



# **Robot Academy Projektiraportti**

Ryhmä 4: Langaton signaalidatalähettin

Leevi Riihilahti

Meki Ikäheimonen

Harri Koskinen

Jare Lippinen

Kaapo Paavola

Projektiraportti  
marraskuu 2025  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma

## **TIVISTELMÄ**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio

Leevi Riihiluoma  
Meki Ikäheimonen  
Harri Koskinen,  
Jare Lipponen,  
Kaapo Paavola,

Langaton lähetin ja vastaanotin  
Die Roboter Gruppe 4  
Projektiraportti 18 sivua  
marraskuu 2025

---

Projektin tavoitteena on luoda langattomasti toimiva sensoridataan lähetin/vastaanotinpari sekä tutkia sen hyödyntämistä palovaroittimen toiminnan seuraamisessa yksityishenkilön asunnossa ja tämän tiedon raportoinnista.

---

Asiasanat: Sensori, data, lähetin, vastaanotin, LoRa, mikrokontrolleri

**SISÄLLYS**

1	Johdanto .....	4
2	Projektin suunnittelu.....	5
2.1.	Tuotteen tarve .....	5
2.2.	Palovaroitin sovelluskohteena.....	6
2.3.	Käyttöympäristö huomioita ja muita sovelluskohteita .....	7
2.4.	Anturi yleistä .....	9
3	Projektin toteutus .....	11
3.1.	Projektiimi ja vastuualueet.....	11
3.2.	Aikataulutus .....	11
3.3.	Kilpailijakartoitus .....	12
3.3.1	Vastaavat laitteet .....	12
3.4.	Prototyppilaitehankinnat .....	13
3.4.1	Hankintakanavat.....	13
3.5.	Testaus .....	17
3.5.1	Speksit laitteesta .....	17
3.5.2	Käyttöohje .....	18
4	Laitteisto .....	20
4.1.	Kokonaisarkkitehtuuri.....	20
4.1.1	Käyttötapaukset ja asennusympäristö .....	20
4.1.2	Keskeiset vaatimukset.....	21
4.2.	Vaatimustenmäärittely.....	21
4.2.1	Asennettavuus palovaroittimeen.....	21
4.2.2	Mitattavat suureet ja toiminnot.....	22
4.2.3	Kerättävä data tietokantaan.....	23
4.2.4	Virrankulutus ja toiminta-aika .....	24
4.3.	Teknologiavalinnat .....	24
4.3.1	Kommunikointiprotokolla .....	24
4.3.2	Komponenttien valintakriteerit .....	25
4.4.	Prototyypin toteutus .....	25
4.4.1	Kehityskoönpano ja tavoitteet .....	26
4.4.2	Mikrokontrolleri (ESP32).....	26
4.4.3	LoRa-moduuli (RYLR896) .....	27
4.4.4	Virtalähdevaihtoehdot.....	27
4.4.5	Kotelointi.....	28
4.4.6	Ohjelmiston kehitys ja dokumentointi .....	28
4.5.	Jatkokehityssuunnitelma .....	29
4.5.1	Ultra-low-power -toteutus .....	29

4.5.2 Lopullinen mikrokontrollerivalinta.....	30
4.5.3 Antenni ja kantaman optimointi.....	30
4.5.4 Väliserveri (Raspberry Pi / Gateway).....	31
Lähteet.....	33
Liitteet .....	35
Liite 1. GANTT-KAAVIO.....	35
Liite 2. Kokouspäiväkirja .....	35

## 1 JOHDANTO

Tämän projektin tavoitteena on kehittää langattomaan tiedonsiirtoon perustuva sensoriratkaisu, joka hyödyntää LoRa-teknologiaa esimerkiksi palovaroittimen tilan seurantaan ja tiedon välittämiseen. Projektin tilaajana toimii KvaliVida Oy, ja se toteutetaan osana Robot Academy -kurssia.

Projektissa suunnitellaan ja rakennetaan lähetin- ja vastaanotinyksikkö, joka mahdollistaa sensoridatan siirtämisen luotettavasti ja vähävirtaisesti pitkienkin etäisyyksien yli. Ensisijaisena käyttötarkoituksena on seurata yksityishenkilöiden asunnoissa olevien palovaroittimien toimintaa ja välittää reaalialaikaista tietoa keskitettyyn valvontaan. Tämä tarjoaa mahdollisuuden parantaa turvallisuutta, helppottaa valvontaa ja mahdollistaa nopeamman reagoinnin mahdollisissa vaaratalanteissa.

Projektin suunnittelun aikana tarkastellaan myös laitteen muita potentiaalisia käyttökohteita palovaroittimen seurannan ohella. Esimerkiksi teollisuuden koneiden kunnonvalvonta sekä älykotiympäristöjen laitteiden seuranta ja ohjaus. Käytökohteiden kartoitus vaikuttaa prototyypin luonteen määrittämisessä antamalla tietoa mahdollisista käyttöympäristöistä, vaatimuksista, virtalähteen luonteesta ja käyttötilanteista.

Tavoitteena on tuottaa toimiva prototyppi, joka koostuu langattomasta lähetimestä ja vastaanottimesta sekä niitä tukevasta tietojärjestelmästä. Ratkaisun kehittämisessä kiinnitetään erityistä huomiota energiatehokkuuteen, tiedonsiirron luotettavuuteen ja helppoon integroitavuuteen erilaisiin järjestelmiin.

## 2 Projektin suunnittelu

Robot Academy-kurssin projektiaideiden valinnassa ryhmä 4 valitsi oman aiheen: Langaton sensorilähetin ja -vastaanotin, ja sen hyödyntäminen palovaroittimen tiedonlähetämiseen. Projektin tilaajayritys on KvaliVida Oy, y-tunnus 3511595-9.

Projektipäälliköksi valittiin Leevi Riihilauma. Jokaiselle ryhmän jäsenelle sovittiin alustavasti työtehtäviä. Teams-ryhmään kerätään kirjanpito, muistiinpanot sekä muut projektin aikana muodostuvat asiakirjat. Viikottaisten tapaamisten ajankohdat sekä tilavaraukset sovittiin ja näiden dokumentointikäytäntö hahmoteltiin.

Projektin aihe hyväksyttiin kurssin opettajalla Topi Talvitiellä 1.10.2025.

### 2.1 Tuotteen tarve

Projektin tavoitteena on luoda langattomasti toimiva sensoridataan lähetin/vastaanotinpari LoRa-signaalialla hyödyntäen.

Tämän lähettimen sovelluksena projekti myös pyrkii kehittämään laitteen, joka seuraa palovaroittimen toimintaa yksityishenkilön asunnossa ja raportoi siitä toimistotietokoneelle.

Langattoman lähetin- ja vastaanotinyksikön käyttötarkoitus on lähtökohtaisesti soveltaa palovaroittimen seurantaan. Kuitenkin projektin aikana tutkitaan muita käyttökohdemahdollisuuksia. Tällaisia voisi olla palovaroittimen lisäksi esimerkiksi teollisuuden työstökoneet, älykotilaitteet, kiinteistöjen valvontaratkaisut, lämpötilatarkkailu ulkona.

