

## Vapo Oy:n mittalaitteen modifiointi LoRa-Verkkoon

Marko Heimonen

Opinnäytetyö

Marraskuu 2020

Tietojenkäsittely ja tietoliikenne

Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

Tekijä(t) Heimonen, Marko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2020
	Sivumäärä	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi VAPO OY:n mittalaitteen modifiointi LoRa-verkkoon		
Tutkinto-ohjelma Tieto- ja viestintätekniikka		
Työn ohjaaja(t) Jari Hautamäki ja Matti Mieskolainen		
Toimeksiantaja(t) eÄlytelli, Olli Väänänen		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa lämpötilaa mittaava laite, jota hyödynnetään eÄlytelli-hankkeessa. Pääajatuksena työssä on automatisoida aiemmin manuaalisesti tehty mittaustyö ja samalla suurentaa datamäärää mittaustiheyttä kasvattamalla.</p> <p>Mittalaitteen oli pystyttävä mittaamaan ja lähettämään lämpötila-arvo sekä akun varauksen tila tunnin välein verkkoon. Laite käytti alustana LoRa-verkkoa.</p> <p>Työssä suunniteltiin ja hankittiin tarvittavat komponentit sekä käytiin läpi niiden sijoittaminen jo olemassa olevaan mittalaitteen metallirunkoon. Tämän lisäksi suunniteltiin ohjelmisto ja testattiin se toimivaksi laitteella. Tietoverkon, Arduinon sekä ohjelmiston yhteensovittamiseksi hankittiin laaja teoriapohja ja myös käytännön osaaminen luoda toimiva mittalaite.</p> <p>Lopputuloksena kehitettiin toimiva mittalaite sekä osoitettiin LoRa-verkon olevan kustannustehokas vaihtoehto sovelluksiin, joissa tunnin välein tapahtuva arvojen päivittäminen on riittävää.</p>		
Avainsanat (asiasanat)  LoRa, IoT, LoRaWAN, Arduino, langaton tiedonsiirto,		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Heimonen, Marko	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages	Permission for web publication: X
Title of publication Modification of VAPO Oys measurement device to LoRa network Possible subtitle		
Degree programme Information and communication technology		
Supervisor(s) Jari Hautamäki, Matti Mieskolainen		
Assigned by eÄlytelli, Olli Väänänen		
Abstract  <p>The aim of the thesis was to design and build a temperature measuring device, which will be utilized in the eÄlytelli project. The main idea of the work is to automate previously manual measurement work and at the same time increase the amount of data gathered by increasing the measurement density.</p> <p>The measuring device had to be able to measure and send the temperature value as well as the battery charging status every hour. The device uses the LoRa network as a platform.</p> <p>The necessary components were designed and bought in the work, and their placement in the already existing metal frame of the measuring device was reviewed. In addition, the software was designed and tested to work with the device. In order to coordinate the data network, Arduino and the software, an extensive theoretical basis and also practical know-how to create a functional measuring device were acquired.</p> <p>As a result, a functional measuring device was developed and the LoRa network was shown to be a cost-effective alternative for applications where hourly updating of values is sufficient.</p>		
LoRa, IoT, LoRaWAN, Arduino, wireless data transmission		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Aiemmat tutkimukset.....	4
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenetelmä.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Teoriaa .....</b>	<b>6</b>
3.1	Turve.....	6
3.1.1	Turpeen ominaisuudet .....	6
3.1.2	Turpeen kuumentuminen .....	7
3.1.3	Aineen muutos .....	8
3.1.4	Itsekuumentumisen ehkäisy .....	8
3.1.5	Aurtojen lämpötilan määrittäminen tällä hetkellä .....	9
3.2	LoRa .....	10
3.3	LPWAN.....	11
3.4	LoRaWAN.....	12
3.4.1	Laiteluokat .....	13
3.4.2	Verkko.....	15
3.5	Signaaliarvot .....	17
3.6	Digita.....	18
3.7	Laitteisto .....	19
3.7.1	Työn perusta .....	19
3.7.2	Muutokset .....	20
3.7.3	Kotelo.....	21
3.7.4	Akku .....	22
3.7.5	Akunkesto .....	23
<b>4</b>	<b>Toteutus.....</b>	<b>26</b>
4.1	Thingpark.....	26
4.1.1	Application server.....	26
4.1.2	AS reititysprofili .....	27
4.1.3	Laitteen lisääminen .....	27
4.2	Arduino .....	28

	2
4.2.1 testausohjelma .....	28
4.3 Thingsboard .....	29
4.3.1 Yhteyden testaaminen.....	30
4.4 Ohjelmakoodi .....	31
<b>5 Kustannustarkastelu .....</b>	<b>32</b>
<b>6 Vaihtoehtoinen toteutustapa.....</b>	<b>34</b>
<b>7 Johtopäätökset .....</b>	<b>36</b>
<b>8 Pohdinta.....</b>	<b>37</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>39</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>41</b>
Liite 1. Arduinoon ladattu koodi .....	41
<b>Kuviot</b>	
Kuvio 1. Katsotuimmat elokuvat Suomessa vuonna 2014 (Mahdollinen lähde tähän).....	17
Kuvio 2. Monimuoto-opiskelijoiden ohjeet .....	16
<b>Taulukot</b>	
<b>No table of figures entries found.</b>	
Taulukko 1. Myynti euroina viikoittain vuonna 2014 .....	7
Taulukko 2. Jyväskyläläisten asiointi kirjastossa ikäryhmittäin .....	11

**Sanasto**

LoRa

LPWAN

LoRaWAN

AppEUI

AppKey

DevEUI

DevAddr

GPS

IoT

NB-IoT

OTAA

4G

5G

WAN

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on muokata Vapo Oy:n lämpötilaa mittaavaa mittalaitetta niin, että työntekijän manuaalisten mittauksien sijaan data saataisiin jatkuvalla syötöllä automaattisesti Digitan LoRa-verkon kautta pilveen. Pilvessä arvoja visualisoidaan eri tavoilla niin, että valvomossa olisi selkeämpi tilannekuva turvekasojen lämpötiloista. Tämä vähentää pitkällä tähtäimellä ihmisen suorittamaa toisteista työtä mittauksessa, vähentää paperinkulutusta sekä antaa mahdollisuuden mittauksen tarkkuuden huomattavaan parannukseen. Dataa voi saada nykyistä paljon enemmän pelkästään muuttamalla valvomosta laitteen parametreja. Aiemmin tämä olisi vaatinut työntekijöiden mittauskierrosten lisäämistä.

## 1.1 Aiemmat tutkimukset

LoRa, LoRAWAN ja LPWAN ovat olleet jo usean opinnäytetyön aiheina monessa eri muodossa. Aiheet ovat olleet esillä aina kyseenomaisten protokollien olemassaolon alusta saakka, mutta viimeisten muutaman vuoden aikana asiaan liittyvien töiden ja kehittämistutkimusten määrä on selvästi lisääntynyt. Tämä kertoo vähän virtaa käytävien sovellusten tarpeesta yrityksissä, kun usein juuri LoRan ja LoRaWAN:n käyttäminen tuo sekä mahdollisuuden tiedonkeruuseen vaikeista olosuhteista sekä on myös monessa tapauksessa olemassaolevia toteutuksia halvempi ratkaisu.

Tätä opinnäytetyötä ennen perehdyttiin erityisesti Kimmo Lepoahon opinnäytetyöhön, jossa tutkittiin yleisesti LoRa:n soveltuvuutta IoT-hankkeisiin (Lepoaho 2018). Näkökulmana oli selvittää tarkemmin, että onko LoRa radiotekniikkana kustannustehokas ratkaisu toimeksiantajayrityksen tarpeisiin. Työssä päädyttiin siihen, että LoRalla on paljon kustannustehokkaita käyttökohteita logistiikan toimintaketjuissa kuten varastonhallinnassa, arvolastien seurannassa ja esimerkiksi jätehuollossa.

Tämän lisäksi pohjatutkimusta tehtiin käymällä läpi Timo Riekon kehittämistutkimus, jonka aiheena oli ”Kosteuden ja lämpötilan mittauslaitteen suunnittelu ja toteutus” (Riekko 2020). Kyseinen työ toteutettiin samassa eÄlytelli-projektissa eri toimeksiantolle. Riekko suunnitteli ja toteutti laitteen, jonka tarkoitus oli mitata jätekasojen lämpötila- ja kosteusarvoja ja lähettää kerätty data LoRa-verkon yli pilveen. Myös hänen tutkimuksessaan LoRa osoittautui hyvin käyttökelpoiseksi tekniikaksi päivittää aiemmin mekaanista työtä vaatinut mittausprosessi automaattiseksi.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään muokkaamaan verkkoon spesifi mittalaite, jota ei tiettävästi ole vielä aiemmin tehty. Tekninen toteutus on kuitenkin lähellä sitä, mitä käsitellään aiemmin mainituissa opinnäytetöissä. Uutta kehittämistutkimusta tehdään IoT-alustassa, mittalaitteen muokkaamisessa ja mikropiirin koteloinnissa.

## 2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyö on luonteeltaan kehittämistutkimus. Siinä lähtökohtana on jokin ongelma ja kehittämistutkimuksessa tätä ongelmaa lähdetään teorian kautta selvittämään sekä ratkaisemaan. Kehittämistutkimus pohjautuu esimerkiksi muokattavan laitteen kohdalla sen käyttökohteisiin ja –tarpeisiin. Tutkimusta ja kehitystä tehdään tällöin sovelluksen vaatimissa ympäristöissä (Pernaa 2013). Teoriaa ja työssä ilmenneitä asioita voi hyödyntää jatkossa muihin projekteihin.

Ennen opinnäytetyön aloittamista on tiedossa tavoite, johon pyritään eli luomaan mahdollisimman hyvä ja kustannustehokas mittalaite. Opinnäytetyössä pyritään aluksi teorian sekä sen jälkeen käytännön tasolla kehittämään laitetta sekä raportoimaan edistyminen työn ohjaajille. Tiedossa on myös se, että muokattavia laitteita on tilaajalla paljon, joten kustannus/hyöty -laskelmat ovat koko ajan vahvasti

läsnä. Tarkoituksena on muokata laitetta mahdollisimman vähän ja luoda samalla käyttökelpoinen ratkaisu kaikkien laitteiden tekniseen päivittämiseen.

Työssä käydään teoria läpi , toteutetaan perustason muutos tutkittavaan laitteeseen ja dokumentoidaan työvaiheet. Teoriaosuus pitää sisällään turpeen ominaisuudet, LoRa-verkon, akun, kytkennän ja Arduinon ohjelmiston sekä laitetason kannalta. Tämän jälkeen mittalaite testataan toimivaksi ja toimitetaan tilaajalle käyttöön. Jatkokehitysvaiheet listataan myös ja niissä visioidaan mahdollisia parannuksia/kehityskohteita mittalaitteen tulevaisuuden käyttöä varten.

## 3 Teoriaa

### 3.1 Turve

#### 3.1.1 Turpeen ominaisuudet

Turve on nuorimpia kiinteitä orgaanisia luonnonvaroja. Sen rakenne sekä käyttäytyminen säilöittäessä riippuu siitä, millaisia kasvilajeja siinä on ja mikä on kyseisten lajien kestävyys. Myös maatumisolosuhteet vaikuttavat suuresti. Turve kuumenee aumoissa samaan tyyliin, kuin muukin biopohjainen aines. Turpeen kohdalla kuumeneminen voi olla niin voimakasta, että tämä johtaa aineksen lämpösisällön alenemiseen (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen. 1997).

