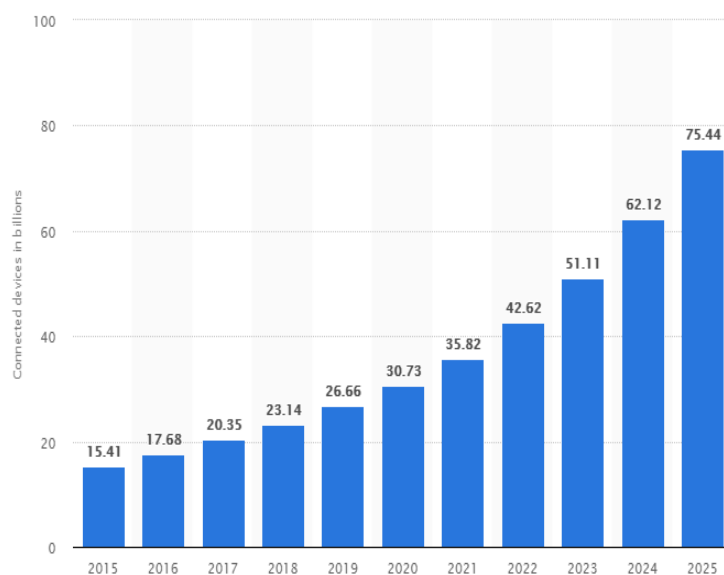
Opinnäytetyön aiheena on LoRa-teknologia ja sen hyödyntäminen LoRaWAN-verkossa. Työ käsittelee esineiden internetiä kyseisen teknologian näkökulmasta ja sen mahdollisuuksista käytännön tasolla. Teknologian etuina perinteisiin IoT-ratkaisuihin ovat esimerkiksi vähäinen virrankulutus, pitkä kantomatka sekä korkea kapasiteetti käsitellä verkossa kulkevaa tietoa.

Valitsimme työmme aiheen Vaasan ammattikorkeakoulun toimeksiannon pohjalta ja uskomme, että aiheeseen perehtymisestä opinnäytetyön muodossa tulee olemaan hyötyä myös tulevaisuuden kannalta. LoRa-teknologian käyttö tulee todennäköisesti lisääntymään lähivuosina huomattavasti teollisessa käytössä, minkä vuoksi kaikki tieto aiheesta voidaan nähdä etuna.

Käytännön tasolla opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimiva päätelaite, joka hyödyntää sensoreita haluttujen arvojen mittaamisessa ja lähettää ne samassa LoRaWAN-verkossa toimivalle reitittimelle. Reititin puolestaan huolehtii siitä, että mitatut arvot päätyvät pilvipalveluun, jossa arvojen tarkastelu ihmisystävällisessä muodossa on mahdollista. Käytännön toteutuksessa on näin ollen olennaisesti mukana siihen kuuluva laitteisto, joka yhdessä aiheeseen liittyvän teorian kanssa mahdollistaa tavoitteeseen pääsyn.

2 ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet eli Internet of Things (IoT) on toisiinsa yhdistettyjen laskenta-laitteiden, digitaalisten ja mekaanisten koneiden, esineiden, eläinten tai ihmisten järjestelmä, jossa jokaiselle esineelle on annettu yksilöivä tunnus sekä mahdollisuus siirtää tietoa verkossa ilman, että tarvitaan ihmisten tai ihmisten ja tietokoneiden välistä vuorovaikutusta. Esineiden internetin tarkoituksena on helpottaa yksittäisten ihmisten elämää tuomalla markkinoille erilaisia älykkäitä laitteita, jotka helpottavat arkisissa toiminnoissa. Myös liiketoiminnan näkökulmasta erilaiset IoT-ratkaisut ovat tärkeässä roolissa, koska niiden avulla yritykset pystyvät esimerkiksi tarkkailemaan järjestelmien suorituskykyä tai logistiikan toimivuutta reaaliajassa. (Rouse 2019)

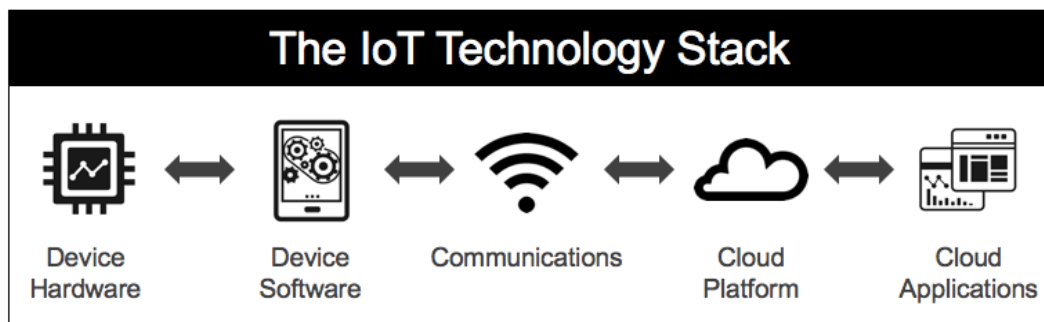


Kuvio 1. Arvioitu IoT -laitteiden määrä biljoonissa vuosina 2015-2025 (Statista 2019)

Esineiden internetissä eri esineitä (Kuvio 1) voivat olla esimerkiksi henkilö, jolla on sykemittari tai maatalaeläin, jolla on biosiru. Esineitä voivat olla myös auto, jossa on sisäänrakennettu sensori, joka varoittaa käyttäjää erilaisista vioista tai vuokrattava sähköpotkulauta, joka voidaan ottaa käyttöön älypuhelimella. Esine voi olla mikä tahansa luonnollinen tai ihmisen tekemä asia, jolle voidaan määrittää IP-osoite ja joka pystyy välittämään tietoa verkossa. Nykyään eri organisaatiot käyttävät yhä enemmän esineiden internetiä toiminnan parantamiseksi sekä aut-

tamaan ymmärtämään asiakkaitaan paremmin. Sitä käytetään myös parantamaan päätöksentekoa ja asiakaspalvelua, ja siten myös kasvattamaan yrityksen arvoa. (Rouse 2019)

Esineiden internet koostuu viidestä eri tasosta, joista jokaisella on tärkeä tehtävä toimivuuden takaamiseksi. Peruskäyttäjä ei välttämättä edes koskaan tiedä muista kuin pilvipalvelun sovellustasosta. Tällainen sovellustaso voi olla esimerkiksi älypuhelimelle ladattava sääsovellus, joka päivittää sää tietoja reaaliajassa tai parkkipaikkasovellus, joka näyttää vapaana olevien parkkiruutujen määrän ja sijainnin. (Elizalde 2016)



Kuvio 2. Esineiden internetin teknologiapino (Elizalde 2016)

Fyysinen laitteisto koostuu esineiden internetiin kytketyistä erilaisista laitteista (Kuvio 2). Tämä on esineiden internetin fyysinen taso. Tässä kerroksessa toimivat muun muassa erilaiset sensorit, jotka ovat kytkettyinä yleensä erilaisiin laskennallisiin toimintoihin kykeneviin suorittimiin. Fyysisen laitteiston toiminnan puolestaan määrittää siihen asennettu ohjelmisto. Ohjelmistotasolla laitteet muuttuvat älylaitteiksi niille kirjoitetuilla koodeilla. Tässä kerroksessa fyysisen sensorin keräämä tieto otetaan vastaan sekä muokataan ihmisille luettavaksi ja lähetys valmistellaan sulautetun ohjelmiston avulla. (Elizalde 2016.)

Laitteisto tarvitsee toimiakseen myös kyvyn välittää tietoa verkossa laitteiden välillä. Tämän kyvyn mahdollistaa kommunikaatiotaso. Tässä kerroksessa määritellään, miten laite kommunikoi muiden laitteiden kanssa ja miten se yhdistää itsensä internetiin. Kommunikointitapoja voivat olla esimerkiksi:

- WAN, joka on lyhenne sanoista Wide Area Network, eli laajaverkko. Tämä verkko voi kattaa kokonaisia kaupunkeja, osavaltioita tai maita. Maailman suurin WAN-verkko on itse internet. (Mitchell 2019)
- LAN, joka on lyhenne sanoista Local Area Network, eli lähiverkko. Lähiverkko on joukko laitteita, jotka ovat jossain tietyssä paikassa. Laitteet yhdistetään lähiverkkoon Ethernetin tai WLAN:in kautta. (Teske 2019)
- WLAN, joka on lyhenne sanoista Wireless Local Area Network, eli langaton lähiverkko. Langattoman lähiverkon muodostaa reititin, joka on yhteydessä internetiin. Eri laitteet voivat liittyä tähän verkkoon luomalla yhteyden reitittimeen langattomasti. WLAN:ista käytetään myös usein sen kaupallista nimitystä Wi-Fi. (Mitchell 2019)
- LPWAN eli Low Power Wide Area Network, joka tarkoittaa vähävirtaista laaja-alaista verkkoa. Tätä teknologiaa hyödynnetään erityisesti erilaisissa IoT-ratkaisuissa, koska siitä löytyy esineiden internetille tärkeitä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi matala virrankäyttö, joka takaa pitkän akunkeston, edullinen hinta, pitkän kantaman tiedonsiirto, hyvä rakenteiden läpäisykyky sekä luotettavuus ja tietoturva. Eri LPWAN-teknologioita yhdistää yksi heikkous: ne käyttävät julkisia lisensoimattomia taajuuksia kommunikointiin. Nämä taajuudet voivat ruuhkautua, kun teknologia yleistyy ja laitteiden määrä kasvaa. Taajuuksien ruuhkautuminen ei kuitenkaan ole niin suuri ongelma kuin voisi olettaa, sillä LPWAN-teknologian ideana on lähettää pieniä määriä tietoa harvoin. (Collin & Saarelainen 2016, 178)

Kommunikaatitasolla tiedot lähetetään pilvipalvelualustalle. Tällä tasolla kerätään laitteen lähettämä tieto ja tallennetaan se tietokantaan. Tiedon analysointi tapahtuu tässä kerroksessa. Kun tieto on kerätty pilvipalvelun tietokantaan, se voidaan näyttää eri muodoissa käyttäjälle pilvipalvelun sovellustasolla. Tämä taso on helpoiten ymmärrettävissä ihmisille, koska siinä on kaikki sovellukset, joita voidaan käyttää esimerkiksi älypuhelimella. Näillä sovelluksilla voidaan muun muassa tarkastaa kodin lämpötila myös silloin, kun käyttäjä ei ole kotona. (Elizalde 2016)

3 LORA-TEKNOLOGIA

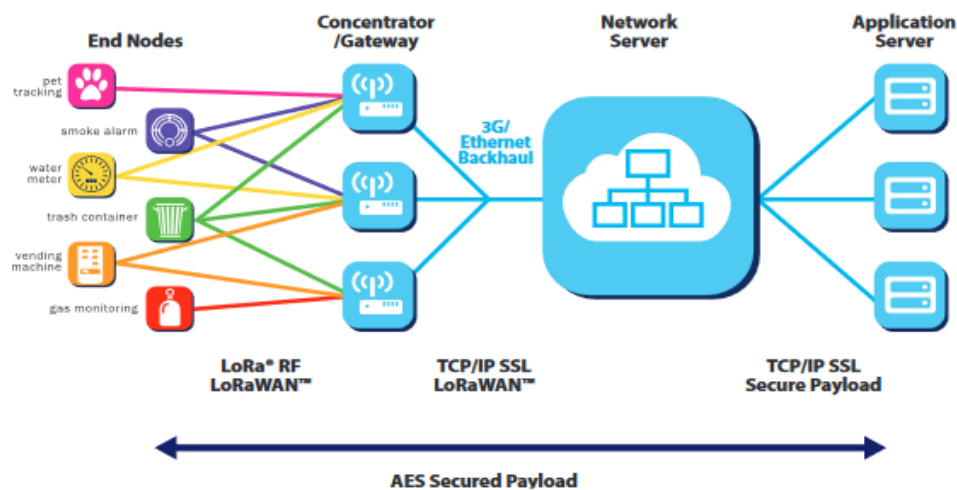
LoRa eli Long Range on modulaatiotekniikka, joka perustuu chirp-hajaspektritekniikkaan (Chirp Spread Spectrum, CSS). Alun perin LoRa-teknologia patentoitiin vuonna 2008 Cycleo-nimisen yrityksen toimesta, mutta Semtech osti sen vuonna 2012. LoRa on fyysinen kerros, joka mahdollistaa pitkänkantaman tiedonsiirron laitteiden välillä radioaaltojen välityksellä. Näin ollen sitä ei tule sekoittaa varsinaiseen LoRaWAN-verkkoprotokollaan, joka yhdistää verkossa olevat laitteet internetiin. Sekä LoRa- että LoRaWAN ovat Semtechin rekisteröimiä tuotemerkkejä. (Technical Marketing Workgroup 2015; Vishwas & arvindpdmn 2018)

