



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Laurits Koit

CO2-Laserleikkurin valmistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

10.5.2021

Tekijä Otsikko	Laurits Koit CO2-Laserleikkurin valmistaminen
Sivumäärä Aika	33 sivua 30.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Maria Sjöholm
<p>Tässä insinööriyössä suunniteltiin ja valmistettiin alusta loppuun hiilidioksidilla toimiva laserleikkuri puun kaiverrus- ja leikkaustarkoitukseen.</p> <p>Työssä selvitetään hiilidioksidilaserin toimintaa, sekä laserleikkurin kaikki osat ja niiden toiminta. Työssä myös suunnitellaan laserleikkurin kokoonpanoon komponentteja 3D-tulostettavaksi. Laser suunniteltiin mahdollisimman edulliseksi, mutta myös etsittiin kehittyneempiä ratkaisuja parannusehdotuksiksi.</p> <p>Työ etenee kokoamisjärjestyksessä ja sisältää teoriaosuuden hiilidioksidilasereista.</p> <p>Insinööriyössä selvisi hyvin erilaiset hiilidioksidilaserin kokoonpanomahdollisuudet, sekä myös 3D-tulostuksen edut suunnittelussa. Työn tuloksena on laserleikkurin runko, sekä suunnitelma lopullisesta kokoonpanosta.</p>	
Avainsanat	CNC, CO2-Laser, Laser, Kaiverrus, Leikkaus

Author Title	Laurits Koit Manufacturing a CO2 Laser Cutter
Number of Pages Date	33 Pages 30 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Maria Sjöholm, Senior Lecturer
<p>In this thesis, a carbon dioxide laser cutter was designed to be used for engraving and cutting wood.</p> <p>The main focus of this thesis is to design and manufacture a simple laser cutter. The principles of a carbon dioxide laser are explained in this thesis and all the components, and their uses are defined. Some assembly parts are designed to be 3D printed to save on costs. The laser was designed to be as economical as possible, but also more expensive components were considered, especially for the future upgrades of the laser cutter.</p> <p>The thesis includes a theory part on carbon dioxide lasers, and it is made in the order of assembly to give an idea what parts and methods are needed to assemble a laser cutter.</p> <p>The mechanical and design aspects of making a laser cutter became apparent in this thesis, and the problems and complexity of manufacturing a working machine are discussed. As a result, a frame of the laser cutter was made and a plan for the final assembly of the finished product was created, with future upgrades planned.</p>	
Keywords	CNC, CO2-Laser, Laser, Engraving, Cutting

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laserleikkausmenetelmät	2
2.1	CO ₂ -Laserleikkauksen historiaa	2
2.2	Leikkausmenetelmä	2
2.2.1	Leikkaus polttamalla	4
2.2.2	Leikkaus sulattamalla	4
2.3	Säteen suuntaus	4
2.4	Leikkausmateriaalit	6
2.4.1	Rautametalli	6
2.4.2	Kirjometalli	7
2.4.3	Epämetallit	7
2.4.4	Materiaaleja, joita ei saa missään tapauksessa leikata	7
3	Laserleikkurin suunnittelu ja kokoonpano	8
3.1	Laserleikkurin suunnittelu	8
3.2	Runko	8
3.3	Teline	16
3.4	Laserin kohdistaminen	18
3.5	Elektroniikka	20
3.6	Laser	22
3.7	Turvallisuus	22
3.7.1	Ilmastointi	22
3.7.2	Jäähdytys	23
4	Ohjelmisto	23
4.1	GRBL	23
4.2	LaserGRBL	24
5	Tulokset	26

Lyhenteet

CO2-Laser Hiilidioksidilaser

MDF Medium-density fibreboard (puolikova kuitulevy)

PVC Polyvinyylikloridi, muovimateriaali

ABS Akrylinitriilibutadieenistyreeni, muovimateriaali

CNC Computer numerical control, työstökone, jota ohjataan yksiselitteisillä symboleilla

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä suunnitellaan ja valmistetaan CO2-laserilla toimiva leikkauskone, erinäisiä valmistustekniikoita käyttäen. Laserleikkurin kokoonpano suunnitellaan CATIA-ohjelmistolla. Työn tarkoituksena on valmistaa toimiva laserleikkuri ja tutustua sen ohjaukseen, ilmastointiin ja jäähdyttämiseen.

Laserleikkuri suunnitellaan mahdollisimman edulliseksi rakentaa, niin että siinä olisi tarpeeksi iso pinta-ala leikata ja kaivertaa tehokkaasti. Rakenteiden komponenttien hintoja yritetään laskea 3D-tulostuksen avulla. Pieniä laserleikkureita voi saada suhteellisen edullisesti valmiiksi rakennettuna, mutta isompien leikkauspinta-aloja omaavien laserleikkureiden tilaaminen on erittäin paljon kalliimpaa, vaikka komponentit ja toimintaperiaatteet ovat identtiset. Tämän takia on kannattavaa rakentaa laserleikkuri itse.

Laserleikkurin leikkausnopeus on tärkeä ominaisuus, mikä vaikuttaa suoraan tuotant nopeuteen, joten sen huomioiminen on tärkeää. Tähän vaikuttaa valittu ohjauspiiri, missä hinta ratkaisee leikkurin G-koodikäsitteilyn nopeuden, mistä nopeus määräytyy.

CO2-laserit tuottavat paljon savua kaivertaessa, mikä voi palaa suuntaaviin peileihin kiinni. Tämä heikentää leikkaustehoa tai mahdollisesti polttaa peilit käyttökelvottomaksi, minkä takia laserleikkurin ilmastointi on ensisijaisen tärkeää. Sisätilassa laserleikkurin ilmastoinnin suodattaminen on myös tärkeää.

Valmiin laserleikkurin pitäisi pystyä leikkaamaan maksimissaan 5 mm paksua puuta, sekä myös nahkaa, akryylia, PVC:tä ja kumia, mutta materiaalien ominaisuudet voivat vaikuttaa tulokseen. Tähän tarkoitukseen tullaan käyttämään 40 watin laseria.

2 Laserleikkausmenetelmät

2.1 CO2-Laserleikkauksen historiaa

Hiilidioksidilaser (Kuva 1), eli CO2-Laser on yksi ensimmäisistä kehitetyistä kaasulaseista, jonka Kumar Patel keksi Bell Labsissa vuonna 1964 [1]. CO2-laser on edelleen yksi käytetyimmistä jatkuvatoimisista lasereista teollisuudessa. Laseria käytetään varsinkin teräksen leikkaamiseen. Laserin leikkaustyylistä johtuen 3D-muotojen leikkaaminen on varsin hankalaa, joten sitä käytetään paljon enemmän levytyöstöön, mutta myös 3D-käyttötarkoituksia on. CO2-lasereiden teho ja leikkauspinta-ala on vain kasvanut kehityksen myötä, nykyään leikkauspinta-alat voivat olla massiivisia, 3 m x 4 m ja niillä pystyy leikkaamaan jopa 20 mm paksua terästä. Laserleikkauksen suosio johtuu sen helppokäyttöisyydestä, nopeista leikkausajoista ja tarkkuudesta. CO2-laserin leikkaus-teho vaihtelee 40 watista satoihin kilowatteihin. Laserleikkureita käytetään myös paljon lääketieteellisissä operaatioissa koska laserin aallonpituus imeytyy erittäin hyvin veteen, mikä muodostaa suurimman osan biologisesta massasta, niitä käytetään esimerkiksi luomien poistoon. [2]

