



Laboratorion lämpötilaseurantajärjestelmän kehittäminen

Tomi Pekurinen

2022 Laurea



Laurea-ammattikorkeakoulu

Laboratorion lämpötilaseurantajärjestelmän kehittäminen

Tomi Pekurinen
Tietojenkäsittely
Opinnäytetyö
Helmikuu, 2022

Tomi Pekurinen

Laboratorion lämpötilaseurantajärjestelmän kehittäminen

Vuosi

2022

Sivumäärä

32

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Vita Laboratoriot Oy:n kylmä- ja lämpökaappien lämpötilaseurantajärjestelmää. Vita Laboratorion tämänhetkinen lämpötilojenseurantajärjestelmä ei mahdollista seuranta etänä. Henkilökunta käy kylmä- ja lämpökaappien luona aktiivisesti tarkistamassa lämpötiloja. Kehitteillä oleva lämpötilojenseurantajärjestelmä vähentää henkilökunnan työtä ja parantaa näytteiden ja reagenssien säilytysturvallisuutta.

Opinnäytetyössä käytettäväksi lämpötila-antureiksi valittiin Ruuvi Innovations Oy:n digitaaliset anturit. Projektin aikana tutkittiin Ruuvien antureiden soveltuvuutta Vita Laboratorion käyttöön. Projektissa tehtiin myös vertailevaa tutkimusta muiden valmistajien digitaalisiin lämpötila-antureihin. Tutkimusmenetelmät olivat kokeellinen tutkimus ja määrällinen tutkimus. Tutkimusten aikana antureita vertailtiin keskenään ja vertailua tehtiin myös luotettavaksi todeutuun referenssimittariin. Tutkimusten perusteella pystyttiin selvittämään digitaalisten antureiden toimintakykyä alhaisissa lämpötiloissa ja kuuluvuutta laboratorioden tiloissa. Samalla pystyttiin selvittämään antureiden käyttäjäystävällisyyttä henkilökunnan tarpeita ajatellen. Saatujen tuloksien perusteella Vita Laboratoriossa todettiin antureiden soveltuvan käytettäväksi.

Jatkokehitystoimenpiteinä suunniteltiin Vita Laboratoriolle omaan käyttöön soveltuvaa lämpötilojenseurantajärjestelmää. Omassa lämpötilojenseurantajärjestelmässä palvelin sijaitsee virtuaaliympäristössä ja tietokantasovelluksena toimii InfluxDB. Käyttäjille lämpötilojen datan visuaaliseksi tuo Grafana-sovellus. Jatkokehityksessä lämpötilojenseurantajärjestelmässä on myös suunniteltu lämpötilaraja-arvojen ylityksistä tulevia hälytysilmoituksia käyttäjille esimerkiksi sähköpostilmoitusten kautta.

Tomi Pekurinen

Development of a laboratory temperature monitoring system

Year

2022

Pages

32

The objective of this bachelor's thesis was to develop Vita Laboratory Ltd.'s temperature monitoring system for refrigerators and hot air ovens. In Vita Laboratory's current temperature monitoring system, it is not possible to remotely monitor temperatures. The temperature monitoring system under development reduces personnel's work and improves the preservation safety of samples and reagents.

Ruuvi Innovations Ltd.'s digital temperature sensors were chosen for this bachelor's thesis project. The project included a comparative study on digital temperature sensors from the other sensor manufacturers. The sensors were also compared against other Ruuvi sensors and a reliable reference meter. Based on the research, it was possible to determine the performance of digital sensors at low temperatures and coverage area in laboratory facilities. At the same time, it was possible to find out the user-friendliness of the selected devices in terms of personnel's needs. Based on the results obtained in Vita Laboratory, it was determined that the selected sensors are suitable for use in Vita Laboratory.

As a follow-up development plan, a temperature monitoring system suitable for Vita Laboratory's own use was planned. The server is in a virtual environment and the data warehouse software is InfluxDB. Grafana software visualises the temperature data to users. The further developed temperature monitoring system includes also alarm notifications for users about exceeding the temperature limit values, for example via e-mail notifications.

Keywords: Temperature monitoring, sensors, laboratory, wireless

Sisälllys

1	Johdanto.....	6
2	Työn lähtökohdat.....	7
2.1	Toimeksiantaja Vita Laboratoriot Oy.....	7
2.2	Kehittämiskohteen kuvaus ja tavoitteet.....	8
2.3	Keskeiset käsitteet.....	9
2.4	Eettisyys.....	10
2.5	Aiheen rajaus.....	10
3	Digitaalinen lämmönseuranta.....	11
4	Mittauslaitteet ja -tekniikat.....	11
5	Vaihtoehtoiset lämpötilaseurantajärjestelmät.....	12
5.1	Vaisala.....	13
5.2	LogTag.....	13
5.3	Suomen Lämpömittarit Oy.....	14
5.4	Eupry.....	14
6	Ruuvien tuotteet tässä projektissa.....	14
6.1	RuuviTag-anturit.....	15
6.1.1	RuuviTagin konfigurointi.....	16
6.1.2	Ruuvi Tagien tarkkuuden testaaminen.....	17
6.2	Ruuvi Gateway.....	18
6.3	Gatewayn asennus.....	20
7	Kehittämiskohteen tulokset.....	21
8	Kehitystyössä tulleet ongelmat ja ratkaisut.....	22
9	Jatkokehitysehdotukset.....	24
9.1	Palvelin.....	25
9.2	Tietokannat.....	25
9.3	Grafana.....	25
9.4	Home Assistant.....	26
9.5	Yhteenveto jatkokehityksestä.....	27
	Lähteet.....	28
	Kuviot.....	32
	Taulukot.....	32

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Vita Laboratoriot Oy. Vita Laboratoriot Oy on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T171 (Finas 2021). Vita laboratoriot noudattaa laadunvalvonnassa standardeja SFS-EN ISO/IEC 17025 ja SFS-EN ISO 15189 (Vita laboratoriot 2021a).

Toimeksiannon tehtävänä on kehittää kylmä- ja lämpökaapeissa olevien näytteiden lämpötilojen seuranta luotettavammaksi digitaalisten lämpötila-antureiden avulla. Lämpötilojen seuranta on tärkeää analysointivaiheissa käytettävien reagenssien säilyvyyden takia. Lisäksi lämpökaapeissa kasvatettavien bakteeriviljelymaljojen lämpötilan seuranta on tärkeää potilastulosten luotettavuuden takaamiseksi. Jääkaapeissa ja pakastimissa säilytetään myös analyysia tai jatkolähetystä odottavia näytteitä.

Vitan tämänhetkinen manuaalinen lämpötilojenseurantamalli vie henkilökunnan resursseja ja ei huomioi tai varoita henkilökuntaa, jos lämpötilat kylmä- tai lämpökaapeissa äkillisesti kasvaisivat laitevian takia vaarantaen näytteiden ja reagenssien oikean säilytyksen. Lisäksi lämpötilapoikkeaman ajallinen keston seuranta ei ole mahdollista. Reagenssit ovat arvokkaita ja kylmä- tai lämpölaitteen hajotessa rahallinen menetys voi olla suuri.

Digitaalisten lämpötila-antureiden markkinoilla on useita kotimaisia ja kansainvälisiä vaihtoehtoja. Tämän opinnäytetyön ja Vitan käyttämäksi vaihtoehdoksi valikoitui kotimaisen Ruuvi Innovations Oy:n tuotteet. Ruuvi Innovations Oy on kotimainen vuonna 2016 perustettu IoT-laitteisiin erikoistunut yritys. Ruuvi Innovationsin anturit käyttävät nykyaikaista Bluetooth-tekniikkaa ja yhdyskäytävän avulla järjestelmä voidaan yhdistää pilvipalveluun etäluettavaksi. (Ruuvi 2021a.)

Opinnäytetyössä käydään ensin läpi Vitan tämänhetkistä lämpötilaseurantamenetelmää ja sen jälkeen millä tavalla lämpötilanseuranta on tarkoitus kehittää. Tämän jälkeen tutkitaan digitaalista lämmönseuranta yleisesti ja vaihtoehtoja markkinoilla. Lopuksi käydään läpi projektiin valikoidut laitteet ja kehittämiskohteen tulokset sekä tehdään vertailua, miten hyvin asetetut tavoitteet saavutettiin.

2 Työn lähtökohdat

Vita Laboratoriolla on käytössä kylmä- ja lämpökaappeja useaa käyttötarkoitusta varten. Näissä kaapeissa on tärkeää, että lämpötilat ovat niiden käyttötarkoituksen mukaisia. Kaapeissa voidaan säilyttää esimerkiksi kliinisen laboratorion puolella kemian alueen tutkimuksiin liittyviä näytteitä. Lämpö- ja kylmäkaapeissa säilytetään myös kliinisen mikrobiologian näytteitä mikrobiologian eri osa-alueilta, joita ovat esimerkiksi bakteriologia, infektioserologia ja mykologia. (Vita Laboratoriot 2022b.) Elintarvikelaboratorion puolella tutkitaan puolestaan esimerkiksi eläinsalmonellaa ulosteista ja ympäristönäytteistä sekä elintarvikkeiden mikrobiologista laatua säilyvyysajan puitteissa (Vita Laboratoriot 2022c).

Kylmä- ja lämpökaappien tämänhetkinen lämpötilojen seuranta tapahtuu merkitsemällä keran vuorokaudessa kylmä- ja lämpökaapin lämpötilat lomakkeelle. Lomake sisältää vuorokauden alimman, korkeimman ja mittaushetken lämpötilalukeman. Kirjaamiseen jälkeen lomakkeen tiedot välitetään IMS-järjestelmään. IMS-järjestelmään Vitan työntekijät voivat tallentaa dokumentteja myöhempää tarkastelua varten.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää tätä nykyistä toimintatapaa siten, että manuaalista kirjaamista ei enää tarvitse tehdä ja lämpötilojen seuranta on käyttäjäystävällistä ja mahdollista myös etänä.

Uudesta järjestelmästä hyötyy koko yritys. Vitassa on käytössä tällä hetkellä yli seitsemänkymmentä kylmä- ja lämpökaappia ja vanha järjestelmä vie paljon henkilökuntaresursseja. Uutta järjestelmää pystyy IT-osaston lisäksi hallinnoimaan muiden osastojen valitut vastuuhenkilöt.