## 2.2 Palovaroitin sovelluskohteena

Hyödyntämismahdollisuksia lähettimessä palovaroittiin liittyen tunnistettiin erityisesti palovaroittimien kunnon seurannassa, josta saatiiin positiivista palautetta palotarkastajalta.

Palovaroittimia on käytettävä ja ylläpidettävä valmistajan käyttöohjeiden mukaisesti. Tyypillisesti eri valmistajien tuotteissa tavallinen alkaliparisto on vaihdettava vuosittain. Markkinoilla on myös niin sanottuja 10 vuoden litiumparistolla varustettuja malleja, joiden virtalähteen on tarkoitus kestää koko varoittimen käytöän.

Varoittimen ja virtalähteen kuntoa seurataan yleensä säännöllisillä testeillä, joita valmistajat edellyttävät suoritettavaksi viikon tai kuukauden välein. Käytännössä säännöllinen testaus usein laiminlyödään. Tämä muodostaa ongelmia esimerkiksi pitkien poissaolojen aikana, jolloin varoitin saattaa antaa paristovaroitusääntä jatkuvasti ja mykistyy kokonaan ennen käyttäjän paluuta. Lisäksi pitkäkäiset virtalähteet voivat vioittua huomaamatta, jolloin varoittimen toiminta lakkaa ilman havaittavaa merkkiä.

Pariston tilavalvonta voisi tarjota ratkaisun tähän ihmilliseen laiminlyöntiin ja parantaa varoittimien toimintavarmuutta. Ongelma kohdiksi tunnistetaan heti, että itse varoittimeen ei voida tehdä ylimääräisiä kytkehtöjä, eikä sen virtalähde saa käyttää muihin kuin valmistajan määrittelemiin toimintoihin. Jos varoittimen pariston jäänitettä pyritään seuraamaan suoraan kytkennin kautta, siirrytään jo sääntelyn ja turvallisuusmääräysten kannalta harmaalle alueelle.

Nämä ongelmat pyritään projektissa ottamaan huomioon, mutta pääasiallinen kehityskohde on itse sensoridatan lähetin jolla mahdolistetaan luotettava tiedonsiirto suunnitellusti.

Näiden haasteiden pohjalta on tarkasteltu vaihtoehtoisia lähestymistapoja, jossa varoittimen äänimerkit toimisivat etävalvonnan käyttöliittymänä tai valosensori tarkkailisi ajoittain väliahtävää merkkivaloa. Laite voisi havaita erilaiset ääni-ilmoitukset, kuten testauksen (yleensä noin sekunnin mittainen hälytysääni), paristo-hälytyksen (toistuvat lyhyet äänimerkit) sekä palohälytyksen (jatkuva hälytysääni).

Tällä lähestymistavalla fyysisiä kytkentöjä ei tarvittaisi. Menetelmä mahdollistaisi sekä varoittimen testauksen ja paristotilan etävalvonnan että potentiaalisesti myös palohälytyksen välittämisen.

### **2.3 Käyttöympäristö huomioita ja muita sovelluskohteita**

Sähkölaitteen suunnittelussa ympäristöolosuhteet tulee ottaa huomioon, koska ne vaikuttavat turvallisuuteen, toimintavarmuuteen ja laitteen elinikään. Erikoisissa ympäristöissä voi olla useita riskitekijöitä joilta suojaudutaan eri tavoin. Yleisiä suunnitteluperiaatteita on pölyn- ja kosteudenkestävyys, tämän määrittää IP-luokka (Ingress Protection) esimerkiksi. IP20 suojaaa sormilta, mutta ei ole vesitiivis, kun taas IP68 kestää jatkuvan upotuksen tietyssä syvyydessä. Koteloinninmateriaali valinnat. Esimerkiksi ABS-muovi ei sovella ulkotiloihin UV-kestävyden takia ja tiivisteiden tarve kysymykset. Ei kuitenkaan riitä, että pelkkä kotelo on standardien mukainen. Myös kaapeliläpivientien ja liittimien tulee soveltuva käyttöympäristöön (mahdolliset huollettavuus kysymykset). Lämpötila ja jäähdytys, tarkistetaan käytölämpötila-alue ja voiko se vaihdella vuoden aikana. Kuumissa tai kylmissä olosuhteissa tarvitaan jäähdytystä, lämmitystä tai komponentteja, jotka kestävät matalia tai korkeita lämpötiloja. Korroosionesto, jos ilmassa on suolaa, kosteutta tai kemikaaleja. Tulee korroosionkestäviä liittimiä, pinnotteita ja tiivisteitä käyttää. Tärinänkesto

Ympäristö	Riskitekijät	Suunnitelun huomioidut
Kuiva sisätila	Pöly, pieni kosteus	Ei erityisiä suojaustoimia
Kosteaa tilaa	Roiskevesi, kondenssi	Kosteudenkestäviä kaapeleita ja tiivisteitä

Ulkotila	Sade, lämpötilavaihtelut, UV-säteily	UV-kestävä, vesitiiveys
Vedenalainen	Pysyvä upotus	Vedenpitävyys, paineenkestävyys
Pölyinen/hiekkainen	Pöly, hiekka, mekaaninen kulutus	Tiiviit kotelot, ilmanvaihto, suodattimet
Kemiallisesti rasittava	Höyryt, hapot, suolat	Kemikaalinkestävät materiaalit (riippuu kemikaalista)
ATEX-tila	Syttyvätkä kaasut/pölyt	ATEX-hyväksytty
Kylmä/kuuma	Jäätyminen, ylikuumeneminen	Lämmitys, jäähdytys, lämpötilakestoiset komponentit

Teollisuusalueen radiotorneja ja niiden kiinnitettyjä vahvistimia ja antenneja on mahdollista hyödyntää, mutta se edellyttää teknisiä- ja lupasopimuksia. Tornin omistajalta tulee selvittää (yritys, teleoperaattori, kunta) saatavilla olevat paikat, korkeus, sähkö ja liitääntä asiat. Muita vaiheita on paikalla tehtävä RF-mittaus, joka vaaditaan viralliseen hyväksyntään. RF-mittaus mittaa kenttätasot, häiriöt ja linjanäkybyydet eri antennikorkeuksilla. Laskelmat: teho, antennin gain/loss ja saavutettava vastaanottotaso. Rakenneselvitykset ja tarvittavat luvat. Co-location-sopimus eli sopimus jolla yritys vuokraa tilaa palveluntarjoajan konesalista ja sijoittaa sinne omat IT-laitteensa. Huolto-sopimus ja turvallisuus asiat. Viimeisenä testaus ja optimointi.

- Poroaitta
  - Haasteet: Pitkät etäisyydet, ei verkkosähköä, äärimmäiset lämpötilat.
  - Mahdollisuus: LoRaWAN toimii hyvin harvaan asutuilla alueilla, pitkä kantama. Tarvitaan erittäin matala virrankulutus ja hyvä koteilointi (IP65+).
- Koneistuslaitteen sisälle
  - Haasteet: Metallinen ympäristö → RF-vaimennus, tärinä, öljy/lastut.