Turvetta tuottavalle taholle kuumeneminen tai turvepalo voivat aiheuttaa suuria tappioita, koska alentuneen lämpösisällön aines ei ole usein enää myyntikelpoista (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen. 1997). Lisäksi palon tukahduttaminen, hukkaan menevän turpeen kuljettaminen sekä muu asiaan liittyvä aiheuttavat kustannuksia. Palojen ehkäisy on myös kuluerä, mutta paljon pienempi, kuin raaka-aineen tuhoutumisen aiheuttama kustannus. Näin ollen kuumenemisen sekä palojen ehkäisyyn kannattaa panostaa.

### 3.1.2 Turpeen kuumeneminen

Orgaaniset aineet käyttäytyvät eri tavoin ja siksi esimerkiksi aineen lämpenemiselle voidaan esittää erilaisia teorioita. Turpeen kuumeneminen on pitkään selitetty sillä, että aumojen sisällä turpeessa vaikuttaa erilaisia mikrobeja sekä homesieniä, joiden kehittyminen tuottaa lämpöä ja johtaa siten koko turveauman kuumenemiseen (Lappi 1983).

Aumoista pitäisi haihtua lämpöä tarpeeksi paljon, jotta kuumenemisprosessi ei olisi vaarallinen. Yksi oleellinen tekijä on turpeen lämmönjohtokyky, joka on kuivemmalla turpeella pienempi, kuin kosteammalla. Toinen tärkeä asia on turveaumojen muodostumisen kesto; turveauman lämmönjohto heikkenee samassa suhteessa, kun auman kasaamista nopeutetaan. Turveauma pitäisi siis tehdä sopivalla nopeudella, jotta auma pystyy välittämään tarpeeksi lämpöä ilmaan (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Turpeen on havaittu kuumenevan neljässä vaiheessa. Prosessi alkaa mikrobien itämisestä ja siinä vaiheessa aumat ovat noin puolitoista tai kaksi metriä korkeita. Turpeessa on tässä vaiheessa vähäinen määrä mikrobeja ja siten myös niiden aiheuttama lämpö on vähäistä. Aumasta haihtuu ensimmäisessä vaiheessa enemmän lämpöä, kuin mikrobit tuottavat ja tätä vaihetta kestää auman muodostuksen jälkeen kolmesta viikosta kuukauteen. Lämpötila on ensimmäisessä vaiheessa yleensä sama, kuin ulkoilman (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Seuraava vaihe alkaa, kun turveauman korkeus ylittää alkuperäisen korkeuden ja samalla lämpötila alkaa kohota. Mikrobien määrä tässä vaiheessa on lisääntynyt selvästi ja mikrobit myös muodostavat lämpöä enemmän, kuin aumasta haihtuu ilmaan. Normaalisti tässä vaiheessa lämpötila nousee noin puolesta asteesta muutamaan asteeseen päivässä. Aineen sisältö vaikuttaa siihen, kuinka kauan toinen vaihe kestää. Yleensä kesto on kahdesta viikosta kuukauteen ja vaiheen loppupuolella lämpötila saattaa olla jopa 80 astetta. Toisen vaiheen alusta lukien voidaan päivittäisistä lämpötilan muutoksista päätellä, kuinka korkealle lämpötila lopulta aumoissa nousee (Lappi 1983).

Kolmas vaihe on turpeen varastoinnin kannalta kaikkein tärkein ja kriittisin. Sen kesto on neljästä kuukaudesta yli kuuteen kuukauteen ja tällä ajanjaksolla auman lämpötila saattaa nousta lähelle sataa astetta. Turpeen lämpötiloissa tapahtuu jonkin verran muutoksia, mutta 60 asteen ylittyessä pidempiaikaisesti, pidetään raaka-aineen lämpöarvoa heikentyneenä (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997)..

### 3.1.3 Aineen muutos

Turveaumassa lämpötila ei ole tasainen jokaisessa kohdassa, vaan se vaihtelee jonkin verran. Kesäisin lämpötilan korkeimmat arvot mitataan puolen metrin ja metrin syvyydessä ja talvella 80 sentin ja 1.8 metrin syvyydestä auman pinnalta lukien (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Kun turpeen lämpötila ylittää 60 astetta, alkaa kuivatislautumisprosessi. Tämän johdosta turpeesta muodostuu puolikoksia eli ainetta, joka sisältää 5-10 prosenttia vettä ja on rakenteeltaan haurasta. Puolikoksin ympärille muodostuu aumassa homehtunutta turvetta sekä sienirihmastoja. Mikäli turveauman lämpötila on ollut jossain vaiheessa varastointia yli 70 astetta, niin puolikoksin sekä muun käyttökelvottoman materiaalin muodostuminen voi aiheuttaa hävikkiä jopa 10 prosenttia koko auman massasta (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

### 3.1.4 Itsekuumenemisen ehkäisy

Turpeen lämmönjohtokyky on sitä parempi, mitä tiiviimmäksi auma tehdään. Aurinгон säteily kuumentaa aumoja kesällä, mikä osaltaan lisää turpeen itsekuumenemistä. Yksi merkittävä tekijä aumojen kuumenemisessä on myös se, kuinka korkeita ne ovat. Korkeissa eli massaltaan suuremmissa aumoissa bakteerien määrä on suurempi, millä on suora vaikutus kuumenemiseen (Lappi 1983).

Yleensä heinäkuussa turveaumoihin tehdään noin 0.3 – 0.5 metrisiä kosteita kerroksia. Kosteat kerrokset tiivistetään tämän jälkeen, mikä hidastaa turpeen kuumenemistä ja siten ehkäisee lämmön nousua seuraavan kuukauden ajan (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Joulukuun toimituksiin menevät turveaumat jäädytetään, jotta aineen koksautumista ei pääse tapahtumaan. Jäähdytys tapahtuu siirtämällä aumoja toiseen paikkaan aumauskoneilla. Siirron jälkeen 15-20 päivän päästä auma siirretään takaisin. Tämän jälkeen aumojen lämpötila on pudonnut noin 10-15 astetta (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Mikäli aumat menevät toimitukseen vasta myöhemmin, tulee ne peittää kuumenemisen ehkäisemiseksi. Peittäminen tapahtuu kasaamalla aumojen päälle märkä turvekerros ja siten estämällä hapen pääsy kosketuksiin kuumenevan turpeen kanssa. Kuumeneminen hidastuu, kun happea on vähemmän (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

### 3.1.5 Aumojen lämpötilan määrittäminen tällä hetkellä

Turveaumojen lämpötilojen seuraaminen tulisi aloittaa jo silloin, kun aumat ovat noin 2.5-3 metriä korkeita. Tässä vaiheessa tuottaja voi vielä ennustaa lämpötilojen kehityksen ja ryhtyä tarvittaviin toimiin ajoissa. Mittauksia on arvioiden laatimiseksi tehtävä ainakin kaksi kertaa kuukaudessa (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Katetuista turveaumoista ei tarvitse mitata lämpötiloja, koska prosessi on historiallisesti ollut hallitumpi. Ulkoaumojen lämpötilan mittaamiseen on puolestaan käytetty montaa erilaista menetelmää. Yksi on kontaktimittarit, jotka pitää upottaa tarpeeksi syväälle aumaan. Tämä on kuitenkin aikaa vievä prosessi, kun mittauksia varten pitää siirtyä haluttuihin paikkoihin ja manuaalisesti upottaa mittari oikeaan paikkaan (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997).

Lämpötilan mittauksia on suoritettu myös lämpökameroin (Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen 1997). Tämä on nykyisin mahdollista suorittaa suhteellisen tarkasti esimerkiksi kauko-ohjattavien lennokkien avulla. Aiemmin mittauksia on tehty myös lentokoneista käsin, mutta tämä on melko kallis menetelmä.



Kuvio 1 Siikajoen turvepalo kesällä 2020 (Kaleva 2021)

### 3.2 LoRa

LoRa:lla eli Long Rangella viitataan yleisesti IoT:n yhteen yleisimmistä fyysisen kerroksen tiedonsiirtomenetelmistä. Yhdysvalloissa Semtech Corporationin kehittämä hajaspektrimodulaatiotekniikka LoRa käsittää fyysisen kerroksen ylempien kerrosten protokollille, kuten muun muassa LoRaWAN:ille.

LoRa määrittää siis modulaation eli linjakoodauksen. Linjakoodaus tarkoittaa prosessia, jossa vaihdetaan signaalin amplitudia sekä taajuutta yhdistämällä se toiseen signaaliin. Pääperiaate kyseisellä tekniikalla on se, että radiosignaalin kaistanleveyttä saadaan kasvatettua sekä vähennettyä muiden energianlähteiden haitallista vaikutusta tiedonsiirtoon (Modulation. N.a.).

LoRa on protokollana suunniteltu nimenomaan vähän virtaa käyttäville laitteille. Tämä on ollut lähtökohta suunniteltaessa tekniikkaa, jolla LoRa-laitteet muuntavat dataa radiosignaaleiksi. Kehityksen aikana on myös tiedostettu päätelaitteiden sijaitsevan paikoin hankalissa olosuhteissa radiotien näkökulmasta, joten juuri tätä varten on kehitetty hajaspektrimodulaatiota. Sen on todettu olevan erittäin

sietokykyinen ulkoisille häiriöille, joten sen käyttökelpoisuus vähävirtaisiin ja syrjäisissä paikoissa sijaitseviin laitteisiin on erittäin korkea(What is LoRa? N.a).

Verrattuna esimerkiksi FSK-modulaatioon, LoRa sallii tehokkaamman demodulaation eli linjakoodauksen purkamisen. Lisäksi kantama on paljon esimerkiksi Wifiä tai Bluetoothia suurempi, ollen asutuilla alueilla muutaman kilometrin ja haja-asutusalueella 10-15 kilometriä. LoRa-protokollalla siirretyn tiedon suurin mitattu etäisyys on ideaaliolosuhteissa ollut jopa yli 700 kilometriä(What is LoRa? N.a).

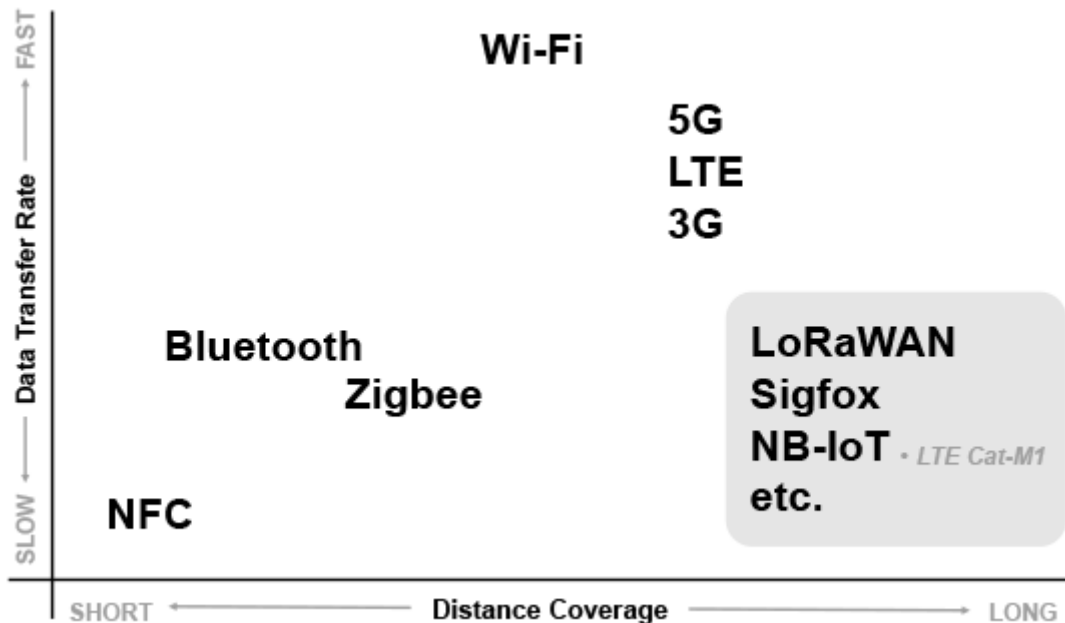
LoRa käyttää alueittain lisensittömiä taajuuksia. Euroopassa taajuus on 868 MHz, Australiassa sekä Pohjois-Amerikassa 915 MHz ja Aasiassa 923 MHz. Pieni taajuus mahdollistaa suuremman kantaman ja pienemmän virrankulutuksen, joten todella monet muutoin vaikeasti suuritaajuisen verkon kautta tavoitettavat akulliset laitteet hyötyvät tästä paljon(What is LoRa? N.a).

