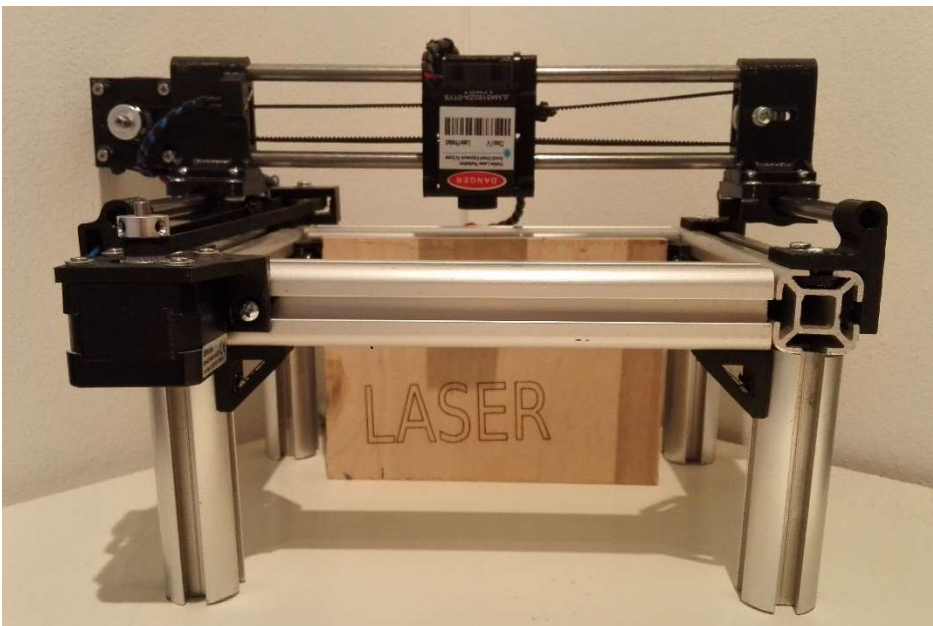


Joni Tolonen

CNC-lasermerkkain



Insinööri (AMK),

tieto- ja viestintäteknikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä(t): Tolonen Joni

Työn nimi: CNC-lasermerkkain

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tietotekniikka

Asiasanat: laser, CNC, Raspberry Pi, Arduino Mega

Lasereita hyödynnetään nykyään monenlaisissa sovelluksissa optisesta tiedonsiirrosta teolliseen tuotteiden merkintään saakka. Lasereiden hyödyntäminen kaupallisissa sovelluksissa alkoi laseriodin tultua markkinoille. Edullisen hinnan ja hyvän saatavuuden ansiosta ne tulevat yleistymään entisestään.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Superpark Oy. Yrityksellä on useita sisäliikuntapuistoja Suomessa. Toimeksiannon alkuperäisenä tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa laitekokonaisuus, jolla voitaisiin palkita aktiveettipuiston kävijä laserilla merkatulla esineellä. Osana laitekokonaisuutta toimii itse toteutettu CNC-lasermerkkain, joka ymmärtää CNC-laitteille tyypillistä G-koodia. G-koodikomentoja syötetään laitteelle sarjaliikenteen avulla USB-kaapelin välityksellä Raspberry Pi:llä. Projektin edetessä työtä rajattiin siten, että kokonaisuudesta jätettiin pois kuljettimen ja kameran toteutus.

Laservalo poikkeaa muista valoista syntytapansa perusteella. Valoa vahvistetaan stimuloidulla emissiolla, joka on kvanttimekaaninen ilmiö. Työssä laservalo muodostetaan puolijohdelaserilla, joka muuttaa sähkötehon valotehoksi.

Laitteen valmistus sisälsi monipuolisesti erilaisia aihealueita, kuten mekaniikkaa, 3D-suunnittelua, elektroniikkaa ja ohjelmointia. Työssä perehdytään laitteen rakenteeseen, toimintaperiaatteeseen ja valmistukseen osa-alue kerrallaan. Työssä toteutettiin toimeksiannon mukainen laite, jota pystyy jatkjalostamaan erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Abstract

Author(s): Tolonen Joni

Title of the Publication: CNC Laser Engraver

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information Technology

Keywords: laser, CNC, Raspberry Pi, Arduino Mega

Commissioner of this thesis was Superpark Ltd. Superpark has many indoor sports activity parks around Finland. The original idea to this thesis was to design and manufacture a laser engraver with user interface. For example, that would have been used to make a wooden key fob with laser engraved picture.

Nowadays lasers are used in various applications from optical data transferring to laser engraving. The utilization of lasers in commercial applications became more popular after the laser diode became more common. The spreading of lasers will continue because of the cheap price and good availability of the laser diodes.

This thesis starts with laser theory and then moves on to manufacturing the CNC laser engraver. This project included many different phases and topics, such as mechanics, 3D design, electronics and programming. During the project it needed to be narrowed down because of the scale of the project.

The CNC laser engraver was successfully manufactured and is usable device for the commissioner. Further development can be made to modify the device to different needs.

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Laselit.....	2
2.1	Polarisaatio	2
2.2	Aallonpituus	3
2.3	Laservalo	3
2.3.1	Lasertyytit	5
2.3.2	Puolijohdelaseri	5
2.4	Lasermerkkaus.....	7
2.4.1	Turvallisuus	8
2.4.2	Turvallisuusluokat.....	8
2.5	Valtioneuvoston asetuksia.....	8
3	Arduino Mega.....	10
3.1	RAMPS 1.4 -lisäkortti	11
3.2	Ohjelmisto	12
4	Raspberry Pi	13
4.1	Ominaisuudet.....	14
4.2	GPIO laitteen ohjauksessa.....	14
4.3	Ohjelmoiminen	15
5	Laitteen suunnittelu ja toteutus.....	16
5.1	Runko	16
5.2	Osien suunnittelu SolidWorksillä	17
5.3	Osien valmistus 3D-tulostimella	18
5.4	Mekaniikka	19
5.4.1	Hammashihnat.....	20
5.4.2	Laakerointi.....	21
5.5	Elektroniikka.....	22
5.6	Askelmoottorit	22
5.7	Laitteohjelmisto	23
5.8	Laserin ja laitteen ohjaus.....	25
5.8.1	G-koodi.....	26
5.8.2	Sarjayhteys.....	28

6	Työn suoritus ja tulokset.....	30
7	Yhteenveto.....	32

TERMILUETTELO

ADC	Analog Digital Converter
BLE	Bluetooth Low Energy
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
CSI	Camera Serial Interface
DSI	Display Serial Interface
FDM	Fused Deposition Modeling
Firmware	Laiteohjelmisto, joka huolehtii laitteen toiminnoista.
GPIO	General Purpose Input / Output
HDMI	High Definition Multimedia Interface
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RAMPS	RepRap Arduino Mega Pololu Shield
RPI	Raspberry Pi
SD	Secure Digital
SSH	Secure Shell
STUK	Säteilyturvakeskus
USB	Universal Serial Bus

1 Johdanto

Työn tilaajana oli Superpark Oy. Yritys kävi tekemässä yritysesittelyn Kajaanin ammattikorkeakoululla syyskuussa 2017, ja sitä kautta aihe opinnäytetyöhön löytyi. Superpark on yritys, jolla on sisäaktiviteettipuistoja kaiken ikäisille. Suomen lisäksi yrityksellä on puistoja myös ulkomailla.

Työn tavoitteeksi muodostui laserlaite, jonka avulla Superparkin puistossa vieraileva henkilö voisi saada esimerkiksi palkintona itselleen puisen avaimenperän, johon on laserilla poltettu jokin kuva ja henkilön nimi. Laitteen olisi oltava mahdollisimman itsenäinen. Käyttäjä valitsisi haluamansa kuvan ja laitekokonaisuus hoitaisi kaiken muun. Laserin suorittamista seurattaisiin videon välityksellä, jotta se olisi mahdollisimman turvallista.

Laitetekonaisuus muodostui suunnitteluvaiheessa seuraavista osista:

- CNC-laser
- kappaleiden syötin ja kuljetin
- Raspberry Pi eli RPI
- näyttö laserin suorittamisen tarkkailua varten
- kosketusnäytöllinen syöttölaite

Laitteen yksi tärkeimpiä yksittäisiä osia on RPI, koska sen tehtävänä on tehdä käänös halutusta kuvasta laserilaitteelle ymmärrettävään muotoon. Lisäksi RPI:n täytyy kommunikoida laserilaitteen kanssa ja syöttää tarvittavat komennot koko lasermerkkauksen ajan.

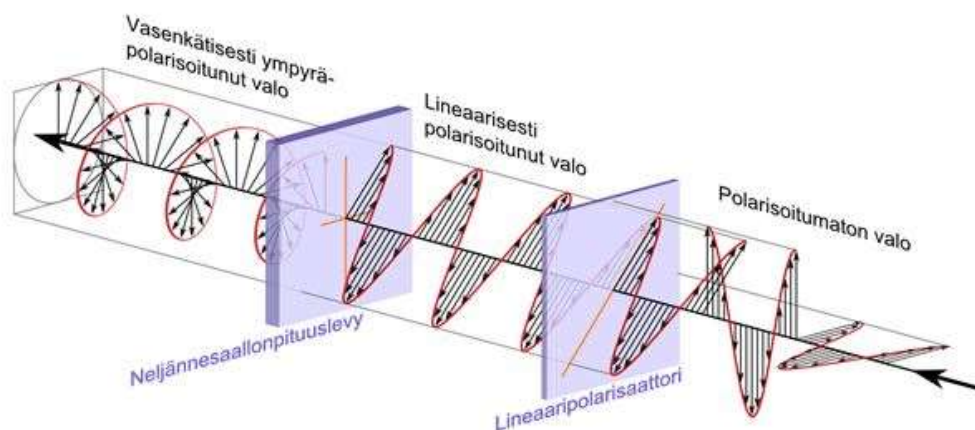
Laitetekonaisuudessa käyttäjä kirjautuu laitteelle Superparkin menetelmien mukaisesti. Sen jälkeen valitsee haluamansa kuvan. RPI yhdistää halutun kuvan ja nimitiedon ja muodostaa näistä *.gcode-muotoisen tiedoston. Videoyhteys laserilta avataan käyttäjälle. Esimerkiksi puukiekko siirretään syöttimestä laserilaitteelle ja polttomerkkkaus alkaa, kun kappale on paikoillaan. Suorituksen jälkeen kappale siirretään kuljettimella käyttäjälle ja laite valmistautuu seuraavaan suoritukseen.