- Mahdollisuus: Lyhyt kantama riittää, voidaan käyttää BLE tai LoRaWAN sisäverkossa. Tarvitaan pieni koko ja suojaus (IP67).
- Avustetun asumisen Home Assistant
  - Haasteet: GDPR ja tietoturva, integraatio Home Assistant -ekosysteemiin.
  - Mahdollisuus: Helppo käyttöönotto, Wi-Fi/BLE fallback, LoRaWAN jos taloalue laaja. Akkuvaihto oltava helppoa.
- Liikkuvat työkoneet
  - Kaivos: Ei GSM-peittoa, pöly ja tärinä. LoRaWAN mesh tai yksityinen gateway → hyvä ratkaisu.
  - Metsä: Pitkät etäisyydet, sääolosuhteet. LoRaWAN + erittäin pitkä akunkesto kriittinen.
  - Työmaa: Vaihtuva sijainti, paljon metallia. Tarvitaan helppo provisointi ja robusti yhteys (LoRaWAN tai BLE → gateway).
- Taloyhtiöiden piha-alueet
  - Verrattain lähietäisyydellä
  - Ulkotiloissa vaatii kotelointia ja oman virtalähteen

## 2.4 Anturi yleistä

Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka muuntaa mitattavan suureen siihen verrannolliseksi viestiksi. Viesti on yleensä sähköinen. Havaittava asia voi olla esimerkiksi mekaaninen suure, prosessisuure tai paikkatieto. Antureita käytetään järjestelmässä ikään kuin aistina, josta ohjausjärjestelmä saa tietoa prosessista. Mittausmenetelmiä on suoramittaus, jossa mittasuure saadaan suoraan ilman muita suureita. Sekä epäsuoramittaus, jossa mittasuure päätellään muiden suureiden avulla. Esimerkiksi paineanturilla saadaan suoranamittauksena hydraulikkajärjestelmän paineen, kun taas epäsuoramittaus antaa kuorman massan, kun tiedetään nostosylintereiden mitat ja tyhjän kauhan paino. Anturit luokitellaan digitaaliin ja analogiin antureihin. Digitaaliset anturit ovat kaksitilaisia (ON/OFF) esimerkiksi läsnäoloanturi, kappale on anturin edessä, kappale ei ole anturin edessä. Analogisissa antureissa lähtösignaali on verrannollinen mitattavaan suureeseen mm. Etäisysanturi.

Mitattava fysikaalinen suure tulee muuntaa siihen verrannolliseksi standardiviestiksi. Teollisuudessa käytettävät yleisimmät standardiviestit ovat virtaviesti 0 – 20mA ja 4 – 20 mA, jänniteviesti 0 – 10 V ja –10 – 10 V sekä digitaalinen jänniteviesti 0–24 V. Anturiin vaikuttaa mittausympäristöstä riippuen ulkoisia häiriöitä, jotka voivat vääristää mittaussignaalia mm. tärinä, lämpötilan muutokset ja sähköiset häiriöt. Tavallinen anturiprosessi koostuu mitattavasta suureesta, fysikaalista ilmiötä mittaavasta anturista, muuntimesta ja vahvistimesta/lähettimestä, lopputulosena on lähtösuhre eli sähköinen standardiviesti. On myös ”älyantureita”, joihin on lisätty mittaustiedon prosessointi ja tietoliikennekomponentti. Älyanturi toisin sanoen muuttaa mitattavan suureen sähköiseksi signaaliksi jonka prosessori käsitteli. Tämä mahdolistaa anturin ominaisuuksien muuttamisen.

### 3 PROJEKTIN TOTEUTUS

#### 3.1 Projektitiimi ja vastuualueet

Projektitiimi koostuu viidestä jäsenestä, joille on määritelty seuraavat vastuualueet:

- **Leevi:** projektipäällikkö
- **Meki:** yhteyshenkilö tilaajayritykseen sekä laitteistokehitys
- **Harri:** laitteistokehitys
- **Jare:** yleinen toiminta
- **Kaapo:** sihteeri sekä yleinen toiminta

Tiimivastuu on jaettu siten, että sekä projektinhallinta että tekninen kehitystyö etenevät rinnakkain. Lisäksi kaikki jäsenet tukevat projektin dokumentointia ja laitteistokehitystä.

#### 3.2 Aikataulutus

Projektia varten on luotu [GANTT-kaavio](#) aikataulutuksen työkaluksi. Projektiraportin palautuspäivä on 15.12.2025. Raporttin edistymisen vastuuhenkilönä toimii projektipäällikkö yhteistyössä sihteerin kanssa.

### 3.3 Kilpailijakartoitus

Kilpailijakartoituksessa havaittiin, että markkinoilla toimii useita valvontajärjestelmiä tarjoavia yrityksiä sekä kotimaassa että ulkomailla. Näiden yritysten tarjoamat valvontakeskusket ja niihin liitettävät laitteet hyödyntävät pääosin samanlaista tiedonsiirtotekniikkaa kuin projektimme suunniteltu laite.

Erityisesti Ouman Oy tunnistettiin kotimaiseksi toimijaksi, joka valmistaa vastavantyyppisiä laitteistoja. Yrityksellä on myös omaa tuotekehitystä palovaroittimien osalta, mikä tekee siitä relevantin vertailukohteen suunniteltavalle ratkaisulle. Ouman Oy:n tuotteet noudattivat teollisuuslaitteiden linjaa jykevyydessään ja kokoluokkaan. Tämä eroaa selkeästi pitkääkäisestä, kompaktista ja paristokäytöisestä laitteesta, joka on projektin suunnitelmana.

Keskusteluissa isännöitsijätahon kanssa paljastui joitain kilpailijoita jotka hyödynnävät valmiita palohälytinkokonaisuuksia jotka ilmoittavat tilastaan etäjärjestelmään. Haluttu toiminnallisuus on siis kaupallisesti olemassa, mutta vain integroituna palovaroittimeen valmiiksi, erillistä valvontayksikköä ei suoranaisesti löytynyt.

#### 3.3.1 Vastaavat laitteet

Murtohälyttimet (Apex), älykotiratkaisut (jääkaapin lämpötilakontrolli) toteuttavat pitkälti samaa ideaa kaavailun ratkaisumme kanssa: Itsenäinen anturi kerää tietoa ja keskustelee langattoman tiedonsiirron avulla keskustietokoneen kanssa, joka prosessoi tiedon.

Näistä laitteista ei tarkkoja teknisiä tietoja ole saatavilla, joten tekniset yksityiskohdat siitä, kuinka jykevä mikrokontrolleri sensorin lähettyvillä on, vai toteuttaako datan siirto kevyemmin jollain keinolla suoraan keskuskontrollerin käsiteltäväksi jääd vielä avoimeksi. Tällä ei toisaalta projektimme kannalta ole väliä, koska käyttöympäristö on erilainen ja sensorin on tarkoitus olla itsenäinen laite hyvinkin pitkän matkan päässä vastaanottimestaan.

### 3.4 Prototyppilaitehankinnat

Laitteistohankinnat prototyppikäyttöön haetaan pääsääntöisesti koulun kautta, ja toissijaisesti tilaajayritykseltä. Laitehankintojen hinta prototyppikäyttöön liikkuu joissain kymmenissä euroissa.

