



Eetu Tuominen

Radiolaitteen prototyypin kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

6.10.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Eetu Tuominen
Otsikko: Radiolaitteen prototyypin kehitys
Sivumäärä: 41 sivua
Aika: 6.10.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Pääsuunnittelija Tuomas Tuukkanen
Lehtori Janne Mäntykoski

Opinnäytetyössä osallistuttiin projektiin, jonka tarkoituksena oli selvittää, voiko yleisesti saatavilla olevista komponenteista ja 3D-tulostetuista osista luoda toimivan ja edullisen radiolähetin-vastaanottimen. Opinnäytetyönä selvitettiin radiolaitetta koskevaa lainsäädäntöä ja soveltuvia direktiivejä mahdollista kaupallistamista varten, suunniteltiin 3D-malli prototyypin koteloksi, tulostettiin radiolaitteen kotelo käyttäen 3D-tulostinta, sekä luotiin testaussuunnitelma. Työtä tehtiin yhteistyössä Sarco Oy:n ja Miikka Uotisen kanssa.

Radiolaitteen ydintoimintojen toteuttamisessa käytettiin mikrokontrolleri Raspberry Pi Picoa, johon tehtiin ohjelmisto ohjaamaan tarvittavia toimintoja. Kehitystyön aikana mikrokontrolleri päätettiin vaihtaa Raspberry Pi Zero2:een. Laitteen kehityksessä otettiin huomioon mahdollinen myöhempi kaupallistus ja automaattisen testauksen mahdollistaminen suunnittelussa. Koska opinnäytetyöprojekti tehtiin yhteistyönä Miikka Uotisen kanssa, niin työnjako suunniteltiin ennen työn aloitusta.

Avainsanat: radiopuhelin, prototyyppi, Raspberry Pi, testaussuunnitelma

Abstract

Author: Eetu Tuominen
Title: Development of a two-way radio prototype
Number of Pages: 41 pages
Date: 6 October 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Engineering
Supervisors: Tuomas Tuukkanen, Lead Designer,
Janne Mäntykoski, Senior Lecturer

The topic of the thesis was to participate in a project aimed at finding out whether publicly available components and 3D-printed parts could be used to create a functional and inexpensive radio transceiver. Also, legislation and applicable directives concerning radio equipment for possible commercialisation were examined. A 3D model for prototype housing was designed and printed using a 3D printer. Also, a test plan was created to test the prototypes functionality.

In the implementation of the core functions of the radio device, the microcontroller Raspberry Pi Pico was used, for which software was created to control the necessary functions. During development, it was decided to replace the microcontroller with the Raspberry Pi Zero2. The development of the device considered possible later commercialisation and the possibility of automated testing in the design. Since the thesis project was carried out in cooperation with Miikka Uotinen, the division of work was planned before the work began. This thesis examines the legislation and prescriptive directives concerning this device for possible commercialisation, designs a 3D model as a prototype housing, prints the device case with a 3D printer and designs a test plan for the device. The work was carried out in cooperation with Sarco Oy and Miikka Uotinen.

Keywords: two-way radio, prototype, Raspberry Pi, test plan

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Radiolähetin-vastaanotin	2
2.1	Radiolähetin-vastaanottimen perusrakenne	2
2.2	Prototyyppi	3
2.3	Opinnäytetyön tarkoitus	3
2.4	Radioliikennettä koskeva lainsäädäntö Suomessa	5
2.5	Luvasta vapautetuille laitteille suunnatut taajuudet	5
3	Raspberry Pin käyttö radiolähetin-vastaanottimen ytimenä	6
4	Lähtökohdat suunnittelulle	8
4.1	Projektin toteutussuunnitelma	8
4.2	3D-tulostus	10
4.3	Blender	11
4.4	Laitteen käyttöturvallisuus	11
4.5	Vaatimusmäärittelyt	12
4.5.1	Vaatimuksia kotelolle	12
4.5.2	Mekaanisia ja elektronisia vaatimuksia	13
4.6	Radiopuhelimen takaisinmallintaminen	14
4.7	Valitut komponentit	16
5	Koteloinnin suunnittelu radiolähetin-vastaanottimelle	17
5.1	3D-mallinnus	17
5.1.1	Ensimmäinen versio	17
5.1.2	Toinen versio	25
5.1.3	Kolmas versio	26
5.2	3D-tulostamisen toteutus	28
5.2.1	Ensimmäiset tulostukset ja jatkuvat ongelmat	28
5.2.2	Onnistunut tulostus	29
6	Radiolaitteen toiminnankuvaus	30
7	Kokoonpano	31

8	Laitteen testaussuunnitelma	33
	Pölytiivyyden testaussuunnitelma	33
	Vesitiiveyden testaussuunnitelma	34
	Teoreettinen virrankulutus ja käyttöaika	35
	Laitteen toimintaetäisyyden testaussuunnitelma	35
	Laitteen automaattinen toimivuuden testaus	35
9	Jatkokehitys	36
10	Yhteenveto ja pohdinta	37
	Lähteet	1

Lyhenteet

- AM: *Amplitude modulation.* amplitudimodulaatio. Radiolähetyksen modulointimetodi.
- CG: *Computer graphics.* Tietokonegrafiikka. Digitaalisten kuvien luomista ja käsittelyä tietokoneella.
- FM: *Frequency modulation.* Taajuusmodulaatio. Radiolähetyksen modulointimetodi.
- GPIO: *General purpose input output.* kaksisuuntainen tai kaksitilainen pinni Raspberry Pi Picossa
- PTT: *Push-to-talk.* Tangentti. Painike, josta radiolaitteen toimintatila muuttuu.
- RAM: *Random access memory.* Tietotekniikassa tarkoittaa muistia, jota voidaan lukea satunnaisessa järjestyksessä.
- RX: *Receive something.* Toiminto, joka vastaanottaa jotain.
- TX: *Transmit something.* Toiminto, joka lähettää jotain.

1 Johdanto

Opinnäytetyössä osallistuttiin projektiin, jonka tavoitteena on selvittää voiko yleisesti saatavilla olevista komponenteista ja 3D-tulostetuista osista luoda toimivan ja edullisen radiolähetin-vastaanottimen. Laitteen kehityksen avuksi haastateltiin radiolaitteen mahdollista kohderyhmää eri kehityksen vaiheissa.

Radiolaitteen ytimenä oli tarkoitus toimia mikrokontrolleri Raspberry Pi Pico. Tämä mikrokontrolleri vaihdettiin kehitystyön aikana kuitenkin Raspberry Pi Zero2:een. Mikrokontrolleriin kehitettiin ohjelmisto ohjaamaan tarvittavia toimintoja. Laitteen kehityksessä otettiin huomioon mahdollinen myöhempi kaupallistus ja automaattisen testauksen mahdollistaminen suunnittelussa.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyönä Miikka Uotisen kanssa. Työnjaon osalta sovittiin etukäteen, että tässä opinnäytetyössä keskitytään koteloinnin laatimiseen käyttöliittymän tueksi ja toiminnan toteuttamiseksi. Lisäksi tässä opinnäytetyössä tehtiin laitteelle testaussuunnitelma ja tutkittiin laitetta koskevaa lainsäädäntöä ja direktiivejä.

Koteloinnin suunnittelemisessa otettiin huomioon, että laitteen pitää olla sekä veden että pölyn kestävä ja laite pitää olla korjattavissa ilman erikoistyökaluja. Nämä ovat laitteen kohderyhmän toiveita ja ovat olennaisia laitteen eliniän kannalta.

Sarco Oy on vuonna 1926 perustettu yritys, joka erikoistuu hälytys- ja viestintätekniikan laitteiden ja järjestelmien suunnitteluun sekä valmistukseen. Sarco Oy:n pääasiallinen asiakaskunta koostuu erilaisista viranomaisorganisaatioista ja näiden tavarantoimittajista. [1.]

2 Radiolähetin-vastaanotin

Radiolähetin-vastaanottimen toimintaperiaate perustuu radiotaajuisen signaalin lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Laitteessa on sekä lähetin- että vastaanotinyksiköt. Jos radiolaite ei voi vastaanottaa ja lähettää samanaikaisesti signaaleja, laite toimii half-duplex-tilassa. Jos taas laite pystyy vastaanottamaan ja lähettämään signaaleja samanaikaisesti, laite toimii full-duplex-tilassa. [2.]

Kun käyttäjä puhuu radiolähetin-vastaanottimeen, mikrofoni muuntaa ääniaallot sähköiseksi signaaliksi. Lähetinyksikkö muuntaa tämän signaalin radiotaajuiseksi signaaliksi, joka lähetetään antennin kautta. Vastaanotinyksikkö vastaanottaa signaalin toisesta radiolähetin-vastaanottimesta ja muuntaa sen takaisin ääniaalloiksi, jotka kuuluvat kaiuttimen kautta. Tämä prosessi toimii kahdella tavalla, sillä jokainen radiolaite on siis sekä lähettäjä että vastaanottaja. [2.]

Radiolähetin-vastaanottimet käyttävät usein kanavia, jotka on määritelty tiettyihin taajuuksiin. Radiolähetin-vastaanottimet ovat suosittuja kommunikaatiolaitteita monissa eri tilanteissa, kuten retkeilyssä, metsästys- ja kalastusmatkoilla, urheilutapahtumissa, turvallisuusalalla ja monissa muissa käyttötarkoituksissa. [2.]

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan ja valmistetaan konsepti radiolähetin-vastaanottimesta, joka toimii half-duplex-tilassa. Radiolaite suunnitellaan sotilaskäyttöön reserviläisille.

2.1 Radiolähetin-vastaanottimen perusrakenne

Radiolähetin ja -vastaanotin ovat keskeisimmät komponentit radiopuhelimen toiminnassa, sillä ne mahdollistavat viestin lähettämisen ja vastaanottamisen. Radiolähetin lähettää ja vastaanotin vastaanottaa viestit antennin kautta. [3.]

Antenni on välttämätön osa radiopuhelinta. Antennin tehtävä viestiä lähettävässä laitteessa on muuttaa virta radiosignaaleiksi ja lähettää se vastaanottavalle laitteelle. Vastaanottavan laitteen antennin tehtävä on vastaanottaa signaalit lähettävältä laitteelta. [4.]

Radiolaitteen on tarkoitus olla kannettava, ja tämän takia radiolaitte tarvitsee virtalähteen akun tai paristot. Opinnäytetyössä tehtävä prototyyppi tulee asiakasvaatimusten mukaisesti toimimaan AA-paristoilla. Akun kesto riippuu laitteen käytöstä, akun kapasiteetista ja ympäristötekijöistä.

Mikrofoni mahdollistaa puhumisen radiolaitteeseen ja kaiutin toistaa tulevat äänet. Radiolaitteisiin voidaan lisätä myös näyttö. Näytön avulla voidaan ilmaista tietoja, kuten akun kesto ja käytössä oleva radiokanava. [4.]

Opinnäytetyön prototyyppissä radiolaitteen ytimenä toimii Raspberry Pi Pico -mikrokontrolleri. Laitteen sisälle tulee myös muuta pienelektroniikkaa, kuten liittimiä ja painikkeita. Laitetta suunniteltaessa otetaan huomioon, että laitteen seuraavassa kehitysvaiheessa on mahdollista lisätä radiolaitteeseen näyttö.

2.2 Prototyyppi

Opinnäytetyöksi tullaan suunnittelemaan konseptin pohjalta radiolaitteesta prototyypin. Prototyyppi on versio laitteesta tai palvelusta, jolla on tarkoitus testata sitä ennen kuin se menee tuotantoon tai myyntiin. Prototyypin avulla on mahdollista testata, kuinka hyvin laite tai palvelu toimii sille suunnatulla tavalla. Prototyypointi on olennainen osa tuotekehitystä. Mikäli suunnitelma todetaan toimivaksi, näitä koekappaleita valmistetaan kaksi testausta varten. [5.]

2.3 Opinnäytetyön tarkoitus

Suunnittelun lähtökohtina oli korjata halpojen radiolähetin-vastaanottimien ongelmia kuitenkin nostamatta hintaa liikaa. Esiselvityksen aikana selvisi, että halvat radiopuhelimet eivät yleensä kestä likaa, iskuja, kosteutta eikä kylmää.

Halvat radiot eivät myöskään salaa lähetyksiä tai niiden lähetystehoja ei voi yleensä säätää. Nämä radiot yleensä toimivat AAA-paristoilla, ja kohderyhmän toive oli, että laite toimisi AA-paristoilla.

Projektin radiolähetin-vastaanotin rakennetaan siten, että sen ytimenä toimii mikrokontrolleri Raspberry Pi Pico ja tällä tavalla voidaan ratkaista useita ongelmia todella halvalla hinnalla. Mikrokontrollerin ansiosta voidaan muun muassa vaihtaa lähetystaajuutta, salata radiopuhelimen lähetykset ja säätää lähetystehoja tarvittaessa. Laite tullaan suunnittelemaan siten, että se kestää vettä, iskuja ja kylmää, sillä laite suunnitellaan vaatimaan reserviläistoimintaan. Laite suunnitellaan myös korjattavaksi ilman erikoistyökaluja ja toimimaan AA-paristoilla, koska nämä olivat toiveita kohderyhmältä.