2 Laserit

Laservalo poikkeaa muista valoista, kuten loiste-, hehku ja kaasunpurkausvaloista, syntytapansa perusteella. Eroa muihin valonlähteisiin muodostuu myös valon laadusta ja tehosta. Laservalossa laserin tyyppi ja rakenne vaikuttavat sen tehoon ja aallonpituuteen. Normaaleissa valonlähteissä tapahtuu spontaani emissio, joka tarkoittaa valoaaltojen lähtemistä kaikkiin suuntiin valonlähteestä. Tällöin niillä on myös eri aallonpituudet ja polarisaatiotasot. Laservalo puolestaan on koherenttia valoa, eli kaikki sen valoaallot ovat polarisoituneet samansuuntaisesti ja ovat samanvaiheisia. [1.]

2.1 Polarisaatio

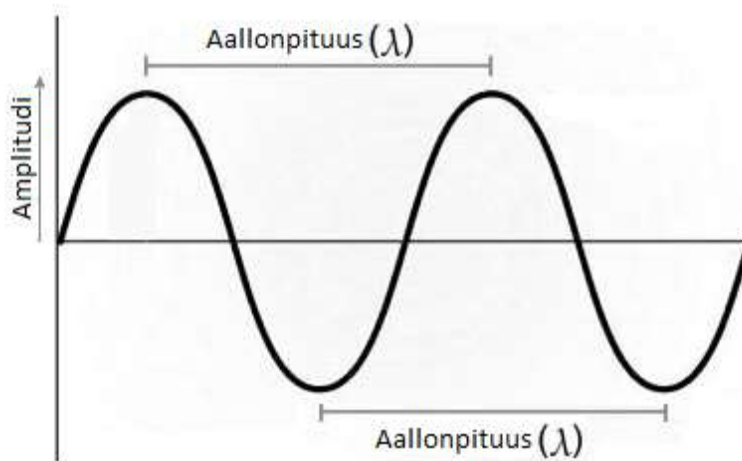
Polarisaatio tarkoittaa valoaallon värähtelykulmaa. Luonnonvaloa kutsutaan polaroimattomaksi valoksi kenttävoimakkuusvektoreiden satunnaisesti muuttuvien suuntien vuoksi. Polaroimatonta valoa voidaan polarisoida polarisaattorin avulla. Lineaarisesti polaroidussa valossa vektori etenee tietyssä suunnassa. Koska laservalo on koherenttia valoa, ovat valoaallot lineaarisesti polarisoituneet. Ympyräpolaroidussa tai elliptisesti polaroidussa valossa vektorin kärki liikkuu aallon etenemissuunnassa katsottuna ympyrän tai ellipsin muotoista rataa. Erot erilaisten polarisaatioiden välillä ovat havaittavissa kuvasta 1. [1.] [2.]



Kuva 1. Esimerkkejä erilaisista valoaallon värähtelykulmista eli polarisaatiosta. [2.]

2.2 Aallonpituus

Aallonpituudella tarkoitetaan sähkömagneettisen aallon pituutta, eli kahden samassa vaiheessa olevan pisteen etäisyys jaksollisessa aallossa (kuva 2). Ihmissilmän näkemä valo on sähkömagneettisen spektrin osa, jonka aallonpituudet ovat noin 400–780 nm. Näkyvän valon väri ja sen sisältämän energianmäärä riippuvat aallonpituudesta. Laserin muodostama valo koostuu fotoneista, mutta se käyttäytyy siitä huolimatta aaltomaisesti. Amplitudin vaikutus voidaan havaita näkyvässä valossa kirkkauden muutoksena. [1.]

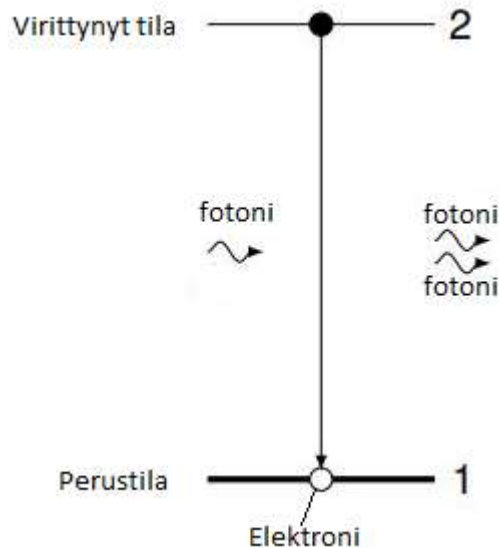


Kuva 2. Aallonpituus ja amplitudi sähkömagneettisessa säteilyssä. [3.]

2.3 Laservalo

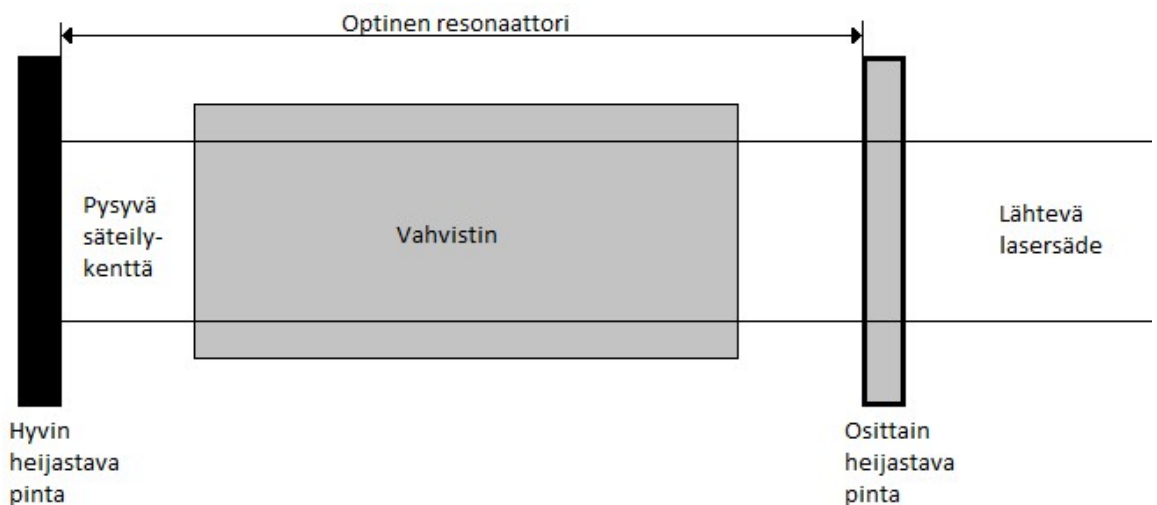
Sana laser (engl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) on lyhennelmä englanninkielisistä sanoista, jotka tarkoittavat valon vahvistamista stimuloidulla emissiolla. Stimuloitu emissio on kvanttimekaaninen ilmiö, jossa yksinkertaistaen virittyneitä elektroneja stimuloidaan fotonilla. Fotonin energian on oltava sopiva, jotta elektroni palaa virittyneestä tilasta perustilaansa samalla emittoiden fotonin. Näin elektronin energia muuttuu valoksi ja stimuloitu foton saa aikaan itsensä kaltaisen fotonin (kuva 3). Kun stimuloiteja tapahtuu useita, tapahtuu tällöin fotonien lisääntyessä valon vahvistuminen. Fotonin emittoituessa laserissa on olennaista se, että siinä oleva väliaine toimii optisena

vahvistimena. Esimerkiksi CO₂-laserissa väliaineena oleva hiilidioksidi on optisessa resonaattorissa. Väliaine viritetään syöttämällä siihen energiaa ja optisen resonaattorin avulla valo vahvistuu, koska elektroneista stimuloituu fotoneja. [1.] [5.] [6.]



Kuva 3. Fotonin stimuloituminen. [6.]

Optinen resonaattori muodostuu kahdesta toisiinsa kohdistetusta peilistä (kuva 4). Laserissa toinen peili on osittain läpäisevä, koska lasersädettä on saatava laseroskillaattorista ulos, jotta sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi polttomerkkäamisessä. Laseroskillaattori tarkoittaa aktiivisesta väliaineesta ja resonaattorista muodostuvaa kokonaisuutta. [1.] [5.]



Kuva 4. Laserin optisen resonaattorin toimintaperiaate. [1.]

Laservalon tuottamisessakin tapahtuu vahvistumisesta huolimatta häviöitä. Peilien muodostama heijastus ei ole aivan täydellinen. [1.]

2.3.1 Laserityypit

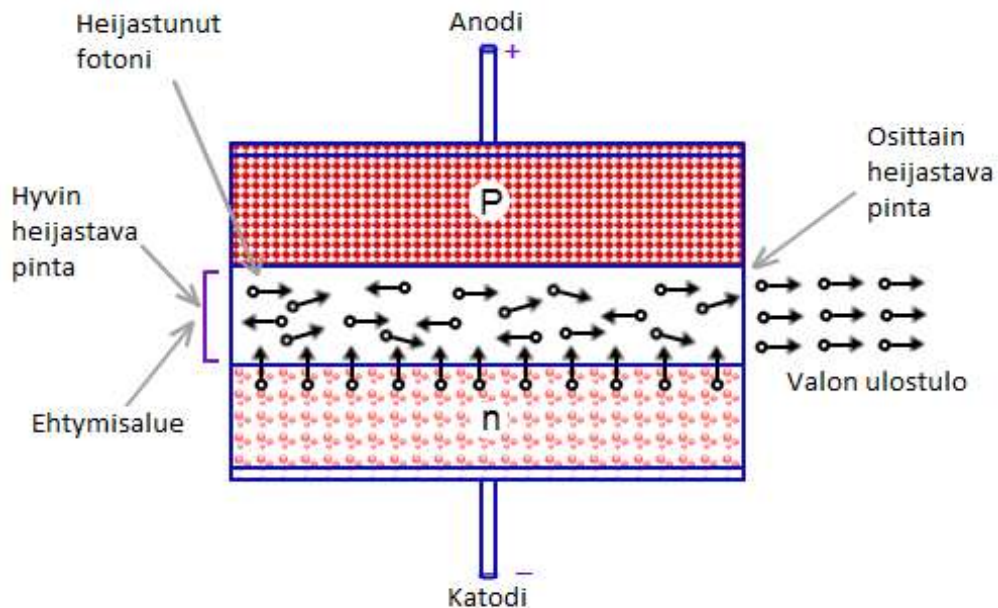
Lasersäteen synnyttämiseen voidaan käyttää melkein mitä vain ainetta. Aktiivinen väliaine laserissa voi olla joko kaasuna, nesteenä tai kiinteänä. Laserit jaotellaankin niiden aktiivisen väliaineen mukaan. [1.]