Lähitulevaisuudessa pyritään suorittamaan käytännön testejä prototyypin yksinkertaisella lähetinparilla, jotta voidaan arvioida lähetystäisyyksiä sekä mahdolisten häiriöiden määrää. Samalla ryhmä saa käytännön tuntumaa laitteen toiminasta ja voi hahmotella ominaisuuksien muotoa.

Seuraavana vaiheena on lopullisten prototyppikomponenttien hankinta ja ohjelointi, joiden avulla tavoitteena on saada lähetin ja vastaanotin kommunikoinmaan keskenään ja luomaan tietokanta sensoridatasta. Keskeisimpänä tavoitteena on varmistaa käytettävän teknologian toimivuus ennen laajemman kehitystyön jatkamista.

#### 3.4.1 Hankintakanavat

Tilaajayrityksen kanssa on sovittu käytettävän lähtökohtaisesti Digikeyn verkkokauppaa (<https://www.digikey.fi/>), josta ryhmä valitsee tarkan tuotesivun, joka välitetään tilaajalle. Maksu näistä hoituu normaaleilla yritysten välisillä maksutavilla, tässä tapauksessa alle satojen eurojen hankinnoissa yrityksen luottokortilla.

Koulun kautta suoritettavat hankintakanavat ovat vielä auki, tarkempi toimintapa selviää projektin edetessä opettaja Ville Jouppilalta.

### 3.5 Ohjelointi

"Roboter Gruppe" -projekti on Arduino IDE:llä toteutettu, ESP32-pohjainen langaton kommunikaatiojärjestelmä, joka käyttää LoRa-teknologiaa pitkän kanta-

man tiedonsiirrossa. Järjestelmä toimii testialustana tulevalle palohälyttimen valvontajärjestelmälle. Nykyinen toteutus sisältää 11 kooditiedostoa, yhteensä noin 5800 riviä C++/Arduino-koodia.

Toteutuksessa on hyödynnetty Claude.ai tekoälyä, sekä sen koodausympäristöön kehitettyä versiota.

### **3.5.1 Arkkitehtuurin periaatteet**

Järjestelmä perustuu kolmeen keskeiseen suunnitteluperiaatteeseen:

1. **Identtinen koodi molemmissa laitteissa** - Sama firmware toimii sekä lähettimessä että vastaanottimessa. Roolit tunnistetaan automaattisesti GPIO16-GPIO17 jumperikytkenällä.
2. **Modulaarinen rakenne** - 24 itsenäistä ominaisuutta, jotka voidaan kytkeä päälle tai pois config.h-tiedostossa käänösaikana. Tämä auttaa vianhaussa, ylläpidettävyydessä, sekä minimoi muistinkäytön ja virrankulutuksen tuotantoversiossa.
3. **Kaksisuuntainen kommunikaatio** - Molemmat laitteet voivat sekä lähettää että vastaanottaa. Vastaanotin lähettää ACK-kuitauksen säännöllisesti.

### **3.5.2 LoRa-kommunikaation toteutus**

RYLR896-moduuli kommunikoi AT-komennoilla Serial2-väylässä (GPIO32/33). Alkuperäinen Serial1-konflikti ratkaistiin siirtämällä LoRa Serial2:een, mikä mahdollistaa TFT-näytön samanaikaisen käytön.

#### **Kommunikaatioparametrit:**

- Taajuus: 868 MHz
- Baudrate: 115200
- Spreading Factor: 12 (maksimoitu kantama)
- Bandwidth: 125 kHz

- Viestiprotokolla: CSV-muotoinen  
SEQ:x, LED:x, TOUCH:x, SPIN:x, COUNT:x

### **3.5.3 Testauksen tila ja tulokset**

Järjestelmästä on testattu 13 ominaisutta 24:stä (54%). Erillinen signaalivoimakkuuden testaus on suoritettu omana osionaan.

#### **Core Features (6/6 testattu):**

- Automaattinen roolintunnistus
- LoRa-viestintä
- Kaksisuuntainen kommunikaatio
- Connection watchdog (CONNECTED/WEAK/LOST tilat)
- Kill-switch uudelleenkäynnistys (GPIO13-14, 3s painallus)
- Touch-sensori ja LED-indikaattori

#### **Display Features (4/4 testattu):**

- LCD 16x2 I2C-näyttö
- TFT Display Station (ESP32-2432S022, 30 datakenttää)
- Display type toggle config.h:ssa
- Serial1/Serial2 konfliktin ratkaisu

#### **Monitoring Features (3/3 testattu):**

- Pakettitilastot: RSSI min/max/avg, SNR, pakettihäviö
- Suorituskykymonitori: Loop-taajuus, vapaa muisti
- Health tracking: Yhteyden tila, palautumisrytykset

### **3.5.4 Sensori-infrastruktuuri (valmisteilla)**

Vaikka sensoreita ei ole vielä testattu, järjestelmään on ohjelmoitu valmis infrastruktuuri neljälle sensorityypille:

- Battery Monitor: ADC-mittaus GPIO35, jännitteenvakaja
- Audio Detector: MAX4466 mikrofoni, FFT-analyysi 3kHz tunnistukseen

- Light Detector: TCS34725 RGB-sensori LED-vilkunnan havaitsemiseen
- Current Monitor: INA219 I2C-sensori virrankulutuksen mittaukseen

Sensors.h-moduuli sisältää valmiit funktiot palohälyttimen tunnistukseen. FFT-analyysi etsii 3kHz  $\pm 200\text{Hz}$  taajuutta ja varmistaa kolmen piippauksen rytmisen hälytyksen lähetämistä.

### 3.5.5 Suorituskyky ja monitorointi

Järjestelmä raportoi reaalialkaisesti:

- Pakettitilastot 30 sekunnin välein
- Suorituskykymetriikat 60 sekunnin välein
- CSV/JSON-muotoinen dataloggaus PC:lle
- Python-skriptit SQLite-tietokanta-analyysiin

### 3.5.6 Konfiguroitavuus

Config.h mahdollistaa ominaisuuksien hallinnan #define-makroilla. Esimerkki prioriteettiominaisuksista:

```
#define ENABLE_PACKET_STATS true           // Pakettitilastot
#define ENABLE_PERFORMANCE_MONITOR true    // Suorituskyky
#define ENABLE_ADAPTIVE_SF false          // Ei vielä testattu
```

### 3.5.7 Jatkokehitys

Seuraavat askeleet projektin kehityksessä:

1. Kantamatestaus todellisissa olosuhteissa
2. Adaptive Spreading Factor -testaus
3. Sensorikomponenttien hankinta ja integrointi
4. Deep sleep -toiminnallisuuden testaus
5. Runtime-konfiguraatio Serial-komennoilla

### 3.6 Testaus

Prototyypin testaus: Luodaan strategia ja dokumentoidaan ennalta suunniteltuun ja laadittuun pohjaan.