Käytännössä tämä tehdään siten, että laitteen kotelointi suunnitellaan tiiviiksi, ettei vesi ja lika pääse laitteen sisälle. Komponentit asetellaan laitteen sisälle siten, että ne eivät pääse liikkumaan tai irtoamaan, ja läpiviennit tehdään niin pieniksi ja tiiviiksi kuin mahdollista. Kotelon tulee myös olla kestävä materiaalia ja kotelon ulkopuolella tulee olla vain välttämättömät komponentit.

Esiselvitystyön aikana vertailtiin useita eri kauppapaikkoja ja myyjiä (ks. taulukko 1). Kestävä radiopuhelin Kiinasta maksaa noin 190 euroa sisältäen laturin. Tätä radiopuhelinta vastaava laite länsimaista maksaa noin 299 euroa, ja edellä mainitut esimerkit eivät kykene salaamaan radioliikennettä. Edullinen radiopuhelin, joka on IP67-luokiteltu, mutta ei kovin iskunkestävä, maksaa noin 130 euroa. Viimeisenä on eräs kolhun kestävä ja salaava radio. Tämä radiopuhelin maksaa yli 700 euroa.

Taulukko 1. Eri radiopuhelinten vertailu.

Radiolaite	Täyttää IP-luokitusvaatimuksen	Iskunkestävä	Salaus	Hinta (EUR)
Kiinan puhelin	Kyllä	Kyllä	Ei	190
Edullinen	Kyllä	Ei	Ei	130

Kolhunkestävä ja salaava	Kyllä	Kyllä	Kyllä	700
Prototyyppi	Kyllä	Kyllä	Kyllä	-

Kehitystyön alussa uskottiin, että on mahdollista suunnitella huomattavasti edullisempi laite kuin mikään vertailuista laitteista, ja tämän takia tätä projektia on lähdetty suunnittelemaan ja rakentamaan.

2.4 Radioliikennettä koskeva lainsäädäntö Suomessa

Radiolähetyksiä säännellään Suomessa laeilla. Opinnäytetyötä suunniteltaessa paneuduttiin Suomen sähköisen viestinnän lainsäädäntöön. Tämä oli oleellista luonnollisesti siksi, että laite voitaisiin suunnitella lain mukaiseksi Suomessa. Tässä projektissa tullaan käyttämään vain vapaasti ilman lupaa käytettävissä olevia radiotaajuuksia.

Suomessa on voimassa laki sähköisen viestinnän palveluista [6]. Tämä kyseinen laki koskee myös radiolaitteita. Lain tarkoituksena on edesauttaa ja säännellä sähköisen viestinnän palveluiden tarjontaa ja käyttöä koko maassa. Laki pyrkii myös edistämään radiotaajuuksien tehokasta ja häiriötöntä käyttöä sekä edistämään kilpailua. [6.]

2.5 Luvasta vapautetuille laitteille suunnatut taajuudet

Luvasta vapautetuille laitteille suunnatut taajuudet ovat taajuuksia, joita on säädetty liikenteen ja viestinnän lupa-, rekisteri- ja valvontaviranomaisen Traficomien toimesta [7, s. 111]. Näitä radiotaajuuksia voi siis käyttää ilman radiolupaa.

Luvasta vapautetuille laitteille suunnatut taajuudet ovat kaikkien käytössä. Näiden radiotaajuuksien käyttäminen kuitenkin edellyttää radiotaajuuksien

käyttöä koskevien lakien ja määräysten, kuten ohjeellisten enimmäislähetystehojen, noudattamista. [7, s. 111.]

Traficomien määräyksiä seuraten voidaan käyttää suunnitellussa radiolaitteessa taajuuksia 68,025–71,000 MHz ja 446,000–446,200 MHz. Nämä ovat lupavapaita taajuusalueita, jotka on tarkoitettu radioamatööriikenteelle. [7, s. 111; 73.]

Radiolaite suunnitellaan täyttämään lupavapaan radiolaitteen määräykset. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnitellun radiolaitteen käyttöön ei tarvitse erillistä radiolupaa, eikä siitä tarvitse tehdä erillistä radiolaitte ilmoitusta [8 s. 4; 23 – 25].

3 Raspberry Pin käyttö radiolähetin-vastaanottimen ytimenä

Raspberry Pi on minitietokone, joka on suunniteltu monikäyttöiseksi ja edulliseksi. Se pystyy suorittamaan kaikenlaisia tehtäviä, joita normaali tietokonekin pystyy, tietysti tehojensa puitteissa. Raspberry Pi kuitenkin erottuu tietokoneista edukseensa sen pienen koon takia. [9.]

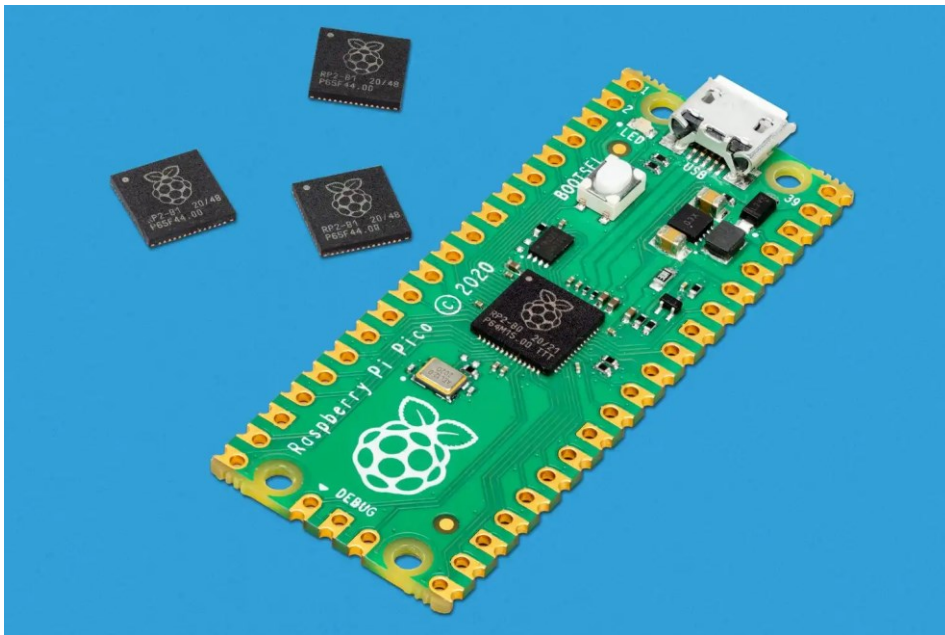
Kun Raspberry Pi kehitettiin, sen päätavoite oli olla edullinen tietokone, joka soveltuu hyvin koulutuskäyttöön ja joka olisi kaikille saatavilla. Tämä tavoite on saavutettukin hyvin laitteen edullisen hinnan takia. Raspberry Pi käyttää avointa lähdekoodia, *Open source*, joka tarkoittaa, että sen ohjelmistot ja laitteistot ovat vapaasti ja ilmaiseksi saatavilla kaikille. Tämä myös edesauttaa huomattavasti kehittäjien tavoitteita. Laitteen ostanut asiakas voi käyttää Raspberry Pi tietokonetta esimerkiksi omiin ohjelmointiprojekteihin, kodin automaatioon tai periaatteessa mihin vain. [10.]

Tässä projektissa tulemme käyttämään Raspberry Pi Picoa radiopuhelimen ytimenä ensisijaisesti edullisen hinnan vuoksi.

Raspberry Pi Pico on Raspberry Pin valmistama mikrokontrolleriluokkaan sijoittuva piirikortti [11]. Picoa suunniteltaessa on tavoiteltu mahdollisimman korkeaa suorituskykyä, alhaisia kustannuksia, helppokäyttöisyyttä ja pientä

kokoa [11]. Sen verollinen hankintahinta kirjoitushetkellä on 3,76, mikä tekee siitä erittäin hyvän matalan kynnyksen vaihtoehdon aloittelijalle tai harrastelijalle [12]. Merkittävin ero Pi Picon ja muiden Raspberryn tuotteiden välillä on, että Pico on mikrokontrolleri jossa, ei ole lainkaan käyttöliittymää ja ohjauksen suoritetaan kääntäjän avulla suoraan pääohjelmasta [11]. Tässä projektissa käytetään Micropython-kääntäjää ja kehitystyökaluna Thonny-kehitystyökalua. Tässä projektissa käytimme seuraavan kuvan mukaista jalatonta Raspberry Pi Pico -varianttia (kuva 1) tilan säästämiseksi.

Raspberry Pi Pico on kooltaan 21 mm leveä ja 51 mm pitkä. Se sisältää Dual-core Arm Cortex-M0+ @ 133 MHz prosessorin, 264 kB sisäistä RAM-muistia ja 2MB flash-muistia ja se toimii 1,8–5,5 VDC:n jännitteellä. Pico toimii myös laajalla lämpötila-alueella -20–85°C. [13.]



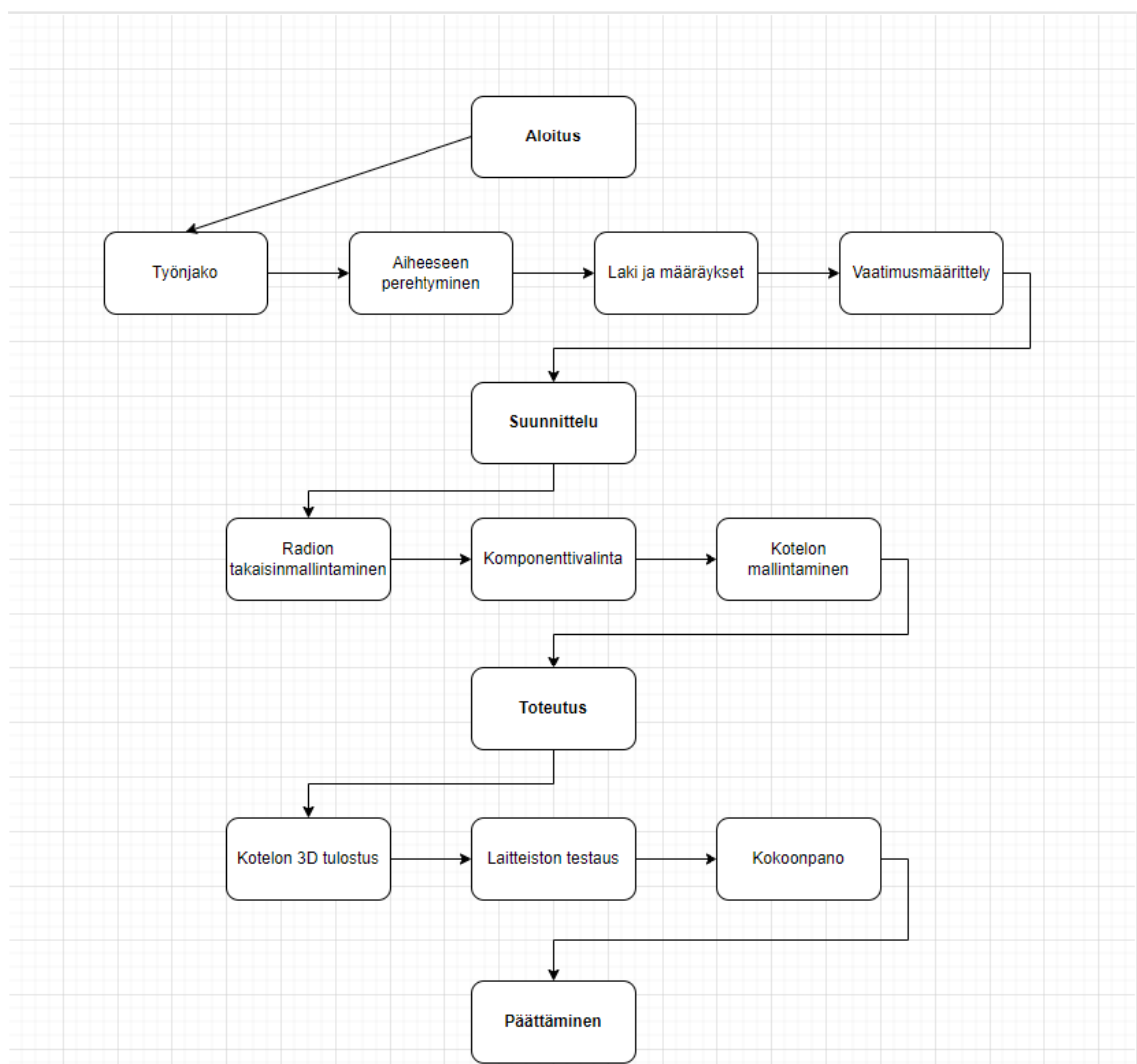
Kuva 1. Raspberry Pi Pico -mikrokontrolleri [11].

4 Lähtökohdat suunnittelulle

4.1 Projektin toteutussuunnitelma

Opinnäytetyöprojektin alkuvaiheessa tehtiin projektisuunnitelma.

Projektisuunnitelman tarkoituksena oli selkeyttää projektin kulkua jakamalla se neljään päävaiheeseen. Kun päävaiheen kaikki kohdat olisivat valmiita, projekti olisi valmis siirtymään seuraavaan vaiheeseen. Suunnitelmasta tehtiin myös visuaalinen versio (kuva 2) helpottamaan ymmärtämistä.



Kuva 2. Projektin etenemissuunnitelma.