Muutama esimerkki erilaisista laserityypeistä:

- helium-neon-laseri
- puolijohdelaseri (diodilaseri)
- argon-laseri
- neodyymilaseri
- hiilidioksidi-laseri

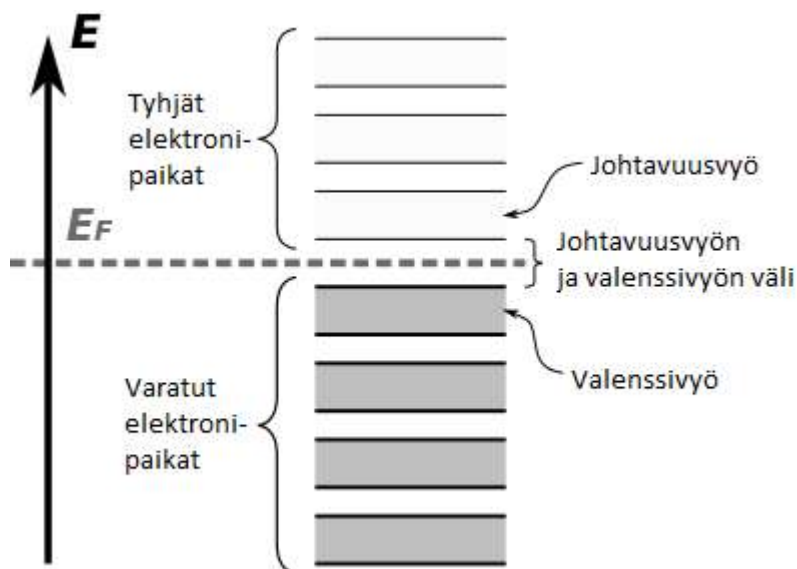
2.3.2 Puolijohdelaseri

Projektissa laseri on puolijohdelaseri eli diodilaseri. Sen rakenne poikkeaa hieman muista lasereista, mutta toimintaperiaate on kuitenkin sama (kuva 5). Muihin lasereihin verrattuna diodilaserin rakenne on yksinkertainen ja kompakti. Pienen kokonsa ja hyvän saatavuuden ansiosta se on sovellettavissa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Lisäksi sillä on myös hyvä hyötysuhde, koska sähkötehosta päätyy valotehoksi noin 50 %. Muihin lasereihin verrattuna huonompana voidaan puolestaan pitää laservalon laatua, koska valokeila on leveämpi ja valon monokromaattisuus heikompi. Monokromaattinen säteily tarkoittaa sitä, että valo sisältää vain yhtä aallonpituutta. [7.] [8.]



Kuva 5. Puolijohdelaserin toimintaperiaate. [7.]

Kun diodille tuodaan viritysvirta, muodostuu sen myötä suuntaan kytketyn pn-liitoksen välille potentiaaliero. Liitoksessa olevalla johtavuusvyöllä elektroni ja valenssivyön aukko yhdistyvät. Kun sähkövirta ylittää myötasuuntaisen kynnsarvon, tulee stimuloitu emissio tällöin hallitsevaksi. Tämä rakenne on hyvin lähelle samanlainen kuin LED-valoissa. Varsinaisena vahvistimena puolijohdelaserissa toimii johteiden liitoskohta, mutta muutoin optinen resonaattori on toteutettu laserille tyypillisellä tavalla kahden heijastavan pinnan avulla. Kynnysvirran ylitys saa elektroneita siirtymään virittyneeseen tilaan. Tällöin syntyy käänteinen miehitys. Käänteisellä miehityksellä tarkoitetaan sitä, että johtavuusvyössä elektronien lukumäärä on suurempi kuin aukkojen määrä valenssivyöstä (kuva 6). Kyseinen tapahtuma on edellytys laservalon syntymiselle ja seurauksena onkin jyrkkä optisen säteilytehon kasvu. Valoa muodostuu fotonien vapautuessa vasta, kun elektroni palaa virittyneestä tilasta takaisin perustilaan. Heijastuneet fotonit keräävät myös liikkeessaan varautuneita elektroneita, vahvistaen tällä tavalla itseään elektronien energialla. Fotoneista osa läpäisee osittain heijastavan peilin muodostaen ulostulevan laservalon ja osa heijastuu takaisin. Valo vahvistuu aina, kun se heijastuu ja kerää uudelleen lisää energiaa siirtyessään optisessa resonaattorissa. [1.] [5.] [7.] [8.]



Kuva 6. Puolijohteen elektronivyöhyke. [9.]

Puolijohdelaserin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa sen valmistukseen käytetyillä materiaaleilla. Nykyisin puolijohdelaserien valmistuksessa käytetään ns. III-V-yhdistepuolijoh-teita. Alkuaineista III-ryhmään kuuluvia laseriin soveltuvia ovat alumiini (Al), gallium (Ga) ja indium (In). Arseeni (As), antimoni (Sb) ja fosfori (P) puolestaan soveltuvat alkuaineryh-mästä V. Puolijohdelaseri valmistetaan näistä alkuaineista seostamalla oikeassa suh-teessa. [8.]

2.4 Lasermerkkkaus

Lasermerkkauksella tarkoitetaan menetelmää, jolla laserin avulla saadaan aikaan näkyvä jälki halutulle pinnalle. Menetelmän etuna on tietynlainen huoltovapaus, koska sen käyt-töön ei tarvita musteita, väriaineita tai työkaluja. Kohdemateriaalin on kuitenkin oltava sel-laista, että laservalo pystyy absorboitumaan siihen. Absorptiolla tarkoitetaan valon eli säh-kömagneettisen säteilyn tapauksessa fotonin energian siirtymistä esimerkiksi kohdema-teriaalissa atomille. Atomin valenssielektroni siirtyy korkeampaan energiatilaan ja fotoni häviää. Tämän seurauksena absorboitunut energia voi muuttua lämpöenergiaksi tai emit-toitua uudelleen. Aineiden absorptiokyky riippuu säteilyn aallonpituudesta. [1.] [10.]

Orgaanisia materiaaleja, esimerkiksi puuta, merkattaessa laservalon absorboituminen saa aikaan materiaalin hiiltymistä. Hiiltyminen näkyy puun pinnalla tummana jälkenä, joka

erottuu selkeästi kontrastinsa ansiosta. Muoveissa materiaalin ominaisuudet, kuten valon absorptiospektri, vaikuttavat laserin kykyyn tehdä materiaaliin jälkeä. Laseri voi jättää jäljen muoviin sulattamalla, tekemällä materiaaliin kemikaalisia muutoksia tai haihuttamalla materiaalia. Tähän kuitenkin vaikuttavat muoviin laitettut lisäaineet, kuten esimerkiksi väriaineet ja uv-suojaa-aineet. [10.]

2.4.1 Turvallisuus

Laserin pieneen pisteeseen kohdistamat suuret säteilyenergiat ja -tehot voivat aiheuttaa pysyviä vammoja. Säteilyn teho ei myöskään vaimene paljoa etäisyyden kasvaessa. Haittavaikutukset kohdistuvat yleensä ihoon ja silmän eri osiin, koska säteily ei tunkeudu syvälle kudokseen. Etenkin silmään kohdistuessa lasersäde on vaarallinen, koska kohdistettu lasersäteily fokuoituu verkkokalvossa vieläkin pienemmäksi pisteeksi. Fokusoituun pisteeseen kohdistuu niin paljon energiaa, että verkkokalvon solut palavat vakavasti. [11.]

2.4.2 Turvallisuusluokat

Lasereilla on omat turvallisuusluokat, joiden mukaan laserin vaarallisuus on suurempi järjestysnumeron kasvaessa. Turvallisuusluokat ovat 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Projektissa käytetty laseri on luokan 4 laseri, eli se on potentiaalinen aiheuttamaan pahoja silmä- ja ihovammoja. Laitteen läheisyydessä on käytettävä laserilta suojaavia laseja. [12.] [13.]

2.5 Valtioneuvoston asetuksia

Säädöksessä 291/2008 määritellään laserilaitteita ja käsitellään muun muassa niihin liittyviä vaatimuksia. Asetuksen 291/2008 4-11 §:ää ei kuitenkaan sovelleta projektin laitteeseen, koska laseri on osana laitekokonaisuutta. Valtioneuvoston asetus 400/2008 koneiden turvallisuudesta käsittelee lasersäteilyä lyhyesti, alla suora lainaus kohdasta 1.5.12:

”Laserlaitteita käytettäessä olisi otettava huomioon seuraavat seikat:

- koneessa oleva laserlaite on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että vältetään vahingossa tapahtuva säteily;
- koneessa oleva laserlaite on suojattava siten, ettei tehosäteily, heijastus- tai hajasäteily eikä sekundaarisäteily vahingoita terveyttä; ja
- koneessa olevan laserlaitteen havainnointiin tai säätöön tarkoitettujen optisten laitteiden on oltava sellaiset, ettei lasersäteily aiheuta riskiä terveydelle.” [14.]

Laitteen sijoittamisessa Superparkin puistoihin on pyrittävä siihen, että laite on lukitussa tilassa ja laservaloa ei pääse tilan ulkopuolelle. Tämän vuoksi laitteen toimintaa on tarkoitettu seurata kameran välityksellä tilan ulkopuolelta. Työntekijöiden kannalta on noudatettava asetuksen 291/2008 mukaisia käytäntöjä. Asetuksessa 291/2008 asia käsitellään tarkemmin pykälissä 12–16. [13.]

3 Arduino Mega

Arduino on yritys, joka keskittyy avoimiin laitteistoihin, ohjelmistoihin ja projekteihin. Käytäjistä muodostuvan yhteisön kanssa Arduino suunnittelee ja tuottaa yksinkertaisia kehitysalustoja, joiden avulla voidaan opiskella ohjelmointia ja peruskytkeviä. Koska laitteet ja ohjelmistot ovat avoimia, voi niitä valmistaa kuka tahansa. [15.]

Arduino korteista on erilaisia versioita, joissa käytetään erilaisia prosessoreita ja kontroloreita. Korteille on ominaista, että niistä löytyvät sekä digitaaliset että analogiset kytkentäpinnit. Kytkeväpinnit ovat toteutettu yksi- tai kaksirivisillä naarasliittimillä. Digitaalisissa kytkennöissä hyödynnetään kontrollerin sisäistä AD-muunninta, jolla analoginen tulo muutetaan digitaalseksi. Kytkeväpinnin avulla voidaan liittää erilaisia laajennuskortteja, joiden avulla voidaan tuoda kortille lisää ominaisuuksia, kuten esimerkiksi BLE. Projektissa kortille liitettiin lisäkorttina RAMPS 1.4 -moottorinohjain, joka mahdollistaa virtaa vievien moottoreiden ohjaamisen siten, että suurempia jännitteitä ja virtoja ei tarvitse kuljettaa itse Arduinon kautta. [15.]

Arduino-korttien ohjelmointi tapahtuu yleensä USB:n kautta suoraan tietokoneella. Ohjainkorttien ohjelmointikieli on sekoitus C- ja C++-ohjelmointikielistä. Arduinon kätevyys perustuu siihen, että sen ohjelmoimiseen riittää sen oma ohjelmisto Arduino IDE. Ohjelmisto suorittaa ohjelmakoodin kääntämisen prosessorin ymmärtämään muotoon ja syöttää sen USB-kaapelia pitkin. Kortti saa myös tarvitsemansa käyttöjännitteet USB:n kautta. [15.]