### 3.3 LPWAN

LPWAN eli Low Power Wide Area Network tarkoittaa erityisesti pitkään kantamaan suunniteltua IoT-verkkoa. Pitkän kantaman lisäksi verkon ominaisuuksiin kuuluu alhainen bitrate, joka taas mahdollistaa päätelaitteiden sijoittamisen syrjäisempiin paikkoihin virrankulutuksen ollessa pieni (A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. 2019).

LPWAN:lla voidaan tarkoittaa joko yksityistä langatonta verkkoa tai kolmansien osapuolien palvelua ja infraa. Termi on vain yläkäsite tiettyyn tarkoitukseen suunnitellulle verkolle, jonka voi toteuttaa monella tavalla. Tekniikan kehittäjiin on tullut jatkuvasti uusia toimijoita ja siten myös protokollajoukko on kasvanut. Mikään yksittäinen protokolla ei hallitse koko LPWAN-kenttää, vaan käyttötarkoitus ratkaisee, mitä protokollaa kulloinkin on järkevä käyttää (LPWAN Overview. 2018).

LPWAN-protokollia on useita ja ne ovat kilpailuasemassa keskenään. Esimerkiksi korkeamman datavirran LTE-M, yksinkertaisemman tekniikan ja edullisempien komponenttien NB-IoT ja LoRa ovat kaikki omia protokollia, joita kehittäjät pyrkivät muodostamaan alan standardiksi LPWAN-kentällä. Seuraavassa kuviossa yleisimpien tiedonsiirtoprotokollien ominaisuuksia.



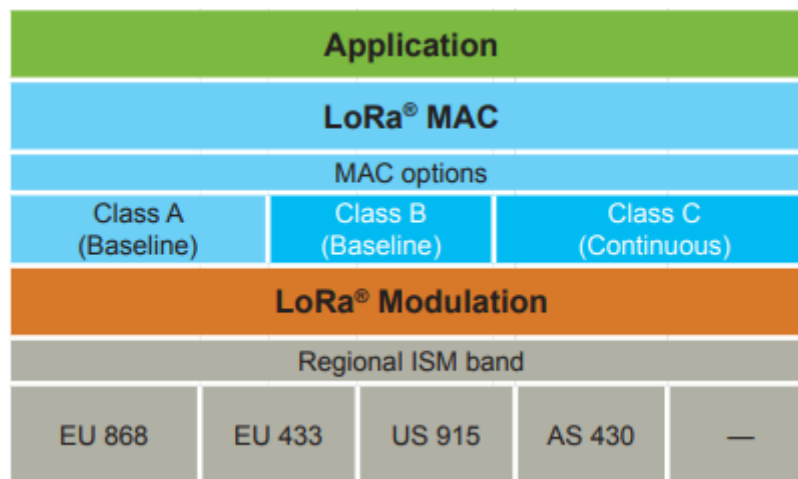
Kuvio 2: Yleisimpien tiedonsiirtoprotokollien ominaisuuksia. (What is LPWA? N.a.)

### 3.4 LoRaWAN

LoRaWAN on OSI-mallin toisen ja kolmannen kerroksen protokolla, joka määrittää kommunikoinnin sekä koko tietoverkon arkkitehtuurin. Lisäksi tiedonsiirtonopeudet, lähetyksen sekä vastaanottamisen aikaikkunat ja kehyksen otsakkeet ovat kaikki määriteltä LoRaWAN:ssa (What is LoRaWAN? 2015).

LoRaWAN-otsakkeessa määritellään muun muassa taajuus, modulaatio, laiteluokka, MAC-osoite sekä sovellus. Nämä kaikki ovat olennaisia tietoja ottaen huomioon protokollan luonteen. Esimerkiksi MAC-osoite eli toiselta nimeltään DevEUI on 64-bittinen, jokaisen laitteen yksilöivä osoite. LoRa-allianssi jakaa laiteosoitteita eri

toimijoille ja yksi suurimmista toimijoista, The Things Network, saa tällä hetkellä 7 bitin etuliitteisiä osoitteita. Nämä jaetaan TTN:ssä eri alueille maantieteen mukaan ja maantieteellisten alueiden sisällä, kuten euroopassa, verkkopalvelimet ovat vastuussa allokoidujen osoitteiden jakamisesta itse päätelaitteille. DevEUI-osoitteen liittäminen tapahtuu, kun päätelaite liittyy verkkoon. Tässä yhteydessä LoRa-verkkoon liittyvä laite omaksuu palvelimen ilmoittaman osoitteen (Addressing and Activation. N.a.)



Kuvio 3 LoRaWAN-protokollapino (Lora developer portal. N.a.)

### 3.4.1 Laiteluokat

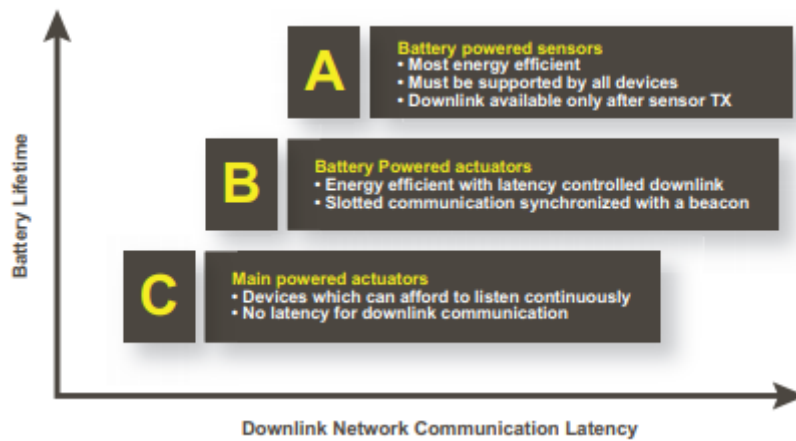
LoRaWAN määrittää kolme erilaista laitetyyppiä. Jokaisen päätelaitteen on oltava joko A-, B- tai C-luokkaa, jotka kukin toimivat hieman eri tavalla verkossa. Luokat määräytyvät pääpiirteittäin sen mukaan, kuinka paljon halutaan luottaa itse sovellukseen ja kuinka paljon kontrolloida laitetta verkosta käsin.

Luokan A laitteet kuluttavat vähiten virtaa ja tukevat rajoitetusti kaksisuuntaista kommunikointia yhdyskäytävän kanssa. Itse laite voi milloin tahansa lähettää viestin yhdyskäytävälle, mutta kuuntelee viestejä vain lyhyen hetken oman tiedonsiirtonsa jälkeen. Kun data on lähetetty verkkoon, seuraa kaksi lyhyttä ikkunaa, jossa laite kuuntelee vastausta yhdyskäytävältä. Kuunteluikkunoiden on määritelty olevan 1 ja 2 sekuntia peräjälkeen. Näiden ikkunoiden aikana laite voi siis sovelluksesta riippuen

vastaanottaa mitä tahansa viestejä verkosta. Esimerkiksi päivitykset tai sovellusta muuttavat parametrit on puskuroitava yhdyskäytävälle odottamaan päätelaitteen yhteydenottoa (What is LoRaWAN? 2015).

B-luokan laitteet toimivat muuten samoin, mutta lähetyksen jälkeisten vastaanottoikkunoiden lisäksi ne saavat yhdyskäytävältä aikasynkronoidun vastaanottoajan. Laitteella ja yhdyskäytävällä on siis sovittu hetki, jolloin dataa voidaan lähettää alavirtaan eli laitteelle päin. Tämä pienentää tietyissä sovelluksissa viivettä esimerkiksi silloin, kun sovelluspalvelimelta lähetetään komento laitteelle. Nyt ei siis tarvitse odottaa seuraavaa ylävirtaan lähetettyä viestiä, vaan seuraavaa sovittua lähetysaikaa. Tämä prosessi lyhentää hieman A-luokan laitteita enemmän akun kestoa, mutta tuo myös enemmän mahdollisuuksia sovelluksen hallintaan (What is LoRaWAN? 2015).

Luokka C käsittää päätelaitteet, jotka kuuntelevat jatkuvasti verkkoa. Ne eivät voi siis esimerkiksi pysäyttää prosessoria virtaa säästääkseen, vaan vähintään verkon kuuntelun on oltava päällä koko ajan. Tämä mahdollistaa isommissa laitejoukoissa ryhmälähetyksen ilman tarkemmin suunniteltua ja laitteita kuormittavaa puskurointia yhdyskäytävillä. Luokan C laitteet kuluttavat selvästi eniten virtaa, mutta ovat varsinkin reaaliaikaisiin sovelluksiin kaikkein käyttökelpoisimpia (A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 2015). Kuvio 4 kuvaa laiteluokkia akunkeston sekä kommunikoinnin viiveen näkökulmasta.



Kuvio 4 LoRaWAN-laiteluokkien vertailu (Park&Hwang 2017).

### 3.4.2 Verkko

LoRaWAN-verkot ovat yleisimmin arkkitehtuuriltaan tähtiä. Tämän rakenteen verkot koostuvat päätelaitteista eli nodeista, yhdyskäytävistä, keskitetystä verkkopalvelimesta sekä sovelluspalvelimista. Yhdyskäytävät on suunniteltu ja sijoitettu niin, että jokainen päätelaite sijaitsee ainakin yhteen yhdyskäytävään nähden sopivalla etäisyydellä tiedonsiirtoa varten. Sijainnista riippuen päätelaitteen dataa voi välittää myös useampi yhdyskäytävä, sillä LoRaWAN-protokollassa ei ole määritetty lukumäärää niille, toisin kuin esimerkiksi tavanomaisissa Ethernet-verkoissa (A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 2015).