2.1 Toimeksiantaja Vita Laboratoriot Oy

Vita Laboratoriot Oy on vuonna 1994 ylläkäri Jukka Hurmeen perustama kliinisiä laboratorio-tutkimuksia tuottava perheyritys. Laboratorio sijaitsee Helsingin Hernesaassa. Vuonna 2012 toiminta laajentui ympäristölaboratoriopalveluihin. Läheinen yhteistyökumppani Vitalle on saksalainen LADR GmbH, Labor Dr. Kramer & Kollege. LADR on Saksan toiseksi suurin keskuslaboratorio, jossa tehdään noin 150 miljoonaa laboratorio tutkimusta vuodessa, joka on enemmän kuin Suomessa yhteensä. Yhteistyö mahdollistaa sellaisten tutkimusten teettämisen, jotka eivät niiden harvinaisuuden tai vaatuuksien vuoksi ole mahdollista suomalaisissa keskuslaboratorioissa. Vitan teettämistä tutkimuksista suoritetaan kuitenkin yli 95 % Vitan omassa laboratoriossa. (Vita laboratoriot 2021d.)

Vita Laboratoriot Oy on nopeasti kasvava yritys, ja tästä kertovat tilastot viime vuosilta. Vuonna 2019 liikevaihto oli 6 490 000 euroa ja henkilöstön lukumäärä oli

kahdeksankymmentä. Vuonna 2020 liikevaihto oli puolestaan 19 866 000 euroa ja henkilöstön lukumäärä oli kasvanut siten, että yrityksessä työskenteli 110 työntekijää. (Kauppalehti 2021.)

2.2 Kehittämiskohteen kuvaus ja tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä kehittämiskohteenä toimii Vitan kylmä- ja lämpökaappien lämpötilan seuranta. Projektin idea on lähtöisin ICT-päällikkö Mikko Päiviseltä. Vitalla on ollut tavoitteena kehittää ja nykyaikaistaa olemassa olevaa lämpötilaseurantajärjestelmää, mutta sopivien laitteiden ja sovelluksien löytäminen, jotka täyttävät laitteille asetetut laatuvaatimukset on osoittautunut ja hankalaksi.

Työssä käytettävät tutkimusmenetelmät ovat kokeellinen tutkimus ja määrällinen tutkimus. Kokeellisessa tutkimusmenetelmässä voidaan selvittää olosuhteiden vaikutusta muuttujiin ja kokeellinen tutkimus myös mahdollistaa kontrolloitujen havaintojen tekemisen ja luotettavat tutkimustulokset. (Jyväskylän yliopisto 2015a.) Määrällisen tutkimusmenetelmän avulla voidaan puolestaan tehdä vertailua tuloksista tilastojen ja numeroiden avulla (Jyväskylän yliopisto 2015b).

Suunnitteilla oleva järjestelmä pitää sisällään Ruuvi Innovations Oy:n RuuviTag antureita ja Ruuvi Gatewayn. Vitalla oli ennen tämän projektin käyttöönottoa ollut testissä muitakin anturivaihtoehtoja, mutta Ruuvi Innovations Oy:n RuuviTagit vaikuttivat sopivilta, joten projektia päätettiin viedä eteenpäin niiden kanssa.

Työssä käytetään mahdollisimman paljon Ruuvien omia sovelluksia, koska projektin tässä vaiheessa on tärkeintä taata, että Ruuvien tuotteet vastaavat laadultaan Vitan vaatimuksia. Antureiden pitää esimerkiksi kyetä toimimaan tietyllä tarkkuudella ja eri osastojen vaatimuksissa on tarkkuuden suhteen eroja. Projekti pitää sisällään paljon tuotteiden testausta. On tärkeää, että antureiden lähettämät lämpötilalukemat pitävät paikkansa ja signaali on tarpeeksi voimakasta ja yhtenäistä, että dataa saadaan tallennettua luotettavasti. Uuden järjestelmän tulisi myös pystyä lähettämään ilmoituksia henkilökunnalle, jos antureille asetetut raja-arvot ylittyvät.

Tutkimuskysymykset:

- Miten Ruuvi Innovationsin tuotteet soveltuvat laboratorio-olosuhteissa tapahtuvaan lämpötilan seurantaan?
- Oman virtuaalipalvelimen kehitysvaatimukset
- Markkinatilanne

2.3 Keskeiset käsitteet

AD-muunnoksessa fyysikaalinen äänen aaltoliike tallennetaan digitaaliseen muotoon (Eronen, M. 2011).

Anturi tarkoittaa laitetta, joka havaitsee sähköisiä, fyysisiä tai kemiallisia muutoksia ja muuntaa saatua informaatio ihmisten ymmärtämiin mittayksiköihin (WatElectronics 2019).

Dataloggeri on laite, joka seuraa ja tallentaa olosuhteiden muutoksia. Laitteesta ja mittauspaikasta riippuen seurattavat tiedot voivat olla esimerkiksi lämpötila, kosteus, jännite, sähkövirta, paine tai liike. (Omega 2018.)

Grafana on sovellus, jonka paneelin avulla käyttäjät voivat tuoda tietokannoista dataa helposti ymmärrettävään visuaaliseen muotoon. Esimerkiksi antureista kerättyä tietoa voidaan esittää käyttäjille kuvaajien muodossa. (Grafana Labs 2021a.)

IMS-ohjelmisto on toimintajärjestelmä laadunvalvontaa varten. IMS on selainpohjainen pilvipalvelu jonne käyttäjät voivat tallentaa esimerkiksi organisaation prosessikuvauksia, työtä ohjaavaa dokumentaatiota ja käsikirjoja. (Arter 2022.)

HTTP-protokolla määrittää missä muodossa kuvat, linkit, tai muut www-elementit käyttäjille esitetään ja millä tavalla tieto koodataan eri käyttöjärjestelmiä varten (Hakala, M & Vainio. 2005. 296).

InfluxDB on avoimen lähdekoodin aikasarjatietokanta. Aikasarjatietokannat sopivat toimintonsa puolesta hyvin reaaliaikaisen analytiikan ja esineiden internetin toimintojen ja tiedon keräämiseen. (Influxdata 2021a.)

MQTT on kevytviestintäprotokola. Ensisijainen vaihtoehto, kun kodin älylaitteita liitetään internettiin (Hillar, Gaston C. 9).

Raspberry Pi on luottokortin kokoinen tietokone, jonka pystyy liittämään tietokoneeseen tai televisioon ja sitä voi hallita hiirellä ja näppäimistöllä. Raspberryn avulla käyttäjät voivat tehdä samoja asioita kuin perinteisellä tietokoneella, mutta sillä on hyvä kyky integroida esimerkiksi Bluetooth- tai Wi-fi-laitteiden kanssa. (Cook, Mike & McManus. 2017. 9-10.)

Reagenssi on yhdiste tai seos, usein myös liuos, jolla toinen aine tai seos voidaan osoittaa, eristää tai määrittää. (Marie 2022.)

RSSI tarkoittaa vastaanotetun langattoman signaalin voimakkuuden mittaamista (NetSpot 2021).

Ruuvi Gateway on laite, jonka avulla muodostetaan yhdyskäytävä RuuviTagien ja pilvipalvelun välillä, joko ethernet tai wi-fi yhteyttä hyödyntäen.

RuuviTag tai RuuviTag pro tarkoittaa langatonta Bluetooth lämpötila-anturia.

Virtuaalipalvelin ja virtuaalikone tarkoittaa konetta, joka sijaitsee internetissä ja niistä yleisesti puhutaan pilvipalveluina. Yleisin tapa käyttäjille omistamisen sijaan on vuokrata laskentatehoa ja tallennuskapasiteettia pilvipalvelun kautta. Pilvipalvelujen keskeisimmät ominaisuudet ovat olleet olemassa jo 1970-luvulla, mutta yleisemmin tulleet käyttöön 2000-luvun alkupuolella. (Valtionvarainministeriö. 2021, 16.)

Wi-fi on yleisesti käytetty tavamerkkiniimitys langattomalle lähialueen verkolle (WLAN), joka kuuluu IEEE 802 standardiperheeseen. Wi-fi on suunniteltu toimimaan yhdessä Ethernetin kanssa ja tämä tarjoaa monille käyttäjille mahdollisuuden langattomaan internet-yhteyteen. (Waltari 2020, 4.)

2.4 Eettisyys

Ammattikorkeakouluille on omat opinnäytetöitä koskevat eettiset suositukset. Eettiset suositukset pitävät sisällään lainsäädäntöä esimerkiksi tietosuojalaista ja tekijänoikeuslaista. Eettisiä suosituksia sisältävässä raportissa on päivitetty henkilötietojen käsittely ja tietosuojan osuutta vuonna 2020. Projektissa käytettävissä kylmä- ja lämpökaapeissa säilytetään näyttöitä ja reagensseja, mutta henkilötietoja ei tarvitse kuitenkaan käsitellä, joten henkilötiedot eivät myöskään vaarannu. (Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. 2020, 7.)

Tietotekniikan ammattilaisen etiikan ohjeistossa mainitaan, että alan ammattilainen ei saa väärinkäyttää asemaansa. Tietotekniikan alan ammattilaisen on myös tiedettävä mitä hän osaa ja mitä ei osaa ja tällä tavalla kantaa vastuunsa työstään. Ammattilainen ei myöskään panttaa tietoa, vaan pyrkii lisäämään oman osaamisen lisäksi myös muiden osaamista. Ammattilainen suojaa myös organisaation ja asiakkaan suojaamista vaativat tiedot. Tietotekniikka-alan ammattilainen osaa myös ottaa vastaan kritiikkiä ja sen pohjalta ottaa tapahtuneista asioista oppia. (Tieto- ja viestintätekniikan ammattilaiset 2002.)

Projektin aikana pitää myös huomioida HTK-ohje, jossa mainitaan yleisen tarkkuuden, huolellisuuden, rehellisyyden ja tulosten tallentamisen tutkimuksen aikana ja niiden tulosten arvioinnissa (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2021).