Arduino Mega 2560 on mikrokontrollerikortti, joka pohjautuu ATmega2560-prosessoriin (kuva 7). Sen päälle voidaan liittää erilaisia lisäkortteja. Kortilla on 54 digitaalista I/O-pinniä, joista 15 kappaletta voidaan hyödyntää PWM-ulostuloina. Digitaalisten pinnien lisäksi käytössä on 16 analogista sisääntuloa. [16.]



Kuva 7. Arduino Mega. [16.]

3.1 RAMPS 1.4 -lisäkortti

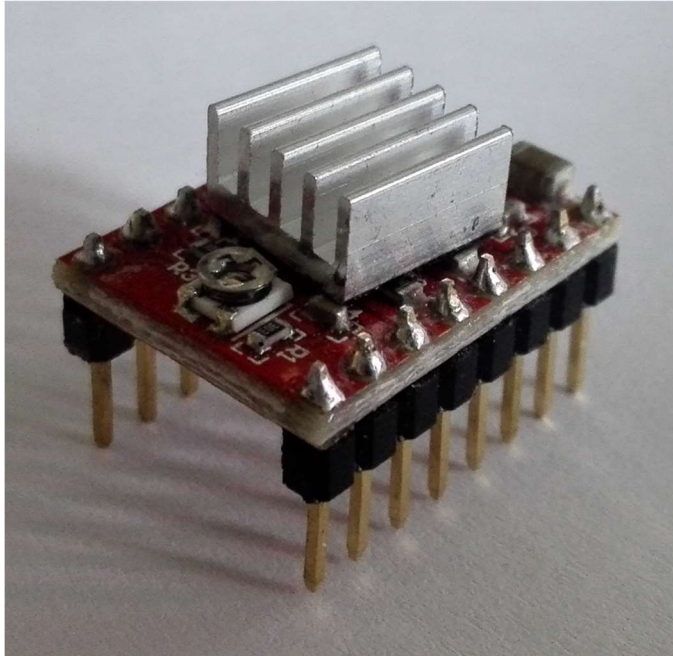
RAMPS 1.4 -lisäkortti mahdollistaa projektissa laitteen ohjaamisen. Kortti on tarkoitettu 3D-tulostimia varten, mutta soveltuu hyvin myös laserilaitetta varten. Kortille voidaan syöttää 12 V jännitettä, joka ei olisi suoraan Arduino Megaan mahdollista. Arduino Megan ja RAMPS 1.4 -kortin yhdistelmälle on olemassa valmiita ajuriohjelmia, joista käyttöön valikoitui Marlin-niminen laiteohjelmisto. Avoimen lähdekoodin ansiosta siihen pääsee tekemään tarvittavia omia muutoksia helposti. [17.]

Lisäksi kortille voidaan kytkeä kaikki, mitä laite tarvitsee:

- askelmoottorit
- laserin ohjauspulssi
- laserin jäähdytystuulettimen ohjaus
- rajakytkimet

Moottoireiden ohjausta varten kortilla on paikat omille pienille A4988-korteille (kuva 8). A4988-kortilla on oma potentiometri, jolla voidaan säätää moottoreille menevä enimmäisvirta. Kortti on saanut nimensä siinä sijaitsevan piirin mukaan. Se on suunniteltu ohjaamaan bipolaarisia askelmoottoreita. Piirin sisällä olevissa DMOS-siltakytkennöissä virtoja

ohjataan PWM:n avulla. Projektissa käytetyille moottoreille suositeltu virta on maksimissaan 1 A. [17.] [18.] [19.]



Kuva 8. A4988-askelmoottorin ohjainkortti.

3.2 Ohjelmisto

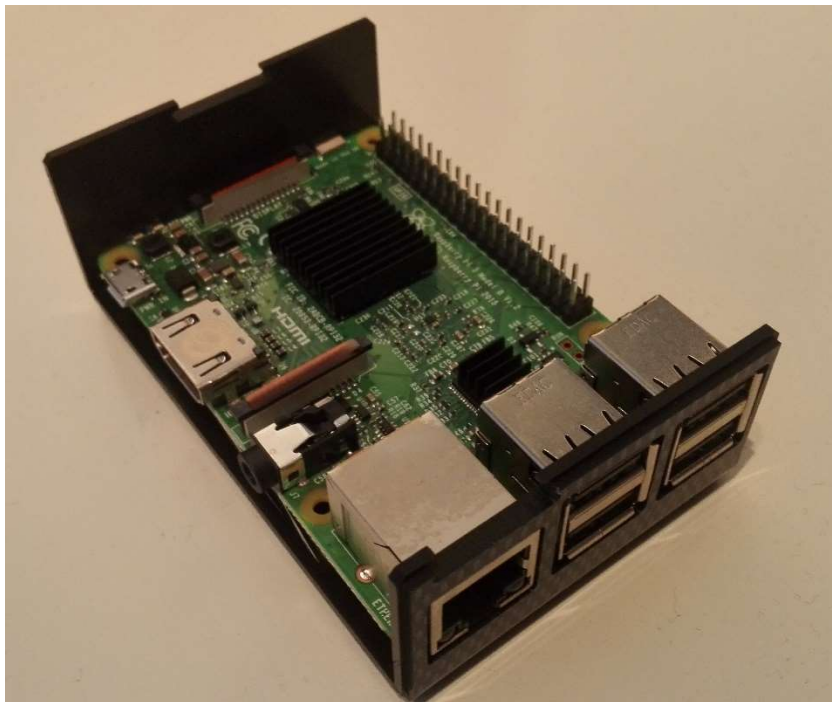
Arduinon ohjelmoiminen tapahtuu sen omalla ohjelmistolla, Arduino IDE:llä. Ohjelmisto suorittaa ohjelmakoodin kääntämisen ohjelmoitavan prosessorin ymmärtämään muotoon. Ohjelma on saatavissa kaikille yleisesti käytössä oleville käyttöjärjestelmille. Ohjelmisto sisältää koodieditorin, jolla ohjelmointikoodin kirjoittaminen ja muokkaaminen tapahtuvat. Editorista löytyy tarvittavia ominaisuuksia syntaksin, eli koodin oikeaoppisen kirjoitusasun, korostumisesta aina koodin kopioimiseen ja liittämiseen saakka. Ohjelmakoodin kääntäminen ja syöttäminen kortille tapahtuvat yhdellä napin painalluksella. Mikäli koodissa on epäkohtia tai syntaksivirheitä, ilmoittaa ohjelmisto siitä kääntämisen aikana. Ohjelmisto antaa myös osviittaa siitä, mistä kohtaa koodia virhe voisi löytyä. [15.]

Kirjastojen liittäminen on Arduino IDE:llä helppoa. Ohjelmistossa itsessään on oma hakemisto, joista kirjastoja voi etsiä. Jos tarvittavaa kirjastoa ei sieltä löydy, voidaan internetistä haetut kirjastot liittää projektiin valikoiden kautta. [15.]

4 Raspberry Pi

Raspberry Pi on Raspberry Pi Foundationin kehittämä pienikokoinen tietokone, johon täytyy asentaa käyttöjärjestelmä SD-kortin avulla (kuva 9). Kehittäjien tavoitteena oli alun alkaen luoda työkalu tietokonetieteiden opiskelua varten. RPI:n avulla voidaan luoda yksinkertainen oppimisympäristö ohjelmointikielten (esimerkiksi Python, C ja C++) opettelua varten. Kortista tuli odotettua suosittumpi, ja sitä käytettiin alkuperäistä kohdemarkkinaa laajemmin mm. robotiikan projekteissa. Nykyään RPI on suosittu alusta IoT-sovelluksiin. [20.] [21.] [22.]

RPI:stä on vuosien varrella julkaistu useita erilaisia versioita. Ensimmäisen sukupolven laitteet julkaistiin helmikuussa 2012. Eri versioiden mukana on tullut uusia ominaisuuksia ja parannuksia esimerkiksi suorituskykyyn. Projektissa käytetty kolmannen sukupolven Raspberry Pi 3 Model B -versio on julkaistu ensimmäisen kerran helmikuussa 2016. [21.]



Kuva 9. Raspberry Pi -tietokone.

Arduinon verrattuna RPI on tehokkaampi, mutta Arduino soveltuu paremmin reaaliaikaisiin sovelluksiin, koska siinä ei ole käyttöjärjestelmää. Myöskin korttien ohjelmoimisessa

on eroja. RPI:ssä ohjelmakoodi voidaan ajaa käyttöjärjestelmässä, kun taas Arduinoon se on syötettävä ja käännettävä valmiiksi ulkoisesti. [21.]

4.1 Ominaisuudet

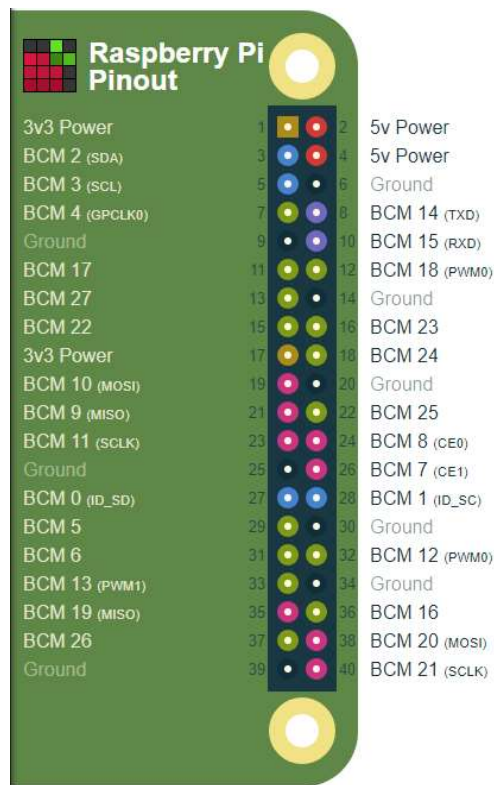
Projektissa käytetty Raspberry Pi 3 B -versio käyttää neliytimistä 64-bittistä BCM2837-piiriä, jossa on integroitu suoritin ja näytönohjain. Prosessorin ydinten kellotaajuus on 1,2 GHz, ja lisäksi käytössä on 1 Gt RAM:ia. Kovalevyä ei ole, joten RPI:n käyttöjärjestelmä ladataan SD-kortille, jota varten löytyy oma portti. Verkkoyhteys voidaan muodostaa langattomasti BCM43438 LAN -piirin ansiosta. Tässä RPI versiossa on tuki myös BLE:lle. [20.]

