

ROBOTIIKAN LABORATORION YMPÄRISTÖDATAN KERÄÄMINEN JA TYÖTURVALLISUUDEN VARMENNUS

Anturijärjestelmän rakentaminen

Ville Järvinen

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

2023

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Ville Järvinen	Vuosi	2023
Ohjaaja	Anssi Ylinampa		
Toimeksiantaja	Lapland Robotics -hanke		
Työn nimi	Robottiikan laboratorion ympäristödatan kerääminen ja työturvallisuuden varmennus		
Sivumäärä	51 + 3		

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin kehityksen alla olevaan robotiikan laboratorioon asennettavat valvontajärjestelmät, joiden suunnittelu ja rakentaminen toteutettiin kahden muun opiskelijan kanssa. Laboratorioon tarvittiin järjestelmiä valvomaan tilassa operoitavia laitteita ja tilassa mahdollisesti työmukavuutta tai turvallisuutta haittaavia tekijöitä.

Aihe jaettiin kolmeen osa-alueeseen, joiden aiheet olivat kameravalvontajärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen, ympäristödataa mittaavan järjestelmän suunnittelu ja rakentaminen sekä laitteille tarvittavien kotelointien suunnittelu. Tässä opinnäytetyössä käsitellään mittausjärjestelmän suunnittelu, rakentaminen ja testaus sekä jatkokehityssuunnitelmat.

Töiden tavoitteina oli kehittää järjestelmistä toimivat prototyypit, joiden pohjalta jatkokehitystä voidaan myöhemmin tehdä. Työn laajuuden takia järjestelmät rajautuivat prototyypeiksi ja joitain ominaisuuksia jätettiin jatkokehityssuunnitelmiksi.

Työn alussa tehtiin projektisuunnitelma, jonka jälkeen inventoitiin saatavilla olevia resursseja, kuten antureita ja mikrokontrollereita. Joitakin komponentteja tilattiin töitä varten ja joitakin oli valmiiksi Lapin ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Suunnitteluvaiheessa tehtiin taustatyötä etsimällä laitteisiin liittyviä teorialähteitä, joiden avulla laitteiden sopivuutta toteutukseen vertailtiin.

Vaikka anturijärjestelmän ominaisuuksista jouduttiin karsimaan paljon määräaikojen lähestyessä, lopputulos onnistui kuitenkin tyydyttävästi ja se täytti riittävästi sille asetettuja kriteereitä. Jatkokehitysosiossa kerrotaan karsituista ja toteutuksen ulkopuolelle jätetyistä ominaisuuksista. Rajallisesta laajuudesta huolimatta työn tuloksesta voidaan nähdä miten yksinkertaisenkin valvontajärjestelmä voi parantaa tilojen turvallisuutta ja miten tämänkaltaisia järjestelmiä voidaan räätälöidä kaikenlaisille käyttökohteille.

Avainsanat

anturi, esineiden internet, IoT, mikrokontrolleri

Degree Programme in Information
and Communication Technology
Bachelor of Engineering

Author	Ville Järvinen	Year	2023
Supervisor	Anssi Ylinampa		
Commissioned by	Lapland Robotics project		
Subject of thesis	Collecting of environmental data in robotics laboratory and verification of occupational safety		
Number of pages	51 + 3		

The commissioner of this thesis study had a need for surveillance and environmental measuring systems for an upcoming robotics laboratory. The suggested topic was divided into three parts that would be worked on separately. The parts were as follows: a camera system for remote surveillance of the laboratory, a sensor system for measuring and collecting environmental data and enclosures for all these devices. The purpose of these systems was to improve the safety of the laboratory by taking measurement of environmental factors that could be harmful to people in the laboratory and to have camera surveillance for watching the operation of machines remotely.

This thesis study covered the planning, construction and testing of the sensor system. Due to the rather large scope of the work, a decision was made to limit the work to functional prototypes and proposals for further development. The work began by making a project plan and then getting acquainted with the available components, materials and the space where the systems were to be installed. Some equipment was sourced from the Lapland university of applied sciences and its IoT-laboratory and some others were ordered specifically for this project.

Even though many of the planned features of the sensor system were cut due to time constraints, the final product was a success and fulfilled its purpose. Further development ideas and proposals based on early plans and cut features are detailed in the last chapter of this thesis. Even from the limited nature of this work it is evident how such a system can improve the safety of a work environment and how similar systems could be custom made to fulfill any kind of need in a variety of environments.

Key words

internet of things, IOT, microcontroller, sensor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	ALUSTAVA TIEDONHAKU	11
2.1	Internet of Things	11
2.2	Tiedonsiirtotekniikat	13
2.2.1	Bluetooth Classic ja Low Energy	14
2.2.2	NFC	16
2.2.3	Sigfox 0G	16
2.2.4	LoRa	17
2.2.5	Wireless Local Area Network	18
2.3	IoT-kehitysalustat	19
2.3.1	Arduino	20
2.3.2	ESP32	21
2.3.3	Jetson Nano	22
2.3.4	Raspberry PI	23
3	ANTURIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	25
3.1	Mikrokontrollerin valinta	25
3.2	Antureiden valinta ja toimivuuden testaus	26
3.2.1	Mikrokontrollerin ohjelmointi	27
3.2.2	Näyttö ja painike	28
3.2.3	Kaasuanturi	29
3.2.4	Lämpötilan ja ilmankosteuden mittausanturit	30
3.2.5	Äänianturi	32
4	PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN	34
4.1	Kotelon suunnittelu	34
4.2	Komponenttien sovitukset	34
4.3	Lopulliset kytkennät	39
5	TOIMIVUUDEN TESTAUS	42
5.1	Ensimmäinen testijakso	42
5.2	Toinen testijakso	43
5.3	Kolmas testijakso	44
5.4	Neljäs testijakso	45
5.5	Testijaksojen tulokset	45

6	JATKOKEHITYS.....	46
6.1	Tietokanta.....	46
6.2	Laitteesta karsitut ominaisuudet	46
6.3	Järjestelmän erilliset laitteet.....	47
7	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	52

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

AD-muuntaja	piiri, joka muuttaa analogisen signaalin digitaaliseksi
anturi	laite tai laitteisto, joka mittaa jotain fysikaalista suuretta
Bluetooth	langaton tiedonsiirtotekniikka
BLE	Bluetooth Low Energy
CSI	Camera Serial Interface, kameroiden ja prosessoreiden välinen rajapinta
DA-muuntaja	piiri, joka muuttaa digitaalisen signaalin analogiseksi
data	tietoa, jolla ei välttämättä ole annettua merkitystä
ESP32	Espressif Systemsin valmistama mikrokontrolleri
Ethernet	kaapeleita käyttävä tiedonsiirtoteknologia
GPIO	General Purpose Input Output, moniin mikrokontrollereihin rakennettu, yleensä ohjelmoitava, kytkentäpinni
GPS	Global Positioning Satellites
HDMI	High Definition Multimedia Interface, yleinen näyttölaitteiden liitintyyppi
I2C	yksinkertainen kaksisuuntainen ohjaus- ja tiedonsiirtoväylä
IDE	Integrated Development Environment, ohjelmointiympäristö.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, monia standardeja määrittelevä tekniikan alan järjestö
IoT	Internet of Things, esineiden internet
IPS	In-Plane Switching, näyttötekniikka LCD näyttöissä
IPv6	Internet Protocol version 6
LoRa	Long Range, hajaspektrimodulaatiotekniikka
MOX	metal-oxide, metallioksidi
M.2	liitin oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen
PPB	Parts Per Billion, miljardisosaa ilmaiseva suhdeyksikkö
PPM	Parts Per Million, miljoonasosaa ilmaiseva suhdeyksikkö
rajapinta	määritelmä, jonka mukaan eri ohjelmat voivat tehdä pyyntöjä ja vaihtaa tietoa, keskustella keskenään
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuustunnistus

SMT	Surface Mount Technology, piirilevyn pinnalle asennettava laite
SPI	Serial Peripheral Interface, sarjamuotoinen oheislaiterajapinta
TFT	Thin-Film Transistor, transistorityyppi, usein käytetty LCD-näytöissä
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri, jolla oheislaitteita kytketään tietokoneeseen

1 JOHDANTO

Lapin ammattikorkeakoulu ja Lapin yliopisto toteuttivat yhteistyönä Lapland Robotics -hanketta. Hankkeella pyrittiin nostamaan lapin alueen kyvykkyyttä innovoida vähähiilisten ja energiatehokkaiden prosessien kehittämisessä. (Lapland Robotics 2020.) Opinnäytetyö tehtiin Lapin ammattikorkeakoululla Lapland Robotics -hankkeelle toimeksiantona ja sen tavoitteina oli rakentaa hanketta varten perustettuun robotiikan laboratorioon järjestelmät ympäristödatan mittaamiseen, kameravalvontaan sekä kulunvalvontaan. Järjestelmien on tarkoitus mitata tilan ympäristön olosuhteita ja tarkkailla siellä ilmeneviä ihmisten terveydelle haitallisia tekijöitä sekä helpottaa tilan valvontaa kameroiden avulla.

Robotiikan laboratorio on rakennettu kellariin, jonka takia tilan työturvallisuudesta ja mukavuudesta herää kysymyksiä. Pysyville työpisteille tilat eivät toistaiseksi täytä tarvittavia vaatimuksia (Työturvallisuuslaki 738/2002 2:12 §). Järjestelmän tarkoitus on parantaa tilan turvallisuutta tarjoamalla tilan valvontaa helpottavia työkaluja ja varoittamalla tilassa olevia haitallisista olosuhteista.

Anturijärjestelmä asennetaan keräämään ympäristödataa, joka esitetään laitteen näytöllä tilassa oleville. Alun perin järjestelmä suunniteltiin kirjaamaan keräämänsä datan tietokantaan, mutta aikamääreiden takia tietokanta karsittiin toteutuksesta pois. Tietokantaan kerätty data olisi voitu esittää myös kellaritilan valvojalle. Anturijärjestelmä kerää tietoa laboratorion ilmankosteudesta, haitallisista kaasuisista ja melutasosta. Anturijärjestelmää täydentämään suunniteltiin Ruuvi-tag-antureita, jotka karsiutuivat tietokannan mukana lopullisesta kokonaisuudesta. Anturijärjestelmän huoltoon ja todennäköisimpien vikojen korjaukseen laadittiin huolto-ohjeet (Liite 1) ja huoltoa helpottava kytkentäkaavio (Liite 2).

Valvontajärjestelmän kamerat sijoiteltiin siten, että katvealueet jäivät mahdollisimman pieniksi. Tilassa on tarkoitus käyttää ja testata kauko-ohjattavia laitteita, joiden liikkumista seurattaisi kamerakuvasta. Järjestelmä tarjoaa myös valvojalle kuvaa laitteiden tilanteesta ja muista tilan asioista, kuten siellä kulkevista ihmisistä. Katvealueet vaikeuttaisivat laitteiden turvallista käyttöä ja heikentäisivät

valvonnan tehokkuutta huomattavasti. Valvontakameroina käytettiin Raspberry Pi 4 Model B -pienoistietokoneita ja CSI-kameramoduuleita.

Kulunvalvontaan suunniteltiin RFID-lukijaa, jolla käyttäjät lukisivat kulkukortin tilaan saapuessa ja sieltä poistuessa. Laite kuitenkin karsiutui pois melko aikaisin, koska anturijärjestelmän kehityksessä arvioitiin kestävän kauan. Kamerajärjestelmä hoitaa jossain osin kulunvalvontalaitteelle määriteltyjä tehtäviä.

Projektissa kehitetyille laitteille luotiin koteloinnit, joita suunnitellessa otettiin huomioon tilan olosuhteet ja vaatimukset. Koteloinnit ovat itse suunnitellut ja niiden osat valmistettiin 3D-tulostetusta PLA-muovista. Korkeampaa kestävyyttä vaativampien osien valmistamiseen varattiin ABS-muovia.

Laitteiden koteloinnin suunnittelun ja valmistuksen hoiti Ville Oivo yhteistyössä koteloitavaa laitetta kehittävän henkilön kanssa. Kameravalvontajärjestelmän suunnittelemisesta ja rakentamisesta sekä kameroiden asentamisesta vastuussa oli Joonas Alanko. Anturijärjestelmän suunnittelusta ja rakentamisesta vastasi Ville Järvinen. Työtehtävät jaettiin aikaisemman henkilökohtaisen tiedon ja mielenkiinnon perusteella, eli työn osa-alueesta vastuun otti asiasta eniten kiinnostunein ja kokenein.

Keskityin tässä opinnäytetyössä anturijärjestelmän suunnitteluun, rakentamiseen ja testaamiseen. Laitteen koteloinnin suunnittelu ja tulostus sekä laitteen asennuspaikan ja asennukseen käytettävän telineen suunnittelu tehtiin osittain yhteistyönä Ville Oivon kanssa.

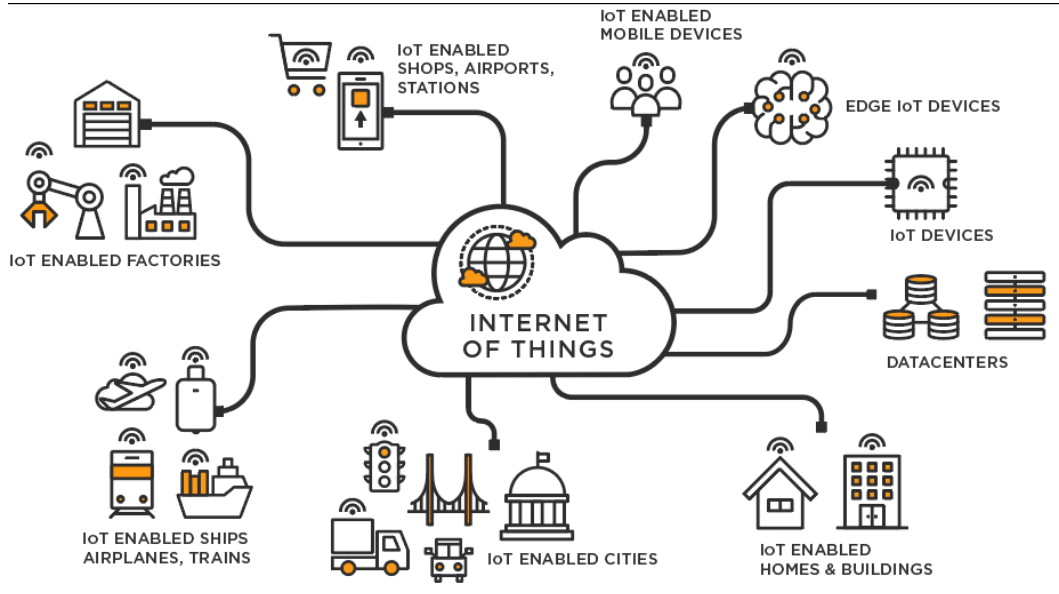
2 ALUSTAVA TIEDONHAKU

Ensimmäisiksi tutkittaviksi kohteiksi valittiin tiedonsiirtoteknologiat, koska työn tulosten sijoituskohteet olivat hankalissa paikoissa ja jo suunnitteluvaiheessa mietittiin miten laitteiden välinen tiedonsiirto ja muu kommunikointi tulisi toteuttaa. Ennalta tunnettujen teknologioiden tarkemman tutkimisen lisäksi valikoitiin joitain mielenkiintoisia vaihtoehtoja, joihin perehdyttiin ja niiden sopivuutta projektin toteutukseen selvitettiin.

Toiseksi tutkittiin ja vertailtiin kehitysalustoja, joiden avulla projektin osat rakennettiin. Kehitysalustat ja niiden ominaisuudet olivat ryhmän jäsenille tuttuja, koska niitä oli käytetty opintojen aikana muissa projekteissa. Niiden ominaisuuksiin kuitenkin perehdyttiin tarkemmin, jotta toteutukseen valitut laitteet vastaisivat vaatimuksia mahdollisimman hyvin.

2.1 Internet of Things

IoT, joka tunnetaan myös nimellä esineiden internet, kuvailee sellaisia laitteita ja järjestelmiä, joihin on asennettu antureita ja toimilaitteita, ja jotka kommunikoivat tietokonejärjestelmien kanssa (Kuvio 1). IoT-järjestelmät mahdollistavat fyysisen maailman tarkkailun ja ohjaamisen digitaalisesti. Hyödyllisen IoT-järjestelmän rakentamiseen tarvitaan alusta, jolla voidaan luoda ja hallita sovelluksia sekä tallentaa ja analysoida dataa turvallisesti. (McKinsey & Company 2022.)