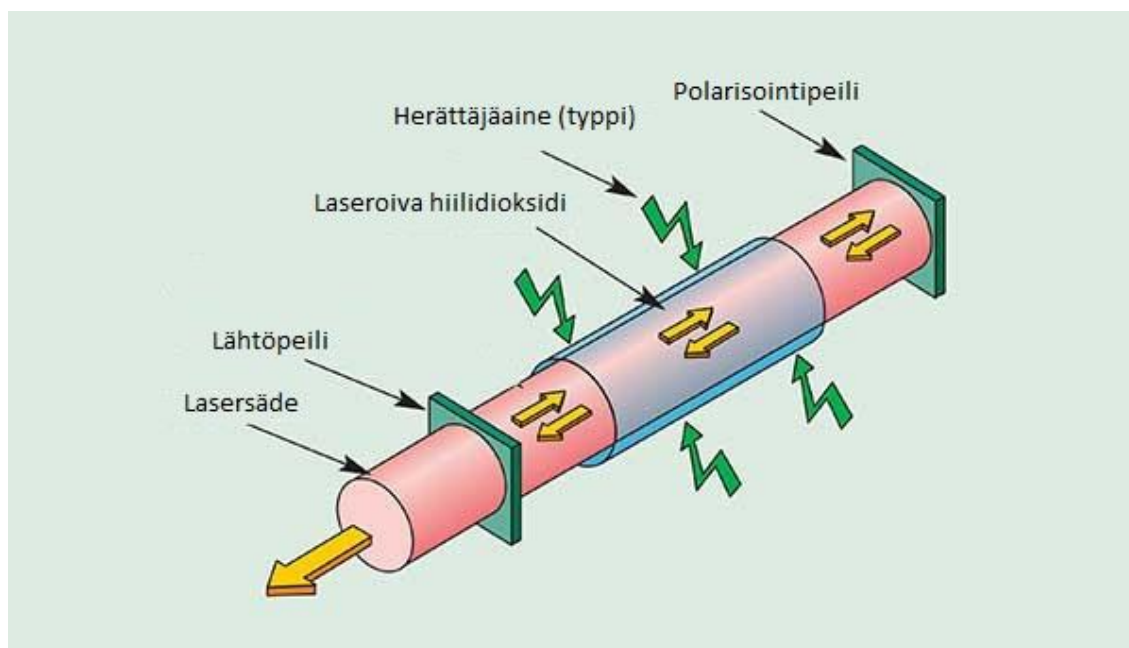


Kuva 1. CO2-laserputki

2.2 Leikkausmenetelmä

Laserin toiminta perustuu siihen, että kaasumaista väliainetta aktivoidaan sähköpurkauksilla. Kun kaasun molekyylit joutuvat ylivirittyneeseen tilaan ne vapauttavat valoa. Vapautettava valo on näkymätöntä infrapunavaloa CO2-laserin tapauksessa. Laserputken

sisällä (Kuva 2) on kaksi peiliä, yksi täysin heijastava peili ja toinen osittain heijastava peili. Valo heijastuu putken sisällä edestakaisin ja voimistuu, kunnes se on niin voimakas, että se pystyy läpäisemään osittain heijastavan peilin. Tämä valosäde toimii leikkaavana lasersäteenä. Tämän lasersäteen sivutuotteena syntyy lämpöä, millä pystyy höyrystämään ja sulattamaan työstettävää materiaalia. [3]



Kuva 2. Hiilidioksidilaserin toimintaperiaate [4]

CO₂-laserit säteilevät valoa kahdella pääasiallisella aallonpituudella 10,6 μm, sekä 9,6 μm, laserputkien hyötysuhde on noin 10–15 prosenttia. CO₂-laserien kaasusekoitus koostuu suurimmaksi osaksi heliumista (60–85 %), joka auttaa lämmönsäätelyyn, sekä sisältää myös hiilidioksidia (1–9 %) ja typpeä (13–35 %). Nämä laserit pitää myös jäähdyttää, sillä suurin osa sähköenergiasta muuttuu hukkalämmöksi. Suuremman tehon lasereissa kaasu uusiutuu jatkuvasti leikkaustehon parantamiseksi, mutta pienemmän tehon lasereissa kaasua ei tarvitse vaihtaa [5].

2.2.1 Leikkaus polttamalla

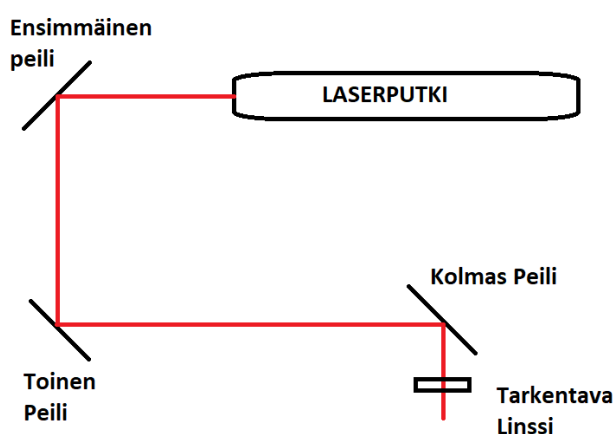
Polttamalla leikkaamisessa leikkaamiskaasuna käytetään happea, puuta polttoleikataan aina mutta metallia voidaan myös leikata sulattamalla. Mustat teräkset leikataan polttamalla, mutta leikkauksesta voi myös helposti aiheutua pinnan päälle palanutta materiaalia mikä tuhoaa työkappaleen. Polttamalla leikkauksessa ei muodostu metallisulaa, vaan työstettävä pinta höyrystyy.

2.2.2 Leikkaus sulattamalla

Sulattamalla leikatessa sula materiaali puhalletaan pois käyttämällä tyypikaasua. Sulattamalla leikkaamista käytetään enimmäkseen, kun leikataan kuitulaserilla. Sula materiaali pitää kerätä pois työstön jälkeen.

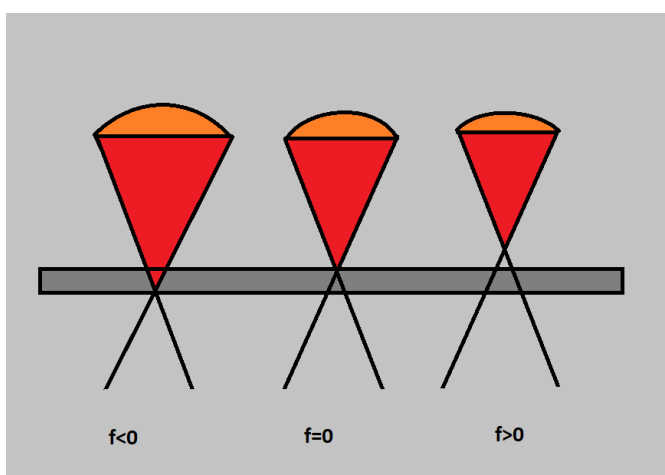
2.3 Säteen suuntaus

Laserputki asetetaan yleisesti laserleikkurin taakse, josta lasersäde suunnataan työpintaan kolmen peilin avulla (Kuva 3). Toinen ja kolmas peili liikkuvat koneen työskentelyn mukana, mutta ensimmäinen peili pysyy paikallaan.



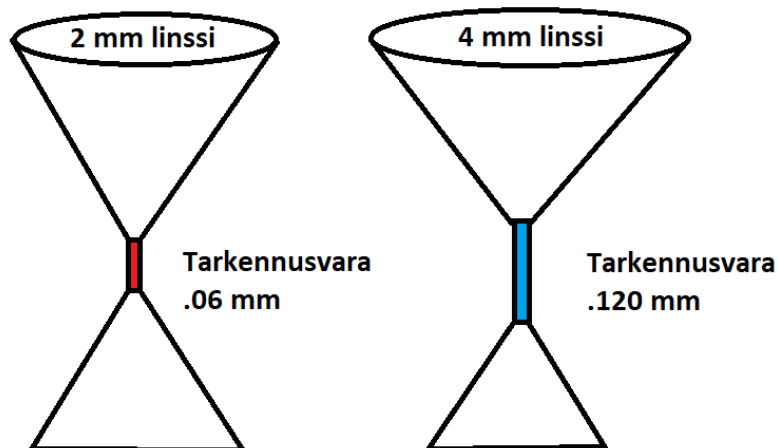
Kuva 3. Lasersäteen heijastuksen toimintaperiaate

Lasersäde tarkennetaan työstettävään kappaleeseen linssillä yhteen pisteeseen, missä varsinkin linssin polttovälillä on suuri merkitys työn tulokseen. Mitä kauempana linssi leikattavaan materiaaliin on, sitä kohdennetumpi valosäde on. Kun leikataan metallilevyä, joka on enintään 6 mm paksua niin polttopiste asetetaan leikattavan materiaalin pinnalle, kun taas se on enemmän, kuin 6 mm niin polttopisteen pitää olla metallilevyn yläpuolella. Kun leikataan ruostumatonta terästä tai alumiinia kovalla paineella, niin polttopiste on 2/3 metallilevyn sisäpuolella. Kaiverruskäytössä laserin ei tarvitse olla yhtä fokusoitu, mikä tuottaa hieman sumuisemman leikkaustuloksen, joka saattaa olla joissain tapauksissa haluttua. Kuva 4 havainnollistaa säteen polttopistettä materiaalissa.



Kuva 4. Polttoväli määrittää laserin vaikutusalueen materiaaliin

Heijastavat peilit valmistetaan yleensä sinkistä, ja ne hopeoidaan parhaimman leikkaustuloksen varmistamiseksi. Jos peileissä on likaa niin lasersäde ei heijastu täydellisesti, vaan kuumentaa peiliä ja mahdollisesti myös polttaa sen, mikä on vaarallista ja pilaa peilin. Muita materiaaleja mitä voidaan käyttää peilaukseen ovat kulta, sinkki seleeni, molybdeeni ja timantti. Timanttien käyttäminen linseissä mahdollistaa myös linssien puhdistamisen hiekkapuhalluksella vahingoittamatta linssiä, mikä tekee niistä erittäin pitkäikäisiä. Linsejä on eri polttoväleillä (Kuva 5), mitkä mahdollistavat erilaisia käyttökohteita.