Alun perin chirp-hajaspektritekniikka kehitettiin tutkia varten 1940-luvulla ja sitä on hyödynnetty sen jälkeen muun muassa sotilaallisissa ja muissa turvallista viestintää vaativissa käyttötarkoituksissa. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana tekniikan käyttö on lisääntynyt johtuen sen alhaisista lähetystehovaatimuksista sekä luontaisesta kestävyydestä kanavan häirtämekeanismejä vastaan. LoRa-modulaation etuna on, että lähettimen ja vastaanottimen väliset ajoitus- ja taajuus-siirtymät ovat vastaavat, mikä vähentää huomattavasti vastaanottimen suunnittelun monimutkaisuutta. (Semtech Corporation 2015)

3.1 LoRaWAN

LoRaWAN on LPWAN-verkkoprotokolla, jonka kehitystä valvoo LoRa Alliance -järjestö. LoRa Alliance on voittoa tavoittelematon järjestö, jonka yli 500 jäsenen joukosta löytyvät esimerkiksi IBM, HP ja Semtech. LoRaWAN on suunniteltu liittämään langattomasti pienitehoiset ja akkukäyttöiset päätelaitteet internetiin alueellisissa, kansallisissa tai maailmanlaajuisissa verkoissa. Kyseisen verkkoteknologian avulla saadaan täytettyä keskeisimmät esineiden internetin (IoT) vaatimukset, kuten kaksisuuntainen viestintä, päätelaitteiden tietoturva, liikkuvuus ja lokalisointipalvelut. LoRa-teknologia mahdollistaa yksittäisen reitittimen kantavuusalueeksi jopa kokonaisia kaupunkeja, mutta todellinen kantavuus voi olla pidempi tai lyhempi. Kantavuuteen vaikuttaa olennaisesti laitteiden välissä oleva

ympäristö ja siihen kuuluvat esteet, kuten rakennukset. (LoRa Alliance 2019; Technical Marketing Workgroup 2015)



Kuvio 3. LoRaWAN-verkon arkkitehtuuri (Technical Marketing Workgroup 2015)

LoRaWAN-verkossa tiedonsiirto tapahtuu päätelaitteiden (end nodes) ja reitittimien (gateway) välillä. Verkko on muodostettu tähtitopologian periaatteiden mukaisesti ja tästä syystä reitittimillä on oltava hyvä kapasiteetti vastaanottaa viestejä usealta eri päätelaitteelta samanaikaisesti. Päätelaitteet eivät kommunikoi verkossa minkään tietyn reitittimen kanssa, vaan yleensä päätelaitteen lähettämä data vastaanotetaan useassa eri reitittimessä, jotka lähettävät sen eteenpäin johonkin pilvipalveluun, jossa ylimääräiset kopiot samasta viestistä poistetaan. Tämä tapahtuu joko WLAN:in, mobiiliyhteyden, Ethernetin tai satelliitin avulla. (Technical Marketing Workgroup 2015)

Päätelaitteiden toiminta perustuu LoRaWAN-verkossa Semtechin valmistamiin LoRa-lähettimeihin, joita ovat esimerkiksi SX1272- ja SX1276-mallit. LoRa-modulaatioissa hyödynnetään vapaasti käytettäviä radiotaajuuksia, joiden taajuusalue vaihtelee eri maanosissa. Euroopassa käytetään 863-870 MHz-taajuuksia,

toisin kuin Pohjois-Amerikassa vaihteluväli on 900-928 MHz. (Semtech Corporation 2019; The Things Network 2019a)

3.2 Vaihtoehtoisia LPWAN-teknologioita

LoRa-teknologian lisäksi on olemassa myös muita LPWAN-teknologioita. Näitä ovat esimerkiksi puhtaasti IoT-käyttöön suunniteltu Sigfox sekä tuhansien laitteiden ja tukiaseman väliseen M2M (machine to machine) tiedonvälitykseen kehitetty Weightless. (Collin & Saarelainen 2016, 179)

Sigfox on LoRan kaltainen radioteknologia, jonka toiminta perustuu ensimmäisen maailmansodan aikaisten sukellusveneiden käyttämään viestintätapaan. Teknologian kehittäjän mukaan yksi Sigfox-piiri kestäisi kaksikymmentä vuotta akulla, jonka virtavara on verrattavissa kahteen AA-paristoon. Sigfoxin vahvuuksia ovat muun muassa halpa hinta sekä signaalin läpäisykyky ja pitkä kantama. Huonoja puolia ovat puolestaan esimerkiksi 12 tavun enimmäiskoko viesteissä sekä päivittäinen 140 viestin raja. Sigfox avasi kesällä 2016 heidän lisensoimansa verkon Suomessa. (Collin & Saarelainen 2016, 179)

Weightless on avoimen standardin mukainen LPWAN-teknologia. Se on tarkoitettu koneiden väliseen kommunikointiin ja sen käyttötarkoituksia ovat muun muassa terveysteknologia, liikenteen valvonta, älyautot, erilaisten ajoneuvojen seuranta sekä teollisuuskäytössä olevien koneiden valvonta. Teknologian käyttämä tukiasema, joka yhdistetään internettiin kattaa noin kymmenen kilometrin alueen. Weightless:istä on kaksi versiota: N-versio, joka käyttää ISM (industrial, science, medical)-taajuuksia, jotka ovat alle yhden gigahertsin. Tätä versiota käytetään taajuuksien nimien mukaisesti teolliseen, tieteelliseen sekä lääketieteelliseen tarkoitukseen. Toinen vaihtoehto on W-versio. Tämän version laitteet käyttävät maan päällä kulkevien tv-lähetysten taajuusalueista kapeita käytäviä. Laitteen havaitessa omalla liikennetaajuudellaan TV-lähettimen se hyppää automaattisesti toiselle taajuudelle. Teknologian etuja ajaa Weightless SIG (Special Interests Group)-etujärjestö. (Collin & Saarelainen 2016, 179-180)

4 LORA-PÄÄTELAITTEIDEN RAKENNE

Päätelaitteen prototyypin luomiseksi löytyy useita vaihtoehtoja, kuten esimerkiksi Raspberry Pi- ja Arduino-pohjaiset ratkaisut. Raspberry Pi on luottokortin kokoinen minitietokone, joka mahdollistaa monipuolisesti useita eri käyttökohteita. Siihen kuuluu useita erilaisia liitäntöjä, jotka mahdollistavat esimerkiksi näytön, näppäimistön ja hiiren liittämisen. Arduino on puolestaan avoimeen lähdekoodiin perustuva mikrokontrollerialusta, jonka käyttökohteet ovat suppeammat, kuin aiemmin mainitulla. Sille löytyy kuitenkin oma paikkansa useissa eri projekteissa, jotka eivät vaadi laitteistolta suuria tehoja ja perinteisiä tietokoneliitännäisiä. (Arduino 2019; Raspberry Pi Foundation)

Päätelaitteen toteuttamiseksi tarvitaan myös lähetinvastaanotin (transceiver), jonka avulla varsinainen LoRa-modulaatio luodaan. Usein prototyyppiä luodessa tämä toteutetaan erillisellä liitännäisalustalla, joka kytketään kiinni käytössä olevaan mikrokontrollerialustaan. Liitännäisalustaan on puolestaan upotettuna LoRa-modulaation luomiseen käytettävä siru. Prototyyppiä luodessa on mahdollista hankkia myös hieman edistyneempi ratkaisu, kuten esimerkiksi The Things Networkin valmistama The Things Uno. Kyseinen mikrokontrollerialusta perustuu Arduino Leonardoan ja siihen on lisätty valmiiksi LoRa-moduuli. (Arduino 2019; The Things Network 2019b)

Opinnäytetyön tarkoituksena on toteuttaa päätelaite, jonka avulla on mahdollista mitata kolmea arvoa: lämpötilaa, ilmankosteutta ja ilmanpainetta. Tästä syystä edellä mainittujen mikrokontrollerialustan ja lähetinvastaanottimen lisäksi tarvitaan myös sensorit, joilla kyseisiä arvoja on mahdollista mitata. Kyseisten arvojen mittaamiseen tarkoitettujen sensoreiden lisäksi päätelaitteen rakentamisessa on mahdollista hyödyntää myös lukuisia muita sensoreita. Riippuen käyttötarkoituksesta, on mahdollista hankkia sensori, jolla voidaan mitata esimerkiksi äänen voimakkuutta tai sykettä. (Arduino 2019; Purdum 2012)

Markkinoilla on myynnissä myös useita valmiita ratkaisuja, jotka mahdollistavat LoRa-päätelaitteiden ja -reitittimien käyttöönoton helposti ja nopeasti. Tämä onkin kyseisten ratkaisujen suurin etu, sillä ne eivät vaadi käyttäjältä samanlaista

teknistä tietämystä, kuin rakennettaessa päätelaitetta erillisistä osista. Huonona puolena ovat puolestaan huonompi muokattavuus ja kalliimpi hinta. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi NEXTLINQ-nimisen yrityksen valmistama Lorank-8, jota voidaan käyttää LoRa-reitittimenä LoRaWAN-verkossa. Valmiita sensoreilla varustettuja päätelaiteratkaisuja valmistaa puolestaan esimerkiksi Elsys-niminen yritys. (Elsys 2019; NEXTLINQ 2019)

5 PILVIPALVELUT JA INTEGRAATIOT

Pilvipalveluilla tarkoitetaan kaikkia palveluita, joita voidaan käyttää internetin välityksellä IaaS-, SaaS- ja PaaS-palveluina. IaaS (Infrastructure as a Service) tarkoittaa fyysisen infrastruktuurin eli esimerkiksi palvelimien ulkoistamista jollekin palveluntarjoajalle. SaaS (Software as a Service) määritellään sovellusten etäkäytönä verkossa ja PaaS (Platform as a Service) pilvipalvelualustana. Toisinaan käytetään myös termiä XaaS (Anything as a Service) jolla viitataan kaikkiin tarjolla oleviin palveluihin. (IBM 2019)

Erilaiset pilvipalvelut liittyvät olennaisesti LoRaWAN-verkkoteknologian hyödyntämiseen, sillä päätelaitteilta reitittimille liikkuva tieto on tallennettava jonnekin myöhempää tarkastelua ja analysointia varten. Pilvipalveluita on tarjolla useita, joista kaksi suurinta ovat Amazon Web Services sekä Microsoft Azure IoT Hub. LoRa-teknologiaa käyttävien henkilöiden tai tahojen on myös mahdollista rakentaa täysin oma palvelu, mikäli yksikään markkinoilla olevista ei vastaa asetettuja vaatimuksia. (Dignan. 2019; The Things Network 2019c)

5.1 Amazon Web Services

Amazon Web Services (AWS) on Amazonin omistama pilvipalvelualusta. Alusta tarjoaa laajan valikoiman sovelluspalveluita mukaan lukien: tietokantoja, laskentatehoa, analytiikkaa, esineiden internet, koneoppimista, tekoälyä, tietoturvaa sekä käyttöönottoa ja hallintaa. Palveluista esimerkiksi koneoppimista varten AWS tarjoaa tehokasta graafista laskentatehoa. Palvelu tarjoaa myös noin kaksinkertaisen määrän tietokantapalveluita muihin pilvipalveluihin verrattuina. Kaiken kaikkiaan palveluita löytyy 165, joista 40 on saatavilla vain Amazon Web Servicesiltä. Pilvipalvelualustalla on käytössään palvelinkeskuksia ympäri maailmaa. AWS tarjoaa myös mahdollisuuden hyödyntää LoRa-teknologiaa. (Amazon 2019)

5.2 Microsoft Azure IoT Hub

Azure IoT Hub on Microsoftin kehittämä pilvipalvelu, joka mahdollistaa erilaisten sovellusten sekä palveluiden rakentamisen, testaamisen ja hallitsemisen. Pilvipal-

velu toiminta perustuu Microsoftin hallitsemiin palvelinkeskuksiin, joita on useita ympäri maailmaa. Azure tarjoaa käyttäjilleen osan palveluista täysin ilmaiseksi, mikä madaltaa kynnystä kokeilla kyseistä palvelua. Palvelussa on myös mahdollista hyödyntää LoRa-teknologiaa. (Microsoft 2019; The Things Network 2019c)

5.3 The Things Network

The Things Network (TTN) on ilmainen avoimen lähdekoodin LoRaWAN-protokollaa hyödyntävä verkkoalusta, joka on suunniteltu esineiden internetiä varten. Sen tarkoituksena ei ole niinkään datan varastoiminen, vaan sen välittäminen eteenpäin erilaisten integraatioiden avulla. Sen etuna on perinteisiin langattoma lähiverkkoa hyödyntäviin IoT-ratkaisuihin se, että käytettäessä LoRaWAN-protokollaa päätelaitteet voivat lähettää tietoa verkkoon ilman varsinaista yhteyttä internetiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että päätelaitteet kommunikoivat LoRaWAN-verkossa LoRa-teknologiaa hyödyntävien reitittimien kanssa, jotka puolestaan ovat yhteydessä internetiin. TTN-palveluun rekisteröidyt päätelaitteet tunnistetaan niille annettujen yksilöivien osoitteiden avulla, joiden avulla reitittimien vastaanottama data voidaan esittää oikeille käyttäjille. (The Things Network 2019c)

5.3.1 The Things Network-integraatiot

The Things Network-integraatiot ovat helpoin tapa kytkeä laitteet haluamiinsa ulkopuolisiin sovelluksiin. Integrointi käyttää samoja ohjelmointirajapintoja (API) tai ohjelmistokehitys-työkaluja (SDK), joita myös sovellus voi käyttää suoraan. Yhdessä alustan yksityisten tai julkisten ohjelmistorajapintojen kanssa, se yhdistää alustalla toimivan sovelluksen The Things Network-palveluun. (The Things Network 2019c)

Alustaintegraatiot ovat täydellisiä integraatioita ulkoisten IoT-alustojen kanssa laiterekisterin, sekä uplink- ja downlink- tietojen synkronoimiseksi. Uplinkillä tarkoitetaan laitteelta sovellukselle kulkevia viestejä ja downlinkillä sovellukselta laitteelle meneviä. Käytännössä täydellinen integraatio tarkoittaa, ettei käyttäjän tarvitse kirjoittaa koodia tai käyttää TTN-verkkokonsolia tietojen siirtämiseksi.