Kuvio 1. Mitä IoT sisältää (Cloud Software Group 2023)

Yleisiä IoT-käyttökohteita ovat esimerkiksi kodin järjestelmät, kuten älykkäät kodinkoneet ja turvajärjestelmät sekä teollisuudessa laitteiden optimointiin ja inventointiin käytettävät järjestelmät. IoT-järjestelmiä voidaan myös hyödyntää autonomisten ajoneuvojen (Kuvio 2) navigoinnissa. IoT-laitteet kuitenkin voivat olla yhtiöille tietoturvariski, sillä jokainen verkkoon yhdistetty laite voi altistaa verkon hyökkäyksille. (McKinsey & Company 2022.)

Niin sanotuissa älykkäissä kaupungeissa IoT-järjestelmiä voidaan käyttää esimerkiksi liikenteen sulavampaan hallitsemiseen ja parkkipaikkojen etsimiseen. Myös autojen ja rekkojen yhdistäminen IoT:hen on yleistynyt ja verkkojen kautta kuskit ja yhtiöt voivat seurata ajoneuvojen huollontarvetta ja ajoreittien tilannetta reaaliaikaisesti. (Foote 2022.)



Kuvio 2. IoT:n avulla navigoiva robotti (Chiu, Prince, Thomas, Wang & Windows IoT 2017)

Kevin Ashton keksi IoT-nimityksen vuonna 1999. Yksi ensimmäisistä IoT-laitteista oli kuitenkin kehitetty jo 1980-luvulla. Carnegie Mellon yliopiston ohjelmoijat olivat kytkeneet Coca Cola -automaatin internettiin, jonka kautta käyttäjät voivat tarkistaa onko automaatissa viileää juomaa. (Foote 2022.)

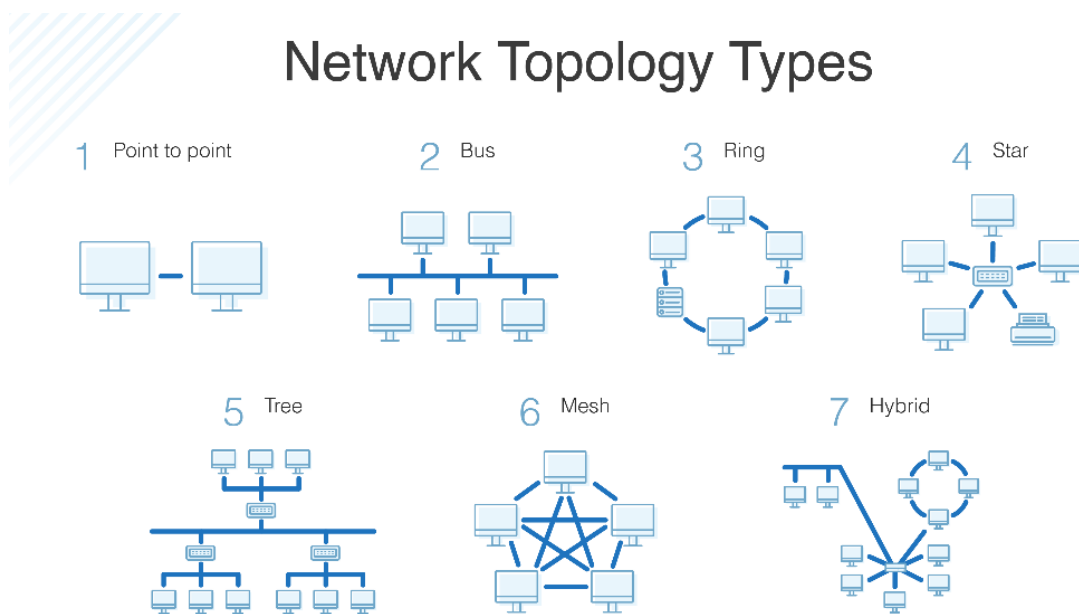
Tässä projektissa hyödynnettiin IoT:n periaatteita kamerajärjestelmässä jossa, sen keräämä videokuva saatiin vietyä langattomien tiedonsiirtoteknologioiden avulla käyttäjille. Anturijärjestelmän IoT-ominaisuudet jäivät aikamääreiden takia jatkokehitysideoiksi, mutta käyttöön valitut laitteet tukevat Wi-Fi- ja Bluetooth-yhteyksiä.

2.2 Tiedonsiirtotekniikat

Verkkotopologiat (Kuvio 3) viittaavat asetelmiin, joihin verkossa olevat laitteet järjestäytyvät ja se, miten verkon laitteet yhdistyvät toisiinsa määrittyy topologian

mukaan. Topologiat voivat olla fyysisiä tai loogisia. Joissain topologioissa on selvät vahvuudet ja heikkoudet esimerkiksi fyysisen mesh-verkon toteuttamiseen vaaditaan paljon kaapelia, mutta yksittäisten laitteiden vioittuminen ei häiritse verkon toimintaa. Langattomassa mesh-verkossa vastaavaa heikkoutta ei ole. Renkas-topologiassa signaali voi kulkea pitemmälle koska jokainen laite uudistaa läpikulkevan viestin, mutta yksikin vioittunut laite katkaisee verkon. (Beal 2021.)

IoT-järjestelmissä suositaan yleensä langattomia teknologioita, joissa tähti- ja mesh-verkot toimivat parhaiten. Verkkoa suunnitellessa tulee ottaa huomioon käytettävä topologia tyyppi, sillä se määrittää miten laitteet yhdistetään toisiinsa. Verkossa olevien laitteiden määrä voi myös vaikuttaa topologian valintaan, sillä jotkut topologiatyypit kuten puu- ja muut hybridiverkot helpottavat suurempien laitemäärien hallinnointia. (Beal 2021.)

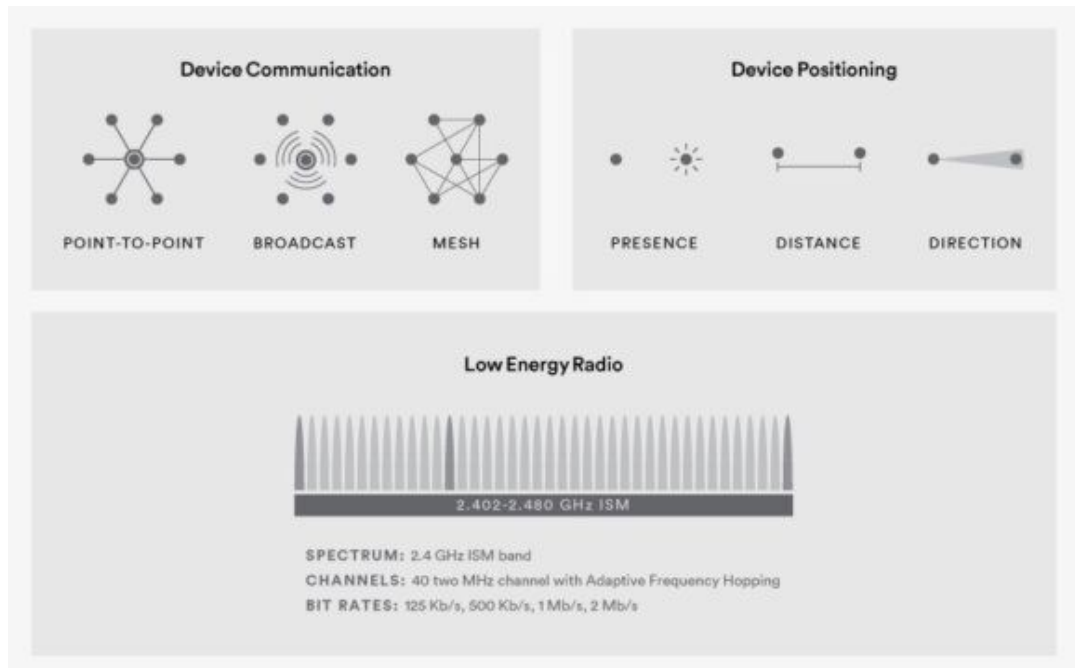


Kuvio 3. Verkkotopologiatyyppejä (HEAVY.AI 2022)

2.2.1 Bluetooth Classic ja Low Energy

Bluetooth (Kuvio 4) on 2.4GHz radioaaltoja käyttävä langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitettu viestintäteknologia. Toisin kuin WLAN- ja 4G-verkoissa, joissa laitteet yhdistetään internetin kautta, laitteet muodostetaan Bluetoothilla yhdistetyksi laitepariksi suoraan. Bluetoothista on kaksi versiota: Classic ja Low Energy. Classic lähettää dataa 2,4 GHz:n taajuuskaistalla käyttäen 79:ää kanavaa. Bluetooth

Classic on yleisin radioprotokolla langattomissa kuulokkeissa, kaiuttimissa ja muissa median langattomassa toistamisessa. Classic pystyy myös hieman nopeampaan tiedonsiirtoon kuin Low Energy. (Bluetooth 2023.)



Kuvio 4. Bluetoothin ominaisuuksia (How To Electronics 2023)

Bluetooth Low Energy (BLE) toimii myös samalla 2.4 GHz:n taajuusalueella mutta käyttää vain 40:tä kanavaa. BLE on tarkoitettu erittäin pientä virrankulutusta vaativiin toimintoihin. Vaikka BLE on tunnettu alun perin sen kommunikaatiokyvystä, sitä käytetään nykyään myös laitteiden paikannukseen sisätiloissa. (Bluetooth 2023.)

Bluetooth-yhdistettävyyttä olisi tarvittu joidenkin suunniteltujen projektin osien väliseen kommunikointiin. Anturijärjestelmän erillisten osien, Ruuvitagien ja kulunvalvontalaitteen väliseen viestintään ja datankeräykseen Bluetooth olisi sopinut hyvin. Kulunvalvontajärjestelmä, Ruuvitagit ja muut erilliset mittauslaitteet kuitenkin karsiutuivat pois, eikä sen takia Bluetoothia tarvittu projektin lopullisessa toteutuksessa.

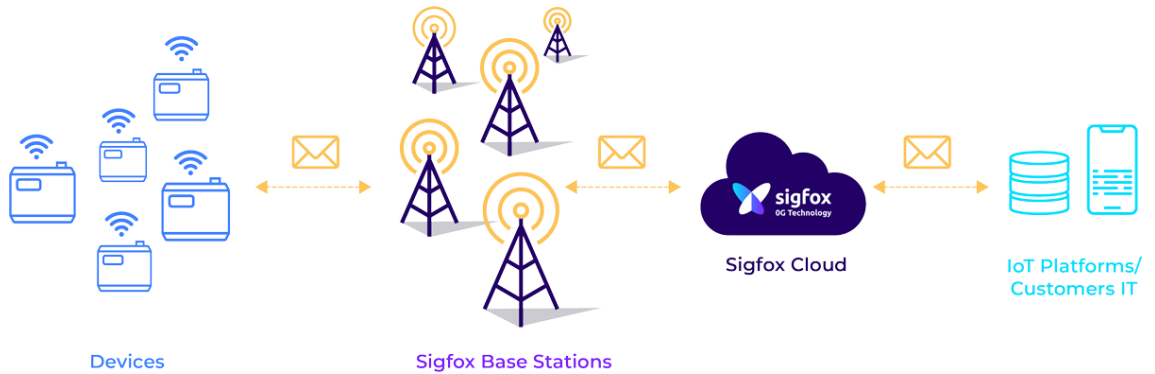
2.2.2 NFC

NFC tai Near Field Communication on lyhyen kantaman langattomaan tiedonsiirtoon käytetty teknologia. Sen toiminta perustuu induktiiviseen kytkentään, jossa lukijalaitteen muodostama magneettinen kenttä indusoi sähkövirran luettavaan kohteeseen. Elektronisen kättelyn jälkeen tallennetut tiedot voidaan siirtää langattomasti lukijalaitteelle. NFC on Radio Frequency Identification (RFID) -teknologiasta eteenpäin kehitetty muoto. RFID mahdollistaa kommunikaation pitemmällä kantamalla mutta NFC-laitteet voivat toimia lukevana ja luettavana laitteena. (Wankhede 2023.)

NFC:n signaalin kantama on vain muutamia senttimetrejä mutta se on hyvin energiatehokas. Nykyään suurimmassa osassa älypuhelimista on NFC-teknologiaa sisäänrakennettuna. Lähimaksut suoritetaan NFC:tä käyttäen ja sitä käytetään myös langattomissa kuulokkeissa ja kaiuttimissa sekä joissain pelikonsoleissa kuten Nintendo Switch. (Wankhede 2023.)

2.2.3 Sigfox 0G

Sigfox 0G on pienivirtainen laajalle alueelle kantava pienten viestien lähettämiseen kehitetty teknologia. Se on suunniteltu yhdistämään sensoreita ja muita laitteita turvallisesti ja edullisesti mahdollistaen suuren energiatehokkaan IoT-verkon. Nykyään Sigfox-teknologiaa tarjoavat paikalliset 0G-teleoperaattorit yli 70 maassa. Sigfoxin on tarkoitus mahdollistaa hyvin pienellä virralla toimivien laitteiden tietojen tarkkailu. Sigfox-signaalin elinkaarella (Kuvio 5) laite herää lepotilasta ja lähettää viestin, jonka tukiasemat vastaanottavat ja lähettävät Sigfoxin pilvipalveluun, josta viesti välitetään käyttäjälle. Sigfox-verkossa voidaan lähettää korkeintaan 12 tavun kokoisia viestejä. Sigfoxia voi myös käyttää olemassa olevien verkkojen täydentämiseen. (Sigfox 2023b.)



Kuvio 5. Signaalinkulku Sigfox-verkossa (Sigfox 2023b)

Sigfox teknologiaa voidaan käyttää monenlaisessa teollisuudessa tuotannon, laitteiden kunnan ja prosessien tilanteen tarkkailuun. Esimerkiksi kaluston tarkka seuranta helposti asennettavilla IoT-laitteilla helpottaisi täsmällisten huoltotöiden tekemistä, vähentäen näin laitteiden manuaalisen tarkastamisen tarvetta. Älykkäät mittarit voivat käyttöönoton jälkeen lähettää dataa jopa vuosia samalla akulla. (Sigfox 2023a.)

2.2.4 LoRa

LoRa (lyhennys sanoista Long Range) on hajaspektrimodulaatioteknologia, joka perustuu chirp spread spectrum -teknologiaan (CSS). LoRa suosii datan lähetyksmäärän sijaan lähetystehoa, jonka takia signaali kantaa kauemmas. LoRa signaalit kestävät hyvin erilaisia kaistan sisäisiä ja ulkoisia häiriömekanismeja. (Semtech Corporation 2015.)

LoRaWAN on LoRa-teknologiaa käyttävä tiedonsiirtoverkko, joka siirtää tietoa nopeasti ja vähällä virralla. LoRaWAN sopii parhaiten pienten datamäärien vastaanottamiseen ja lähettämiseen. Tiedon lähetykskantama voi olla jopa useita kymmeniä kilometrejä maaston mukaan. LoRaWANin kehittämistä valvoo LoRa Alliance. LoRa Alliance on satojen järjestöjen ja yritysten muodostama maailmanlaajuinen järjestö. LoRaWAN-verkkoa käyttävät IoT-ratkaisut ovat kevyitä ja yksinkertaisia asentaa. LoRaWAN-verkkoon yhdistetty anturi voi toimia samalla akulla jopa 10 vuotta, vähentäen laitteen huollon tarvetta. (Digita 2023.)

2.2.5 Wireless Local Area Network

Wireless Local Area Network tai lyhyemmin WLAN (Kuvio 6) tarkoittaa joukkoa samaan verkkoon kytkettyjä laitteita, jotka yhdistyvät toisiinsa langattomasti (Cisco Systems 2023). WLAN ja Wi-Fi mielletään usein samaksi asiaksi, mutta Wi-Fi on rekisteröity tavaramerkki. Wi-Fi Alliance on maailmanlaajuinen ryhmä yhtiöitä, joka omistaa Wi-Fi-tavaramerkin. Wi-Fi Alliance ajaa Wi-Fi:n käyttöönottoa ympäri maailman sekä kehittää teknologioita ja sen vaatimuksia sekä testausmenetelmiä taatakseen käyttäjille Wi-Fi:n yhteensopivuuden, turvallisuuden ja luotettavuuden. (Wi-Fi Alliance 2023b.)



Kuvio 6. WLAN-verkko visualisoituna (Cisco Systems 2023)

Wi-Fi teknologiat jakaantuvat sukupolviin, joista viimeisin on Wi-Fi 6. Sukupolvi määrittää mitä IEEE 802.11 -protokollan versiota laite tukee. Wi-Fi 6 tukee 802.11ax-teknologiaa, Wi-Fi 5 tukee 802.11ac-teknologiaa ja Wi-Fi 4 tukee 802.11n-teknologiaa. Uudemmat sukupolvet tarjoavat käyttäjille parempia nopeuksia ja paremman käyttökokemuksen. Wi-Fi Alliance suorittaa laitteille hyväksymisprosesseja, joiden läpäisevät laitteet saavat varmennusmerkinnän. Varmennetut laitteet ovat testattu ja todettu toimiviksi ja takaperin yhteensopiviksi vanhempien laitteiden kanssa. (Wi-Fi Alliance 2023a.)

