

Eurorack-syntetisaattorin sekvensserin kehitys ja tekninen monistaminen

Elmo Rohula



| | |
|--|--|
| Tekijä(t) Elmo Rohula | |
| Koulutusohjelma Tietojenkäsittely | |
| Raportin/Opinnäytetyön nimi Eurorack-syntetisaattorin sekvensserin kehitys ja tekninen monistaminen | Sivu- ja liitesivumäärä 32 + 1 |
| <p>Opinnäytetyö keskittyy sulautetun järjestelmän luomiseen Arduino-kehitysalustalle sopivilla työkaluilla. Luodun sulautetun järjestelmän prototyyppi tullaan saattamaan valmiiksi teknistä monistamista varten.</p> <p>Teknistä monistamista varten laitteelle tullaan luomaan piirilevypiirustukset, piirustukset mahdollisesti tarvittavasta etupaneelistä, sekä kustannusarvioit projektin viemisestä sarjatuotantoon.</p> <p>Luotu laite tulee olemaan sekvensseri Eurorack-syntetisaattoreille. Sekvensseri on musiikin tuotannossa käytetty laite tai ohjelmisto, jolla voidaan luoda, muokata ja soittaa musiikallisia sekvenssejä. Eurorack on syntetisaattoriformaatti, jossa kokonainen syntetisaattori koostuu useasta eri moduulista.</p> <p>Laitteen luominen tullaan käymään läpi tarkemmin tarkastelemalla tarvittavia teknologioita, työkaluja, sekä laitteen toimintaa. Laitteen luomisen prosessi käsittää sisälleen kaiken alkuperäisestä ideasta aina valmiin piirilevyn luomiseen komponentteineen.</p> <p>Projektin monistamisen prosessi tullaan käymään läpi samalla tavalla kuin itse laitteen luomisen prosessi. Tekninen monistaminen pitää sisällään mm. prototyypin lopullisten komponenttien päättämisen, sarjatuotannon kustannusten arvioimisen, sekä lopullisen rakennusprosessin ajoittamisen sarjatuotannon kustannuksiin laskemista varten.</p> <p>Lopussa arvioidaan itse projektin onnistumista, sekä monistamisprosessin hyödyllisyyttä vastaavien projektien näkökulmasta.</p> | |
| Asiasanat monistus, Arduino, sulautettu järjestelmä, sekvensseri, syntetisaattori | |

Sisällys

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Tavoitteet ja rajaust..... | 1 |
| 1.2 | Käsitteet..... | 2 |
| 2 | Taustaa..... | 3 |
| 2.1 | Eurorack | 3 |
| 2.2 | Sulautettu järjestelmä..... | 5 |
| 2.3 | Tekninen monistaminen | 5 |
| 2.4 | Projektin rakenne ja prosessit | 6 |
| 2.5 | Aikaisemmat työt..... | 6 |
| 3 | Sekvensserin prototyypin rakentaminen | 8 |
| 3.1 | Ohjelmisto..... | 8 |
| 3.1.1 | Käyttäjän syötteet..... | 9 |
| 3.1.2 | Eurorack yhteensopivuus | 11 |
| 3.2 | Fyysinen laitteisto | 12 |
| 4 | Tekninen monistaminen | 14 |
| 4.1 | Piirilevyn, sekä etupaneelin piirto | 14 |
| 4.1.1 | Piirilevy | 15 |
| 4.1.2 | Etupaneeli..... | 19 |
| 4.2 | Piirilevyjen ja etupaneelien tilaus | 23 |
| 4.3 | Komponenttien listaus ja tilaus..... | 23 |
| 5 | Laitteen rakennus ja laskelmat monistamisesta..... | 27 |
| 5.1 | Laitteen kokoonpano..... | 27 |
| 5.2 | Laskelmat laitteen monistamisesta..... | 29 |
| 6 | Tulokset ja retrospektiivi..... | 32 |
| | Lähteet | 33 |

1 Johdanto

Elektroniikkaprojektit, jotka syntyvät internetartikkeleiden, opinnäytetöiden, sekä harrastajien toimesta ovat usein toiminnallisuudeltaan riittäviä. Kuitenkin näiden projektien laajuus käsittää vain toiminnallisuuden testaamisen, sekä sen viimeistelyn. Itse laitteisto ja sen useat komponentit muistuttavat projektien päätyttyä lähinnä väliaikaista koekytkentää ja laitteiston monistaminen sellaisenaan on melkein mahdotonta.

Tässä opinnäytetyössä tullaan käymään läpi prosessi, jonka avulla elektroniikkaprojekteja ja laitteita voidaan saattaa teknisesti monistettavaan muotoon. Prosessia voidaan hyödyntää elektroniikkaprojekteissa riippumatta niissä valmistuvien laitteiden käyttötarkoituksesta. Opinnäytetyön aikana tätä prosessia kuvaamaan rakennettiin Eurorack-sekvensserin prototyyppi, joka opinnäytetyön edetessä saatettiin teknisesti monistettavaan muotoon.

Projektin idea oli ollut mielessäni jo ennen opinnäytetyön aloittamista, mutta vasta opinnäytetyön aiheen tarkennuttua tajusin sen käyvän täydellisesti opinnäytetyöhön. Olen harrastuksieni puolesta tehnyt useita tässä opinnäytetyössä esitettyjä vaiheita elektroniikkaprojektieni niin vaatiessa. Kuitenkin opinnäytetyötä tehdessäni kävin itse ensimmäistä kertaa koko prosessin läpi.

Opinnäytetyön aikana avataan projektille ominaista käsitteistöä ja avataan laajemmin sitä kontekstia, johon opinnäytetyön projektin aikana valmistuva laite tulee.

1.1 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on selkeyttää teknisen monistamisen prosessia. Opinnäytetyön aikana luotu Eurorack-sekvensseri toimii tämän teknisen monistamisen kohteena. Näihin tavoitteisiin pääsemiseen vaaditaan myös itse laitteen luominen, joten valmis laite, tai ainakin sen pitkälle viety prototyyppi syntyy myös projektin aikana.

Valmiita opinnäytetöitä sulautettujen järjestelmien luomisesta löytyy useita, mutta harvassa on mietitty niiden tuotoksien monistamista, taikka viemistä kevyestä prototyyppistä eteenpäin. Tämän opinnäytetyön teknisen monistamisen prosessin kuvaaminen ja läpikäynti tulisi auttamaan muiden vastaavien projektien viemisessä eteenpäin kohti sarjatuotantoa. Vaikka tämän opinnäytetyön puitteissa keskitytään hyvin spesifin laitteen luomiseen, pystyisi vastaavilla prosesseilla ja työkaluilla luomaan pienemmän mittakaavan sarjatuotantoa harrastus-, koulu-, tai yritysprojekteihin.

Tekninen monistaminen keskittyy yhden tai muutaman valmiin laitteen rakennukseen, rakennuksen keston ajoittamiseen kustannusarvioita varten, sekä mahdollisen pienimuotoisen sarjatuotannon kustannuksien arviointiin. Näistä eri kustannusarvioista saadaan laitekohtainen hinta, kun arvioidaan teknisen monistamisen tuloksia.

Opinnäytetyön teknisen monistamisen prosessi ei pidä sisällään monistettavan laitteen tuotteeksi viemistä. Vaikka monistamisprosessista syntyy kustannusarvioita, ovat nämä pelkästään arvioita laitteen sarjatuotannosta. Tuotteistamista varten tulisi tehdä selvitys kilpailijoista, markkinoista, sekä selvitys siitä, olisiko kukaan todellisuudessa valmis ostamaan mahdollisesti valmistuvaa tuotetta.

Opinnäytetyön prosessi ei myöskään pyri olemaan asteittain etenevä ohje, vaan laajempi prosessikuvaus. Ohjelmistojen laajempi opettelu, sekä prosessien yksityiskohtien selvittäminen jäävät laajalti tätä opinnäytetyötä mahdollisesti apunaan käyttävän henkilön vastuulle.

1.2 Käsitteet

- Arduino - Avoimen lähdekoodin alusta elektroniikka projektien kehitykseen (Louis 2016, 21).
- Teensy - Arduinon kaltainen, elektroniikka projektien kehitysalusta (PJRC).
- Eurorack - De-facto standardi pienikokoisille modulaarisille syntetisaattoreille (Tindall 2020).
- Volts-per-octave (1V/oct) - Standardi analogisille syntetisaattoreille, jossa yhden voltin nouse ohjausjännitteessä vastaa yhden oktaavin nousua esimerkiksi oskillaattorin taajuudessa (Pinch 2008, 472).
- Sekvensseri - Musiikin tuotannossa käytetty yleensä elektroninen laite tai ohjelmisto, jonka avulla voidaan toistaa, muokata ja soittaa musikaalisia sekvenssejä.
- Step - Askel. Sekvenssereissä käytetty määre, jolla mitataan sekvenssin pituutta.
- DAC (Digital to Analog Converter) - Mikropiiri, joka muuttaa sille annetun digitaalisen signaalin analogiseksi jännitteeksi (Rahman & al. 2016, 151).
- SPI (Serial Peripheral Interface) - Kaksisuuntainen kommunikaatioprotokolla, jolla yksi päälaite keskustelelee useiden alilaitteiden kanssa. (Leens 2009, 9.)
- PCB (Printed Circuit Board) - Piirilevy.

2 Taustaa

Tämän luvun tarkoituksena on avata opinnäytetyön taustoja liittyen luotuun Eurorack-sekvensseriin, tekniseen monistamiseen, sekä erinäisiin kehitysmenetelmiin, joita laitteen kehittämiseksi tarvitaan.

Opinnäytetyön varsinaiset tulokset keskittyvät sulautetun järjestelmän luomisen, sekä sen teknisen monistamisen ympärille. Kyseinen järjestelmä tulee olemaan Eurorack-syntetisaattorin sekvensseri.

Laitteen varsinainen muoto tai toiminta eivät ole kriittisiä tämän opinnäytetyön tuloksien kannalta. Laitteen toimintaympäristöä ja sen formaattia on kuitenkin kuvattu seuraavissa luvuissa opinnäytetyön kontekstin avaamiseksi.

2.1 Eurorack

Eurorack-syntetisaattoriformaatti on Dieter Doepferin vuonna 1996 kehittämä formaatti modulaariselle syntetisaattorille (Reverb 2020). Eurorack-syntetisaattoriformaatti perustuu 19 tuuman räkki standardille. Eurorack-syntetisaattorissa moduulien korkeus on noin kolme räkkiyksikköä (tai 128,5mm). Laskennallisesti korkeuden tulisi olla 133,4mm, mutta moduuleitten korkeudessa ollaan otettu huomioon kiinnityskiskojen "lippa". (Doepfer a.)

Modulaarisuus Eurorack-syntetisaattoreissa tarkoittaa, että kokonainen järjestelmä koostuu pääasiallisesti käyttäjän itse valitsemista erillisistä moduuleista (Doepfer a). Kuvassa 1 esitettynä kolmen eri valmistajan moduuleita yhdessä Eurorack-kokoonpanossa.



Kuva 1. Kolmen moduulin Eurorack-kokoonpano

Eurorack-syntetisaattorit, sekä modulaariset syntetisaattorit yleisesti eivät sisällä koskettimistoa ja harvoin koskettimiston integroiminen modulaariseen syntetisaattoriin on mahdollista. Eurorack-syntetisaattorin eri moduuleita ohjataan käyttäen erinäisiä ohjausjännitteitä (Control Voltage/CV) (Doepfer b).

Ohjausjännite on analoginen signaali, joka syötetään yhteen tai useampaan moduuliin, joka tuottaa muutoksen syntetisaattorin signaaliketjussa suhteutettuna ohjausjännitteen määrään. Analoginen ohjausjännite voi olla digitaaliseen ohjausjännitteeseen verrattuna mikä tahansa jännite kahden ääripään väliltä (Warren & al. 2011, 30). Digitaalinen signaali tai ohjausjännite on aina ennalta määrätyn jännitevälin jompikumpi ääripää (Warren, Adams & Molle. 2011, s. 27).

Esimerkiksi oskillaattorin sävelkorkeuden nostaminen yhdellä oktaavilla vastaa yhden voltin korotusta ohjausjännitteessä 1V/Oct-standardilla (Meyer 2016). Kuvassa 2 yhden moduulin sävelkorkeutta hallitaan toisen moduulin ulostulolla. Signaaleja ohjataan moduulien välillä 3,5mm jakkiliittimillä.



Kuva 2. Eurorack moduuleja yhdistettynä toisiinsa

Eurorack-syntetisaattoreita on myös mahdollista ohjata ulkopuolisilla laitteistoilla, sekä ohjelmistoilla, mutta näiden lähettämät signaalit muutetaan aina analogiseen muotoon. Jotkin laitteet toimivat suoraan Eurorack-moduulien kanssa.

2.2 Sulautettu järjestelmä

Sulautettu järjestelmä on digitalisoitu järjestelmä, jonka toiminta on suppeampaa kuin tavallisen tietokoneen. Sulautettu järjestelmä on vain tiettyä tarkoitusta varten luotu järjestelmä. Sulautetuille järjestelmille on myös tyypillistä laskentaresurssien niukkuus, sekä suppea tuki ulkoisille laitteille. (White 2011, luku 1.)