Kuva 5. Linssin polttoväli määräytyy linssin koosta ja kuperuudesta

2.4 Leikkausmateriaalit

Laserilla voidaan työstää monenlaisia tuotteita. Jos materiaalin pinta soveltuu leikattavaksi niin materiaalia voidaan työstää. Leikkauksessa pitää huomioida materiaalin heijastuvuus ja lämmönjohtavuus. Mitä jalompi metalli niin sitä hankalampi sitä on leikata. Leikkauksen laatuun vaikuttaa myös pinnanlaatu, sillä kaikki pintavirheet heijastavat valoa eri tavalla ja saattavat tuottaa epätasaisen leikkaustuloksen. Leikattavan materiaalin pintaa voidaan myös päällystää leikkaustuloksen parantamiseksi [8]. Tämän laserleikkurin kohdekäyttönä on puu, mikä on helposti leikattavaa, joten pinnanlaadun ja tarkkojen säädöksiä tekeminen ei ole hyvän lopputuloksen kannalta tarpeellista.

Näitä materiaaleja, ja myös muitakin pystyy kaivertamaan ja leikkaamaan, joten laserien käyttökohteet ovat lähes rajattomat [6].

2.4.1 Rautametalli

- Hiiliteräs

2.4.2 Kirjometalli

- Alumiini
- Titaani
- Muut metalliseokset

2.4.3 Epämetallit

- Puu
- Paperi
- Polymetyylimetakrylaatti ja muut akryyliset muovit
- Nahka, kangas tapetti ja samantyyppiset tuotteet
- Kasvit ja ruoka
- Keramiikka (Kaiverrus)
- Lasi (Kaiverrus)

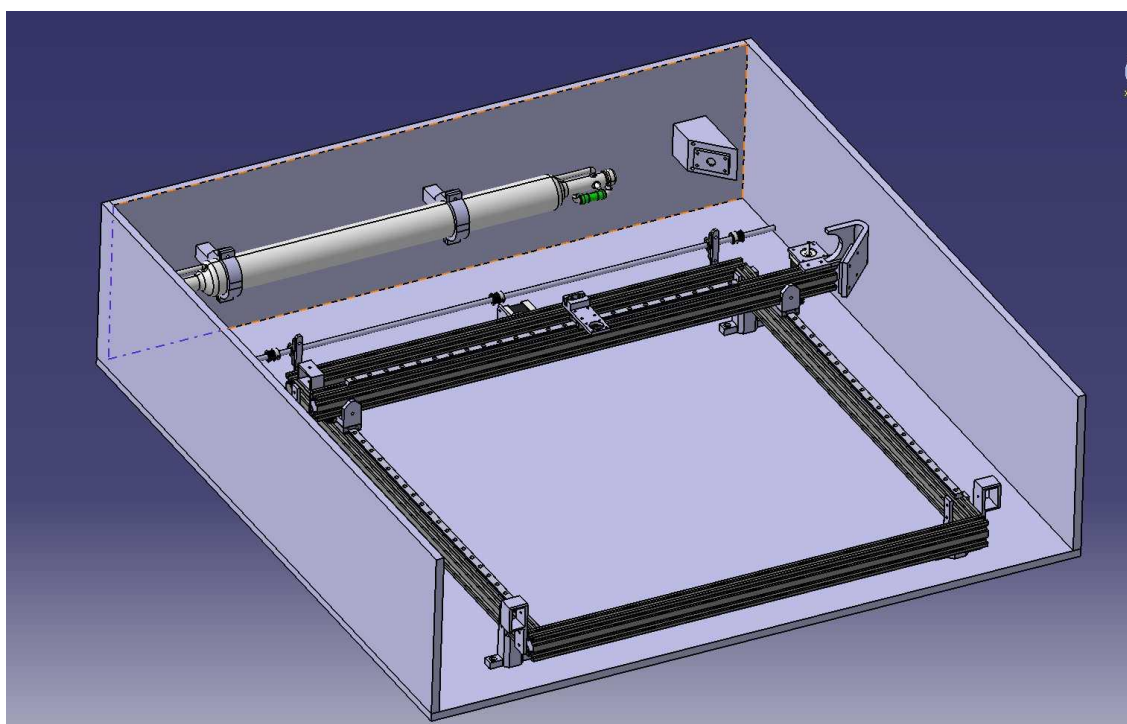
2.4.4 Materiaaleja, joita ei saa missään tapauksessa leikata

- PVC-muovi, PVC-muovi muodostaa myrkyllistä kloriini-kaasua, kun materiaalia leikataan.
- ABS-muovi, erittää syanidikaasua leikatessa ja sulaa, jolloin leikkausjälki on huonoa.
- Polystyreeni ja polypropeeni, syttyvät herkästi palamaan
- Lasikuitu
- Päälystetty hiilikuitu

3 Laserleikkurin suunnittelu ja kokoonpano

3.1 Laserleikkurin suunnittelu

Laserleikkuri (Kuva 6) on suunniteltu mahdollisimman helppokäyttöiseksi. Laser on myös suunniteltu liikutettavaksi, pienet osat ja runko on helppo irrottaa siirron ajaksi. Peilien hyvä kohdistus parantaa työnjälkeä. On tärkeää, että kaikki peilit tulostetaan samalle korkeudelle ja 45 asteen kulmiin, jotta kohdistus olisi mahdollisimman helppoa.

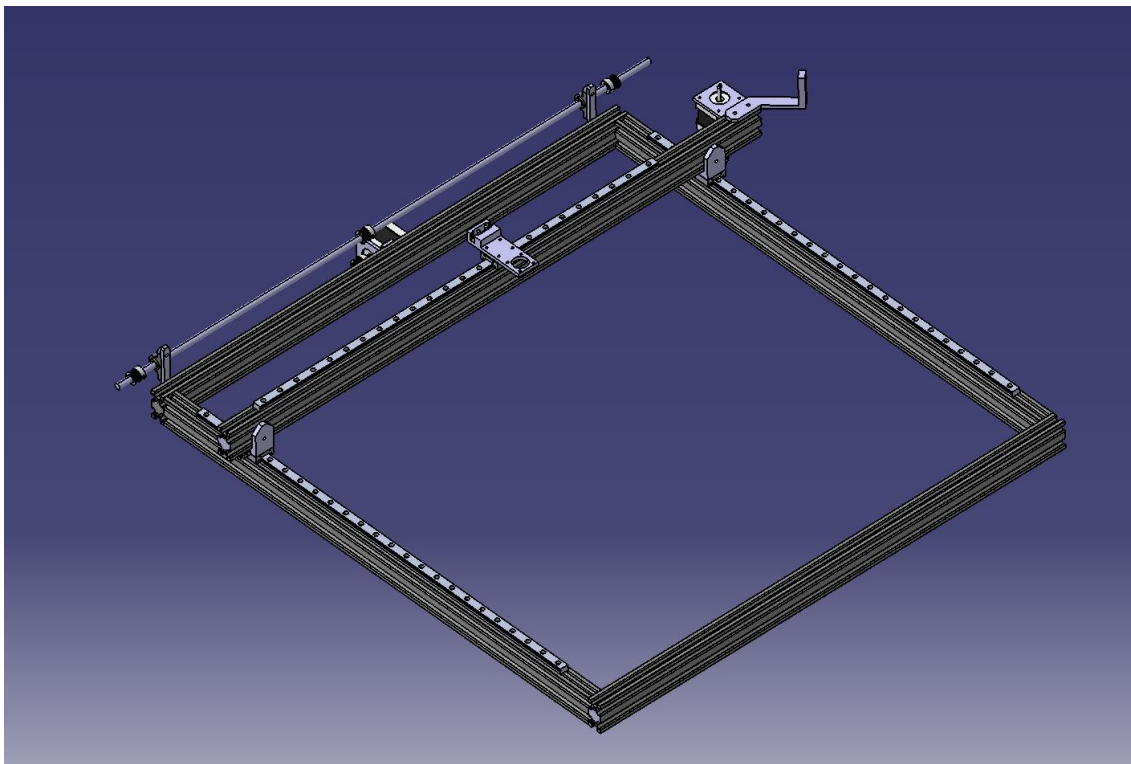


Kuva 6. Laserleikkurin valmis kokoonpano ilman elektroniikkaa, sekä etu- ja kansipaneelia