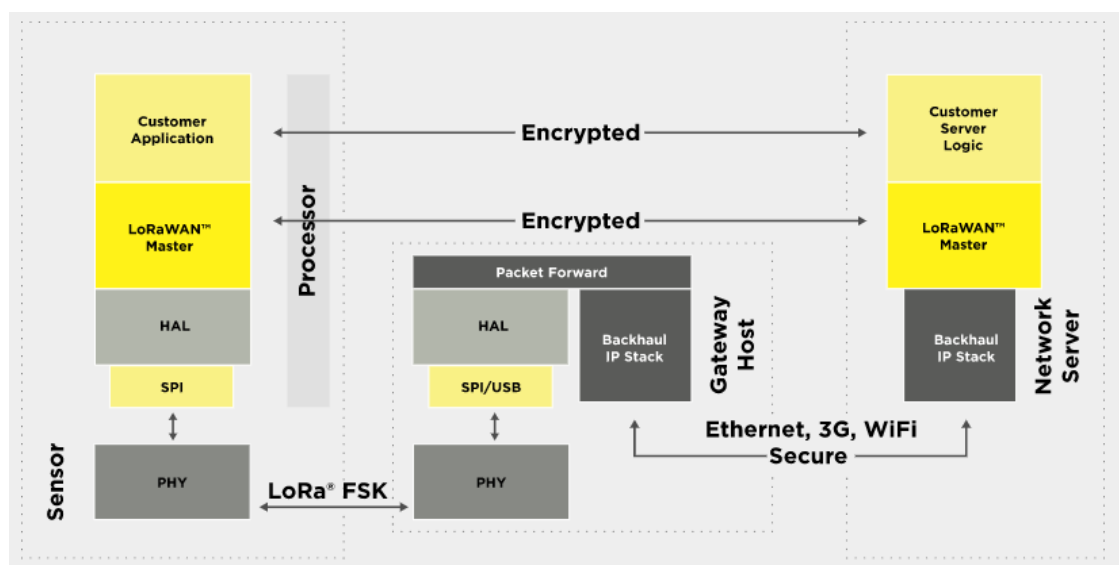
Yhdyskäytävät muuntavat vastaanottamansa kehykset IP-paketeiksi ja lähettävät ne eteenpäin verkkopalvelimille. Yhdyskäytävien ja verkkopalvelimien välistä yhteyttä ei ole rajattu, joten se voi olla kiinteä Ethernet-yhteys, Wi-Fi, satelliitti tai esimerkiksi 5g.

Pitkän kantaman tähti-verkoissa yhdyskäytävät muodostavat kriittisen pisteen. Jotta verkko olisi tehokas, on yhdyskäytävän kyettävä käsittelemään suuri määrä viestejä isolta joukolta laitteita. LoRaWAN-verkossa yhdyskäytävät on siksi suunniteltu niin, että ne hyödyntävät mukautuvia bittinopeuksia ja useita eri kanavia kuuntelevia vas-

taanottimia. Tällä saadaan käsiteltyä samanaikaisesti eri kanavilla viestejä ja siten parannettua tehokkuutta. Yleisesti verkon tehokkuuteen ja yhdyskäytävien toimintaan vaikuttaa myös suurelta osin bittinopeudet, viestien koko ja laitteiden lähetystiheys verkoissa (A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 2015).

Suuri merkitys on myös keskitetyillä verkkopalvelimilla, joille yhdyskäytävät välittävät kaiken datan. Verkkopalvelimilla tarkoitetaan pistettä, jonne päätelaitteiden data ohjautuu ja josta konfiguroidun logiikan perusteella tehdään ohjaus sovelluspalvelimille. Verkkopalvelimien vastuulla on verkon äly ja monimutkaisuus, kuten esimerkiksi pakettien suodatus, turvallisuustarkistukset ja paluuviestien ohjaaminen oikeaa reittiä pitkin. Fyysisesti verkkopalvelimia voi olla alkupisteestä loppupisteeseen monitakin, mikäli paketteja esimerkiksi ohjataan eteenpäin palveluntarjoajan verkosta ulkopuolisille palvelimille.

LoRaWAN-verkko vaatii tehokkuutta palvelimilta, mutta moni toiminto, kuten liikku-  
van laitteen käsittely verkossa, on etu LoRaWAN-verkossa. Mobiiliverkoista tuttua siirtymää yhdyskäytävältä toiselle ei tarvitse suorittaa, mistä on hyötyä esimerkiksi omaisuuden seurantaan tarkoitetuissa sovelluksissa (A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 2015). Kuviossa 5 esitetään loogisella tasolla LoRaWAN-verkon tiedonsiirto.



Kuvio 5.LoRaWAN:in looginen topologia (What is LoRaWAN. 2015)

Signaaliarvot

### 3.5 Signaaliarvot

Langattoman tiedonsiirron ja varsinkin Thingparkin konfiguraatioiden yhteydessä esiintyy erilaisia termejä, kuten RSSI, SNR, ESP ja SF. Näistä jokainen on tärkeä tieto omalta osaltaan, kun selvitetään esimerkiksi signaalin kuuluvuutta ja käyttökelpoisuutta.

RSSI:llä tarkoitetaan vastaanotetun signaalinvoimakkuuden indikaattoria. RSSI ilmoitetaan tehona, joka vaihtelee esimerkiksi 2G- ja 3G-verkoissa -110dBm:n ja -70 dBm:n välillä. Mitä pienempi vastaanotettu teho on, sitä huonompi signaali (RSSI 2020)

SNR on puolestaan arvo, joka kertoo signaalinvoimakkuuden suhteessa taustakohinaan ( Burke 2016). SNR ilmoitetaan decibeleinä ja mitä suurempi arvo, sitä selkeämpi on signaali suhteessa kohinaan ( Burke 2016).

RSSI- ja SNR-arvoista saadaan laskettua ESP eli ”Estimated Signal Power”, joka on teoreettinen signaalinvoimakkuusarvo (Soininen 2019) . Se lasketaan kaavalla:

$$ESP = RSSI - 10 \log\left(1 + 10^{\left(-\frac{SNR}{10}\right)}\right)$$

SF( Spreading factor) eli hajautustekijä on suunniteltu LoRaan siksi, että kyseistä arvoa muuttamalla voidaan säästää päätelaiteklusterilta akkua (What are LoRa and LoRaWAN? N.a.). SF:llä voidaan siis optimoida yksittäisten päätelaitteiden datanopeuksia sekä tehotasoja. Esimerkiksi lähellä yhdyskäytävää sijaitseva päätelaite toimii pienemmällä SF:llä, koska laitteelle riittää pieni linkkibudjetti (What are LoRa and LoRaWAN? N.a.).

### 3.6 Digita

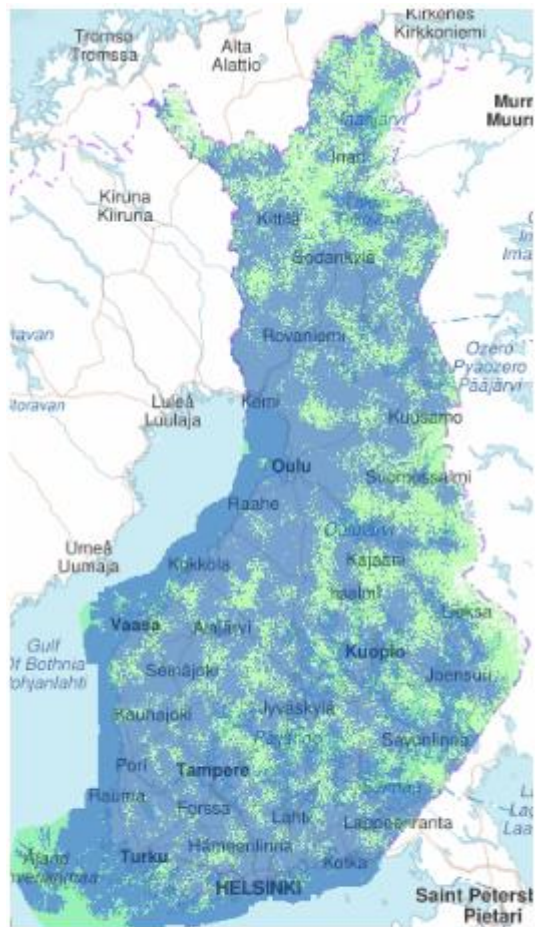
Työssä käytetään Digitan LoRa-verkkoa tiedonsiirtoon. Vaihtoehtona harkittiin esimerkiksi TheThingsNetworkia, mutta lopulta päädyttiin Digitaan. Syitä tähän oli mm. kuuluvuus, joka Digitalla on erittäin hyvä koko Suomessa. Tämä mahdollistaa päätelaitteiden sijoittamisen ilman huolta siitä, että yhteyden kanssa tulisi ongelmia. Kun etälaitteiden arvoista ja suorituskyvystä suoritetaan valvontaa, on verkon toimintavarmuus tärkeää. Lisäksi Digitan asiakkaille tarjoama laite- ja verkonhallintaliittymä Thingpark on monipuolinen palvelu ja selkeä etu kilpailijoihin nähden.

Thingparkissa asiakas voi räätälöidä toimintaa todella paljon. On mahdollista esimerkiksi reitittää yksittäisiltä laitteilta tuleva data tiettyyn osoitteeseen http POST –metodia käyttäen (Hörkkö 2020). Myös muun muassa jokaisen laitteen yksittäiset viestit saa listattua loggerista ja aiemmin lähetettyä dataa voi etsiä ja suodattaa lukuisin eri parametrein. Näitä parametreja ovat esimerkiksi gps-koordinaatit(LRR Lat&LRR Long), signaaliarvot(RSSI, SNR, ESP,SF/DR), aika- ja päivämääreet ja laitteen DevAddr sekä DevEUI (Hörkkö 2020).

Digita on kaupallinen toimija, joten tämä luo yrityksille toimintavarmuutta. Verkkoa hyödyntävien toimijoiden kanssa tehdään sopimus laitteista ja tiedonsiirrosta, joten asiakas voi luottaa verkon toimivan määriteltyjen rajojen mukaan. Esimerkiksi TheThingsNetwork toimii pitkälti harrastajapohjalta, joten takeita verkon toimivuudesta tuotantokäytössä ainakaan jokaisella alueella ei ole. Kustannuksia tosin TTN:n käytöstä ei ainakaan alkuvuonna 2021 koidu, joten tämän voi ajatella olevan etu verrattuna muihin. Kuitenkaan tulevaisuutta ei voida ennustaa ja myös TTN:n käytöstä saatetaan jatkossa periä korvaus.

Tällä hetkellä Digitan verkkoa käytetään laitekohtaisella hinnoittelulla ja hinnat asetuvat luokkaan 0,5€ - 0,75€ kuukaudessa riippuen laitteiden lähetys- sekä kokonaisuudesta (Flinck 2020). Hinta on arvio ja jokaisen asiakkaan kanssa lopullinen kustannus tehdään aiemmin mainittujen sekä mahdollisesti myös muiden ilmenevien parametrien mukaan (Flinck 2020). Kustannuksiltaan Digitan palvelu asettuu siis TTN:n ja operaattoreiden myymien laitenettien väliin. Selvästi lähemmäksi kuitenkin TTN:ää,

sillä hinnat lähtevät vähäisilläkin laitemäärillä reilusti alle eurosta ja ovat siten suhteellisen kaukana esimerkiksi sim-kortteihin pohjaavista liittymävariaatioista.



■ = Sisäkuuluvuus

■ = Ulkokuuluvuus

Kuvio 6 Digitaalisen LoRa-verkon kuuluvuus (IoT:n kartta 2020)

## 3.7 Laitteisto

### 3.7.1 Työn perusta

Työ pohjautuu VAPO:lle vuonna 2018 toimitettuun TEMPPI-nimiseen mittalaitteeseen. Anturi koostuu mittakärjestä, n. 1.5 metriä korkeasta metallivarresta sekä kotelosta, jossa sijaitsee kaksi AA-paristoa, elektroniikkapiiri ja näyttö. Laite on parin vuo-

den ajan ollut työntekijöiden mukana mittauksilla, joissa mittakärki on asetettu turpeeseen ja arvo otettu manuaalisesti ylös. Myös paikkatieto on lisätty paperille manuaalisesti.