Elektroniikkaharrastajien keskuudessa sulautettujen järjestelmien kehittämiseen käytetään hyvin usein Arduino-kehitysalustaa. Arduino-kehitysalusta pitää sisällään aina jonkin mikroprosessorin, sekä sen ohjelmointiin ja ulkoisiin kytkentöihin liittyviä komponentteja.

Tämän opinnäytetyön aikana valmistuva sekvensseri on myös sulautettu järjestelmä. Laite itsessään ei pidä sisällään mitään käyttöjärjestelmää ja sen ensisijainen tarkoitus on toimia Eurorack-syntetisaattorin sekvensserinä. Sekvensseri-laiteelle annettiin nimi "KISSe", joka on lyhenne sanoista "Keep It Simple Sequencer". Sekvensseri on laite tai ohjelmisto, jota käytetään musiikintuotannossa. Sekvensserillä voidaan luoda, muokata ja toistaa musikaalisia sekvenssejä.

2.3 Tekninen monistaminen

Tekninen monistaminen tämän opinnäytetyön puitteissa tarkoittaa opinnäytetyön aikana valmistuvan laitteen prototyypin kehittämistä siihen tilaan, että käsityötä vaativat prosessit ovat minimoitu ja suuri osa työstä saatettu automatisoitavaan tilaan. Laitteen prototyyppi-vaiheessa rakennus vaatii paljon komponenttien asettelua ja juottamista käsin.

Tekninen monistaminen voidaan nähdä osana "rapid prototyping" teknologioita. "Rapid prototyping" teknologiat sekä prosessit ovat teollisuudessa käytettyjä prosesseja, joilla pyritään nopeuttamaan tuotteiden ja prototyyppien valmistusta. Näihin teknologioihin kuuluu esimerkiksi 3D-tulostus (Yue, Gu 1996, 307). Esimerkiksi opinnäytetyön laitteen piirilevyt piirretään CAD-ohjelmistolla, jonka jälkeen piirilevyt tilataan niitä valmistavalta tehtaalta. Tällä prosessilla vältetään piirilevyjen valmistamiselta itse ja lopputuloksena ovat yhdenmukaiset piirilevyt.

Valmistuvan laitteen teknisesti monistettava muoto ei tulisi sisältämään kuin pakollisen määrän komponentteja, jotka vaativat ihmisen niiden asennukseen. Esimerkiksi laitteen piirilevyjen valmistuksen aikana olisi mahdollista myös juottaa suuri osa komponenteista tehtaalla, jos laite rakentuisi pintaliitoskomponenteista.

2.4 Projektin rakenne ja prosessit

Opinnäytetyön projekti prototyypistä teknisesti monistettavaan laitteeseen on melko laaja. Vaikka opinnäytetyön projektissa on paljon pelkästään sille ominaisia yksittäisiä prosesseja, prosessi kaiken kaikkiaan on riippumaton projektin tyypistä. Prosessi kulkisi pääpiirteittäin seuraavasti:

- Laitteen suunnittelu. Mietitään mahdollisesti käytettävät teknologiat ja käydään läpi aiemmin tuotettuja vastaavanlaisia projekteja/laitteita.
- Prototyypin rakentamisen aloittaminen. Aloitetaan muutamalla keskeisellä ominaisuudella laitteen toiminnan kannalta ja rakennetaan muita ominaisuuksia siihen päälle.
- Kaikkien yksittäisten ominaisuuksien kokeilu prototyypin aikana. Tässä vaiheessa kaikki lopulliselta laitteelta vaaditut tai toivotut ominaisuudet on käyty läpi.
- Laitteen käyttöliittymän suunnittelu. Kokeillaan eri keinoilla mahdollisesti sopivaa käyttöliittymän muotoa.
- Piirilevyjen ja etupaneelien suunnittelu, piirtäminen ja tilaus. Tässä vaiheessa prototyypin aikana syntyneet piirit käännetään piirilevyille luotujen kytkentäkaavojen mukaan. Myös etupaneeli hahmotellaan piirilevyn, sekä aiemmin suunniteltujen toimintojen mukaan.
- Komponenttien listaus, sekä tilaus. Prototyypin aikana käytetyt komponentit listataan ja tästä listauksesta luodaan projektille "Bill of Materials", jonka avulla komponentteja on mahdollista tilata yhteen tai useampaan vastaavaan laitteeseen.
- Laitteen rakentaminen. Tässä vaiheessa rakennetaan yksi tai useampi teknisesti monistettava laite ja ajoitetaan rakennus lopullisia laskelmia varten.
- Laskelmien teko ja tulosten läpikäynti. Tässä vaiheessa lasketaan laitteen rakennuksen ja suunnittelun kulut, sekä näiden perusteella tehdään laskelmia mahdollista sarjatuotantoa varten. Projektin tuloksia käydään myös läpi niiltä osin, kun ne ovat merkittäviä.

2.5 Aikaisemmat työt

Opinnäytetöitä, joissa valmistetaan jokin elektroniikkaprojektin prototyyppi, löytyy useita. Harvoin näissä töissä kuitenkaan käydään läpi mahdollisuutta laitteen monistamiseen, tai laitteen viemistä viimeistellympään muotoon. Aleksis Karpin opinnäytetyö "Arduino-pohjainen laite liikkeen ja lämpötilan monitorointiin" on yksi tällainen opinnäytetyö. Projektin aikana Karpin rakentaa toimivan laitteen, käy läpi sen toimintaa, ohjelmointia, sekä yleisiä käsitteitä Arduino-kehitysalustaan liittyen.

Karpilla kertoo valmistuksessa ja suunnittelussa pyrkineensä yksinkertaisuuteen, jotta laitteen toiminta olisi moitteetonta ja luodulla laitteella olisi mahdollisimman laaja kohderyhmä (Karpilla 2014, 13). Kuitenkin lopullinen laite, jota opinnäytetyössä on kuvattu muistuttaa pitkälti prototyypinomaista laitetta, jossa kytkennät ovat tehty hyppylangoilla koekytkentälaudan kautta.

Jotta Karppilan laite saavuttaisi halutun laajan kohderyhmänsä tulisi laitteen kytkentöjen olla pysyviä ja laitteen eri komponenttien osana yhtä kokonaisuutta. Karppilan laitteen kohderyhmää rajoittaa näin ollen se, että laitetta tulisi harkitsemaan vain ne, joilla olisi osaamista ja halukkuutta rakentaa käsin Arduino-kehitysalustalle oma laitteensa.

Laitetta ei välttämättä olisi tarvinnut koota täysin omaksi kokonaisuudekseen, vaan Arduino-alustan komponenteista olisi voitu rakentaa "Arduino-kilpi". Arduino-kilvet ovat valmiita laitekokonaisuuksia, jotka voidaan kytkeä suoraan Arduino-kehitysalustaan. (Louis 2016, 22.) Laitteen käyttäjän olisi vielä kuitenkin tarvinnut ohjelmoida laite.

3 Sekvensserin prototyypin rakentaminen

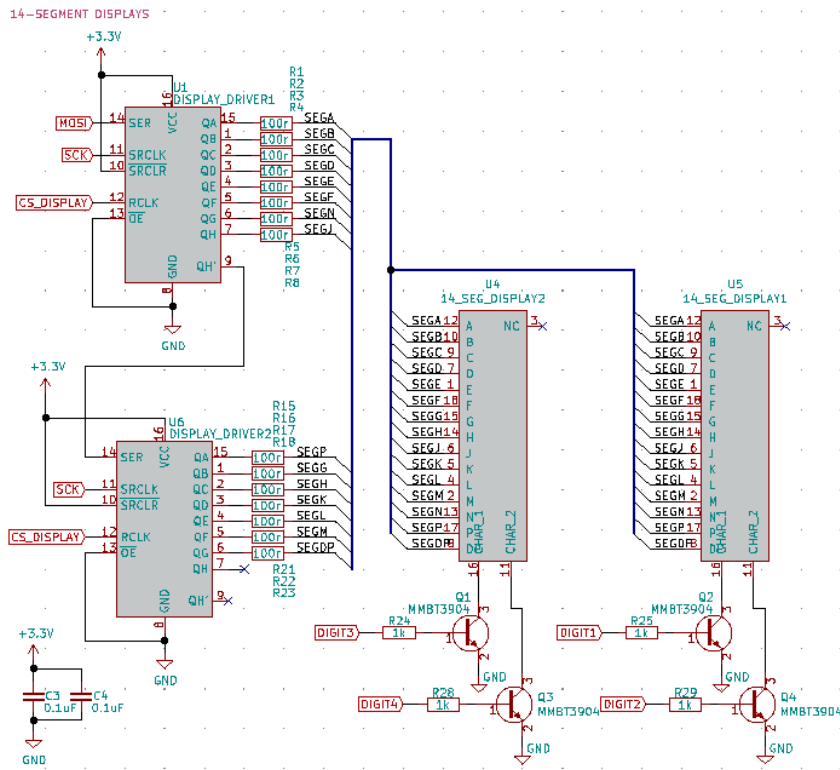
Käytetyt Sekvensserin prototyypin rakennus tapahtui asteittain ja jokaista laitteen osaa ja toiminnallisuutta pyrittiin testaamaan yksitellen, sekä osana suurempaa kokonaisuutta. Laitteen pohjana ja inspiraationa toimi pitkälti Matthew Cieplakin "Super Sixteen"-sekvensseri.

Rakennuksessa käytettiin pelkästään koekytkentälautaa projektin alussa, mutta projektin edetessä ja komponenttien määrän kasvaessa joitain laitteen osia jouduttiin rakentamaan omiksi irrallisiksi kokonaisuuksiksi.

3.1 Ohjelmisto

Laitteen lähdekoodi kirjoitettiin C++-ohjelmointikielellä Arduino koodipohjalle. Kehitysympäristönä toimi PlatformIO, joka on Arduino-yhteensopiva integroitu kehitysympäristö Visual Studio Codelle (PlatformIO). Kehitysalustana laitteessa toimii Teensy LC. Lopullisen laitteen on suunniteltu käyttävän ATmega328-mikroprosessoria, mutta kehityksen jäädessä osittain kesken luotiin laitteelle mahdollisuus käyttää joko ATmega328-mikroprosessoria, tai Teensy LC-kehitysalustaa.

Ohjelmistokehityksen aikana käytettiin myös KiCad:a laitteen piirien ylläpidossa ja seurannassa. Laitteessa kulloinkin käytettävät piirit ja komponentit käännettiin kytkentäkaavaan KiCad:n sisällä. Kuvassa 3 esimerkkinä laitteen segmenttinäyttöjen piirit. Näin ajan myötä saatiin luotua laitteelle kokonainen kytkentäkaavio. Vahinkojen sattuessa kytkentäkaavojen pohjalta laite olisi myös voitu koota uudelleen.

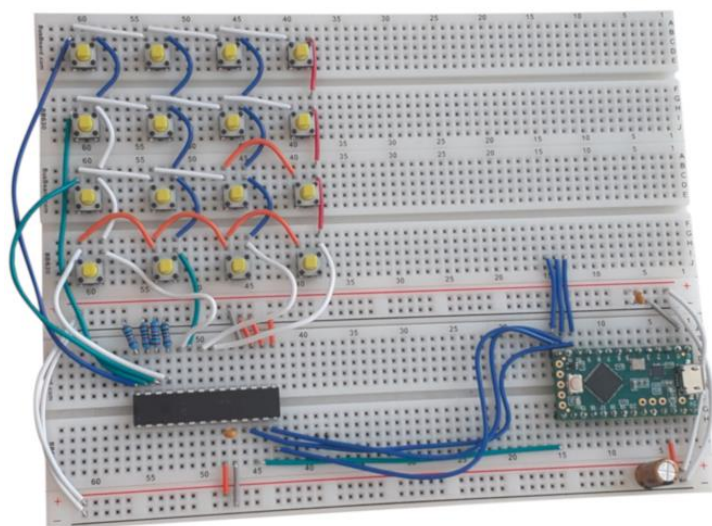


Kuva 3. Segmenttinäyttöjen kytkentäkaavio KiCad:ssä

3.1.1 Käyttäjän syötteet

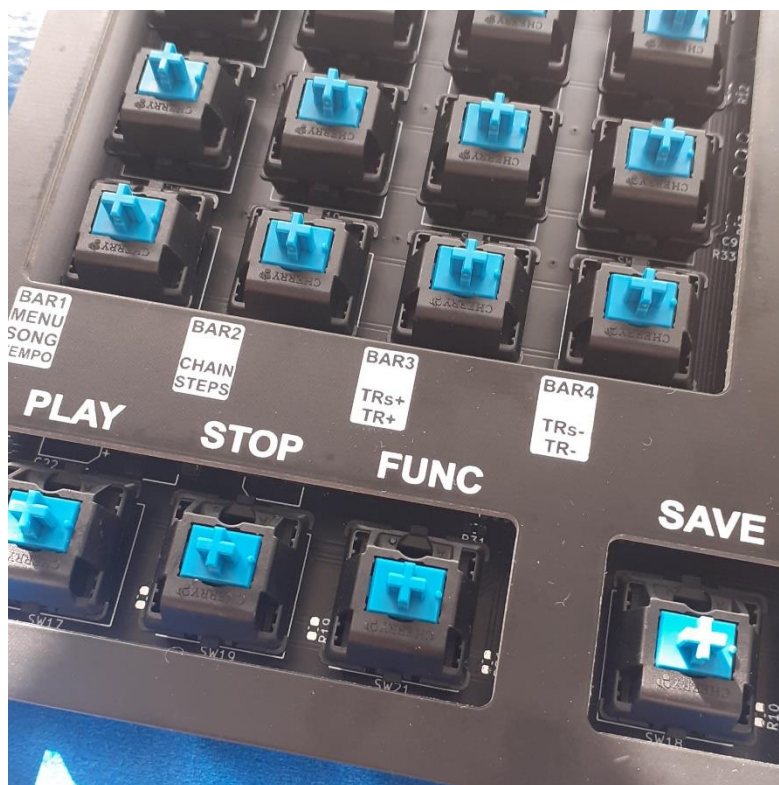
Sekvensserin toiminnan kannalta muutamia käyttäjän syötteitä pitäisi pystyä lukemaan. Laitteen suunnitteluvaiheessa 16 painikkeen painikematriisi tulisi vastaamaan sekvenssin askeleen valinnasta, sekä funktiopainikkeen kanssa käytettynä erinäisistä funktioista. Käyttäjän tulisi myös pystyä muokkaamaan liukuvia arvoja, kuten sekvenssin askeleiden nuottien korkeutta, tempoa, sekä erinäisiä asetuksia, jotka vaikuttavat sekvensserin toimintaan. Liukuvien arvojen muokkaamiseen laite käyttää 24 askeleen enkooderia. Laitteessa on myös potentiometri, jolla käyttäjä voi säätää nuottien välistä liukumaa.