2.5 Aiheen rajaus

Tässä työssä tutkitaan miten tarkkoja Ruuvi Innovations Oy:n anturit ovat ja riittääkö tämä tarkkuus Vitan suunnittelemaan käyttötarkoitukseen. Tässä opinnäytetyössä ei oteta kantaa

kuka tai ketkä ovat vastuussa laboratoriossa lämpötilaseurannasta tai siihen, mihin lämpötilaseurantaan tarkoitetut tiedot dokumentoidaan. Tässä projektissa ei myöskään suunnitella lämpötilaseurantaan liittyviä työtapoja, kuten miten laitteisiin vaihdetaan paristoja tai hälytyksiin reagoidaan. Eikä myöskään siihen miten kaappien asetuksien säätäminen tapahtuu, tai siihen millä tavalla laboratoriossa toimitaan lämpötilapoikkeaminen kohdalla.

Tässä projektissa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon Ruuvin omia valmiita sovelluksia ja palveluja. Vitalla on tarkoitus tulevaisuudessa kerätä Ruuvin antureiden lähettämä data omalle virtuaalipalvelimelle. Kuitenkin työn laajuuden takia tässä opinnäytetyössä rajataan pois oman palvelimen perustaminen, mutta suunnitellaan sopivaa ratkaisua jatkokehitystä ajatellen.

3 Digitaalinen lämmönseuranta

1970-luvun alusta asti on ollut selvää, että digitaalisten laitteiden leviäminen tulee yleistymään. Samalla analogisista laitteista hurjimmat ennusteet olivat, että ne tulevat kokonaan häviämään, mutta näin ei ole sentään käynyt, Elektroniikka ja mikropiirit ovat kehittyneet niin paljon, että digitaalisilla antureilla saavutetaan tarkempia lukemia edulliseen hintaan. (Tsividis 2002. 1.)

Digitaalinen data muodostuu lukujoukoista. Kaikki luvut ovat matemaattisen lukuavaruuden pisteitä, jotka esittävät datan tiettyjä arvoja. Digitaalisen datan ominaisuuksiin kuuluu mahdollisuus siirtää sitä lukujärjestelmästä toiseen. Yleisesti ottaen digitaallilaitteissa käytetään niin sanottua binääri- eli kaksikantajärjestelmää. Helpommin hahmotettava järjestelmä ihmisille on kymmenkantajärjestelmä, jota näkee esimerkiksi juuri lämpömittareissa. Digitaalisen datan ero lämpötilojen esityksessä analogiseen verrattuna on se, että lukuarvoja voidaan esittää vain äärellisellä tarkkuudella. Voi olla, että lämpötilatarkkuudeksi on määritetty esimerkiksi 0,1 °C tarkkuus, jolloin tätä pienemmät erot jäävät havaitsematta. (Teknillinen korkeakoulu 2003a.)

Analogisten antureiden eduksi voidaan kuitenkin lukea niiden hyvät lämpötilojen sieto-ominaisuudet, kun mennään erittäin mataliin tai korkeisiin lukemiin, kun taas digitaalisissa ne on yleensä rajoitettu noin -40 °C ja +125/+150 °C asteen välille (TE connectivity 2020. 2-3).

4 Mittauslaitteet ja -tekniikat

Lämpötila-antureita on monipuolisesti markkinoilla sekä digitaalisina että analogisina. Analogisessa tiedonsiirrossa signaali vastaa arvoiltaan suoraan samaa dataa, joka siirretään ja

antureiden lisäksi esimerkki laitteesta, joka käyttää analogista signaalia on mikrofoni (Crecraft David, Gergely & Gergely. 2002. 1-2). Tyypillisesti analogiset lämpötila-anturit ovat termistoreja. Termistori on lämpötiloille herkkä vastus, jota käytetään lämpötilamuutosten havaitsemiseen. Termistorit muuttavat fyysistä ulkonäköään lämpötilamuutoksissa. Termistorit on valmistettu keraamisesta materiaalista, kuten nikkelin, mangaanin tai koboltin oksideista, jotka on päällystetty lasilla, mikä mahdollistaa niiden muodonmuutoksen helposti. Kun lämpötila nousee, termistorin sähkövastus kasvaa ja vastaavasti, jos lämpötila laskee, niin silloin vastus pienenee. (Arunendra 2019.)

Analogisen tiedonsiirron ominaisuuksia

- Signaali vääristyy ja vaimenee helposti
- Tehoa lisätessä signaalin häiriöt vahvistuvat myös
- Signaalin vääristymien korjaaminen on hankalaa, koska häiriötä ei pysty erottamaan alkuperäisestä signaalista (Teknillinen korkeakoulu 2003b).

Elektronisia antureita tai sähkökemiallisia antureita, joissa tiedon muunnos ja tiedonsiirto tapahtuu digitaalisesti, kutsutaan digitaalisiksi antureiksi. Digitaalisessa tiedonsiirrossa tehdään analogiadigitaalinen (eli AD) -muunnos ja itse signaali tulee dataa kuvaavista arvoista, jotka ovat numeraalisessa muodossa. Digitaaliset anturit koostuvat pääosin kolmesta osasta, jotka ovat anturi, kaapeli ja lähetinlaite. Digitaalisissa antureissa mitattu signaali muunnetaan suoraan digitaalseksi signaaliulostuloksi itse digitaalisen anturin sisällä. (Agarwal 2015.)

Digitaalisen tiedonsiirron ominaisuuksia

- Osa informaatiosta katoaa AD-muunnosta tehtäessä.
- Kuten myös analogisessa niin myös digitaalisessa tiedonsiirrossa signaali vaimenee ja vääristyy, mutta se voidaan uusida toistimissa.
- Signaalin sallittujen arvojen määrää on rajoitettu, joten suurin osa vääristymistä voidaan korjata.

5 Vaihtoehtoiset lämpötilaseurantajärjestelmät

Lämpötila-antureita on ollut jo pitkään markkinoilla ja täten ne eivät ole mikään uusi ilmiö. Pääosin tarjonta kuitenkin rajoittuu analogisiin, mutta nykyään digitaaliakin vaihtoehtoja on useita kotimaisillakin markkinoillakin. Kotimaisista vaihtoehtoista valitsin vertailtaviksi Vaisala Oyj:n ja Suomen Lämpömittarit Oy:n. Vaisala Oyj on maailman suurimpia yrityksiä alallaan ja Suomen lämpömittarit Oy selvästi pienempi, mutta mielenkiintoinen vaihtoehto kuitenkin. Tanskalainen Eupry ja Uusi-Seelantilainen LogTag edustaa tässä raportissa yrityksiä Suomen ulkopuolelta.

5.1 Vaisala

Vaisala mainostaa sivuillaan olevansa maailman johtava sään, ympäristön ja teollisuuden mittausratkaisuihin erikoistunut yritys. Vaisalassa työskentelee tänä päivänä yli 1900 työntekijää globaalisti ja yrityksen tuotteita on käytössä maapallon lisäksi Mars-planeetalla (Vaisala 2021.)

Vaisalalta löytyy esimerkiksi viewLinc-olosuhdevalvontajärjestelmä, jonka avulla käyttäjät voivat seurata muun muassa lämpötilaa, kosteutta, hiilidioksidia, paine-eroja, tasoja ja ovi-kytkimiä. Vaisala tarjoaa dataloggereilleen verkkoyhteysvaihtoehtoiksi Vaisalán omaa VaiNet-tekniikkaa, Power over -ethernetiä, Wi-fiä tai langallista yhteyttä.

ViewLinc ohjelmiston kautta käyttäjä pystyy seuraamaan dataloggereiden lähettämiä tietoja joko tietokoneen tai mobiilisovelluksen kautta. Vaisalán dataloggerit antavat hälytyksen raja-arvojen ylityksestä joko sähköpostitse, tekstiviestillä, puheluna tai hälytystornien kautta. Dataloggereiden tietojen eheys on myös suojattu verkkohäiriöiden aikana sillä dataloggereiden sisäiseen muistiin voidaan tallentaa tietoa useiden kuukausien ajan ja verkkoyhteyden palauttua dataloggerit lähettävät tallentamansa tiedon käyttäjille. Toimintalämpötilaksi etämittapöille Vaisala lupaa väliä $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Vaisala 2019. 1-3.)

5.2 LogTag

LogTagin dataloggereita käytetään elintarvike-, terveydenhuolto-, lääke- ja maatalousteollisuudessa, ja monet maailmanlaajuisesti tunnustetut organisaatiot, kuten UNICEF ja Maailman terveysjärjestö, käyttävät niitä. (LogTag 2021a)

LogTagilla on pilvipohjainen verkkoympäristönhallintajärjestelmä LogTag Online (LTO), joka tarjoaa hälytysilmoituksia, sisäistä valvontaa, tietojen tallennusta ja raportointitoimintoja. LogTag online avulla käyttäjät voivat jakaa ja tutkia tietoja suojatussa ympäristössä.

LogTagilla on kaksi online dataloggeria. UTREL30-30Wifi ja UTRED30-WiFi. UTREL30 on tarkoitettu käytettäväksi alhaisissa lämpötiloissa ja sen toimintalämpötila on $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä ja ulkoisen anturin mittausväli on $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tarkkuutta dataloggerille luvataan $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa $\pm 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. UTRED30 dataloggerin toimintalämpötilat ovat samaa luokkaa UTREL30 dataloggerin kanssa, mutta tarkkuus alhaisissa lämpötiloissa ei ole aivan samaa tasoa. Virtaa dataloggerit saavat USB-pistokkeen kautta tai varavirtana toimivien AAA-paristojen kautta. LogTagin dataloggerit ovat kooltaan 141 mm (Korkeus) x 72 mm (Leveys) x 18 mm (Paksuus) (LogTag 2021b). Nämä ovat selvästi suurempia kuin RuuviTagit, jotka ovat halkaisijaltaan 52 mm ja korkeudeltaan 12,55 mm, mutta hyvänä puolena LogTagin dataloggerissa on laitteessa oleva LCD-näyttö.