Työssä siis selvitetään, voisiko mittalaitteen jättää itsenäisesti turvekasaan, josta lähetettäisiin säännöllisesti arvot IoT-palvelualustalle. Hypoteettisesti lämpötilaa olisi tällöin mahdollista seurata reaaliajassa ja tehdä myös analyyseja pidemmältä ajalta. Työssä on vahvasti mukana myös hintanäkökulma, sillä järjestelmä tulee suunnitella mahdollisimman kustannustehokkaaksi verrattuna esimerkiksi toistuvan työn vähenemisenä saavutettuun hyötyyn.

### 3.7.2 Muutokset

Uudessa versiossa ei tarvittu näyttöä, sillä datan on tarkoitus siirtyä eteenpäin automaattisesti. Myöskään jo olemassaolevaa elektroniikkapiiriä ei tällöin tarvittu ja myös se otettiin pois kotelosta. Vielä viimeinenkin sisällä oleva komponentti, AA-paristomoduli, poistettiin uuden laitteen tieltä jänniteongelman ja tilanpuutteen takia. 1.5V paristojen skaalaaminen olisi mahdollista, mutta tässä tapauksessa päätettiin hankkimaan uusi akku järjestelmän rakentamisen suoraviivaistamiseksi sekä muun muassa latauksen helpottamiseksi.

Olemassa olevan laitteen tilalle hankittiin Arduino MKR WAN 1310, antenni sekä 3.7V litium-polymeeri -akku. Nämä kolme komponenttia saatiin mahdutettua TEMPPI:n koteloon ja siten ylimääräisiä muutostöitä ei tarvinnut tehdä. MKR WAN 1310 koostuu vähän virtaa käyttäväksi suunnitellusta SAMD21 -prosessorista sekä LoRa-yhteyttä ylläpitävästä moduulista CMWX1ZZABZ. Näiden lisäksi piirillä on myös laturi akulle, joten laitteen lataus onnistuu jatkossa vaivattomasti.



Kuvio 7 Temppi-laite purettuna

### 3.7.3 Kotelo

Kun elektroniikka saatiin muutettua, nousi esiin kysymys piirin suojaamisesta kosketushäiriöiltä. Laitteessa on kotelona ainoastaan metallinen laatikko, joka toimii ulkoisesti hyvin, mutta aiheuttaa sisäpuolelle ongelmia elektroniikan kanssa. Lisäksi piirille tehtiin kytkentöjä sähköteipillä, jotka puolestaan saattavat jollain aikavälillä lähteä irtoamaan erityisesti lataus- tai mahdollisissa vianetsintätilanteissa. Näissä laite pitäisi tilan ahtauden vuoksi vetää ulos kotelosta ja tämän jälkeen taas painaa takaisin sisälle. Elektroniikkaa ja laitetta käsitellessä vahvistui käsitys siitä, että kun muokattavia laitteita on kymmeniä, niin metallirungolle ja elektroniikalle olisi tulevaisuudessa suunniteltava oma, esimerkiksi 3d-tulostettu sisäkotelo. Tämä on varmempi ja pitkäkestoisempi vaihtoehto, kuin esimerkiksi eristemateriaalin asettaminen kotelon ja elektroniikan väliin. Tilaa on kotelon sisällä hyvin vähän, joten millimetrin paksuinen eristekin aiheuttaa ongelmia.

3d-tulosteen suunnittelu ja tuottaminen rajattiin pois tästä opinnäytetyöstä, sillä aihealue on laaja ja myös melko monimutkainen. Mittauksista sekä toteutuksesta saatiin esisuunnitelma 3d-tulostukseen erikoistuneelta Inweb Oy:ltä. Saarijärveltä kotoisin oleva yritys valmistaa teollisuuteen erilaisia muotteja sekä erityistä tarkkuutta vaativia komponentteja. Mittalaitteeseen tarvitaan millimetrien tarkkuudella valmistettu komponenttikelkka, joten Inweb Oy oli luonnollisin vaihtoehto luomaan arvio toteutusmahdollisuuksista.

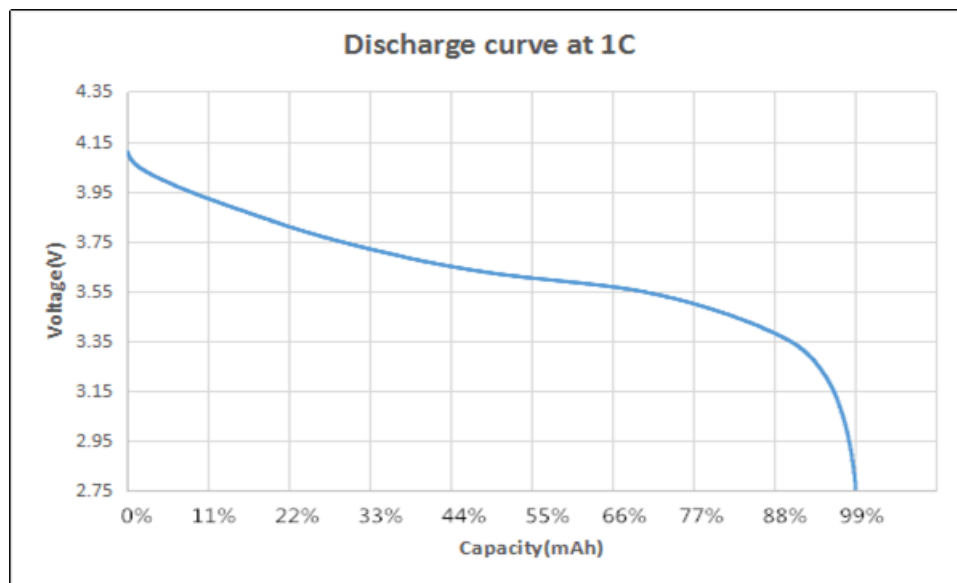
Arvion pohjalta kotelo olisi mahdollista tulostaa niin, että kaikki tila saataisiin metallilaatikon sisältä käyttöön. Kotelon materiaalina voisi olla esimerkiksi sellu, joka eristää elektroniikan hyvin ja on myös kestävä vaihtoehto pitkällä aikavälillä. TEMPPI -laitteessa on ulkoisesti pitkää käyttöä kestävä rakenne, joten ulkopuolelle ei suunnitella lisäkotelointia. Tämän sijasta kotelon sisätila mitataan ja 3d-tulostettu kelkka suunnitellaan liukumaan sisään ja takaisin vaivattomasti. Tässä tapauksessa ei myöskään ole riskiä kytkentöjen irtoamisesta.

#### 3.7.4 Akku

Akun voi kytkeä suoraan Arduinon standardoituun virransyöttöporttiin, joten järjestelmän koteloon ei tarvita ylimääräistä skaalauspiiriä. MKR WAN 1310:n mikro usb – portti on sijoitettu piiriin nähden juuri sopivasti 90 asteen kulmaan, joten akku voi kertakytkennän jälkeen jäädä koteloon sisälle ja latauksen voi suorittaa helposti dataportista. Dataportti on suunnattu metallikotelosta ulospäin eli itse Arduinoa ei tarvitse siirtää latausprosessissa.

Kun akkua käytetään, on otettava huomioon litium-polymeeriakun ominaispiirteet. Jännite on noin kapasiteetin puoleen väliin saakka lähes lineaarinen, jonka jälkeen varauksen väheneminen hidastuu joksikin aikaa ( Lithium Polymer ( LIPO) Battery Guide 2008). Lopussa jännite romahtaa äkillisesti, joten jyrkän käyrän yläosaa on pidettävä sovelluksen akun loogisena nollarajana. Palvelimen valvontanäkymiin voidaan siis skaalata 100 prosentin jana vastaamaan jännitteitä 3.3 voltista 4.2 volttiin.

Kulutuslaskelmissa otettiin huomioon 70 prosentin varmuuskerroin akun kestävydessä. Tämä johtuu siitä, että laskelmat eivät esimerkiksi mikropiirin käyttäytymisen ja lukuisan muun tekijän johdosta pidä täydellisesti paikkaansa. Lisäksi on huomattava, että Litium-Polymeeri-akku purkautuu hieman eri tavalla eri lämpötiloissa. Esimerkiksi kylmät olosuhteet nopeuttavat akun purkautumista (How lipo battery's performance is affected by temperature? 2019).



Kuvio 8 Litium-Polymeeriakun purkautuminen. (Product details. N.a.)

### 3.7.5 Akunkesto

Laitteeseen kiinnitetty Akku on ominaisjännitteeltään 3.7 voltia ja kapasiteetiltaan 2000 mAh. MKR WAN 1310:ssa virrankulutus on "Deep sleep" -tilassa 150  $\mu$ A, kuuntelutilassa 12 mA ja lähetystilassa noin 35 mA. Kun suunnitellaan laitteen akunkesto, niin on otettava huomioon, että esimerkiksi lähettäminen vie todella paljon enemmän virtaa. Näin ollen IoT-laitteen kehittäminen onkin jatkuvaa vaihtokauppaa mittaus- sekä lähetyksmäärien ja akunkeston välillä.

Opinnäytetyössä tarkoituksena on mitata turpeen kuumenemistä riittävällä tasolla. Tutkimuksien mukaan turpeen kuumeneminen ei tapahdu tunneissa, vaan ennemminkin päivissä (Erkkilä 2021), joten tunnin mittausväli tuo juuri sopivan tasapainon akunkeston suhteen.

Tunnin aikaikkunassa tapahtuu siis vain yksi noin 400 millisekuntia kestävä lähetyksijakso. Lähetystä seuraa kaksi 200 millisekunnin kuuntelujaksoa eli yhteensä 400 millisekuntia. Vastaanottoajat ovat arvioituja kestoja, sillä esimerkiksi kuunteluikkunan pituus voi hieman vaihdella, riippuen minkä pituinen viesti ja kummassa kuunteluikkunassa se vastaanotetaan (A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 2015). Pieni poikkeama edellä esitettyihin aikoihin nähden on kuitenkin mitätöntä verrattuna tunnin "Deep sleep"-tilaan. Näin ollen laskelmat voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella arvioimalla vastaanottoikkunoiden kestoiksi 200 millisekuntia.

Laskelmasta selviää, että mittalaitteen akun pitäisi kestää 11-12 kuukautta. Näin ollen lataus pitää suorittaa vuosittain jossain kohdin turpeen varastointia.