Painikematriisia luetaan MCP23S17 GPIO-laajentimen kanssa. Laitteella voidaan SPI-väylän välityksellä käyttää maksimissaan 16 GPIO-lisäpinniä (Microchip a). Koska MCP23S17 vaatii onnistuneeseen tiedon välitykseen yhteensä 4 GPIO-pinniä mikroprosessorista, saadaan MCP23S17:ta käyttämällä laajennettua mikroprosessorin GPIO-pinien määrää 12:sta. Kuvassa 4 näkyy painikematriisin ensimmäisen prototyypin versio koekytkentälaudalla.



Kuva 4. Painikematriisin skannausta prototyypivaiheessa MCP23S17:n avulla

Resurssien säästämiseksi laitteen jokaisella funktiolla ei ole erillistä painiketta. Laitteesta löytyisi "funktio"-painike, jota painettaessa käyttäjä voisi käyttää laitteen painikematriisien painikkeita sekundaaristen funktioiden suorittamiseen. Tällöin 16 painikkeella pystyisiin teoreettisesti suorittamaan 32 eri toimintoa. Kuva 5 esittää painikematriisin sekundaaristen funktioiden asettelun painikesarakeittain.



Kuva 5. Painikkeiden sekundaariset funktiot lueteltuna etupaneelissa

Käyttäjä voi myös lähettää signaaleja muista Eurorack-moduuleista. Laitteessa on kaksi sisääntuloa signaaleille: "Clock" ja "Reset". "Clock"-signaalilla käyttäjä voi synkronoida laitteen toisten sekvensserien tai ohjainlaitteiden kanssa lähettämällä pulsseja sisääntuloon. "Reset"-signaalilla käyttäjä voi pysäyttää käynnissä olevan sekvenssin ulkoisella pulssilla. Kuten kuvassa 6 näkyy, laitteen sisään- ja ulostulot merkittiin laitteen etupaneeliin. Sisääntuloissa musta teksti valkoisella taustalla, ulostuloissa valkoinen teksti ilman taustaa.



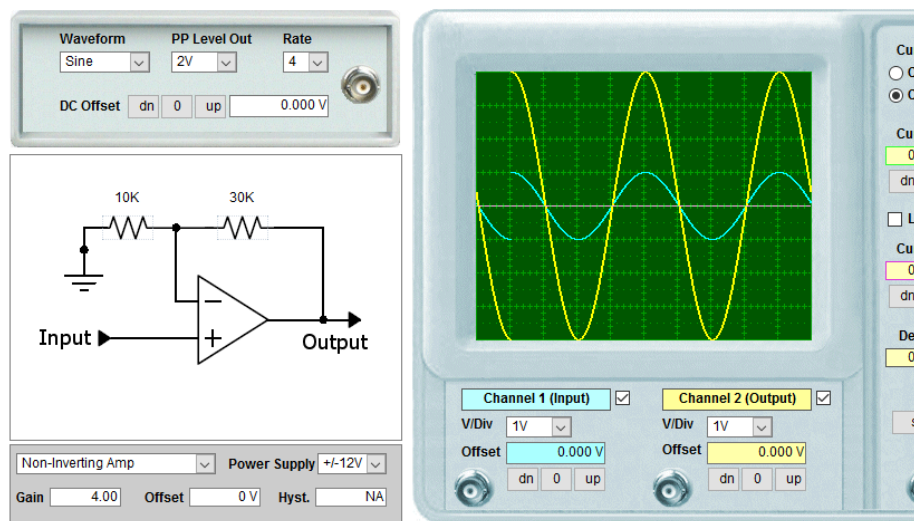
Kuva 6. Signaalien sisään- ja ulostulot merkittynä valmiissa etupaneelissa

3.1.2 Eurorack yhteensopivuus

Jotta sekvensserillä pystyisi ohjaamaan Eurorack-moduuleita tulisi sen noudattaa mm. "1V/oct"-periaatetta. Tällöin sekvensserillä voitaisiin ohjata mm. oskillaattoreiden sävelkorkeutta. Sävelkorkeuden ohjaamisesta vastaa signaali "Pitch". Sekvensseriin lisättiin myös ulostulot "Clock"-, "Gate"-, sekä "Mod"-signaalille. "Clock"-signaali koostuisi tietyin aikaväleihin toistuvista pulsseista, joilla voitaisiin ohjata moduuleita, joissa olisi sisääntulo ajoitus-signaalille. "Gate"-signaali on digitaalinen signaali, joka on joko päällä tai pois päältä. Sekvensserin käyttäjä pystyisi päättämään signaalin keston. Tällä signaalilla voitaisiin ohjata moduuleita, jotka toimivat "binäärisesti". "Mod"-signaali toimisi samalla tavoin kuin "1V/oct"-signaali, jolloin ulostulon jännite on liukuva luku käyttäjän määritelmän mukaan. Signaali ei kuitenkaan noudattaisi mitään standardia ohjauksen jännitteen suuruuden suhteen.

"Clock"- ja "Gate"-signaalit pystyttäisiin ottamaan suoraan mikroprosessorin ulostuloista. "Pitch"- ja "Mod"-signaalit ovat kuitenkin liukuvia arvoja, joten mikroprosessorin ja ulostulon väliin vaaditaan DAC (Digital-to-Analog-Converter), jolla mikroprosessorin digitaalisen signaalin voi muuntaa liukuvaksi ohjauksjännitteeksi. Sekvensserin DAC:ksi valittiin Microchipin valmistama kaksi kanavainen ja 12-bittinen "MCP4822" (Microchip b, s. 1). Kahden kanavan ansiosta yhdellä laitteella voitaisiin tuottaa molemmat "Pitch"-, sekä "Mod"-signaalit.

12-bittiä DAC:ssa vastaa 4096 mahdollista eri arvoa jännitteessä. MCP4822:ssa nämä arvot voivat olla väliltä 0-2,048 voltia, tai 0-4,096 voltia (Microchip b, s. 1). Jos sekvensserillä haluttaisiin soittaa 8 oktaavin väliltä jouduttaisiin DAC:n ulostulojännitettä skaalamaan oikein. Jännitteen skaalaamiseen kävisi mikä tahansa nykyaikainen operaatiovahvistin. Operaatiovahvistimen ulostulon vahvistamisen määrä riippuu sen tuloliittimiin kytketyistä vastuksista (Carter, Brown 2001, 8). Vahvistuksen määrän ja tarvittavien vastuksien arvot voi laskea helposti internetistä löytyvillä laskureilla. Kuvassa 7 esitetty eräs internetistä löytyvä laskuri vaadittujen arvojen laskemiseen.

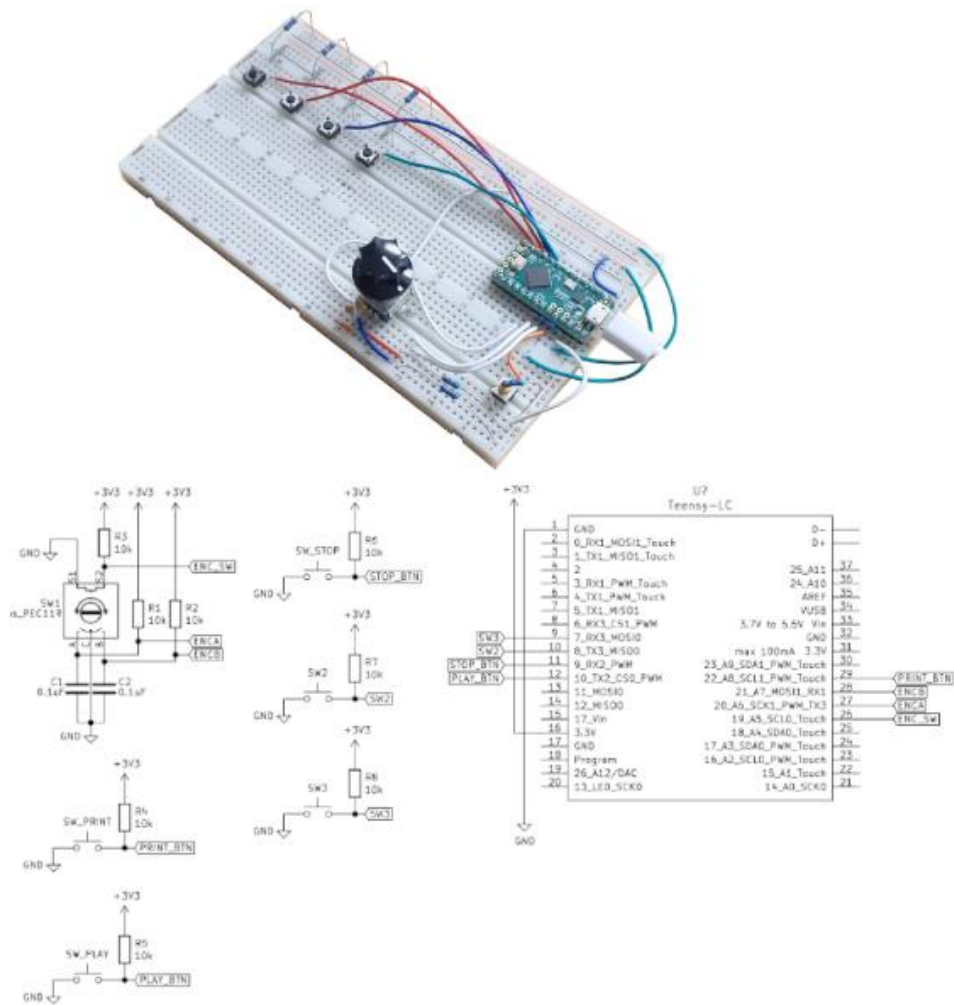


Kuva 7. "Music From Outer Space":n laskuri operaatiovahvistimille

3.2 Fyysinen laitteisto

Prototyyppiä rakennettaessa alustana kaikille kytkennöille käytettiin useampaa koekytkentälautaa. Koekytkentälaudoissa osa kytkentäaukoista on fyysisesti kytketty toisiinsa ja eri kytkentöjä voi yhdistää joko komponenteilla tai hyppylangoilla (kuva 8). Prototyypin koon kasvaessa eri elementtejä piireistä pystyttäisiin rakentamaan omille koekytkentälaudoille,

jotka voitaisiin myöhemmin yhdistää osaksi isompaa kokonaisuutta. Rakennetuista piireistä pidettiin yllä kytkentäkaavioita, jonka avulla piirit pystyttäisiin kääntämään piirilevy-piirroksiksi.

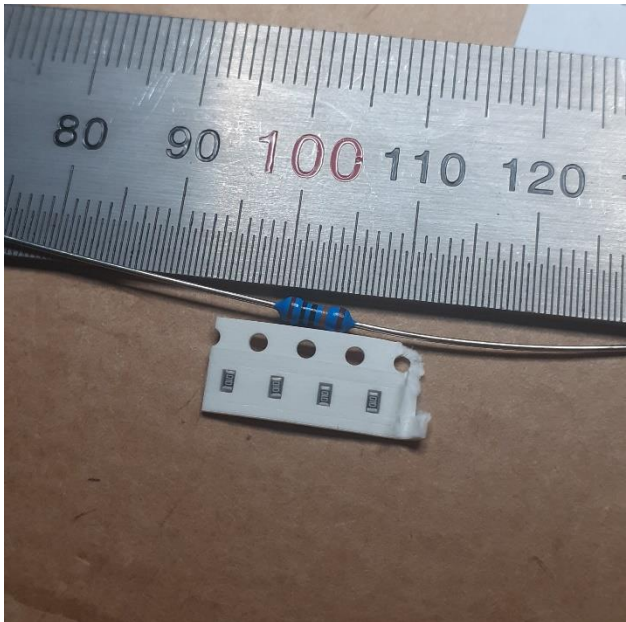


Kuva 8. Prototyyppi alkuvaiheessa, sekä piireistä tehty kytkentäkaavio

4 Tekninen monistaminen

Haaga-Heliassa Prototyypin kaikkien merkittävien komponenttien testauksen jälkeen seuraava työvaihe oli suunnitella laite monistettavaan muotoon. Laitteen monistaminen toiselle koekytkentälaudalle olisi erittäin työläs prosessi, eikä laitetta voisi millään tapaa käyttää integroituna osana Eurorack-syntetisaattoria laitteen suuren koon takia.