Ensimmäinen vaihe projektissa on aloitus. Aloitus sisältää henkilövalinnan, työnjaon, henkilöiden perehdyttämisen aiheeseen, projektia koskevien lakien ja määräysten tutkimisen ja lopuksi vaatimusten määrittelyn. Kun nämä kohdat on suoritettu, projektin on mahdollista siirtyä seuraavaan vaiheeseen eli suunniteluun.

Suunnitteluvaiheessa tehdään laitteelle kattava suunnitelma, jotta projekti täyttäisi kaikki vaatimukset ja olisi lakien ja määräysten mukainen. Hyvä suunnitelma edistää myös projektin tasaista etenemistä. Suunnitteluvaiheeseen kuuluu radiopuhelimen takaisinmallintaminen, komponenttivalintojen tekeminen ja laitteen kotelon mallintaminen. Kun nämä kohdat on suoritettu, projektin on mahdollista siirtyä seuraavaan vaiheeseen, eli toteutukseen.

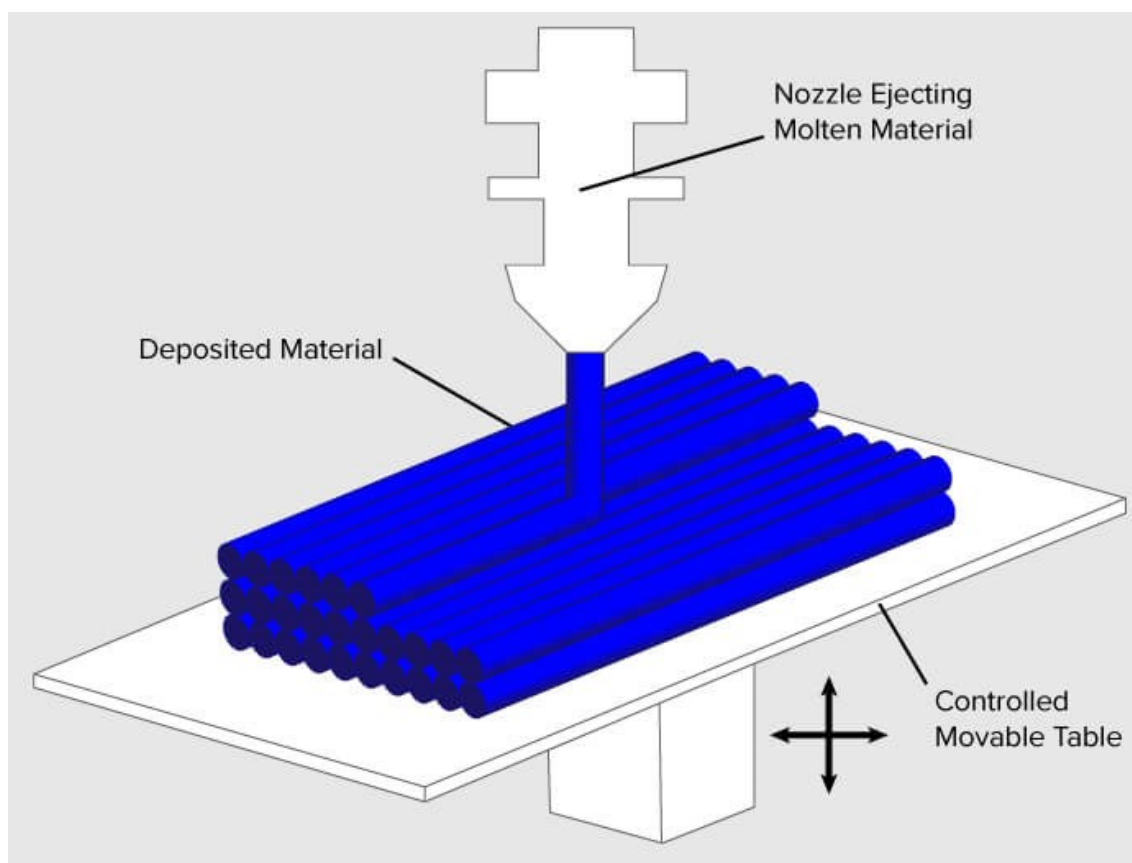
Toteutusvaiheessa laite kootaan ja testataan. Ensimmäisenä on tarkoitus tulostaa 3D-tulostimella laitteen kotelo ja testata laitteiston komponentteja. Jos näissä kohdissa ilmenee vikaa tai laitteelle on tullut uusia vaatimuksia, pitää siirtyä takaisin suunnitteluvaiheeseen. Jos laite kumminkin toimii, se voidaan kokoonpanna. Tämän jälkeen voi siirtyä projektin viimeiseen vaiheeseen, eli projektin päättämiseen.

Projektin päättämisvaiheessa laitteesta on tarkoitus tehdä toinen kappale testausta varten. Tämän jälkeen laitteen toimivuus testataan ja todetaan laite toimivaksi. Laite esitellään opinnäytetyön ohjaavalle opettajalle ja laitteen yhteistyöyritykselle. Päättämisvaiheeseen kuuluu testaus ja esittely.

Projektin toteutussuunnitelma opastaa tekijöitä toimimaan projektissa ennakoitavasti, ja sen avulla on helpompi seurata, missä vaiheessa edetään projektin kanssa. Toteutussuunnitelma myös estää vaiheissa hätiköimisen ja näin vähentää virheiden tekemistä.

4.2 3D-tulostus

3D-tulostus tai kolmiulotteinen tulostus on tapa luoda fyysisiä esineitä kolmiulotteisista malleista. 3D-tulostin voi valmistaa esineitä eri materiaaleista, kuten muovista, metallista, keraamista tai lasista. Tulostusmateriaalia syötetään tulostimeen jauheen tai nauhan muodossa. 3D-tulostimen aloittaessa laite sulattaa tai liuottaa materiaalia ja tulostusmateriaali tulee laitteen tulostuspäästä tiettyyn kohtaan alustalle. Alustalla tämä materiaali sitten jäähtyy ja kovettuu ohueksi kerrokseksi. Laite jatkaa kerrosten tulostamista päällekkäin, kunnes suunniteltu esine on valmis. Jokainen kerros muodostaa siis pienen osan suunnitellusta esineestä (kuva 3). [14.]



Kuva 3. 3D-tulostimen toimintaperiaate [15].

Tässä opinnäytetyössä luodaan 3D-malli radiolaitteen prototyypin kotelosta, joka tulostetaan 3D-tulostimella. Kotelon materiaalina tullaan käyttämään

muovia, koska sitä on saatavilla koulun laboratoriossa. 3D-tulostamisen avulla voidaan tutkia kotelon toimivuutta ja löytää mahdolliset virheet heti tuotekehityksen alussa.

4.3 Blender

Tässä projektissa käytämme 3D-mallinnukseen Blender-sovellusta. Blender on ilmainen avoimen lähdekoodin 3D-luontisovellus. Blenderillä pystyy tekemään muun muassa 3D-mallintamista, animaatiota, simulointia, liikkeen seuranta ja videopelien kehitystä. Blender sopii kaikenlaisille käyttäjille yksityisestä harrastelijasta isoihin yrityksiin, ja tämän takia on valittu juuri Blenderin 3D mallinnussovellukseksi. Luomalla Blenderin sen tekijät ovat halunneet tuoda 3D CG teknologian parhaimmista kaikille saatavaksi. [16.]

4.4 Laitteen käyttöturvallisuus

Laitetta suunniteltaessa piti ottaa huomioon laitteen käyttöturvallisuus. Laitteen käyttöturvallisuutta tarkastellaan opinnäytetyössä sähköiskun vaaran ja sähkömagneettisten säteilyjen näkökulmasta. Lisäksi laitteen ulkokuori suunnitellaan niin, että siinä ei ole koukkua, ulokkeita tai muita teräviä kohtia, jotka voisivat vahingoittaa laitteen käyttäjää.

Yleisesti laitteita, joiden suurin jännite on 24V tasa- tai vaihtojännitettä voidaan pitää vaarattomina ihmiselle [17]. Suunniteltu laite toimii kolmella AA-paristolla ja sen suurin jännite on 3,3V tasajännitettä. Tämän perusteella voidaan taata, että laite ei tuota vaaraa ihmiselle sähköiskulla. Jos laitteen virtalähde vaihtuu laitteen jatkokehityksessä, tulee laitteen turvallisuus sähköiskun vaaran osalta arvioida uudestaan.

Laitteen lähetysteho rajoitetaan kehitystyön ajaksi GPIO-pinnin enimmäisvirran mukaan. Raspberry Pi Picon GPIO-pinnin maksimiteho lasketaan jännitteestä ja pinnin enimmäisvirrasta. Picon valmistaja on määritellyt laitteen pinnin enimmäisvirraksi 0,012 A [18, s. 239].

Teho P voidaan laskea Ohmin lain avulla kaavalla $U \cdot I$ (kaava 1), jossa jännite U_{\max} on 3,3 V ja suurin virta I_{\max} on 0,012 A.

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

$$P = 3,3 \text{ V} \cdot 0,012 \text{ A}$$

$$P = 39,6 \text{ mW}$$

Näiden arvojen perusteella laskettu maksimiteho P_{\max} on 39,6 mW.

Radiotekniikan perusteissa on esitetty, että laitteet, joiden teho jää alle 100mW, ovat täysin vaarattomia [19, s. 272–273]. Tämän perusteella voidaan taata, että suunniteltu prototyyppi on radiotaajuisen säteilyn osalta täysin vaaraton. Mikäli prototyypin jatkokehityksessä laitteeseen päätetään lisätä vahvistin, tulee lähetystehon turvallisuus arvioida uudestaan.

4.5 Vaatimusmäärittelyt

Opinnäytetyötä suunniteltaessa, radiolähetin-vastaanottimelle suunniteltiin vaatimukset. Vaatimuksia tuli myös laitteen kohderyhmältä. Laitteen kohderyhmää haastateltiin ennen opinnäytetyön aloittamista ja sen aikana muutamia kertoja. Haastatteluja suoritettiin puhelimitse. Kohderyhmän pyynnöstä heidän nimiänsä tai mitään tarkempia tietoja heistä ei mainita opinnäytetyössä.

4.5.1 Vaatimuksia kotelolle

Yleisesti radiolähetin-vastaanottimen kotelon täytyy olla tarpeeksi suuri, että kaikki tarvittavat komponentit mahtuvat kotelon sisään. Sisään meneville komponenteille pitää suunnitella omat paikat kotelon sisältä.

Radiolähetin-vastaanottimen kotelo tulee suunnitella siten, että se täyttää IP66-luokan vaatimukset. Käytössä laite voi kohdata olosuhteita, joissa tällainen suojaus estää laitteen rikkoutumisen.

IP-luokitus määrittää laitteen tiiveyden ja kosteuden keston. Ensimmäinen numero määrittää, miten suuri laitteen tiiveysluokitus on. Tämän laitteen kohdalla pyritään saavuttamaan tähän luokitus kuusi. Se tarkoittaa, että laite on täysin suojattu pölyltä, eli pölytiivis. IP-luokituksen toinen numero määrittää laitteen vedentiiveyden. Tämän laitteen kohdalla pyritään saavuttamaan vedentiiviyyteen luokitus kuusi. Laitteen siis pitää kestää suurella paineella tulevia vesisuihkuja. jokaisesta suunnasta. [20.]

Kotelon suunnittelussa pitää myös ottaa huomioon, että laitetta pitäisi pystyä korjaamaan ilman erikoistyökaluja. Laitetta pitäisi pystyä korjaamaan ilman sähkötyötilaa ja, se pitäisi pystyä korjaamaan sotilailta löytyvillä työkaluilla. Suunnittelun kannalta tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että laitteen kotelon tiivistämiseen ei voi esimerkiksi käyttää liimaa.

4.5.2 Mekaanisia ja elektronisia vaatimuksia

Radiolähetin-vastaanottimen pitää toimia AA-paristoilla. Tämän takia koteloon pitää suunnitella paikka paristoille. Paristot pitäisi pystyä vaihtamaan yleisiä työkaluja käyttäen.

Kotelon suunnittelussa pitää myös ottaa huomioon kaikkien liittimien kohtien suunnittelu. Koteloon tarvitaan reikä aux-liittimelle kuulokkeita varten ja USB-C-liittimelle vaihtoehtoista virransyöttöä varten. Koteloon täytyy myös suunnitella paikat mikrofoniin ja kaiuttimelle siten, että kummatkin toimivat niille osoitetuilla tavoilla. Radiolähetin-vastaanotin tarvitsee myös tangentti-napin ja virtakytkimen. Näille ominaisuuksille pitää suunnitella myös paikka kotelossa. Laite tarvitsee painikkeen lähetysoimakkuuden ja äänenvoimakkuuden säätämiseksi.

4.6 Radiopuhelimen takaisinmallintaminen

Halpa ja helposti saatava radiopuhelin hankittiin työn alkuvaiheessa. Tämä radiopuhelin takaisinmallinnettiin, eli purettiin osiin. Radiopuhelimen takaisinmallinnus suoritettiin oppimistarkoituksessa.

Takaisin mallintaessa tutkittiin radiopuhelimen antennia. Radiopuhelimen antennina toimi kuparilanka, joka oli kieritetty spiraaliksi ja juotettu kiinni piirilevyyn. Antenni oli pituudeltaan 35 mm spiraalimuodossa (kuva 4).



Kuva 4. Radiopuhelimen antennin mittaaminen.