3.2 Runko

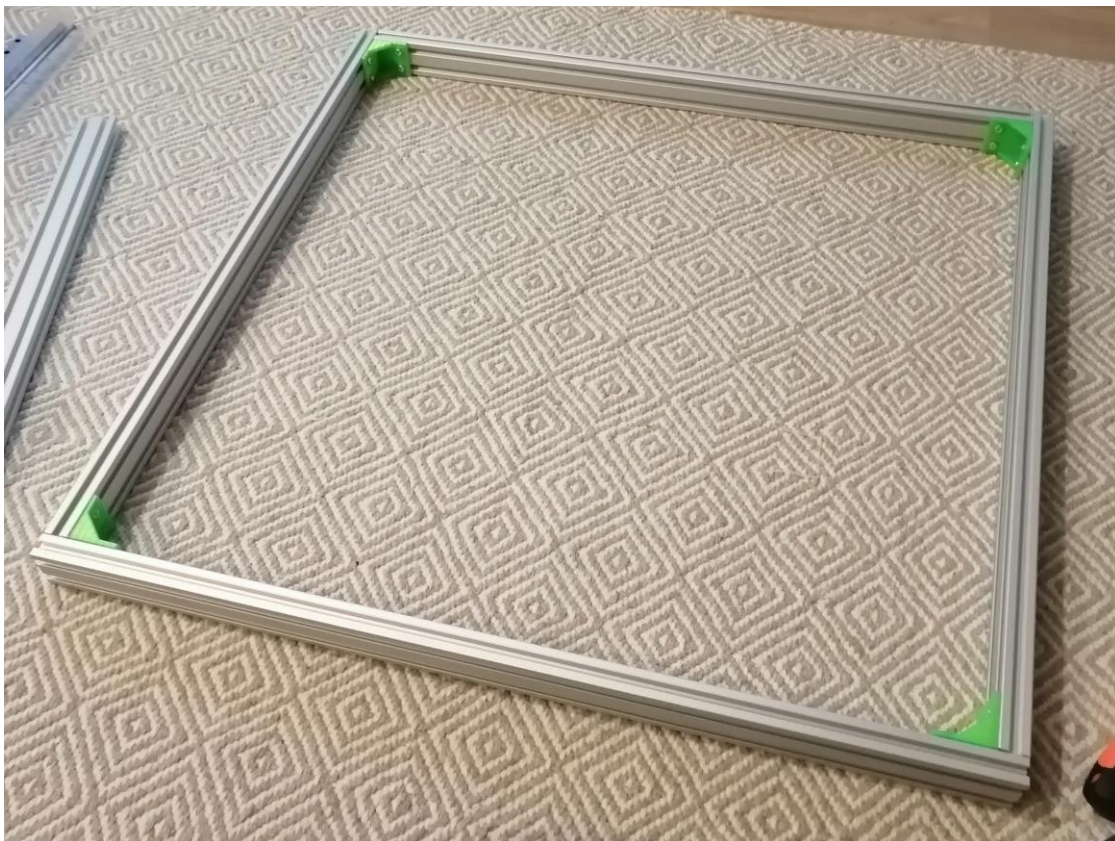
Rungon (Kuva 7.) suunnitteluun apuna käytettiin kahta valmista työohjetta [7 & 8] ja suunnittelu muokattiin omien tarpeiden mukaiseksi. Pienikokoisten laserleikkureiden hankinta Kiinasta on edullista, mutta niiden leikkuupinta-alat ovat erittäin pienikokoisia mikä ei ole järkevä käyttökohde laserleikkurille sillä työpinta-ala mahdollistaa helpon

työskentelyn ja suuremmat tuotteet. Laserin X ja Y-akseleita liikutetaan askelmootteilla, jotka ovat yhdistetty jakohihnoin. Suunnittelun lähtökohtana oli tarvittavan suuren leikkauspinta-alan saaminen, jotta laserleikkurin käyttö ja valmistaminen olisi järkevää.



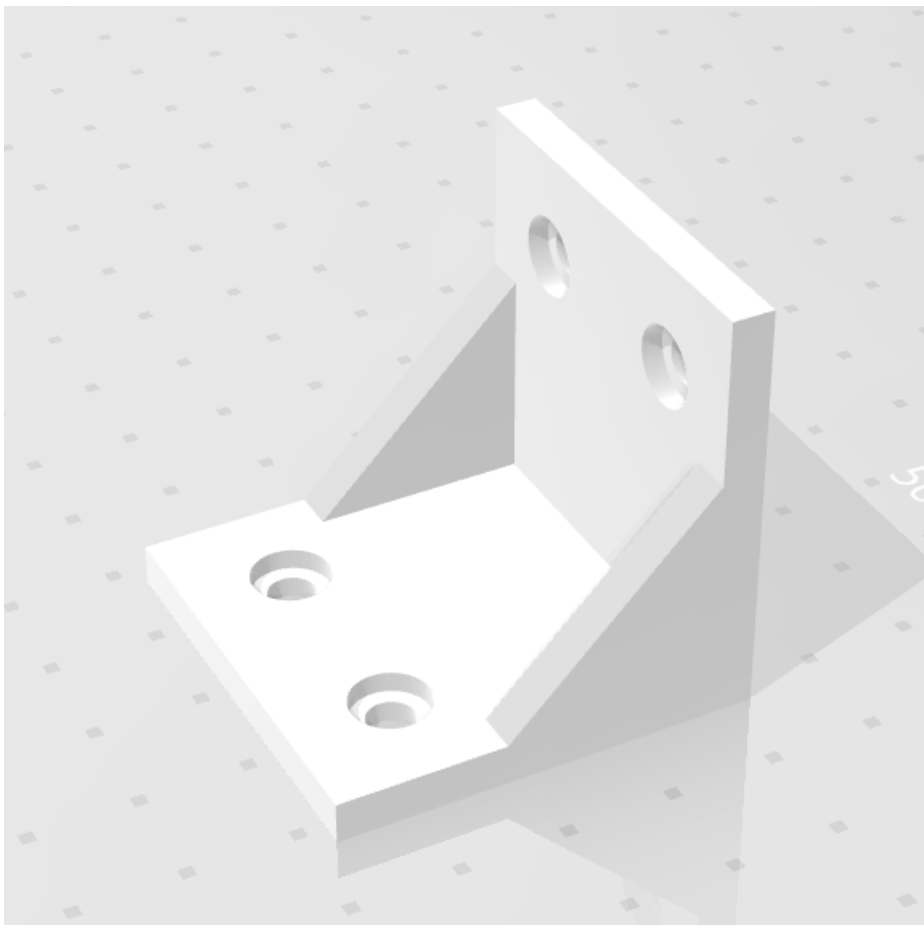
Kuva 7. Laserleikkurin rungon CATIA-Malli

Laserleikkurin runko (Kuva 8.) päätettiin koota käyttämällä 2040 BSB-alumiiniprofiilia sen kokoamisen yksinkertaisuuden, modulaarisuuden ja helpon kiinnitysten vuoksi, myöskin 2040-profiilin edullinen hinta oli oleellinen valintakriteeri.