Ulkoisia IoT-alustoja tarjoavat esimerkiksi aiemmin mainitut Azure IoT Hub ja Amazon Web Services. Edellä mainituissa palveluissa käyttäjä hallitsee sekä sovelluksia että laitteita, kun taas integrointiprosessi huolehtii synkronoinnista The Things Network-palvelun kanssa. (The Things Network 2019c)

Toinen yleinen integraatiomenetelmä on viestien edelleen lähettäminen uplink-viestinä web-koukkuihin tai muihin viestinnän päätepisteisiin. Näitä tilanteita varten palvelu tarjoaa viestintäintegraatioita, jotka toimivat siltana TTN-palvelun käsitteijän ja käyttäjän valitseman päätepisteen välillä. Viestintäintegraatio mahdollistaa myös viestinnän päätepisteeltä takaisin laitteelle downlink-viestinä. HTTP-integraatio on yksi esimerkki helposti käytettävästä ja määriteltävästä integraatiosta. (The Things Network 2019c)

HTTP eli Hypertext Transfer Protocol tarkoittaa hypertekstin siirtoprotokollaa. Se mahdollistaa erilaisten resurssien noutamisen kuten esimerkiksi HTML-asiakirjat. Tämä toimii kaiken tiedonvaihdon perustana webissä. HTTP on asiakas-palvelin-protokolla, joka tarkoittaa sitä, että vastaanottaja, joka on usein web-selain, aloittaa pyynnöt resurssien noudoista. (Mozilla 2019)

5.3.2 WolkAbout

WolkAbout IoT-alusta on suunniteltu toimimaan yhteensopivasti kaikkien laitteiden kanssa, joissa on internet-yhteys. Se tukee vanhempia sekä uusia laitteistoja. Alusta mahdollistaa laitteiden etähallinnan, tarkkailun, vianetsinnän, diagnostiikan, laitteiden paikantamisen sekä päivittämisen etänä. Alustalla voi myös simuloida ja hallinnoida virtuaalisia laitteita erilaisilla ohjelmakoodeilla. (WolkAbout 2019)

WolkAbout vastaanottaa metatietoa, kuten esimerkiksi: käyttäjät, käyttäjän asetukset, käyttäjäistunnot sekä syötteet ja tallentaa ne MySQL-relaatiotietokantaan. Kaikki niin sanottu oikea tieto, eli sensorien mittausarvot ja viestit tallennetaan Cassandra nimiseen NoSQL-tietokantaan. Alustalla on myös mahdollista määrittellä mitä tietoa miltäkin laitteelta kerätään ja miten se kerätään. (WolkAbout 2019)

WolkAbout IoT-alustaa on myös mahdollista käyttää älypuhelimelle ladattavalla sovelluksella, jolla voi tarkastella kojelautaa sekä raportteja. Alustalla saa myös asetettua rajoja tiedolle, jotka ylitettäessä käyttäjä saa sähköpostiin sekä älypuhelinsovellukseen ilmoituksen. (WolkAbout 2019)

WolkAbout IoT-alusta saadaan yhdistettyä The Things Network-palveluun HTTP-integraatiolla. Integraatiota varten tarvitaan TTN:n puolelta sovelluksen avain sekä pääsykoodi. WolkAboutin puolella luodaan automaattisesti integraation tunnistava merkkijono, joka syötetään TTN:än. Integraatiossa käytetään HTTP-metodia POST, joka on pyyntömetodi, joka lähettää tietoa palvelimelle. Tiedot lähetetään WolkAboutiin JSON -muodossa. (WolkAbout 2019)

JSON on lyhenne sanoista JavaScript Object Notation. Se on hyvin kevyt tiedonsiirtomuoto, joka on helposti ihmisten luettavissa sekä nopeasti koneiden jäsennettävissä ja luotavissa. JSON on tekstimuoto, joka on täysin riippumaton kielestä, mutta se käyttää C-kielijärjestelmästä tuttuja käytäntöjä, mukaan lukien C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python sekä monia muita. Näiden ominaisuuksien vuoksi JSON on ihanteellinen tiedonsiirtokieli. (JSON 2019)

6 PROTOTYYPIN SUUNNITTELU

Päätelaitteen suunnittelun aloitimme perehtymällä LoRa-teknologiaan ja LoRa-WAN-verkkoprotokollaan yleisesti. Tämän jälkeen pohdimme, minkälaista laitteistoa tarvitsisimme projektin toteutukseen. Saimme Vaasan ammattikorkeakoululta käyttöömmme Raspberry Pi 3-mallisen mikrotietokoneen sekä Arduino Uno R3-mikrokontrollerialustan ja siihen kuuluvan aloituspakkauksen. Lisäksi saimme Raspberry Pi-alustalle tarkoitetun Dragino LoRa/GPS-hatun, joka mahdollistaa LoRa-lähetykset. (Arduino 2019; Dragino Technology Co., LTD 2019)

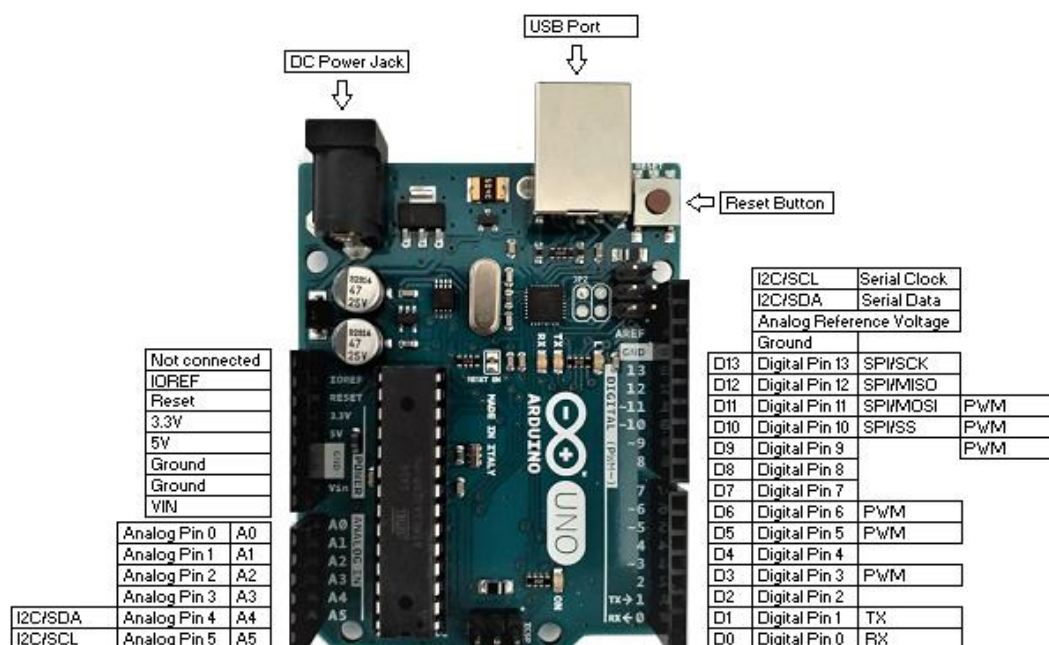
Tarkoituksenamme oli alun perin käyttää työssämme Raspberry Pi-mikrotietokonetta, mutta päädyimme käyttämään Arduino-alustaa. Kyseiseen ratkaisuun päädyimme siitä syystä, että Arduino-alustan käyttö osoittautui enemmän tarkoituksen mukaiseksi haluttujen tulosten saavuttamiseksi. Huomasimme, että emme tarvitse projektin toteuttamiseen tehoiltaan Raspberry Pi:n tasoista laitteistoa, vaan saisisimme samat tulokset pienemmilläkin tehoilla. (Arduino 2019; Raspberry Pi Foundation.) Tarvitsimme Arduinon lisäksi myös jonkinlaisen liitännäisen LoRa-modulaation luomiseksi ja tästä syystä päädyimme hankkimaan Elecrown valmistaman LoRa RFM95 Shield-liitännäisalustan (Elecrow Electronics 2018)

Seuraavaksi aloimme miettimään, miten voisimme toteuttaa lämpötilan, kosteuden ja ilmanpaineen mittaamisen yhtäaikaaisesti. Tätä varten tarvitsimme oikeanlaiset anturit, minkä takia tilasimme Wavesharen valmistaman BME280-multisensorin, joka mahdollistaa kyseisten arvojen mittaamisen yhdellä liitännäisellä. (Waveshare 2019)

6.1 Mikrokontrollerialusta

Arduino Uno R3 on mikrokontrollerialusta, jonka avulla on mahdollista toteuttaa monipuolisesti erilaisia projekteja. Sen hyviä puolia ovat alhainen hinta, hyvä liitettävyyys, pieni virran kulutus sekä helppokäyttöinen ohjelmistoympäristö. Myös avoin lähdekoodi sekä laitteiston, että ohjelmiston suhteen voidaan nähdä isona

etuna. Huonona puolena puolestaan on tehojen riittämättömyys raskaammissa projekteissa. (Purdum 2012, 4; Arduino 2019)



Kuvio 4. Arduino Uno R3-mikrokontrollerialusta ja sen liitännät

Kuviossa 4 on esiteltyä Arduino Uno R3-alusta ja siihen kuuluvien liitännöiden sijainti. Varsinaisena mikrokontrollerina alustassa toimii ATmega328P, jonka kellotaajuus on 16MHz. Flash-pohjaista massamuistia, johon ohjelmakoodi ladataan, on 32KB. SRAM-muistia (Static Random Access Memory), jota massamuistiin ladattu koodi hyödyntää ajon aikana muuttujien luomiseen ja käsittelyyn on 2KB. EEPROM-muistia (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) on 1KB ja sitä voidaan käyttää pitkäaikaisen tiedon tallentamiseen. EEPROM- ja Flash-muisti ovat haihtumattomia eli niissä oleva tieto säilyy, vaikka virta kytketään pois päältä. SRAM-muistissa oleva tieto puolestaan häviää, jos virta katkaistaan. Käyttöjännite on mikrokontrollerialustassa viisi volttia. (Purdum 2012, 4; Arduino 2019)

Liitännät A0-A5 ovat analogisia sisääntuloja, jotka muutetaan digitaalisiksi mikrokontrollerin ADC-piirillä (Analog to Digital Converter). Liitännät D0-D13 puolestaan toimivat digitaalisina sisään/ulostuloina. Digitaaliset liitännät D3, D5, D6,

D7, D10 ja D11 omaavat myös PWM-ominaisuuden (Pulse Width Modulation), jota voidaan käyttää esimerkiksi alustaan kytketyn LED-valon kirkkauden säätämiseen tai äänisignaalien generoimiseen. Analog Reference Voltage-liitäntää (AREF) puolestaan voidaan käyttää ulkoisen viitejännitteen syöttämiseen Arduinolle. (Arduino 2019)

Liitäntöjä D0 ja D1 voidaan käyttää sarjaliikenteeseen, joista TX (Transmit) on käytettäessä lähettäessä ja RX (Receive) vastaanottaessa tietoa. Sarjaliikennettä voidaan hyödyntää tiedonvaihdossa Arduino-alustan ja jonkin muun laitteen, kuten esimerkiksi näytön tai tietokoneen välillä samaan tapaan, kuin käytettäessä alustan USB-porttia. (Arduino 2019)