Jotta laite olisi teknisesti monistettava täytyisi sen manuaalisia asennusvaiheita eliminoida niin pitkälle kuin mahdollista. Näin voitaisiin tehdä mm. piirilevyjen kanssa niin, että käytettäisiin niin paljon pintaliitoskomponentteja kuin mahdollista. Pintaliitoskomponentit ovat perinteisiä läpiladottavia komponentteja huomattavasti pienempiä kuten kuvasta 9 on nähtävissä. Pintaliitoskomponenttien asennus piirilevyille voidaan useimmiten suorittaa piirilevyjä tuottavilla tehtailla.



Kuva 9. 100 kilo-ohmin vastuksia

4.1 Piirilevyn, sekä etupaneelin piirto


Laitteen prototyypin valmistuttua siihen vaiheeseen, että kaikki kriittisimmät toiminnot olivat valmiita, alkoi piirilevyn sekä etupaneelin suunnittelu. Etupaneelin muotoilu noudatti pitkälti piirilevypiirroksen luomia rajoitteita. Piirilevypiirros taas pohjautui käyttöliittymän suunnitteluvaiheessa tehtyihin päätöksiin. Prototyypivaiheen aikana ylläpidetyn kytkentäkaavan avulla prototyypin kytkennät oli helppo kääntää piirilevyllä komponenttien väliseksi juoviksi, kun kytkentäkaavaa ei erikseen tarvinnut piirtää tyhjästä.

Piirilevy, sekä etupaneeli suunniteltiin KiCad-ohjelmistolla. Koska piirilevyissä käytetty FR4-lasikuitukomposiitti on ominaisuuksiltaan suhteellisen vahvaa, käy se materiaaliksi myös etupaneeleissa.

Etupaneelin grafiikoiden suunnittelussa käytettiin KiCad:n lisäksi myös GIMP-kuvankäsittelyohjelmaa. Projektin tavoitteena ei ollut luoda yhteneväistä estetiikkaa laitteelle, mutta pyrkimys oli löytää yhdenmukainen graafinen ulkoasu. Piirilevystä otettiin kaikki kriittiset mitat, jotka määräisivät mm. enkooderin sekä potentiometrin vaativat reiät.

4.1.1 Piirilevy

Ennen varsinaisten piirilevyjen piirtoa kannattaa selvittää piirilevyjä valmistavia yrityksiä, sekä näiden yritysten tarjoamia palveluita. Komponenttien ja piirien kannalta on hyvä tarkastella yrityksen piirilevyille asettamia rajoituksia. Rajoituksia voivat olla esimerkiksi piirien johtimien minimipaksuus tai piirilevyn minimi- ja maksimitat (kuva 10). Rajoitukset voivat vaikuttaa komponenttien valintaan, jos halutaan käyttää esimerkiksi todella pieniä mikropiirejä, tai ohuita ja toisiaan lähellä olevia johtimia.

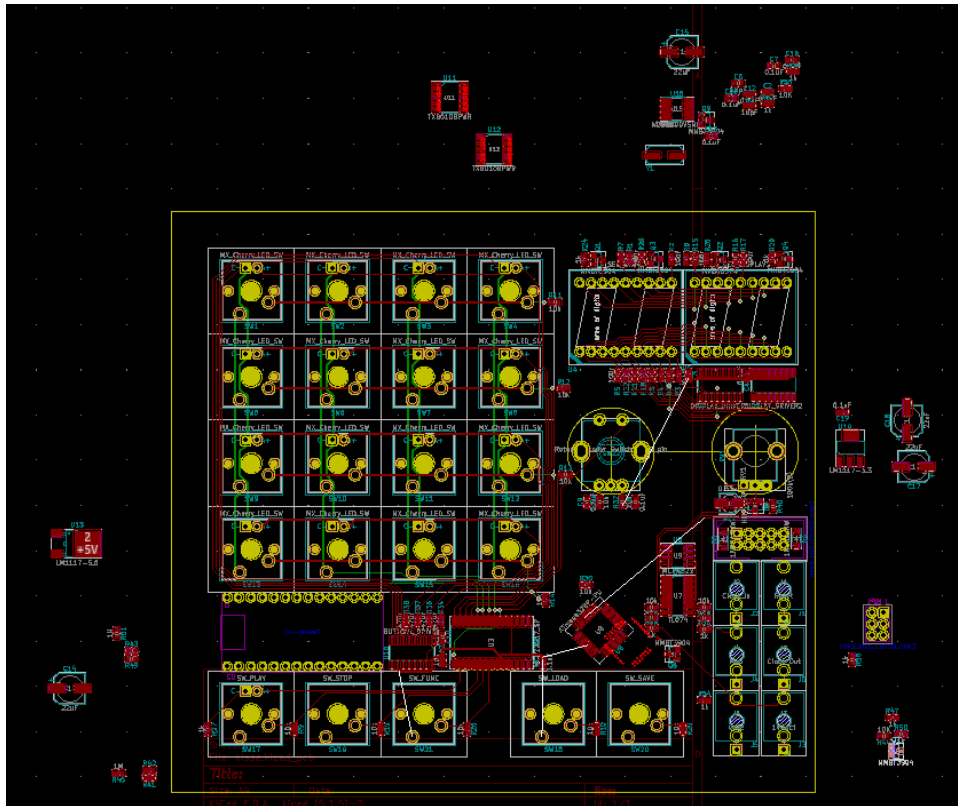
| Minimum trace width and spacing | | | |
|---------------------------------|--|--|---|
| Copper weight | Min. Trace width | Min. Spacing | Patterns |
| H/HOZ (Inner layer) | 5mil (0.127mm) | 5mil (0.127mm) |  |
| 1oz (Outer layer) | 1/2 layers: 5mil (0.127mm) 4/6 layers: 3.5mil(0.09mm) | 1/2 layers: 5mil (0.127mm) 4/6 layers: 3.5mil(0.09mm) | |
| 2oz (Outer layer) | 8mil (0.2mm) | 8mil (0.2mm) | |

Kuva 10. JLCPCB:n minimimittoja johtimille

Piirilevyjen valmistajaksi valittiin tässä projektissa JLCPCB. Valinta tehtiin opinnäytetyöntekijän aikaisemman kokemuksen johdosta. Muita vastaavia palveluja tuottavia yrityksiä ovat mm. ALLPCB ja Seeed Studio.

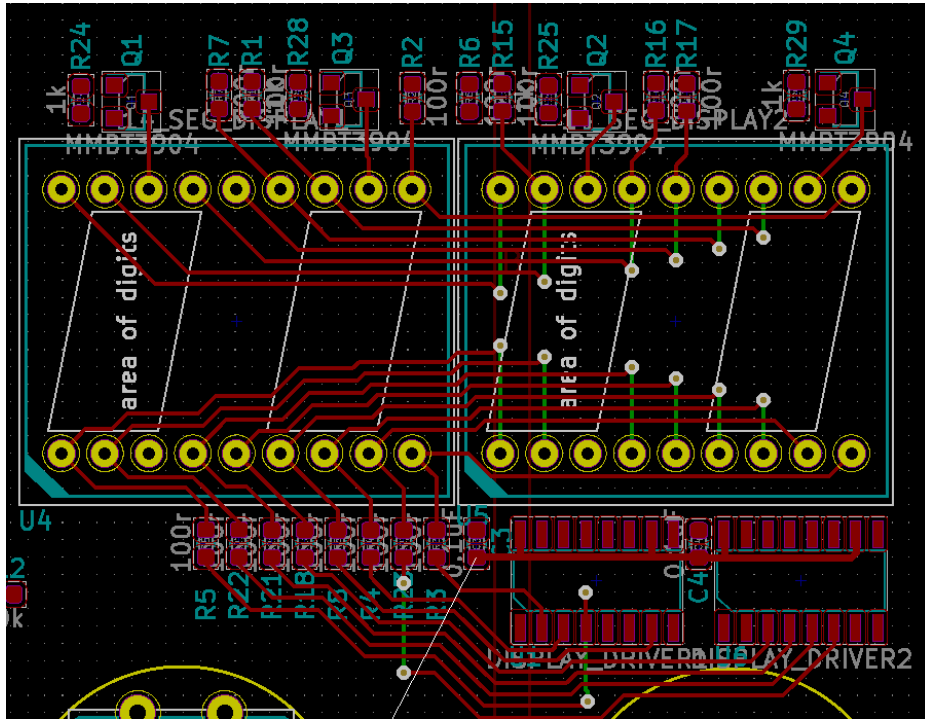
Teknisen monistamisen helpottamiseksi piirilevyillä päätettiin käyttää pintaliitoskomponentteja niin paljon kuin mahdollista. Pintaliitoskomponentit on mahdollista juotattaa kiinni piirilevyyn valmiiksi monilla piirilevyjä valmistavilla tehtailla. Tämä laskisi merkittävästi laitteen rakennusaikaa ja näin laskisi laitteen mahdollista katteetonta hintaa.

Piirilevyn piirron aikana ensiksi asetettiin paikoilleen käyttöliittymän kriittisimmät komponentit, kuten painikkeet, segmenttinäytöt sekä ulostulojakit. Kuvassa 11 esitettyä piirilevypiiirros, jossa kaikki kriittisimmät komponentit ovat asetettuna paikoilleen.



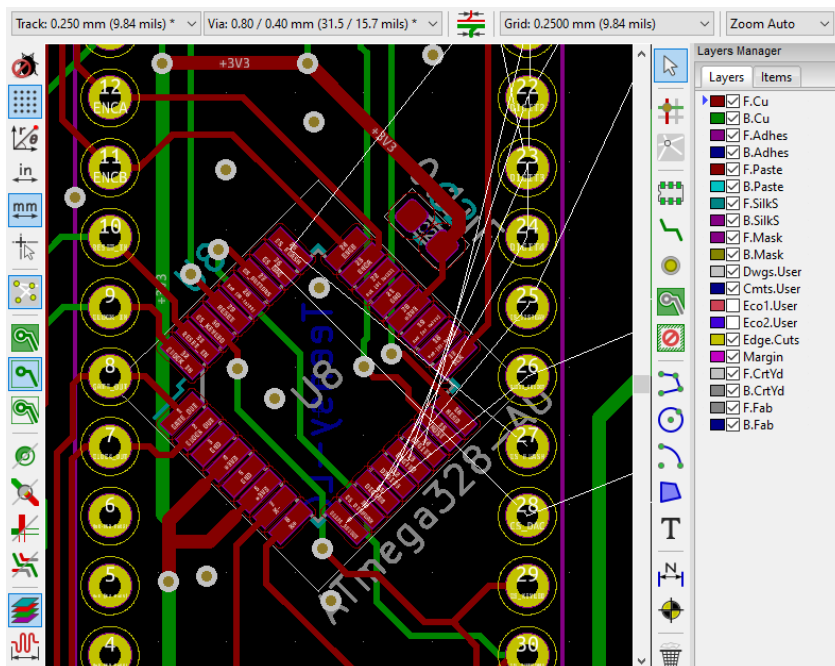
Kuva 11. Varhainen piirilevypiiirros

Laitteen komponentit sijoitettiin piirilevylle "funktioittain"; esimerkiksi segmenttinäytön ohjauksesta vastaavat piirit, vastukset ja transistorit reititettiin yhtenä kokonaisuutena. Tämän jälkeen näyttö kokonaisuutena sijoitettiin piirilevylle muiden komponenttien sekaan. Tarvittaessa komponentteja siirrettiin toisten tieltä, sekä reititystä optimoitiin. Esimerkiksi kuvassa 12 näkyvä segmenttinäyttöjen kokonaisuus luotiin erikseen ja tuotiin myöhemmin osaksi muuta piirilevyä.