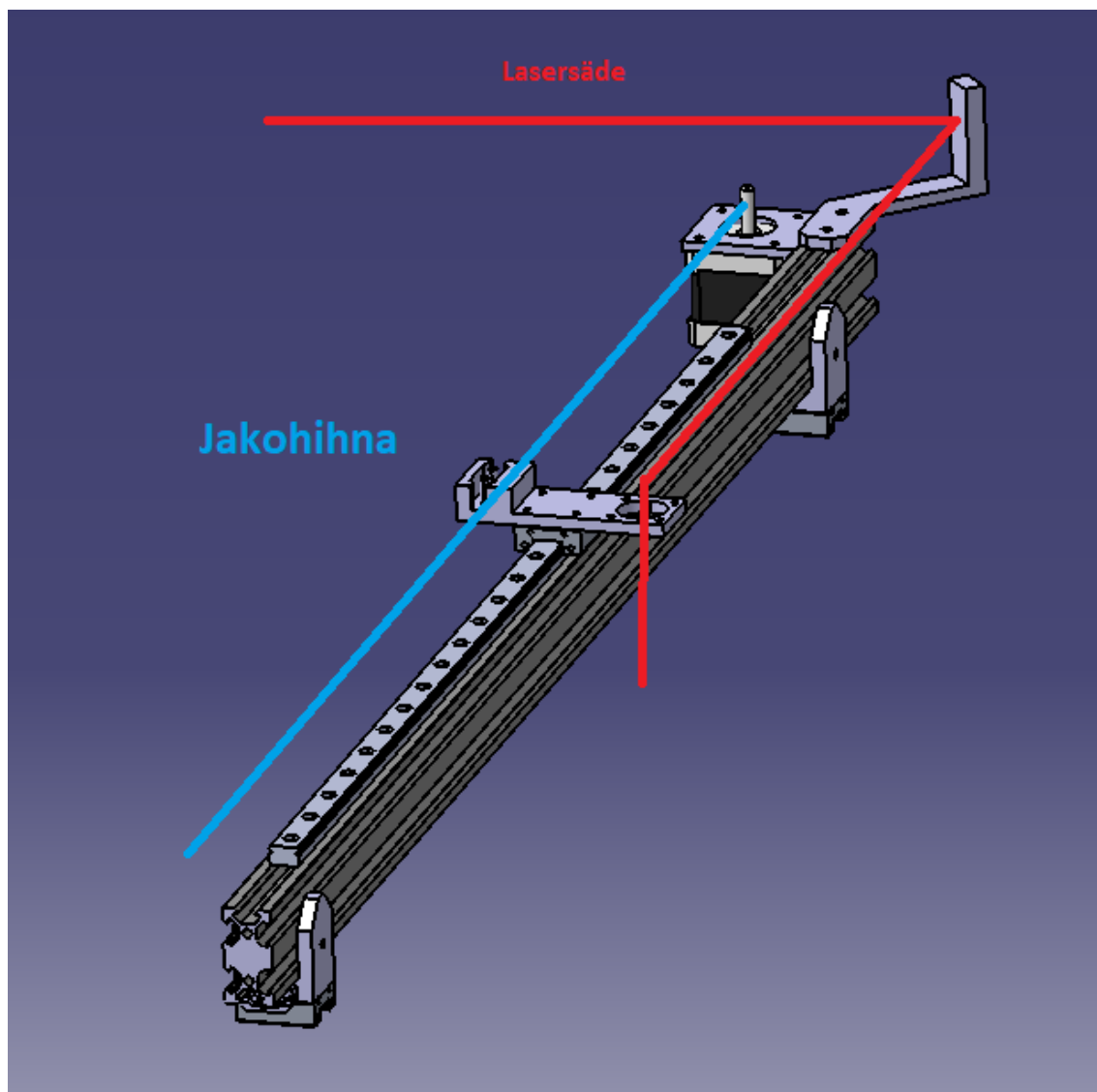
Kuva 8. Rungon perusta

Alumiiniprofiilit kiinnitettiin toisiinsa käyttämällä 3D-tulostettuja kulmaliitoksia (Kuva 9), joissa oli kussakin 8 eri liitoskohtaa, jotka ruuvattiin kiinni alumiinirungon sisään laitettavan T-slot -mutterin avulla, näillä liitoksilla taataan tarpeeksi jäykät liitokset, ettei laserleikkuri liiku työskentelyn aikana. Laserleikkurin etuna verrattuna CNC-jyrsimiin on se, että itse laser sijaitsee liikkumattomana laitteen takaosassa, mikä tekee työosan liikuttamisesta erittäin kevyttä, sillä siinä sijaitseva peilirakenne on hyvin kevyt.



Kuva 9. Rungon kokoamisessa käytetyt 3D-tulostetut kulmaliitokset

Rungon kahdelle sivulle sijoitetaan lineaarinen ohjaustanko, jonka avulla liikutetaan keskimmäistä X-akselia. Liikkuvaan alumiiniprofiiliin on liitetty X-akselin moottori, jakohihna, sekä lineaarisen ohjaustangon päälle peili, jakohihnan kiinnitys ja laserin linssi (Kuva 10). Lineaarinen ohjaustanko valittiin sen tarkkuuden ja matalan kitkavastuksen vuoksi. Lineaarinen ohjaustanko on myös edullinen, sekä se on helposti kiinnitettävä, minkä vuoksi siihen pystyi helposti 3D-tulostamaan tarvikkeita. Toisena vaihtoehtona on itse alumiiniprofiiliin kiinnitettävä kelkka, mikä on hieman hankalampi toteuttaa, eikä työn laatu ole yhtä hyvä.



Kuva 10. Alumiiniprofiilin päällä oleva lineaarinen ohjaustanko, jolla linssi liikkuu

Tämä runko on valittu sen edullisuuden puolesta, sillä askelmoottorien liittäminen onnistuu helposti 3D tulostettavien osien kanssa. (Kuva 11.) Yhdellä Y-askelmoottorilla voi myös helposti liikuttaa koko akselia, mikä myös helpottaa ohjelmointivaihetta ja myös estää X-akselin vinouman, sillä jos akselia ohjataan kahdella moottorilla ne eivät välttämättä liiku täysin yhtenäisesti.



Kuva 11. Askelmoottorin liittämiseen käytetty 3D-tulostettu liitos

Koska alumiinirunkoon sovitetut T-slot -mutterit olivat kokoa M4, laserleikkurin 3D-tulostettavat osat suunniteltiin suurimmaksi osaksi M4-ruuveille, mutta myös M3-ruuveja käytettiin moottorien ja lineaaristen ohjaustankojen kelkkojen kiinnityksissä.

Rungon (Kuva 12.) kokoonpano oli yksinkertaista ja sen pystyi suorittamaan ruuvimeiselillä, ilman erillisiä työkaluja.



Kuva 12. Rungon kokoonpano

Laserleikkurin valmistuksen tarvittavien osat tilattiin suurimmaksi osaksi kiinasta. (Taulukko 1) Toimitusajat vaihtelivat viikoista kuukausiin.

Runko	Kuvaus:	Määrä	Hinta
	2040 alumiiniprofiili BSB 700 mm	4	45 €
	2Gt 20 Hammas joutopyörä	3	1,74
	Mekaaninen rajakytkin	2	3
	KP08	2	3,15
	Metallitanko 8 mm 800 mm	1	15
	jakohihna 10 m	1	8,49
	Jakopyörä 40hammas	1	2,54
	Silikoni O-rengas	1	0,5
	MGN12 lineaarinen ohjaus-tanko	3	18,2
	Nema17 Askelmoottori	2	14,42
	T-slot mutteri m4	100	4

	Jakopyöra 20 hammasta	2	1
	2040 Alumiiniprofiili BSB 800 mm	1	15
Laser			
	CO2 40W Laser tuubi	1	57
	Laserin virtalähde	1	35
	Peilit	1	6,4
	Linssi	1	8,9
	Laserin suutin	1	11
Elektroniikka			
	Nema 17	1	17
	Arduino nano 328	1	2,23
	a4988 ajuri 2x	2	1,23
	Virtalähde	1	7,26
	Arduino moottorikilpi v3	1	2,6
Turvallisuus			
	Laser-suojalasit	1	17
Yhteensä			281 €

Taulukko 1. Osaluettelo tilatuille osille

Näiden osien lisäksi rakentamiseen käytettiin johtoja, muttereita, ruuveja koululta, sekä 3D-tulostettiin osia (Taulukko 2). Osien lisäksi joistain tuotteista piti maksaa toimituskuluja, joita kertyi noin 75 € edestä.

Osa:	Määrä:
Moottorin kiinnike, X-akseli	1
Moottorin kiinnike, Y-akseli	1
Y-akselin kiinnike	2
Ensimmäisen peilin kannake	1
Toisen peilin kannake	1
Jakohihnan kiinnikekappale	2
Jakopyörän kiinnikekappale, X-akseli	2
Jakopyörän kiinnikekappale, Y-akseli	1
Rungon kiinnike	4
Metallitangon kiinnike	2
Työkappale	1