Mikrokontrollerialustaan kuuluvat I2C/SDA- ja I2C/SCL-liitännät mahdollistavat I2C-kommunikointiprotokollan (Inter-Integrated Circuit) hyödyntämisen. Protokollasta käytetään myös yleisesti nimitystä I2C-väylä ja se on suunniteltu mahdollistamaan tiedonsiirto eri laitteiden välillä isäntä/renki-periaatteen mukaisesti (master/slave). I2C-väylässä voi olla liitettynä yhtä aikaa useita isäntiä ja renkejä, joista jokaisella on oma yksilöivä osoite. Kommunikointiin I2C-protokolla käyttää kahta liitäntää, jotka ovat: SDA (Serial data) ja SCL (Serial Clock). SDA-liitäntä on tiedonsiirtoa varten ja SCL tiedonsiirron synkronointia varten. (Arduino 2019)

Digitaaliset liitännät D10-D13 mahdollistavat SPI-protokollan (Serial Peripheral Interface) käyttämisen. Käytettäessä SPI-yhteyttä, toimii yksi laite aina isäntänä ja tyypillisesti kyseistä tehtävää hoitaa mikrokontrolleri. Protokolla hyödyntää kommunikoinnissa neljää eri liitäntää, jotka ovat: MISO (Master in, Slave Out), MOSI (Master Out, Slave In), SCK (Serial Clock) ja SS (Slave Select). MISO on tarkoitettu tiedonsiirtoon isäntänä toimivalle laitteelle ja MOSI muille ulkopuolisille laitteille. SCK on tarkoitettu tiedonsiirron synkronointiin ja SS määrittää, minkä laitteen kanssa isäntälaitte on parhaillaan kommunikoimassa. SPI-protokolla eroaa I2C-protokollasta esimerkiksi siten, että sen tiedonsiirto on nopeampaa ja isäntiä voi olla ainoastaan yksi. (Arduino 2019)

Virransyöttö on mahdollista toteuttaa muutamalla toisistaan eroavalla tavalla hyödyntämällä verkkovirtaa, akkua tai paristoja. Yksinkertaisimmillaan virransyöttä-

minen ei vaadi muuta, kuin USB A-B Standardin mukaisen kaapelin ja sen kytkemisen sekä Arduinoon, että virtalähteeseen. Kaapelin B-pää kytketään kiinni Arduinon USB-porttiin ja A-pää virtalähteen USB-porttiin, kuten esimerkiksi tietokoneeseen. (Purdum 2012, 4; Arduino 2019)

Käytettäessä DC Power Jack-liitäntää sähkövirran tulee olla tasavirtaista (DC). Mikäli virta otetaan suoraan verkkovirrasta, eikä esimerkiksi 9V-paristosta, tarvitaan AC/DC-muuntaja muuttamaan vaihtovirta (AC) tasavirtaiseksi 7-20 voltin jännitteeksi. Valmistaja ei kuitenkaan suosittele käyttämään yli 12 voltin jännitettä ylikuumentumisen välttämiseksi. (Purdum 2012, 4; Arduino 2019)

Virransyöttö on mahdollista myös käyttämällä VIN- tai 5V- liitäntää. Virransyöttäminen ei ole tosin suositeltavaa käyttäen 5V-liitäntää, koska se ohittaa Arduinon jänniteregulaattorin, jonka tehtävä on muuttaa sisään tuleva sähkövirta tasaiseksi viiden voltin jännitteeksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos jännite ei ole tasattu viiteen volttiin ennen virransyöttöä mikrokontrolleriin, se voi vahingoittaa. (Arduino 2019)

Prototyypin suunnittelun kannalta olennaisinta oli ymmärtää, miten erilaiset liitännäiset kytketään Arduino-alustaan ja virransyöttö toteutetaan isoimpien virheiden välttämiseksi. Liitännäisten, kuten sensorin kannalta SPI- ja I2C-protokollien käyttö on oleellista ja tästä syystä oli hyvä tietää, missä kyseisten protokollien liitännät sijaitsevat ja miten ne toimivat. (Waveshare 2019)

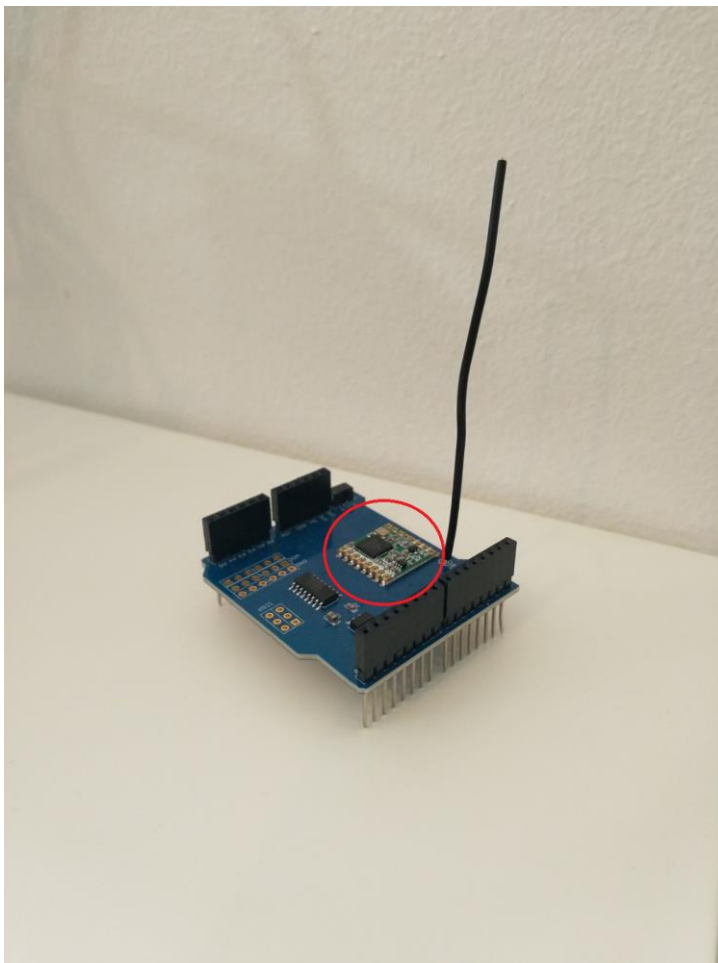
Arduino IDE on Arduinon ohjelmointiin tarkoitettu ohjelmointiympäristö, jonka avulla koodi ladataan Arduinon Flash-muistiin. Ohjelmointiympäristössä käytettävä ohjelmointikieli perustuu C- ja C++-ohjelmointikieliin. Flash-muistiin ladattu koodi luetaan automaattisesti joka kerta, kun Arduinoon kytketään virta päälle. Koodin suorittaminen puolestaan loppuu joko virran pois kytkemisen jälkeen tai koodiin kirjoitetun funktion jälkeen. (Arduino 2019)

```

arduino_node | Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)
File Edit Sketch Tools Help

arduino_node | Seed_BME280.cpp | Seed_BME280.h | lmic.h
40 // LoRaWAN end-device address (DevAddr)
41 // See http://thethingsnetwork.org/wiki/AddressSpace
42 static const u4_t DEVADDR = 0x26011E82; // <-- Change this address for every node!
43
44
45 BME280 bme;
46
47 // These callbacks are only used in over-the-air activation, so they are
48 // left empty here (we cannot leave them out completely unless
49 // DISABLE_JOIN is set in config.h, otherwise the linker will complain).
50 void os_getArtEui (u1_t* buf) { }
51 void os_getDevEui (u1_t* buf) { }
52 void os_getDevKey (u1_t* buf) { }
53
54 static uint8_t mydata[6];
55 static osjob_t sendjob;
56
57 // Schedule TX every this many seconds (might become longer due to duty
58 // cycle limitations).
59 //const unsigned int TX_INTERVAL = 60;
60
61 // Pin mapping
62 const lmic_pinmap lmic_pins = {
63   .nss = 10,
64   .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
65   .rst = 9,
66   .dio = { 1, 2, 3 }
67 };
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630

```



Kuvio 6. Elecrow Lora RFM95 Shield

Varsinainen RFM95-moduuli on ympyröitynä punaisella (Kuvio 6). Sen taajuusalue on 868-915MHz eli se käyttää perinteisiä vapaasti LoRaWAN-verkossa käytössä olevia taajuuksia. Kaistanleveys on puolestaan 7.8 – 500kHz ja lähetysnopeus 0.18 – 37.5 kt/s. LoRa Shield kiinnitetään suurimpaan osaan Arduinon liitännöistä, jotka ovat tarkemmin lueteltuna: A0 – A5, D0 – D13, VIN, 3kpl Ground, 3.3V, 5V, Reset ja AREF (Kuvio 4). Liitännäisalusta ei tarvitse erillistä virtalähdettä, vaan se saa virran suoraan Arduinolta. (Elecrow Electronics 2018; HOPE Microelectronics CO 2018)

6.2.1 Arduino LMIC-ohjelmistokirjasto

Ohjelmistokirjastot koostuvat usein valmiiksi kirjoitetuista koodeista, luokista, menettelyistä, skripteistä, määrittystiedoista ja monista muista osista. Tyypillisesti

ohjelmiston kehittäjä lisää ohjelmistokirjaston manuaalisesti ohjelmaan lisätoimintojen vuoksi tai prosessin automatisoimiseksi ilman, että sille tarvitsee kirjoittaa koodia itse. Esimerkiksi matemaattista ohjelmistoa kehitettäessä kehittäjä voi lisätä matematiikkaan perustuvan ohjelmistokirjaston ohjelmaan, jolloin hänen ei itse tarvitse kirjoittaa monimutkaisia toimintoja. Kaikkia ohjelmistokirjaston käytävissä olevia valmiiksi kirjoitettuja toimintoja voidaan helposti kutsua ohjelman rungossa määrittelemättä niitä erikseen. (Techopedia 2019)

Arduino-LMIC (LoraMAC-in-C) -ohjelmistokirjasto perustuu IBM:n alkuperäiseen LMIC -ohjelmistokirjastoon. Arduino ympäristöön sopivaksi kirjaston muutti Matthijs Kooijman. Ohjelmistokirjaston tarkoituksena on mahdollistaa LoRa-lähetinvastaanottimien käyttö siten, että ne on kytketty SPI-väylään. Näitä lähettinvastaanottimia ovat esimerkiksi Semtechin valmistamat SX1272 sekä SX1276, jotka löytyvät muun muassa HopeRF:n RFM92- sekä RFM95 LoRa-moduuleista. Käytännössä tarvitsimme kyseistä ohjelmistokirjastoa siihen, että Arduinoon kytketty Elecrow Lora RFM95 Shield toimisi oikein SPI-väylässä. (Kooijman 2017; Semtech Corporation 2019)

```
#define CFG_eu868 1
//#define CFG_us915 1
// This is the SX1272/SX1273 radio, which is also used on the HopeRF
// RFM92 boards.
//#define CFG_sx1272_radio 1
// This is the SX1276/SX1277/SX1278/SX1279 radio, which is also used on
// the HopeRF RFM95 boards.
#define CFG_sx1276_radio 1
```

Kuvio 7. Käyttämämme asetukset Arduino LMIC -ohjelmistokirjaston konfiguraatitiedostossa

Ohjelmistokirjastossa on konfiguraatitiedosto, josta voi määritellä monia erilaisia ominaisuuksia, mutta tärkeimmät ja yleisimmät siitä säädettävät tiedot ovat minikäläistä radiolähetintä käytetään sekä mitä taajuutta käytetään. Yhdysvalloissa käyttötaajuus on 915 megahertsiä, ja Euroopassa 868 megahertsiä. Vaihtoehdot lähettinvastaanottimille ovat Semtechin valmistamat SX1272 sekä SX1276. Määritimme konfiguraatitiedostoon taajuusalueeksi eu868, koska toimimme Euroopan

unionin alueella. Lähetinvastaanottimeksi määritimme puolestaan SX1276, koska käyttämämme LoRa-moduuli perustuu siihen (Kuvio 7). (Kooijman 2017)

6.2.1 Lähettimien ajastus

SX127x-lähetinvastaanottimet eivät tue tarkkaa ajastamista itse, vaan se työ jää mikrokontrollereiden hoidettavaksi, tässä tapauksessa siis käytössä olevalle Arduinolle. Ajastus on tärkeää siksi, että laite tietää milloin edellinen lähetys on suoritettu, jotta se voi valmistella uuden lähetysten. Ohjelmistokirjaston käyttämä ajastus käyttää Arduinon omaa `micros()` -ajastinta, joka perustuu Arduinon ensisijaiseen kelloon. Tapahtumien ajastuksessa lähetinvastaanotin käyttää digitaalisia sisään- ja ulostuloliitäntöjä keskeytysulostuloina. Ohjelmistokirjaston tämänhetkessä versiossa digitaalisia sisään- ja ulostuloliitäntöjä ei käsittele oikea keskeytysten käsittelijä, vaan ne kysytään jokaisen LMIC -silmukan jälkeen kerran, jonka takia aikaleimauksessa tapahtuu epätarkkuutta. Ajastettujen tapahtumien suorittaminen tapahtuu myös kyselyillä, joka saattaa johtaa vielä suurempiin lisäviivisiin. LoRa on suhteellisen hidas protokolla, joten vastaanottoikkunoiden ajoitus ei ole kovin kriittistä. (Kooijman 2017)

Lähettimen ja vastaanottimen synkronointi tapahtuu lähettämällä ensin johdantotieto. LoRaWAN-protokollaa käytettäessä tämä tieto koostuu kahdeksasta merkistä. Vastaanottimen täytyy vastaanottaa näistä vähintään neljä merkkiä, jotta se voi varmistaa tiedon saapumisen perille. Nopeimmassa lähettimen tukemassa LoRa-asetuksessa johdantotiedon ensimmäisen merkin vastaanottamisessa kestää noin 64 mikrosekuntia. (Kooijman 2017)

6.2.2 LMIC-ohjelmistokirjaston liitännät

Arduino LMIC-ohjelmistokirjaston käyttö vaatii sen, että koodissa on määritelty tietyt liitännät erikseen. Koodiin merkataan, mitä fyysisistä pinniä eli liitäntää vaaditut osat käyttävät. Koodissa nämä liitännät määritellään `lmic_pinmap` `lmic_pins` -funktiossa.