Takaisinmallintaessa tutkittiin myös radiopuhelimen kaiutinta ja mikrofonia. Kaiutin oli 0,5 W kaiutin (kuva 5), joka oli kiinnitetty piirilevyyn johdoilla. Kanteen kaiuttimelle oli tehty silikonireunus. Silikonireunus oli tehty estämään mahdolliset raot kuoren ja kaiuttimen välistä ja pitämään kaiutin kiinni kuoressa. Tämä on todella tärkeää, koska ilman silikonireunusta laitteen sisälle voisi

päästä vettä, pölyä tai muuta sellaista, mikä voisi vahingoittaa laitteen sisäisiä komponentteja. Laitteen mikrofoni oli juotettu suoraan piirilevyyn.



Kuva 5. Takaisinmallinnetun radiopuhelimen kaiutin.

Takaisinmallintaessa tutkittiin myös radiopuhelimen nappeja. Radiopuhelimessa oli vasemmassa kyljessä Push to talk-nappi ja Easy-pairing-nappi.

Radiopuhelimen kanteen oli laitettu virtanappi, äänenvoimakkuudensäätönappi ja äänimerkkinappi. Kannessa olevien nappien päälle oli laitettu silikonikuori ja tämän kuoren päälle oli vielä laitettu kerros kovasta muovista. Silikoni ja muovi oli muovattu siten, että napista voisi tunnistaa, mitä se tekee. Silikonikerroksen ansiosta laitteen sisälle ei pääse pölyä eikä vettä. Laitteen vasemmassa kyljessä olevat napit oli juotettu suoraan kiinni piirilevyyn ja niiden päällä oli silikonikerros.

Työssä tutkittiin paristokoteloä. Paristokoteloon oli sijoitettu laitteen CE-merkintä ja muita oleellisia tietoja mallista. Paristokotelo oli suunniteltu kolmelle AAA-

paristolle. Kotelo aukesi ja pysyi kiinni muovikiinnikkeiden avulla. Paristokotelo ei vaikuttanut olevan millään lailla pölyn- tai vedenkestävä, sillä siinä ei ollut minkäänlaisia tiivisteitä. Kotelon pohjalla oli kangasnauha, jonka tarkoituksena on helpottaa paristojen poistamista. Paristokotelon kannen alta löytyi myös neljä ruuvireikä. Nämä ruuvit irrottamalla saatiin radiopuhelimen kansi avattua siten, että päästiin käsiksi piirilevyyn ja muihin laitteen komponentteihin.

Tutkimme myös laitteen kotelon muotoa. Huomasimme, että suurin osa laitteen tilavuudesta menee paristoille ja paristokotelolle. Laitteen muille komponenteille ei jäänyt juurikaan ylimääräistä tilaa tai liikkumisvaraa kotelon sisällä. Tämän ansiosta laitteesta on saatu erittäin kompakti.

Laitetta purkaessamme opittiin paljon ja näitä oppeja hyödynnettiin opinnäytetyöprojektissa.

4.7 Valitut komponentit

Prototyypin rakentamisessa käytetyt komponentit valittiin niin, että kaikki osat olisivat verkkokaupoista saatavilla. Komponenttien tuli olla julkisesti kuluttajille saatavilla. Tässä prototyypissä on tarkoitus tutkia, voiko radiolaitte toimia siten, että sen ytimenä toimii mikrokontrolleri Raspberry Pi Pico. Tämän takia muilla komponenteilla ei tässä vaiheessa projektin kannalta ole väliä.

Prototyypin rakentamisessa käytettiin komponentteja, jotka oli saatu purkamalla eräs toinen radiopuhelin. Näin saatiin säästettyä kustannuksia. Puretusta radiopuhelimesta irrotettiin muun muassa kaiutin, mikrofoni, tangenttinaappi, ja antenni.

Laitteeseen suunniteltiin komponenttilista prototyyppiä varten, vaikka tässä prototyypissä käytimmekin suurimmaksi osaksi puretun laitteen osia vastaavia komponentteja. Komponenttilistaan ja komponenttien valintaan saatiin apua Sarco Oy:ltä, ja koska komponenttivalinnat muuttuvat aina saatavuustilanteen mukaan, komponenttilista jätetään tarkoituksella julkaisematta tässä

opinnäytetyössä. Komponenttilista on myös tarkoitettu vain prototyypin kehittämistä varten eikä liity lopullisen tuotteen komponenttien hankintakanaviin.

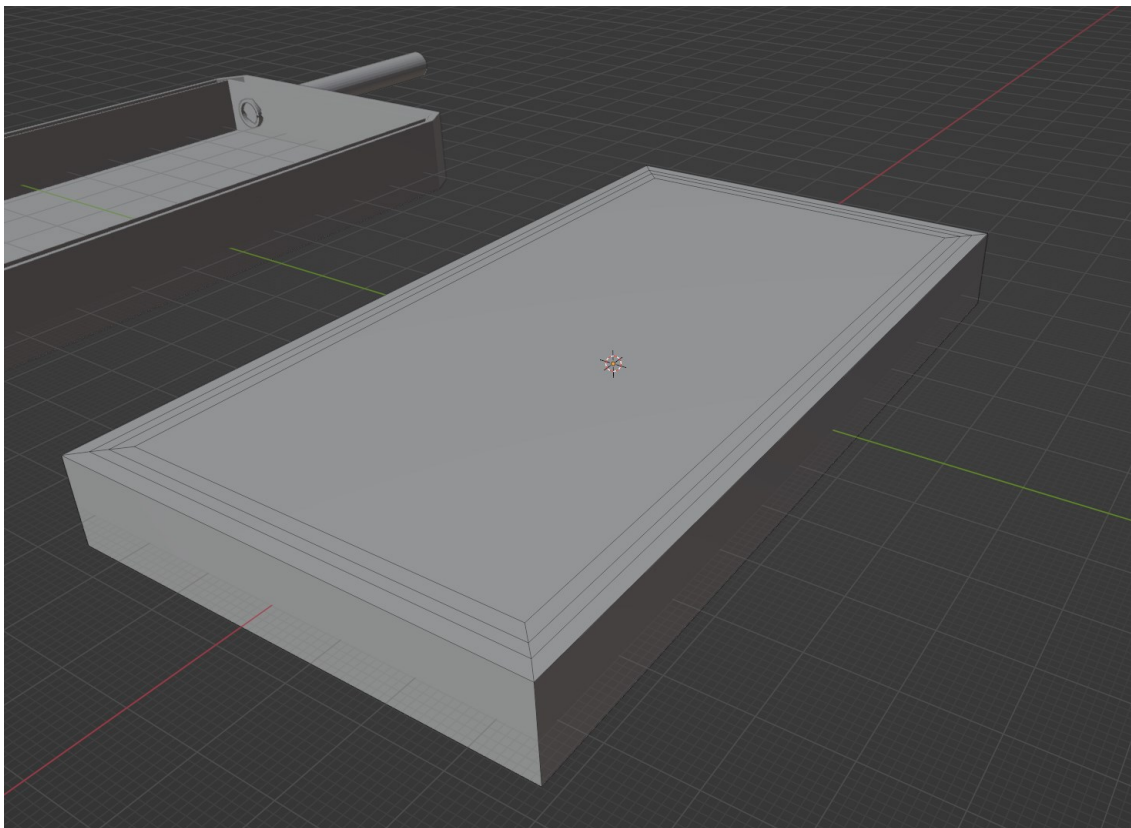
5 Koteloinnin suunnittelu radiolähetin-vastaanottimelle

5.1 3D-mallinnus

Radiolaitteen 3D-mallinnus tehdään Blender-sovelluksella. Laitteen kotelo tultaisiin suunnittelemaan kahdessa osassa. Nämä osat olisivat A-puoli ja B-puoli. B-puoleen tulisi suurin osa komponenteista ja paikat napeille ja liittimille. A-puolelle suunniteltaisiin paikka virtalähteelle eli paristokotelo. Nämä osat tulisi olla mahdollista liittää toisiinsa mahdollisimman tiiviisti. Tämä mahdollistaisi laitteen vesi- ja pölytiiviyden sekä estäisi laitteen eri osien liikkumisen.

5.1.1 Ensimmäinen versio

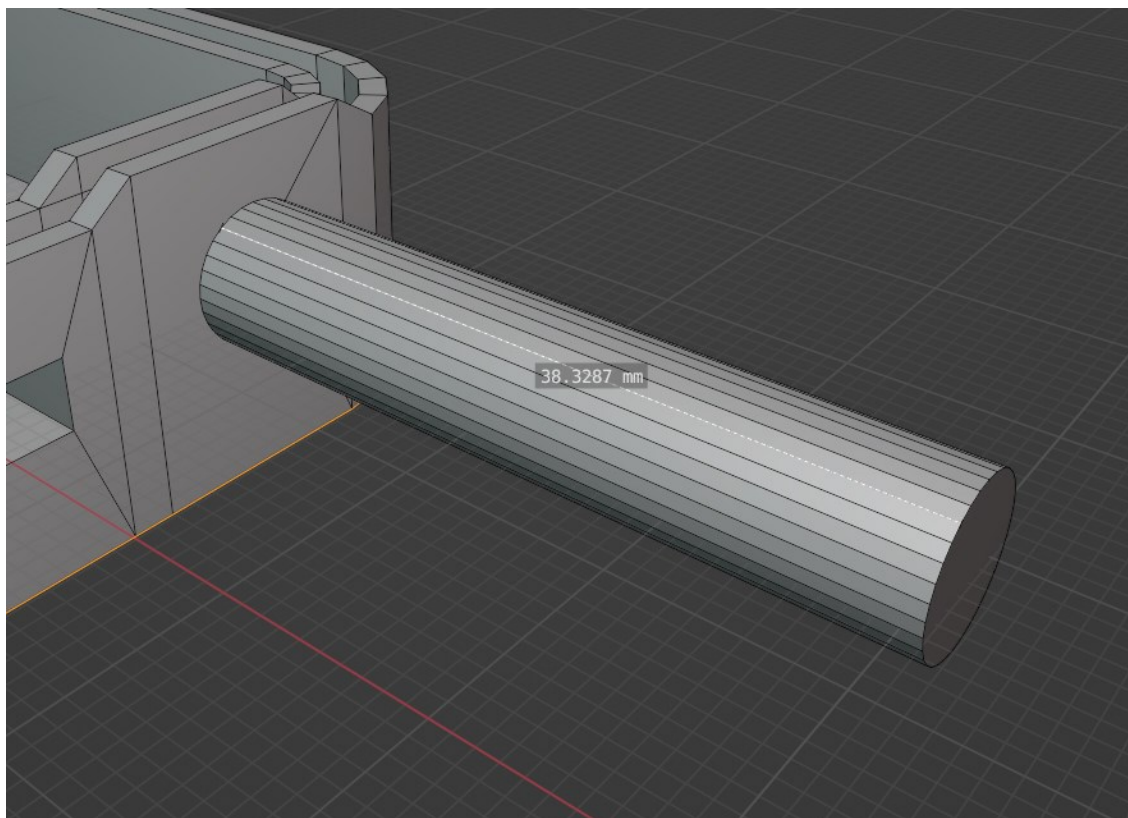
Ensimmäisessä vaiheessa luotiin kuutio, jonka koko oltiin suunniteltu alustavasti. Kuution tulisi olla pituudeltaan 125 mm ja paksuudeltaan 69 mm. Tämä mahdollistaisi laitteen kannettavuuden. Kuution reunoille mitattiin valmiiksi kohdat upotukselle (kuva 6). Ensimmäisenä upotettiin keskimmäinen neliö Z-suunnassa niin, että saatiin tilaa laitteen eri komponenteille. Tämän jälkeen upotettiin reunalta keskimmäinen kaistale, joka oli mitoitettu valmiiksi uria varten. Näin tehdään kotelon vastapuolelle urat, joihin kotelon yläosa sijoitetaan. Näiden urien tarkoitus on edistää laitteen tiiviyttä ja estää laitteen kokoonpaneminen väärin.



Kuva 6. Radiolaitteen kotelon B-puoli ensimmäisessä vaiheessa.

Tämän jälkeen laitteen ulkoreunat pyöristettiin. Reunojen pyöristäminen tekee laitteesta esteettisemmän näköisen ja rakenteellisesti lujemman ja näin ollen iskunkestävämmän. Parempi iskunkestävyys perustuu voiman jakautumiseen. Voima jakautuu pyöreässä reunassa laajemmalle kuin terävässä.

Seuraavaksi suunniteltiin antenni. Antennin mitat otettiin takaisinmallinnetusta radiopuhelimesta. Antennin kuori luotiin sylinterin muotoisesta kappaleesta ja siitä tehtiin noin 38 mm pitkä (kuva 7). Tämän jälkeen luotiin sylinterin toiselle puolelle pienempi ympyrä. Tämä ympyrä sitten upotettiin siten, että toinen puoli jäisi auki ja toinen puoli kiinni. Sylinteristä tuli siis ontto. Tämä antennin kotelo sitten sijoitettiin radiopuhelimen reunalle siten, että aukinainen puoli menisi kotelon sisään. Antennin paikka kuitenkin leikkasi yläpuolella olevien urien kanssa, joten uria oli pakko nostaa.