Laserin Pidike	2
Rungon jalusta	4
Metalliristikon pidike	4

Taulukko 2. 3D-tulostetut osat

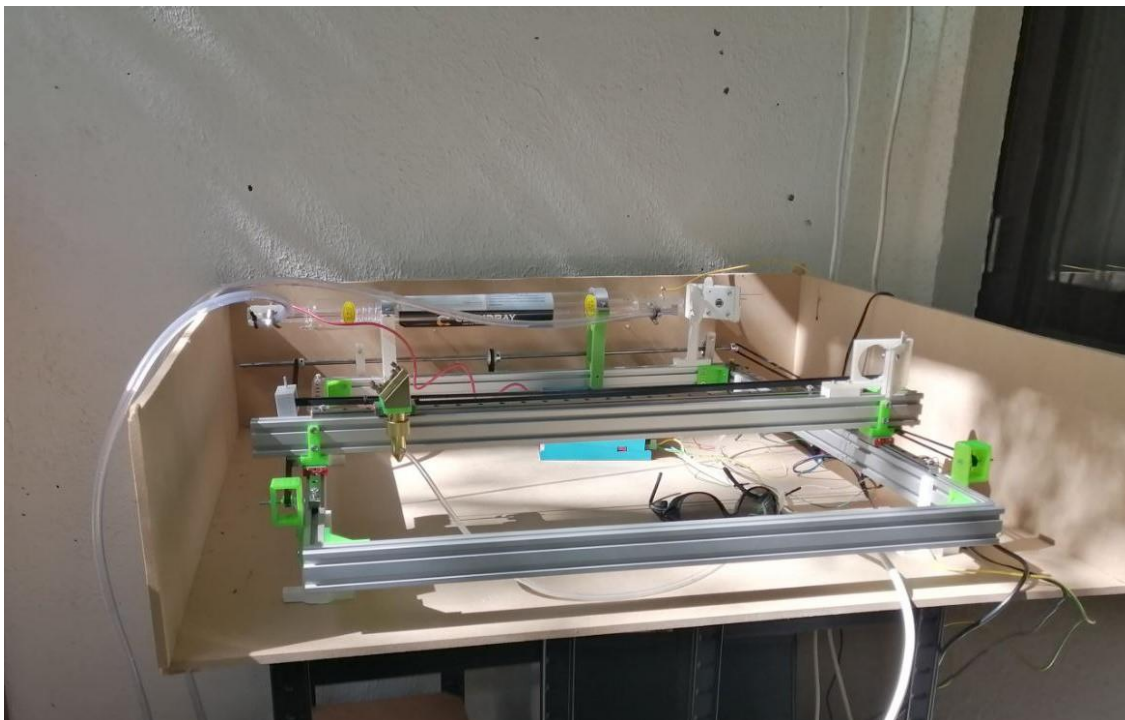
3.3 Teline

Laserleikkurin rungon pitää seistä turvallisuuden vuoksi. Laserleikkuri on vaarallinen ihmiselle ja sen tulipaloriski on suuri. Erittäin tukevan telineen rakentaminen on kuitenkin kohtalaisen kallista, minkä takia yritettiin päästä kompromissiin turvallisuuden ja kustannustehokkuuden kanssa. Telineen pohjan ja sivupaneeleiden materiaaliksi valittiin MDF-levy kustannussyistä, sekä myöskin etteivät lasersäteet pääsisi säteilemään laitteesta ulos. Laserleikkurin runko tuetaan 3D-tulostetuilla jalkapaloilla. (Kuva 13.) Laserleikkuri pitää myös suunnitella niin, että palokaasut leikkauksesta eivät pääsisi ympäristöön, vaan ne päästettäisiin pois pakoputken kautta. Laserleikkurin kannen materiaaliksi valittiin polykarbonaattilevy, sillä polykarbonaatti imee itseensä hyvin laserin säteilyä. Säteily ei pääse karkaamaan polykarbonaattilevyn ulkopuolelle, mutta on silti läpinäkyvää, joka helpottaa työskentelyä, kun työn jälkeen pystyy seuraamaan. Teline suunniteltiin yksinkertaiseksi 1000x1000x400 kokoiseksi särmiöksi, joka asetettaisiin A-jalkojen päälle.



Kuva 13. Rungon ja MDF-levyn välinen jalusta

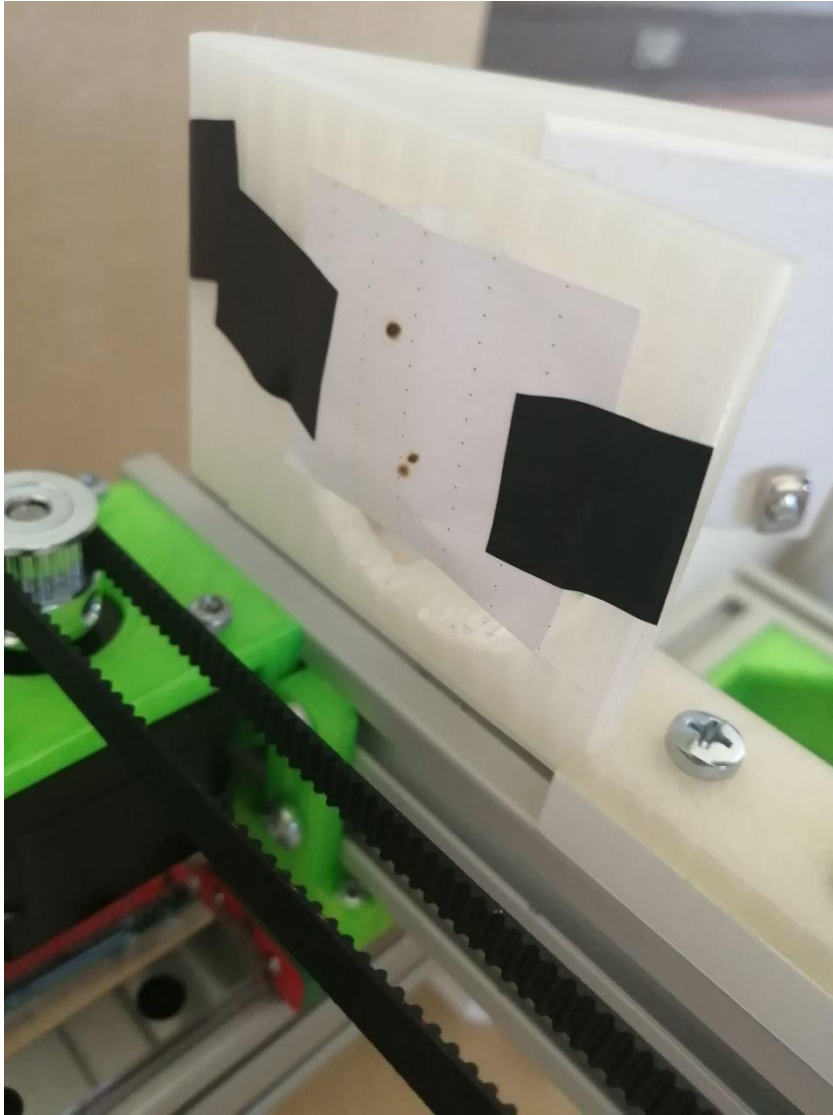
Laserin leikkaava säde polttaa hieman tämän alustan pohjaa, joten se ei ole kovin pitkäikäinen. MDF-levy (Kuva 14.) on kuitenkin helppo käsitellä levymetalliin verrattuna, mikä helpottaa kokoonpanoa. Pitkäikäisempi, mutta kalliimpi vaihtoehto on tehdä teline teräslevystä.



Kuva 14. MDF levyistä rakennettu teline

3.4 Laserin kohdistaminen

On tärkeää, että laser on kohdistettu suoraan, sillä muissa tapauksissa leikkausjälki heikenee huomattavasti. Pahimmassa tapauksessa lasersäde voi tuhota peilin pidikkeet, jos laser ei pääse heijastumaan pois. Laserin kohdennuksessa peili siirretään mahdollisimman lähelle laseria. Peilin edessä olevaan runkoon teipataan paperinpala ja laserilla ammutaan hetkellinen heikko säde, joka merkitsee paperinpalasessa säteen pisteen. Ensimmäisen pisteen jälkeen peili siirretään mahdollisimman kauas ja ammutaan uusi säde, joka merkitsee paperinpalasen uudestaan. (Kuva 15) Peiliä pitää tämän jälkeen ohjata säädettävillä ruuveilla niin, että pisteet osuisivat yhteen, tämä pitää tehdä kahdelle eri peilille ja jos laserleikkuri on kolmiakselinen niin myös kolmannelle peilille.



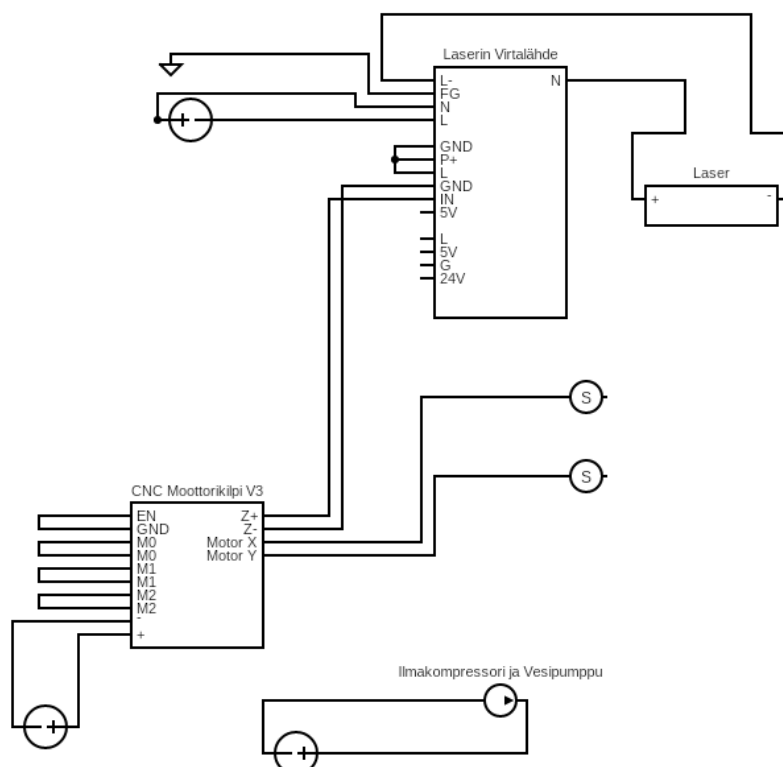
Kuva 15. Laserin kohdennuksen ensimmäinen vaihe

Peilit pitää suunnitella niin, että kaikki peilit olisivat samalla korkeudella, koska 3D-tulostettujen peilien korkeutta ei voi säätää. Laserin vaakasuoruus on myös tärkeää, joten hyvä ratkaisu on 3D-tulostaa laserille kiinnikkeet suoraan alumiiniprofiiliin muodostuvaan runkoon, sillä tämä tekee peilien kohdentamisesta huomattavasti helpompaa.