Testiympäristöjä pyritään keksimään mahdollisimman paljon ja mahdollisuksien mukaan huomioidaan hyödyllisiä suureita, joita voi tilannekohtaisesti ilmetä, mutta ainakin sisältäväät seuraavia:

- Maksimietäisyys
- Maksimaalinen hyödyllinen etäisyys, kun signaali varmuudella toimii
- Optimietäisyysalue
- Häiriölähteitä ja niiden vaikutuksia
- Kuuluvuutta parantavia toimia
- ja heikentäviä toimia

Tilannekohtaisista testauksista esimerkkinä annettakoon **kerrostalohuoneistot**:

- Kerrostalossa vaaka ja pystysuuntaan suoritetaan erillinen testi, koska seinärakenteet eroavat kattorakenteista ja sisältävät metallia enemmän
- Sisätiloissa väliseinien vaikutus
- Laitteen kuuluvuus oudoista paikoista, kuten pöytälaatikon sisältä
- Katossa, lattialla ja seinään tehtyjen asennusten ero

Näiden testien tarkoituksesta on ottaa jo ennakkoon huomioon ihmilliset virheet, huolimattomuus ja laiminlyönti laitetta kohtaan.

#### 3.6.1 Speksit laitteesta

- Range: Typical: 4,5km Max: 15 km
- 
- ◆ Certification: NCC, FCC
- ◆ Frequency Range: 868/915 MHz
- ◆ Semtech SX1276 Engine
- ◆ High efficiency Power Amplifier
- ◆ Excellent blocking immunity
- ◆ Low Receive current
- ◆ High sensitivity
- ◆ Control easily by AT commands
- ◆ 127 dB Dynamic Range RSSI

- ◆ Designed with integrated antenna
- ◆ AES128 Data encryption
- ◆ Operation temperature: -40 °C to +85 °C
- ◆ Dimension: 42.5\*18.36\*5.5 mm
- ◆ Weight: 7g



### 3.6.2 Käyttöohje

Poiminta teamsistä:

Tekoälyttömyyden kans tää on kyl nopeaa. desibelidata liikku kyl mutta oli väärä lukema esillä. Kerron tuosta näytöstä vähän:

Ylärivillä on kuuluvuuspalkki ja -36dB sekä hyvin hitaasti pyörivä animaatio. Se on etälaitteella rullaava vastaava animaatio mikä pyörii tuossa paikallisena alla.

Alarivin S:47 on SNR,

L:1 on paikallinen LEDi joka vilkkuu ihan vain elossaolon merkiksi.

R: on remote touch, eli sieltä laitteesta roikkuu piuhanpätkä jonka päätä kun pitää sormien välissä hiukan aikaa niin tuon pitäisi vaihtua.

Sit lopuksi on vain kasvava lähetysten lukumäärä joka nollautuu



## ## 📈 Signal Strength Reference

Understanding RSSI values:

RSSI Range	Quality	Distance (approx)	Version 1 Bar	Version 3 Icon
-30 to -50 dBm	**Excellent**	0-50m	[██████]	^
-50 to -70 dBm	**Very Good**	50-100m	[██████]	^
-70 to -80 dBm	**Good**	100-200m	[██████]	=
-80 to -90 dBm	**Fair**	200-400m	[███]	=
-90 to -100 dBm	**Marginal**	400-800m	[██]	-
-100 to -110 dBm	**Poor**	800-1500m	[██]	v
-110 to -120 dBm	**Critical**	1500m+	[██]	x

\*\*SNR (Signal-to-Noise Ratio) reference:\*\*

- \*\*> 10 dB:\*\* Excellent - very clean signal
- \*\*5-10 dB:\*\* Good - minor interference
- \*\*0-5 dB:\*\* Fair - noticeable interference
- \*\*-5-0 dB:\*\* Poor - significant interference
- \*\*< -5 dB:\*\* Critical - high packet loss likely

## 4 LAITTEISTO

### 4.1 Kokonaisarkkitehtuuri

Järjestelmä koostuu kolmesta pääkomponentista:

**Lähetinyksiköt (etäyksiköt)** Palovaroittimen läheisyyteen asennettavat itsenäiset sensorit, jotka tarkkailevat varoittimen tilaa ja välittävät tiedot LoRa-yhteydellä. Laitteet toimivat paristokäyttöisinä ja käyttävät virransäästötoimintoja pitkän käyttöön saavuttamiseksi.

**Väliserveri (gateway)** Kiinteistössä sijaitseva keskusyksikkö, joka vastaanottaa lähetinyksiköiden tiedot, jatkokäsitlee ne ja välittää edelleen internetin kautta pilvipalveluun. Toteutettavissa esimerkiksi Raspberry Pi -pohjaisesti tai kaupallisella LoRa Gateway -laitteella (esim. Milesight UG65).

**Pilvipalvelu ja tietokanta** Keskitetty järjestelmä, joka kerää ja tallentaa kaikkien lähetinyksiköiden tiedot. Mahdollistaa useiden kiinteistöjen seurannan yhdestä paikasta.

#### 4.1.1 Käyttötapaukset ja asennusympäristö

Ensisijainen käyttötarkoitus on palovaroittimien tilan seuranta asuinrakennuksissa. Järjestelmä soveltuu erityisesti isännöitsijöiden ja kiinteistönhoitoyhtiöiden käyttöön, joilla on vastuu useiden asuntojen turvallisuudesta.

##### Asennusympäristö:

- Asuinhuoneistojen katot palovaroittimien läheisyydessä
- Sisälämpötila normaalisti +18...+25 °C
- Kosteus normaali sisäilman kosteus
- Ei alittiina suoralle mekaaniselle rasitukselle

**Ulkonäkö ja asennus:** Laite tulee suunnitella visuaalisesti yhteensopivaksi palovaroittimien kanssa, jotta se sulautuu sisustukseen häiritsemättä. Asennus toteutetaan yksinkertaisesti kiinnittämällä laitteen pohja kattoon yksittäisellä ruuvilla ja pikakiinnittämällä laitteen runko pohjaan. Koteloissa suositaan 3D-tulostettua, pelkistettyä muotoilua, jonka kansi on helposti avattavissa huoltotoimenpiteitä varten.

#### 4.1.2 Keskeiset vaatimukset

**Virrankulutus ja käyttöikä:** Laitteen tulee toimia itsenäisesti paristokäytöllä vähintään viisi vuotta. Tämä edellyttää ultra-low-power -suunnittelua, jossa lepotilan virrankulutus on alle  $10 \mu\text{A}$ .

**Kantama:** LoRa-yhteyden tulee toimia luotettavasti vähintään kahden kerroksen läpi asuinrakennuksissa. Tavoitteena on vähintään 50 metriä sisätiloissa ja 200 metriä esteettömällä alueella.

**Luotettavuus:** Järjestelmän tulee havaita palovaroittimen tilassa tapahtuvat muutokset luotettavasti ja välittää tieto viiveettä välipalvelimelle. Kriittisten hälytysten (palo, paristotyhjeneminen) osalta sallittu viive enintään 60 sekuntia.

**Skaalautuvuus:** Yksittäisen välipalvelimen tulee pystyä vastaanottamaan tietoja vähintään 50 lähetinyksiköltä samanaikaisesti.

### 4.2 Vaatimustenmäärittely

Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) opettajan Ville Jouppilan kanssa käydissä keskusteluissa korostettiin vaatimustenmäärittelyn laatimisen merkitystä ennen varsinaista laitteistokehitystä. Vaatimustenmäärittelyssä määritetään, mitä suureita halutaan mitata, missä tilanteissa mittaukset suoritetaan, millä syklillä tiedonkeruu tapahtuu sekä millaista virtalähdettä järjestelmässä käytetään.