Kuva 12. Segmenttinäyttöjen piirit

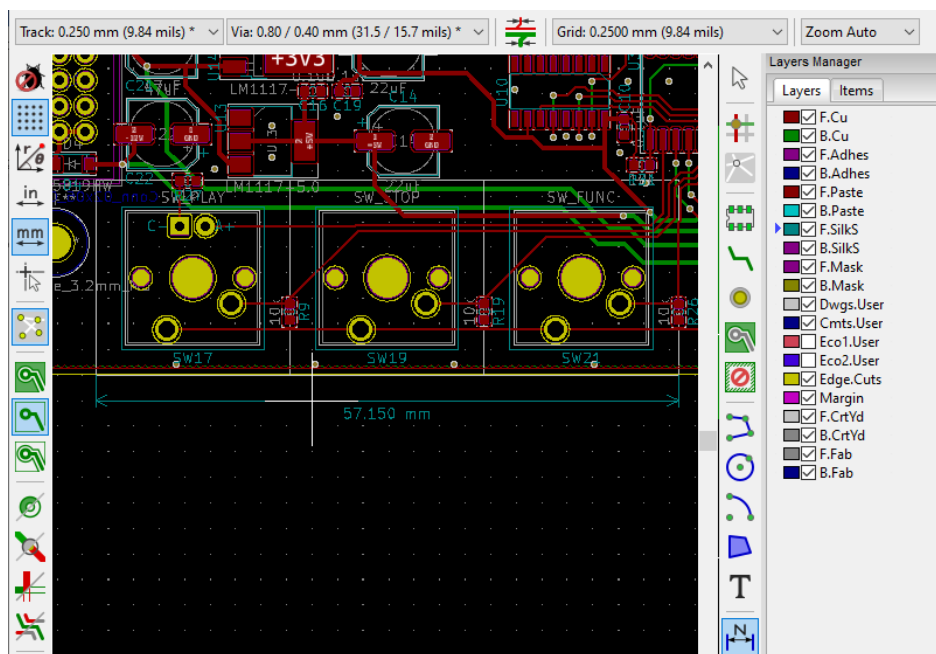
Piirien reititys tapahtuu seuraamalla kytkentäkaaviota, sekä piirilevyn piirto-ohjelman "ratsnest"-verkkoa, joka näyttää kaikki piirilevyllä kytkemättä olevat piirit. Vaikka "ratsnest" tarjoaa helpon visuaalisen työkalun reititykseen, kytkentäkaavion seuraaminen on silti tärkeää. Avoimet piirit näkyvät ohjelmassa valkoisina viivoina, kuten kuvasta 13 näkyy.



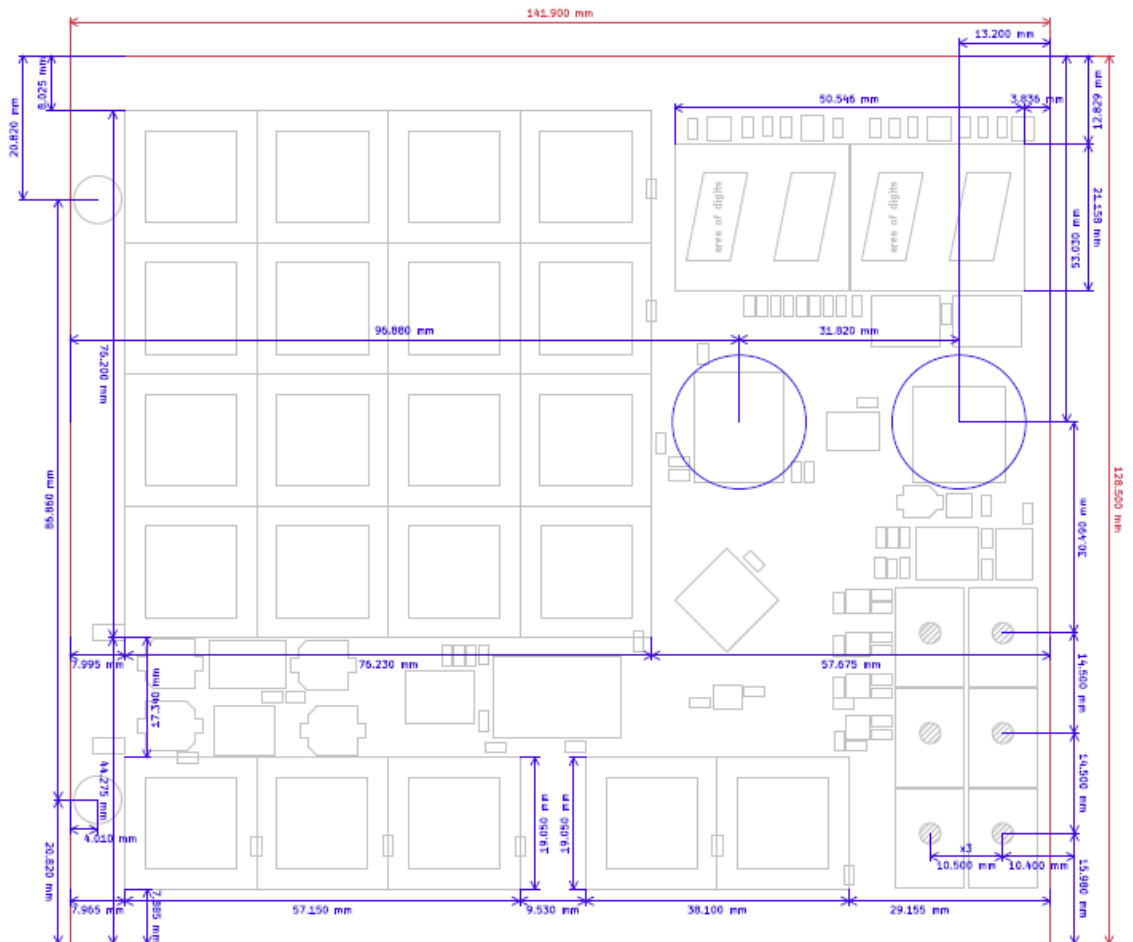
Kuva 13. Osittain kytketty mikroprosessori

Lopuksi kun kaikki komponentit olivat paikoillaan ja piirit reititetty otettiin käyttöliittymän kannalta kriittisistä komponenteista mitat suhteessa toisiinsa. Tämä helpottaisi etupaneelin suunnittelua. Piirilevyn piirto-ohjelmasta löytyy työkalu, jolla eri komponenttien välisiä etäisyyksiä pystyy mittaamaan ja asettamaan näkyville tasoille, jotka voidaan myöhemmin joko tulostaa tai kääntää pdf-tiedostoksi.

Esimerkiksi painikkeiden kohdalle olisi leikattava aukot, jotta painikkeita pystyttäisiin käyttämään (kuva 14). Kaikista piirilevyn mittoihin tai leikkauksiin vaikuttavista komponenteista otettiin mitat suhteutettuna toisiinsa, tai etupaneeliin (kuva 15).



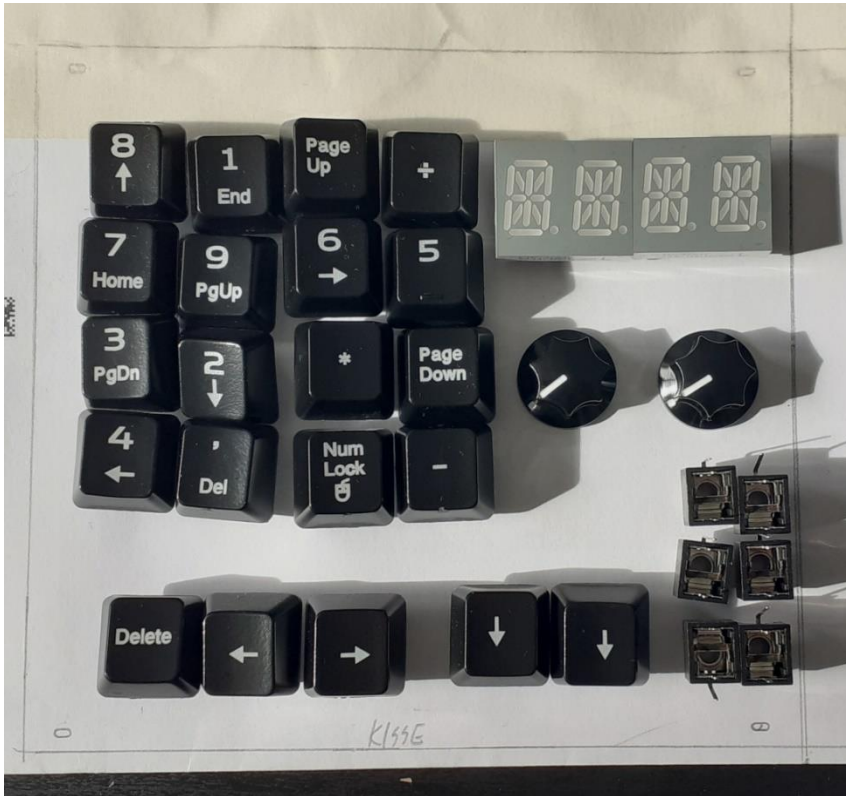
Kuva 14. Funktiopainikkeiden leikkausalueen mittausta



Kuva 15. Mittojen vektoripiirros

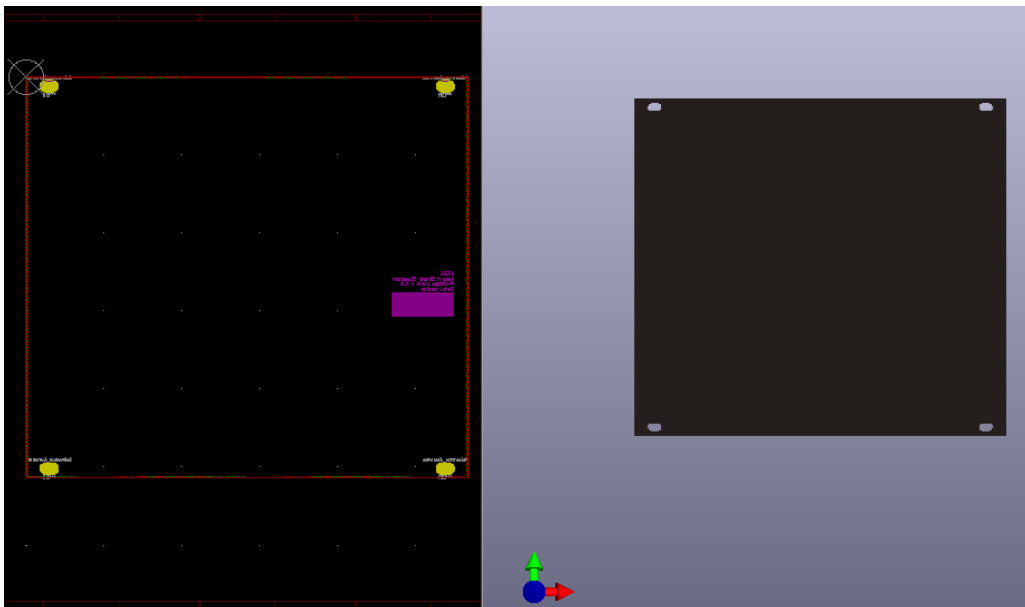
4.1.2 Etupaneeli

Etupaneelin piirto oli suhteellisen nopea prosessi, sillä Eurorack-formaatti määrittelee pitkälti paneelien mahdolliset mitat ja piirilevyn komponenttien asettelu määräsi mahdolliset reiät ja leikkaukset etupaneeliin. Käyttöliittymää laitteelle hahmoteltiin paperilla, jotta saataisiin jonkin näköinen käsitys laitteen "käsituntumasta". Prototyypissä käytettiin osittain valmiista laitteesta löytyviä komponentteja (kuva 16).

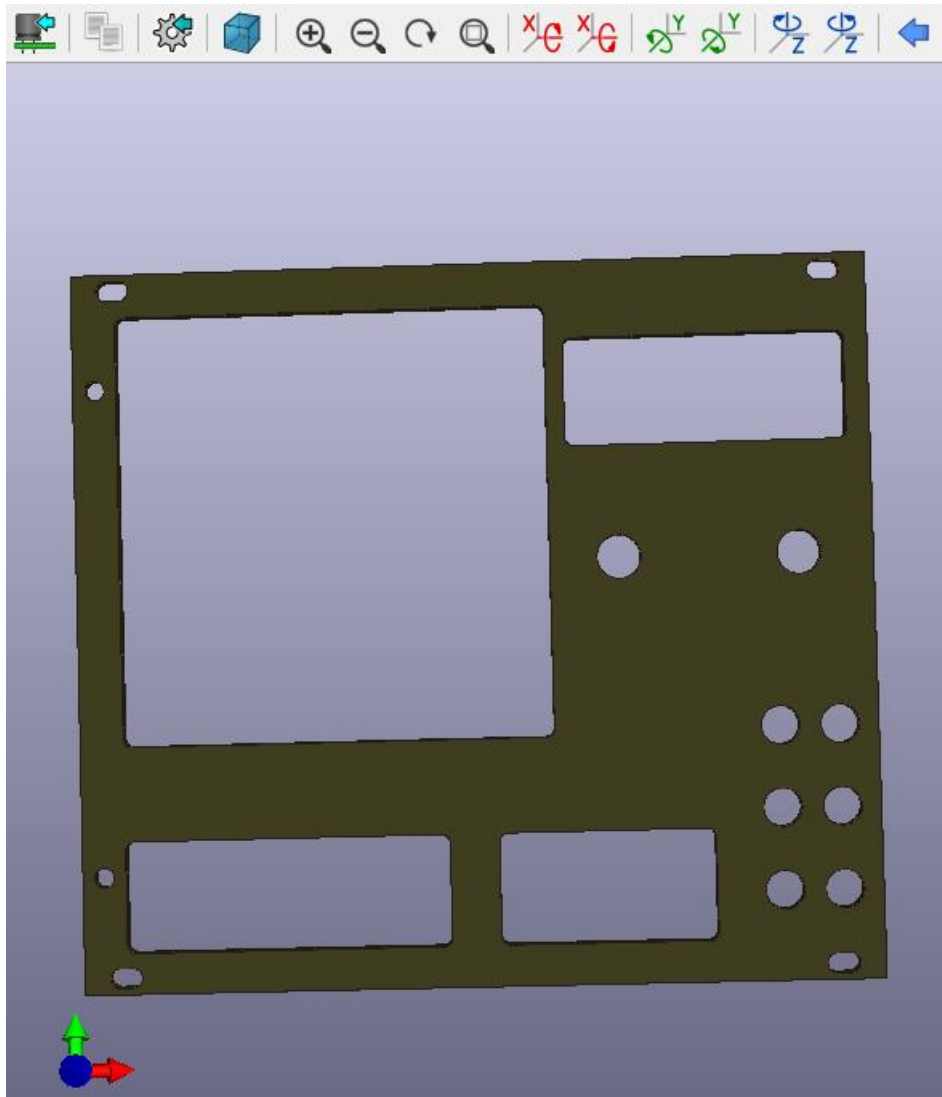


Kuva 16. Etupaneelin kokeilua paperilla

Kuvassa 17 näkyvien kiinnitysruuvien reikien jälkeen paneeliin leikattiin alueet kytkimille, sekä segmenttinäytöille. Myös potentiometrien, sekä ulos- ja sisääntulojakkien reiät asetettiin kohdilleen. Etupaneeli kaikkine vaadittavine leikkauksineen ja reikineen on esitettyä kuvassa 18.