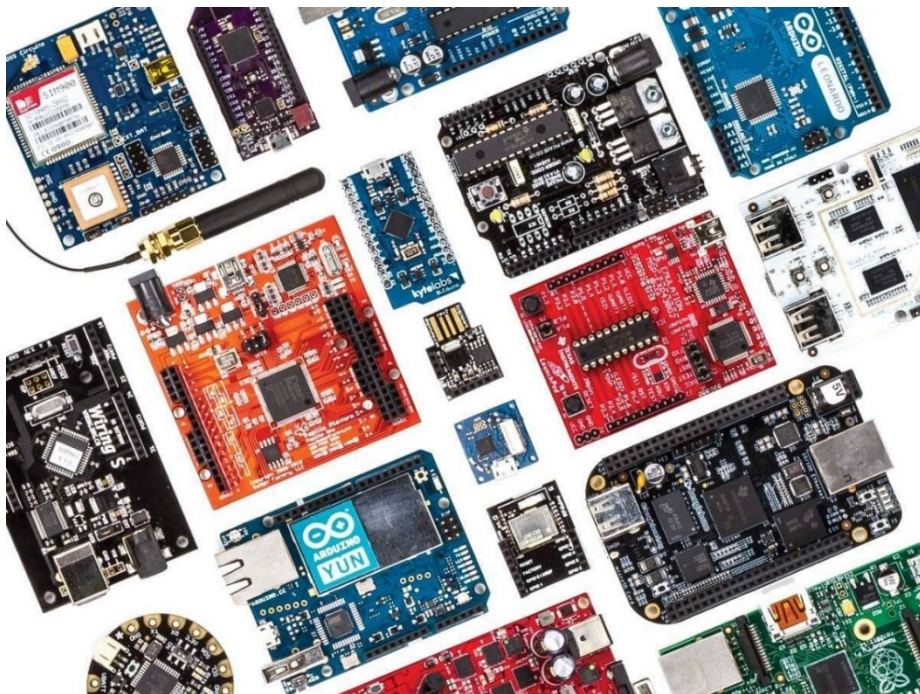
WLAN ei ole aivan yhtä luotettava tai nopea kun kiinteä kaapelikytkentä mutta varsinkin kannettavien laitteiden yhdistämiseen se on kaapelia kätevämpi. Koska WLAN-verkot näkyvät kaikille sen kantamalla oleville laitteille, täytyy verkkoon

pääsy suojata jollain tavoin. WLAN-verkkojen suojaukseen käytetään yleensä verkon salausta ja WPA2-suojauksia. (Lampila. 2020.)

WLAN:in katsottiin olevan projektin vaatimuksiin hyvin soveltuva teknologia ja koska tiloissa oli jo valmiiksi asennettu WLAN-verkko, se valittiin ensisijaisesti käytettäväksi laitteiden väliseen kommunikointiin. Kaikki projektin toteutukseen valitut laitteet tukevat WLAN-yhteyttä.

2.3 IoT-kehitysalustat

Kehitysalustat (Kuvio 7) ovat helppo tapa aloittaa IoT-projektin kehittäminen ja vaihtoehtoja on monia, joista kuuluisimpia ovat Arduino ja Raspberry PI. Nykyiset kehitysalustat ovat helppokäyttöisiä verrattuna edeltäviin, jotka vaativat enemmän teknistä osaamista. Yksinkertaisempien projektien toteutukseen riittää yleensä halvempi Arduino mutta monimutkaisempien tai suurempaa laskentatehoa vaativien tehtävien suorittamiseen voidaan tarvita Raspberry PI tai jokin vielä kalliimpi alusta kuten Nvidian Jetson. (Lanka 2019.)



Kuvio 7. Yleisiä kehitysalustoja (Lanka 2019)

Kehitysalustan valinnassa tulee huomioida laitteen hinnan lisäksi sen ominaisuudet, kuten prosessorin tehokkuus ja yhdistettävyyden mahdollisuudet. Varsinkin

IoT-järjestelmissä niiden kommunikointiominaisuudet määrittelevät pitkälti laitteen käytettävyyden. Haluttujen oheislaitteiden, anturien ja muiden laitteiden kytkentään tarvittavien liitäntöjen tuki tulee myös varmistaa. Tyypillisesti mikrokontrollerit tukevat SPI- ja I2C-sarjaprotokollien kautta laitteiden välistä viestintää. USB- ja HDMI-portit ovat myös yleisiä monissa laitteissa. Jotkin säädettävät laitteet kuten himmennettävät lamput ja servomootorit saattavat vaatia pulssinleveysmodulaatioon (PWM) kykeneviä liitäntöjä. (Drewery 2023.)

2.3.1 Arduino

Arduinot (Kuvio 8) ovat laaja valikoima avoimen lähdekoodin kehitysalustoja ja lisälaitteita, jotka ovat suunniteltuja aloittelijaystävällisiksi erilaisten elektroniikan projektien toteuttamiseen. Arduino tarjoaa useita alustoja, joilla on useissa hintaluokissa eri ominaisuuksia tarjoten aloittelijoille ja edistyneemmille käyttäjille hyvän kehitysalustan erilaisiin projekteihin. (Arduino 2022.)



Kuvio 8. Arduino Micro (Arduino 2021)

Arduino alustat ohjelmoidaan käyttäen Arduinon omaa ohjelmointiympäristöä, (IDE) jolla kirjoitetut ohjeet ladataan USB:n kautta Arduinolle. Joidenkin Arduino mallien kuten Micron ja Leonardon prosessorit sisältävät tuen USB-kommunikaatiolle sisäänrakennettuna muissa käytetään erillistä USB-prosessoria. Arduinon prosessoreissa on valmiiksi asennettu käynnistyslataaja (bootloader) ohjelma, joka mahdollistaa alustan ohjelmoinnin USB-yhteyden kautta eikä sen takia vaadita erillistä ohjelmointi laitteistoa. (Arduino 2021.)

Arduinolla on suuri yhteisö, johon kuuluu harrastelijoita, opiskelijoita ja ammattilaisia ympäri maailmaa (Arduino 2023a). Yksinkertaistettuna Arduinot lukevat sisään tulevia signaaleja kuten anturin lukemaa, näppäimen painallusta tai viestejä internetissä ja muuttavat ne erilaisiksi toiminnoiksi kuten valon sytyttämiseksi tai servomootoreiden liikkeiksi. Arduinon laitteet ja ohjelmisto ovat kaikki julkaistu avoimena lähdekoodina, joka mahdollistaa niiden laajentamisen ja muokkaamisen. (Arduino 2018.)

2.3.2 ESP32

ESP32 on sarja mikrokontrollereita, jotka ovat kehitetty edeltävästä ESP8266-sarjasta. ESP8266 ja ESP32 ovat molemmat Espressif Systemsin kehittämiä. ESP8266:een verrattuna ESP32:n tärkeimpiin päivityksiin kuuluu sen nopeampi Wi-Fi ja sisäänrakennetut Bluetooth ja BLE tuki sekä prosessoriin lisätty toinen ydin. ESP32 (Kuvio 9) myös sisältää enemmän GPIO-kytkentäpinnejä sekä paremmat lepotilaominaisuudet. (CircuitSchools 2022.)



Kuvio 9. ESP-WROOM-32-moduuli (CircuitSchools 2022)

ESP32 on yhdistetty 2.4 GHz Wi-Fi ja Bluetooth yhdistelmäsiiru, joka on kehitetty TSMC:n matalavirtaisella 40 nm -teknologialla. Se on suunniteltu saavuttamaan mahdollisen hyvän RF-suorituskyvyn ja häiriönsietokyvyn sekä luotettavuuden ja

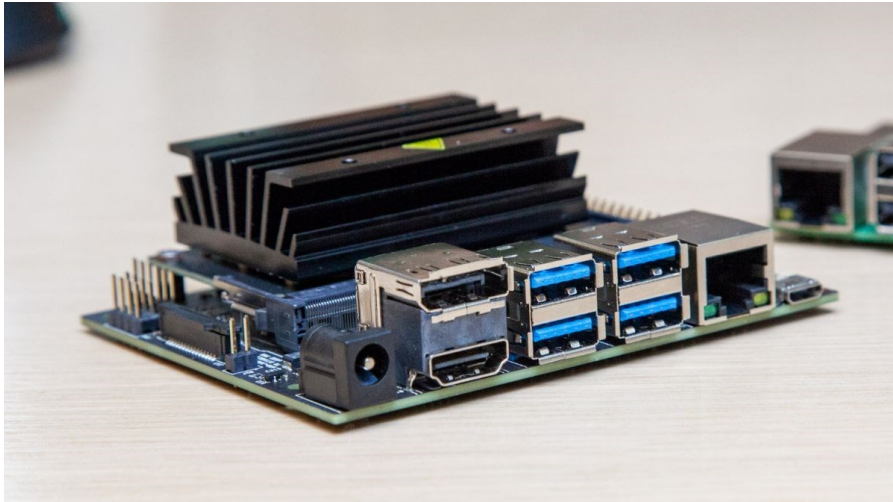
monipuolisuuden useissa käyttöympäristöissä. ESP32-siruja on saatavilla helpokäyttöisinä kehityslautoina ja pienempinä SMT-moduuleina. ESP32 ovat pienen virrankulutuksensa ansiosta sopivia monenlaisiin käyttökohteisiin, kuten IoT-datankeräykseen, anturijärjestelmiin ja teollisuuden automaatioon. (Espressif 2023, 2–5.)

ESP32:en avainominaisuuksiin kuuluu muun muassa Wi-Fi 802.11 b-, g- ja n-tuki käyttäen TH40-kanavaa, Bluetooth 4.2 ja BLE tuki sekä Xtensa LX6 kaksiytiminen prosessori. GPIO-pinnejä ESP32:ssa on 34, SPI-väyliä neljä ja I2C väyliä kaksi. Lisäksi laite sisältää 12-bittisen AD-muuntajan ja kaksi 8-bittistä DA-muuntajaa. (CircuitSchools 2022.)

ESP32 oli ominaisuuksiensa puolesta projektin toteutukseen erityisen hyvin sopeva. Sen sisäänrakennettu WLAN-tuki, GPIO-pinnit, kaksiytiminen prosessori ja pieni koko tekivät siitä täydellisen suunniteltujen laitteiden rakentamiseen. Lisäksi Bluetooth-tuki olisi ollut tarpeellinen aikaisempien suunnitelmien mukaisessa järjestelmässä, jossa päälaitteen lisäksi ympäristödataa olisivat keränneet Ruuvitagit ja erilliset mittauslaitteet.

2.3.3 Jetson Nano

Jetson Nano on NVIDIAN kehittämä koneoppimis- ja tekoälytekniikoita varten suunniteltu pienoistietokone. Jetson Nano vastaa monilta ominaisuuksiltaan Raspberry PI:tä mutta sisältää huomattavasti tehokkaamman ARM A57 -prosessorin ja NVIDIAN 128-ytimisen Maxwell-näytönohjaimen sekä nelikertaisen määrän hajasaantimuistia. Jetson Nano (Kuvio 10) tarjoaa suhteellisen edullisen hintansa ansiosta harrastelijoille ja ohjelmoijille mahdollisuuden kokeilla tekoälyteknologiaa omissa projekteissaan. (Piltch 2019.)



Kuvio 10. Jetson Nano -kehitysalusta (Piltch 2019)

Jetson Nanossa käytetään virallisesti Linux4Tegra-käyttöjärjestelmää, joka pohjautuu Ubuntuun, joka asennetaan Raspberryn tapaan SD-kortille. Jetsonista löytyy myös samat CSI-, USB- ja HDMI-portit kun Raspberry Pi:ssä. Raspberry Pi:ssä on vakiona verkkokortti, jonka Jetsoniin joutuu asentamaan erikseen. Lisäksi Jetsonissa on display- ja M.2-portit sekä 40-GPIO-pinniä lisälaitteiden ja anturien kytkemiseen. (Piltch 2019.)

Jetsonin suurin myyntivaltti on sen suoritusteho erilaisissa tekoälysovelluksissa, kuten kuvan- ja liikkeentunnistuksessa ja videon tasoituksessa. Se suorittaa annetut tehtävät nopeasti ja lopputuloksen laatu riippuu usein enemmän ohjelmistosta kuin laitteistosta. Jetson Nano ei varsinaisesti pysty kilpailemaan Raspberry Pi:n kanssa vähemmän vaativissa sovelluksissa. Jetson Nano ei hintansa takia sovellu yleisiin harrastelijoiden käyttötarkoituksiin, mutta tekoälyä käyttäviin sovelluksiin Jetson on edullinen työkalu. (Piltch 2019.)

2.3.4 Raspberry PI

Raspberry Piit (Kuvio 11) ovat edullisia yhden piirilevyn tietokoneita. Pienestä koostaan huolimatta RasPI sisältää kaikki normaalin tietokoneen toimintaan vaadittavat komponentit, kuten prosessorin, näytönohjaimen ja kytkentäportteja oheislaitteille. Alun perin Raspberry PI -projekti kehitettiin halvaksi työkaluksi tietokonetiiteen opetukseen. (Butts 2021.)



Kuvio 11. Vanhempi RasPi Model 1 B (Ash 2021)

Raspberry Piit tukevat Wi-Fi-, Bluetooth- ja Ethernet -yhteyksiä ja niissä on USB-portit monien oheislaitteiden, kuten hiiren, näppäimistön tai web-kameran kytke- mistä varten. RasPiä varten on kehitetty Raspbian käyttöjärjestelmä, mutta se voi käyttää myös muita ARM-pohjaisia Linux-käyttöjärjestelmiä. Lisäksi RasPi:ssä on GPIO-pinnit, jotka mahdollistavat monenlaisten anturien ja muiden laitteiden kyt- kemisen ja pienellä ohjelmointitaidolla RasPi:llä voi toteuttaa monenlaisia omia projekteja. RasPi:n voi ohjelmoida esimerkiksi retropelieмуляattoriksi tai vaikkapa omaksi tiedosto- ja mediapalvelimeksi. (Butts 2021.)

Raspberry Piit olisivat sopineet ohjaimiksi kaikkiin projektin osiin ohjelmoitavuus- tensa, laskentatehonsa, sisäänrakennetun WLAN- ja Bluetooth-tukensa sekä GPIO-kytkettävyytensä puolesta, minkä takia niitä käytettiin kamerajärjestel- mässä. Anturi- ja kulunvalvontajärjestelmiin se ei kuitenkaan olisi soveltunut yhtä hyvin suuremman kokonsa ja virrankulutuksensa takia. Myös lopullisesta toteu- tuksesta karsitun tietokannan toteutukseen olisi käytetty Raspberry Piitä.

3 ANTURIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

3.1 Mikrokontrollerin valinta

Ennen varsinaisen työn aloittamista pidettiin laitteeseen tulevien ominaisuuksien suunnitteluun aivoriihiä muiden ryhmän jäsenten, työn tilaajan ja ohjaajan kanssa. Suunnittelupalaverien aikana muodostuneesta listasta karsittiin pois ominaisuuksia osien saatavuuden, sopivuuden ja arvioidun toteutukseen kuluvan ajan perusteella.