#### 4.2.1 Asennettavuus palovaroittimeen

Isännöitsijän vastuun katsotaan olevan oleellinen laitteen käyttöönnoton ja ylläpidon kannalta. Laitetta suunniteltaessa on huomioitava erityisesti helppo asennettavuus, huollettavuus sekä esteettinen soveltuvuus sisätiloihin.

Asennus pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi, esimerkiksi kiinnittämällä laitteen pohja kattoon yksittäisellä ruuvilla ja pikakiinnittämällä koppa tämän päälle. Koteloinnin osalta suositaan 3D-tulostettua, pelkistettyä ja visuaalisesti miellyttävää rakennetta, jonka kansi on helposti avattavissa huoltotoimenpiteitä varten.

Ulkokäyttöön tarkoitetuissa yksiköissä voidaan hyödyntää IP65-luokitukseen täytävää jakorasisuojaa, joka varmistaa laitteen riittävän sääsuojauksen ja kestävyyden.

#### **4.2.2 Mitattavat suureet ja toiminnot**

Lopullisessa tuotteessa seurattavat suureet määritetään seuraavasti:

**Äänihavainnot:**

- Testiäänimerkki (~1 sekunnin merkkiäni)
- Palovaroitusäänimerkki (>5 sekuntia jatkuva)
- Paristotyhjenemismerkki (satunnaiset, toistuvat piipahdukset)

**Valohavainnot:**

- LED-merkkivalon välähdys (tyypillisesti 45–60 sekunnin välein)
- Välähdyystaajuuden ja keston analysointi

**Kiihtyvyysanturi:**

- Laitteen siirtäminen tai liikutus
- Katosta pudottaminen
- Laitteen poistaminen asennuspaikalta

Oikean sensoriärsykkeen analysointi on keskeinen, mutta vielä ratkaisematon kysymys. Tavoitteena on reagoida vain palovaroittimen tuottamaan ääneen, ei esimerkiksi rakennusmeteliin tai muihin ympäristön ääniin. Vastaavasti varoittimen LED-valoon reagoiminen edellyttää tarkkaa suunnittelua. On epäselvää, onko

olemassa tähän käyttöön räätälöityä sensoria vai tuleeko analysointi toteuttaa mikrokontrollerin tasolla.

#### 4.2.3 Kerättävä data tietokantaan

Tietokantaan kerättävä data määritellään seuraavasti:

##### Perustiedot:

- Yksikön tunnus/osoite
- Aikaleima
- Uptime
- Paristojännite
- Signaalin vahvuus (RSSI)

##### Tilatieto:

- Toimintastatus (on/off)
- Viimeisin testiajankohta
- Paristovaroitus aktiivinen (kyllä/ei)
- Palovaroitus aktiivinen (kyllä/ei)

##### Sensorihavainnot:

- Äänihavainto (tyyppi ja ajankohta)
- Valohavainto (ajankohta)
- Liikehavainto (tyyppi: siirto/pudotus/poisto/varastaminen)

##### Muut:

- Varatietue 1–5 (tulevaa laajennusta varten)

Palovaroittimeen liitettävän datan suhteen voidaan olla joustavia. Tietokanta on tekstimuotoista ja alle parin sadan tietueen vastaanottaminen on oletusarvoisesti helppoa. Täten pyritään lähtökohtaisesti sisällyttämään kaikki ehdotetut suureet tietokantaan, ellei se aiheuta kohtuutonta vaivaa hyötyynsä nähdien. Myöhemmään tarpeeseen vastaaminen muuttamalla tietokantaa on vaivalloista, ja kehitystyön aikana ilmenevät suureet on täten hyvä sisällyttää aikaisessa vaiheessa.

#### 4.2.4 Virrankulutus ja toiminta-aika

**Tavoite:** Laitteen tulee toimia itsenäisesti yhdellä tai kahdella AA-paristolla vähintään viiden vuoden ajan. Tämä edellyttää ultra-low-power -suunnittelua.

##### Virrankulutuksen jakauman arvio:

- Lepotila (deep sleep):  $< 10 \mu\text{A}$
- Herätys ja mittaus:  $\sim 1 \text{ mA}$ , kesto  $< 1 \text{ s}$
- LoRa-lähetys:  $\sim 40 \text{ mA}$ , kesto  $\sim 200 \text{ ms}$
- Keskimääräinen virrankulutus:  $< 20 \mu\text{A}$

**Käytännön toteutus:** Laite on suurimman osan ajasta syvässä unitilassa. Herääminen tapahtuu joko ajastimella (esim. 10 minuutin välein) tai keskeytyksen kautta (sensori havaitsee muutoksen). Herättyään laite suorittaa mittauksen, analysoi tarvittaessa datan ja lähettilää tiedon LoRa-yhteydellä, jonka jälkeen palaa unitilaan.

Kahdella AA-paristolla (yhteensä  $\sim 5000 \text{ mAh}$ ) ja  $20 \mu\text{A}$  keskikulutuksella saavutetaan teoreettinen käyttöaika yli 25 vuotta. Käytännössä paristojen itsepurkautuminen ja käyttölämpötila rajoittavat käyttöön 5–10 vuoteen, mikä täyttää asetetun tavoitteen.

### 4.3 Teknologiavalinnat

#### 4.3.1 Kommunikointiprotokolla

Projektiin kommunikointiteknologiaksi valittiin LoRa (Long Range) -protokolla. Asiakas oli pitkälti tyytyväinen tähän valintaan jo lähtökohtaisesti.

##### LoRan edut:

- Pitkä kantama sisätiloissa ( $>100 \text{ m}$ ) ja ulkona ( $>1 \text{ km}$ )
  - Vaatii erillisantennin suuriin etäisyyksiin
- Matala virrankulutus
- Hyvä seinien läpäisykyky
- Vapaa taajuusalue (EU868 MHz)

- Kypsä teknologia laajalla komponenttitarjonnalla

**Vertailu muihin protokolliin:** Nopeita vertailuja suoritettiin yleisistä älykotiratkaisuissa käytetyistä protokollista, kuten Bluetooth, Zigbee ja Wi-Fi. Näiden virrankulutus oli usein runsaampi, ja kantama jäi nopeasti jälkeen LoRaan verrattuna (tyypillisesti <100 m sisätiloissa).

**LoRaWAN:** Pitkän kantaman LoRaWAN-protokolla ei ole tällä hetkellä ajankohtainen vaihtoehto. Digita ylläpitää Suomessa maksullista LoRaWAN-verkkoa, mutta projektin alkuperäisiin tarpeisiin riittää yksityinen LoRa-verkko kiinteistökohtaisesti, ja pitkän kantaman toteutus jäät tarpeen mukaiseksi ominaisuudeksi.