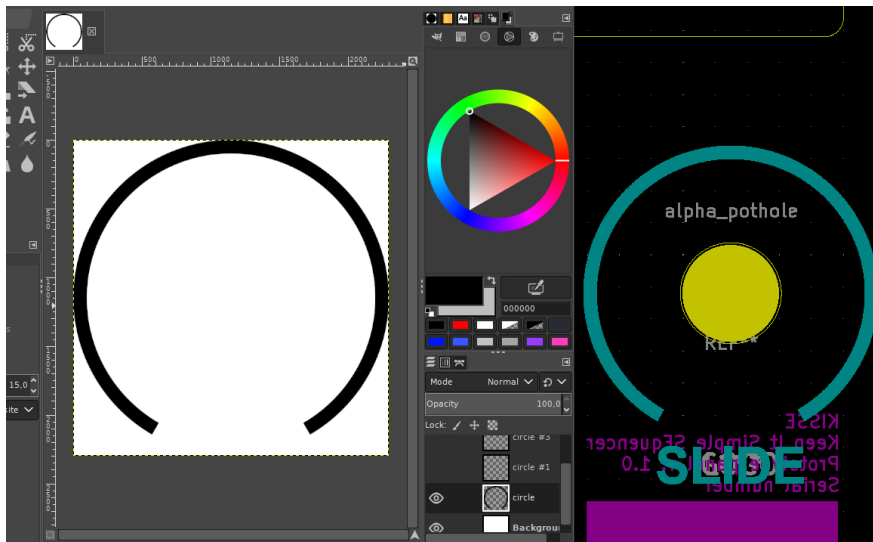


Kuva 17. Etupaneeli oikeissa mitoissaan

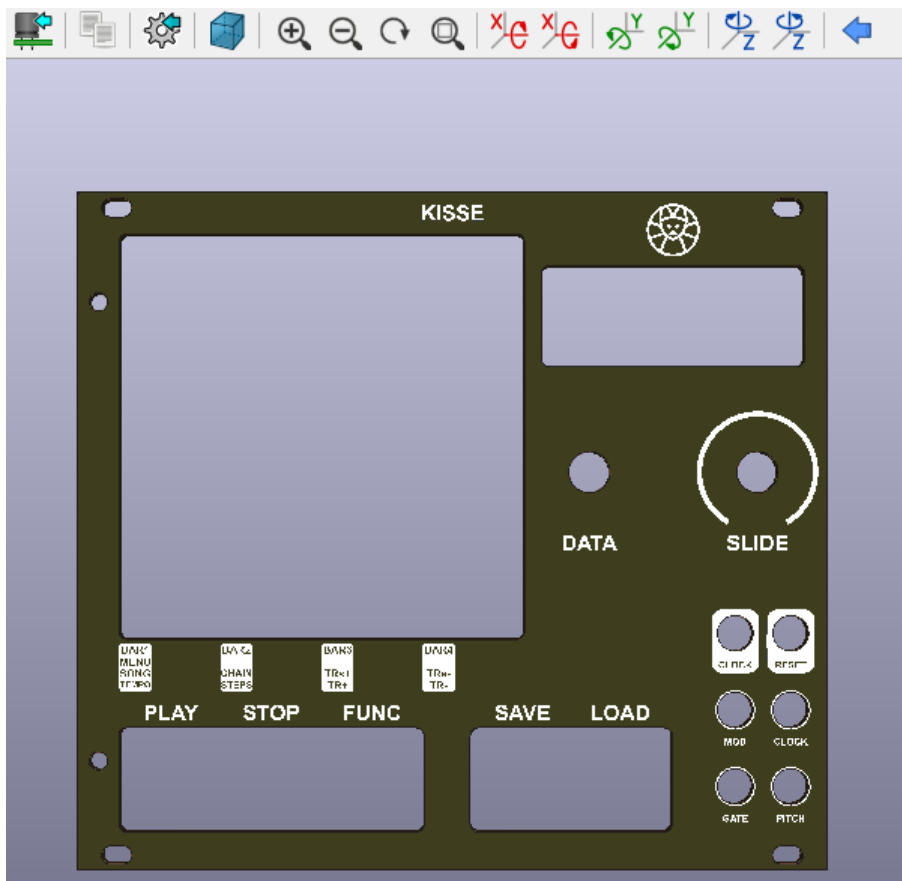


Kuva 18. Etupaneeli kaikkine vaadittavine leikkauksineen

Etupaneelin grafiikat luotiin GIMP-kuvankäsittelyohjelmalla, jonka jälkeen luodut kuvat muutettiin KiCadille sopivaan "footprint"-muotoon. Kuvassa 19 esitettyä yhden graafisen elementin muoto GIMP:ssä, sekä KiCad:ssä. Jokainen yksittäinen teksti tai muu graafinen elementti on oma "komponenttinsa" piirilevyllä. Jokaisen kuvan resoluutio asetettiin olemaan 1000ppcm, jolloin 1000 pikseliä leveys-, tai korkeussuunnassa vastaisi yhtä senttimetriä leveys-, tai korkeussuunnassa etupaneelilla. KiCad-ohjelmasta löytää aliohjelma "bitmap2component.exe", jolla kuvat muutetaan haluttuun muotoon. Ohjelma tunnistaa kuvan tarkkuuden automaattisesti. Graafisten elementtien suhdetta etupaneeliin voitiin tarkastella KiCad:n 3D-näkymästä (kuva 20).



Kuva 19. Potentiometrin kääntösädetä kuvaava kaari GIMP-kuvankäsittelyohjelmassa (vas.) ja valmiissa etupaneelipiirroksessa (oik.)



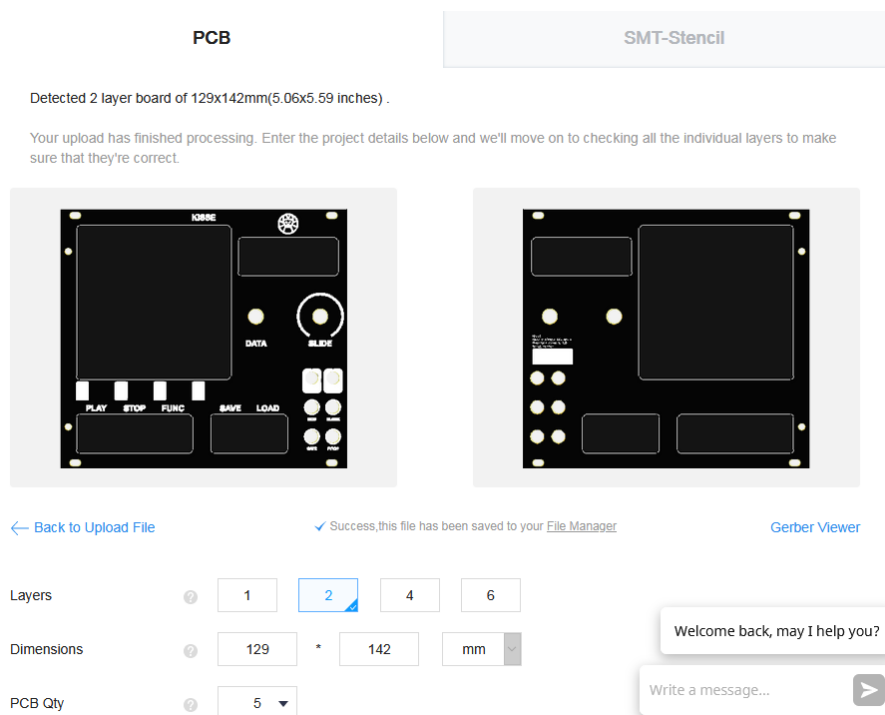
Kuva 20. Valmiin etupaneelin 3D-mallinnus

4.2 Piirilevyjen ja etupaneelien tilaus

Laitteen piirilevyjen ja etupaneelien tilauksen pystyisi tekemään samalta yritykseltä, sillä laitteen etupaneeliksi käy lujuutensa puolesta "tyhjä" piirilevy. Ennen tilausta tulisi piirilevy-piirrokset kääntää Gerber-tiedostomuotoon, jota tehtaiden koneet pystyvät lukemaan (Moreno-Báez & al. 2012, 241).

Piirilevypiirroksen kääntäminen onnistuu KiCad-ohjelmiston sisällä. Kun piirilevyjä valmistava taho on valittu kannattaa tarkistaa missä muodossa kyseinen yritys haluaa Gerber-tiedostot. Yritysten välillä on eroa esimerkiksi siinä, mitä tasoja pitää olla mukana Gerber-tiedostoissa. Ylensä yritykset tarjoavat myös kuvalliset ohjeet tunnetuimmille ohjelmistoille.

Useimmiten piirilevyjä voidaan tilata monissa eri paksuuksissa, mitoissa ja väreissä. JLCPCB:n tilaussivulla tulee myös näkyviin kuvat piirilevyjen molemmista puolista, jos Gerber-tiedostot on luotu onnistuneesti (kuva 21).

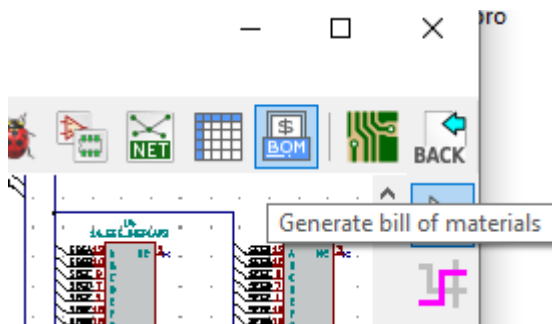


Kuva 21. Etupaneeli esikatseluikkunassa JLCPCB:n tilaussivulla

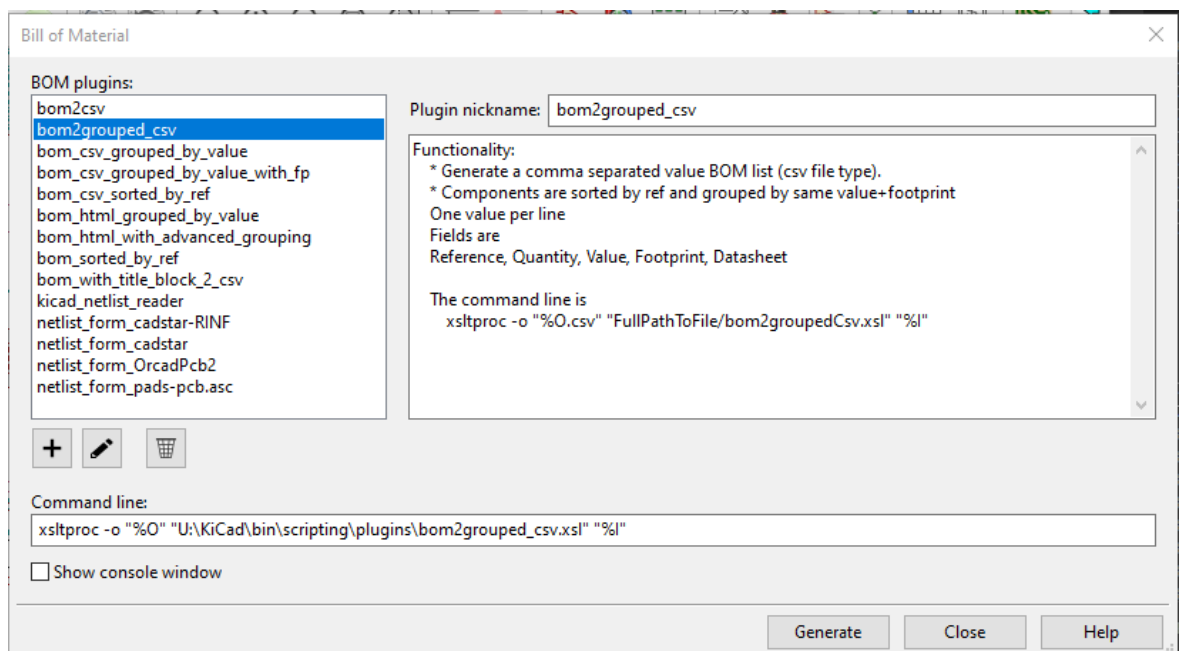
4.3 Komponenttien listaus ja tilaus

KiCad tarjoaa valmiit työkalut osalistojen luomiseen kytkentäkaavojen pohjalta, joka helpottaa huomattavasti projektien tekoa. Osalistoja kutsutaan yleisesti nimellä "Bill of Materials". KiCad:n sisäiset "Bill of Materials"-työkalut löytyvät kytkentäkaavio aliohjelmasta