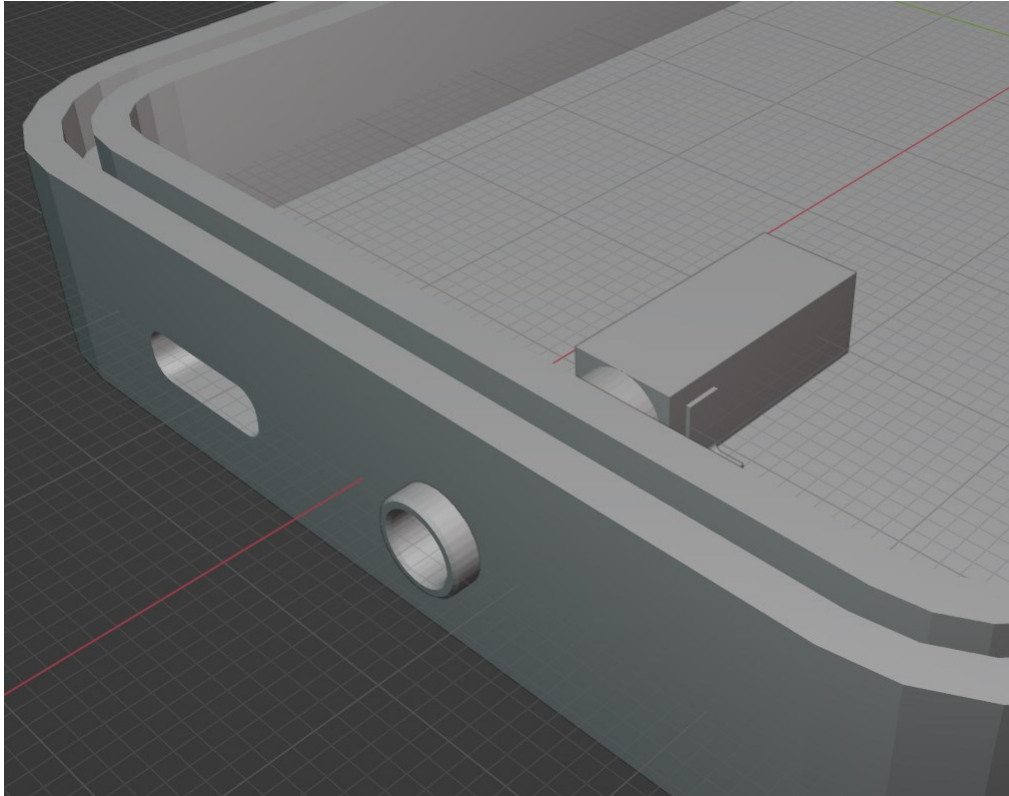
Kuva 7. Radiolaitteen antennin suoja.

Seuraavaksi suunniteltiin PTT-napille paikka. Tarkoituksena oli käyttää takaisinmallinnetun radiopuhelimen PTT-nappia, jonka takia käytettiin kyseisen radiopuhelimen kotelon mittoja. Tämän jälkeen napin mitat sijoitettiin kotelon reunaan. Koska nappi ei tulisi mahtumaan kotelon reunaan korkeusmitalta ilman, että se leikkaisi reunan yläpuolella olevien urien kanssa, reunan upotuksia oli pakko nostaa (kuva 8). Tämän jälkeen tehtiin reikä kotelon reunaan. Reiän sisäpuolelle tehtiin vielä korotus, joka pitäisi napin silikonikuoren paikallaan.



Kuva 8. Radiolaitteen PTT-napin paikka.

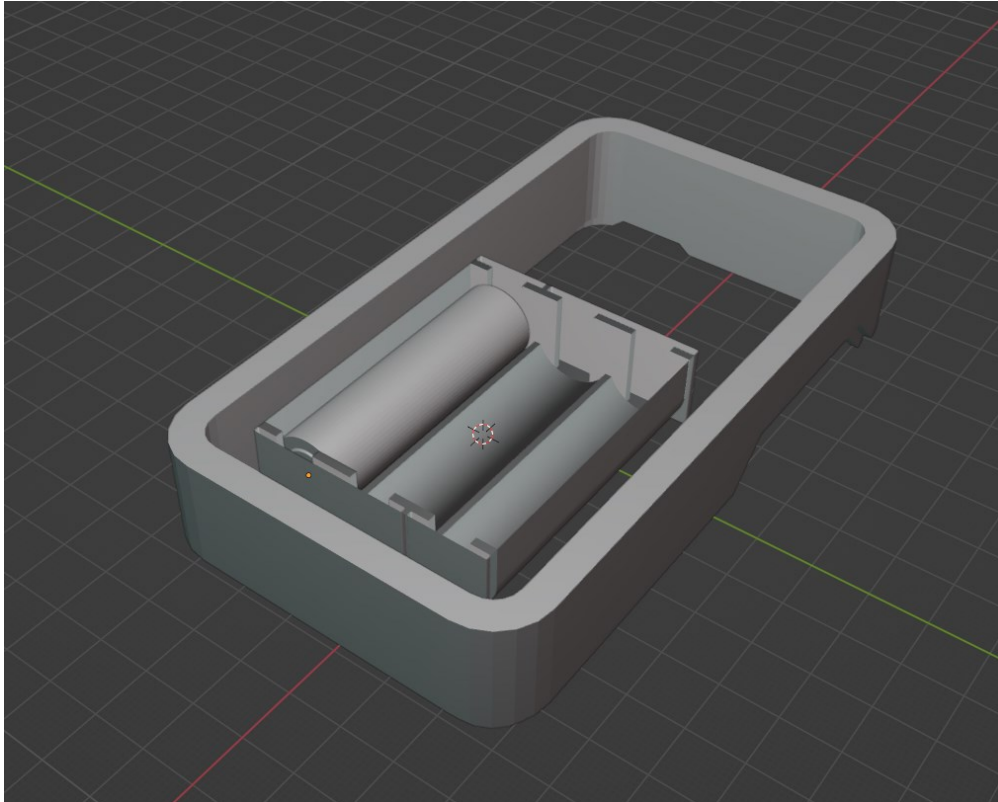
Seuraavaksi suunniteltiin paikat USB-C-portille ja aux-portille. Internetistä löytyi molemmille 1:1 mallit [21 ; 22]. Näiden avulla pystyimme suunnittelemaan koteloon oikean kokoiset sisääntuloreiät mittaamatta kumpaakin osaa fyysisesti (kuva 9). USB-C- ja aux-portti sijoitettiin kotelon alapuolelle, koska tämä sijainti on hyvin yleinen kannettaville laitteille.



Kuva 9. Radiolaitteen USB-C - ja aux-porttien paikat.

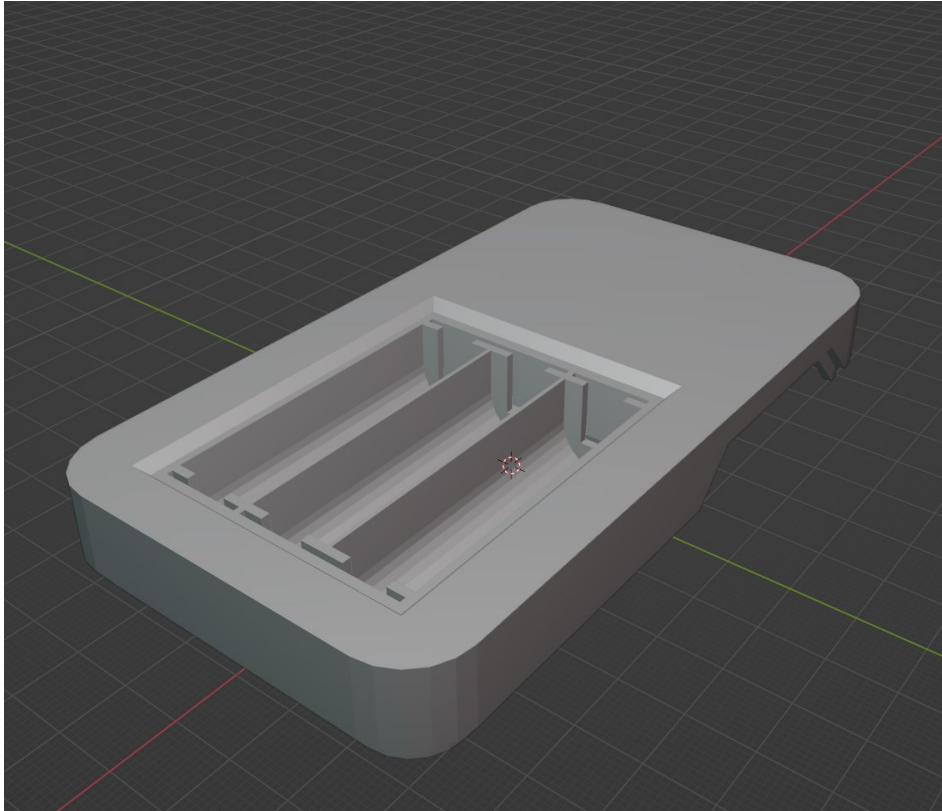
Tässä kohdassa radiolaitteen B-puoli olisi siinä vaiheessa, että voitaisiin alkaa suunnittelemaan A-puolta. A-puoleen tulisi suunnitella virtalähteelle paikka. Virtalähteenä laitteelle tulisi olemaan kolme AA-paristoa. A-puolen toinen tarkoitus on sulkea laite kiinni ja pitää laitteen komponentit suojassa vedeltä ja pölyltä.

Suunnittelu aloitettiin kopiaimalla laitteen B-puolen reunojen urien muoto. Tällä varmistettaisiin, että urat olisivat yhteensopivat. Tämän jälkeen muoto venytettiin siten, että kopioidusta B-puolen reunoista muodostuisi peilikuva. Paristokotelon mallina käytettiin internetistä löytynyttä valmista mallia [23], jota käytettiin paristokotelon sijainnin suunnitteluun laitteessa (kuva 10). Lopulliseen koteloon mallia ei kuitenkaan voitu käyttää, sillä kyseistä mallia ei ollut suunniteltu 3D-tulostusta varten. Tämän mallin käyttäminen olisi voinut johtaa ongelmiin tulostamisessa.



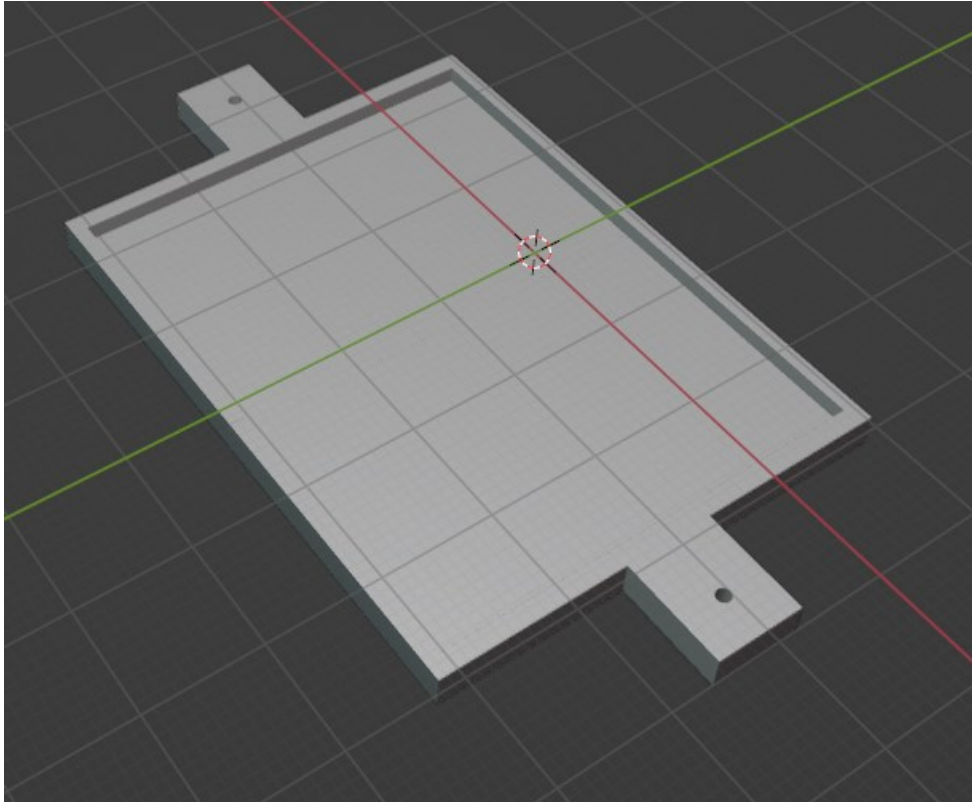
Kuva 10. Paristokotelo, johon on sijoitettu 1 AA-paristo.

Tämän jälkeen mallinnettiin paristokotelo. Mallina käytettiin internetistä löytynyttä parikotelo. Ensin mallinnettiin paristokotelon reunat ja kytkentäurat. Tämän jälkeen suunniteltiin paristoille paikat kotelossa (kuva 11). Näiden paikkojen luomiseen käytettiin AA-pariston mallia [24]. Lopuksi paristokotelon pohjaan tehtiin läpiviennit virransyöttöä varten. Tämänhetkisessä mallissa paristokotelo ei vielä ollut kiinni reunoissa. Kotelon mallinnusta jatkettiin vielä yhdistämällä paristokotelo itse laitteen koteloon.