#### 4.3.2 Komponenttien valintakriteerit

##### Mikrokontrolleri:

- Tuki ultra-low-power -toiminnolle
- Riittävä prosessointiteho sensoridatan analysointiin
- Helppo ohjelmoitavuus ja hyvä dokumentaatio
- Saatavuus ja hinta

##### LoRa-moduuli:

- Yhteensopivuus valitun mikrokontrollerin kanssa
- Tuki EU868 MHz -taajuudelle
- Matala virrankulutus
- AT-komentojen tuki helpottaa kehitystyötä

##### Sensorit (lopullisessa tuotteessa):

- Äänisensorin on erotettava palovaroittimen äänitaajuudet (tyypillisesti 3–4 kHz)
- Valoanturin on havaittava punaisen LED:n välähdykset luotettavasti
- Kiihtyyvysanturin on havaittava pudotus ja siirtäminen

#### 4.4 Prototyypin toteutus

#### **4.4.1 Kehityskokoonpano ja tavoitteet**

Prototyypin tarkoituksesta on testata LoRa-tiedonsiirron toimivuutta, kantomatkaa ja luotettavuutta käytännössä. Tässä vaiheessa keskitytään pelkästään laitteiston runkoon ilman sensoreita ja pyritään saamaan käytännön tuntumaa sekä perustoimintaan että kehitystyöhön.

##### **Prototyypin tavoitteet:**

- Kaksi identtistä lähetinyksikköä, joilla kokeillaan signaalin kantamatkoja, toimintaa ja häiriölähteitä
- ESP32:n virransäästötilojen testaaminen ja ymmärrys niiden soveltamisesta lopullisessa tuotteessa
- LoRa-moduulin ohjaamisen opettelu AT-komennoilla
- Käytännön kokemus laitteiston rakentamisesta ja virtalähdevaihtoehtoista

**Miksi ilman sensoreita?** Sensorien integrointi ja niiden datan analysointi lisää merkittävästi monimutkaisuutta. Ensin on varmistettava, että perusjärjestelmä (mikrokontrolleri + LoRa + virtalähde) toimii luotettavasti, ennen kuin siirrytään sensoridatan käsittelyyn.

#### **4.4.2 Mikrokontrolleri (ESP32)**

Kehitysvaiheessa käyttöön valittiin ESP32-DevKitC, koska se on helposti saatavilla, tukee nopeaa prototyypien rakentamista ja tarjoaa valmiit kirjastot LoRa-moduulin ohjaamiseen AT-komennoilla.

##### **ESP32:n edut kehityskäytössä:**

- Arduino IDE -kehitysympäristön tuki
- Laaja yhteisötuki ja esimerkkikoodit
- Sisäänrakennettu Wi-Fi ja Bluetooth (käyttämättä tässä projektissa)
- GPIO-pinnit sensoreiden liittämiseen jatkokehitystä varten
- Sleep-mode -toiminnot virransäästön testaamiseen

**Rajoitukset:** ESP32:n virrankulutus on suhteellisen korkea lopullisen tuotteen tavoitteisiin nähdien. Kehitysalustan oheispiirit nostavat lepotilan kulutuksen mA-tasolle, mikä tarkoittaa, että yhdellä AA-paristolla käyttöaika jäisi vain viikkoihin. Tämä on kuitenkin kehityskäytöön hyväksyttävä kompromissi, ja prototyypin testit suoritetaan pääosin USB- tai verkkovirralla.

**Ohjelmointi:** ESP32 ohjelmoidaan Arduino IDE:llä, mikä mahdollistaa nopean kehityksen ja koodin testauksen. Käytetään valmista HardwareSerial-kirjastoa LoRa-moduulin kanssa kommunikointiin.

#### 4.4.3 LoRa-moduuli (RYLR896)

Lähetinmoduuliksi valittiin REYAX RYLR896, joka on yleisesti käytetty ja helposti hankittavissa oleva LoRa-moduuli.

##### RYLR896:n ominaisuudet:

- Toimii EU868 MHz -taajuudella
- AT-komentojen ohjaus UART-väylän kautta
- Kantama: jopa 3–5 km esteettömällä alueella, sisätiloissa 100–300 m
- Lähetysteho säädettävissä (2–22 dBm)
- Virrankulutus lähetysessä ~40 mA, lepotilassa ~2 µA
- Integroitu antenni tai ulkoisen antennin liitintä
- Suora liittävyys ESP32:n UART-pinneihin

**Käytön helppous:** Moduulin käyttö on yksinkertaista AT-komentojen ansiosta. Esimerkiksi viestin lähetäminen tapahtuu komennolla:

AT+SEND=<kohde\_osoite>,<pituus>,<data>

Tämä tekee prototyypin kehittämisestä nopeaa ilman syvälistä LoRa-protokollan tuntemusta.

#### 4.4.4 Virtalähdevaihtoehdot

Prototyppivaiheessa testataan useita virtalähdevaihtoehtoja:

**USB-virta (5V):**

- Pääasiallinen kehityksen aikana
- Jatkuva virransyöttö, ei huolta paristojen loppumisesta

#### **Virtapankki (5V):**

- Kannettava testaus eri sijainneissa
- Kapasiteetti tyypillisesti 10 000–20 000 mAh
- Mahdollistaa usean päivän testit

#### **AA-paristot (2 kpl, ~3V tai 4 kpl, ~6V):**

- Realistinen virtalähde käytännön testaukseen
- Kapasiteetti ~2500 mAh per paristo
- ESP32:n korkean virrankulutuksen vuoksi kesto rajoitettu

#### **Pienoismallien 3.6V / 7.2V akku:**

- Li-Ion tai Li-Po akku
- Mahdollistaa pidemmän testijakson kuin AA-paristot
- Ladattava

#### **4.4.5 Kotelointi**

Prototyppivaiheessa kotelointi on yksinkertainen ja käytännöllinen. Tavoitteena on suojata elektroniikka ja mahdollistaa helppo pääsy komponentteihin kehitystyön aikana.

#### **Prototyypin kotelointi:**

- Yksinkertainen muovirasia tai 3D-tulostettu kotelo
- Helposti avattava kansi
- Läpiviennit USB-kaapelille ja antennille
- Kiinnitysmahdollisuus testausta varten (esim. tarranauha)

Lopullisen tuotteen kotelointi suunnitellaan tarkemmin vasta prototyppitestien jälkeen, kun laitteiston koko ja komponenttien sijoittelu ovat selvillä.

#### **4.4.6 Ohjelmiston kehitys ja dokumentointi**

**\*\*Sisältösuuntaviivat:\*\***

- Kehitysympäristö (Arduino IDE, kirjastot)
- Ohjelman rakenne (setup, loop, funktiot)
- Keskeinen logiikka (LoRa-viestintä, utilitit)
- Koodin versionhallinta (GitHub tms.?)
- Liitteenä olevan koodin selitys lyhyesti

## **4.5 Jatkokehityssuunnitelma**

### **4.5.1 Ultra-low-power -toteutus**

Lopullisen tuotteen tärkein vaatimus on ultra-matala virrankulutus, joka mahdol- listaan vähintään viiden vuoden käyttöön paristoilla.