5.3 Suomen Lämpömittarit Oy

Suomen Lämpömittarit Oy on vuonna 1946 perustettu yritys. Yrityksen ensimmäiset lämpömittarit olivat lasista puhallettuja ja yritys on tuottanut digitaalisia lämpötilamittareita 1980-luvun lopulta asti. Langatonta teknologiaa on ollut saatavilla Suomen Lämpömittarit Oy:n mukaan 2000-luvun alusta saakka. Yrityksen tyypillisimpiä asiakkaita ovat kotitaloudet, terveydenhuolto, kiinteistöhuolto ja rakennusala. (Suomenlampomittarit 2020a)

Suomen Lämpömittarit Oy tarjoaa esimerkiksi langattomaan lämpötilanseurantaan varten WeatherHub-Observer pakettia. Laitevaatimuksina ovat iOS 8.0 tai uudempi käyttöjärjestelmä tai Android 3.2 tai uudempi. WeatherHub järjestelmän kautta laitteiden käyttäjät voivat hallita enimmillään 50 lähetintä saman aikaisesti enintään 200 metrin etäisyydeltä. Tietoa siirretään puhelimen sovellukseen yhdyskäytävän kautta 7 minuutin välein tai jos lämpötila muuttuu enemmän kuin 0,6 °C. Toimintalämpötilaksi yritys lupaa väliä -40 °C ja +60 °C, kun kosteus on välillä 1-99 %. Mittaustulokset saa yrityksen verkkosivujen kautta sovelluksessa esitetynä edellisen vuorokauden ajalta ja sähköpostitse kolmen kuukauden ajalta. Lämpötila tarkkuus on ±0,5 °C (Suomenlampomittarit 2020b)

5.4 Eupry

Eupry on 2014 UNICEF:n ja Tanskan teknillisen yliopiston kanssa yhteistyössä perustettu projekti. Yritys sijaitsee Kööpenhaminassa, mutta sillä on asiakkaita ympäri Eurooppaa ja Eupryn tuotteita voi löytää esimerkiksi laboratorioista, sairaaloista, apteekeista ja tehtaista. Eupryn ensimmäinen tuote tuli markkinoille 2015 ja samana vuonna yritys sai myös ensimmäiset asiakkaansa. Tänä päivänä Euprylla on jo satoja asiakkaita. (Eupry 2022a.)

Eupryn mittalaitteet toimivat välillä -196 °C ja +150 °C ja tiedon eheyden säilymistä voidaan turvata 20-120 päivän sisäisellä dataloggereiden muistilla. Pilvipalvelusta tietoa on saatavilla sopimuksen mukaan kuukausista vuosiin. Dataloggerit voivat varoittaa käyttäjiä lämpötilarajojen ylityksistä esimerkiksi sähköpostitse, tekstiviestillä tai puhelinsoittohälytyksellä. Eupry käyttää tiedon lähetyksessä LoRaWan, Narrowband IoT tai Wi-Fi-yhteyttä. (Eupry 2021b.)

6 Ruuvin tuotteet tässä projektissa

Tätä projektia varten Ruuvi Innovations Oy:ltä hankitaan RuuviTag- ja RuuviTag Pro -antureita ja näiden lisäksi RuuviGateway. RuuviTagit lähettävät dataa RuuviGatewaylle Bluetooth-yhteyttä käyttämällä, ja RuuviGateway toimii yhdyskäytävänä antureille. Yhdyskäytävä mahdollistaa pidemmän toimintasäteen antureiden datan vastaanottamiselle ja tuo mukanaan Ruuvin oman pilvipalvelun, jossa on myös selainkäyttöliittymä. (Ruuvi 2021b.) Ilman yhdyskäytävää

käyttäjällä on saatavilla Ruuvin Ruuvi Station -mobiilisovellus, jota kautta käyttäjät pystyvät seuraamaan mobiililaitteen avulla antureiden lähettämiä lukemia, jos mobiililaite on lähellä antureita. Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä RuuviTag Pro:sta ei ollut vielä saatavilla kovinkaan monipuolisesti tietoa lukuun ottamatta sitä, että se toimii laajemmalla lämpötila-asteikolla ja kykenee pienempiin mittausvirheisiin.

6.1 RuuviTag-anturit

RuuviTag on langaton avoimeen lähdekoodiin pohjautuva Bluetooth-anturi. RuuviTagin avulla käyttäjä voi mitata lämpötilaa, ilmankosteutta, painetta ja anturin liikettä. Anturit käyttävät firmware-sovelluksen kautta signaalin lähetyksessä 0,8 Hz taajuutta ja antureita päivitetään oletuksena 0,4 Hz taajuudella, mikä mahdollistaa, että kahdessa peräkkäisessä lähetyksessä on samat anturitiedot. Tämä mahdollistaa paremman tiedonlähetyksen luotettavuuden. (Ruuvi. 2021c. 1-3.)

RuuviTagit käyttävät nRF52832-protokollaa, joka tukee Bluetooth 5 -ominaisuutta. Bluetooth 5 mahdollistaa nopeamman tiedonsiirron ja laajemman kuuluvuusalueen sekä pidemmän kes-
ton antureiden pattereille. (Nordic semiconductor 2021. 1-2.) RuuviTagin suosituskäyttölämpötilat oletusparistolla ovat välillä -20 °C ja +70 °C ja erikoisparistolla -40 °C ja +85 °C. Pariston käyttöikä on noin 2 vuotta, jonka jälkeen se täytyy vaihtaa. RuuviTagin halkaisija on 52,00 mm ja korkeus 12,55 mm. Painoa laiteella on 30 grammaa.

Lämpötila-anturien tyypillinen absoluuttinen tarkkuus on $\pm 0,2$ °C, resoluutio 0,01 °C ja tuetut radioprotokollat Bluetooth, Wirepas Mesh, Lumenradio Mesh, Bluerange Mesh, ANT, Muut 2.4 GHz-protokollat. Kotelon materiaali on polykarbonaattia ja vesitiiveysluokitus on IP67, eli laite ei sovellu vedessä säilytykseen. Tuote on sertifioitu lisensseillä CE, FCC, ISED, TELEC, IFETEL, NOM, RTCA DO-160, RoHS ja IP67.

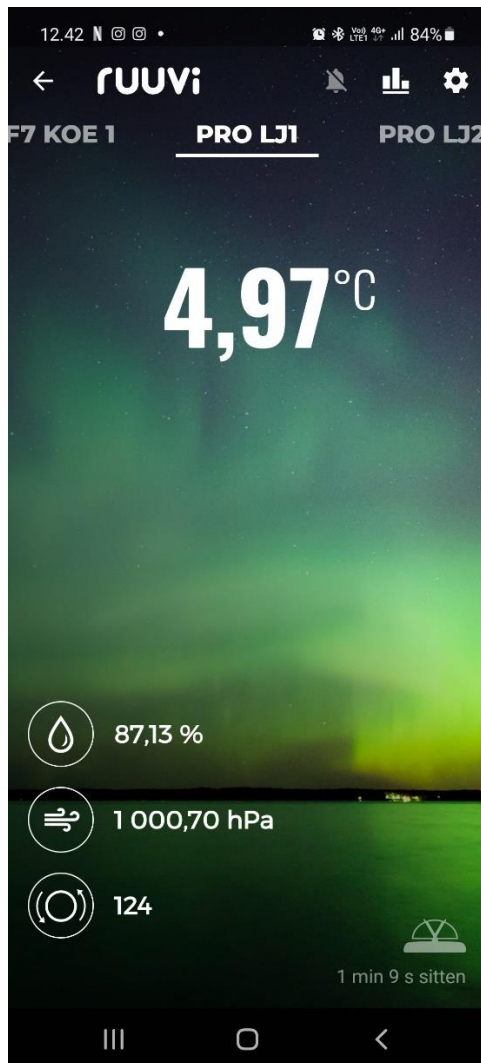


Kuvio 1: RuuviTag ja RuuviTag Pro

6.1.1 RuuviTagin konfigurointi

RuuviTagin konfigurointi tapahtuu Ruuvi Station -sovelluksen kautta. Ruuvi Station on saatavilla Android play -kaupan kautta Android 5.0 versiosta lähtien ja Apple storen kautta iOS:lle 13.0 versiosta lähtien. Sovelluksen avulla käyttäjä voi esimerkiksi nimetä antureita, asettaa pilveen lähetettävän datan lähetysaikavälin ja kalibroida antureiden kosteus- tai lämpötilalukemia.

Vita laboratoriossa tärkeimmät RuuviTagin konfigurointiin liittyvät asetukset ovat historiatietojen lähetysaikaväli ja lämpötilaraja-arvojen hälytysrajat. Lämpötilaraja-arvoiksi voi esimerkiksi asettaa +3 °C ja +8 °C. Jos lämpötila kylmäkaapissa nousee yli +8 °C, sovellus lähettää sähköposti-ilmoituksen käyttäjille.



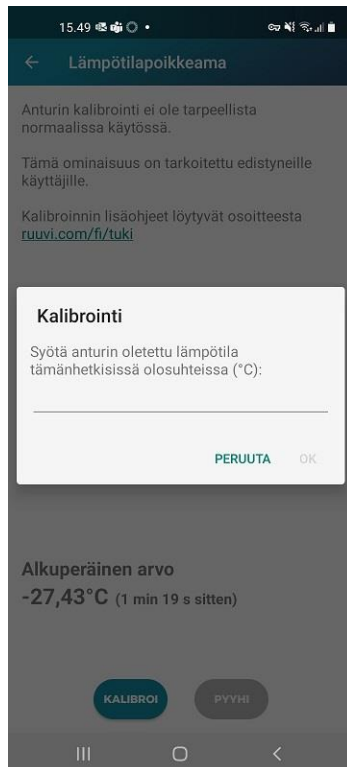
Kuvio 2: Ruuvi Station-anturin PRO LJ1 osoittama lämpötilalukema.

6.1.2 Ruuvi Tagien tarkkuuden testaaminen

Vita laboratoriossa RuuviTageille tehtiin testejä, jotka pitivät sisällään mittauksia lämpötilalukemien luotettavuudesta, signaalitehon tarkkailua ja antureiden pakkaskestävyyttä. Antureiden lämpötilojen kestävyttä ei testattu yli 50 °C lämpötiloissa, koska tätä korkeammissa lämpötiloissa antureita harvemmin tarvitsee käyttää ja valmistaja lupaa RuuviTag pro -antureille +85 °C toimintalämpötilaa.