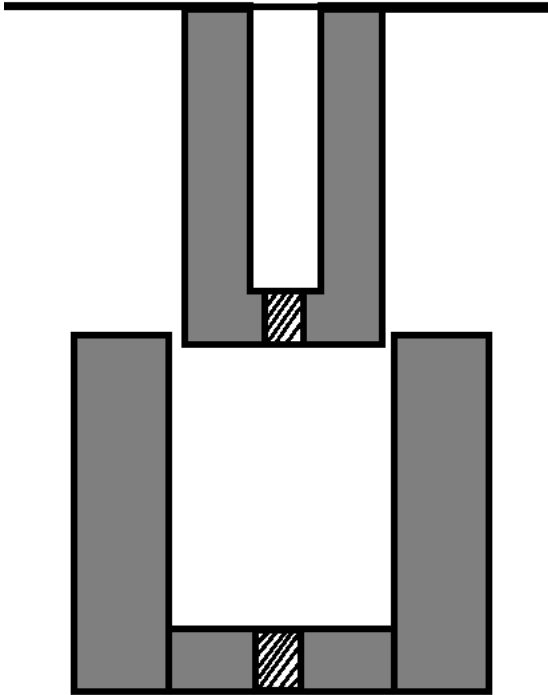
Kuva 11. Laitteen A-puoli.

Paristokotelon mallin valmistuttua mallinnettiin paristokotelolle kansi. Kannen vaatimuksena oli myös vesi- ja pölytiivveys, koska paristokotelon sisällä on läpiviennit kotelon sisälle. Kotelon ympärille suunniteltiin siis ura (kuva 12) ja kansi suunniteltiin niin, että sen reunat vastaavat uria ja näin paristokotelosta tulee tiivis. Kanteen suunniteltiin myös kaksi ruuvikiinnikettä.



Kuva 12. Paristokotelon kansi.

Kotelon molempiin puoliin ylä- ja alakulmaan suunniteltiin myös sylinterit (kuva 13). Näiden sylinterien on tarkoitus sisältää ruuvit, joilla kotelon molemmat puoliskot saadaan kiinni toisiinsa. Sylinterit suunniteltiin siten, että ne menevät toistensa päälle. Tämä lisäisi sylinterien rakenteellista lujuutta ja näin tekisi kotelosta iskunkestävämmän.



Kuva 13. Leikkauskuva sylintereistä.

Tämän jälkeen tulostettiin ensimmäiset versiot 3D-tulostimella kotelosta. Ensimmäisessä versiossa oli kuitenkin virheitä, joita pitäisi korjata. 3D-tulostamisesta lisää luvussa 5.2.

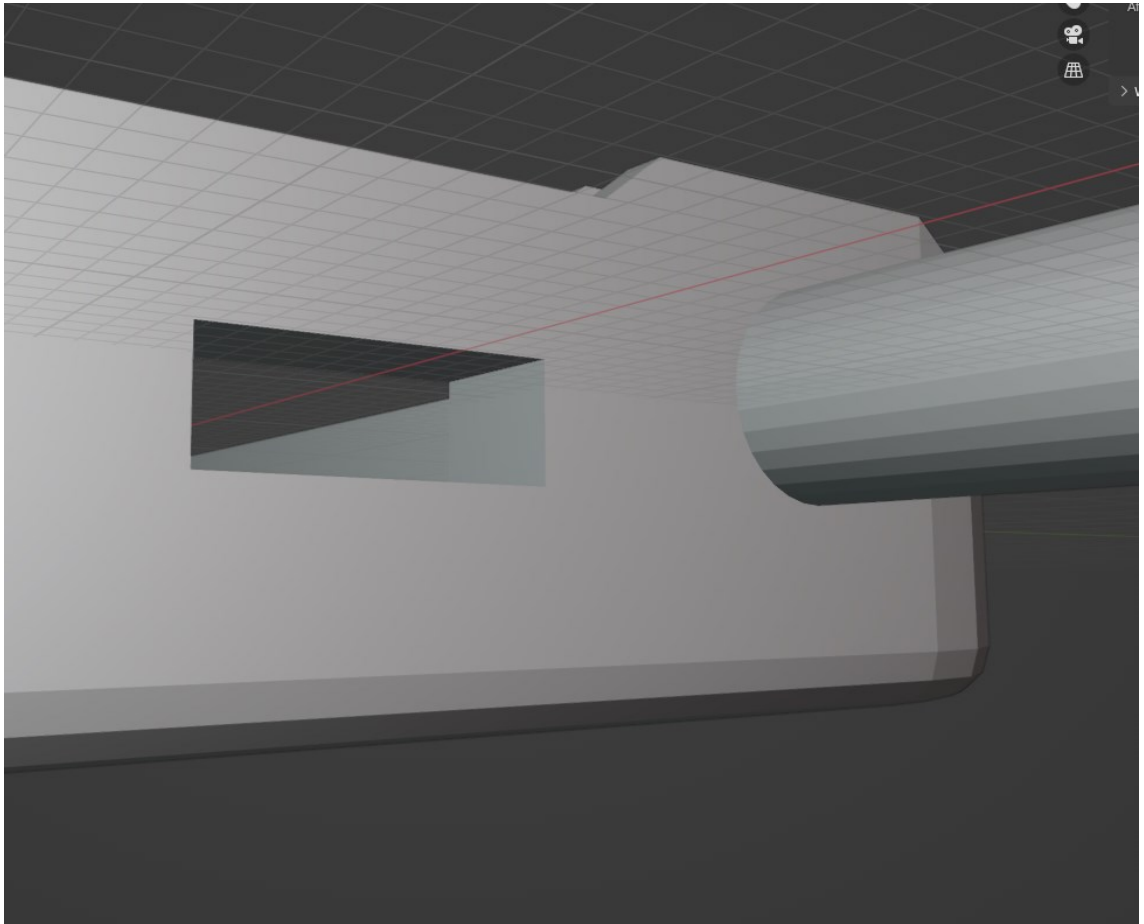
5.1.2 Toinen versio

Toisen version suunnittelu aloitettiin, kun ensimmäisen tulostetun kotelon virheet oli tutkittu. Suunnittelu aloitettiin kaikkien tiivistämistarkoitukseen tehtyjen urien leventämisellä, koska ensimmäisessä mallissa urat eivät osunut kohdalleen kaikista paikoista ja, jos osuivatkin, kotelosta tuli turhan tiukka.

Toisessa versiossa suurennettiin hiukan myös kaikkia ruuvien paikkoja. Reiät olivat liian pienet. Paristokotelon kannen ruuvikiinnikettä levennettiin, sillä se vaikutti kapealta. Kiinnike muutti muotoa, kun siihen laitettiin ruuvi. Viimeisenä sylinterit, joiden tarkoitus on pitää kotelon molemmat puolet yhdessä muutettiin

kuution mallisiksi. Useiden kokeilujen perusteella, että havaittiin että niiden 3D-tulostus onnistuisi todennäköisemmin.

Laitteen kylkeen lisättiin paikka on/off-kytkimelle (kuva 14). Laitteen on/off-kytkimen paikka on mitoitettu saatavilla olevan kytkimen mukaan. Reikä ei ole siis lopullinen vaan se on tehty hahmottamisen helpottamiseksi.



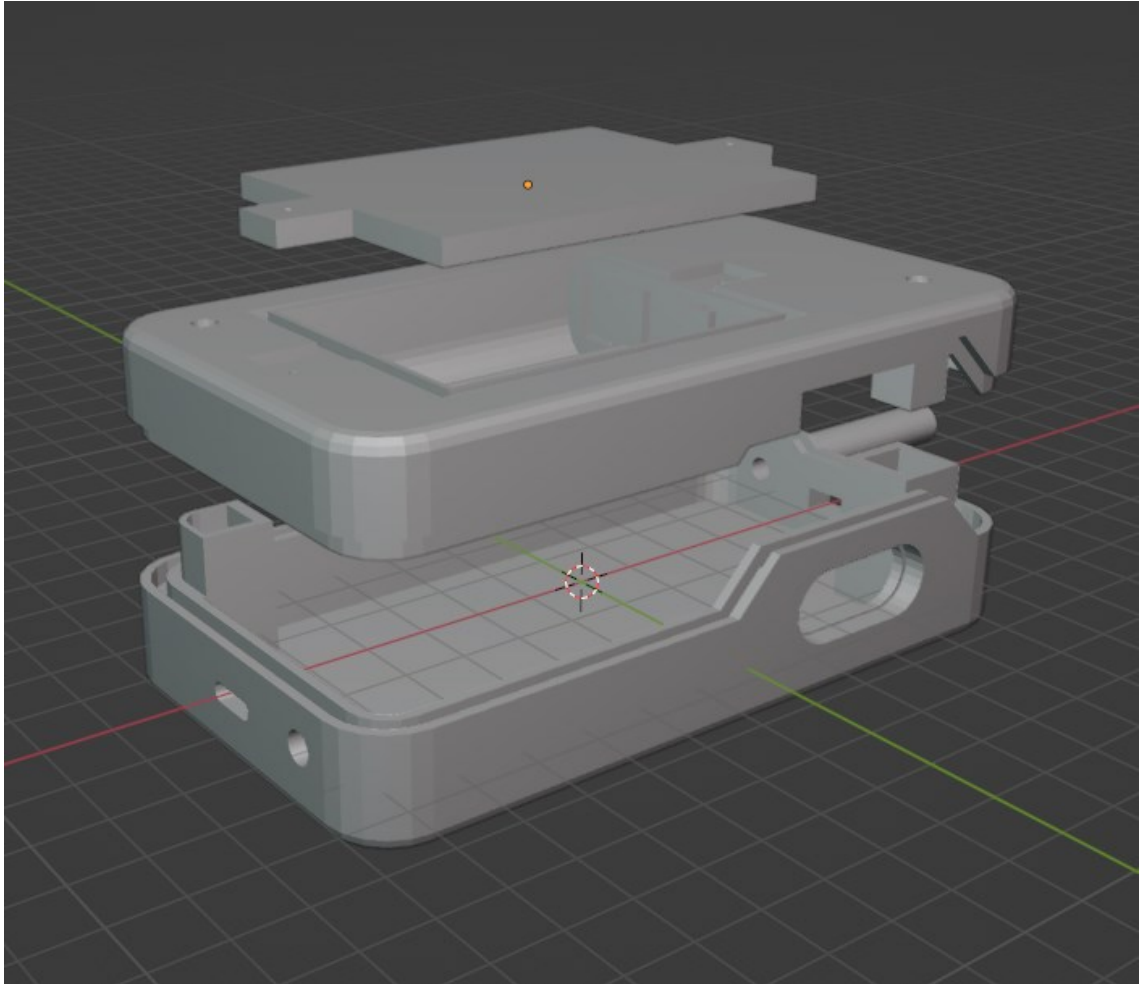
Kuva 14. On/off-kytkimelle varattu paikka.

5.1.3 Kolmas versio

Kolmannessa versiossa muokattiin laitteen kotelon B-puolta. Kotelosta tehtiin hieman tilavampi, koska tässä vaiheessa kehitystyötä tuli ilmi tarve vaihtaa mikrokontrolleri toiseen versioon, joka on fyysisesti suurempi. Tässä versiossa

pyöristettiin myös laitteen kotelon ulkoreunat. Pyöristetyt ulkoreunat parantavat käyttäjän kokemusta, sillä laite on mukavampi pitää kädessä.

Lopuksi varmistettiin mallinnusohjelmalla simuloiden, että kaikki osat sopivat yhteen (kuva 15). Varmistuksen jälkeen mallin osat olivat valmiita tulostukseen.



Kuva 15. Räjätyskuva laitteen kotelosta.

5.2 3D-tulostamisen toteutus

Radiolaitteen prototyypin kotelon valmistamiseen käytettiin Metropolia AMK:n 3D-tulostinta. 3D-tulostus valittiin valmistustavaksi prototyypin kotelon luomiseen, koska se on tarkka ja helppo tapa luoda fyysisiä esineitä 3D-malleista. 3D-tulostimia oli käytettävissä koulun laboratoriotiloissa. 3D-tulostus ei kuitenkaan sovellu kotelon valmistamiseen, jos laite menee massatuotantoon. Toimeksiantajan tiedon mukaan 3D-tulostus vie paljon enemmän aikaa kuin esimerkiksi muottiin ruiskuvalaminen.

Kotelon valmistamiseen valittiin materiaaliksi PLA-muovi, sillä sitä löytyi koululta ja se olisi riittävän kovaa ja joustavaa laitteen kotelo varten. Laitteen kotelon rakenteen pitäisi olla kova, että kotelo ei muuttaisi hirveästi muotoa iskussa, mutta myös vähän joustava, ettei kotelo särkyisi iskusta.

5.2.1 Ensimmäiset tulostukset ja jatkuvat ongelmat

Ensimmäiset prototyypit radiolaitteen kotelosta tulostettiin Ultimaker S3 3D-tulostimella. Nämä versiot kuitenkin epäonnistuivat osittain toistaiseksi tuntemattomasta syystä. Laitteen kotelon B-puolen ulkopuoli oli sulanut selkeästi useasta kohtaa. Kotelossa oli muutenkin rakenteellisia puutteita. Urat, jotka oli tarkoitettu kotelon tiiviyden parantamiseksi ja liikkuvuuden estämiseksi oli suunniteltu liian tiukoiksi. Ruuveille suunnitellut tapit olivat myös liian heikot ja katkesivat helposti. Pyöreissä kohdissa oli myös hieman vaihtelua, joka poikkesi suunnitellusta mallista.