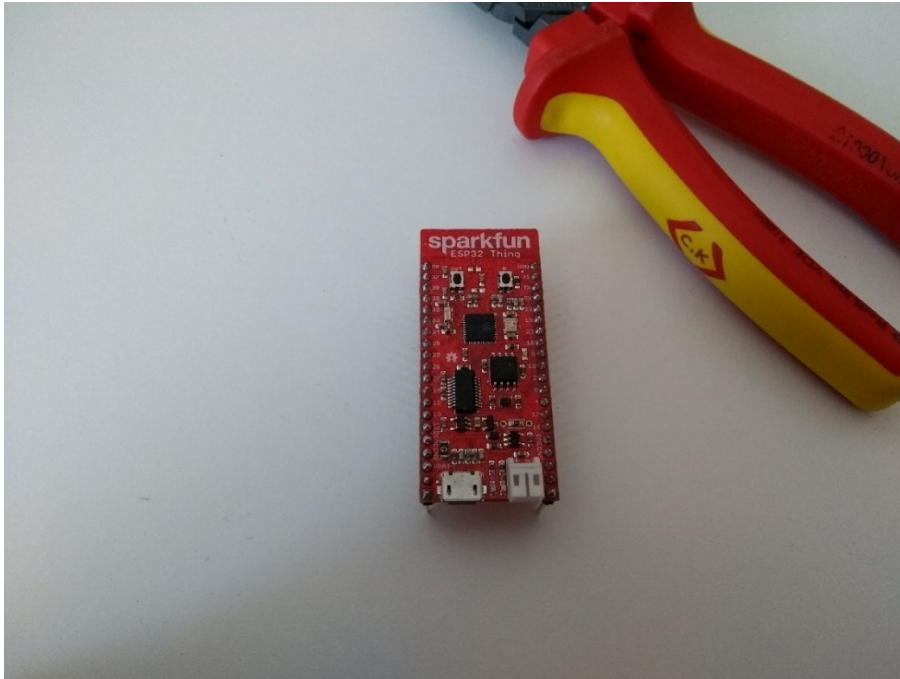
Kellaritilan ympäristön todettiin olevan pitkäaikaiselle työskentelylle sopimaton ja mahdollisia haittatekijöitä harkittiin ryhmän, ohjaajan ja tilaajan kesken. Kellaritilojen todennäköisiksi haittatekijöiksi tunnistettiin muun muassa ilmanlaadun mahdolliset ongelmat, kuten korkea hiilidioksidi tai muut haitalliset kaasut, korkea melutaso, mukavuutta haittaavat lämpötilat ja pitempikestoisesti korkeasta ilmastuudesta mahdollisesti aiheutuvat ongelmat, kuten home. Näiden haittatekijöiden tunnistamiseksi etsittiin ja valittiin antureita keräämään ympäristödataa ja mikrokontrolleri, joka kykenee käsittelemään ja lähettämään datan tietokantaan sekä esittämään sen tilassa oleville.

Alustavan ominaisuuslistan valmistuttua vertailtiin työn toteutukseen tulevaa mikrokontrolleria. Saatavilla olivat ESP8266 ja ESP32, useita eri Arduinoja sekä Raspberry PI -versiot 3 ja 4.

Mikrokontrollerilta vaadittuja ominaisuuksia olivat kykenevyys verkon yli kommunikointiin, mahdollisuus suorittaa useampaa prosessia yhdenaikaisesti sekä tuki I2C- ja SPI-väylien kautta antureiden kanssa kommunikoinnille. Toivottuja ominaisuuksia olivat edullinen hinta, hyvä saatavuus ja mahdollisuus toimia akkuvirralla.

Arduinot karsiutuivat ensimmäisinä, koska saatavilla olevat mallit eivät sisällä verkko-ominaisuuksia ilman erillisiä komponentteja. ESP32- ja ESP8266-mallit olivat Raspberry PI -malleja edullisempia, ja niitä oli työtä aloittaessa paremmin saatavilla. ESP32-mikrokontrollerin suoritustehon katsottiin olevan prototyypin

käytettäväksi riittävän hyvä. Sparkfunin valmistama ESP32 Thing (Kuvio 12) valikoitui lopulliseksi ohjaimeksi. Varhaisissa suunnitelmissa järjestelmään olisi kuulunut useampi mittauslaite, kulunvalvontalaite sekä tietokanta, johon kerätty data olisi tallennettu, mutta nämä ominaisuudet jouduttiin karsimaan ja siirtämään jatkokehitysideoiksi, koska projektin toteutus kesti arvioitua pidempään.

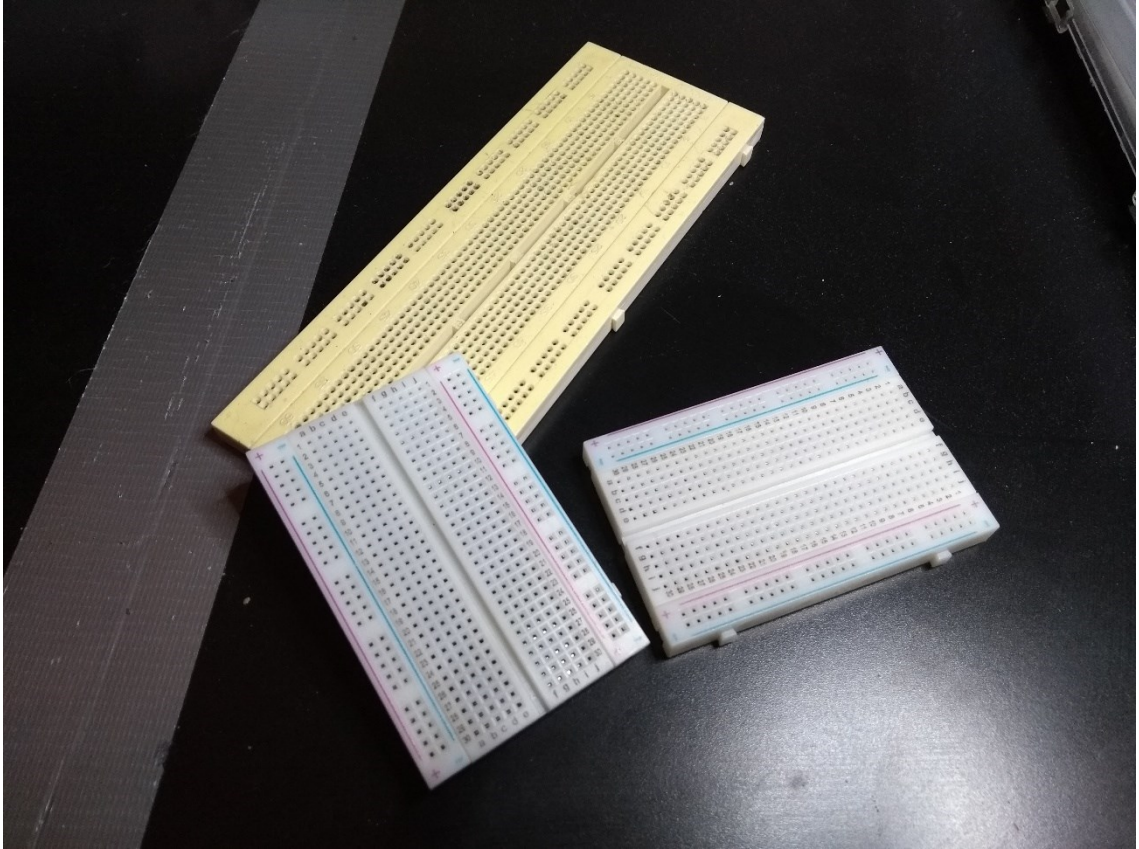


Kuvio 12. Sparkfun ESP32 Thing -mikrokontrolleri

3.2 Antureiden valinta ja toimivuuden testaus

Laitteen ympäristödatan keräämiseen käytettäviä antureita ja laitteen käyttöön tarvittavia muita komponentteja kerättiin koulun laboratoriosta, omasta kokoelmasta ja tilattiin saatavuuden mukaan verkosta testaamista varten. Prototyypin toteutukseen vaadittavat kaapelit ja kytkentälevyt löytyivät koululta.

Testausvaiheessa komponentit ja kytkennät asennettiin koekytkentälevyille (Kuvio 13) nopeuttamaan testaamista ja helpottamaan myöhempien antureiden lisäämistä ja mahdollisten vikojen selvittämistä. Koekytkentälevyjä käyttäessä ei komponentteja tarvitse juottaa kiinni, vaan komponentit kiinnitetään levyissä oleviin reikiin komponenteissa olevien pinnien avulla ja yhdistetään toisiinsa kytkentäkaapelein. Lopullisissa kytkennöissä antureista irrotettiin pinnit ja niiden tilalle juotettiin johdot.

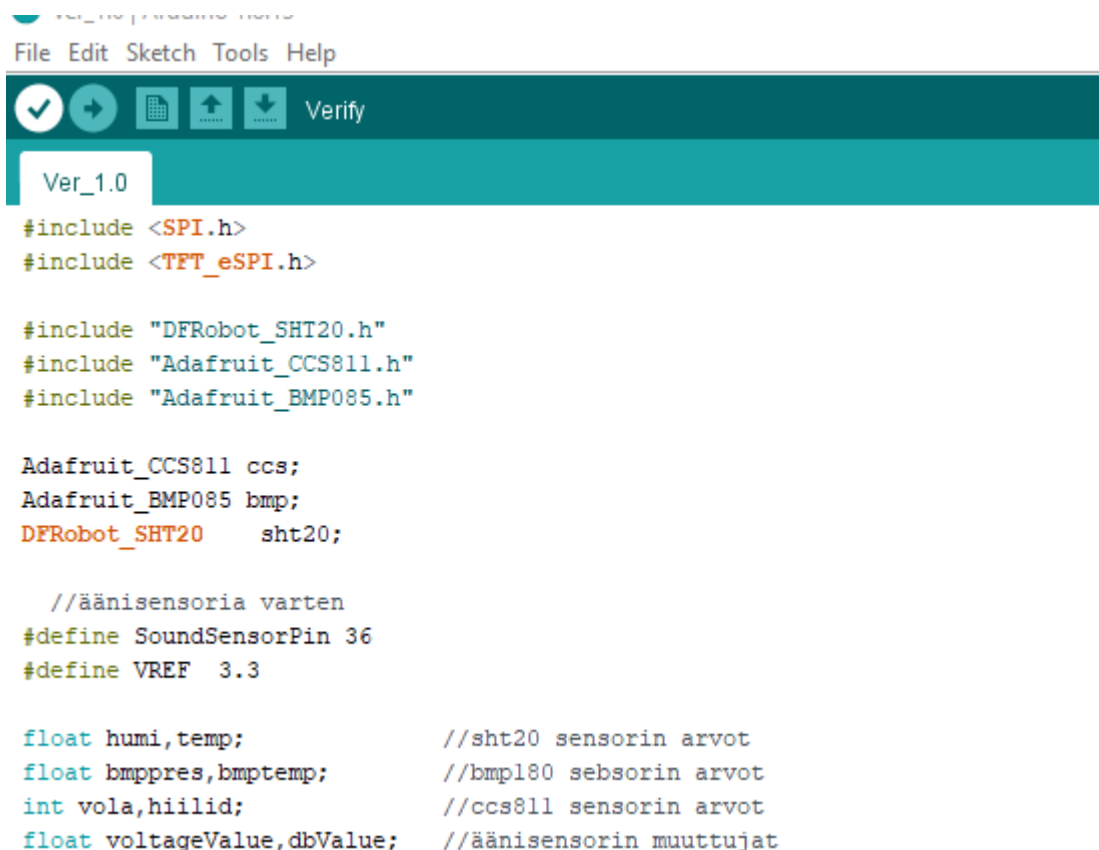


Kuvio 13. Koeytkentälevyjä

3.2.1 Mikrokontrollerin ohjelmointi

Mikrokontrollerin ohjelmointi kirjoitettiin Arduino IDE:llä (Kuvio 14). Arduino IDE on Arduinon tekemä avoimen lähdekoodin ohjelmointiympäristö, joka on tarkoitettu pääasiassa mikrokontrollerien ohjelmointiin. IDE kääntää kirjoitetun koodin valitulle laitteelle toimiviksi ohjeiksi. (Arduino 2023b.)

Jokaista anturia varten kirjoitettiin koodia ja anturille löytyi valmiit ohjelmointikirjastot, jotka tekevät suurimman osan anturien alustamisesta ja niiden kanssa kommunikoinnista sekä määrittelee käyttöön tarvittavat komennot tehden täten ohjelmoinnista helpompaa ja nopeampaa.



```

File Edit Sketch Tools Help
Ver_1.0
#include <SPI.h>
#include <TFT_eSPI.h>

#include "DFRobot_SHT20.h"
#include "Adafruit_CCS811.h"
#include "Adafruit_BMP085.h"

Adafruit_CCS811 ccs;
Adafruit_BMP085 bmp;
DFRobot_SHT20 sht20;

//äänisensoria varten
#define SoundSensorPin 36
#define VREF 3.3

float humi,temp; //sht20 sensorin arvot
float bmppres,bmptemp; //bmp180 sebsorin arvot
int vola,hiilid; //ccs811 sensorin arvot
float voltageValue,dbValue; //äänisensorin muuttujat

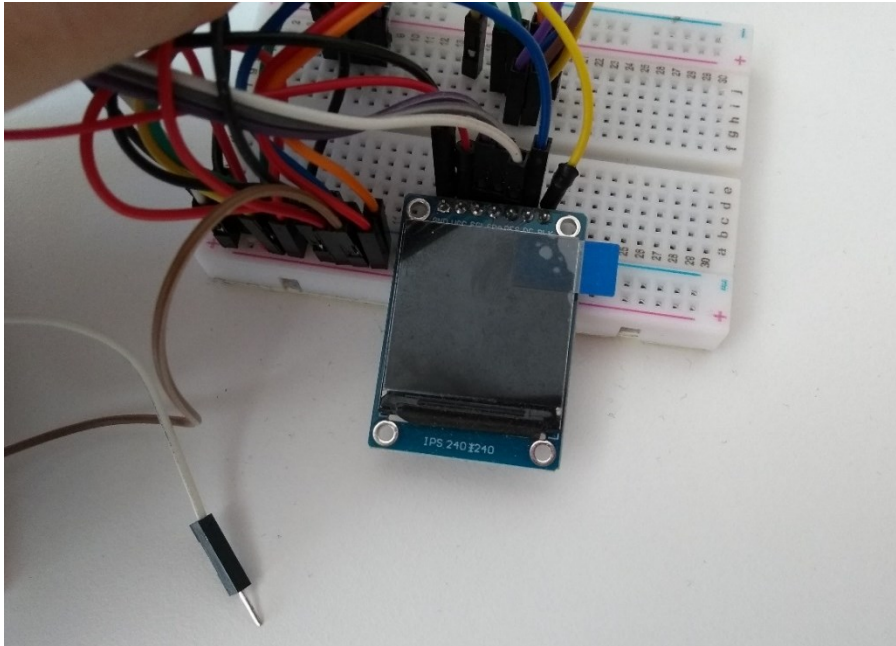
```

Kuvio14. Arduino IDE -koodia

ESP32-kontrollerin ohjelmointiin Arduino IDE:llä tarvitsi ohjelmointiympäristöön asentaa lautaa varten hallintapaketti, jonka avulla IDE kääntää kirjoitetun koodin alustalle sopivaksi. Koodi toimii silmukkana, joka toistaa itseään siihen asti, kunnes laite kytketään pois päältä tai silloin kun joidenkin laitteiden koodikirjastossa valmiiksi mukana oleva virheentunnistus havaitsee vian anturissa tai sen kytkennässä ja keskeyttää ohjelman. Painikkeelle on ohjelmoitu keskeytyskomento, joka vaihtaa koodista muuttujan arvon, jonka perusteella näyttö pidetään päällä tai kytketään pois.

3.2.2 Näyttö ja painike

Ensimmäiseksi asennettavaksi ja testattavaksi laitteeksi valittiin näyttö, koska se tulisi helpottamaan muita asennuksia ja testaamista. Näyttö oli myös laitteen toiminnallisuuden kannalta kriittinen komponentti. Valittu näyttö oli IPS TFT LCD -paneeli (Kuvio 15), näytön koko oli 1,4 tuumaa ja resoluutio 240 x 240 pikseliä.



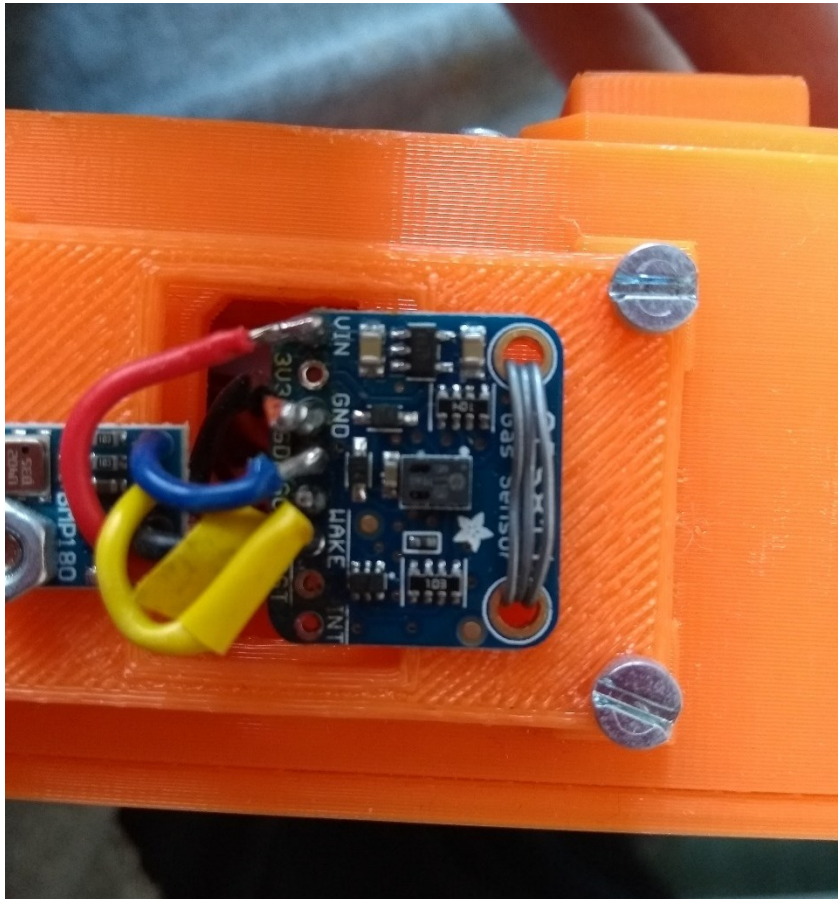
Kuvio 15. IPS-paneeli koekytentälevyllä

Näyttö toimii käyttäen TFT_eSPI-ohjelmointikirjastoa, jonka oli kirjoittanut Bodmer. Näyttö kommunikoi mikrokontrollerin kanssa SPI-väylän kautta. Näytön lisäksi kytkettiin painike, jolla näytön saa kytkettyä päälle ja pois päältä. Painikkeita tarvitsevia ominaisuuksia suunniteltiin aikaisemmin olevan enemmän, mutta niitä jouduttiin karsimaan myöhemmin pois. Painikkeet kuitenkin päätettiin jättää laitteeseen jatkokehitystä ajatellen.