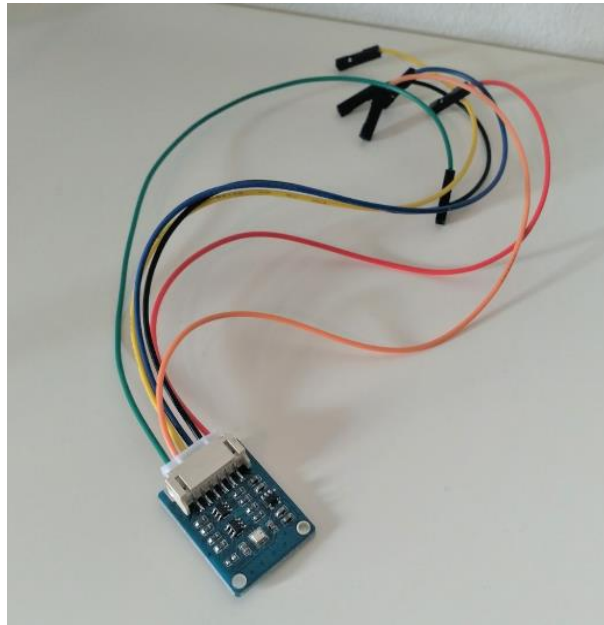
```
// Pin mapping
const lmic_pinmap lmic_pins = {
    .nss = 10,
    .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
    .rst = 9,
    .dio = {1, 2, 3},
};
```

Kuvio 8. Käyttämämme LMIC-ohjelmistokirjaston liitännät

Rengin valinnalle (NSS) on ilmoitettu liitäntä 10, koska se on SPI-liitännän ringin valinta. Vastaanottoa ja lähetystä (RXTX) ei ole kytketty, koska käyttämässämme LoRa-moduulissa ne on valmiiksi yhdistetty (Kuvio 8). Alkutilan palautukseen (RST) on määritelty liitäntä 9, koska Arduino-ympäristössä sen voi yhdistää mihin tahansa sisään- tai ulostuloliitäntään. Digitaalisissa sisään- sekä ulostuloissa (DIO) ei myöskään ole tarkkaan määriteltyjä tiettyjä liitäntöjä Arduinossa, kunhan niitä vain on vaadittavat kolme. LMIC-ohjelmistokirjasto käyttää digitaalisia sisään- ja ulostuloliitäntöjä saadakseen välitöntä tilatietoa LoRa-moduulilta. (Kooijman 2017)

6.3 Sensori

Waveshare-nimisen yrityksen valmistama BME280-ympäristösensori mahdollistaa ilmanpaineen, kosteuden ja lämpötilan mittaamisen. Sensoriin on yhdistetty kolme anturia yhdeksi helposti käytettäväksi kokonaisuudeksi ja se on hinnaltaan edullinen. Sen muita hyviä puolia ovat alhainen virrankulutus, pieni koko sekä tarkkuus ja vakaus, jotka tekevät siitä erittäin käyttökelpoisen liitännäisen. (Waveshare 2019)



Kuvio 9. BME280-multisensori

Kuviossa 9 BME280-multisensorissa on kuusi ulostuloa, jotka yhdistetään käytävään alustaan. Sensori on mahdollista liittää kahdella eri tavalla: I2C- tai SPI-liitännällä, joista oletuksena on käytössä I2C. Mikäli haluaa käyttää SPI-protokollaa, tulee ulostulot kytkeä hieman eri tavalla. Kyseisen protokollaan käyttäminen ei vaadi muita erityisiä toimia, vaan samat ulostulot ajavat molempien protokollien tarpeet. Riippumatta siitä, kumpaa protokollaa käytetään, toimii sensori aina renkinä. (Waveshare 2019)

Taulukko 1. BME280-sensorin kytkeminen Arduinoon I2C-liitännällä (Waveshare 2018.)

BME280	VCC	GND	SDA	SCL	ADDR	CS
Arduino	3.3V/5V	GND	A4	A5	NC/GND	NC

Taulukossa 1 on esiteltyä, miten sensorin ulostulot tulee liittää Arduinoon tai sen päälle kytkettyyn liitännäisalustaan käytettäessä I2C-liitännää. Kuudesta ulostulosta vähintään virta (VCC), maadoitus (GND) sekä sarjakello (SCL) ja sarjadata (SDA) tulee olla kytkettynä. Sarjadatalta välitetään varsinainen tieto sensorin ja mikrokontrollerin välillä ja sarjakello huolehtii tiedon synkronoisesta. Osoite

(ADDR) liitetään kiinni maadoitukseen ainoastaan siinä tapauksessa, jos haluaa vaihtaa sensorin osoitetta I2C-väylässä. Siruvalintaa (CS) ei kytketä ollenkaan. Käytimme sensorin liittämiseen I2C-väylää, koska käyttämämme ohjelmistokirjasto perustui siihen. (Waveshare 2019; Fang 2019)

Taulukko 2. BME280-sensorin kytkeminen Arduinoon SPI-liitännällä (Waveshare 2018)

BME280	VCC	GND	MOSI	SCK	MISO	CS
Arduino	3.3V/5V	GND	D11	D13	D12	D10

Käytettäessä SPI-liitäntä, tulee ulostulot kytkeä virtaa ja maadoitusta lukuun ottamatta eri tavalla kuin I2C-liitännässä. Loput neljä ulostuloa käyttävät Arduinin SPI-liitännälle tarkoitettuja digitaalisia sisään/ulostuloja. MISO huolehtii kommunikoinnin isännältä rengille, MOSI puolestaan rengiltä isännälle. Sarjakelloa (SCK) käytetään tietojen synkronoimiseen samankaltaisesti, kuin I2C-väylässä. Siruvalintaa tarvitaan siihen, että isäntälaitte tietää, minkä rengin kanssa se on parhaimmillaan kommunikoimassa. (Waveshare 2018)

Sensorimme tietojen hyödyntämiseksi käytimme Seeed-Studio Grove_BME280-ohjelmistokirjastoa. Ohjelmistokirjasto on selkeälukuinen ja sitä on helppo käyttää. Se mahdollistaa BME280-sensorin keräämän tiedon lukemisen helpoilla funktioilla. Esimerkiksi lämpötilan saa luettua kutsumalla funktiota `getTemperature()`. Ilmanpaine- ja kosteustiedot saadaan luettua myös samaan tapaan kirjoitetuilla funktioilla; `getPressure()` sekä `getHumidity()`. (Fang 2019)

6.4 Tiedon kulkeminen loppukäyttäjälle

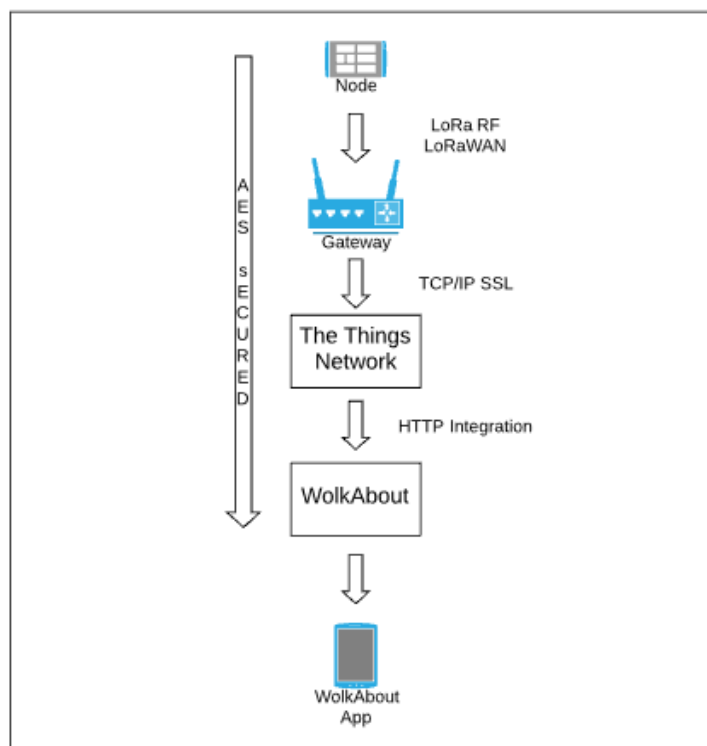
Suunnitelmassa oli vielä muutama asia selvittämättä, esimerkiksi datan varastointi ja sen tarkasteleminen ihmisystävällisessä muodossa. Alun perin tarkoituksena oli hyödyntää pelkästään Azure IoT Hub-pilvipalvelua sensoriarvojen tarkastelemiseen, mutta suunnitelmiin tuli muutos kuultuamme The Things Network-palvelusta. Palvelu mahdollistaa LoRaWAN-verkossa toimivien laitteiden rekiste-

röimisen ja käyttämisen ilmaiseksi. Huomasimme myös, että palvelu ei säilytä mitattuja arvoja, vaan ne välitetään erilaisten integraatioiden avulla johonkin toiseen palveluun.

Kokeilimme aluksi Amazonin tarjoamaa Amazon Web Services-pilvipalvelua tietojen integroimiseen, mutta palvelu osoittautui nopeasti epäkäytännölliseksi. Vaikka kyseinen palvelu tarjoaakin joitakin ominaisuuksia ilmaiseksi, oli maksulliset palvelut hinnoiteltu sekavasti ja välillä ei ollut oikein varma, että maksaako jonkin ominaisuuden käyttö vai ei. Myös alustaintegraation toimimisessa halutulla tavalla ilmeni ongelmia, eivätkä mitatut arvot välittyneet oikein TTN-palvelusta.

Todettuamme AWS-palvelun ongelmat, aloimme etsimään uutta pilvipalvelua, joka on mahdollista integroida TTN-palvelun kanssa. Jonkin aikaa etsittyämme löysimme WolkAbout-pilvipalvelun, joka sopi tarkoituksiimme erinomaisesti. Sen käyttäminen osoittautui erittäin yksinkertaiseksi ja integrointi TTN-palveluun onnistui heti ilman ongelmia. Testattuamme kyseistä palvelua yleisesti ottaen jonkin aikaa, aloimme pohtimaan tarkemmin, millä tavalla haluamme tarkastella sensoreiden mittaamia arvoja.

Lopulta päädyimme siihen lopputulokseen, että arvoja tulisi olla mahdollista tarkastella pidemmällä aikavälillä ja tehdä niistä jonkinlaisia koosteita tietojen analysointia varten. WolkAbout tarjoaa tätä varten raporttitoiminnon, jonka avulla on mahdollista luoda raportteja haluamaltaan aikaväliltä. Tietojen tarkastaminen reaaliajassa onnistuu myös helposti käyttämällä WolkAbout-älypuhelinsovellusta, joka päivittää tietoja sitä mukaa, kun niitä palveluun tulee. Käytännössä tietojen päivitystiheys on suurimmaksi osaksi kiinni LoRa-päätelaitteen ohjelmakoodiin kirjoitetusta lähetystiheydestä, eikä niinkään TTN- tai WolkAbout-palveluista.