Laitteen kotelon A-puolen paristokotelo oli myös virheellinen. Paristokotelo oli täynnä suttua ja läpiviennit olivat tukossa. Myös paristokotelo ympäröivät urat olivat liian kapeat. Paristokotelon kansi ei mennyt siis paikoilleen. Paristokotelon kannen ruuvikiinnikkeet olivat myös turhan kapeat. Tämän jälkeen tehtiin muutamia pieniä parannuksia koteloon tulosteiden epäonnistumisen korjaamiseksi.

Kaikkien muutoksien jälkeen laitteen B-puoli tulostui hyvin. Laitteen A-puoli oli kuitenkin edelleen virheellinen, mutta jos tuloste onnistuisi, todennäköisesti toimiva. Tulosteita tehtiin mallista useita. Huomasin, että B-puoli kotelosta tuli lähes aina virheettömänä ja A-puoli taas aina virheellisenä. A-puolessa oli aina virheelliset urien vastakappaleet tai paristokotelo. Syntyi epäily, että malli on liian tarkka tai monimutkainen normaalille 3D-tulostimelle. Tästä syystä konsultoitiin laboratorioinsinööri Jani Stigelliä. Asiantuntijahaastattelun pohjalta päätettiin tulostaa malli resiini-tulostimella [25]. Stigelin perehdytyksen pohjalta saatiin tulostus aloitettua ja päätettiin tulostaa B-puoli tällä tulostimella. Tätä tulostusta ei kuitenkaan käytetty, sillä tulostus lopulta kuitenkin onnistui suunnitellulla menetelmällä.

5.2.2 Onnistunut tulostus

Tulostus saatiin onnistumaan useiden yritysten jälkeen PLA:lla (kuva 16).

Onnistunut tulostus tehtiin 3D-mallin toisesta versiosta.



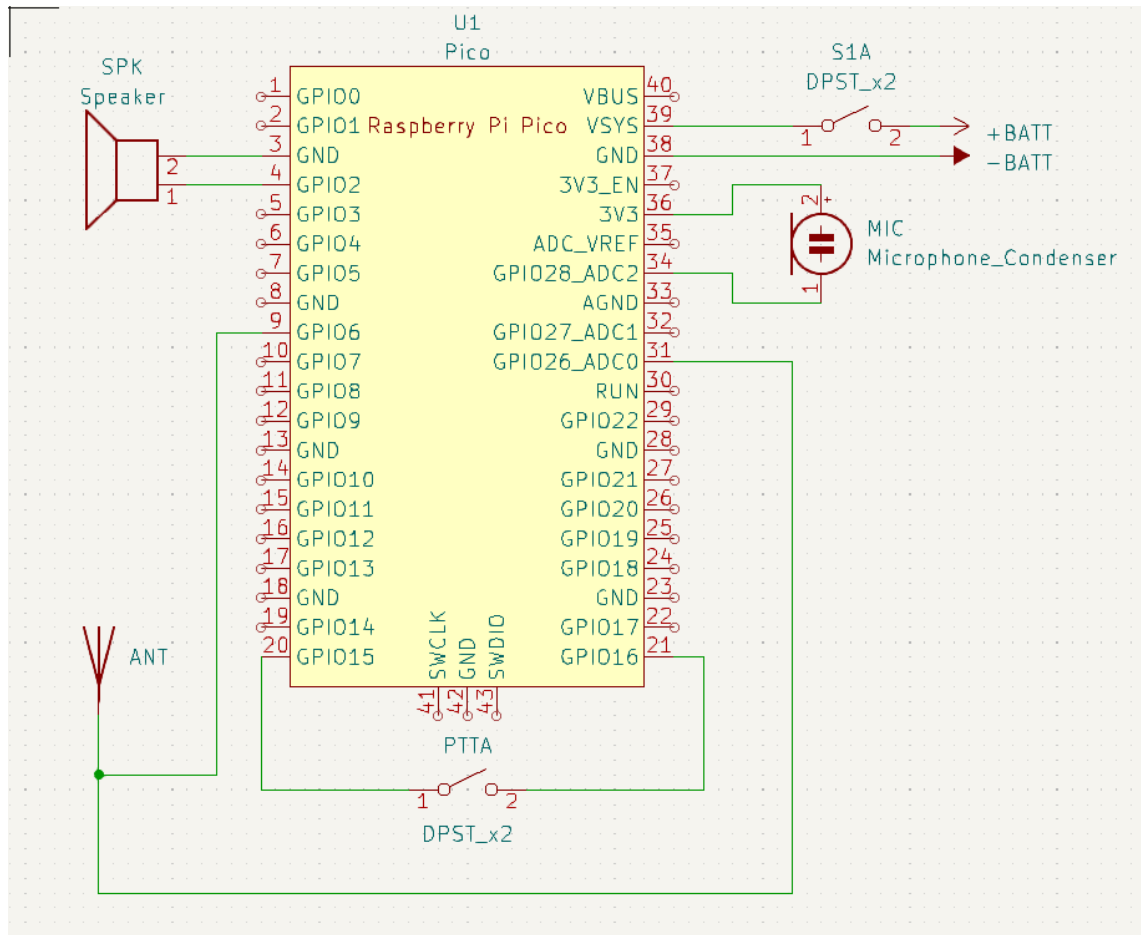
Kuva 16. Laitteen kotelon onnistuneet tulostukset.

Onnistuneen tulostuksen jälkeen komponentit sovitettiin kotelon sisälle.

6 Radiolaitteen toiminnankuvaus

Prototyypin kytkentää varten suunniteltiin kytkentäkaavio (kuva 17). Laitteen paristokoteloon suunniteltiin paikat kytkentäpisteille tyypillisellä tavalla. Pariston miinuspuolelle tulee jousi ja pluspuolelle tulee laatta. Paristot asetellaan paikoilleen vuorotellen niin, että pluspuoli ja miinuspuoli ovat vastakkaisella puolella viereiseen paristoon verrattuna.

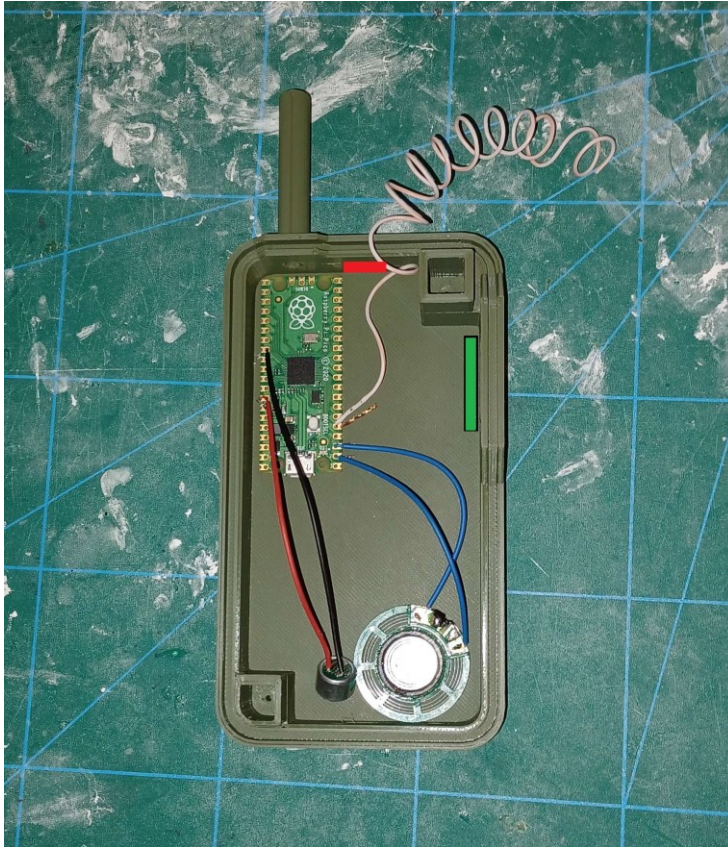
Paristot toimivat virtalähteenä laitteelle. Virtalähde kytketään Rasperry Pi Picoon siten, että virransyötön voi katkaista kytkimellä. Pico ohjaa koko laitteen toimintaa. Picoon tulee kytkeä antenni, kaiutin, mikrofoni, PTT-nappi ja virtakytkin näille komponenteille suunnitelluille paikoille. Komponentit kytketään siten, että ne saavat syöttövirran Picolta ja toinen johdin kytketään komponenttien yhteiseen maahan. Oikeat paikat on määritelty koodissa ja laitteen toimivuus edellyttää, että komponentit kytketään oikein [26].



Kuva 17. Laitteen kytkentäkaavion luonnos [26].

7 Kokoonpano

Kokoonpano aloitettiin laitteen kotelon B-puolen sisäpuolelta. Sisälle tulee mikrokontrolleri, PTT-painike, antenni, virtakytkin, kaiutin ja mikrofoni. Alla olevassa kuvassa on esitetty niille osoitetut paikat. Kuvaan (kuva 18) on merkitty vihreällä PTT-painikkeen suunniteltu paikka ja punaisella virtakytkimen suunniteltu paikka.



Kuva 18. Laitteen kotelon B-puoli.

Kaiuttimen ja mikrofonin alapuolelle tehdään useita pieniä reikiä, joista ääni kulkee läpi. Tämän takia kaiutin ja mikrofoni pitää kiinnittää koteloon niin, ettei niiden tarvitsemista rei'istä pääse vettä kotelon sisään. Tämä voitaisiin tehdä esimerkiksi tiivistämällä kaiuttimen ja mikrofonin reunat. Laitteen reunoissa näkyviin uriin laitetaan tiiviste, joka estää veden ja pölyn pääsyä kotelon sisään.

Komponenttien sijoittamisen jälkeen laite voidaan koota. B-puolen reunojen uriin tulee laittaa ensimmäisenä tiiviste. A-puoli sijoitetaan B-puolen päälle, jonka jälkeen laitteen osat kiinnitetään toisiinsa ruuveilla, joiden paikat on merkitty alla olevaan kuvaan (kuva 19). Paristokotelon sisäpuolelle tulee paristojen kosketinlevyt niille mallinnetuille paikoille. Tämän jälkeen paristokotelo suljetaan sen omalla kannella ja kansi kiinnitetään kahdella ruuvilla.



Kuva 19. Laitteen kotelo kasattuna.

Opinnäytetyön seurantalaverissa Sarco Oy:n edustaja muistutti, että komponentit voi suojata ulkoisilta häiriöiltä ympäröimällä johtavalla kotelolla. Tämä jätettiin tekemättä tässä vaiheessa, sillä lopullista komponenttien sijoittelua ei ole vielä päätetty.

8 Laitteen testaussuunnitelma

Pölytiiviyden testaussuunnitelma

Tavoitteena testauksessa laitteelle on IP66-luokitus. Tämä tarkoittaa, että laitteen tulee olla täysin pölytiivis. Luokituksen saavuttamiseksi laite pitäisi sijoittaa testauskammioon. Testauskammiossa pitäisi olla kiertopumppulaitteisto, joka pitäisi talkkipölyn jatkuvassa liikkeessä testauskammion sisällä koko testauksen ajan. Talkkipölynkin pitää täyttää seuraavat vaatimukset standardin SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 mukaan:

Käytettävän talkkipölyn on kyettävä läpäisemään neliöreikäinen seula, jonka langan nimellishalkaisija on 50 μm ja reiän sivun nimellispituus 75 μm . Talkkipölyn määrä on 2 kg kutakin testikaapin tilavuuden kuutiometriä kohti. Samaa talkkipölyjauhetta saa käyttää enintään 20 testiin. [20 s. 27.]

Testin minimikesto aika on kahdeksan tuntia. Jos laite selviää testistä täysin toimintakuntoisena, testituloksena on hyväksyty. Jos taas laite ei toimi osittain tai ollenkaan, testituloksena on hylätty. [20 s. 27-28.]

Pölytiivyyden testaukseen tarvittava laitteisto on siinä hyvin tarkkaan määritelty. Tästä syystä radiolaitteen pölytiivyyttä ei voitu testata saatavilla olleilla resursseilla. Laite menee pölytiivyyden testiin, jos laite kaupallistetaan. Jos laite kaupallistetaan, Sarco Oy voi testata laitteen itse omalla kalustollaan tai laitteen testaus voidaan ulkoistaa.

Vesitiivyyden testaussuunnitelma

Tavoitteena testauksessa laitteelle on IP66-luokitus. Tämä tarkoittaa, että laitteen tulee kestää vesisuihkua. IP-luokitusta koskeva standardi SFS-EN 60529:1992 määrittelee luokituksen testausehdot.

- suuttimen sisähalkaisija: 12,5 mm
- virtausmäärä: 100 l/min ± 5 %
- vedenpaine: asetellaan siten, että saadaan vaadittu virtausmäärä
- päävirtauksen laajuus halkaisijaltaan n. 120 mm ympyrä 2,5 m etäisyydellä suuttimesta
- testausaika kotelon suihkutettavan pinnan neliometriä kohti: 1 min
- testin minimikesto aika: 3 min
- suuttimen etäisyys kotelosta: 2,5 m ja 3 m välillä. [20 s. 32.]

Testin jälkeen selvitetään, onko kotelon sisälle päässyt vettä. Jos vettä ei ole päässyt sisälle tai se ei haittaa laitteen normaalia toimintaa, testituloksena on hyväksyty. Jos taas kotelon sisälle on päässyt vettä ja se haittaa laitteen normaalia toimintaa, testituloksena on hylätty [20 s. 33].