Kortilla on useita kytkentämahdollisuuksia:

- 4 kappaletta USB 2.0 -portteja
- stereoulostulo
- HDMI-portti
- CSI-portti RPI-kameraa varten
- DSI-portti RPI-näyttöä varten
- GPIO-pinnejä 40 kappaletta
- RJ45-portti
- Micro USB -liitäntä virtalähdettä varten

4.2 GPIO laitteen ohjauksessa

RPI:llä olevat GPIO-pinnit on tarkoitettu ulkoisia kytkentöjä varten (kuva 10). Niihin voidaan kytkeä erilaisia laajennuslevyjä, antureita, kytkimiä ja paljon muuta. Kytkennät voivat olla vain digitaalisia, koska AD-muunninta ei ole. GPIO-pinnien hyödyntäminen vaatii erillisen kirjaston käyttöä, esimerkiksi WiringPi.



Kuva 10. Raspberry Pi GPIO pinnit. [23.]

4.3 Ohjelmoiminen

Projektissa RPI:n käyttöjärjestelmänä on Raspbian. Vaihtoehtoja on useita, esimerkiksi Ubuntu Mate, Pinet ja Windows 10 IoT Core. Käyttöjärjestelmät ovat ladattavissa osoitteesta raspberrypi.org. Raspbian pohjautuu Debianiin, joka on Linuxin kaltainen käyttöjärjestelmä, mutta optimoitu RPI:n käyttöön. [23.]

RPI:n ohjelmointi onnistuu useammalla kuin yhdellä tavalla. Projektissa ohjelmointi tapahtuu SSH:n välityksellä. [25.]

5 Laitteen suunnittelu ja toteutus

Suunnittelua aloittaessa täytyi lähteä liikkeelle siitä, minkä kokoiselle alueelle laserilla tarvitsee polttaa. Lisäksi oli mietittävä tarvittavien askelmootoreiden lukumäärä, laitteen toimintojen ohjaus ja laserin ohjaus. Laserin polttoalueen ei tarvitse tässä projektissa olla suuri, joten tavoitteena oli 12 cm X 10 cm alue.

5.1 Runko

Laitteen rungon suunnittelussa täytyi ottaa huomioon laitteen modulaarisuus. Suunnittelun edetessä muutoksia on pystyttävä tekemään ilman, että koko projektia tarvitsee aloittaa alusta. Tähän tarkoitukseen valikoitui pursotettu profiilialumiini (kuva 11). Alumiinia on helppo työstää ja muutoinkin se soveltuu projektiin hyvin jäykkyytensä ansiosta.



Kuva 11. Laitteen runko ja liikutangot valmistusvaiheessa.

Rungon valmistus vaati erilaisia tarvikkeita, jotka ovat listattuna taulukossa 1.

Nimike	Kappalemäärä
3D-tulostettu kulmapala	8
Alumiinitanko 100 mm	4
Alumiinitanko 200 mm	4
Aluslevy M4	16
Mutteri M4	16
Pultti M4x10	16
T-slot mutterinpidike M4	16

Taulukko 1. Rungon valmistuksen tarvikkeet.

3D-tulostetut osat ovat helposti kiinnitettävissä, koska siihen tarvitsee käyttää vain ruuvi-meisseliä ja osat ovat vapaasti sijoitettavissa kiskoihin. Projektissa käytetylle alumiiniprofiilille ei ollut helposti saatavilla oikeanlaisia itsestään lukittuvia muttereita, joten ne toteutettiin 3D-tulostamalla tavalliselle mutterille pidike. Tarvittaessa runkoon voidaan lisätä kiinnityksiä lisälaitteille, kuten esimerkiksi kameralle.

5.2 Osien suunnittelu SolidWorksillä

SolidWorks on CAD-ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa kappaleita kolmiulotteisesti. SolidWorksillä 3D-tulostettavien osien suunnittelu on sujuvaa, koska suunnitellut mallit voidaan tallentaa suoraan *.stl-tiedostomuotoon. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelma muuttaa mallin muodostumaan useasta osasta. Osat voidaan pilkkoa kerroksittain 3D-tulostimen ymmärtämään muotoon G-koodiksi esimerkiksi Cura-sovelluksen avulla. Laitteen rakentamista varten täytyi suunnitella useita erilaisia osia (kuva 12). Laitteen valmistuessa joistakin kappaleista täytyi tehdä useampi versio, ennen kuin kaikki istui paikoilleen oikealla tavalla. [26.]



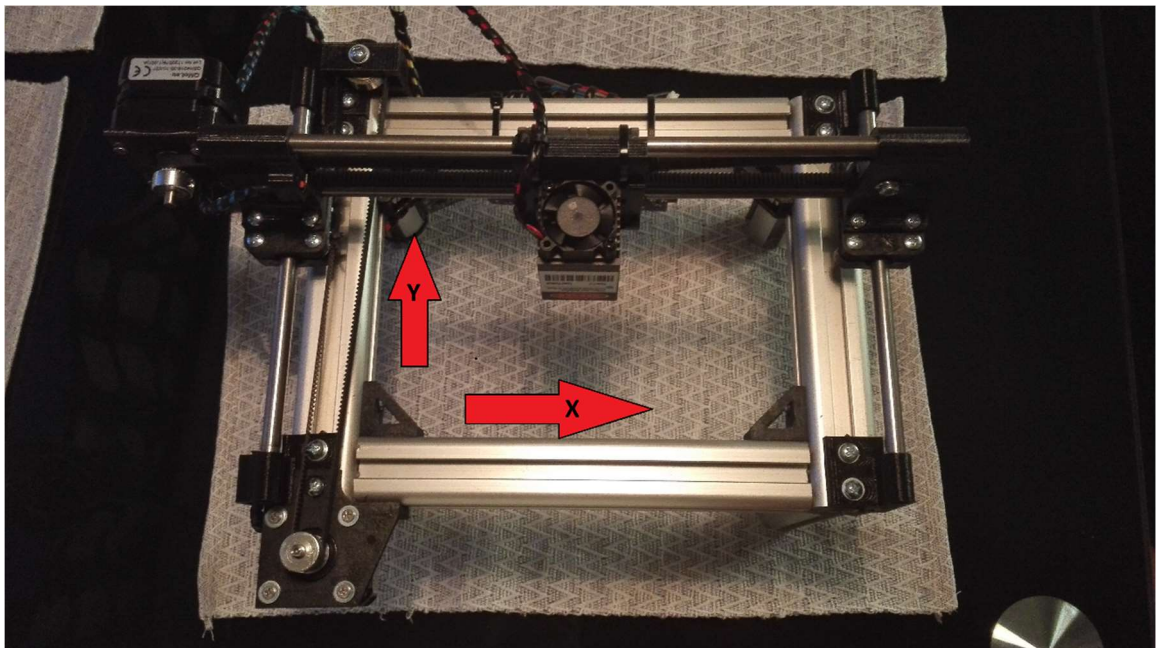
Kuva 12. Suunniteltuja osia ja niiden eri versioita.

5.3 Osien valmistus 3D-tulostimella

Osien valmistukseen käytettiin FDM-tyyppistä 3D-tulostinta. Toiminta perustuu siihen, että laitteelle syötetään rullasta muovia, joka lämmitetään sulamislämpötilaan ja pursotetaan kappaleeseen kerros kerrokselta ohuena nauhana. Projektia varten suurempien kappaleiden tulostamiseen meni aikaa noin kaksi tuntia. Projekti eteni kuitenkin tässä työvaiheessa nopeasti, koska tulostimen tulostaessa yhtä kappaletta pystyi edellisen osan koikeilemaan paikoilleen ja seuraavan suunnittelemaan samanaikaisesti. [26.] [27.]

5.4 Mekaniikka

Laitteen laseri liikkuu X- ja Y-akseleilla, joten laakerointi ja voimansiirto on toteutettava kahteen lineaariseen suuntaan (kuva 13). Liike mahdollistetaan NEMA 17 -tyypin askelmoottoreilla, jotka siirtävät voiman GT2-hihnapyörän ja hihnan avulla. Laakerointi on toteutettu käyttäen LM8UU-lineaarikuulalaakereita, jotka liukuvat 8 mm rautatankoja pitkin. Mekaniikan mahdollistaminen rungon päälle vaati lisää tarvikkeita, jotka ovat nähtävissä taulukosta 2.

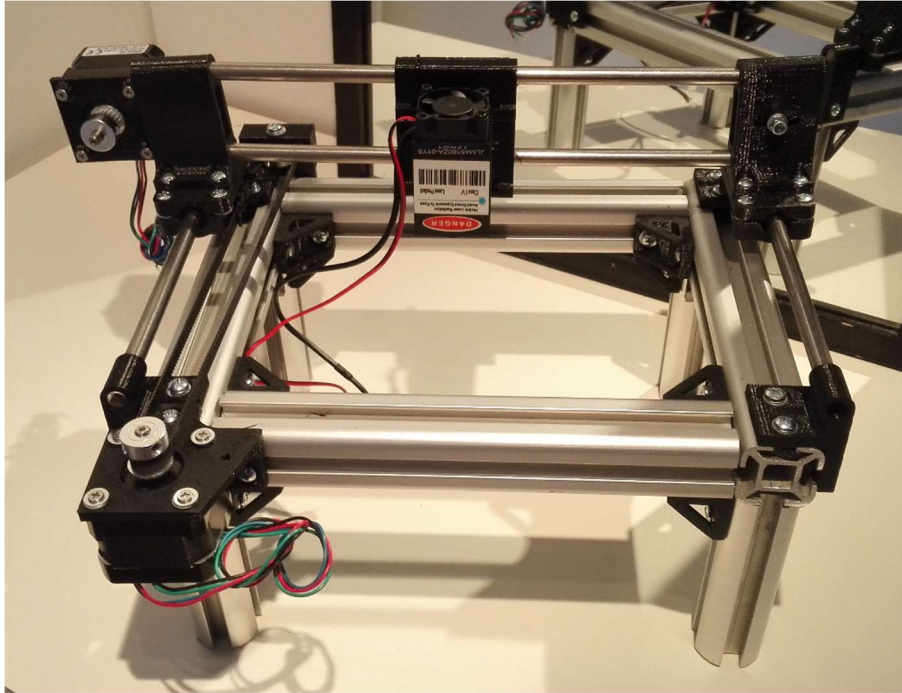


Kuva 13. Laserin liikerata xy-koordinaatistossa.

Nimike	Kappalemäärä
8 mm rautatanko 280 mm	2
8 mm rautatanko 180 mm	2
Aluslevy M4	34
Laakeri 802ZZ	2
Liukulaakeri LM8UU	8
Mutteri M4	20
Mutteri M4 Nyloc	2
Pultti M3x12	12
Pultti M4x10	20
Pultti M4x20	2

Taulukko 2. Mekaniikan toteutuksen tarvikelista.

Toteutuksen edetessä vastaan tuli erilaisia ongelmia (kuva 14). Hihnojen liikeradat eivät käytännössä täsmänneetkään piirrosvaiheessa ajateltuun liikerataan nähden. Yksi syy tähän oli laitteen mittakaavassa isokokoiset hihnojen laahauslaakerit. Muutoksia tähän joutui myöhemmin tekemään useaan otteeseen suunnittelemalla ja 3D-tulostamalla osia uudelleen.