3.2.3 Kaasanturi

Työympäristössä mahdollisesti esiintyvien haitallisten kaasujen tunnistamiseen ja mittaamiseen käytetään erikoisempia laitteita. Tarkoitukseen sopivia antureita saatiin testattavaksi kaksi: Flying fish MQ2 ja Adafruit CCS811. MQ2-anturi karsiutui pois sen suuremman koon ja lämmityselementin takia. Ennen tarkempaa ominaisuuksien tutkimista sen sisältämän lämmityselementin arvioitiin käyttävän enemmän virtaa, mutta tutkiessa selvisi, että CCS811 toimii myös lämmityselementtiä käyttäen. Aikaisissa suunnitelmissa laitteen kaavailtiin toimivan akkuvirralla ainakin muutaman päivän ajan, mutta suunnitelmien kehittyessä ei laitteen virrankulutusta enää otettu huomioon ja laitteen virta päätettiin ottaa pysyvästi verkkovirrasta.

Adafruitin valmistama CCS811-kaasuanturi (Kuvio 16) asennettiin laitteeseen ensimmäiseksi anturiksi. Anturi mittaa ilmasta haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (TVOC) ja laskee siihen verrattavaa hiilidioksidin määrää.



Kuvio 16. CCS811-anturi kytkettynä

CCS811 toimii käyttäen lämmittävää MOX-anturia ja kykenee tunnistamaan ilmasta useita haihtuvia yhdisteitä, kuten aldehydejä, alkoholeja ja ketoneja mitausvälillä 0–1187 ppb ja laskee siihen verrattavaa hiilidioksidin määrää, joka ilmaistaan välillä 400–8192 ppm. Anturille suositellaan 48 tunnin sisäänajojaksoa ennen varsinaista käyttöä ja vähintään 20 minuutin lämpenemisaikaa ennen jokaista käyttökertaa. (Adafruit 2017.) Anturi toimii Adafruitin omalla anturia varten kirjoitetulla ohjelmointikirjastolla.

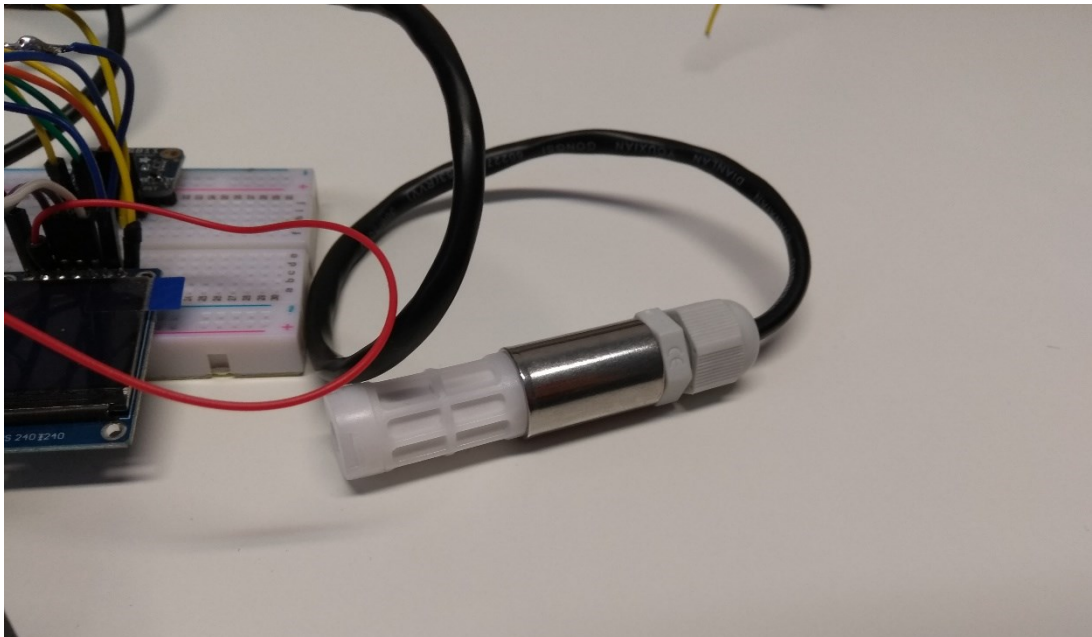
3.2.4 Lämpötilan ja ilmankosteuden mittausanturit

Kellaritilan ilmankosteutta ja lämpötilaa mittaavia antureita vertailtiin toiseksi. Saatavilla olivat Dallas DS18B20, SHT30 ja BMP180. Vedenpinnan korkeutta

mittavia antureitakin harkittiin projektiin alkuvaiheissa, mutta niiden ei katsottu olevan tarpeellisia.

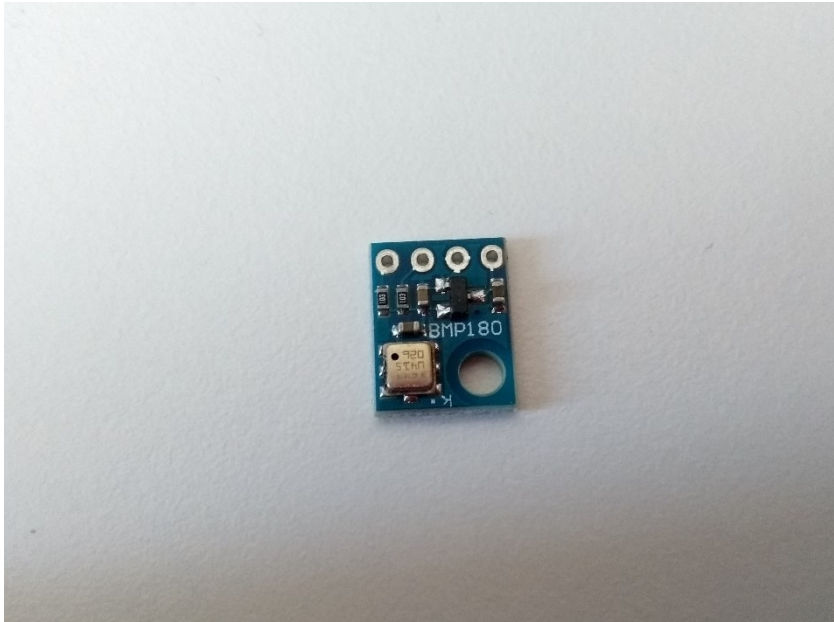
DS18B20-anturi karsiutui pois, koska toiset anturit kykenivät lämpötilan lisäksi mittaamaan muita arvoja. Vettä havaitsevia tai vedenkestäviä antureita tarvittiin, koska kellarin kerrottiin tulvivan joskus keväisin. Tämän takia vedenpitävän SHT30-anturin katsottiin olevan käyttökohteeseen sopiva. BMP180 mittaa lämpötilan lisäksi ilmanpainetta.

SHT30 (Kuvio 17) päätettiin asentaa laitteesta erilleen kaapelin päähän lattiata-son alle sen vedenkestävyyden sekä anturin koon ja muotoilun vuoksi. BMP180 (Kuvio 18) valittiin mittaamaan lämpötilaa ylempänä tilassa.



Kuvio 17. SHT30-anturi vedenkestävässä koteloinnissa

SHT30 toimii DfRobotin SHT30-ohjelmointikirjastolla. Koulun laboratoriolta löytynyt SHT30-anturi oli vesitiiviisti koteloitu. Ellei kohteeseen sopivaa vedenkestävää anturia olisi löytynyt, olisi mahdollisen tulvimisen aikaiseen havaitsemiseen käytetty veden tasoa mittaavaa anturia.

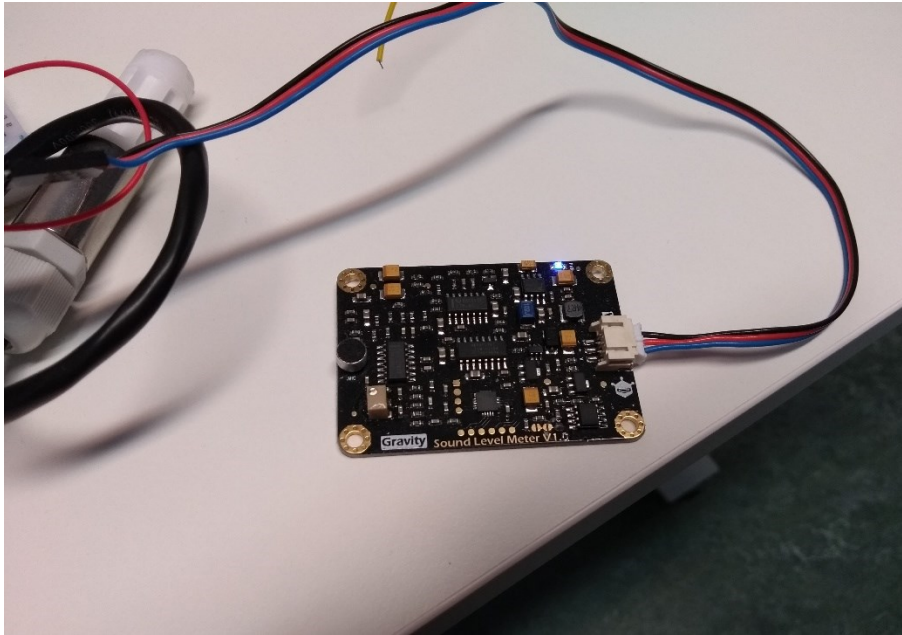


Kuvio 18. BMP180-anturi

BMP180 toimii Adafruitin BMP085-anturin ohjelmointikirjastolla. Anturi pystyy lämpötilan lisäksi mittaamaan myös ilmanpainetta, mutta sitä ei todettu tarpeelliseksi, joten sen mittaaminen jätettiin prototyypin ominaisuuksista pois.

3.2.5 Äänianturi

Kellaritilan melutason mittaamiseen käytettävä anturi löytyi koulun IoT-laboratoriosta. Muita vastaavia antureita ei löytynyt, mutta saatavilla ollut DFRobotin Gravity -sarjan desibelimittari (Kuvio 19) todettiin käyttökohteeseen sopivaksi.



Kuvio 19. DFRobot Gravity -desibelimittari

Äänianturikortilla on valmiina kaikki anturin toimintaan tarvittavat komponentit ja mikrofoni. Laite on suunniteltu suoraan yhteensopivaksi ja helpoksi asentaa Arduino-alustojen ja vastaavien mikrokontrollerien kanssa. Anturi lähettää kontrollerille analogista signaalia, jonka arvo on lineaarisesti verrattava desibelilukemaan. Analogisesta signaalista voidaan laskea yksinkertaisilla laskutoimituksilla desibeliarvo. (DFRobot 2017.)

4 PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN

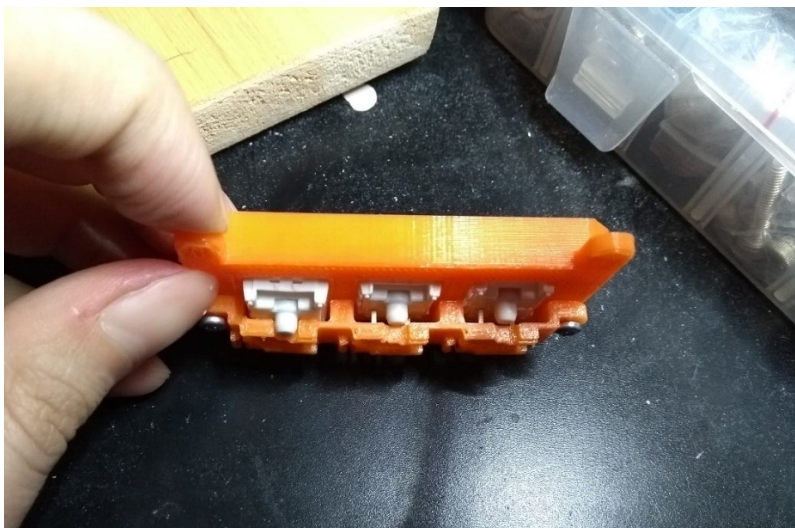
4.1 Kotelon suunnittelu

Koekytkentälevyille kootun testikokoonpanon valmistuttua laitteelle kehitettiin kotelo. Koteloinnista vastasi Ville Oivo, jonka kanssa kotelo suunniteltiin ja valmistettiin. Kotelon osat valmistettiin 3D-tulostimella. Koteloinnin suunnittelussa huomioitiin laitteen jatkokehitys varaamalla koteloon tilaa uusille osille ja tekemällä kotelosta osittain modulaarinen. Kotelon osista kehitettiin ja testattiin muutamaa prototyyppiversiota ennen lopullisen mallin valmistamista ja komponenttien kytkemistä.

Kotelointiin tehtiin antureita varten omat kiinnikkeet, joista monet suunniteltiin erikseen irrottaviksi helpottamaan asennusta ja huoltamista sekä tehden osien muokkaamisesta helpompaa jatkokehityksen aikana. Ennen kytkentöjen tekemistä anturit ja muut osat asennettiin niille tarkoitettuihin kiinnikkeisiin ja sovitettiin koteloon.

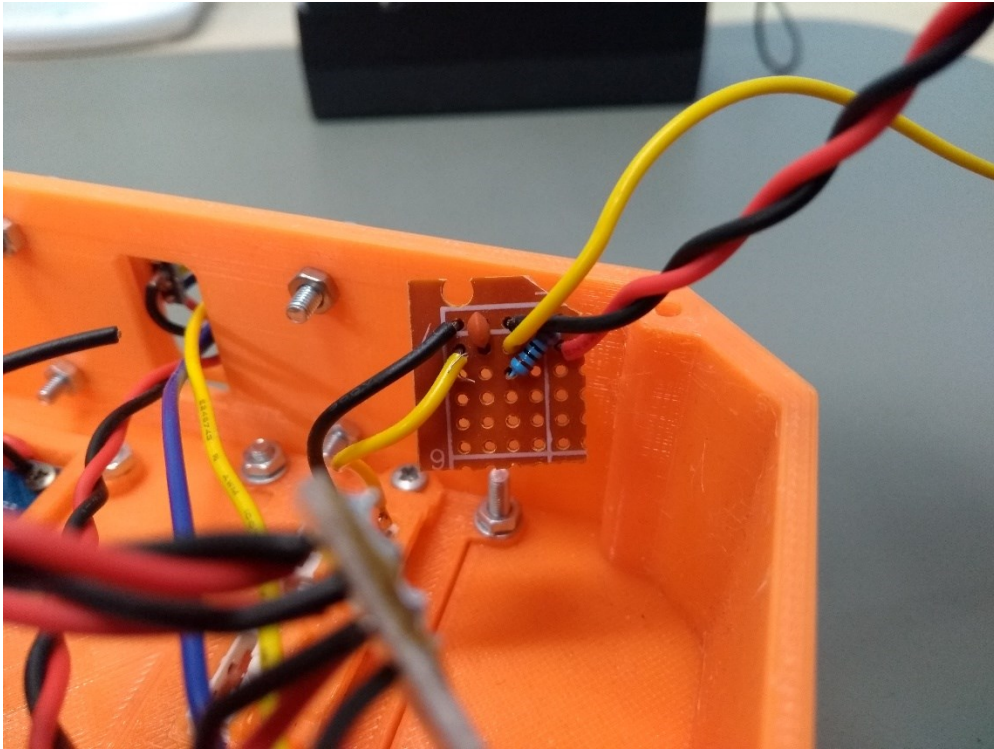
4.2 Komponenttien sovitus

Painikkeille tarkoitettu kiinnike sisältää kolme kytkintä (Kuvio 20), joista vain yhdelle tehtiin kytkennät. Koekytkentävaiheessa käytetyt pienet painonapit korvattiin näppäimistökytkimillä.