(kuva 22, kuva 23). Kyseiseen listaan kuuluvat elektroniikkakomponenttien lisäksi myös kaikki muut laitteen rakentamiseen vaadittavat osat, kuten mm. piirilevyt, sekä etupaneelit. "Bill of Materials" on siis kattava, kaikkien komponenttien, osien ja raaka-aineiden lista joita vaaditaan minkä tahansa tuotteen rakentamiseen [(Grant 2020)](<https://www.investopedia.com/terms/b/bill-of-materials.asp>)





Kuva 22. KiCad:n "Bill of Materials"-työkalu löytyy kytkentäkaavaohjelman ylävalikosta



Kuva 23. "Bill of Materials"-työkalun eri vaihtoehtoja listan luomiselle

Tämän opinnäytetyön projektia varten tavallinen Excel-taulukko toimisi BOM:na. Taulukosta näkyisi kaikkien komponenttien kytkentäkaavassa käytetty viite, komponenttien arvo tai nimi, vaadittu lukumäärä, sekä Mouser-verkkokaupan viitenumero kyseiselle komponentille (kuva 24). Niiden komponenttien osalta, joita Mouser:n valikoimista ei löydy on ilmoitettu vaihtoehtoisen yrityksen nimi, sekä heidän komponentille käyttämänsä viite.

Mouser on elektronisten komponenttien jakelija, joka valittiin opinnäytetyön projektiin laajan valikoimansa ansiosta. Mouser-verkkokaupasta löytyy myös useita työkaluja projektienhallintaan, jotka mahdollistavat komponenttilistauksien helpon luomisen ja päivittämisen.

| | | | | | B | C | D | |
|----|---|---|--|--|----|----------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 20 |  | Mfr. No: CRCW06031000FKEAC Mfr.: Vishay Customer No: R42, R49 | 100kohms 1% Commercial Use RoHS Compliant By Exemption QuickView QuickView | | 1 | Quantity | Value | Mouser ref# |
| | | | | | 2 | | | |
| | | | | | 3 | 1 | 0.33uF | 710-865230640003 |
| | | | | | 4 | 2 | 22uF | 647-UWX1V220MCL1 |
| | | | | | 5 | 2 | 47uF | 710-865080543009 |
| | | | | | 6 | 2 | 18pF | 581-0603YA180KAT2A |
| | | | | | 7 | 13 | 0.1uF | 581-06033G104ZAT4A |
| | | | | | 8 | 2 | 1N5819HW | 621-1N5819HW-F |
| | | | | | 9 | 9 | MMBT3904 | 771-MMBT3904T/R |
| | | | | | 10 | 15 | 100r 1/4W | 71-RCS0603100RFKEA |
| | | | | | 11 | 19 | 10k | 71-CRCW060310K0FKEAC |
| | | | | | 12 | 14 | 1k | 71-CRCW06031K00FKEAC |
| | | | | | 13 | 4 | 470r | 71-CRCW0603470RFKEAC |
| | | | | | 14 | 2 | 100k | 71-CRCW0603100K0FKEAC |
| | | | | | 15 | 2 | 1M | 71-CRCW06031M00FKEAC |
| | | | | | 16 | 2 | 30k | 71-CRCW060330K0FKEAC |
| | | | | | 17 | 1 | Rotary_Encoder_Switch_wGND_pin | 652-PEC11R-4225F-S24 |
| | | | | | 18 | 3 | SN74HC595DR | 595-SN74HC595DR |
| | | | | | 19 | 1 | LM1117-5.0 | 926-LM1117IMPX50NOPB |
| | | | | | 20 | 1 | LM1117-3.3 | 926-LM1117DTX3.3NOPB |
| | | | | | 21 | 1 | W25Q80DVSNIG | 454-W25Q80DVSNIG |
| | | | | | 22 | 1 | MCP23S17_E/SO (SOIC-28W) | 579-MCP23S17T-E/SO |
| | | | | | 23 | 1 | LTP-3784E | 859-LTP-3784E |
| | | | | | 24 | 1 | TL074 | 595-TL074CD |
| | | | | | 25 | 1 | ATmega328-AU | 556-ATMEGA328P-AU |
| | | | | | 26 | 1 | MCP4822 | 579-MCP4822TESN |
| | | | | | 27 | 1 | 12MHz | 815-M8AIG-12-12T |
| 24 |  | Mouser No: 454-W25Q80DVSNIG Mfr. No: W25Q80DVSNIG Mfr.: Winbond Customer No: U15 | NOR Flash spiFlash 8M-bit, 4Kb Uniform Sector RoHS Compliant QuickView QuickView | | 28 | | | |

Kuva 24. Mouser-verkkokaupan ostoskori, sekä KISSE-projektin "Bill of Materials"

Projektin laitteen komponentit koottiin aluksi Mouser-verkkokaupassa ostoskoriin, jonka jälkeen ostoskori tallennettiin käyttäjän projekteihin (kuva 25). Näin tulevaisuudessa samat komponentit voitaisiin tilata pelkästään projektin viemisellä ostoskoriin. Sarjatuotantovaiheessa voitaisiin tässä kohti ostaa yksi "projekti" useita kertoja, jolloin projektien määrä kerrotaan haluttujen laitteiden määrällä.

Return to Project Manager home
Browse Mouser Catalogue
Go To All Products

Need Help Building a Project?
Need Help Editing a Project?
Need Help Ordering a Project?

Modify Project: KISSE BOM v1.0

Need Assistance Placing Your Order?
Let us help you: call +1 800 346-6873

KISSE BOM v1.0

Select All x 1

| Remove | Product Detail | Customer No | Order Qty. | Price (EUR) | Ext. (EUR) |
|---------------------------------|---|---|--------------------------------|-------------|------------|
| <input type="checkbox"/> Select | <p>Mouser No: 579-MCP4822TESN <input type="button" value="QuickView"/></p> <p>Mfr. No: MCP4822T-E/SN Manufacturer: Microchip Desc.: Digital to Analog Converters - DAC Dual 12-bit DAC with SPI interface and internal Vref RoHS: RoHS Compliant</p> | U9 <input type="button" value="x"/> | <input type="text" value="1"/> | 2,67 € | 2,67 € |
| <input type="checkbox"/> Select | <p>Mouser No: 595-TL074CD <input type="button" value="QuickView"/></p> <p>Mfr. No: TL074CD Manufacturer: Texas Instruments Desc.: Operational Amplifiers - Op Amps Low Noise JFET Input RoHS: RoHS Compliant</p> | U7 <input type="button" value="x"/> | <input type="text" value="2"/> | 0,559 € | 1,12 € |
| <input type="checkbox"/> Select | <p>Mouser No: 647-UWX1V220MCL1 <input type="button" value="QuickView"/></p> | C14, C15, C1 <input type="button" value="x"/> | <input type="text" value="4"/> | 0,28 € | 1,12 € |

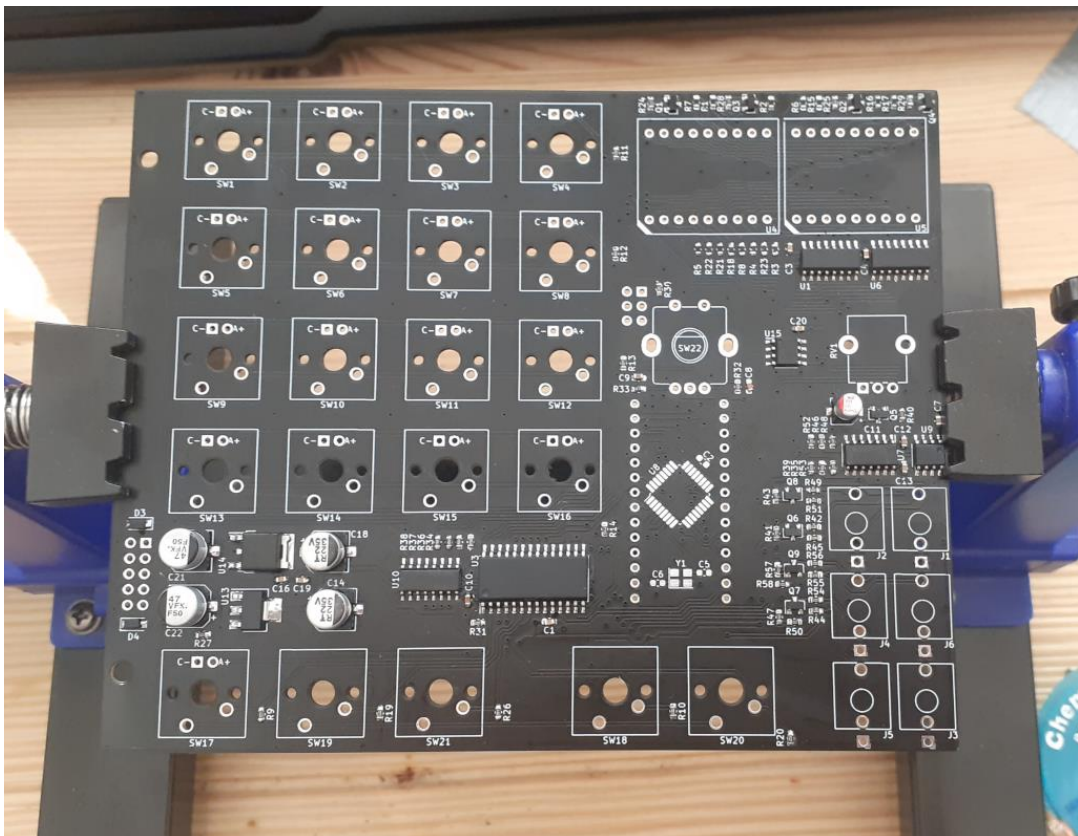
Kuva 25. Ostoskori muutettuna projektiksi

5 Laitteen rakennus ja laskelmat monistamisesta

Mahdollisesti tuotteeksi päätyvän laitteen lopullisen hinnan laskemiseksi tarvittaisiin laskelmat tai tarkat arviot kaikista laitteen rakennukseen liittyvistä kuluista. Laite vaatii jonkin verran käsin asennusta ja tämän työmäärän rahallinen arvo on aina arvio riippuen siitä, kuinka nopeasti ja millä tuntipalkalla rakentaminen pystytään toteuttamaan. Näistä saaduista laskelmista voidaan laskea suhteellisen tarkka katteeton hinta laitteelle.

5.1 Laitteen kokoonpano

Laitteen kokoonpanossa pintaliitoskomponenttien asennukseen kulunutta aikaa ei olla otettu huomioon. Projektin ajoituksessa on lähdetty oletuksesta, että pintaliitoskomponentit ovat juotettu tehtaalla valmiiksi piirilevyille. Tätä ei kuitenkaan tehty tämän projektin puitteissa komponenttien saatavuuden ja koronarajoitusten aiheuttamien mahdollisten tuotantoviivästyksien takia. Pintaliitoskomponentit asennettiin käsin yhteen laitteeseen (kuva 26).



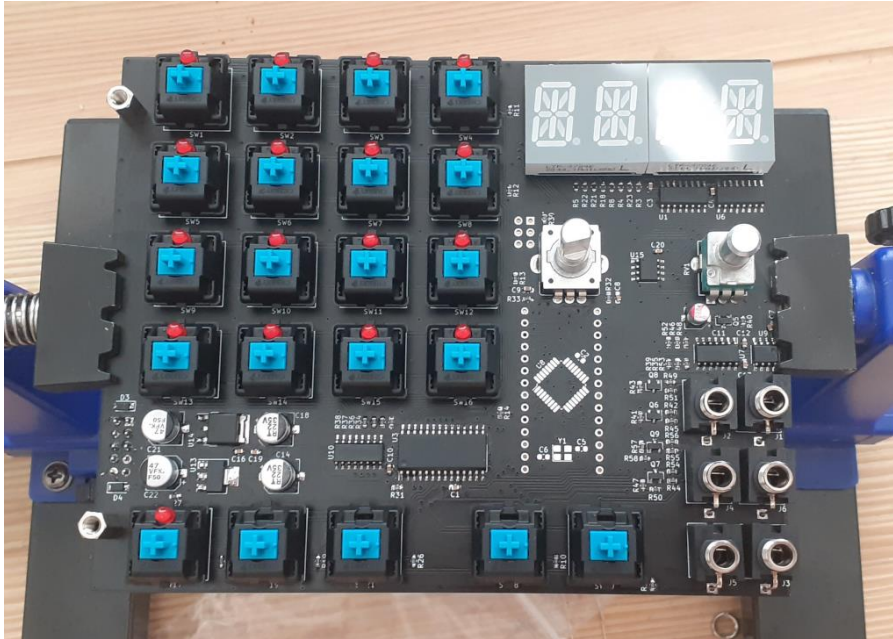
Kuva 26. Pintaliitoskomponentit asennettuna piirilevyille

Käsin asennusta varten piirilevy asetettiin piirilevytelineeseen (kuva 27). Etupaneelia käytettiin apuna lähtöjakkien, enkooderin, segmentinäyttöjen, sekä potentiometrin asettamiseen paikoilleen. Asennus ajoitettiin puhelimen sekuntikellolla. Kaikki käsin asennettavat komponentit otettiin valmiiksi esille ja järjestettiin asennusjärjestyksen mukaan.