Kuvio 10. Tiedon kulku päätelaitteelta käyttäjälle

Kuviossa 10 on esiteltyä, missä järjestyksessä sensoreilla mitattu tieto päätyy loppukäyttäjän tarkasteltavaksi. Laitteiston lisäksi on otettava myös huomioon, mihin sensoreilla mitatut arvot voidaan tallentaa. TTN-palvelu mahdollistaa kommunikoinnin LoRaWAN-verkossa siten, että päätelaitteelta reitittimelle lähetettyjen tietojen saapumista perille voidaan tarkastella reaaliajassa. Palvelu ei kuitenkaan tallenna tietoja ja tästä syystä siirsimme tiedot WolkAbout-palveluun HTTP-integraation avulla, joka mahdollistaa tietojen tallentamisen ja tarkastelun.

Edellä mainittujen seikkojen pohjalta aloimme miettimään, mitä peruskäyttäjän tulisi olla mahdollista tehdä hyödyntääkseen laitteistoa ja niillä mitattuja arvoja. Käyttäjätarinoiden kirjoittaminen toimi tässä tapauksessa hyödyllisenä apuvälineenä käytännön toteutuksen vaatimusten toteuttamiseksi.

Taulukko 3. Käyttäjätarinoita

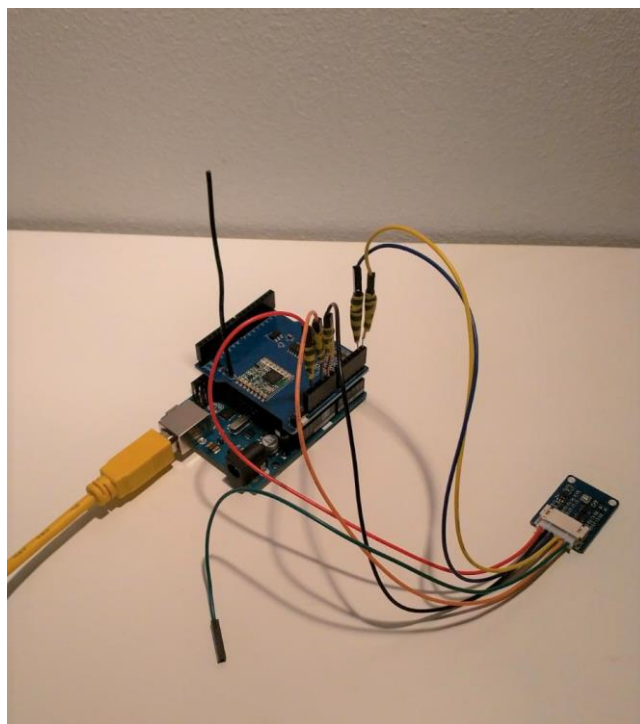
Sensoriarvojen tarkastaminen	Tietojen vastaanottamisen varmistus TTN-alustalla
Käyttäjänä haluan tarkastaa sensorin mittaamia arvoja etänä, koska sensori on sijoitettu mökille.	Käyttäjänä haluan tarkastaa, että sensoreilla kerätyn tiedon lähettäminen onnistuu TTN-alustalle, koska tiedot eivät päivity WolkAbout-sovelluksessa.
<ul style="list-style-type: none"> - Sensori tulee sijoittaa sellaiselle paikalle missä tieto on mahdollisimman tarkkaa. - Sensorin keräämää tietoa voidaan tarkastella WolkAbout kojelaudalta visuaalisesti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Käyttäjä kirjautuu The Things Network-palvelun ja avaa verkkokonsolin. - Käyttäjä valitsee oikean sovelluksen ja avaa sieltä halutun laitteen. - Vastaanotetut sensortiedot näkyvät rivissä koodin purkajan määrittelemässä muodossa.
Sensorin tiedon lähetystiheyden muuttaminen	Raportin luominen sensortiedosta
Käyttäjänä haluan vaihtaa sensorin tietojen lähetystiheyttä, koska en tarvitse tietoa niin usein tai harvoin.	Käyttäjänä haluan tarkastella sensorin keräämiä tietoja pidemmältä aikaväliltä, koska haluan nähdä tiedon vaihteluvälit.
<ul style="list-style-type: none"> - Käyttäjä avaa koodin Arduino IDE-ohjelmointiympäristössä. - Käyttäjä muuttaa lähetystiheyden arvoa koodissa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Raportteja on mahdollista luoda WolkAbout IoT alustan työpöytäversiolla. - Valmiita raportteja voi tarkastella WolkAbout IoT alustan mobiilisovelluksella.

Kuten käyttäjätarinoista voidaan havaita, on loppukäyttäjälle tarkoituksena luoda mahdollisimman yksinkertainen tapa tarkastella sensoreilla mitattuja arvoja ja koostaa niistä raportteja. Suunnitelman pohjalta on tarkoituksena luoda yksinkertainen, mutta toimiva ratkaisu. Suunnitelma ei ota huomioon kaikkia pidemmälle jalostettuja kehitysvaiheita kuten lähetystiheyden muuttamista helposti yhdellä napin painalluksella.

7 PROTOTYYPIN TOTEUTUS

Arduino Uno R3 toimi hyvin prototyypin luomisessa. LoRa Shieldin kytkeminen Arduinoon oli todella yksinkertaista, eikä se tuottanut ongelmia. Sensorin kytkeminen puolestaan vaati hieman enemmän tarkastelua, koska sen liittäminen on mahdollista hyödyntäen sekä I2C-, että SPI-protokollia.

Fyysisen laitteiston lisäksi oli tärkeä tietää, miten laitteistoa voidaan hyödyntää osana LoRaWAN-verkkoa The Things Network-palvelun kautta. Opinnäytetyön toteutusosassa käydään läpi aiemmin esiteltyjen teoretietojen pohjalta toteutettua LoRa-päätelaitteen prototyyppiä ja sen lisäämistä The Things Network-palveluun. TTN-palvelusta tiedot siirretään puolestaan HTTP-integraation avulla WolKAbout-alustalle, jossa tietoja voidaan tarkastella.



Kuvio 11. LoRa-päätelaite koottuna liitännäisineen

Kuviossa 11 päätelaite on valmiiksi koottuna ja valmiina lähettämään sensorien arvoja reitittimelle. Virransyöttö on toteutettu käyttämällä USB-kaapelia, jonka

toinen pää on kytketty tietokoneeseen ja toinen pää Arduinin USB-porttiin. Mikrokontrollerialusta lähtee päälle automaattisesti saatuaan virtaa, eikä mitään erillisiä painikkeita tarvitse painaa. Alustalle ladattava ohjelmakoodi huolehtii siitä, että sensorit toimivat oikein ja tiedot lähetetään eteenpäin. Ohjelmakoodin alkuun on määritelty myös The Things Network-palvelun vaatimat tunnistusavaimet päätelaitteen tunnistamiseksi.

```
void loop() {

    // luetaan arvot sensorilta
    float celsius = bme.getTemperature();
    float pressure = bme.getPressure() / 100.0F;
    float humidity = bme.getHumidity();

    // muutetaan float-arvot int-arvoiksi, jotta päästään eroon desimaalipilkusta
    int16_t temperature = (int16_t)(celsius * 100);
    int16_t barometer = (int16_t) pressure ;
    int16_t humidity = (int16_t)(humidity * 100);

    // tulostetaan mitatut arvot
    Serial.print("Lämpötila: ");
    Serial.println(temperature);
    Serial.print("ilmanpaine: ");
    Serial.println(barometer);
    Serial.print("kosteus: ");
    Serial.println(humidity);

    // muotoillaan lähetetyt arvot

    data[0] = (temperature >> 8) & 0xFF;
    data[1] = temperature & 0xFF;
    data[2] = (barometer >>8) & 0xFF;
    data[3] = barometer & 0xFF;
    data[4] = (humidity >> 8) & 0xFF;
    data[5] = humidity & 0xFF;

    // aloita lähetys
    do_send(&sendjob);

    //lmic kirjaston sisäinen radiotapahtumien käsittelijä
    os_runloop_once();
    delay(15000);
}
```

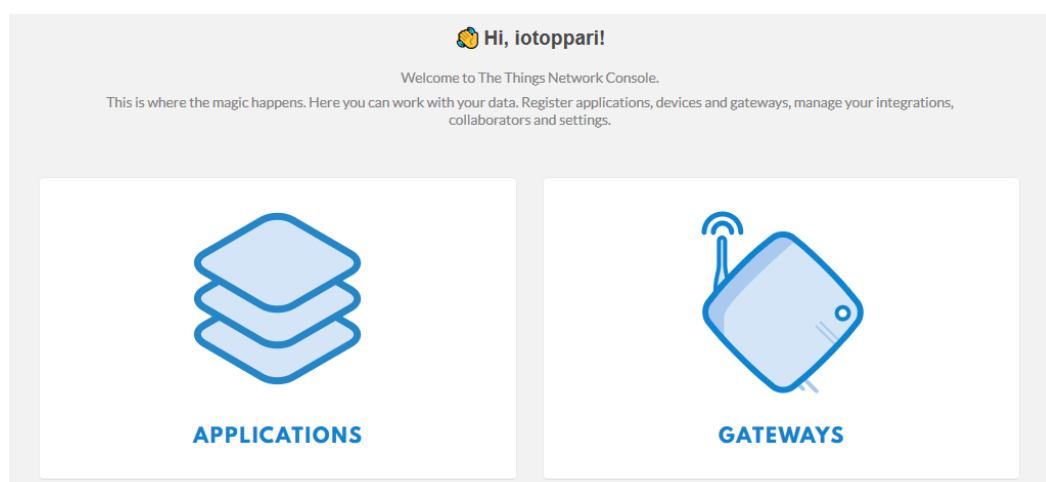
Kuvio 12. Lähetyksen valmistelu

Koodin perusrakenne (Kuvio 12) perustuu siihen, että void loop()-silmukassa haetaan ensin sensorin arvot getTemperature()-, getPressure()-, ja getHumidity()-funktioilla. Tämän jälkeen siistitään arvot ja näytetään ne Serial Monitorissa. Seuraavaksi valmistellaan arvot lähetystä varten varastoimalla ne tavuihin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kahden tavun kokoiset luvut jaetaan yksittäisiin tavuihin. Tämä tehdään siitä syystä, että The Things Network-palvelussa tietojen

edestakaiseen välitykseen on käytettävä tavuja, jotka pakattu mahdollisimman tiiviiksi. Tämän jälkeen siirrytään do_send-funktioon, jonka kautta varsinainen tietojen lähetys päätelaitteelta reitittimelle tapahtuu. (The Things Network 2019d)

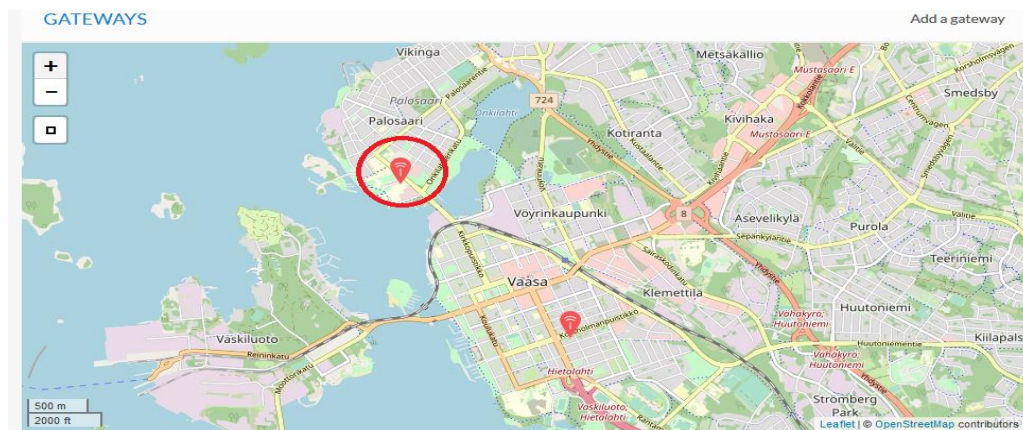
7.1 The Things Network-palvelun käyttöönotto

Päätelaitteen lisääminen TTN-palveluun onnistuu suhteellisen helposti noudattamalla sivustolta löytyviä ohjeita. Ennen laitteen lisäämistä, tulee käyttäjän rekisteröityä kyseiseen palveluun, joka onnistuu helposti heti etusivulta. Myös palveluun kirjautuminen onnistuu suoraan etusivulta, joten palvelun peruskäyttäminen ei tuota ylimääräisiä vaikeuksia. Sivusto tarjoaa myös teoreettista tietoa, mikäli jokin kohta tai asetus jää mietityttämään. (The Things Network 2019e)



Kuvio 13. Sovelluksen tai reitittimen lisääminen

Lisättäessä sovellusta (Applications) tai reititintä (Gateways) on aluksi valittava, kumpaa on lisäämässä (Kuvio 13). Sovellus lisätään ennen päätelaitteiden lisäämistä eli jokainen päätelaite kuuluu johonkin sovellukseen. Oman reitittimen lisääminen ei ole pakollista, mikäli aikoo käyttää jotain muuta julkisesti käytettävissä olevaa vastaanotinta. Tästä syystä lisäsimmekin vain päätelaitteen, koska käytimme julkista reititintä. (The Things Network 2019e)



Kuvio 14. Reitittimen sijainti kartalla punaisella ympyröitynä The Things Network-palvelussa

Reitittimenä projektissamme toimi Vaasan ammattikorkeakoulun käytössä oleva Lorank-8, joka sijaitsee Palosaaren kampusalueella Vaasassa (Kuvio 14). Käytössä oleva päätelaitteemme sijaitsee myös Palosaarella, joten kantama ei pääse missään vaiheessa liian pitkäksi. Yksinkertaisimmat reitittimet pystyvät vastaanottamaan tietoa ainoastaan yhdellä kanavalla samanaikaisesti. Lorank-8 puolestaan pystyy vastaanottamaan nimensä mukaisesti yhtä aikaa kahdeksan eri lähetystä kahdeksalla eri kanavalla, joten sen toimintakapasiteetti on korkea. (NEXTLINQ 2019)

Applications > Add Application

ADD APPLICATION

Application ID
The unique identifier of your application on the network

Description
A human readable description of your new app

Application EUI
An application EUI will be issued for The Things Network block for convenience, you can add your own in the application settings page.