Alkuvaiheessa projektia Vitaan hankittiin kolme kappaletta RuuviTag-antureita ja testattiin näitä RuuviStation-sovelluksen avulla. Antureiden lähettämiä lämpötilalukemia vertailtiin ensimmäisenä toisiin RuuviTageihin ja sen jälkeen vertailtu tehtiin Vitan omaan referanssimittariin, jota käytetään nykyisten käytössä olevien mittareiden testaukseen. Referanssimittarin tarkistaa ja kalibroi kolmen vuoden välein Kiwa Inspecta. Kiwa Inspecta on maailman suurimpia testaus-, tarkastus- ja sertifiointiyrityksiä (Kiwa 2021).

Testeissä Ruuvitagit ovat osoittautuneet hyvin luotettaviksi, sillä useampien kuukausien kestäneiden testien aikana huomattavia lämpötilaheittoja ei ole osoittautunut referanssimittariin tai tageihin tehdyissä vertailussa. Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, jossa virhettä oli yli 0,5 °C, lämpötilaheitot olivat korkeintaan suuruusluokkaa 0,1 °C - 0,2 °C. Nämäkin erot todettiin helposti poistettavaksi kalibroimalla uudelleen anturit Ruuvi Station -mobiilisovelluksen kautta.



Kuvio 3: Anturin kalibrointi Ruuvi Station -sovelluksessa

Antureiden pakkaskestävyys kiinnosti Vitassa huomattavasti enemmän kuin kuumuuden kesto, koska laboratorioissa on käytössä syväjäähakastimia, joiden lämpötila on -80 °C. Testauksessa laitteet, joille luvataan toimimista -40 °C eivät kuitenkaan -80 °C lämpötiloissa toimineet kovinkaan pitkään.

6.2 Ruuvi Gateway

Ruuvi Gatewayta käytetään yhdistämään useampia Ruuvitageja samaan käyttäjätiliin ja parantamaan antureiden kantamaa. RSSI-lukema kuvaa Ruuvin sovelluksessa signaalin voimakkuutta ja käyttäjät pystyvät helposti tarkistamaan onko Ruuvin Gateway tarpeeksi lähellä antureita, jotta signaalin voimakkuus on tarpeeksi tehokasta.

The screenshot shows the 'Asetukset' (Settings) menu of the RuuviTag application. At the top, the time is 17:17. The menu items are:

- Lämpötila: 0,00°C
- Kosteus: 0,00 %
- Paine: 0,00 hPa
- LISÄTIETOA** (Additional Information)
- MAC-osoite: C1:4D:54:81:3C:32
- Dataformaatti: 5
- Paristojännite: 3.15 V
- Kiihtyvyys X: 0,000 g
- Kiihtyvyys Y: -0,024 g
- Kiihtyvyys Z: 1,040 g
- Lähetysteho: 4 dBm
- Signaalin voimakkuus (RSSI): -83 dBm
- Mittausjärjestysnumero: 48342

Kuvio 4: RuuviTagin lisätiedot ja RSSI-lukema

RSSI-lukemassa oleva dBm tarkoittaa tehoyksikköä ja sitä voidaan käyttää RSSI-arvoa mitattaessa. Joihinkin käyttötarkoituksiin alle -90 dBm lukemat alkavat olemaan käyttökelvottomia etenkin, jos dataa pitää saada tallennettua tiheällä aikavälillä (NetSpot 2022). Tämä todettiin myös Vitin sisäisen testauksen aikana. RSSI lukeman ollessa -90 dBm katkoksia datan lähettämässä pilvipalvelimelle esiintyi huomattavasti. Ruuvien sovelluksen kautta asetuksista on konfiguroitu, että sovellus lähettää minuutin välein anturilla olevan datan pilvipalvelimelle, mutta alle -90 dBm lukeman ollessa saattoi olla, että puoleen tuntiin pilvipalvelimelle ei ollut siirtynyt ollenkaan dataa.

RSSI Arvo	Selitys
-50 dBm - -59 dBm	Erinomainen
-60 dBm - -69 dBm	Todella hyvä
-70 dBm - -79 dBm	Hyvä / Tyydyttävä
-80 dBm - -89 dBm	Melko heikko
-90 dBm - -99 dBm	Heikko
-100 dBm	Ei yhteyttä

Taulukko 1: RSSI arvot

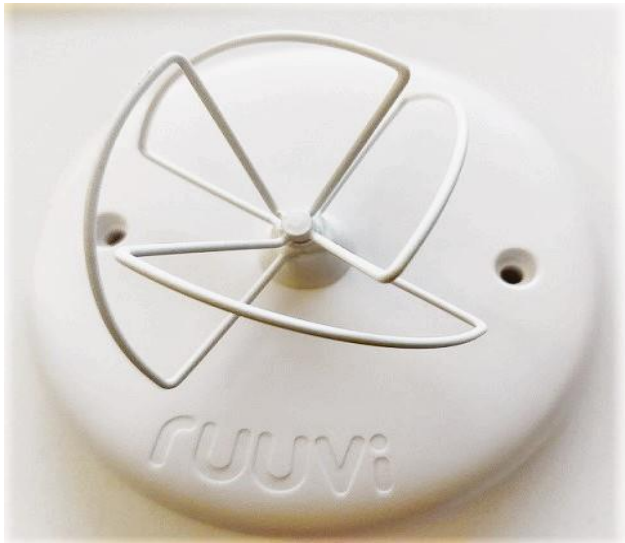
6.3 Gatewayn asennus

Ruuvi Gateway on uusi tuote Ruuvien valikoimassa. Tuote on tuotu yleisille markkinoille syyskuussa 2021. Viton aloittaessa laitteiden testauksen heinäkuussa 2021 tuote on ollut vielä kehitysvaiheessa, eikä kaikki ominaisuudet ole vielä olleet täydessä laajuudessaan käyttövalmiita.

Gatewayn asennusvaiheessa käyttäjä luo tunnukset Ruuvi Station -mobiilisovelluksen kautta ja vahvistaa antureiden omistajuuden Gatewayn konfigurointia varten. Käyttäjä voi konfiguroida Gatewayn kirjautumalla selaimessa osoitteeseen 10.10.0.1, jonka jälkeen valikoidaan yhteystyypiksi joko Wi-fi tai ethernet. Tämän jälkeen siirrytään muihin asetuksiin, joissa on myös kokoneille käyttäjille suunnattuja ominaisuuksia esimerkiksi omaa palvelinta varten.

Gatewayn käyttö mahdollistaa myös selainkäyttöliittymän, jonka kautta käyttäjät voivat seurata RuuviTagien lähettämää tietoa. Gateway käyttää ethernet 10/100 mbit/s nopeudella tai Wi-fi-yhteyttä tiedon lähettämiseen eteenpäin. Vita käyttää Ruuvien omaa pilvipalvelua datan lähetyksen ja vastaanottosijaintina. Käyttäjät kuitenkin voivat reitittää dataa omiin taustajärjestelmiinsä HTTP- ja MQTT-protokollia käyttäen.

Ennen Ruuvi Gatewayn julkaisua käyttäjiltä on vaadittu esimerkiksi Raspberry Pi:n käyttöä siltalaitteena. Raspberry Pi -ratkaisuun verrattuna Gatewayn helppous etenkin kotikäyttäjille on tervetullut ominaisuus.



Kuvio 5: Ruuvi Gateway

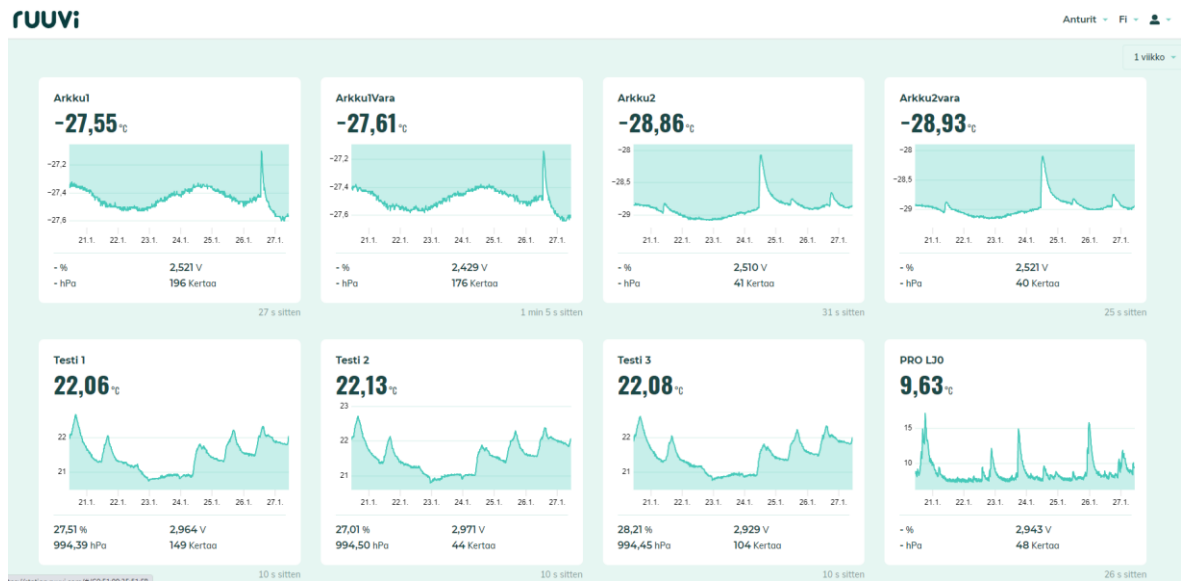
7 Kehittämiskohteen tulokset

Opinnäytetyössä oli tavoitteena kehittää Vitan lämpötilanseurantajärjestelmää ja tutkia soveltuvatko Ruuvin anturit laboratorioympäristössä käytettäväksi. Keskeisimmät seikat, joita tutkittiin, olivat antureiden lämpötilalukemat verrattavissa toisiin antureihin ja referenssimittariin. Myös käyttäjäystävällisyys ja helppokäyttöisyys oli tärkeää. Opinnäytetyössä vertailtiin myös vaihtoehtoja markkinoilla.

Koska Ruuvin tuotteet ovat markkinoilla etenkin Ruuvi Gatewayn ja RuuviTag Pro:n osalta uusia, niin tutkimusta ja testaamista on pääosin tehty muiden Vitan työntekijöiden kanssa. Muuhun tutkimustyöhön tietoa haettiin kirjallisuuden ja internetlähteiden avulla.