Kuva 27. Työpiste ennen asennusta

Käsin asennus kesti yhteensä 21 minuuttia ja 19 sekuntia. Lopullisissa laskelmissa tämä voidaan pyöristää 20 minuuttiin, sillä asennuksen aikana piirilevytelineen ruuveja jouduttiin jatkuvasti kiristämään laitteen huonon kunnon takia. Laitteesta jäivät asentamatta ICSP-, sekä piikkirimaliittimet Teensy LC:lle. Näiden asentaminen on kuitenkin helppoa ja suoraviivaista, joten niiden puuttuminen ei vaikuta lopulliseen 20 minuutin aikaan.



Kuva 28. Valmis laite ilman etupaneelia

Harjoittelun myötä laitteen asennukseen kuluva aika voisi olla 15 minuuttia. Laitteen rakennukseen kuluva aika voitaisiin jopa puolittaa 10 minuuttiin, jos laitteen käyttämät kytkimet eivät vaatisi läpiladottavien LED-komponenttien käyttöä.

5.2 Laskelmat laitteen monistamisesta

Tämän opinnäytetyön projektin aikana on jätetty pois tarkka laitteen ohjelmistokehitykseen kuluva aika, sekä tästä koituvat kustannukset. Projektisuunnitelmassa tämän ajan on kuitenkin arvioitu kustantavan 10 000 euroa. Tämä luku on muodostunut 750 euron teoreettisesta viikkopalkasta, joka on kerrottu 13:sta työviikolla. Tätä lukua ei kuitenkaan tulla suhteuttamaan laitteen rakennuskustannuksiin.

Laitteen rakennuksen kustannuksissa oletetaan yhden työtunnin maksavan 20 euroa. Yhden tunnin aikana pystyisi realistisesti rakentamaan kolme valmista laitetta. Yhden laitteen rakennukseen käytettävä aika tulisi siis maksamaan n. 6,67 euroa. Komponenttien, piirilevyjen, sekä etupaneelien hinnat saatiin suoraan projektin aikana tehdyistä tilauksista, tai verkkokauppojen projektienhallinnasta.

Yhden laitteen rakennuksen hinta koostui rakennukseen käytetystä ajasta, komponenttien, etupaneelin, sekä piirilevyn hinnasta. Rakennukseen kuluneessa ajassa ei otettu huomioon pintaliitoskomponenttien juottamiseen kulunutta aikaa, sillä tavallisesti se olisi tehty jo piirilevyjä valmistavalla tehtaalla. Laskelmat tehtiin excel-taulukkoon (kuva 29).

Yhden laitteen kustannukset jaoteltuna:

- Rakennuksen kulut: 6,67€ ((20€/h) / laitteen rakennukseen kulunut aika).
- Mouser:n komponenttien hinta: 27,89€.
- TME:n komponenttien hinta: 2,285€
- Reicheltin komponenttien hinta: 12,6€
- UK-Electronic:n komponenttien hinta: 2,25€
- Piirilevy: 2,234€
- Etupaneeli: 2,436€

Yhdelle laitteelle tuli hintaa yhteensä 56,365 euroa.

Yhden yksittäin rakennetun laitteen hinta on aina kalliimpi kuin useamman, sillä komponenttien jakelijat antavat alennuksia komponenttien hintoihin tilausmäärän kasvaessa. Seuraavaksi laskettiin sadan laitteen mahdolliset kustannukset.

Sadan laitteen kustannukset jaoteltuna:

- Rakennuksen kulut: 666,67€ (yhden laitteen hinta * 100).
- Mouser:n komponenttien hinta: 1643,2€
- TME:n komponenttien hinta: 133,88€
- Reicheltin komponenttien hinta: 882€
- UK-electronic:n komponenttien hinta: 186,86€
- Piirilevyt: 126,42€
- Etupaneelit: 143,42€

Sadalle laitteelle tulisi hintaa yhteensä 3782,45 euroa. Tällöin yhdelle laitteelle sadan laitteen sarjasta tulisi hintaa n. 37,82 euroa.

Sadan laitteen erässä yhden laitteen hinta olisi vain 67,1 prosenttia yhden yksittäin rakennetun laitteen hinnasta.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-----------------------------------|-----------|---|----------------------|--------|---|-----------------|------|
| 1 | Yksittäisen laitteen kustannukset | | | TME BOM | x1 | | Reichelt BOM x1 | |
| 2 | | € per kpl | | | TME | | | |
| 3 | Rakennus (€/h) | 6,67 | | cap | 0,22 | | switch | 0,6 |
| 4 | Mouser BOM | 27,89 | | cap | 0,3 | | amount | 21 |
| 5 | TME BOM | 2,285 | | knob6.3 | 0,79 | | | 12,6 |
| 6 | Reichelt BOM | 12,6 | | knobD | 0,575 | | | |
| 7 | uk-electronic BOM | 2,25 | | header | 0,4 | | | |
| 8 | PCB | 2,234 | | | 2,285 | | | |
| 9 | Etupaneeli | 2,436 | | | | | | |
| 10 | YHT. | 56,365 | | uk-electronic BOM x1 | | | | |
| 11 | | | | jack | 0,45 | | | |
| 12 | | | | pot | 1,8 | | | |
| 13 | | | | | 2,25 | | | |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | 100 laitteen kustannukset | | | TME BOM | | | Reichelt BOM | |
| 16 | | €/100kpl | | | TME | | | |
| 17 | Rakennus (3kpl/h) | 666,67 | | cap | 16,23 | | switch | 0,42 |
| 18 | Mouser BOM | 1643,2 | | cap | 22,42 | | amount | 2100 |
| 19 | TME BOM | 133,88 | | knob6.3 | 61,92 | | | 882 |
| 20 | Reichelt BOM | 882 | | knobD | 32,91 | | | |
| 21 | uk-electronic BOM | 186,86 | | header | 0,4 | | | |
| 22 | PCB | 126,42 | | | 133,88 | | | |
| 23 | Etupaneeli | 143,42 | | | | | | |
| 24 | YHT. 100kpl | 3782,45 | | uk-electronic BOM | | | | |
| 25 | 1 kpl | 37,8245 | | jack | 34 | | | |
| 26 | | | | pot | 152,86 | | | |
| 27 | | | | | 186,86 | | | |
| 28 | | | | | | | | |

Kuva 29. Laskelmia laitteen monistamisesta

6 Tulokset ja retrospektiivi

Henkilökohtaisesti olen hyvin tyytyväinen opinnäytetyön tuloksiin. Ohjelmistokehityksen aikana vastaan tuli useita vaikeuksia sekä viivästymisiä, jonka johdosta ohjelmisto kokonaisuutena jäi testaamatta. Tästä syystä myös rakennettua laitetta ei päästy kokeilemaan sille tarkoitetussa ympäristössä.

Edellä mainitut ongelmat eivät kuitenkaan ole vaikuttaneet varsinaisen opinnäytetyön tuloksiin. Vaikka toimiva laite projektin lopuksi olisi ollut hieno lopputulos, sen jääminen lopputuloksista ei ole vaikuttanut opinnäytetyön keskeisiin tuloksiin.

Suurimpana onnistumisena koen henkilökohtaisesti olleen koko prosessin oppimisen, sekä sen onnistuneen läpikäymisen suhteellisen lyhyessä ajassa. Olen harrastuksieni puolesta aiemmin tehnyt teknisen monistamisen prosessin osista yhden tai useamman aina jotakin pientä projektia varten. En kuitenkaan koskaan ole käynyt koko prosessia läpi yhden projektin puitteissa.

Itse teknisen monistamisen prosessista ei jäänyt käymättä mitään oleellista ja prosessi on toivottavasti toistettavissa ulkopuolisten tahojen toimesta. Tältä osin on vaikea arvioida opinnäytetyön onnistumista, sillä jotta prosessin voi todeta olevan toimiva ja selkeä tulee sen olla toistettavissa. Toivon, että tulevaisuudessa joillekin on tämän opinnäytetyön tuloksista hyötyä.

Varsinaisen laitteen kustannuksista olin yllättynyt. Olin ajatellut aluksi, että yksittäisen laitteen hinta olisi ollut paljon korkeampi. Teoreettisen 100 kappaleen sarjasta yhden laitteen hinnan alhaisuus hämmästytti myös. Vallitsevan koronatilanteen takia jotkin automatisoidut prosessit jäivät kokeilematta, joten "normaaliolojen" hintaa laitteelle on vaikea arvioida.

Lähteet

Carter, B., Brown, T.R., 2001. Handbook of operational amplifier applications. Texas Instruments. Luettavissa: <https://www.tij.co.jp/jp/lit/an/sboa092b/sboa092b.pdf>. Luettu 4.5.2021.

Doepfer a. A-100 Construction Details. Luettavissa: http://www.doepfer.de/a100_man/a100m_e.htm. Luettu 26.4.2021.

Doepfer b. A-100 Construction Details. Luettavissa: http://www.doepfer.de/a100_man/a100t_e.htm. Luettu 26.4.2021.

Grant, M. 2020. Bill of Materials (BOM). Investopedia. Luettavissa: <https://www.investopedia.com/terms/b/bill-of-materials.asp>. Luettu 26.4.2021.

Karppila, A. 2014. Arduino-pohjainen laite liikkeen ja lämpötilan monitorointiin. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu, Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma. Luettavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/81790>. Luettu 26.4.2021.

Leens, F. 2009. An introduction to I2C and SPI protocols. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 12(1). s. 8-13. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4762946>. Luettu 30.4.2021.

Louis, L. 2016. Working principle of Arduino and using it as a tool for study and research. Gujarat International Journal of Control, Automation, Communication and Systems, 1(2). s. 21-29. Luettavissa: <https://doi.org/10.5121/ijcacs.2016.1203>. Luettu 30.4.2021.

Meyer, C. 2016. 1 v/oct. Learning Modular. Luettavissa: <https://learningmodular.com/glossary/1-voct/>. Luettu 26.4.2021.

Microchip a. MCP23017/MCP23S17. Luettavissa: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001952c.pdf>. Luettu 26.4.2021.

Microchip b. MCP4802/4812/4822. Luettavissa: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20002249B.pdf>. Luettu 4.5.2021.

Moreno-Báez, A., Miramontes-de León, G., García-Domínguez, E. & Sifuentes-Galardo, C. 2012. Processing Gerber files for manufacturing printed circuitboards. *Procedia Engineering*. 35. s. 240-244. Luettavissa: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.186>. Luettu 30.4.2021.

Pinch, T. 2008. Technology and institutions: Living in a material world. *Theory and society*, 37(5). s. 461-483. Luettavissa: <https://doi.org/10.1007/s11186-008-9069-x>. Luettu 4.5.2021.

PJRC. Teensy® USB Development Board. Luettavissa: <https://www.pjrc.com/teensy/>. Luettu 26.4.2021.

PlatformIO. What is PlatformIO?. Luettavissa: <https://docs.platformio.org/en/latest/what-is-platformio.html>. Luettu 26.4.2021.

Rahman, L. F., Rudham, F. A., Reaz, M. B. I. & Marufuzzaman, M. 2016 The evolution of digital to analog converter. *International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*. s. 151-154. Luettavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7888028/metrics#metrics>. Luettu 30.4.2021.

Reverb 2020. Beginner's Guide to Eurorack: Case Basics, Power Supplies, and Your First Modules. Luettavissa: <https://reverb.com/news/beginners-guide-to-eurorack-case-basics-oscillators-filters>. Luettu 26.4.2021.

Tindall, L. 2020. Modular Synthesis and UNIX. Luettavissa: <https://nora.codes/post/modular-synthesis-and-unix/>. Luettu 26.4.2021.

Warren, JD. Adams, J. Molle, H. 2011. *Arduino Robotics*. Yhdysvallat: Ap-ress. 626 s. ISBN 978-1-4302-3184-4.

White, E. 2011. *Making Embedded Systems*. Yhdysvallat: O'Reilly Media. 300 s. ISBN 978-1-4493-0214-6.

Yan, X. Gu, P. E. N. G. 1996. A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer-aided design*, 28(4) s. 307-318. Luettavissa: [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(95\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0010-4485(95)00035-6). Luettu 30.4.2021.