Handler registration
Select the handler you want to register this application to

Cancel Add application

Kuvio 15. Sovelluksen tietojen täyttäminen

Sovelluksen tietoja täytettäessä lisätään ensin sovellukselle uniikki tunnus (Application ID). Tätä tietoa käytetään sovellusten tunnistamiseksi verkossa. Seuraavaksi lisätään selkokielen ja ihmisluettava sovelluksen kuvaus (Description). ”Application EUI”- kohtaan ei tarvitse laittaa mitään, koska TTN antaa automaattisesti arvon, joka on vaihdettavissa myöhemmin sovelluksen asetuksista. Viimeisessä kohdassa voi valita, mitä käsittelijää haluaa käyttää. Sen arvo on oletuksena ”ttn-handler-eu”, joka tarkoittaa, että jokainen LoRaWAN-paketti siirretään TTN-palvelun Euroopan-alueelle (Kuvio 15). Sovelluksia on mahdollista lisätä useita ja jokainen sovellus voi sisältää useita päätelaitteita. (The Things Network 2019f)

Applications > arduino_temnode > Devices

Overview Devices Payload Formats Integrations Data Settings

REGISTER DEVICE [bulk import devices](#)

Device ID
This is the unique identifier for the device in this app. The device ID will be immutable.

Device EUI
The device EUI is the unique identifier for this device on the network. You can change the EUI later.

0 bytes

App Key
The App Key will be used to secure the communication between you device and the network.

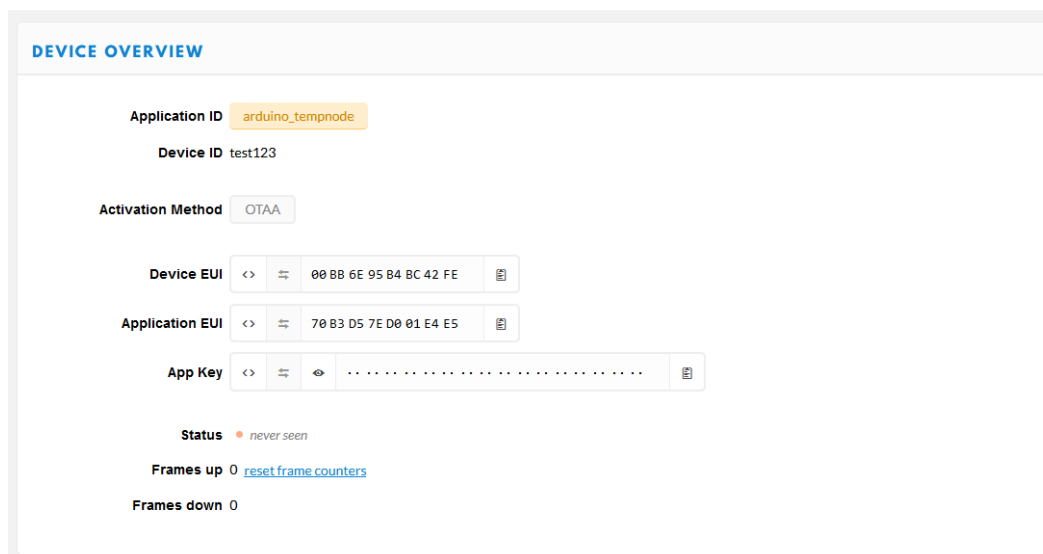
this field will be generated

App EUI

Cancel Register

Kuvio 16. Laitteen lisääminen

Lisättäessä uutta laitetta, määritetään sille ensin uniikki ja muuttumaton tunnus (Device ID). Seuraavaksi määritetään laitteelle tunniste, jota se käyttää verkossa (Device EUI). Tunnisteen tulee olla tarkalleen kahdeksan tavun kokoinen ja sen voi kirjoittaa joko itse, tai antaa TTN-palvelun generoida se automaattisesti. Tunniste on mahdollista vaihtaa jälkikäteen laitteen asetuksista. Sovellusavainta (App Key) käytetään turvaamaan kommunikointi laitteen ja verkon välillä. Avaimen tulee olla täsmälleen kuudentoista tavun kokoinen ja se on myös mahdollista kirjoittaa joko itse, tai generoida automaattisesti. Viimeisessä kohdassa (App EUI) on näkyvissä sovelluksen nimiavaruus, jota laite käyttää (Kuvio 16). (The Things Network 2019e)



Kuvio 17. Laitteen yleiskatsaus

Laitteen yleiskatsauksesta (Kuvio 17) voidaan tarkistaa yleisiä tietoja, jotka koskettavat valittua laitetta. Yleiskatsauksessa näkyvät aiemmin lisätyt sovelluksen ja laitteen yksilölliset tiedot ja niiden nimiavaruudet sekä sovellukselle määritelty sovellusavain. Aktivointimetodina (Activation Method) käytössä voi olla joko OTAA (Over The Air) tai ABP (Activation by Personalization). On suositeltavaa käyttää OTAA-metodia, koska se on turvallisempi, joustavampi ja skaalautuvampi, kuin ABP-metodi. Laitteen tila (status) määrittää, milloin laite on viimeksi ollut yhdistettynä TTN-palveluun. Mikäli laitetta ei ole yhdistetty vielä kertaakaan, lukee kentässä ”never seen”. Muussa tapauksessa siinä lukee aikaväli, jolloin laite on viimeksi ollut yhdistettynä palveluun (esimerkiksi viisi minuuttia tai kymmenen päivää). Vastaanotettujen (Frames up) ja lähetettyjen (Frames down) arvojen määrä on myös tarkasteltavissa yleiskatsauksen lopusta. (The Things Network 2019g)

DEVICE SETTINGS

General

Location

SETTINGS

Description
A human-readable description of the device

Device EUI
The serial number of your radio module, similar to a MAC address

00 D1 33 6F 4E 94 C3 FA 8 bytes

Application EUI

70 B3D57E D001 E4 E5

Activation Method

OTAA ABP

App Key
The key your device will use to set up sessions with the network

B0 5C D8 E2 13 5D B8 99 BF 39 F5 CD ED 90 77 77 16 bytes

Frame Counter Width

16 bit 32 bit

Frame Counter Checks
Disabling frame counter checks drastically reduces security and should only be used for development purposes

Kuvio 18. Laitteen asetukset

Laitteen asetuksista on mahdollista muuttaa laitteelle annettuja arvoja (Kuvio 18). Sieltä voi muuttaa laitteen kuvauksen, luoda uuden sarjanumeron, vaihtaa aktiivointimetodia ja asettaa sovellusavaimen. Asetuksista on myös mahdollista laittaa päälle tai poistaa vastaanotettujen viestien mukana tulleiden laskuritietojen tarkistus. Tarkistuksen ollessa päällä pilvipalvelualusta hylkää kaikki viestit, joissa on väärä laskuritieto toistohyökkäysten estämiseksi. Tämä asetus on hyvä olla päällä turvallisuussyistä, mutta kehitystyössä sitä ei välttämättä tarvitse pitää päällä. (The Things Network 2019e)

time	counter	port	dev id:	payload:	celcius:	humidity:	pressure:
▲ 21:33:48	15	1	node1	0A 35 03 F3 0F A0	26.13	40	1011
▲ 21:02:18	14	1	node1	0A 44 03 F3 0F 3C	26.28	39	1011
▲ 19:59:32	12	1	node1	0A 5F 03 F2 0F A0	26.55	40	1010
▲ 19:28:02	11	1	node1	0A 68 03 F2 0F A0	26.64	40	1010
▲ 18:56:31	10	1	node1	0A 6B 03 F3 0F 3C	26.67	39	1011
▲ 18:25:01	9	1	node1	0A 68 03 F3 0F 3C	26.64	39	1011
▲ 17:53:30	8	1	node1	0A 63 03 F3 0F A0	26.59	40	1011
▲ 17:22:00	7	1	node1	0A 58 03 F3 0F A0	26.48	40	1011
▲ 16:50:29	6	1	node1	0A 4E 03 F3 10 04	26.38	41	1011
▲ 16:18:59	5	1	node1	0A 3F 03 F3 10 04	26.23	41	1011
▲ 15:47:28	4	1	node1	0A 2E 03 F3 10 CC	26.06	43	1011
▲ 15:15:58	3	1	node1	0A 12 03 F3 11 30	25.78	44	1011
▲ 14:44:28	2	1	node1	0A 09 03 F3 10 68	25.69	42	1011
▲ 14:13:12	1	1	node1	0A 19 03 F3 10 CC	25.85	43	1011

Kuvio 19. Mitattuja arvoja TTN-palvelussa

The Things Network listaa kaikki vastaanotetut paketit saapumisjärjestyksessä (counter). Paketeista käy myös ilmi vastaanottoaika. Lähetykset ovat ajastettu ohjelmakoodissa noin puolen tunnin välein lähteviksi, mutta pieniä heittoja löytyy LoRa-verkon hitauden vuoksi. Kohdassa ”Port” (Kuvio 19) tunnistetaan päätelaitte, josta tieto tulee ja sen arvo voi olla 1-223. Arvo 0 on varattu MAC viesteille ja arvo 224 on varattu LoRaWAN:in MAC tason testiprotokollalle. Arvot 225-255 ovat varattu tulevaisuuden standardisoiduille sovelluslaajennuksille. Päätelaitteelle annettu nimi näkyy myös paketissa (dev id). Päätelaitteella lähetetty tieto (payload) vastaanotetaan heksadesimaalimuotoisena, joten se pitää muuntaa ihmisille luettavaan muotoon purkajalla (decoder). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että päätelaitteelta lähetetyt arvot kasataan takaisin yksittäisistä tavuista luvuiksi, joita on helpompi käsitellä. Muutettu tieto näkyy paketin oikeassa reunassa. (LoRa Alliance 2017, 24-25)

14:13:36 0 1 retry dev id: [arduino_node1](#) payload: 09 12 02 86 0A F0 humidity:28 pressure:646 temperature:23.22

Uplink

Payload

09 12 02 86 0A F0

Fields

```
{
  "humidity": 28,
  "pressure": 646,
  "temperature": 23.22
}
```

Metadata

```
{
  "time": "2019-10-08T11:13:36.757999608Z",
  "frequency": 868.1,
  "modulation": "LORA",
  "data_rate": "SF7BW125",
  "coding_rate": "4/5",
  "gateways": [
    {
      "gtw_id": "eui-b827ebffffd6be19",
      "timestamp": 743227890,
      "time": "",
      "channel": 0,
      "rssi": -24,
      "snr": 10,
      "latitude": 63.127354,
      "longitude": 21.578365,
      "location_source": "registry"
    }
  ]
}
```