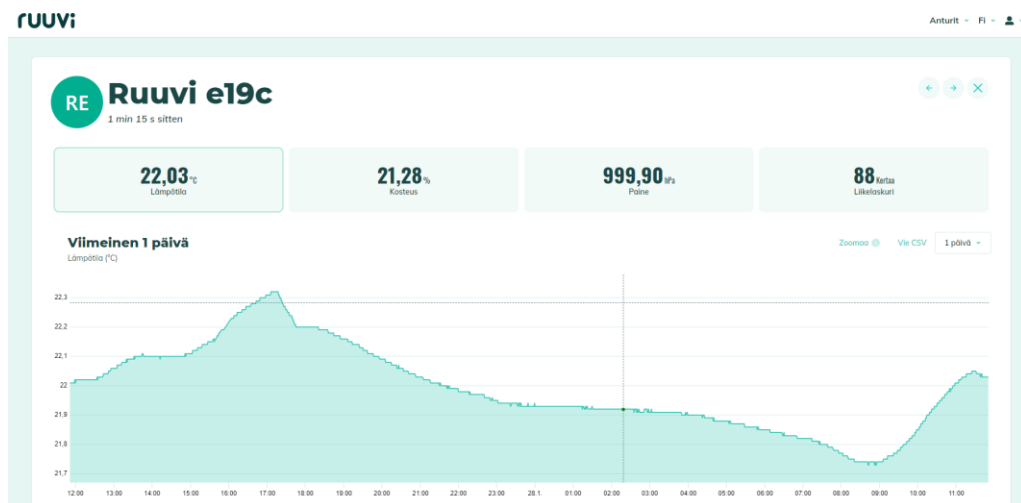
Uudet anturit ja yhdyskäytävät ovat toimineet rinnakkain vanhan järjestelmän kanssa projektin tässä vaiheessa noin puolen vuoden ajan, ja laitteista johtuvia toimintahäiriöitä ei ole ilmaantunut. Uudet anturit ovat monesti osoittautunut jopa luotettavamaksi kuin vanhat. Vanhat mittarit ovat saattaneet lopettaa toimintansa, ja sen jälkeen Ruuvin antureiden avulla olemme pystyneet tarkistamaan lämpötilalukemia.

Ruuvi Station -verkkosivuston kautta käyttäjät voivat nähdä useiden antureiden lämpötiloja kätevästi samaan aikaan ja nykyään myös ottamaan CSV-tiedostoja talteen ja asettamaan hälytysrajoja, jos esimerkiksi jääkaapin tai pakastimen lämpötila nousee yli halutun raja-arvon.



Kuvio 6: Ruuvi Station -verkkosivuston näkymä.

Anturikohtaiset asetukset voi asettaa joko mobiilisovelluksen tai verkkosivuston kautta. Käyttäjä voi valikoida tarkkailuajan yhdestä tunnista aina kahteen vuoteen asti.



Kuvio 7: Yksittäisen anturin näkymä Ruuvi Station -verkkosivustolla.

8 Kehitystyössä tulleet ongelmat ja ratkaisut

Tässä kehitystyössä ilmeni ongelmia, jotka pääosin liittyvät laboratorion olosuhteissa työskentelyyn ja laitteiden ja datan tallennuksen ja toimintavarmuuden takaamiseen. Ruuvien tuotteet Ruuvien omilla sovelluksilla sopivat varmasti mainiosti suurimpaan osaan käyttötarkoituksista, esimerkiksi kotikäyttöihin ja erilaisiin varastoihin, joissa lyhyet yhteyskatkokset eivät vaaranna näytteiden tai reagenssien turvallisuutta ja säilyvyyttä.

Vitassa ensimmäinen ongelma liittyi siihen, miten hyvä signaalin voimakkuus antureilta saadaan taattua yhdyskäytävälle. Jos osasto missä anturit sijaitsevat, on tarpeeksi aukea ilman, että yhdyskäytävän ja antureiden välissä on esteitä. Silloin myös yhdelläkin yhdyskäytävällä on mahdollista saavuttaa hyvä kuuluvuus, mutta paikan sijainnin valitsemisella on suuri merkitys.

Vita laboratoriossa on kuitenkin seinä tai käytäviä antureiden ja yhdyskäytävän välissä, joten yhteys antureihin usein katkeili tai sitä ei saatu ollenkaan. Lisäksi pakastimien ja kaappien ovet ja seinämät voivat signaalilta tehoa, mutta myös lämpötilavaihtelut kaapeissa, joissa anturit ovat, vaikuttavat signaalin tehokkuuteen. (Ismo Hakala & Luoma). Ruuvi Gatewayn hyvä puoli on se, että laitteiden toimivuutta ei haittaa, jos useampi yhdyskäytävä on samalla kattavuusalueella toisten Ruuvi Gatewayden kanssa. Useamman Ruuvi Gatewayn hankkiminen, niiden huolellinen sijoittaminen ja antureiden RSSI-lukemien tarkkailu ratkaisi suurimman osan antureiden kuuluvuuteen liittyvistä ongelmista, joita pakastimet ja laboratoriossa olevat seinät aiheuttivat.

Toinen ongelma oli datan tallennus. Alun perin Ruuvilta sai vain mobiilisovelluksen kautta CSV-tiedoston muodossa tallennettuja lämpötilalukemia ja ainoa vaihtoehto oli lämpötiladatan tallennus kymmenen päivän ajalta yksi tiedosto kerrallaan. CSV-tiedoston sai esimerkiksi lähetettynä käyttäjän sähköpostiin ja siitä siirtämällä lopputallennuskohteeseen. Tämä ei ollut kovin kätevä vaihtoehto ajatellen, että antureita on käytössä noin sata kappaletta. Tähän ongelmaan tuli kuitenkin joulukuun 2021 aikana Ruuvilta oma ratkaisu. CSV-tiedostoja sai tallennettua verkkosivun kautta ja verkkosivulta sai myös valittua ajanjakson, jolta lämpötilatietoja näytettiin.

Kolmas ongelma liittyi antureiden paikan valitsemiseen ja nimeämiseen. Koska kaappeja, joissa antureita säilytetään, on pienelläkin alueella paljon, on silloin hankalaa ongelmatilanteissa löytää anturi ja kaappi, joissa ne sijaitsevat. Ratkaisuna on nimetä kaappi ulkopuolelta selkeästi samalla tavalla kuin anturi on sovellukseen ja verkkosivulle merkattu. Myöskin anturin sijoittamispaikalla kaapissa on väliä. Kaappeja aukaistaan päivän aikana useasti, ja sieltä otetaan tavaraa pois ja laitetaan uutta tilalle. Anturi ei saa olla tällaisessa tapauksessa edessä, muuten se saattaa siirtyä sellaiseen paikkaan, josta sitä on jatkossa hankala löytää. Anturin huonosti valittu sijainti saattaa myös vaikuttaa lämpötilalukemiin ja signaalin voimakkuuteen. Sijoittamisongelmaan ratkaisuna oli etsiä kaapeista mahdollisimman samanlainen kiinnityspaikka ja esimerkiksi kaksipuolisella teipillä kiinnittää anturi sellaiseen kohtaan, jossa se ei ole työntekijöiden edessä.

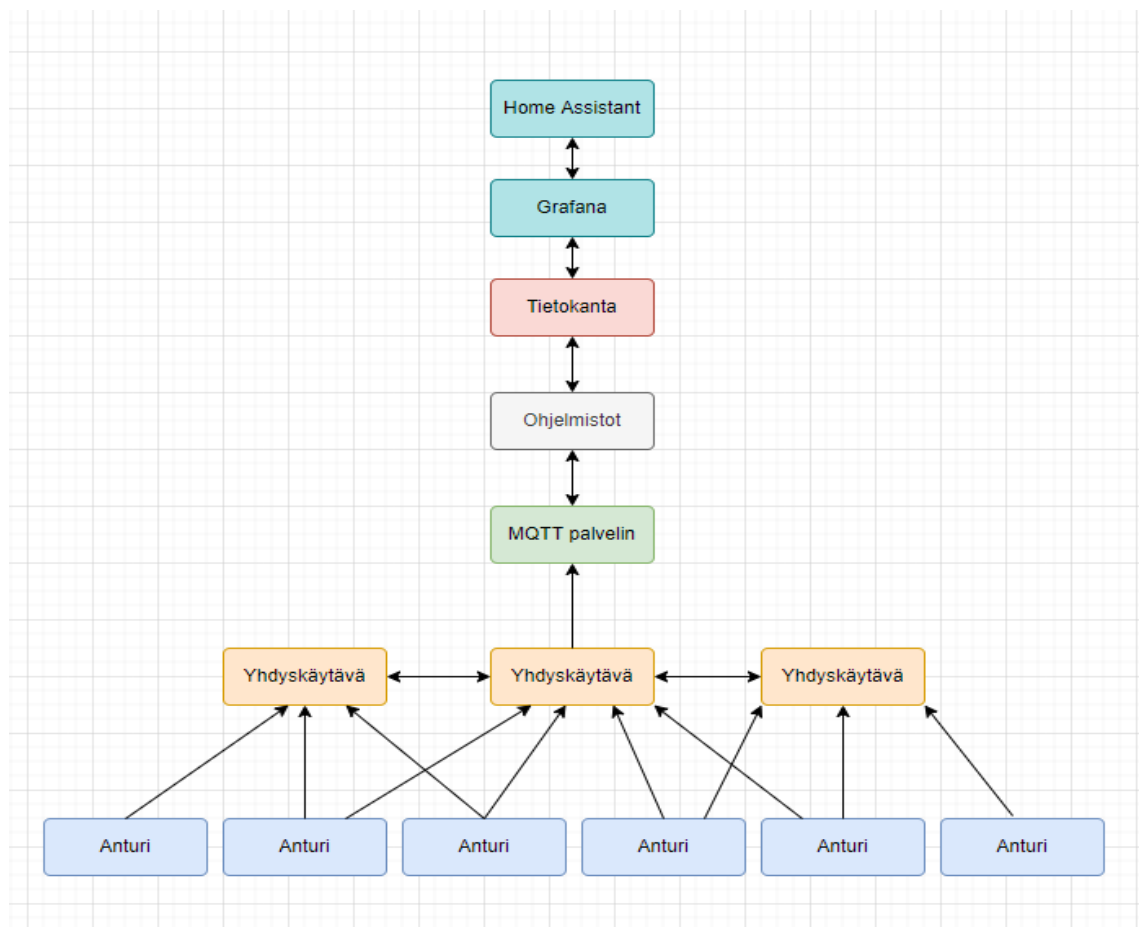
Neljäs ongelma oli hälytyksien lähettäminen tilanteessa, jossa esimerkiksi pakastimen lämpötila nousee liian korkealle, ilman, että kaikille käyttäjille tarvitsee jakaa antureiden käyttöoikeutta ja opastaa miten sovelluksia ja verkkosivustoa käytetään. Ongelmaan ratkaisuna on

uudelleenohjata sähköpostiliikennettä anturien hälytysilmoituksiin liittyen useammalle käyttäjälle.