3.5 Elektroniikka

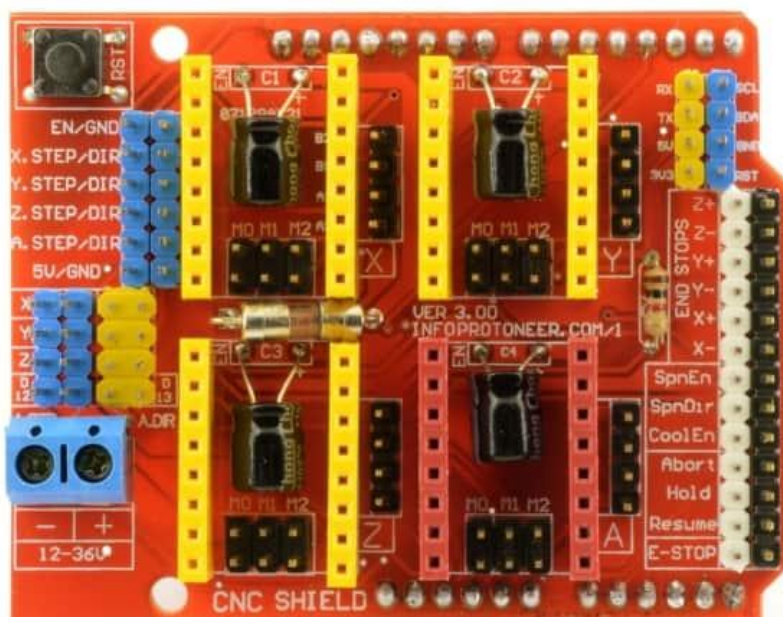
Laserleikkurin ohjauspiirinä toimii Arduino Uno, millä ajetaan G-koodia GRBL-ohjelman kautta. Ohjauspiirin valinta vaikuttaa paljon laserin leikkausnopeuteen. Tähän projektiin valittiin halvin mahdollinen vaihtoehto, mikä mahdollistaa noin 5000 mm/min kaiverrusnopeuden. Nopeus on suurempi ongelma kaiverruksessa, sillä leikkausnopeudet ovat noin 720–1200 mm/s [9], jota on mahdollista ajaa Arduino Unolla. Arduino Uno ei pysty fyysisesti suorittamaan G-koodia tarpeeksi nopeasti, vaan siihen tarvitaan parempi ohjauspiiri, jos halutaan kaivertaa nopeasti. Kiinasta on myös mahdollista tilata valmiita ohjauspiirejä, jotka ovat paljon nopeampia ja pystyvät lukemaan ja kaivertamaan kuvia suoraan muistikortilta, mutta tämäntyyppisten ohjauspiirien hinta on noin 200 euroa.

Laserleikkurin kytkennässä ei ole montaa osaa (Kuva 16.) joten kytkentä ei ole monimutkaista. Laserleikkurin kytkentää helpottaa Arduinoon liitettävä moottorinohjauskortti, jossa suurin osa kytkennöistä on valmiiksi merkitty.



Kuva 16. Kytkentäkaavio

Moottorien ohjaukseen valittiin CNC moottorikilpi v3 (Kuva 17.), joka ajaa moottoreita A4988 ajureilla. Moottorikilpeen pitää lisätä virtalähde moottorien ajamiseen, sekä myös pitää huomioida kytkentöjä tehdessä muutama tärkeä seikka. EN/GND pitää olla oikosuljettu, jotta kilpi aktivoituu, myöskin M0, M1 ja M2 kytkennät pitkää oikosulkea moottorien mikrosteppaamiseksi, mikä parantaa tarkkuutta. Laserin virtalähde kytketään kilven end stop z+ ja z- liittimiin, mitkä toimivat laserin virtasäätimenä.



Kuva 17. CNC moottorikilpi v3

Laserleikkuri tarvitsee virtalähteen erikseen laserille, sekä toisen virtalähteen moottoreille. Laserin virtalähteeksi valittiin laserputken valmistajan oma virtalähde soveltuvuuden ja luotettavan toiminnan takaamiseksi.

Toinen virtalähde antaa virtaa moottorinohjaukselle sekä moottoreille, tähän käytettiin 12V 2A virtalähdettä.

Kolmas 24V 9A virtalähde on vesipumpulle ja tulevaisuudessa ilmastoinnille.

Moottoreiksi valittiin Nema 17-moottorit niiden soveltuvuuden ja koon takia. Niillä pitäisi myös saada vaadittu tarkkuus hyvälaatuisen työjäljen takaamiseksi.

3.6 Laser

Laseriksi valittiin 40-wattinen laserputki tunnetulta Cloudray-toimittajalta, 40W laserputken pitäisi pystyä leikkaamaan noin 4 mm paksuista vaneria. Tämä laserputki on hyvin edullinen vaihtoehto ensimmäiseksi laserputkeksi, sekä se sopii hyvin varsinkin kaiverustyöhön. Kun laserin käyttöön on tutustunut niin 80W laserputki on seuraava järkevä vaihtoehto, jolla pystyy täyttämään kaikki tarpeet pienimuotoiseen lasertyöskentelyyn varsinkin puun kanssa.

3.7 Turvallisuus

Laserin käytössä on paljon vaaroja, varsinkin kun työkappaleita työestetään leikkaamalla. Tulipaloriski on aina olemassa, joten on tärkeää pitää vaahtosammutinta aina lähetyvillä vaaran torjumiseksi. Toinen vaara on sokaistuminen, mikä tapahtuu erittäin nopeasti, minkä takia lasersuojalasien käyttö, on erittäin tärkeää. Laserleikkuriin asennetaan myös hätästop-painike millä voidaan katkaista sähkövirta koko laitteesta.

3.7.1 Ilmastointi

Laserin peilit, linssi ja työalue pitää pitää mahdollisimman puhtaana savusta, sillä savu heikentää peilien heijastumista ja saattaa jopa vaurioittaa peilejä ja linssijä. Savu pitää myös poistaa tai suodattaa sisätiloista hengitysilman laadun takaamiseksi. Alustan kylkeen tehdään reikä, mitä pitkin palokaasut imetään pois vahvalla tuulettimella putken kautta. Työstöpäättyyn taas puhalletaan kompressoitua ilmaa, mikä puhaltaa savun pois linssin edestä, parhaan työtuloksen vuoksi.

Poistoilmatuulettimen tärkeät ominaisuudet ovat hiljaisuus, sekä sen tuottama ilmanpaine. Tähän tarkoitukseen valittiin 220V 72W tuuletin, jonka nimellinen äänenvoimakkuus on 48dB ja ilmanpaine 300Pa. Poistoilmatuulettimen yhteyteen valittiin Europlastin

IV-putki edullisen hinnan, taipuisuuden ja koon vuoksi. Isomman budjetin ilmastointiin pystyy myös käyttämään 300 € ilmanpoistolaitetta, joka myös suodattaa ilman, jolloin laserleikkuria voi käyttää tilassa, jossa ei ole mahdollisuutta syöttää palokaasuja ulkoilmaan.

3.7.2 Jäähdytys

Laserleikkurin jäähdytykseen on monta vaihtoehtoa. Laserin toimintalämpötila on 17 celsiusastetta, jos lämpötila nousee yli 17 asteen niin se lyhentää huomattavasti laserin käyttöikä. Myöskään jäähdyttävän nesteen ei saisi antaa jäätyä sillä se saattaa pirstoa laserputken. Jäähdytysnesteeksi sopii hyvin vesi sisätiloissa, kunhan lämpötila ei laske alle nollan.

Jäähdytykseen tarvitaan käytännössä jäähdytin, sillä huonelämpötila on usein yli 17 astetta, eli pelkkä vesi- tai ilmajäähdytys ei riitä. Jäähdytin vedelle maksaa vähintään 100 euroa, joten budjetille sopiva ratkaisu on käyttää kylmää vesijohtovettä pienellä pumpulla, veden tulee myös olla isossa säiliössä, jotta sitä olisi riittävästi. Tämä ratkaisu ei ole pitkäkestoinen eikä mukava käyttäjälle, mutta toimii tehokkaasti. Laserleikkurissa pitäisi myös käyttää tislattua vettä epäpuhtauksien poistamiseksi, vesijohtoveden mineraalit saattavat kertyä laserin sisään ja vaikuttaa leikkaustulokseen.

4 Ohjelmisto

4.1 GRBL

Kun kytkennät on tehty ja laserleikkuri on koottu, voidaan testata GRBL:n asennusta ja käyttöä. GRBL on ilmaisohjelma, jota käytetään Arduinolla. GRBL lukee Arduinolle lähetetyn G-koodin ja tulkitsee sen moottorin liikkeeksi. GRBL ei tarvitse erillistä konfigurointia vaan se yksinkertaisesti ladataan Arduinolle yhdellä painalluksella. (Kuva 18.)