Estimated Airtime

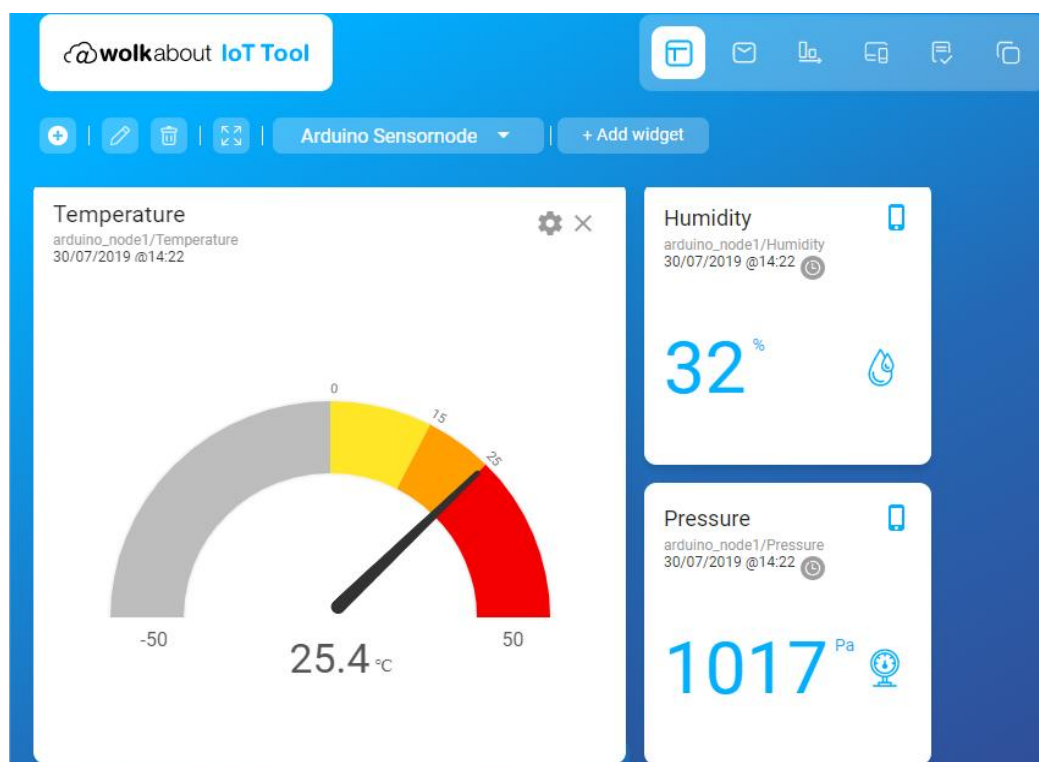
36.096 ms

Kuvio 20. Mitattujen arvojen tarkemmat tiedot

Pilvipalvelualusta vastaanottaa tietoa paketista, jota tarkastelemalla voimme heti ensimmäiseksi huomata, että tieto oli ylälinkki (uplink) eli päätelaitteelta reitittimelle tulevaa tietoa (Kuvio 20). Itse lähetetty sisältö (payload) on heksadesimaalimuodossa ja seuraavassa kohdassa (fields) se on muunnettu ihmiselle luettavaan muotoon. Vastaanotetussa paketissa on myös mukana metatietoa (metadata). Ensimmäiseksi ilmoitetaan tiedon vastaanottoaika, taajuus, käytetty modulaatiotekniikka, datanopeus konfiguraatio sekä koodausnopeus. Seuraavaksi on tietoja reitittimestä; reitittimen tunnus, aikaleimaukset, kanava, jossa paketti vastaanotettiin, signaalin vahvuus, signaalin ja kohinan suhde, leveys- sekä pituusaste ja paikannustietojen lähde. Lopuksi nähdään arvioitu aika siitä, kuinka kauan lähetys oli niin sanotusti ilmassa. (The Things Network 2019h)

7.2 WolkAbout kojelauta

WolkAboutin IoT-alustan kojelaudan (Kuvio 21) voi luoda itse sellaiseksi, kuin sen haluaa. Palvelussa voi valita erilaisista tiedon esittämismuodoista kuten esimerkiksi erilaiset kortit, karttatiedot, laitteen tilatiedot, mittarit ja kaaviot. Kojelaudalla voi myös luoda erilaisia raportteja vastaanotetusta tiedosta. Raportteja voi myös ladata Excel-tiedostoina, jolloin niistä löytyviä tietoja voi tarkastella vielä paremmin. (WolkAbout 2019)



Kuvio 21. WolkAbout kojelauta

Oman kojelautamme WolkAbout IoT -alustalle loimme kolmella eri osalla (Kuvio 21). Sensorimme mittaamista tiedoista jokaiselle arvolle luotiin oma näkymä. Lämpötilatiedot näkyvät mittarilla celsiusasteina, ilmankosteus prosenttilukuna sekä ilmanpaine pascaleina. Kojelaudallamme näkyvä tieto on reaaliajassa päivittyvää, mutta myös tietokantaan tallennettua tietoa voidaan visualisoida.

7.3 Toteutuksen hinta

Toteutuksen hinta koostui käytännössä pelkästään laitteistosta, koska TTN- ja WolkAbout-palvelut eivät maksaneet mitään, tosin jälkimmäinen on ilmainen vain tiettyyn rajaan asti prototyyppien suunnittelussa. Arduino IDE-ohjelmistoympäristö ja käytetyt ohjelmistokirjastot perustuvat vapaaseen lähdekoodin, joten nekkään eivät lisänneet kustannuksia. Laitteiston toteuttamiseen tarvitsimme kolme erilaista osaa, jotka yhdistettynä muodostivat LoRa-päätelaitteen. Opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa syksyllä 2019 käytetty laitteisto maksoi yhteensä 61,49€.

Taulukko 4. Laitteiston hinta

Nimi	Hinta	Linkki
Arduino Uno R3	29,90€ + Postikulut: 3,10€	https://www.partco.fi/en/arduino/arduino-models/15335-arduino-uno.html
Elecrow LoRa RFM95 Shield	21,69€ + Postikulut: 3,10€	https://www.partco.fi/en/telecom/internet-of-things/lora/19745-ard-ac95915s.html
BME280-Sensori	9,90€ + Postikulut: 8,90€	https://www.triopak.fi/fi/tuote/BME280
Yhteensä ilman postikuluja:	61,49€	
Yhteensä postikulujen kanssa:	76,59€	

Käyttämämme laitteiston yhteishinta on taulukossa näkyvillä osilla toimituskulujen kanssa 76,59 euroa. Esimerkiksi ruotsalainen yritys nimeltään Elsys valmistaa

valmiiksi koottuja LoRa-päätelaitteita, joista halvin laitteeseemme verrattavissa oleva tuote on heidän ERS-lite, joka sisältää lämpötila- sekä ilmankosteussensorin. ERS-lite maksaa 80 euroa ja arvonlisäveron (24€) ja halvimman toimituksen (20€) kanssa yhteensä 124 euroa, joten siihen verrattuna päätelaitteen kokoaminen erikseen Suomesta hankittavilla komponenteilla on toimituskulujen kanssa 38 % halvempaa. (Elsys 2019)

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Aikataulussa pysyimme suhteellisen hyvin, tosin käytännön toteutuksessa ilmeni joitakin viivytyksiä aiheuttavia seikkoja, jotka hidastivat työskentelyä. Näitä seikkoja olivat muun muassa laitteistoon kuuluvien osien tilaaminen ja postilähetysten saapumisen odottaminen. Hylättyämme Raspberry Pi-alustan käyttämisen projektissamme, jouduimme tilaamaan Arduinolle tarkoitetun lähetinvastaanottimen ja BME280-sensorin, joka aiheutti viivytystä.

Viivytystä aikatauluun aiheuttivat myös Arduinon Flash-muistiin ladattavan koodin kanssa ilmenneet ongelmat, jotka aiheuttivat toisinaan suurta hämmennystä. Koodissa ilmeni esimerkiksi sellainen ongelma, että se toimi välillä halutulla tavalla, mutta välillä ei, vaikkei koodia muutettu välissä millään tavalla. Tästä ongelmasta pääsimme kuitenkin eroon muuttamalla koodiin kuuluvia liitântäarvoja.

Jatkokehitysideana luomamme prototyypin pohjalta olisi suhteellisen helppoa kehittää pienempi, paristoilla toimiva päätelaite, jonka voisi esimerkiksi asentaa kesämökille mittaamaan sääolosuhteita. Tämä vaatisi pienemmän Arduino-mikrokontrollerin käyttöä, joita ovat esimerkiksi mallit Micro ja Nano. (Arduino 2019) Muita vaatimuksia puolestaan olisivat paristoliitântä ja kotelo, jotta päätelaitteesta saataisiin mahdollisimman kompakti ja helppo ylläpitää. LPWAN-verkon ominaisen virrankulutuksen vähäisyyden vuoksi paristoa ei tarvitsisi vaihtaa kovin usein, jonka ansioista päätelaitteen ylläpito olisi vaivatonta.

LÄHTEET

Amazon. 2019. What is AWS. Viitattu 18.10.2019. <https://aws.amazon.com/what-is-aws/>

Arduino. 2019. What Is Arduino? Viitattu 29.8.2019. <https://www.arduino.cc/>

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen Internet. Helsinki. Talentum.

Dignan, L. 2019. Top cloud providers 2019: AWS, Microsoft Azure, Google Cloud; IBM makes hybrid move; Salesforce dominates SaaS. Viitattu 22.10.2019. <https://www.zdnet.com/article/top-cloud-providers-2019-aws-microsoft-azure-google-cloud-ibm-makes-hybrid-move-salesforce-dominates-saas/>

Dragino Technology Co., LTD. 2019. LoRa GPS HAT for Raspberry Pi. Viitattu 30.10.2019. <https://www.dragino.com/products/lora/item/106-lora-gps-hat.html>

Elecrow Technology. 2018. Viitattu 13.9.2019. <https://www.elecrow.com/lora-rfm95-shield-915mhz.html>.

Elizalde, D. 2016. IoT Product Managers – A Guide to the IoT Technology Stack. Iotforall. Viitattu 18.6.2019. <https://www.iotforall.com/iot-product-managers-guide-iot-technology-stack/>

Elsys. 2019. Products. Viitattu 25.9.2019 <https://www.elsys.se/en/>

Fang, L. 2019. Grove_BME280. Github. Viitattu 3.9.2019. https://github.com/Seeed-Studio/Grove_BME280

HOPE Microelectronics CO. Low Power Long Range Transceiver Module. Viitattu 4.9.2019. https://www.elecrow.com/download/RFM95-98_2.4G.pdf

IBM. 2019. Defining IaaS, PaaS and SaaS. Viitattu 18.10.2019. <https://www.ibm.com/cloud/learn/iaas-paas-saas>

JSON. 2019. Introducing JSON. Viitattu 25.9.2019. <https://www.json.org/>

Kooijman, M. 2017. Arduino-Lmic. Github. Viitattu 3.9.2019 <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic/>

LoRa Alliance. 2017. LoRaWAN® Specification v1.1. Viitattu 3.8.2019. https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawanm_specification_v1.1.pdf

LoRa Alliance. 2019. What is the LoRaWAN® specification. Viitattu 5.8.2019. <https://loro-alliance.org/about-lorawan>.

Microsoft. 2019. What is Azure? Viitattu 25.10.2019. <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-azure/>

- Mitchell, B. 2019. What Is a Wide Area Network (WAN). Lifewire. Viitattu 24.9.2019. <https://www.lifewire.com/wide-area-network-816383>
- Mitchell, B. 2019. Wireless Local Area Networking Explained. Lifewire. Viitattu 24.9.2019. <https://www.lifewire.com/wlan-816565>
- Mozilla. An overview of HTTP. Viitattu 28.08.2019. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview>
- NEXTLINQ. 2019. Lorank 8. Viitattu 25.9.2019. <https://nextlinq.com/product/lorank-8/>
- Purdum, J. 2012. Beginning C for Arduino. Apress.
- Raspberry Pi Foundation. What is a Raspberry Pi? Viitattu 25.9.2019. <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>
- Rouse, M. 2019. What is internet of things (IoT). IoT Agenda. Viitattu 24.9.2019. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Statista 2019. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions). Viitattu 18.6.2019. <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>
- Semtech Corporation. 2015. LoRa™ Modulation Basics. Viitattu 6.8.2019. <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>
- Semtech Corporation. 2019. LoRa® Transceivers. Viitattu. 15.8.2019. <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers>
- Technical Marketing Workgroup. 2015. A technical overview of LoRa® and LoRaWAN®. Viitattu 5.8.2019. <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>.
- Techopedia. Software Library. Viitattu 2.9.2019 <https://www.techopedia.com/definition/3828/software-library>
- The Things Network. 2019a. Frequency Plans. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html>
- The Things Network. 2019b. Devices. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/>
- The Things Network. 2019c. Integrations. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/integrations.html>
- The Things Network. 2019d. Working with Bytes. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/bytes.html>

The Things Network. 2019e. Device Registration. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/registration.html>

The Things Network. 2019f. Add an Application. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/add.html>

The Things Network. 2019g. Best practices for device development. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/bestpractices.html>

The Things Network. 2019h. Network Architecture. Viitattu 14.8.2019. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/architecture.html>

Teske, C. 2019. What is LAN. 2019. Lifewire. Viitattu 24.9.2019. <https://www.lifewire.com/what-is-lan-4684071>

Vishwas & arvindpdmn. 2018. LoRa. Devopedia. Viitattu 7.8.2019. <https://devopedia.org/lora>

Waveshare. 2018. BME280 Environmental Sensor User Manual. Viitattu 30.8.2019. https://www.waveshare.com/w/upload/7/75/BME280_Environmental_Sensor_User_Manual_EN.pdf

WolkAbout. 2019. Viitattu 26.8.2019. <https://wolkabout.com/>