9 Jatkokehitysehdotukset

Vita laboratoriot tarvitsee oman paikallisen lämpötilaseurantajärjestelmän ja tästä syystä Vitalle on kehitteillä järjestelmä, jossa hyödynnetään Ruuvin RuuviTag-antureita ja yhdyskäytävää.

- Käyttöjärjestelmä - Linux-pohjainen palvelin.
- Grafana - tietokannan lukemista ja visualisointia varten.
- InfluxDB - Aikasarjatietokanta datan tallennusta varten.
- MQTT broker - antureilta datankeräysprotokolla.
- Ruuvi Reader - avoimen lähdekoodin ohjelma, joka tallentaa tietoa.
- Koodi / skripti ohjelmistot - sovelluksien pyörittämistä ja käynnistämistä varten.
- HomeAssistant - Automaatio-ohjelma ja hallintapaneeli ylläpitoa varten.



Kuvio 8: Suunnitelma-kaavio oman järjestelmän toiminnasta.

9.1 Palvelin

Palvelimen käyttöjärjestelmäksi valitaan Linux. Linux-käyttöjärjestelmät ovat etenkin palvelinympäristössä osoittautuneet hyväksi ja luotettavaksi. Linux on kevyempi kuin Windows-käyttöjärjestelmä ja sitä voidaan hallita pelkästään komentoriviltä ja graafista käyttöliittymää ei tästä syystä tarvita. Palvelimen on tarkoitus ylläpitää pelkästään ohjelmistoja, ja käyttäjien ei itsessään tarvitse palvelimelle kirjautua nähdäkseen lämpötilalukemia. Lämpötilalukemat tulevat näkyville selaimen kautta. (Solla 2020.)

9.2 Tietokannat

Vaihtoehdot tässä projektissa ovat InfluxDB ja MySQL. InfluxDB on avoimen lähdekoodin aikasarjatietokanta, jonka kehittäjänä toimii InfluxData. InfluxDB on ohjelmoitu Go-ohjelmointikielellä. InfluxDb pitää sisällään työkalut myös datan visualisointia varten. (Influxdata 2019b). InfluxDB:n hyväksi puoleksi voidaan mainita, että se on hyvin yhteensopiva Grafanan kanssa ja sitä on aikaisemminkin käytetty yhdessä Ruuvi-anturien kanssa lämpötilan mittauksessa. (Alatalo 2018.)

MySQL on relaatiotietokantasovellus ja entuudestaan tuttu vaihtoehto projektin parissa työskenteleville henkilöille. MySQL siirtyi Oracle Corporation Oy:n omistukseen vuonna 2010. (Oracle 2021.) Oracle puolestaan on maailman suurimpia tietotekniikkayrityksiä (Ponciano 2021).

InfluxDB:n aikasarjatietokannan ja MySQL:n relaatiotietokannassa on tämän projektin kannalta oleellinen ero toimintatavassa. MySQL:n relaatiotietokannat ovat hyviä käsittelemään suuria datamääriä nopeasti, mutta RuuviTagit lähettävät dataa tietyin aikaväleihin ja datamäärät eivät ole kovin suuria. Aikaväli datan lähetyksessä aikasarjatietokannasta voi olla esimerkiksi kymmenen minuuttia, mutta relaatiotietokannasta saatetaan lähettää dataa eteenpäin jatkuvasti.

InfluxDb:n aikasarjatietokannat ovat kehitetty toimimaan juuri tällä tavalla, että ne reagoivat saapuvan datan aikaleimaan ja tämän takia InfluxDb on vartenotettava vaihtoehto tässä projektissa. InfluxDb on kevyt, vähemmän muistia vievä tietokantaversio, kun työskennellään aikaleimoihin perustuvan tiedon tallennuksessa. (Ben-David 2020.)

9.3 Grafana

Datan visualisointi Vitan työntekijöille mahdollisimman helpolla tavalla on keskeisempiä asioita tässä projektissa ja siihen tarjoaa mahdollisuuden Grafana. Grafana on laajasti muokattavissa. Erilaisia ohjausnäkyymiä on liitännäisten muodossa tällä hetkellä tarjolla yhdeksänkymmentäviisi kappaletta. Halutun näkymän valinnan jälkeen käyttäjät pystyvät myös monipuolisesti muokkaamaan valikoita ja tarvittaessa siirtelemään ja nimeämään näkyvillä olevia valikoita paikasta toiseen. (Grafana Labs 2022a.)

Edellä mainitut ominaisuudet ovat Vitassa haluttuja, koska on tärkeää, että käyttäjät voivat valita haluamansa anturit ja niistä tarpeelliset tiedot, joita ohjauspaneeli tuo esille. Myös käytössä olevat laitteet, joilla lämpötilatietoja käydään läpi, voivat erota toisistaan. Esimerkiksi hälytysilmoituksen saapuessa myös matkapuhelimella on tietokoneen lisäksi oltava selkeästi lämpötilatilastot saatavilla. Grafanassa hälytystoimintoihin voi esimerkiksi laittaa sääntöjä, jos antureille asetetut lämpötilaraja-arvot ylittyvät. Silloin Grafanan voi asettaa ilmoittamaan tästä käyttäjiä esimerkiksi sähköpostitse Teams- tai Telegram-sovellusten kautta. (Grafana Labs 2022b)



Kuvio 8: Grafanan demonäkymä.

9.4 Home Assistant

Home Assistant on ilmainen ja avoimen lähdekoodin ohjelmisto ja alun perin tarkoitettu kodin paikallisten älylaitteiden keskusohjausjärjestelmäksi ja automaatiota varten, mutta soveltuu myös yrityskäyttöön. Home Assistantia voidaan käyttää web-käyttöliittymän, Android- ja iOS-

sovellusten kautta tai virtuaalisen avustajan, kuten Google Assistantin ja Amazon Alexan kautta. (Home Assisant 2022.) Home Assistant tarvitsee pyöriäkseen joko virtuaalikoneen tai Raspberry Pi:n kaltaisen tietokoneen. Kotikäyttäjille Home Assistant suosittelee Rasbperry Pi -tietokonetta, koska järjestelmän pitää olla toimiakseen koko ajan päällä ja tästä syystä sitä ei ole kovin kätevää asentaa omalle tietokoneelle. Myöskään kovin monella kotikäyttäjällä ei ole käytössä virtuaalipalvelinympäristöä, jonne olisi mahdollistaa asentaa ja tätä kautta käyttää järjestelmää. (Cook, Mike & McManus. 2017. 9-10.)

Grafanan pystyy liittämään Home Assistant -järjestelmään ja tämä mahdollistaa lisäominaisuuksia käyttäjille. Esimerkiksi Home Assistantin kautta kylmä- ja lämpökaapeille voisi asettaa ilmoituksia varten ilmoitusvaloja tai -ääniä, ja järjestelmään voisi liittää laboratorion pohjapiirustuksen ja laitteiden sijainnit (Floorplan 2022).

Virallinen tuki Home Assistantilta integraatiolle löytyy tällä hetkellä yli tuhannelle eri laitteelle, mutta RuuviTagit eivät vielä ole listalla, joita käyttöliittymä tukee. Kuitenkin jotkut käyttäjät ovat jo onnistuneet integraation omille laitteilleen tekemään. (Hyötynen 2021.)

9.5 Yhteenveto jatkokehityksestä

Opinnäytetyötä viimeistellessä on menossa vaihe, jossa testausta Ruuvien sovelluksien avulla on tehty tarvittava määrä. Käytössä on vähän yli kaksikymmentä anturia ja lisää odottaa asennusta, mutta ne tulevat käyttöön omalle virtuaalipalvelimelle, jota ollaan parhaillaan kehittämässä. Grafanan ja InfluxDB:n sisältävä järjestelmä tulee näillä näkymin testattavaksi maaliskuuhun 2022 vaihteessa. Jos kaikki sujuu odotetusti, valmis järjestelmä olisi näiltä osin käytössä kevään 2022 aikana. Kuitenkin projektin edetessä tulee usein esille asioita, joita pitää ottaa huomioon ja uutta jatkokehitettävää ilmaantuu. Tästä hyvä esimerkki on Home Assistant -integraatio, johon ei vielä käytännössä projektin aikana ole keretty tutustumaan, mutta vaikuttaisi henkilökunnan työskentelyä helpottavalta lisäominaisuudelta.

Lähteet

Painetut

Cook, M. McManus, S. 2017. Raspberry Pi for dummies. New Jersey: Joh Wiley & Sons, Inc.

Crecraft, D. Gergely, S. & Gergely, S. 2002. Analog Electronics. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Hakala, M & Vainio, M. 2005. Tietoverkon rakentaminen. Jyväskylä: Docendo Finaldn Oy

Tsividis, Y. 2002. Mixed Analog-Digital Vlsi Devices And Technology. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Sähköiset

Agarwal, T. 2015. Types of Analog and Digital Sensors with Applications. Viitattu 6.9.2021.