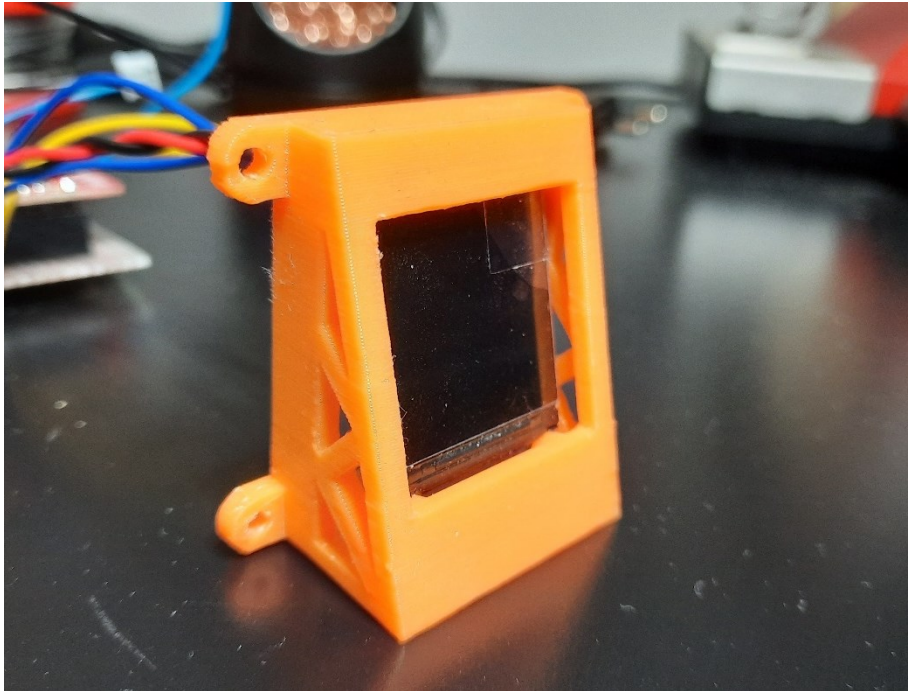
Kuvio 20. Painikkeiden kiinnike

Kytketylle painikkeelle tarvitsi myös tehdä häiriönvaimennuspiiri (Kuvio 21), joka poistaa kytkintä painaessa syntyvää signaalihäiriötä. Signaalihäiriö haittaa laitteen toimintaa rekisteröityen mikrokontrollerilla useana painikkeen painalluksena.



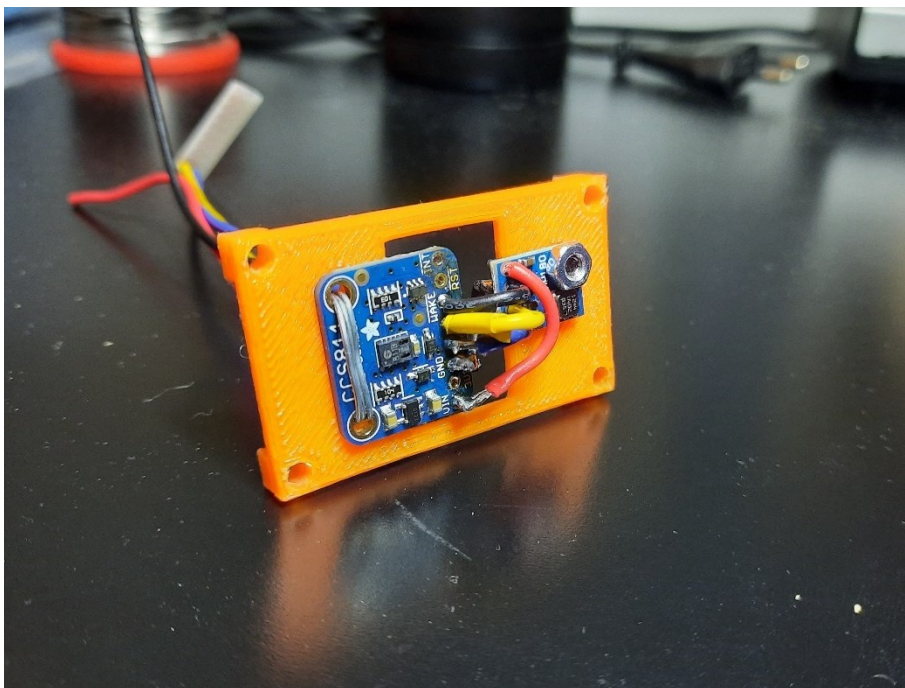
Kuvio 21. Häiriönvaimennuspiiri

Näytön kiinnike (Kuvio 22) suunniteltiin osoittamaan näyttöä pienessä kulmassa ylöspäin käyttäjää kohti, koska laitteelle valittu lopullinen asennuspaikka oli matalalla käyttäjään nähden. Näytön kiinnikkeestä harkittiin säädettävää, mutta ideasta luovuttiin, koska liikkuvien osien suunnittelun arvioitiin kestävän liian kauan.



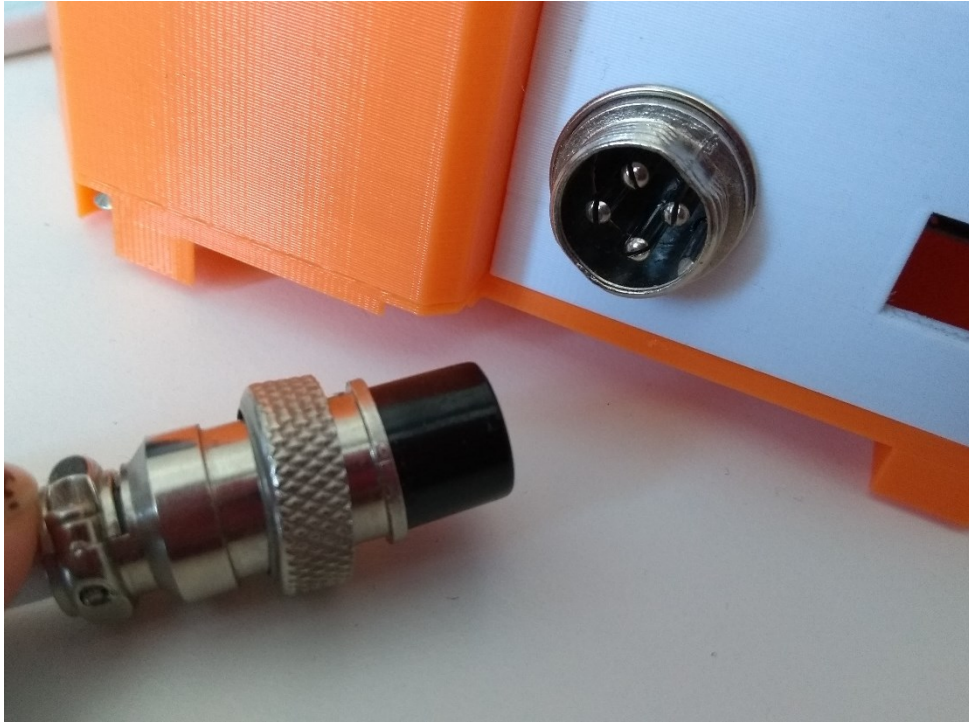
Kuvio 22. Näytön kiinnike

CCS811-kaasuanturin ja BMP180-lämpötila-anturin kiinnike (Kuvio 23) pitää anturit irrallisena muusta kotelosta vähentäen siten laitteen itse tuottaman lämmön vaikutusta mittaustuloksiin. irrottavasta kiinnikkeestä on myös helpompi tehdä uusia versioita jatkokehittäessä.



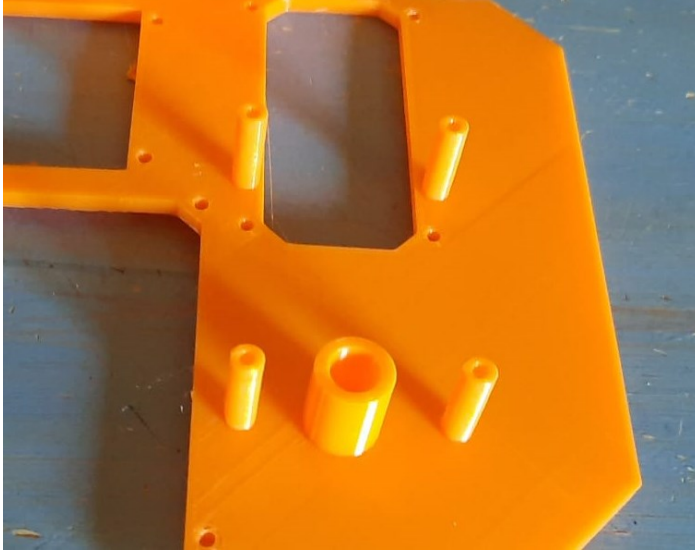
Kuvio 23. Lämpö- ja kaasuanturien kiinnike

SHT30-anturia varten koteloon kiinnitettiin neljöpinninen GX16-liitin (Kuvio 24), jonka kautta anturin johdot kytkettiin. Liitin mahdollistaa anturin irrottamisen huollon tai siirron ajaksi sekä helpottaa laitteen varastointia. Liittimeen anturi kytkettiin noin puolitoista metriä pitkän kaapelin kautta, jolla anturi voidaan asettaa suunniteltuun paikkaan lattian alle.



Kuvio 24. GX16-liitin

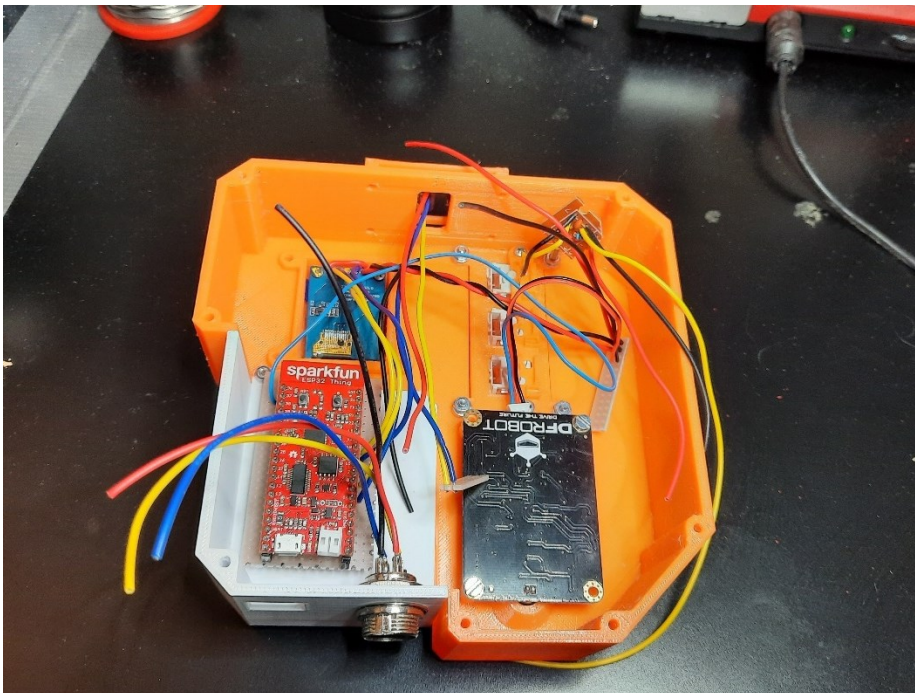
Desibelimittaria varten kotelossa itsessään on kannattimet (Kuvio 25), joihin anturi asennettiin kiinni. Desibelimittarin mikrofonia varten koteloon jätettiin reikä, joka muotoiltiin suppilomaiseksi.



Kuvio 25. Desibelimittarin kannattimet varhaisessa prototyypissä

Mikrokontrollerille tehtiin koteloon oma erillinen osio, joka tulostettiin erivärisestä materiaalista. SHT30-anturin kytkentään käytetty GX16-liitin kiinnitettiin myös samaan osioon.

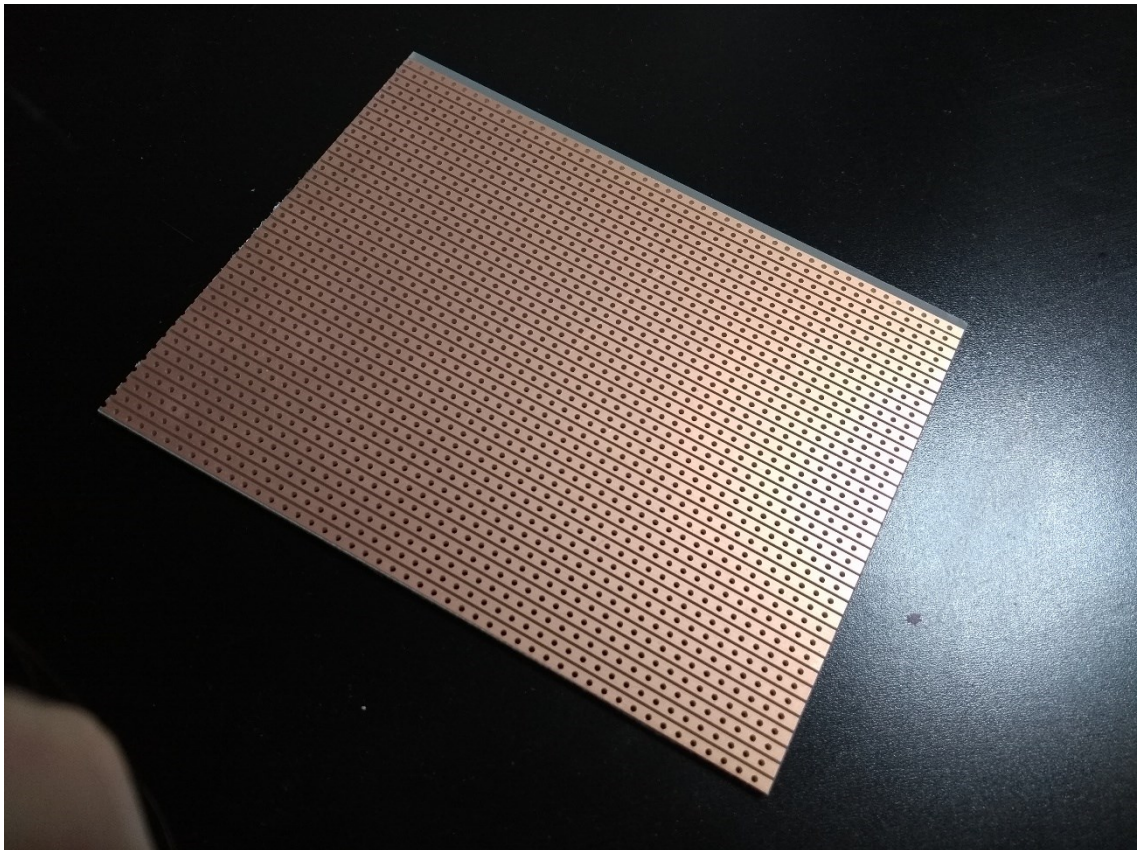
Antureiden sovitusten jälkeen voitiin aloittaa kytkentöjen tekeminen. Seuraavassa kuviossa 26 kuvataan antureiden lopulliset sijoitukset ennen kytkentöjen juottamista.