**Suunnitellut toimenpiteet:**

- Siirtyminen erikoistuneeseen ultra-low-power -mikrokontrolleriin
- Optimoidut herätsajat ja mittaussyklit
- Tehokkaiden sensorien valinta, jotka kuluttavat virtaa vain mittauhetkellä
- Oheispiirien (esim. jänniterregulaattorit) valinta matalan lepovirtansa pe- rusteella

**Virransäästöstrategiat:**

- Deep sleep -tila suurimman osan ajasta (lepovirtaa  $< 10 \mu\text{A}$ )
- Keskeytysperusteinen herääminen (sensorit herättävät mikrokontrollerin)
- Ajastinperusteinen herääminen (esim. 10 min välein tilatarkistus)
- LoRa-lähetysten optimointi (mahdollisimman harvoin, mutta riittäväin usein)

**Käskyjen vastaanotto**

- Output-signaalikäskyjen vastaanotto.

- Yksinkertaisilla pulsseilla voidaan ohjata esimerkiksi anturia ottamaan manuaalinen näyte, tai yksikköä voidaan tulevaisuudessa käyttää yksinkertaiseen laitteiden manipulointiin

#### **4.5.2 Lopullinen mikrokontrollerivalinta**

ESP32 on erinomainen kehitysalusta, mutta lopullisessa tuotteessa tarvitaan erikoistuneempi ratkaisu.

##### **Alustavia vaihtoehtoja:**

- **RAK3172 (STM32WL-pohjainen):** Integroitu LoRa-radio ja ARM Cortex-M4 -prosessori, lepotila  $\sim 1.5 \mu\text{A}$
- **STM32L0-sarja:** Ultra-low-power ARM -mikrokontrollerit, erillinen LoRa-moduuli
- **Muut STM32WL-pohjaiset moduulit:** Markkinoilla on useita valmistajia

##### **Valintakriteerit:**

- Lepotilan virrankulutus ( $< 2 \mu\text{A}$ )
- Riittävä prosessointiteho sensoridataan analysointiin
- LoRa-radion integrointi (vähentää komponenttimäärää)
- Kehitystyökalujen saatavuus
- Kustannukset massatuotannossa

Lopullinen valinta tehdään vasta prototyppitestien ja tarkempien laskelmien jälkeen

#### **4.5.3 Antenni ja kantaman optimointi**

Prototyppivaiheessa käytetään LoRa-moduulin integroitua antennia tai yksinkertaista piuhaa antenninä. Lopullisessa tuotteessa antenni optimoidaan kantaman ja koon perusteella.

##### **Antennivaihtoehdot:**

##### **Lähetinyksiköt:**

- PCB-antenni (erittäin kompakti, edullinen massatuotannossa)

- Piuha-antenni (hyvä kompromissi koon ja suorituskyvyn välillä)
- Ulkoinen piiskamallinen antenni (paras kantama, suurempi koko)

#### **Väliserveri:**

- Suurempi ulkoinen antenni (esim. 6 dBi ympärisäteilevä)
- Mahdollisuus kauko-sijoitukseen (esim. katolla) parempaa kuuluvuutta varten

#### **Kantaman optimointi:**

- LoRa-parametrien säätö (spreading factor, bandwidth, coding rate)
- Lähetystehon säätö (tasapaino kantaman ja virrankulutuksen välillä)
- Antennien sijoittelu (vältetään metallisia rakenteita lähellä)

Käytännön testaukset eri ympäristöissä määrittävät lopulliset valinnat.

#### **4.5.4 Väliserveri (Raspberry Pi / Gateway)**

Väliserverin tehtävänä on vastaanottaa useiden lähetinyksiköiden tiedot, kerätä niistä tietokantaa ja välittää data edelleen internetin kautta pilvipalveluun.

#### **Raspberry Pi 4 -pohjainen ratkaisu:**

- Tukee samaa LoRa-antennia (RYLR896 tai vastaava) kuin lähetinyksiköt
- Linux-pohjainen käyttöjärjestelmä mahdolistaa monipuolisen ohjelmoinnin
- Ethernet- ja Wi-Fi -yhteydet
- GPIO-pinnit LoRa-moduulin liittämiseen
- Mahdollisuus paikallisen tietokannan ylläpitoon (esim. SQLite)
- Ajoitettu datan lähetys pilvipalveluun

#### **Kaupallinen Gateway (esim. Milesight UG65):**

- Valmis ratkaisu, joka tukee LoRa-verkkoa
- Sisäänrakennettu tietokanta ja web-käyttöliittymä
- Helppo käyttöönotto
- Kalliimpi vaihtoehto

**Skaalautuvuus:** Väliserverin on kyettävä vastaanottamaan samanaikaisesti useiden lähetinyksiköiden tiedot. Raspberry Pi 4:n suorituskyky on riittävä useiden satojen sensorien vastaanottoon lähtökohtaisesti.

**Jatkokehitys:**

- Python- tai C-pohjainen palvelinohjelmisto
- MQTT-protokolla datan välitykseen pilvipalveluun
- Paikallinen web-käyttöliittymä valvontaa varten
- Automaattinen uudelleenkäynnistys vikatilanteiden varalta
-

## Lähteet

Digi-Key Electronics. (ei pvm.). Haettu 17. lokakuuta 2025. <https://www.digikey.fi/>

Last Minute Engineers. (2025). *Insight Into ESP32 Sleep Modes & Their Power Consumption*. (Haettu 7.10.2025). <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>

RAKwireless Technology Limited. (2025). *RAK3172 WisDuo LPWAN Module*. Haettu 7.10.2025. <https://www.rakwireless.com/en-us/products/lpwan-modules/rak3172-wisduo-lpwan-module>

REYAX Technology Corporation, LTD. (ei pvm.) *RYLR896*. (Haettu 7.10.2025). <https://reyax.com/products/RYLR896>

Semtech. (2025). *What is LoRa?* Haettu 1.10.2025. <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>

SFS-EN 14604. (2005). *Palovaroittimet*. Suomen Standardisoimislaitto SFS ry. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/8060.html.stx>

Valtanen, E. (2022). *Tekniikan taulukkokirja* (23. painos). Genesis-kirjat Oy.

Wikipedia. (2025). *LoRa*. Haettu 1.10.2025. <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>

Hasun, L. (2017). LoRa IoT -radion soveltuvuus käytettyjen työkoneiden tiedonsiirtoon [Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017060213186>

Random Nerd Tutorials. (n.d.). ESP32 LoRa sensor monitoring with web server (long range communication). <https://randomnerdtutorials.com/esp32-lora-sensor-web-server/>

Random Nerd Tutorials. (n.d.). ESP32 with LoRa using Arduino IDE. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-lora-rfm95-transceiver-arduino-ide/>

REYAX Technology. (n.d.). RYLR896. <https://reyax.com/products/RYLR896>

Robu.in. (n.d.). How to setup and use LoRa modules Reyax RYLR896 [Video].

Robu's Two Minute Tutorials. <https://robu.in/how-to-setup-and-use-lora-modules-reyax-rylr896/>

Saarensilta, O. (2025, toukokuu 27). Kiinteiston palovaroitinvälvonnan toteutus LoRaWAN-teknikkalla [Insinöörityö, Metropolia Ammattikorkeakoulu]. Theseus.

Radioluvat ja taajuudet TRAFICOM <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/radioluvat-ja-taajuudet>

## **Liitteet**

Liite 1. GANTT-KAAVIO

[Robot Academy Ryhmä 4 GANTT.xlsx](#)

Liite 2. Kokouspäiväkirja

[Robottipäiväkirja.docx](#)