Kuva 14. Laitteen kehitysvaihe, jossa kokonaisuus hahmottuu kunnolla ensimmäistä kertaa.

5.4.1 Hammashihnat

Voima siirretään laitteessa käyttäen GT2-hammashihnaa ja hihnapyöriä (kuva 15). Tämän tyyppin hihna on suunniteltu lineaarista liikettä varten, joten se oli sopiva valinta projektiin. Hammastuksen ansiosta hihna ei pääse luistamaan ja tällä tavalla voidaan taata, että askelmoottoreiden tekemät tarkat liikkeet välittyvät hihnan avulla liikutettavaan kohteeseen.



Kuva 15. GT2 hihna ja 20 hampainen hihnapyörä.

5.4.2 Laakerointi

Laakerointia tarvittiin kahteen erilaiseen tehtävään, laitteen lineaaristen suuntien laakerointiin ja hihnojen laahauspyöriksi. Näihin tehtäviin valikoitui LM8UU-lineaarikuulalaakeri ja 608ZZ-kuulalaakeri.

Laitteen liike kahteen lineaariseen suuntaan vaati jokaista laakerirautaa kohden kaksi LM8UU-lineaarikuulalaakeria (kuva 16). Laakeriraudan halkaisija on juuri sopiva 8 mm sisähalkaisijan omaavalle laakerille. Useamman laakerin käyttö varmistaa laitteen tarkkuutta, koska mahdolliset laakerirautojen hetkittäiset pienet vääntyilyt eivät pääse vaikuttamaan tulokseen.



Kuva 16. LM8UU-lineaarikuulalaakeri ja 608ZZ-kuulalaakeri. [29.]

GT2-hihnat tarvitsevat askelmoottorin vastapuolelle laahauspyörän, joten ratkaisuna on kuulalaakerit. 608ZZ valikoitui helpon saatavuutensa vuoksi (kuva 16). Kyseisen laakerityypin halkaisija (22 mm) on kuitenkin hieman liian suuri projektia varten, koska se aiheutti ongelmia käytännön toteutuksessa hihnan kulkureiteille. Parempi vaihtoehto olisi 624ZZ sopivamman (13 mm) halkaisijan vuoksi.

5.5 Elektroniiikka

Laitteen elektroniiikka koostuu Arduino Megan ja RAMPS 1.4 -lisäkortin kokonaisuudesta, laserin ohjainkortista, laserista, askelmoottoreista ja rajakytkimistä. RPI rajataan tässä yhteydessä pois, koska se liitetään omana kokonaisuutenaan laitteeseen USB-kaapelilla.

Rajakytkimet ovat olennainen osa CNC-laitetta. Niiden avulla voidaan laite saattaa haluttuun aloitustilaan. Tämän laitteen aloitustila sijaitsee origossa, eli X- ja Y-koordinaattien ollessa 0.000. Aloitustilasta käsin laite laskee etäisyydet piirrettävää kohdetta varten ja kaikki G-koodin komentojen koordinaatit ovat laskettuina tästä pisteestä lähtien. Esimerkki G-koodista luvussa 5.8.1. Laite käy aloituspaikassa jokaisen suorituksen alussa, jotta laserin polttoalue pysyy aina samalla paikalla.

5.6 Askelmoottorit

Askelmoottorit ovat harjattomia ja synkronisia sähkömoottoreita, jotka muuntavat digitaaliset pulssit mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi. Askelmoottorin täysi kierros jaetaan useampaan osaan askeleiden lukumäärän perusteella, joskus jopa 200 askeleeseen. Jos kokonaiseen kierrokseen tarvitaan 200 askelta, on tällöin yhden askeleen astekulma 1,8 astetta. Yhden askeleen pystyy jakamaan vielä pienempiin osiin mikroaskeleiksi (eng. microstepping), eli tällöin ohjainkortin ohjelmakoodin avulla ajetaan moottorille pulssia, joka mahdollistaa moottorin asennon sijoittumisen askeleiden välille. Projektissa käytetyllä ohjainkortilla voidaan yksi askel jakaa 16 osaan. [30.]

Laserilaitteessa käytetty NEMA 17 -tyypin bipolaarinen askelmoottori (kuva 17) on kiinnityslaipan mittojen puolesta standardoitu askelmoottori. Moottorin pituus vaikuttaa siitä

saatavaan vääntövoimaan ja kyseisiä moottoreita on saatavilla myös erilaisella askelluksella. Bipolaarisuus tarkoittaa sitä, että moottorissa on kaksi eri kuparikelaa, joihin kumpaankin tulee kaksi johdinta.



Kuva 17. Projektissa käytetty NEMA 17 -tyypin askelmoottori. [19.]

5.7 Laiteohjelmisto

Projektissa laserlaitteen laiteohjelmistona käytettiin uusinta versiota Marlinista, joka on Marlin 1.1.8. Marlin on suurikokoinen C++-ohjelma, joka muodostuu useammasta tiedostosta. Kyseinen kokonaisuus on avoimen lähdekoodin omaava, joten sen muokkaaminen omia tarpeita varten on mahdollista. Alun perin se on tarkoitettu 3D-tulostimia varten, mutta se soveltuu käytettäväksi myös laserlaitteeseen. [31.]

Asetusten muuttaminen laitteelle sopivaksi tapahtuu muuttamalla Configuration.h ja Configuration_adv.h-tiedostoja Arduino IDE:ssä (kuva 18). Projektin kannalta olennaista oli muuttaa rajakytkimien ja askelmoottoreiden toimintaan vaikuttavat parametrit oikeaksi. Kuvassa 18 nähdään ensimmäisessä kohdassa askelten määrä millimetriä kohti. Tällä arvolla saadaan asetettua laitteistossa käytetyt askelmoottorit, hihnat ja hihnapyörät niin, että laite toistaa haluttuja etäisyyksiä ja mittoja oikealla tavalla. Jos nämä parametrit ovat vääriä, voi laserilaite polttaa esimerkiksi tietokoneella piirretyn 1 cm X 1 cm neliön 1,3 cm X 1,3 cm kokoiseksi. Muilla asetuksilla kuvassa 18 vaikutetaan askelmoottoreiden liikkeen nopeuteen ja kiihtyvyyteen. Kaikkien asetusten muuttamisen jälkeen laiteohjelmisto ladataan Arduino Megalle tavallisen ohjelmakoodin tapaan. [31.]

```

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }

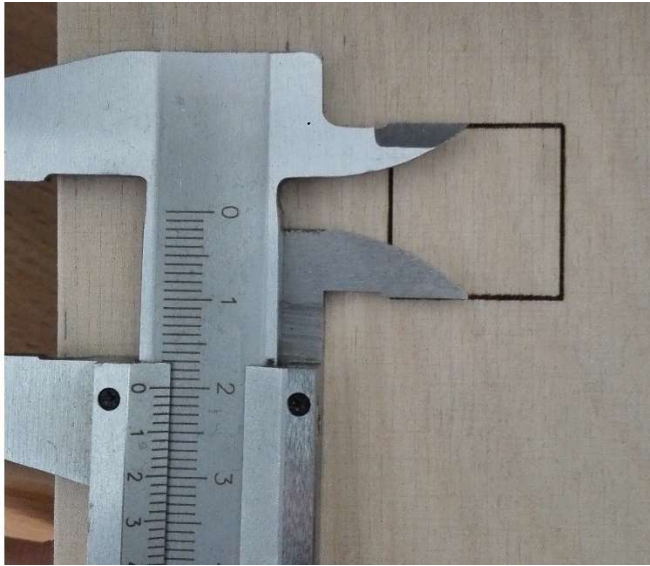
/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 500, 500, 5, 25 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 9000, 9000, 100, 10000 }

```

Kuva 18. Esimerkki Marlinin asetuksista.

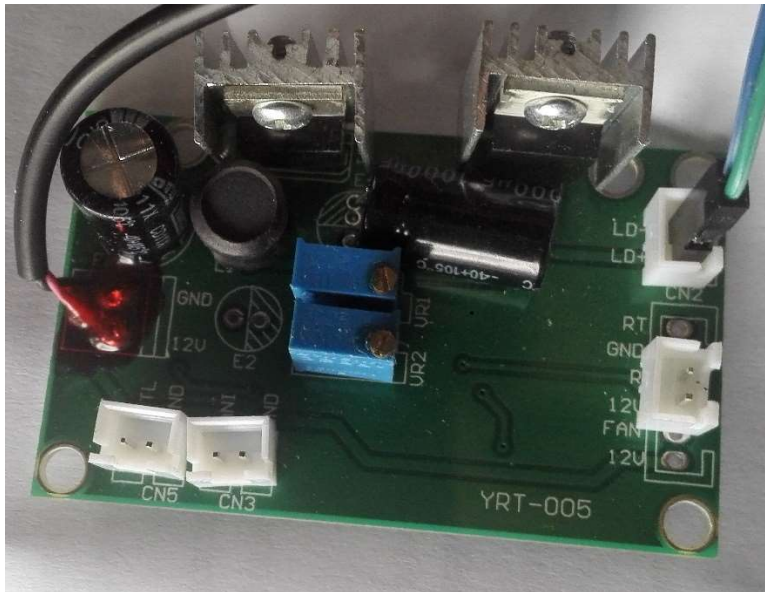
Moottorin parametreja asettaessa on hyvä testata, toteutuuko haluttu etäisyys käytännössä. Repetier Host -ohjelman avulla voi laitetta ajaa manuaalisesti esimerkiksi 1 cm välein, mutta testaus suoritettiin generoidulla G-koodilla. Testissä poltettiin vanerilevyyn 2 cm X 2 cm neliö, jonka mitat varmistettiin mittaamalla työntömitalla (kuva 19). Laserin polttaman jäljen leveys riippuu laserin nopeudesta ja tehosta. Mitatun neliön sivujen pituudet olivat halutun mittaiset työntömitalla mitattuna.



Kuva 19. Testikuvan mittaus.

5.8 Laserin ja laitteen ohjaus

Laseri tarvitsee oman ohjainkortin, jotta se saisi mahdollisimman tasaista, lineaarista, häiriötöntä ja tarkkaa ohjausvirtaa. Laseriodin teho on 1,6 W. Laserilla olevaa omaa YRT-005-korttia (kuva 20) ajetaan RAMPS 1.4 -kortin portista D9. Se portti on tarkoitettu 3D-tulostimissa 12 V tuulettimien ohjaukseen. Projektissa siitä on etua, koska laserin valotehoa voidaan säädellä asteikolla 0–255 (255 on tehokkain). Laserin korttiin pitäisi kytkeä 12 V jännite suoraan halutusta virtalähteestä. Lisäksi kortille kuuluisi liittää laserin ohjaus TTL-pinniin, tuuletin omiin pinneihin ja laseri sille varatuille pinneille. TTL-pinniin liittämässä tuli kuitenkin ongelmia laserin käyttäytymisen kanssa, joten laserin kortin 12 V jännite tulo on kytketty suoraan D9-portissa ja laseria jäähdyttävä tuuletin kytketty RAMPS 1.4 -kortilla erilliseen tuuletinlähtöön. [17.] [32.]