Lähetyksen energia tunnissa:

$$(0,4s \times 35mA \times 4V) \div 3600s = 15 \text{ uWh}$$

Vastaanoton energia tunnissa:

$$(1,2s \times 12mA \times 4V) \div 3600s = 16 \text{ uWh}$$

Syväuni-tilan energia tunnissa:

$$(1h \times 160\mu A \times 4V) \div 3600s = 600 \text{ uWh}$$

Kokonaisenergia tunnissa = 631 uWh

Akun kapasiteetti = 7.4Wh

Akunkesto teoreettisesti:

$$7.4Wh \div 631 \text{ uWh} = 11\,727 \text{ h}$$

$$11727h \div 24 = 489 \text{ päivää}$$

Akun hyötykapasiteetti:

$$0.7 \times 7.4Wh = 5.18Wh$$

Akunkesto käytännössä:

$$5.18Wh \div 631\text{uWh} = 8209h$$

$$8209h \div 24 = 342 \text{ päivää}$$

Kuvio 9 Akunkeston laskelma

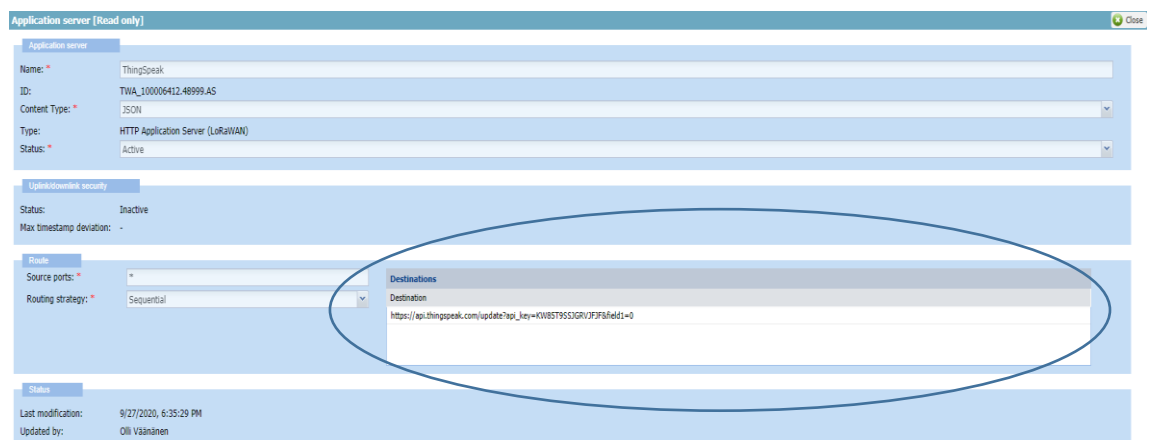
## 4 Toteutus

### 4.1 Thingpark

#### 4.1.1 Application server

Aluksi uudelle laitteelle määritetään Application server eli osoite, jonne kaikki data ohjataan Digitan verkosta. Device managerissa on tälle oma valikkonsa ja sieltä valitaan kohta "create". Tämän jälkeen määritetään, missä muodossa data siirretään palvelimelle (vaihtoehdot JSON tai XML) sekä palvelimen osoite. Kohta "Destination" on tarkoitettu sovelluspalvelimen osoitteelle.

Määrittäessä sovelluspalvelinta pitää tietää myös se, että Digitan IoT-verkko ei hyväksy "self-signed SSL" -sertifikaattia, joka tarkoittaa, että end-pointin pitää käyttää luotettua SSL-sertifikaattia (Hörkkö 2020). Digitan alustalla on käytössä "Mozilla CA Certificates trust list", joka löytyy Redhat -paketissa. Ilmaista TLS-autentikaatiota tarjoava toimija "Let's Encrypt" on myös hyväksytty (Hörkkö 2020). Näiden pohjalta riittää vain tieto siitä, että Thingsparkiin saadaan luotettava autentikaatio ja osoite voidaan kirjoittaa sille varattuun kenttään. Tämän enempää määrittämiä ei kyseisiin asetuksiin tarvita, vaan uusi palvelin voidaan tallentaa listaukseen ja käyttää sitä reititysprofiilin luomiseen.



Kuvio 10 Application server -asetukset. (Thingpark-sivusto 2021)

### 4.1.2 AS reititysprofiili

Kun haluttu application server on määritetty, voidaan sitä käyttää uuden reititysprofiilin luomiseen. Thingparkin valikossa ylempänä löytyy kohta “AS routing profiles” ja siellä listaus kaikista tilaajan verkkoprofiileista. Samaan tyyliin, kuin Application server –kohdassa, on myös profiilivalikossa painike uuden profiilin lisäämiselle. Profiiliin ei käytännössä tarvitse määrittää muuta, kuin aiemmin luotu sovelluspalvelin. Profiiliin tulee olemaan se, joka liitetään itse laitteeseen, joten profiilissa tulisi olla valittuna aiemmin luotu sovelluspalvelin.



Kuvio 11 Reititysprofiilien asetukset (Thingpark-sivusto 2021)

### 4.1.3 Laitteen lisääminen

Thingparkille ominaiseen tyyliin myös kaikille laitteille löytyy oma hallintansa. Listaus näyttää kaikki tilaajan laitteet ja listan yläpuolella on kohta “create”, josta uusi laite voidaan määrittää. Tiedoiksi syötetään Arduinon koodissa näkyvä DevEUI, laitteen tarkka malli sekä AppEUI. Nämä ovat olennainen osa itse liityntäprosessia. DevAddr tulee automaationa verkosta, joten sitä ei tarvitse erikseen lisätä.

Perusmääritysten jälkeen laitteen “network” -kohdasta saadaan aktivoitua juuri luotu verkkoprofiili ja tämä saa siis aikaan sen, että kaikki laitteen data ohjataan jatkossa suoraan sovelluspalvelimelle. Toiminnasta voi varmistua avaamalla laitelistauksesta haluttu päätelaite ja tarkistamalla alareunasta viimeisimmät signaaliarvot. Näkyvissä on aikaleimoineen esimerkiksi RSSI eli signaalinvoimakkuus, SNR eli signaalin suhde taustakohinaan ja ESP, joka on näiden kahden laskennallinen suhde.

**Device**

**LoRa Class A**

Manufacturer: \* Generic  
 Model: \* LoRaWAN 1.0.2 revA - class A eu868, eu433, cn  
 Name: \* vapo-mittalaite  
 Motion indicator: Near static  
 Activation mode: Over The Air Activation (OTAA)  
 Join server: Local Join server with software encryption  
 DevEUI: A8610A333737770A  
 JoinEUI: 70B3D57ED0034345  
 DevAddr: E0034C46  
 Current class: **Class A**

Administrative info:

Average packets:	0.0/day	Last spreading factor:	<b>SF10</b>
Average ESP:	<b>-128.2 dBm</b>	Last ESP:	<b>-129.2 dBm</b>
Average SNR:	<b>-11.8 dB</b>	Last SNR:	<b>-14.0 dB</b>
Average RSSI:	<b>-115.2 dBm</b>	Last RSSI:	<b>-115.0 dBm</b>
Last instantaneous PER:	<b>42.0%</b>	Last uplink frame:	9/25/2020, 8:03:20 AM
Last mean PER:	<b>0.0%</b>	Last downlink frame:	9/25/2020, 8:03:21 AM

Battery:   
 Battery replaced: **9/15/2020**  
 Replace battery by: -

Kuvio 12 Verkkoon lisätyn laitteen näkymä (Thingpark-sivusto 2021)

## 4.2 Arduino

### 4.2.1 testausohjelma

Kun verkko on konfiguroitu valmiiksi, siirrytään valmistelemaan itse laite. Aluksi asennetaan akku sekä antenni Arduinoon, katsotaan että merkkivalot syttyvät ja tarkastetaan laitteen sekä verkon toimivuus testikoodilla. Testikoodi syötetään mikroUSB-liitäntään Arduino IDE -ympäristössä tietokoneella käyttäen. Testikoodissa määritetään, että laitteelta lähtee “ping” -viestiä vastaava sanoma verkkoon ja kun tämä on lähtenyt, jäädään odottamaan kuittausta. Kuittaus on saatu, kun konsoliin tulee vahvistus viestin lähettämisestä onnistuneesti. Kaksisuuntainen viestinvaihto tarkistetaan vielä Thingparkista, jossa tulisi nyt näkyä päivittynyt aikaleima kohdassa “Last uplink/downlink frame”. Kun se on näkyvillä, on yhteyden toimivuus

todennettu ja voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen eli pysyvämpään verkkoyhteyteen.

Seuraavassa testikoodissa laite määritetään lähettämään staattisesti arvoa "25" verkkoon tunnin välein. Tämä simuloi myöhemmin toteutettavaa lämpötila-arvoa ja sen lähettämisen todennäköisintä intervallia.

### 4.3 Thingsboard

Data tulee siis saada pilveen ja alustaksi valitaan JAMK:n Thingsboard –palvelin sekä siellä opinnäytetyön tekijän oma tenantti. Tenantilla käsitetään IT-ympäristöissä tietyn organisaation palvelujoukkoa (Tenant roadmap for Microsoft 365. 2020). Tämä yksinkertaistaa tulevaisuuden laitehallintaa, kun saman palvelimen kautta käsitellään myös monen muun laitteen dataa ja oikeuksia on helppo määrittää palvelimen sisällä. JAMK:n Thingsboardilla on oma IT-tuki ja toimintavarmuus on hyvällä tasolla. Työssä ei kuitenkaan käydä läpi tarkemmin ympäristön skaalautuvuutta tuontantopalvelimeksi, vaan JAMK:n Thingsboardin todetaan olevan kilpailukykyinen vaihtoehto muihin ratkaisuihin verrattuna. Tulevaisuudessa, jos laite menee laajempaan tuotantoon, suuremman laitemäärän datasta tehdään päätös erikseen Vapon toimesta. Iotlin lisäksi on olemassa suuri joukko myös muita sovelluspalvelimia, jonne mittalaitteiden arvot voidaan ohjata.

Opinnäytetyössä käytössä oleva JAMK:n Thingsboard-palvelin vastaanottaa JSON-muotoista dataa Digitan palvelimelta. JSON on kevyt dataformaatti, joka pohjautuu kahteen tietorakenteeseen: nimi ja arvo. Tämä on erittäin hyvin ihmiselle ymmärrettävä tapa esittää tietoa ja sen avulla data saadaan myös purettua helposti palvelimella. Python-ohjelmalla saadaan palvelin erottamaan halutut objektit tietorakenteista ja siirrettyä ne oikealla tavalla eri ympäristöihin (Introducing JSON. N.a.).

Jotta JSON-data lähtee Digitan palvelimilta, tarvitaan Thingsboard-palvelimelle luotettu SSL-sertifikaatti. Opinnäytetyössä ei tarvitse konfiguroida tai hankkia tätä, koska se on jo JAMK:n ympäristössä valmiina. On kuitenkin syytä tiedostaa jatkon

kannalta, että vaihtoehtoisissa ympäristöissä sertifikaatti pitää olla tiedonsiirtoa varten. Digitan infrastruktuurin pitää varmistua, että vastaanottava taho on luotettu.