Kuvio 26. Anturit sijoitettuina koteloon

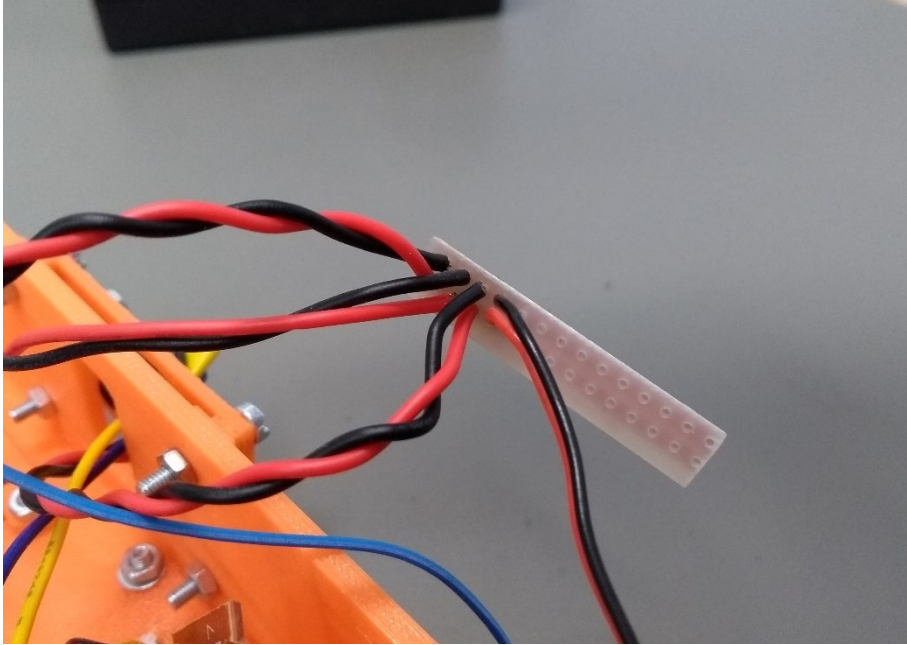
4.3 Lopulliset kytkennät

Kytkeäisiin käytettiin liuskatyypistä kytkentälevyä (Kuvio 27). Mikrokontrolleria varten levyyn juotettiin kiinni, kanta johon ESP32 voidaan kiinnittää ja myös irrottaa ilman kolvia. Anturien virtakaapelit kytkettiin yhteen pienelle palalle kytkentälevyä (Kuvio 28), johon kytkettiin mikrokontrollerilta tulevat virtajohdot. Anturien I2C-signaalikaapelit kytkettiin samanlaisella tekniikalla.



Kuvio 27. Kytkeälevyä

Tämäntyyppinen kytkentälevy sopi toteutukseen parhaiten, koska kytkennöissä tarvittiin linjoissa yhdistettyjä kaapeleita, jotka olisi muuten tarvinnut yhdistää juottaen ne suoraan kiinni toisiinsa tai tehden tinasiltoja kytkentälevylle niitä yhdistämään. Kytkeälevyissä johtava kupari on levyllä pitkinä liuskoina ja tarpeen vaatiessa kupariliuska voidaan katkaista esimerkiksi poraamalla.

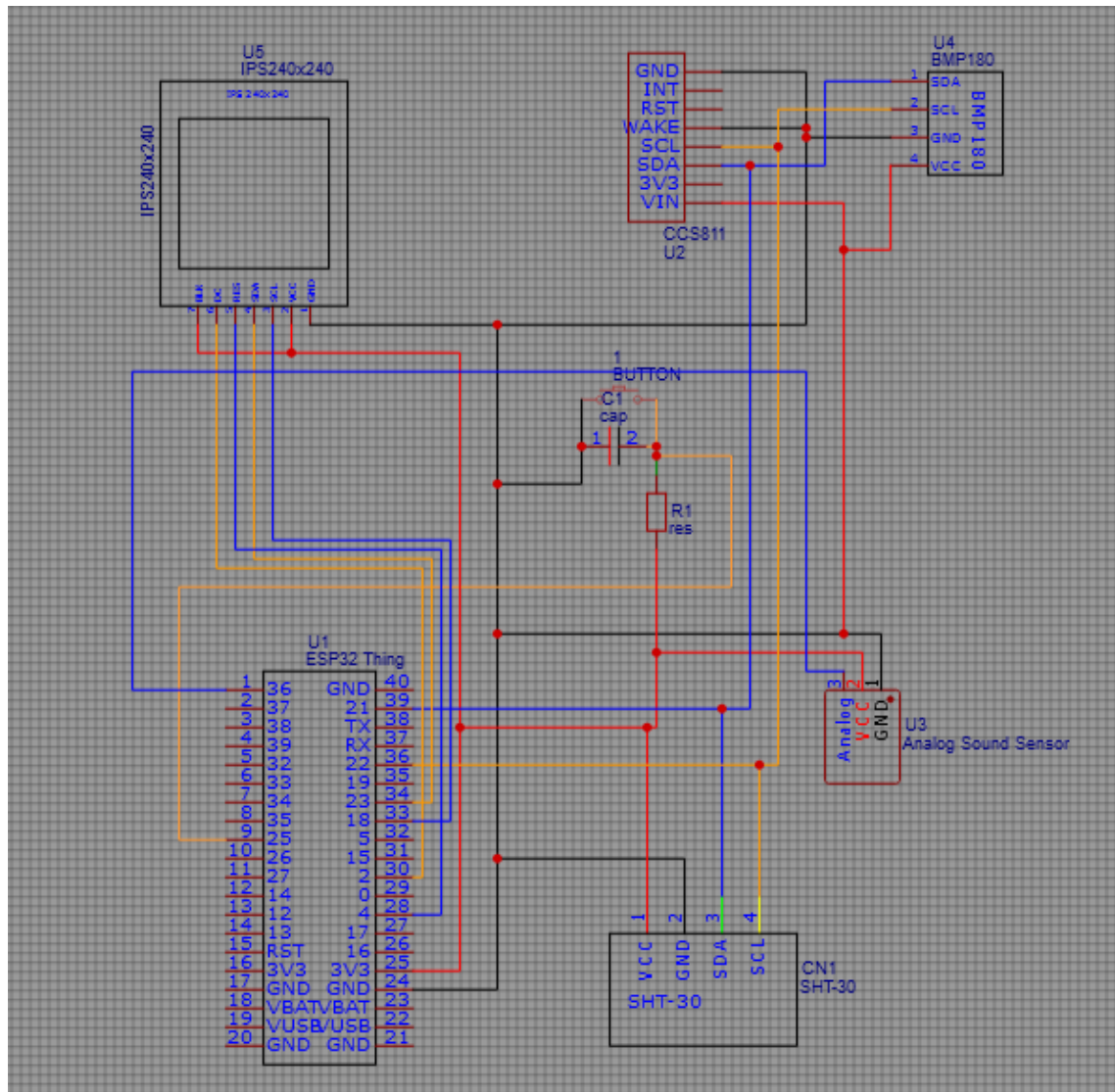


Kuvio 28. Virtajohtojen kytkentälevy

Virtajohtojen ja signaalikaapeliin yhdistämiseen käytetyille kytkentälevyille jätettiin tilaa kytkeä uusia antureita tai muita kytkettäviä osia, kuten merkkivaloja. Tilan loppuessa olisi mahdollista lisätä toinen pala kytkentälevyä.

Antureiden kaapeloinnit väri koodattiin selkeyden vuoksi. Virtajohdot ovat yleisten standardien mukaan punaiset sisään menevälle virralle ja mustat maahan menevälle. I2C-signaalikaapelit ovat siniset ja keltaiset. Sininen johto kytkee SDA-kanavan ja keltainen kytkee SCL-kanavan. Näytön kytkentä vaati enemmän kaapeleita, jotka juotettiin suoraan mikrokontrollerin kanssa samalle kytkentälevylle, pois lukien virtajohdot, jotka kytkettiin muiden kanssa samalle levylle.

Juotostöiden valmistuttua kytkennät tarkistettiin vielä kerran oikosulkujen ja virheellisten kytkentöjen varalta. Tarkistusten jälkeen laite kytkettiin käyntiin ja aloitettiin laitteen testausjaksojen suunnittelu. Kuviossa 29 kuvataan lopullisen kytkennän kaavio.



Kuvio 29. Laitteen kytkentäkaavio

5 TOIMIVUUDEN TESTAUS

Laitetta testattiin neljässä jaksossa yhteensä yhdeksän päivän ajan aikavälillä 28.1.2023 - 5.2.2023. Testien aikana laite pidettiin samassa paikassa olohuoneen pöydällä ikkunan alla ottaen virran tietokoneesta, jolla mittaustulokset kirjattiin ylös. Mittaustulokset kirjattiin ensimmäisen ja toisen testijakson alkupäässä tunnin välein, myöhemmin aikavälit olivat pääosin satunnaisia, jonka takia taulukoissa ja kaavioissa ei merkitä aikoja tarkasti, vaan mittaushetket ilmaistaan juoksevasti numeroituna. Testijaksojen pituus vaihteli tunnista kuuteen päivään. Pidemmällä testijaksoilla ja mittausväleillä oli tarkoitus kartoittaa laitteen luotettavuutta. Joidenkin testijaksojen aikana laitetta käytettiin pois päältä joidenkin tunteiden verran tai yön yli.

Jotta laitteen mittaustuloksia voitaisiin pitää luotettavina ja tarkkoina, olisi laitteen anturit täytynyt verrata ja kalibroida luotettavien mittareiden tuloksia vasten. Tästä syystä laitteen mittaamia arvoja voidaan pitää vain suuntaa antavina.

5.1 Ensimmäinen testijakso

Ensimmäinen testijakso pidettiin 28.1.2023, ja se kesti 12 tuntia alkaen kello 4.00 jolloin laite kytkettiin päälle ja päättyen 15.00, jolloin se kytkettiin pois päältä. Jakson tärkein tarkoitus oli varmistaa antureiden toimivuus ja luotettavuus laitteen lopullisen kokoamisen jälkeen. Taulukossa 1 kuvataan testijakson tulokset ja luekat vaikuttivat normaaleilta pienelle asunnolle.

Taulukko 1. Ensimmäisen testijakson tulokset

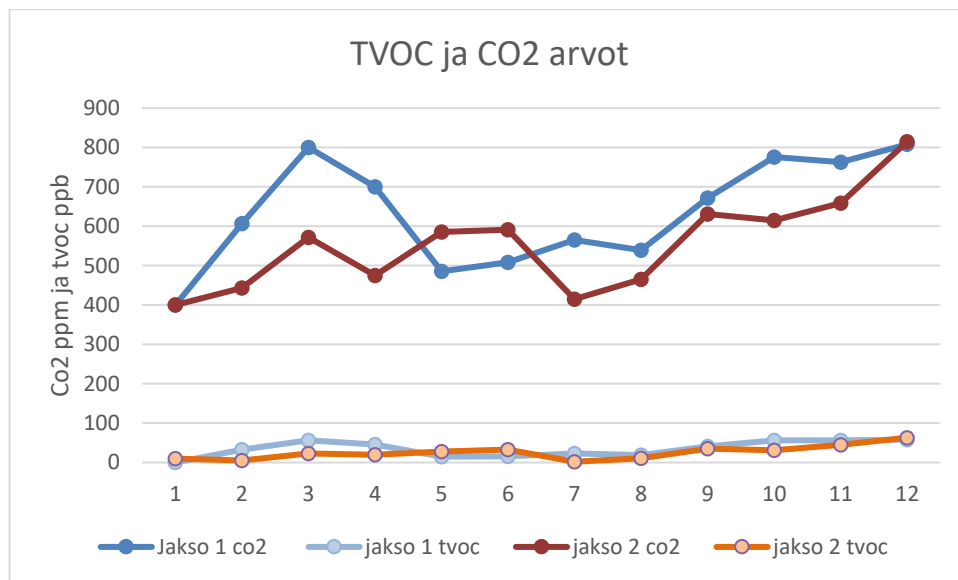
co2 ppm	400	607	800	700	486	508	565	539	672	776	763	808
tvoc ppm	0	33	56	46	15	16	23	19	41	56	56	58
roomtemp C	18,2	20,5	21,0	20,9	20,5	20,6	20,9	20,9	20,6	20,9	20,9	21,1
noise dBA	20,1	21,0	18,7	20,0	19,0	39,1	22,1	21,3	21,6	22,5	21,4	22,4
floorhumid %	34,5	38,6	42,8	39,9	37,2	37,0	37,7	37,0	39,0	40,9	40,9	40,0
floortemp C	19,5	19,4	19,6	19,7	19,3	19,4	19,7	19,7	19,5	19,7	19,8	20,0

Ensimmäisen testijakson tuloksista nähdään, että kaasuanturilla on lämpenemisaika, jonka aikana arvot heittelevät jonkin aikaa käynnistyksen jälkeen ennen

kuin lukemat tasoittuvat. Muiden antureiden lukemat pysyvät melko vakaina käynnistyksestä asti.

5.2 Toinen testijakso

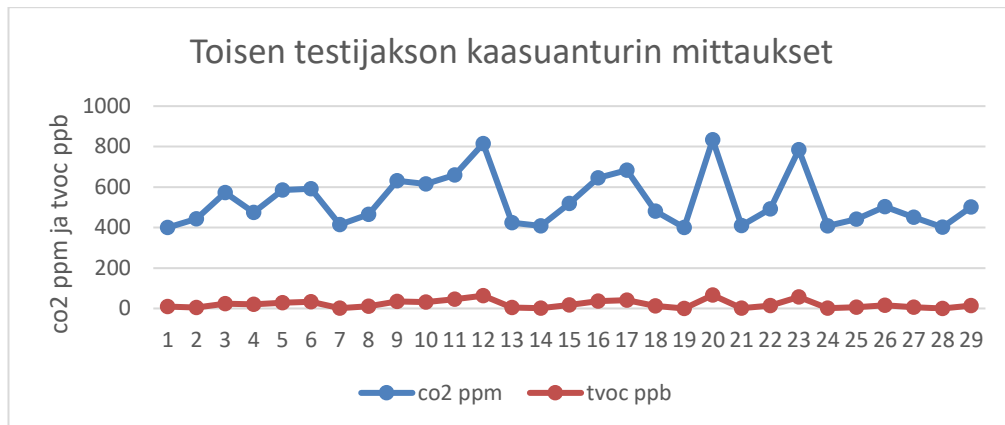
Toinen testijakso kesti kuusi päivää alkaen 29.1. klo 5.00 ja päättyen 3.2. klo 14. Testijakson aikana laite kytkettiin pois päältä kerran 31.1. klo 6–12. Toisen jakson tarkoitus oli varmistaa laitteen toiminta ja testata laitteen pitkäaikaisempaa valvo-
matonta toimintaa sekä painikkeen toimintaa. Kuviossa 30 verrataan ensimmäisen testijakson ja toisen testijakson alkupään kaasuanturin tuloksia. Kaasuanturin koko testijakson mittaustulokset on kuvattu kuviossa 31.



Kuvio 30. Kaasuanturin lukemien vertailu

Toisenkin testijakson tuloksissa ilmeni kaasuanturin käynnistämisen jälkeinen lämpenemisaika. Anturin antama hiilidioksidilukema on alussa 400 ppm, joka on anturin laskeman hiilidioksidin määrän minimi ja nousee siitä parin tunnin ajan, jonka jälkeen se laskee ja lähtee myöhemmin taas kohoamaan. Tvoc-lukema vaihteli nolasta noin 60:een molemmilla jaksoilla.

Jakson aikana myös ilmeni painikkeen toiminnassa satunnaisia ongelmia, laite ei aina reagoanut painikkeen painamiseen. Syy saattaisi olla painikkeen kytkennässä tai koodissa. Koodin sisältämä pieni odotusaika silmukan lopussa saattaa estää keskeytyskomennon suorittamisen.



Kuvio 31. Toisen jakson kaasuanturin mittausarvot

Kaasuanturin lukemat eivät näyttäneet tasoittuvan vielä kuuden päivän mittausaikana. Vaihtelun tarkempaa syytä ei työn aikana selvitetty, mutta mahdollinen syy voisi olla anturin kytkentä, joka ei anna anturille suojaa mahdollisilta häiriöiltä.

5.3 Kolmas testijakso

Kolmas testijakso alkoi toisen jakson jälkeen 3.2.2023 kello 17.00 ja oli tunnin pituinen. Mittaustulokset kirjattiin kymmenen minuutin välein. Ennen kolmatta testijaksoa laite oli kytkettynä pois päältä kolme tuntia. Testijakson tarkoituksena oli kartoittaa aiemmissa jaksoissa ilmentynyttä kaasuanturin käynnistämisen jälkeistä lämpenemisaikaa.

Jakson lukemat näkyvät seuraavassa taulukossa 2. Lyhyenkin jakson aikana kaasuanturin lukemien heittelehtiminen oli havaittavissa, korkeampia piikkejä ei testin aikana ilmennyt. Testijakson aikana laitteen näyttö sammui kerran ilman napin painallusta. Sattumisen syy saattaa olla painikkeen tai näytön kytkennässä.

Taulukko 2. Kolmannen testijakson tulokset

co2 ppm	400	409	500	464	448	409	411
tvoc ppb	0	1	14	9	7	1	1
roomtemp C	18,9	20,6	20,7	20,8	20,9	20,9	20,8
noise dBA	22,0	22,3	22,1	20,3	21,2	21,4	20,9
floorhumid %	28,8	29,9	30,1	29,8	29,4	28,9	28,5
floortemp C	19,8	19,9	20,0	20,0	19,9	19,9	19,9

5.4 Neljäs testijakso

Neljäs ja viimeinen testijakso alkoi 3.2.2023 välittömästi kolmannen jakson viimeisen mittauksen jälkeen ja päättyi 5.2.2023 klo 10. Viimeisen testijakson mittausvälit olivat pitkiä ja testin tarkoitus oli varmistaa laitteen luotettava toiminta minimaalisella seurannalla. Testijaksolla tulokset kirjattiin ja taulukoitiin (taulukko 3) vain seitsemän kertaa koko jakson aikana.