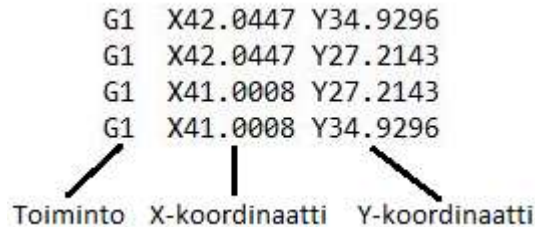
Kuva 20. Laserin oma ohjainkortti YRT-005.

Laserilaitte tarvitsee käskyjä, jotta se voi ohjata laseria. Tämä tapahtuu syöttämällä RPI:llä tietoa USB-kaapelia pitkin Arduino Megalle. Marlinissa on tuki sarjaliikennettä varten ja laitteen ohjaaminen onkin melko suoraviivaista Windows-käyttöjärjestelmässä PC:llä. RPI:llä olevalla Linuxiin perustuvalla Rasbian-käyttöjärjestelmällä USB:n kautta tapahtuva liikenne vaatii tässä tapauksessa ajurin, jonka avulla laitetta varten muodostettu G-koodi saadaan syötettyä rivi riviltä laitteelle.

5.8.1 G-koodi

G-koodi on yksi yleisimmistä CNC-laitteen ohjelmointimenetelmistä. Se kertoo laitteelle, miten ja minne sen täytyy liikkua. Siitä on olemassa erilaisia variaatioita erilaisia laitteita varten. Peruseriaate kaikissa kuitenkin on se, että koodi sisältää kirjaimella alkavan komennon, jota seuraa numero. Yksinkertaisimmillaan G-koodi nähdään kuvassa 21. Kuvassa jokainen rivi alkaa komennolla G1, joka tarkoittaa lineaarista liikettä. Sen jälkeen ovat X- ja Y-akseleille koordinaatit, joihin laitteen tulisi liikkua. Liikkumiskäskyt muutetaan Marlinissa askelmoottoreiden liikkeiksi, jolloin saadaan laite liikkumaan haluttuihin koordinaatteihin. Laite käyttää liikkumisessa laiteohjelmistoon asetettuja nopeuteen ja kiihtyvyyteen vaikuttavia parametreja, mutta niihin voi vaikuttaa suorituksen aikana myös G-koodikomennolla. Laserin ohjaus päälle tapahtuu komennolla M106 ja pois päältä komennolla

M107. Laservalon tehoa voidaan säätää asteikolla 0–255: pienimmilleen komennolla S0 ja suurimmilleen komennolla S255. Koodin komennot ovat riveittäin, joten sen lukeminen ja siirtäminen laitteelle on helpompaa. [33.] [34.]



Kuva 21. Havainnollistus G-koodista.

G-koodin luomiseen on olemassa paljon erilaisia sovelluksia. Testejä varten käytössä oli sovellus nimeltä Inkscape, jolla pystyi luomaan haluamastaan kuvasta tai ohjelmalla kirjoitetusta tekstistä G-koodin (kuva 22). Inkscape tarvitsee tätä tarkoitusta varten lisäosan, joka on nimeltään J Tech Photonics Laser Tool. Koodin selkeän kirjoitusasun ansiosta sitä on mahdollista muokata esimerkiksi Python-ohjelmointikielellä tehdyn ohjelman avulla.

```

M107 S0
G1 F500
G1 X32.438 Y34.6764
G4 P0
M106 S255
G4 P0
G1 F150.000000
G1 X32.438 Y33.6584
G3 X31.8341 Y33.9163 I-3.3417 J-6.9872
G3 X31.3167 Y34.0821 I-1.8741 J-4.9596
G3 X30.7852 Y34.1884 I-1.1322 J-4.2772
G3 X30.2986 Y34.2216 I-0.4866 J-3.5503
G3 X29.4783 Y34.1203 I0. J-3.3697
G3 X28.9809 Y33.8909 I0.3603 J-1.4356
G3 X28.6471 Y33.4955 I0.6196 J-0.8616
G3 X28.521 Y32.9504 I1.1147 J-0.5451
G3 X28.6102 Y32.4796 I1.2861 J-0.
G3 X28.8259 Y32.1752 I0.7254 J0.2853
G3 X29.166 Y31.9807 I0.7191 J0.8629
G3 X29.9937 Y31.7566 I1.8157 J5.066
G1 X30.6242 Y31.6275
G2 X31.7237 Y31.2775 I-0.9001 J-4.7307

```

Kuva 22. Esimerkki G-koodin loppuosasta, joka on luotu Inkscapella.

5.8.2 Sarjayhteys

RPI:n ja Arduino Megan välillä tapahtuva yhteys hyödyntää USB-kaapelia. Marlinissa on valmius sarjaliikennettä varten, mutta RPI:tä varten se tarvitsi enemmän selvittelyä. Peruseriaatteeltaan laitteiden välinen sarjayhteys toimii siten, että RPI syöttää laitteelle G-koodia sisältävän tiedoston rivi kerrallaan. Marlinissa on rajoitettu, kuinka paljon käskyjä sinne saa puskuroitua.

Sarjaliikenteessä on useampi tekijä, jotka on otettava huomioon. Asynkronisen tiedonsiirron protokollassa on sisäänrakennettuja sääntöjä, jotka mahdollistavat mahdollisimman virheettömän tiedonsiirron. Koska protokolla on muokattavissa, on laitteiden välisessä sarjaliikenteessä varmistuttava siitä, että molemmat laitteet on asetettu käyttämään täysin samaa protokollaa. Lisäksi on otettava huomioon siirtonopeus, data-, synkronisointi- ja pariteetti-bitit. [35.]

Laitteiden baud rate on oltava kommunikointihetkellä sama, jotta laitteet ymmärtävät toisiaan. Baud rate tarkoittaa sitä, miten nopeasti tietoa sarjaväylään syötetään. Tämä aiheutti ongelmia, koska PC:llä toimivaksi havaitulle 250 000 bps:lle ei ollut tukea RPI:llä. Marlinin laiteohjelmistosta tähän kuitenkin löytyy vaihtoehtoja ja nopeudeksi valikoitui lopulta 115 200 bps. [35.]

Sarjayhteydessä Marlin vahvistaa vastaanotetut viestit lähettäjälle. Koska RPI:n käyttöjärjestelmä perustuu Linuxiin, on yhteyden muodostamisen testaaminen terminaalilla hyvä tapa lähteä liikkeelle (kuva 23). Ensiksi on varmistuttava siitä, mihin porttiin laite on kytkettynä.

```

pi@raspberrypi: /dev
File Edit Tabs Help
cuse          mmcblk0p2    raw          tty26        tty52        vcs3
disk          mmcblk0p5    rfdkill     tty27        tty53        vcs4
fb0           mmcblk0p6    serial      tty28        tty54        vcs5
fd            mmcblk0p7    serial1     tty29        tty55        vcs6
full          queue        shm         tty3         tty56        vcs7
fuse          net          snd         tty30        tty57        vcsa
gpiochip0     network_latency  stderr     tty31        tty58        vcsa1
gpiochip1     network_throughput  stdin     tty32        tty59        vcsa2
gpiochip2     null         stdout     tty33        tty6         vcsa3
gpiomem       ppp          tty         tty34        tty60        vcsa4
hwrng         ptmx         tty0        tty35        tty61        vcsa5
initctl       pts          tty1        tty36        tty62        vcsa6
input         ram0         tty10       tty37        tty63        vcsa7
kmsg          ram1         tty11       tty38        tty7         vcsa
log           ram10        tty12       tty39        tty8         vchi
loop0         ram11        tty13       tty4         tty9         watchdog
loop1         ram12        tty14       tty40        ttyAMA0     watchdog0
loop2         ram13        tty15       tty41        ttyprintk   xconsole
loop3         ram14        tty16       tty42        ttyUSB0     zero
pi@raspberrypi: /dev $ sudo chmod a+rw /dev/ttyUSB0
pi@raspberrypi: /dev $ cat >> /dev/ttyUSB0
G28
G28

```

Kuva 23. Näkymä Raspberry Pi:n terminaalista.

Tässä tapauksessa laite löytyi liitetyistä laitteista nimellä "ttyUSB0". Seuraavaksi tälle portille on annettava kaikki kirjoitusoikeudet, jotta kommunikointi on mahdollista. Tämän jälkeen, kun baud rate on asetettu, pitäisi pystyä kommunikoidaan laitteen kanssa esimerkiksi terminaalikomennolla "cat >> /dev/ttyUSB0". Toisella terminaalilla on hyvä seurata portin toimintaa komennolla "tail -f /dev/ttyUSB0", jotta kommunikointi havaitaan. Komenon jälkeen pitäisi olla mahdollista kirjoittaa laitteelle suoraan G-komentoja, mutta projektia suorittaessa tämän toiminta ei ollut oikeanlaista. Arduino Megalla välähtää sarjaliikennettä indikoiva LED, mutta komennoista huolimatta laite ei liiku, eikä laitteelta tule viestiä RPI:lle. Yksi mahdollinen syy tähän on se, että tiedonsiirtonopeus ei asetu oikeaksi RPI:llä tai Arduinolla.

6 Työn suoritus ja tulokset

Aiheen selvittyä alkoi aiheeseen perehtyminen ja tiedon hankinta. Tiedossa oli, että osa vaadittavista tarvikkeista on tilattava kauempaa, joten tilattavia tavaroita suunniteltiin jo alkuvaiheessa. Myös laitteen eri osa-alueet oli hahmotettava tässä vaiheessa. Tällä tavoin vältettiin tärkeän osan puuttuminen kokonaisuudesta projektin edetessä. Tavarat tulivat riittävän ajoissa, että projektia sai vietyä eteenpäin myöhemmässä vaiheessa, mutta joitain asioita olisi voinut tehdä toisin. Esimerkiksi prototyypin ohjainkortti olisi voinut olla laserilaitteeseen puhtaasti tarkoitettu.