#### 4.3.1 Yhteyden testaaminen

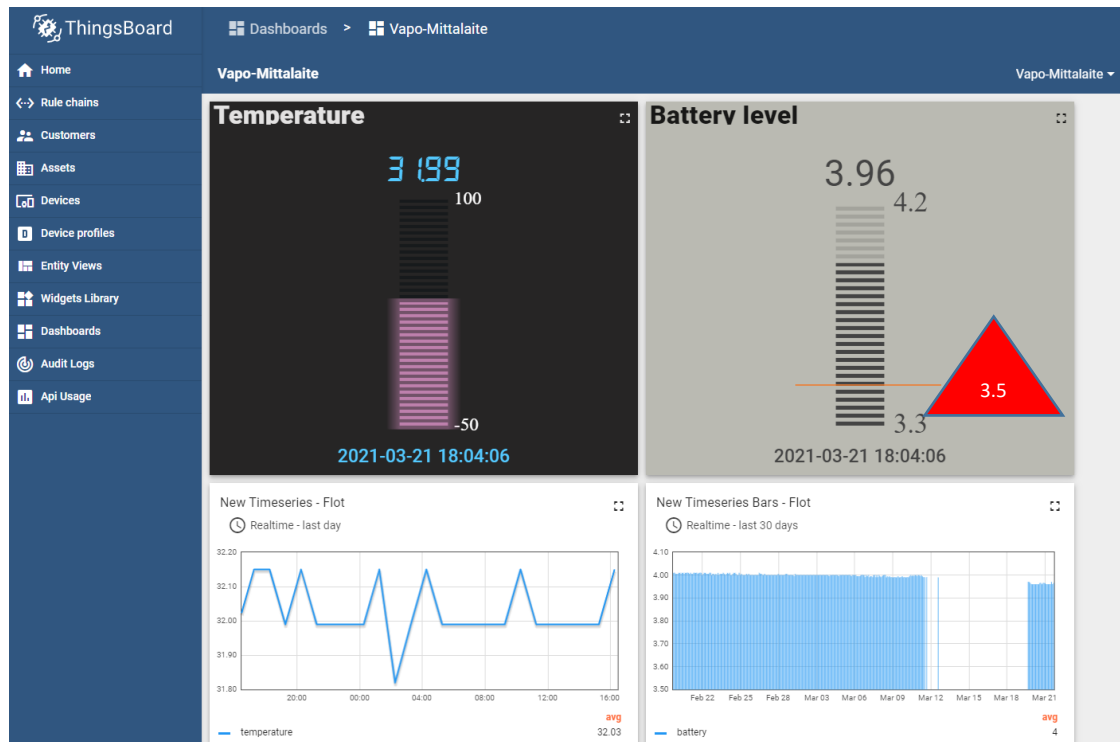
Kun Arduinon ja Digitan sekä JAMK:n ja Digitan väliset yhteydet on saatu toimimaan, niin varmennetaan, että arvot tulevat IoTli-työpöydälle. Tämä tarkistetaan ottamalla käyttöön tarkoituksenmukaiset näkymävalikot ja asettamalla niihin syötteeksi muuttujat, joita mittalaite lähettää verkkoon.

Lämpötila ja jännitearvo on määritetty koodissa niin, että lämpötila tulee jonossa ensimmäisenä ja sen jälkeen jännitearvo. Se kun tiedetään, niin palvelimen python-ohjelma koodataan muuttamaan ensimmäinen arvo eli datalähde nimelle "temperature" ja jännitearvo nimelle "battery level". Näillä nimillä arvot on helppo valita työpöydältä.

Lämpötilalle valitaan asteikko -50 ja 100 asteen väliltä, koska laite saattaa joissain tilanteissa esimerkiksi kaatua ja tällöin mittakärki saattaa mitata ulkoilmasta alhaisiakin lämpötiloja talvikeleillä. Oikein sijoitettuna arvot puolestaan lähentelevät 100 astetta ja siten yläraja on perusteltu.

Jännitteelle asteikoksi riittää akun toiminta-alue eli 3.3:sta 4.2:een. Se on absoluuttinen määre, joka selvyuden vuoksi voitaisiin myös helposti muuttaa prosenteiksi. Volttinäkymä on kuitenkin useimmille akkuja käsitelleille selkeä ja siksi työpöytä jätetään puhtaasti laitteen lähettämä arvo.

Määrityksien jälkeen nähdään, että Arduinolta on vastaanotettu oikeat arvot ja verkkoyhteys sekä työpöytä on siten kunnossa.



Kuvio 13 Työpöytänäkymä (Iotli-palvelu 2021)

#### 4.4 Ohjelmakoodi

Ohjelmistosta pyrittiin rakentamaan kevyt, jotta halutut toiminnot saadaan suoritettua mahdollisimman pienellä määrällä laitteen työtä. Tämä vaikuttaa pitkällä aikavälillä akunkestoon, joten rakenne pyrittiin suunnittelemaan niin, ettei tapahdu esimerkiksi päällekkäistä datan käsittelyä. Verkko-osuuteen käytettiin valmista "MKRWAN"-headeria, koska siinä on kaikki tarvittava LoRa-verkkoon yhdistämistä ja sinne lähettämistä sekä sieltä vastaanottamista varten. MKR WAN 1310:ssa ei ole sisäänrakennettua jännitteenjakoa akun jännitteen mittaamiseksi, joten se jouduttiin luomaan itse ja siten myös header-tiedosto ja funktiot piti tehdä itse. Tämän lisäksi tehtiin erillinen tiedosto Temppi-laitteen resistanssin seuraamiseksi eli lämpötilan mittaukseksi.

Ohjelmistoon luotiin selkeä rakenne ohjelman rungon ollessa päätiedostossa ja tarvittavat mittausfunktioit omilla headereissaan. Näin ollen ohjelmaa on helppo muuttaa jatkossa ja myös sen suorittamat funktioit voi nähdä helposti. Mikäli joskus laitteella tarvitsisi mitata esimerkiksi kosteutta tai muita ulkoisia arvoja, niin tällöin ei

tarvitse kuin luoda uusi header-tiedosto jokaiselle mittaukselle ja liittää ne päätiedoston määrittäisiin.

Ratkaisevassa osassa virransäästön kannalta on kirjasto ”ArduinoLowPower”. Siinä on erilaisiin käyttötarkoituksiin suunniteltuja luokkia, joiden kaikkien tarkoitus on säästää virtaa mahdollisimman paljon. Voidaan esimerkiksi pysäyttää prosessori kokonaan tai sulkea kaikki oheislaitteet. Myös jos laite halutaan matalan virrankulutuksen tilaan ja odottamaan vain tiettyyn pinniin kohdistuvaa herätettä, niin tällekin löytyy oma luokka. Ohjelmistoa valitessa pitää siis tietää Arduinon tarkka käyttötarkoitus ja käyttää sellaista luokkaa, joka poistaa käytöstä kaiken ylimääräisen prosessorirajon.

Suunnittelun jälkeen päädyttiin opinnäytetyössä käyttämään luokkaa ”deepsleep”. Se asettaa mm. mikrokontrollerin ja prosessorin sleep-tilaan ja vain RTC-laite jää päälle. RTC on lyhenne sanoista ”real time clock” eli sanansa mukaisesti se on reaaliaikakello, joka mahdollistaa aikakriittisten ohjelmien ajamisen ilman prosessorin jatkuvaa käyntiä. Mittauksien ja arvojen lähettämisen jälkeen laite menee siis deepsleep-tilaan ja herää tunnin kuluttua RTC:n avulla. RTC laskee 3600000 millisekuntia eli yhden tunnin, jonka jälkeen se herättää prosessorin suorittamaan ohjelman. Ohjelma päättyy deepsleep-tilaan siirtymiseen ja RTC:n nollaamiseen.

Mikäli tarvittaisiin tietyt oheislaitteet jatkuvasti päälle esimerkiksi ulkoisia herätteitä tai muuta ajoa varten, niin tällöin voisi käyttää luokkaa ”sleep”. Sekin on suunniteltu säästämään virtaa, mutta se ei täysin pysäytä prosessoria (Arduino Reference. N.a.).

## 5 Kustannustarkastelu

Laitteet tilattiin JAMK:n toimesta usealta eri toimittajalta. Komponenttien hinnat eivät vaihtelee kovin paljon verkkokauppojen kesken, vaan ne noudattavat pitkälti samaa linjaa. Esimerkiksi Litium-Polymeeri -akut ovat kehittyneet paljon ja niitä saa

myös edullisesti. Näin ollen vähän virtaa käyttäviin sovelluksiin kyseisen tyyppinen akku on järkevä ratkaisu.

Lisäksi sovelluksen pohjana toimiva Arduino MKR WAN 1310 on valmistajan uusimman versio LoRA-verkkoon tarkoitettuista mikrokontrollereista. Ominaisuuksia on tuotu paljon lisää, mutta silti hinta on pidetty kohtuullisena. MKR WAN -sarjan piirit ovat erittäin kustannustehokkaita IoT-sovelluksiin.

Työhön tuli pieni määrä vastuksia, joista kaksi kappaletta jouduttiin vaihtamaan juotoksien epäonnistuessa. Vastukset ovat varsinkin suuremmassa erässä ostettuna vielä paljon edullisempia, joten ne ovat vain marginaalinen osa koko laitteen kustannuksesta.

Suurin osa kustannuksesta tulee itse kokoonpanotyöstä, sillä realistisesti arvioituna yhden laitteen juotoksiin ja muokkauksiin menee noin kaksi tuntia. Tämä on opinnäytetyön tekijän kokemuksen pohjalta tehty arvio, mutta paljon enemmän kokemusta omaava erikoisliike voi suorittaa työn reilusti pienemmässäkin ajassa. Joka tapauksessa isoon määrään laitteita suositellaan yhtä toimijaa, joka pystyisi mahdollisesti kotelonkin avulla tekemään ajallisesti tehokkaampaa työtä. Mikäli laitteet muokataan käsin ja samaan tyyliin kuin opinnäytetyössä, on työaika resursoitava jonkin verran per laite.

Kun laite on valmis, jää kustannukseksi vielä sopimus verkko-operaattorin kanssa. Digitaalilta saatu arvio lähtee siitä, että laitteiden määrästä ja tiedonsiirtomäärästä riippuen, on sopimuksen kuukausihinta noin 0.5–0.75 euroa per laite. Esimerkiksi sadalle päätelaitteelle tämä olisi noin 50–75 euroa kuukaudessa. Laitteiden hankintahintaan suhteutettuna verkon käyttäminen maksaa kuukaudessa alle yhden prosentin verran.

Arduino MKR WAN 1310	33.00€
----------------------	--------

2000mAh Litium-Polymeeri -akku	8,05€
Vastukset	1,50€
Antenni	7€
3d-tulostettu kotelo	5€
Yhteensä	54.50€

Taulukko 1 Kustannuslaskelma

## 6 Vaihtoehtoinen toteutustapa

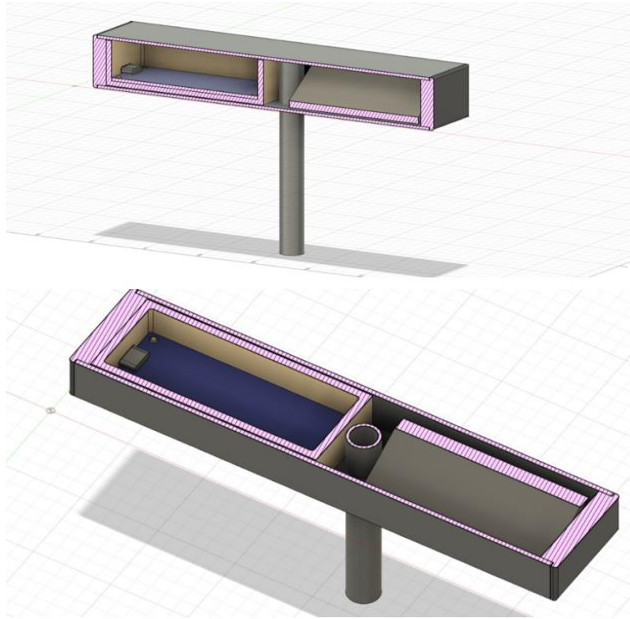
Työssä käytettiin Temppi-laitteen valmista metallikotelo, koska se suojaa hyvin ulkoisilta iskuilta ja on myös edullisempaa käyttää olemassaolevaa materiaalia mahdollisimman paljon. Ongelmia ilmeni kuitenkin jonkin verran, kun 25 millimetriä leveä elektroniikkapiiri piti mahduttaa vain muutaman millin leveämpään koteloon. Vastukset ja kuparilangat oli juotettava erittäin tarkasti, mutta sekään ei suoraan estänyt kosketushäiriöitä. Vasta pitkän työn jälkeen piiri saatiin suojattua niin, että siinä ei enää esiintynyt havaittavia häiriöitä missään muodossa.