<https://www.elprocus.com/types-analog-digital-sensors/>

Alatalo. 2018. Oma sääasema RuuviTagilla ja Grafanalla. Viitattu 15.1.2022. <https://medium.com/@ville.alatalo/oma-s%C3%A4%C3%A4asema-ruuvitagilla-ja-grafanalla-25c823f20a20>

Ali, A. 2021. Streaming real-time sensor data to Grafana using MQTT and Grafana Live. Viitattu. 15.1.2022. <https://grafana.com/blog/2021/08/12/streaming-real-time-sensor-data-to-grafana-using-mqtt-and-grafana-live/>

Ammattikorkeakoulujen rehtorineuvosto Arene ry. 2020. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Viitattu 5.2.2022. https://www.arene.fi/wp-content/uploads/Raportit/2020/AMMATTIKORKEAKOULUJEN%20OPINN%C3%84YTET%C3%96IDEN%20EETTISET%20SUOSITUKSET%202020.pdf?_t=1578480382

Arter. 2022. IMS-ohjelmisto - Laatu toiminnan kehittämiseen. Viitattu 24.2.2022.

https://www.arter.fi/ohjelmistot/ims-ohjelmisto/?gclid=CjwKCAiA9ty-QBhAIEiwA6tdCrIT24YeO4PR6lwiZ6duuGyJPd_MWYQoEiQdeCxiEWC3i-2inFnAXCxoCK-foQAvD_BwE

Arunendra. 2019. Temperature Sensors: Types, How It Works, & Applications. Viitattu 6.9.2021. <https://www.encardio.com/blog/temperature-sensor-probe-types-how-it-works-applications/>

Ben-David, S. 2020. What Is Time Series Database (TSDB). Viitattu 18.1.2022.

<https://www.weka.io/learn/what-is-time-series-database-tsdb/>

Eronen, M. 2011. Tietoa: Mitä DA-muunnin tekee? Viitattu 26.2.2022. [https://www.hifimaa-](https://www.hifimaa-ilmia.fi/artikkeli/tietoa-mita-damuunnin-tekee-6.108.22950.cd62fa6a2d)

[ilmia.fi/artikkeli/tietoa-mita-damuunnin-tekee-6.108.22950.cd62fa6a2d](https://www.hifimaa-ilmia.fi/artikkeli/tietoa-mita-damuunnin-tekee-6.108.22950.cd62fa6a2d)

Eupry. 2021a. About Eupry. Viitattu 9.9.2021. <https://eupry.com/about-us/>

Eupry. 2021b. Products. Viitattu 9.9.2021. <https://eupry.com/products/>

Finas. 2021. Akkreditoitu Testauslaboratorio. Viitattu 5.8.2021. [https://www.finas.fi/Docu-](https://www.finas.fi/Documents/T171%20M39%202021%20etusivu.pdf)
[ments/T171%20M39%202021%20etusivu.pdf](https://www.finas.fi/Documents/T171%20M39%202021%20etusivu.pdf)

Floorplan for Home Assistant. 2022. Floorplan for Home Assistant. Viitattu 1.2.2022.

<https://experiencelovelace.github.io/ha-floorplan/>

Grafana Labs. 2021a. Dashboard anything. Observe everything. Viitattu 11.12.2021.

<https://grafana.com/grafana/?plcmt=footer>

Grafana Labs. 2022b. Grafana alerts. Viitattu 15.1.2022. <https://grafana.com/docs/grafana/latest/alerting/>

Hakala, I & Luoma, J. 2019. Analysis and evaluation of adaptive RSSI-based ranging in outdoor wireless sensor networks. Viitattu 12.1.2022. [https://www.sciencedirect.com/science/arti-](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870518307297?via%3Dihub)
[cle/abs/pii/S1570870518307297?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870518307297?via%3Dihub)

Hillar, Gaston C. 2017. MQTT Essentials - A Lightweight IoT Protocol. E-kirja. Birmingham: Pack Publishing Limited.

Home Assistant. 2022a. Awaken your home. Viitattu. 1.2.2022. [https://www.home-assis-](https://www.home-assistant.io/)
[tant.io/](https://www.home-assistant.io/)

Influxdata. 2021. Act in Time. Build on InfluxDB. Viitattu. 11.12.2021. [https://www.in-](https://www.influxdata.com/)
[fluxdata.com/](https://www.influxdata.com/)

Influxdata. 2019. Getting Started with Go and InfluxDB. Viitattu. 18.1.2022. [https://www.in-](https://www.influxdata.com/blog/getting-started-go-influxdb/)
[fluxdata.com/blog/getting-started-go-influxdb/](https://www.influxdata.com/blog/getting-started-go-influxdb/)

Jyväskylän yliopisto. 2015a. Kokeellinen tutkimus. Viitattu 7.1.2022.

[https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrate-](https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/kokeellinen-tutkimus)
[giat/kokeellinen-tutkimus](https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/kokeellinen-tutkimus)

Jyväskylän yliopisto. 2015b. Määrällinen tutkimus. Viitattu 7.1.2022.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Kauppalehti. 2021. Vita Laboratoriot Oy. Viitattu 17.8.2021. <https://www.kauppalehti.fi/yri-tykset/yritys/vita+laboratoriot+oy/0973282-2>

Kiwa. 2022. Tietoa Kiwasta. Viitattu 19.11.2021 <https://www.kiwa.com/fi/fi/tietoa-kiwasta/>

LogTag. 2021a. About us. Viitattu 5.2.2022. <https://logtagrecorders.com/about/>

LogTag. 2021b. UTRED30-WIFI. Viitattu 5.2.2022. <https://logtagrecorders.com/product/ut-red30-wifi/>

Marie, A. 2022. Reagenssin määritelmä ja esimerkit. Viitattu 6.2.2022. <https://fi.efer-rit.com/reagenssin-maeaeritelmae-ja-esimerkit/>

NetSpot. 2021. What is RSSI and its relation to a Wi-Fi network. Viitattu 12.12.2021. <https://www.netspotapp.com/what-is-rssi-level.html>

Nordic Semiconductor. 2021. nRF52832. Viitattu 8.9.2021. <https://www.nordicsemi.com/-/media/Software-and-other-downloads/Product-Briefs/nRF52832-product-brief.pdf?la=en&hash=2F9D995F754BA2F2EA944A2C4351E682AB7CB0B9>

Omega. 2018. Data Loggers. Viitattu. 22.1.2021. <https://www.omega.com/en-us/resources/data-loggers>

Oracle. 2021. MySQL. Viitattu. 8.12.2021. <https://www.oracle.com/webfolder/college-recruiting/projects/mysql.html>

Ponciano, J. 2021. The World's Largest Technology Companies In 2021: Apple's Lead Widens As Coinbase, DoorDash Storm Into Ranks. Viitattu. 8.12.2021. <https://www.forbes.com/sites/jonathanponciano/2021/05/13/worlds-largest-tech-companies-2021/?sh=118c1bc869bc>

Ruuvi. 2021a. Start-up Suomesta. Viitattu 16.8.2021. <https://ruuvi.com/fi/tietoa-meista/>

Ruuvi. 2021b. Mikä on Ruuvi Station. Viitattu 17.10.2021. <https://ruuvi.com/fi/what-is-ruuvi-station/>

Ruuvi. 2021c. RuuviTag. Viitattu 2.9.2021. <https://ruuvi.com/i/u/ruuvitag-tech-spec-2021-08.pdf>

Suomen Lämpömittarit. 2021a. Meistä. Viitattu 9.9.2021. <https://www.suomenlampomittari.fi/meista/>

Suomen Lämpömittarit. 2021b. WeatherHub. Viitattu 9.9.2021. <https://www.suomenlampomittari.fi/weatherhub-pro-lampotila-ja-kosteus/>

Te Connectivity. 2020. Seven considerations for digital over analog. Viitattu 10.12.2021 <https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/sensors/global/seven-considerations-analog-digital-trend-paper.pdf>

Teknillinen korkeakoulu. 2003a. Signaalinkäsittelytekniikan laboratorio Digitaalitekniikan perusteet. Viitattu 12.12.2021. <http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/anadigi.html>

Teknillinen korkeakoulu. 2003b. Signaalinkäsittelytekniikan laboratorio Digitaalitekniikan perusteet. Viitattu 12.12.2021 <http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/tieto.html>

Tivia. 2002. Etiikan ohjeet. viitattu 4.2.2022. <https://tivia.fi/toimiala/etiikan-ohjeet>

Tutkimuseettinen neuvottelukunta (Tenk). 2021. Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). Viitattu 4.2.2022. <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanta-htk>

Vaisala. 2021a. Observations for a better world. Viitattu 8.9.2021. <https://www.vaisala.com/fi/vaisala-brief>

Vaisala. 2019b. Lämpötilakartoitus viewLincolosuhdevalvontajärjestelmän avulla. Viitattu 8.9.2021. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-G-viewLinc-Mapping-Application-Note-B211801FI.pdf>

Vita Laboratoriot. 2021a. Suomalainen laatu. viitattu 16.8.2021. <https://vita.fi/suomalainen-laatu/>

Vita Laboratoriot. 2022b. Kliininen laboratorio. Viitattu 3.2.2022. <https://vita.fi/palvelut/kliininen-laboratorio/>

Vita Laboratoriot. 2022c. Elintarvikelaboratorio. Viitattu 3.2.2022. <https://vita.fi/palvelut/elintarvike/>

Vita Laboratoriot. 2021d. Vitan tarinat ja arvot. Viitattu 16.8.2021. <https://vita.fi/vitan-tarinat-ja-arvot/>

Waltari, O. 2020. Privacy-Aware Opportunistic Wi-Fi. Väitöskirja. Tietojenkäsittelytiede. Helsingin yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-6622-7>

WatElectronics. 2019. Know about Different Types of Sensors with their Applications. Viitattu. 22.1.2021. <https://www.watelectronics.com/different-types-of-sensors-with-applications/>

Kuviot

Kuvio 1: RuuviTag ja RuuviTag Pro	16
Kuvio 2: Ruuvi Station-anturin PRO LJ1 osoittama lämpötilalukema.....	17
Kuvio 3: Anturin kalibrointi Ruuvi Station -sovelluksessa	18
Kuvio 4: RuuviTagin lisätiedot ja RSSI-lukema.....	19
Kuvio 5: Ruuvi Gateway.....	21
Kuvio 6: Ruuvi Station -verkkosivuston näkymä.	22
Kuvio 7: Yksittäisen anturin näkymä Ruuvi Station -verkkosivustolla.	22
Kuvio 8: Grafanan demonäkymä.	26

Taulukot

Taulukko 1: RSSI arvot	20
------------------------------	----