Taulukko 3. Neljännen testijakson mittaustulokset

co2 ppm	429	472	1140	454	465	436	429
tvoc ppm	3	11	100	8	9	4	3
roomtemp C	21,0	20,7	20,1	20,3	21,3	21,9	21,0
noise dBA	19,3	18,7	20,5	43,7	22,9	20,0	19,3
floor humid hu	27,7	24,9	26,2	24,9	25,7	27,9	27,2
floor temp C	19,9	19,3	19,1	19,1	19,6	20,0	19,9

Viimeisellä testijaksolla kaasuanturin lukemat näyttivät yhtä piikkiä mukaan lukematta vakailta. Kaasuanturi vaikuttaisi testien perusteella olevan melko herkkä pienillekin muutoksille tai tarvitsevan reilusti käyttöä, ennen kuin lukemat tasoittuvat.

5.5 Testijaksojen tulokset

Testien perusteella prototyyppi todettiin kellaritiloihin asennuskelpoiseksi, vaatii vain minimaalista valvontaa. Laitteen anturit olisi kuitenkin kalibroitava luotettavaa mittaria vasten, jotta laitteen mitaamat arvot voitaisi todeta tarkoiksi. Kaasuanturin epävakaan käyttäytymisen syytä tulisi tutkia ja ongelmat ratkaistava.

Laitteen koodia voisi parantaa siten, että satunnaisia piikkejä antureiden mittauksissa lukemissa voitaisi tasoittaa. Järjestelmän paremman toiminnan ja valvottavuuden kannalta tärkeimmiksi jatkokehityskohteiksi kuuluisivat tietokannan rakentaminen ja kerätyn datan sieltä esittäminen järjestelmän ulkopuolelle sekä erilaisten mahdollisten virhetilojen automaattinen tunnistamisjärjestelmä, joka ilmoittaisi vioista laitteen huoltajalle.

6 JATKOKEHITYS

Projektin suunnitteluvaiheessa järjestelmään suunniteltiin suuri määrä ominaisuuksia, joita ei työn aikamääreissä olisi ehtinyt toteuttaa. Työn aikarajojen lähestyessä myös joitain tehtäväksi valittuja ominaisuuksia rajattiin, jotta järjestelmä saataisi ajoissa valmiiksi.

Karsittujen tai tulevaisuudessa toivottujen ominaisuuksien lisäämistä varten laite suunniteltiin yksinkertaiseksi muokata vaatimusten mukaan. Laitteen kotelon 3D-mallit ovat muokattavissa, ja ne suunniteltiin mahdollista jatkokehitystä varten tilaviksi. Lisättävää elektroniikkaa varten olemassa oleville kytkentälevyihin jätettiin riittävästi tilaa tehdä uusia asennuksia.

6.1 Tietokanta

Työstä karsitun tietokantajärjestelmän toteutukseen ehdittiin valita laitteeksi Raspberry PI, tietokannaksi InfluxDB ja käyttöjärjestelmäksi Grafana. Tietokannan tarkoitus olisi ollut mittaus- ja kulunvalvontalaitteiden keräämän datan tallennus sekä laitteiden virhetilojen seuranta. Tietokantaan tallennettu data olisi myöhemmin tuotu käytettäväksi järjestelmän ulkopuolelle kolmannen osapuolen ohjelmoinnan rajapinnan kautta.

Toteutukseen valittu ESP32 kykenee lähettämään dataa langattomasti, minkä takia se valittiin toteutukseen mikrokontrolleriksi. ESP32 myös kykenee käsittelemään kahta prosessia yhdenaikaisesti. Suunnitelman mukaan yhdellä prosessorin säikeellä luettaisiin antureita ja käsitellään dataa, toisella data lähetettäisiin verkon yli tietokantaan.

6.2 Laitteesta karsitut ominaisuudet

Aikaisen suunnitelman mukainen versio järjestelmästä olisi sisältänyt suuremman määrän antureita sekä muita laitteenhallintaominaisuuksia, joiden esittäminen päälaitteella olisi vaatinut enemmän tilaa näytöltä. Kaikkea vaadittua ei siis olisi pystynyt esittämään kerralla prototyypin toteutukseen valitulla pienellä TFT-

paneelilla. Järjestelmän operointiin suunniteltiin yksinkertaista **käyttöliittymää**, jolla ulkoisia mittauslaitteita ja päälaitteen ominaisuuksia voitaisiin tarkastella ja ohjata. Laitteessa on järjestelmän käyttöön vaaditut kolme painiketta, joista kaksi jätettiin kuitenkin kytkemättä. Kytkemättömiä painikkeita varten jätettiin laitteeseen tilaa tehdä tarvittavat kytkennät.

Kellarissa mahdollisesti ilmenevien haitallisten olosuhteiden, kuten korkean melutason takia laitteeseen suunniteltiin **varoitussjärjestelmä** ilmoittamaan tilassa olijoille ja järjestelmän valvojille asiasta. Riskitekijöistä, kuten kosteudesta, korkeasta melutasosta ja hiilidioksidin määrästä olisi otettu mittauksia tiheämpään tahtiin, jotta niistä mahdollisesti aiheutuvia vahinkoja voitaisi ennaltaehkäistä.

Varoitussjärjestelmä olisi lähettänyt tietokantaan merkittyjen mittausten perusteella ilmoituksen tilan valvojalle ja tilassa oleville olisi huomautettu esimerkiksi valo- ja äänimerkein haitallisista melutasoista tai hiilidioksidista. Järjestelmä olisi myös valvonut tilan ilmankosteutta ja lämpötilaa siltä varalta, etteivät tilassa olevat olosuhteet mahdollistaisi homeen kasvua.

6.3 Järjestelmän erilliset laitteet

Työtilan ympäristödatan keräämisen suunniteltiin alussa tapahtuvan käyttäen useampia **erillisiä mittauslaitteita**, jotka lähettäisivät keräämänsä mittaustulokset keskimmaiselle päälaitteelle, joka vuorostaan lähettäisi kaiken kootun datan tietokantaan. Laajempi järjestelmä olisi mahdollistanut kellaritilojen olosuhteiden tarkemman valvonnan. Pienemmät laitteet olisivat toimineet akkuvirralla ja olisivat ottaneet mittauksia pitemmällä aikavälillä käyttäen täten vähemmän virtaa ja pitkittäen laitteiden käyttöaikaa yhdellä akun latauksella.

Kellarilaboratorioon suunniteltiin myös **kulunvalvontalaitetta**, jolla olisi valvottu kulkulupia ja tarkkailtu, kuinka kauan tilassa olevat ovat siellä viipyneet. Kulunvalvontalaite olisi lähettänyt tietokantaan tiedon siitä, millä kulkukortilla tilaan on tultu ja aikaleiman, jolloin kortti on luettu. Laite olisi myös valvonut saapumisesta kulunutta aikaa ja mahdollisesti ilmoittanut valvojalle ja tilassa oleville liian pitkistä oleskeluajasta.

7 POHDINTA

Kokonaisuutena projekti onnistui tyydyttävästi, vaikka ominaisuuksia jouduttiin karsimaan melko paljon. Kehitetty mittauslaite kuitenkin toimii hyvin, ja laitteen mittaamat lukemat vaikuttavat testien perusteella riittävän uskottavilta, eikä laitteessa ilmennyt vakavia ongelmia testijaksojen aikana. Laite on hyvä pohja jatkokehitykselle, jota mietittiinkin jo jonkin verran projektin suunnitteluvaiheessa. Projektin aikana opin enemmän ESP32:en ominaisuuksista ja sen käytännöllisyydestä erilaisissa IoT-sovelluksissa ja automaatiassa.

Jatkokehitys on otettu huomioon valmiissa laitteessa jättämällä kotelointiin tilaa uusille antureille ja muille laitteille. Toteutukseen valittu mikrokontrolleri kykenee hallitsemaan monimutkaisempia ominaisuuksia ja pystyy rinnakkaiseen prosessien suorittamiseen yhdenaikaisesti. Koteloinnin modulaarinen rakenne mahdollistaa myös nopean ja helpon muokkaamisen uusia ominaisuuksia lisätessä ja koska 3D-tulostetut osat ovat halpoja, voidaan osien versioita kehittää edullisesti.

Koska ominaisuuksia oli aikaisissa suunnitelmissa niin paljon, että niitä jouduttiin työn aikana karsimaan, opin tästä kuinka tärkeää hyvä suunnittelu, työn jako ja tehokas ajankäytön hallinta on projektien onnistumisen kannalta. Varhaisten suunnitelmien mukainen projekti olisi vaatinut luultavasti enemmän tekijöitä ja paremmin järjestettyä aikataulutusta. Omalta kohdalta työn aikana selkenivät oman motivaation ja ajankäytön vaikeudet, joihin tulisi panostaa tulevaisuudessa.

Varsinainen ryhmässä työskentely jäi projektin aikana vähäiseksi ja vain alkupään tiedonhaku tehtiin yhdessä koko ryhmän kanssa. Ryhmässä työskentely helpotti työntekoa yhteisien osuuksien aikana ja ryhmänjäseniltä sai omaan työhön tukea ja neuvoa. Työssä olisi kuitenkin voinut olla enemmän osa-alueita yhdistäviä ominaisuuksia ja osia, jotka olisivat pakottaneet koko ryhmän aikatauluja paremmin yhteen. Toisaalta toisen ryhmänjäsenen vastuulla olevan työn osuuden viivästyminen saattaisi viivästyttää myös muiden töiden etenemistä, kuten tämän projektin aikana pääsi omalla kohdalla käymään.

LÄHTEET

Adafruit 2017. CCS811 air quality sensor overview. Viitattu 15.5.2023
<https://learn.adafruit.com/adafruit-ccs811-air-quality-sensor/overview>

Arduino 2018. What is Arduino? Viitattu 29.7.2023
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino 2021. Arduino Micro. Viitattu 29.7.2023
<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-micro>

Arduino 2022. Arduino Hardware. Viitattu 29.7.2023
<https://www.arduino.cc/en/hardware>

Arduino 2023a. Arduino. Viitattu 29.7.2023
<https://www.arduino.cc/>

Arduino 2023b. Getting Started with Arduino IDE 2. Viitattu 30.7.2023
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started-ide-v2>

Ash. 2021. Raspberry PI Models and Specs: A Comprehensive Guide. Viitattu 31.7.2023
<https://howchoo.com/pi/raspberry-pi-models>

Beal, V. 2021. What is network topology? Reference guide. Viitattu 25.7.2023
<https://www.webopedia.com/reference/network-topology/#tree-topology>.

Bluetooth. 2023. Bluetooth technology overview. Viitattu 26.7.2023
<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>.

Butts, J. 2021. What is the Raspberry Pi? Viitattu 30.7.2023
<https://www.howtogeek.com/754492/what-is-raspberry-pi/>.

Chiu J., Prince FH., Thomas A., Wang M. & Windows IoT. 2017. IoT Core Building Navigation Robot. Viitattu 31.7.2023
<https://www.hackster.io/54243/iot-core-building-navigation-robot-125856>

CircuitSchools. 2022. What is ESP32, how it works and what you can do with ESP32? Viitattu 29.7.2023
<https://www.circuitschools.com/what-is-esp32-how-it-works-and-what-you-can-do-with-esp32/>

Cisco Systems. 2023. What is a Wireless LAN? Viitattu 25.7.2023
<https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/wireless-lan.html>

Cloud Software Group. 2023. What is the Internet of Things (IoT)? Viitattu 25.7.2023
<https://www.tibco.com/reference-center/what-is-the-internet-of-things-iot>

- DfRobot. 2017. SKU: SEN0232. Viitattu 15.5.2023
https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Sound_Level_Meter_SKU_SEN0232
- Digita 2023. LoRaWAN-teknologia. Viitattu 28.7.2023
<https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/>
- Drewery, A. 2023. Top 10 IoT Boards for Development & Prototyping: 2023 Update. Viitattu 29.7.2023
<https://www.verytechnology.com/iot-insights/top-iot-boards-for-development-prototyping>
- Espressif 2023. ESP32 Series Datasheet. Viitattu 29.7.2023
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Foote KD. 2022. A Brief History of the Internet of Things. Viitattu 24.7.2023
<https://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/>.
- HEAVY.AI. 2022. Network Topology. Viitattu 25.7.2023.
<https://www.heavy.ai/technical-glossary/network-topology>
- How To Electronics. 2023. Bluetooth Low Energy Basics: Classic Bluetooth Vs. Bluetooth LE. Viitattu 26.7.2023.
<https://how2electronics.com/classic-bluetooth-vs-bluetooth-low-energy-comparison/>
- Lampila, P. 2020. Kodin langattoman verkon toiminta: kattava tietopaketti WLANista. Viitattu 26.7.2023
<https://www.mpy.fi/kuluttajat/ajankohtaiset/artikkelit/kodin-langattoman-verkon-toiminta-kattava-tietopaketti-wlanista>.
- Lanka, V. 2019. Development Boards: A Guide. Viitattu 29.7.2023
<https://medium.com/techloop/development-boards-a-guide-ab5767f15d47>
- Lapland Robotics 2020. Projekti. Viitattu 19.7.2023
<https://laplandrobotics.com/fi/projekti/>.
- McKinsey & Company. 2022. What is the Internet of Things?. Viitattu 30.7.2023
<https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-internet-of-things>
- Piltch, A. 2019. Nvidia Jetson Nano: the Raspberry Pi of AI? Viitattu 29.7.2023
<https://www.tomshardware.com/news/jetson-nano-features-price,38856.html>.
- Raspberry Pi 2023. Raspberry Pi 3 Model B. Viitattu 30.7.2023
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Semtech Corporation. 2015. LoRa Modulation Basics. Viitattu 28.7.2023
<https://web.archive.org/web/20190718200516/https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>.

Sigfox. 2023a. Harness the power of data to move on to industry 4.0. Viitattu 27.7.2023
<https://www.sigfox.com/use-cases/manufacturing>

Sigfox. 2023b. What is Sigfox 0G Technology. Viitattu 27.7.2023
<https://www.sigfox.com/what-is-sigfox/>

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Wankhede, C. 2023. What is NFC and how does it work? Everything you need to know. Viitattu 26.7.2023
<https://www.androidauthority.com/what-is-nfc-270730/>.

Wi-Fi Alliance. 2023a. Wi-Fi Alliance introducec Wi-Fi 6. Viitattu 26.7.2023.
<https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6>

Wi-Fi Alliance. 2023b. Who We Are. Viitattu 25.7.2023
<https://www.wi-fi.org/who-we-are>

LIITTEET

Liite 1. Mittauslaitteen huoltokirja

Liite 2. Kytkenäkaavio

Liite 1. Mittauslaitteen huoltokirja

Ville Järvinen

25.5.2023

v1.0

Lapin AMK:n robotiikanlaboratorion mittausjärjestelmän huoltokirja

Laitteisto ja komponentit:

1 x Sparkfun ESP32 Thing (IoTlabra)
1 x 5V 3A Virtalähde (IoTlabra)
1 x DfRobot Gravity desibelimittari (IoTlabra)
1 x SEN SHT30 lämpö- ja ilmankosteusanturi (IoTlabra)
1 x Adafruit CCS811 kaasuanturi
1 x BMP180 barometrinen lämpötila-anturi
1 x 1,4" LCD paneeli
3 x Näppäimistökytkin
1 x GX16 liitin
1 x 3D tulostettu kotelo
1 x 3D tulostettu Kotelon kiinnitysteline

Vikatilanteet:

Jos laite ei lähde käyntiin tai sitä käyttäessä ilmenee vakavia ongelmia, pyri ratkaisemaan ongelmat taulukkoa ja kytkentäkaaviota noudattaen

Ongelma	Mahdollinen syy ja korjaustoimet
Laite ei käynnisty tai se ei pysy käynnissä	<ul style="list-style-type: none"> • Laite ei saa virtaa • Varmista, että laitteen pistoke on pistorasiassa • Varmista pistorasian toiminta • Varmista virtalähteen toiminta
Käynnistyksen jälkeen näytöllä ei näy mitään	<ul style="list-style-type: none"> • Moninaisia syitä • Paina ylintä painiketta muutama kerta • Käytä laitetta pois käynnistä • Tarkista kytkennät
Laite ei ala mittaamaan käynnistyksen jälkeen	<ul style="list-style-type: none"> • Jokin antureista ei toimi • Tarkista kytkennät • Käytä laitetta pois päältä

Liite 2. kytkentäkaavio