Kun juotoksia teki käsityönä, niin ei ollut standardoitua tapaa tehdä, vaan jokaisen muutoksen jälkeen täytyi testata ohjelmisto sekä fyysinen sijoittaminen metalliin. Aikaa meni yhteensä monta viikkoa, koska muutoksia piti tehdä paljon ja välillä oli myös luovuttava huonoiksi havaituista ratkaisuista. Samalla kehitettiin siis jatkuvasti myös uutta erilaisten hankaluuksien vuoksi.

Koska laitteita on suuri määrä muokattavana, niin tähän ongelmaan keksittiin järkevämpi ratkaisu tulevaisuutta varten. Liitosten, kosketushäiriöiden, käytön helppouden ja tilan ahtauden vuoksi tarvitaan siis käytössä olevaan mittalaitteeseen suunniteltu kotelo. Kotelo 3d-tulostetaan ja mitoitetaan sopimaan metallikuoren sisään, jolloin vastukset saadaan juotettua lujemmin kiinni ja laitteen saa tarvittaessa myös paremmin ulos metallin suojusta. Esimerkiksi kosketushäiriöt saadaan eliminoitua suurella tarkkuudella, kun piiri pysyy täysin paikallaan ja vain kelkka liikkuu.

Kotelo suunniteltiin alustavasti siis niin, että akku jäisi omalle puolelleen ilman ylimääräistä suojausta ja Arduino laitettaisiin 3d-tulostettuun koteloon. Elektroniikkapiirin ulkopuolinen kotelo on Autodesk Fusion 360 -ohjelmalla suunniteltuna millin tarkka ja esimerkiksi Arduinin kulmissa olevista rei'istä voidaan kiinnittää laite koteloon. Lisäksi akun lataus ja tietokoneen resetointi otetaan suunnittelussa huomioon niin, että kotelokelkan voi vetää helposti ulos ja päästä käsiksi haluttuihin komponentteihin. Ilman ulkoista koteloa, jokainen laitteeseen kohdistettu voima saattaa aiheuttaa esimerkiksi liitosten rikkoutumisen.

Hinta-arvio esimerkiksi 80:n mittalaitteen koteloiden suunnittelulle sekä tulostamiselle on noin viisi euroa kappaleelta. Tämä sisältää suunnittelun sekä tulostuksen. Optiona samaan työhön voidaan liittää myös elektroniikkajuotosten toteuttaminen, jolloin hintaan tulee hieman lisää, mutta mittalaitteet saa ns. ”avaimet käteen” -palveluna. Yksittäisen tuotantosarjan toteuttamiseksi tämä saattaa olla kustannustehokain vaihtoehto yrityksen kannalta.



Kuvio 14 Kotelon alustava mallinnus (Inweb Oy 2021)

## 7 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä muokattiin olemassa olevaa mittalaitetta ja saatiin käyttökelpoinen, mahdolliseen tuotantoon valmis laite. Testien perusteella laite on todella vähän huoltoa tai säätöä vaativa, joten kustannuksia säästyy isommassa mittakaavassa ja pidemmällä aikajänteellä merkittävästi. Nyt data saadaan myös suoraan digitaaliseen muotoon ja on mahdollista kerätä aiempaa tarkempaa tietoa turpeen lämpötiloista.

Aiemmin data piti kerätä manuaalisesti ja dokumentoida sekä tallentaa se itse. Nyt laitteen muokkauksen jälkeen voidaan prosessidataa kerätä suoraan pilveen ja hallinnoida tietoja siellä. Kun infrastruktuuri saadaan jatkossa pilvipalveluntarjoajan alustoille, niin järjestelmä skaalautuu todella vaivattomasti. Arduinoja voidaan käyttää tulevaisuudessa arvojen mittaamisen lisäksi lähes rajattomasti myös muihin projekteihin, jolloin niiden lähettämä data voidaan ohjata saman verkon yli samaan pilveen. Kun tenantti on organisaatiolla jo olemassa, ei muutosvaiheessa tarvita enää juuri muuta, kuin itse laitteen muokkaaminen ja määrittäminen verkkoon. Data ohjautuu

samaan ympäristöön, kuin aiemminkin ja on IT-osaston konfiguroitavissa halutulla tavalla.

Lähtökohtana on, että samoja mittalaitteita on tällä hetkellä tuotannossa kymmeniä. Näin ollen, kun opinnäytetyössä saatiin yhden laitteen muokkauksen yksikköhinnaksi 50 euroa, tuottaa investointi säästöä jo 50:lla anturilla hyvin nopeasti. Työn tekemisen aikana ei ollut tarkkaan tiedossa mittausrytmit ja tiedon digitoinnin tai käsittelyn menetelmät, mutta vuositasolla tähän on tehostetuillakin toimintatavoilla käytettävä huomattava määrä työtunteja. Voidaan siis ajatella, että opinnäytetyössä saatiin näistä lähtökohdista erittäin kannattava laite.

## 8 Pohdinta

Arduino MKR WAN 1310 osoittautui opinnäytetyössä helpoksi käyttää ja Arduino IDE -ympäristössä ohjelmakoodi rakentui suhteellisen vaivattomasti. Perustason toiminta saadaan siis rakennettua asiaan perehtyneen harrastelijankin toimesta, mutta optimointiin jää todennäköisesti niin ohjelmisto- kuin laitepuolellakin paljon kehitettävää.

Arduinoa koodataan c++ -pohjaisesti, joten muille kuin ammattilaisille voi olla vaikeaa hahmottaa monet pienet asiat, joilla on vaikutusta virrankulutukseen. Esimerkiksi muuttujien käytöllä voi isommassa ohjelmistossa saada akunkestoja lisää. Liukuluku-muuttuja vie määrittelyssä muistia 4 tavua, kun taas kokonaisluku-muuttuja tallettuu 2-tavuisena. Monessa funktiossa voidaan suunnitella logiikka niin, että liukulukuja ei tarvita, vaan suositaan kokonaisluku-rakenteita. Mikäli akun halutaan kestävän mahdollisimman pitkään, on ohjelmiston suunnittelu hyvä jättää ohjelmistoalan yrityksen toteutettavaksi.

Arduino IDE:ssa on valmiina laajasti erilaisia kirjastoja. Näistä esimerkkinä on juuri SAMD-alustoille suunniteltu Low Power –kirjasto. Se on optimoitu käyttämään kyseisten alustojen virransäästöominaisuuksia ja ohjelmiston suunnittelijalla on käytössä laaja valikoima vaihtoehtoja suunnittelussa.

## Lähteet

Float-muuttujan dokumentaatio. 2021. Arduinon verkkosivut. Viitattu 20.3.2021  
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/data-types/float/>

How lipo battery's performance is affected by temperature?2019. Artikkelin Gensacen verkkosivuilla. Viitattu 10.12.2020. <https://www.gensace.de/blog/temperature-affect-lipo-battery-performance/>

Introducing JSON. N.d. JSON-protokollan dokumentaatio. Viitattu 10.4.2021.  
<https://www.json.org/json-en.html>

Lappi, M. 1983. Jyrsinturpeen itsekuumeneminen. Egenskaper-projekti 552028-4. Viitattu 28.3.2021.

Lepoaho, K. 2018. LoRan hyödyntäminen IoT-hankkeissa. Opinnäytetyö. Viitattu 20.3.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168512/Lepoaho\\_Kimmo.pdf?sequence=3](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168512/Lepoaho_Kimmo.pdf?sequence=3)

Lithium Polymer Battery Guide. 2008. Artikkelin Revoticsin verkkosivuilla. Viitattu 30.11.2020. [https://revotics.com/articles/lithium\\_polymer\\_lipo\\_battery\\_guide?v=a284e24d5f46](https://revotics.com/articles/lithium_polymer_lipo_battery_guide?v=a284e24d5f46)

Meaning of modulation in English. Cambridgen yliopiston sanastohaku. Viitattu 7.3.2021. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/modulation>.

Park & Hwang. 2017. Challenges and Experiment with LoRaWAN. Konferenssijulkaisu. Viitattu 28.3.2021. [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-5041-1\\_46](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-5041-1_46)

Riekko, T. 2020. Kosteuden ja lämpötilan mittauslaitteen suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Viitattu 10.1.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/355629/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6\\_Timo\\_Riekko.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/355629/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_Timo_Riekko.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

RSSI. 2020. Teltonikan verkkosivut. Viitattu 10.4.2021. <https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSSI>

Signal-to-noise ratio. N.d. Artikkelit techtargetin verkkosivuilla. Viitattu 20.1.2021. <https://searchnetworking.techtargget.com/definition/signal-to-noise-ratio>

Soininen, T. 2019. LoRaWAN-verkon peittoaluelaskennan optimointi. Opinnäytetyö. Viitattu 10.12.2020. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/165957/Soininen\\_Tuomas.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/165957/Soininen_Tuomas.pdf?sequence=2)

Tenant roadmap for Microsoft 365. 2020. Microsoftin dokumentaatio. Viitattu 28.2.2021. <https://docs.microsoft.com/en-us/microsoft-365/enterprise/tenant-roadmap-microsoft-365?view=o365-worldwide>

Tuoteseloste ja datalehti. Godsontechology:n verkkosivut. N.d. Viitattu 15.2.2021. <https://www.godsontechology.com/lithium-packs/1603.html>

Turpeen kuumeneminen ja itsesytyminen. 1997. Artikkelit Suo ja Turve -lehdessä. Viitattu 30.10.2020.

Turvetuotantoalueella syttyi tulipaloja Siikajoella ja Siikalatvalla. 2020. Uutinen Kalevan verkkosivuilla. Viitattu 18.4.2021. <https://www.kaleva.fi/turvetuotantoalueilla-syttyi-tulipaloja-siikajoella/2589967>

What are LoRa and LoRaWAN? N.d. Lora-kehittäjien verkkosivut. Viitattu 18.4.2021. <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

What is LoraWAN?. N.d. Lora-Allianssin verkkosivut. Viitattu 11.12.2020. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>

## Liitteet

### Liite 1. Arduinoon ladattu koodi

```

LoraSendAndReceive$ arduino_secrets.h
#include <ArduinoLowPower.h>
#include <MKRWAN.h>
#include <D:\Arduino\Thermistor\thermistor.h>
#include <D:\Arduino\Batterylevel\Batterylevel.h>
float T;
float A;

LoRaModem modem;
String appEui = "70B3D57ED0034345";
String appKey = "F7D31B220D043EDCB64E781F05525A31";

void setup() {

  if (!modem.begin(EU868)) {

  };
  int connected = modem.joinOTAA(appEui, appKey);
  if (!connected) {

  }

  // Set poll interval to 60 secs.
  modem.minPollInterval(60);

}

void loop() {

  T = lampotila();
  A = Batterylevel();
  String msg = "Data:";
  String viesti = msg + ' ' + T + ' ' + A;

  for (unsigned int i = 0; i < viesti.length(); i++) {
    (viesti[i] >> 4, HEX);
    (viesti[i] & 0xF, HEX);

  }

  int err;
  modem.beginPacket();
  modem.print(viesti);
  err = modem.endPacket(true);
  if (err > 0) {
    Q = 1;

  } else {
    Q = 2;

  }

  LowPower.deepSleep(3600000);
}

```

## Liite 2. Mittalaitteen kytkentäkaavio