Vesitiiveyden testaukseen tarvittava laitteisto on siis hyvin tarkkaan määritelty. Tästä syystä radiolaitteen vesitiiveyttä ei voitu testata saatavilla olleilla resursseilla. Laitteen vesitiiveys testataan, jos laite kaupallistetaan. Jos laite kaupallistetaan, Sarco Oy voi testata laitteen itse omalla kalustollaan tai laitteen testaus voidaan ulkoistaa.

Teoreettinen virrankulutus ja käyttöaika

Laitteella oli vaatimuksena yli 24 tunnin virrankesto. Tämän laitteen virrankulutuksen ja virrankeston voi teoreettisesti laskea. Valmistajan testeissä on todettu, että Raspberry Pi Picon enimmäiskulutus on 92,8 mA [27]. Tällä arvolla ja oletuksella, että paristot käytetään 20 prosenttiin asti voidaan laskea, että laitteen käyttöaika on 64,44 tuntia käytettäessä virtalähteenä kolmea 2500 milliampeeritunnin AA-paristoa. Käyttöaikaa arvioitaessa on huomioitava, että ympäristötekijöillä, kuten matalalla lämpötilalla, on vaikutusta laitteen virrankulutukseen, joka voi kasvaa.

Laitteen toimintaetäisyyden testaussuunnitelma

Laitteen toimintaetäisyys pitää myös testata. Laitteen toimintaetäisyyden testaamisessa pitää ottaa huomion kohderyhmän kohtaamat vaikeat olosuhteet. Laitteen kantavuutta tulee siis testata esimerkiksi metsässä. Metsän tulisi olla tiheä ja sen maanpinnan korkeuden tulisi olla vaihteleva. Laitetta tulee testata asteittain eri välimatkoilla alkaen lyhyestä välimatkasta. Näin testitulokset ovat luotettavia ja laitteen toiminnan mahdollisia eroavaisuuksia eri toimintamatkoilla voidaan vertailla.

Laitteen automaattinen toimivuuden testaus

Kun teollisesti ja kaupallisesti valmistetaan suuria eriä jotain laitetta, on järkevää automatisoida tärkeimpien toimintojen testaus laadun varmistamiseksi.

Koska prototyypin kehitys on vielä kesken, päätettiin, ettei laitteen automaattista testausta toteuteta, vaan sitä mietitään lähinnä konseptin osana. Automaattinen testaus tulee kuitenkin olemaan oleellinen osa koko kehityskaarta, jos laite kaupallistetaan, joten testausmahdollisuus tuli ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

Mahdollinen laitteen automaattinen testaus tulee toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisesti ja edullisesti. Jos testausvaihe konkretisoituu, laitteen testausta varten pitäisi rakentaa neulapetiperiaatteella toimiva laite. Laitteen voisi tehdä Raspberry Pi Picosta, joka ajaa testiautomaatiosekvenssin prototyypille ja indikoi tuloksen sytyttämällä vihreän ledin per testisekvenssivaihe. Testauslaite siis liitetään radiolaitteen komponenttien testipisteisiin ja sekvenssissä testataan oikosulut, oikeat jännitteet. Laitteen tx-moduulia voidaan testata injektoimalla signaali tx-moduuliin. Laitteen rx-moduulia voidaan testata käynnistämällä pienitehoinen lähetys.

9 Jatkokehitys

Jatkokehitys kannattaisi mielestäni aloittaa kotelon testauksella, että voitaisiin tietää, täyttääkö laite vaatimukset IP-luokituksen ja iskunkestävyyden kannalta. Jos kotelo ei täytä vaatimuksia, tulisi laitteen kotelointia parantaa. Ehdotan suurimman osan laitteen koteloa peittävää kumisuojaa. Kumisuojan tulisi kuitenkin olla helposti poistettavissa paristojen vaihtoa varten.

Prototyypisuunnitelman mukaisesti seuraavaan vaiheeseen laitteeseen pitäisi lisätä näyttö. Laitteen kotelo on suunniteltu siten, että näytön lisääminen olisi suhteellisen helppoa. Kun laitteen kotelosta tehdään lopullinen versio, kotelon reunat olisi hyvä pyöristää. Tämä lisäisi kotelon iskunkestävyyttä ja ergonomisuutta. Koteloa ei ole pyöristetty prototyypissä, sillä se hankaloittaa jatkosuunnittelua ja rikkoo 3D-mallia.

Idea todettiin toimimattomaksi Miikka Uotisen opinnäytetyössä Raspberry Pi Picolla muun muassa laskentatehon puutteen vuoksi [26]. Seuraavaan

prototyyppiin tullaan vaihtamaan mikrokontrolleri toisen tyyppiseen, jos ongelmaan ei kehitetä ratkaisua. Olemme tutkineet vaihtoehtoja ja päätyneet Rasperry Pi Zero2-mikrotietokoneeseen. Selvitystyön mukaan radiolaitetoiminto on huomattavasti helpompi toteuttaa tällä mikrokontrollerilla, mutta kustannukset tosin nousevat viisinkertaisiksi.

Seuraavaan prototyyppiin voisi tulla myös mahdollisuus kiinnittää varavirtalähde. Laitteeseen voisi suunnitella kiinteän antennin sijasta irrotettavan ruuvattavan antennin helpottamaan kuljetusta ja varastointia.

10 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voiko yleisesti saatavilla olevista komponenteista ja 3D-tulostetuista osista luoda toimivan ja edullisen radiolähetin-vastaanottimen. Opinnäytetyönä luotiin konsepti radiopuhelimesta kaupallisin julkisesti saatavilla olevista komponenteista. Radiolaitteen ytimenä oli tarkoitus toimia mikrokontrolleri Rasperry Pi Pico, johon tehtiin ohjelmisto ohjaamaan tarvittavia toimintoja. Rasperry Pi Picossa ei kuitenkaan riittänyt teho lähettämään FM-signaalia halutulla taajuudella, jonka takia jouduimme vaihtamaan ydintä. Mikrokontrollerin tilalle valikoitui taustaselvityksien jälkeen Rasperry Pi Zero. Laitteen kehityksessä otettiin huomioon mahdollinen myöhempi kaupallistus ja automaattisen testauksen mahdollistaminen suunnittelussa.

Koska opinnäytetyöprojekti tehtiin yhteistyönä Miikka Uotisen kanssa, niin työnjako suunniteltiin ennen työn aloitusta. Minun osuuteni oli tutkia tätä laitetta koskevaa lainsäädäntöä mahdollista kaupallistamista varten, suunnitella 3D-malli laitteen kotelosta ja testata sen toimivuus ja suunnitella laitteelle testaussuunnitelma. Työ tehtiin yhteistyössä Sarco Oy:n kanssa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kaupallistamista varten kerättyä tietoa laitetta koskevasta radiolainsäädännöstä, prototyyppi laitteen kotelosta ja testaussuunnitelma mikä varmistaisi laitteen toimivuuden ja laaditut

ominaisuudet. Raspberry Pi Pico saatiin lähettämään AM-audiota lyhyelle matkalle. Picon teho ei kuitenkaan riittänyt halutulle tasolle, eli FM-audion lähettämiseen.

Ennen työn aloitusta työmäärä vaikutti huomattavasti pienemmältä mielestäni. Työtä tehdessä tajusin, että työni osuus projektissa olisi paljon suurempi kuin olin koskaan kuvitellut. Minun piti opetella todella paljon radiotekniikasta, sillä tietotasoni oli suhteellinen vähäinen kyseisestä aiheesta ennen työn aloittamista.

Radiolain lukeminen tuntui todella työläältä, mutta tiesin, että se on välttämätön osa laitteen kehityksen näkökulmasta. Työtä oli kuitenkin mukava tehdä, koska materiaalia löytyi helposti ja työ tuntui edistyvän koko ajan.

Laitteen kotelon 3D-mallinnus oli vaikeaa aluksi. Koteloa mallintaessa taitotaso kuitenkin parani huomattavasti. Tämän tyyppiseen laitteen mallintamiseen en kuitenkaan suosittelisi Blenderiä. Blender on varmasti parempi animoinnissa ja muussa vastaavassa 3D-työskentelyssä kuin tämänlaisessa teknisessä tarkassa mallintamisessa.

3D-tulostaminen tuntui todella tuskalliselta. Tulostusajat olivat usein todella pitkiä ja työ niin sanotusti seiso useinkin, kun odotettiin tulosteen valmistumista. Tulostamisessa tuli myös usein virheitä mitkä eivät johtuneet minusta vaan satunnaisesta tulostimen virheestä. Välillä tuntui, että kotelo ei ikinä tulisi valmiiksi.

Testaussuunnitelman teko oli erittäin mielenkiintoista. Työ oli mukavaa, sillä se oli minusta kiinnostavaa, vaikka sitä varten minun piti tutustua standardeihin perusteellisesti. Vaikka työssä menikin aikaa, se kuitenkin eteni koko ajan, ja se helpottaa minua erittäin paljon kaikenlaisessa työssä.

Kaiken kaikkiaan työ oli erittäin mielenkiintoinen kokonaisuus. Vaikka laite ei tämän opinnäytetyön aikana valmistutkaan, tulen mielenkiinnolla odottamaan jatketaanko sen kehittämistä tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Sarco electronics. Verkkoaineisto. Sarco. < <https://www.sarco.fi/fi/>>. Luettu 25.9.2023.
- 2 Chandler, Nathan. How Walkie-talkies Work. Verkkoaineisto. How stuff works?. <<https://electronics.howstuffworks.com/radio.htm>>. Luettu 20.3.2023.
- 3 McMahon, Mary. 2023. What is a Transceiver. Verkkoaineisto. Easy Tech Junkie. <<https://www.easytechjunkie.com/what-is-a-transceiver.htm>>. 15.2.2023. Luettu 20.3.2023.
- 4 The Main Components of Two-Way Radios. Verkkoaineisto. ERS Wireless. <<https://www.erswireless.com/blog/post-13.htm>>. Luettu 20.3.2023.
- 5 Prototyyppi. 2019. Verkkoaineisto. Suomidigi. <<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/menetelmat/prototyyppi>>. 11.7.2019. Luettu 20.3.2023.
- 6 Laki sähköisen viestinnän palveluista. 2014. 7.11.2014/917.
- 7 Radiotaajuusmääräys. 2023. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/Radiotaajuusmääräys%20AD2023M.pdf>>. 13.1.2023. Luettu 20.3.2023.
- 8 Liikenne- ja viestintäviraston radiotaajuusmääräys (4AD/2023M).
- 9 What is Raspberry Pi?. Verkkoaineisto. Raspberry Pi. <<https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>>. Luettu 20.3.2023.
- 10 About us. Verkkoaineisto. Raspberry Pi. <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Luettu 20.3.2023.
- 11 Raspberry Pi Pico. Verkkoaineisto. Raspberry Pi. <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>>. Luettu 20.3.2023.
- 12 Raspberry Pi Pico. Verkkoaineisto. Electrokit. < <https://www.electrokit.com/en/product/raspberry-pi-pico/>>. Luettu 25.9.2023.

- 13 Raspberry Pi Ltd. 2022. Raspberry Pi Pico. Verkkoaineisto. Raspberry Pi. <<https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-product-brief.pdf>>. Luettu 20.3.2023.
- 14 Kolmiulotteinen tulostus. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmiulotteinen_tulostus>. Luettu 20.4.2023.
- 15 What is 3D printing? Verkkoaineisto. 3DPRINTING.COM. <<https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>>. Luettu 20.4.2023.
- 16 The Freedom to Create. Verkkoaineisto. Blender foundation. <<https://www.blender.org/about/>>. Luettu 20.3.2023.
- 17 Sähköturvallisuus fysiikan opetuksessa. 2016. Verkkoaineisto. Helsingin yliopisto. <<http://www.courses.physics.helsinki.fi/ope/opelab/turva/sahkoturva.htm>>. 2016. Luettu 20.4.2023.
- 18 RP2040 Datasheet. Verkkoaineisto. Raspberry Pi. <<https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>>. Luettu 20.4.2023.
- 19 Räisänen, Antti & Lehto, Arto. 2011. Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.
- 20 SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 4-Wire Female USB Type C connector. 2023. Verkkoaineisto. Grabcad. <<https://grabcad.com/library/4-wire-female-usb-type-c-connector-1/>>. Luettu 25.9.2023.
- 22 3.5mm Micro Jack Female TRRS FC68128 Connector Audio. 2015. Verkkoaineisto. Grabcad. <<https://grabcad.com/library/3-5mm-micro-jack-female-trrs-fc68128-connector-audio-1>>. Luettu 25.9.2023
- 23 3 x AA battery holder. 2011. Verkkoaineisto. Grabcad. <<https://grabcad.com/library/3-x-aa-battery-holder>>. Luettu 25.9.2023
- 24 Studio-R4 Props | 9 Volt, AA, & AAA Batteries. 2022. Verkkoaineisto. Grabcad. <<https://grabcad.com/library/studio-r4-props-9-volt-aa-aaa-batteries-1>>. Luettu 25.9.2023
- 25 Stigel, Jani. 2023. Laboratorioinsinööri, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Vantaa. Keskustelu 12.4.2023.

- 26 Raspberry Pi Pico datasheet. Verkkoaineisto. Raspberry Pi.
<<https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>>. Luettu
20.4.2023.
- 27 Uotinen, Miikka. (tulossa). Ohjelmistolla määritetyn radiolaitteen kehitys.
Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.