Varsinainen tekeminen alkoi laitteen hahmottelusta paperille. Aluksi oli suunniteltava runko, johon pystyisi tekemään muutoksia projektin jokaisessa vaiheessa. Suunnitelmana oli, että runko koostuu jostakin metallista ja osat ovat liitettynä toisiinsa itse suunnitelluilla ja 3D-tulostetuilla osilla. Luonnoksien pohjalta ja runkomateriaalin valikoiduttua täytyi valmistaa tarvittavat materiaalit runkoa varten. Sen jälkeen vuorossa oli muiden osien 3D-mallintaminen. Kun runko alkoi olla kasassa, varmistui siinä vaiheessa laserin liikutteluun tarvittavan mekaniikan suunnittelun luonnokset. Laitteen rakentaminen eteni tässä vaiheessa osa kerrallaan, kunnes kaikki tarvittavat alkoivat olla paikoillaan. Ensimmäisessä versiossa ongelmana oli hihnojen liikeradat ja rajakytkimien puuttuminen, mutta ne kohdat sai korjattua lyhyessä ajassa valmistamalla muutaman osan uudelleen.

Laitteen ohjainkortin kokonaisuuteen tutustuminen alkoi jo ennen rungon valmistumista, mutta varsinainen perehtyminen vasta kytkentävaiheessa. Koska RAMPS 1.4 -kortti on suunniteltu 3D-tulostimia silmällä pitäen, siitä löytyy suuri määrä erilaisia kytkentämahdollisuuksia. Asiat selkenivät kuitenkin kytkentöjä tehdessä.

Ennen kuin laite kykenee tekemään mitään, oli perehdyttävä kortin vaatimaan laiteohjelmistoon ja sen erilaisiin asetuksiin. Asetukset sisälsivät todella paljon ylimääräistä tätä projektia ajatellen, mutta kaikki tarvittava selvisi selkeän ulkoasun ansiosta kohtalaisen nopeasti. Ensimmäiset laitteen liikutukset Repertier Host -sovelluksella olivat kaikkea muuta kuin onnistuneita. Rajakytkimien asetukset olivat väärinpäin ja laite ei pysähtynyt-kään ääriasentoon, vaan sai aikaan hihnan repeämisen irti laserin kuljettimesta. Tämän vian korjaamisen jälkeen uusilla ajokerroilla tuli havaittua se, että laserin liikkeet eivät vastanneet lainkaan sitä, mitä manuaalisilla komennoilla ohjelmassa syötettiin. Vikaa etsittiin

laiteohjelmiston muutettavista parametreista, mutta lopullinen vika löytyi RAMPS 1.4 -kortilta. Moottoreiden ajurikorttien alta puuttuivat jumpperit 1/16 mikroaskellusta varten. Tämän jälkeen laite oli valmis ensimmäistä laserin ajoa varten.

Laserin ajamisessa oli myös ongelmia ensimmäisellä kerralla. Laserin ohjaus oli syötettyä laserin ohjainkortin TTL-porttiin. Laseri ei kuitenkaan totellut sammutuskomentoja, vaan jäi päälle, kunnes virrat sammutettiin. Yhtenä syynä voi olla huonolaatuinen laserin ohjainkortti. Tämä kytkentä muutettiin siten, että laseria ohjataan suoraan ohjainkortin 12 V tuloa säätämällä, jolloin ongelma poistui ja toiminta oli normaalia.

Laserilla pääsi lopulta polttamaan halutunlaisia kuvioita vanerilevyille, kun kaikki oli kunnossa. Laitteen ajaminen onnistui hyvin PC:llä kerta toisensa jälkeen ilman ongelmia.

RPI:n mukana oli esiasennettu käyttöjärjestelmä, johon oli muutettava ensimmäiseksi salasana ennen internetiin yhdistämistä. Salasanan ja muiden asetusten asettamisen jälkeen se oli valmis sarjayhteyden kokeilua varten. On olemassa RPI:n ja 3D-tulostimien välisiä valmiita sovelluksia, jotka mahdollistavat tulostimen ohjaamisen etänä internetin välityksellä. Projektia varten sopivaa pohjaa oli vaikea löytää, koska avoimen lähdekoodin omaavat sarjaliikennettä hyödyntävät ohjelmat olivat suurikokoisia, eikä niistä löytynyt tarvittavaa tietoa projektia varten. Laitteiden välistä kommunikointia kokeiltiin suoraan RPI:n käyttöjärjestelmän terminaalissa, mutta toimivan yhteyden muodostus jäi saavuttamatta.

Työn kokonaisuutta jouduttiin rajaamaan työn laajuuden takia. Työn tuloksena tuli kuitenkin prototyyppi toimivasta laserilaitteesta, joka kykenee polttamaan laserilla kuvioita ja kuvia.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa Superpark Oy:n käyttöön laitekokoisuus, jolla voitaisiin palkita kävijä laserilla merkityllä esineellä. Laserilaitteesta tuli toimiva prototyyppi, jota pystyy monistamaan ja kehittämään eteenpäin. Laitteen materiaalikustannukset jäivät alhaiseksi, mikä on etu kaupallisiin versioihin verrattuna.

Työn aikana tuli vastaan ongelmia, joita oli suunnitteluvaiheessa vaikea ennakoida. Tuotteet tilattiin ajoissa ja laitteen valmistus onnistui aikataulussa. RPI:n ja laitteen välisen sarjaliikenteen muodostaminen ennakoitiin haastavaksi ja se jäikin toistaiseksi toteuttamatta. Ratkaisu tähän ongelmaan voi olla hyvinkin yksinkertainen, mutta tässä yhteydessä sitä ei siihen löytynyt.

Työ oli todella monipuolinen ja mielenkiintoinen, koska siinä yhdistyi erilaisia osa-alueita. Yhdistämällä mekaniikkaa, 3D-suunnittelua, elektroniikkaa ja ohjelmointia voi saada aikaan monenlaisia laitteita, joiden hankkiminen kaupallisina versioina voi joissakin tapauksissa olla huomattavan kallista.

Työn alkuperäisistä tavoitteista työtä jouduttiin rajaamaan, ettei opinnäytetyön laajuus kasva liian suureksi. Valmistunut laite on tarkoitukseen sopiva ja valmis jatkokehitystä ajatellen.

Lähteet

- (1) Kulina - Richter - Ringelhahn - Weber. Lasertyöstö: Keuruun aikuiskoulutusosasto.
- (2) Internetix - Lukion ja peruskoulun kurseja. Available at: http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/5_sadeoptiikka/505?C:D=2079115&m:sel-res=2079115. Accessed 12/4/, 2018.
- (3) Wavelength. Available at: <https://cdn.everythingrf.com/live/wavelegth.jpg>. Accessed 13/4/, 2018.
- (4) Analyysimenetelmät 5. Spektrometriset menetelmät. Available at: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmät_5-1_yleista_spektroskopiasta.html. Accessed 15/4/, 2018.
- (5) Milonni PW, Eberly JH. Laser Physics. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated; 2010.
- (6) ELEC-C3220 Kvantti-ilmiöt. Available at: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/221412/mod_resource/content/0/kalvot_twolevel.pdf. Accessed 16/4/, 2018.
- (7) Diode Laser: The Most Versatile and Convenient Coherent Light Source. Available at: <https://www.findlight.net/blog/2018/01/28/diode-laser/>. Accessed 16/4/, 2018.
- (8) Inkinen Pentti, Manninen Reijo, Tuohi Jukka. Momentti 2 Insinöörifysiikka. : Otava.
- (9) Semiconductor band structure. Available at: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Valenssivy%C3%B6#/media/File:Semiconductor_band_structure_\(lots_of_bands_2\).svg](https://fi.wikipedia.org/wiki/Valenssivy%C3%B6#/media/File:Semiconductor_band_structure_(lots_of_bands_2).svg). Accessed 17/4/, 2018.
- (10) Laser engraving - Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_engraving. Accessed 17/4/, 2018.
- (11) Miksi laserit voivat olla vaarallisia - STUK. Available at: <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/miksi-laserit-voivat-olla-vaarallisia>. Accessed 15/3/, 2018.
- (12) Laserluokat - STUK. Available at: <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>. Accessed 20/3/, 2018.

- (13) Valtioneuvoston asetus laserlaitteista ja niiden tarkastuksesta 291/2008. Available at: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080291>. Accessed 17/4/, 2018.
- (14) Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. Available at: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400>. Accessed 17/4/, 2018.
- (15) Arduino - Wikipedia. Available at: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Arduino>. Accessed 5.4., 2018.
- (16) Arduino Mega 2560 Rev3. Available at: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>. Accessed 9/3/, 2018.
- (17) RAMPS 1.4 - RepRapWiki. Available at: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4. Accessed 23/04/, 2018.
- (18) A4988 Datasheet. Available at: <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A4988-Datasheet.ashx>. Accessed 23/04/, 2018.
- (19) QSH4218-35-10 manual. Available at: http://www.trinamic.com/scripts/download.php?file=_articles%2Fproducts%2Fmotors%2Fqmot-qsh4218%2F_datasheet%2FQSH4218_manual.pdf. Accessed 14/3/, 2018.
- (20) Raspberry Pi 3 Model B – Raspberry Pi. Available at: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. Accessed 22/3/, 2018.
- (21) Raspberry Pi – Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#Software. Accessed Viitattu 22/3/, 2018.
- (22) Getting started with the Internet of Things - Raspberry Pi. Available at: <https://www.raspberrypi.org/blog/getting-started-with-iot/>. Accessed 22/3/, 2018.
- (23) Raspberry GPIO Pinout. Available at: <https://pinout.xyz/>. Accessed 22/3/, 2018.
- (24) FrontPage – Raspbian. Available at: <https://www.raspbian.org/>. Accessed 22/3/, 2018.
- (25) SSH - Linux.fi. Available at: <https://www.linux.fi/wiki/SSH>. Accessed 22/3/, 2018.
- (26) 2017 SOLIDWORKS Help – STL Files (*.stl). Available at: http://help.solidworks.com/2017/english/solidworks/sldworks/c_stl_files.htm. Accessed 26/3/, 2018.

- (27) Introduction to 3D printing | 3D Hubs. Available at: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>. Accessed 26/3/, 2018.
- (28) Fused Filament Fabrication – Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication. Accessed 26/3/, 2018.
- (29) Folger Tech Products. Available at: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0586/8617/products/FolgerTechProductsWeb-45_large.jpg?v=1458308630. Accessed 17/4/, 2018.
- (30) Stepper Motors | NEMA Stepper Motors & Controllers. Available at: <https://www.circuitspecialists.com/stepper-motor>. Accessed 10/4/, 2018.
- (31) Configuring Marlin 1.1 | Marlin Firmware. Available at: <http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>. Accessed 17/4/, 2018.
- (32) Laser Diode Driver Basics. Available at: <https://www.teamwavelength.com/laser-diode-driver-basics/>. Accessed 17/4/, 2018.
- (33) Getting started with G-Code. Available at: <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>. Accessed 17/4/, 2018.
- (34) G-code - RepRapWiki. Available at: <http://reprap.org/wiki/G-code>. Accessed 17/4/, 2018.
- (35) Serial Communication; Available at: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/rules-of-serial>. Accessed 19/4/, 2018.