GRBL:ssä on myös säätöjä, jotka vaikuttavat servomoottorien toimintaan, mutta niitä pystyy myös säätämään itse laserleikkausohjelmistossa.

```

grblUpload | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help
grblUpload $
i|*****
This sketch compiles and uploads Grbl to your 328p-based Arduino!

To use:
- First make sure you have imported Grbl source code into your Arduino
  IDE. There are details on our Github website on how to do this.

- Select your Arduino Board and Serial Port in the Tools drop-down menu.
  NOTE: Grbl only officially supports 328p-based Arduinos, like the Uno.
  Using other boards will likely not work!

- Then just click 'Upload'. That's it!

For advanced users:
  If you'd like to see what else Grbl can do, there are some additional
  options for customization and features you can enable or disable.
  Navigate your file system to where the Arduino IDE has stored the Grbl
  source code files, open the 'config.h' file in your favorite text
  editor. Inside are dozens of feature descriptions and #defines. Simply
  comment or uncomment the #defines or alter their assigned values, save
  your changes, and then click 'Upload' here.

Copyright (c) 2015 Sungeun K. Jeon
Released under the MIT-license. See license.txt for details.
*****/

#include <grbl.h>

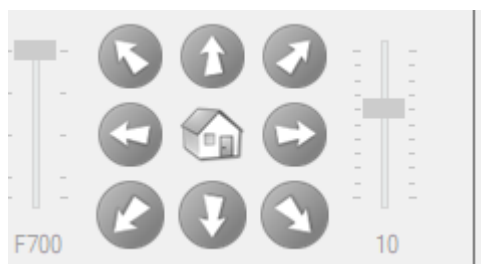
// Do not alter this file!

```

Kuva 18. GRBL:n lataaminen Arduinolle

4.2 LaserGRBL

LaserGRBL on ilmainen ohjelmisto, joka tulkitsee kuvia G-koodiksi. LaserGRBL:llä pystyy myös ohjaamaan CNC-laitteistoa yksinkertaisesti nuolinäppäinvalikoimalla, jolla voi testata moottorien toimivuuden, sekä akseliston oikean suuntauksen. (Kuva 19.)

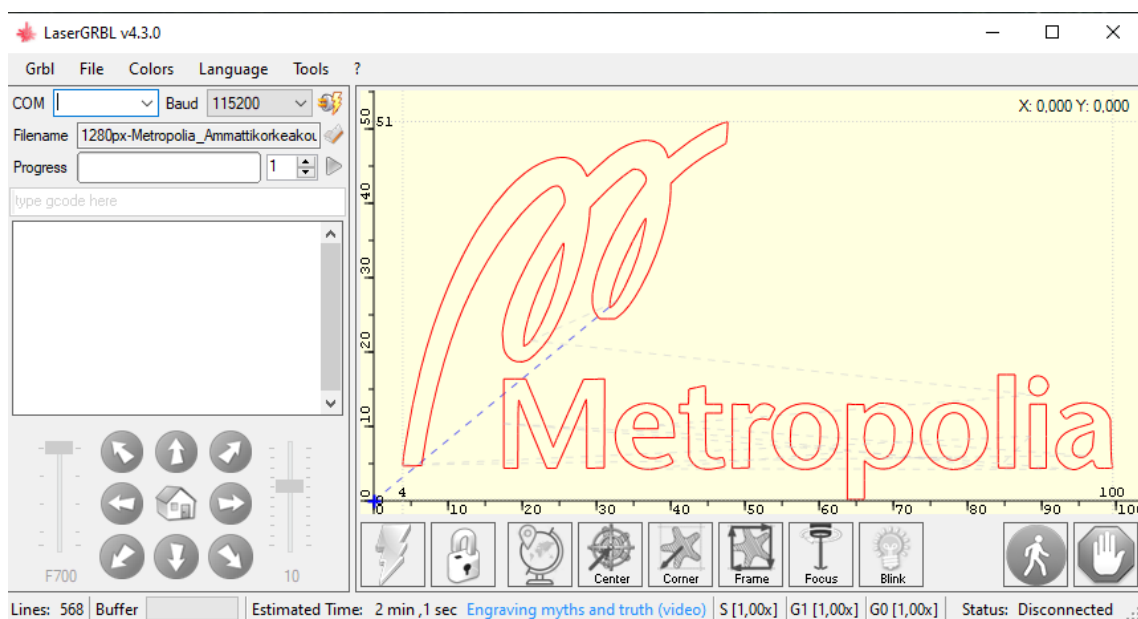


Kuva 19. LaserGRBL:n ohjausnäkyvä

LaserGRBL:llä pystyy myös muuttamaan GRBL:n asetuksia, kuten esimerkiksi moottorien resoluutiota, akseliston suuntauksia, rajakytkimien asetukset ja moottorien ajonopeuksia. LaserGRBL:n käyttö on yksinkertaista, se pitää vain yhdistää Tietokoneeseen mikä on kytketty Arduinoon. Laserleikkuri vaatii siis tietokoneen, jotta sitä voisi käyttää.

LaserGRBL:llä on myös mahdollista lisätä rajakytkimet + ja - suuntiin. Rajakytkimet mahdollistavat laserleikkurin ajamisen nollapisteeseen, mikä huomattavasti helpottaa työskentelyä.

LaserGRBL:ssä on monta eri käyttömahdollisuutta, sillä voi leikata ääri viivoja pitkin (Kuva 20.) ja myös kaivertaa kuvia, mutta edistyneemmät kaiverukset on suositeltava tehdä käyttämällä InkSpace ohjelmaa, johon on rakennettu liitännäinen, joka on tarkoitettu lasertyöstöratojen tekemiseen.



Kuva 20. Ääri viivoja leikkaava työstörata näkyy punaisena

5 Tulokset

Laserleikkuri toimii, mutta edullisten rakennusvaihtoehtojen takia leikkausjälki (Kuva 21.) ei ole täydellistä. Leikkaustulosta saa parannettua kalibroimalla moottoreiden akselista, peilejä ja jakohihnoja.



Kuva 21. Laserleikkurin leikkausjälkeä, puu on niin paksua, ettei laser voi leikata läpi, leikkaustyön koko on 100x40 mm

Työkalut, jotka ovat komponenttitasolta itse suunniteltuja on mukava käyttää, sillä niiden korjaus ja kunnossapitotoimenpiteet ovat selvät, koska laite on itse valmistettu. Kun laserleikkurin valmistaa itse sen käyttömahdollisuudet ovat paljon selvempiä, kun valmistaa laitetta ostaessa. Samalla perehtyy myös valmiin laserleikkurin hinnoittelun syihin, mistä osista hinta koostuu ja miksi. Kokonaisen laitteen kokoaminen alusta asti on työläs prosessi, jossa pitää hallita koko kokonaisuus. Tämä opinnäytetyö selvensi hyvin CNC koneiden ja varsinkin laserleikkureiden toimintaperiaatteita. Pystyn myös jatkokehittämään laserleikkuria ja tiedän mitkä osat ovat tärkeitä ja mistä voi säästää.

Opinnäytetyön tekeminen oli hyvin mielenkiintoista ja siinä tuli hyvin käytyä läpi monia eri osa-alueita opintojen varrelta: moottorit, sensorit, sulautetut järjestelmät, mekaniikka-suunnittelu ja 3D-mallinnus. Kokonaisuus oli mielenkiintoinen ja tulos oli palkitseva.

Lähteet

- [1] C.K.N Patel. 1964 Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO₂ teoksessa Physical Review Volume 136, Number 5A, 1964, s1187-1193
- [2] R.Paschotta, 2008, CO₂ lasers, Encyclopedia of Laser Physics and Technology, Wiley-VCH
- [3] How does a laser cutter work? Verkkoaineisto. HTC Laser <<https://hpclaser.co.uk/how-does-a-laser-cutter-work/#:~:text=How%20does%20a%20CO2%20Laser,energy%2C%20in%20turn%20producing%20light>> Luettu 23.4.2021
- [4] CO₂ Lasers: The industrial workhorse. Verkkoaineisto <https://www.photonics.com/Articles/COSUB2_SUB_Lasers_The_Industrial_Workhorse/a25155> Luettu 17.4.2021
- [5] Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. Lasertyöstö. Teknologiateollisuuden julkaisu nro 3/2005. Tampere. Tammer-Paino Oy
- [6] Which materials can be cut with the CO₂ laser? Verkkoaineisto. Elenlaser<<https://elenlaser.com/blog/which-materials-can-be-cut-laser-co2.html#:~:text=Wood%2C%20paper%2C%20cardboard%2C%20plastic,the%20CO2%20laser%20are%20endless>> Luettu 17.4.2021
- [7] Make your own high-quality CO₂ Lasercutter! With Touch Control! 2017 Verkkoaineisto. MichielD99 <<https://www.instructables.com/Make-Your-Own-High-Quality-CO2-Lasercutter-With-To/>> Luettu 17.4.2021
- [8] DIY 40W CO₂ CNC Laser.2020 Verkkoaineisto. Konstantin <<https://www.instructables.com/DIY-40W-CO2-CNC-Laser/>> Luettu 17.4.2021
- [9] Laser cutter parameters. Verkkoaineisto. ManTech. <<https://mantech-machinery.co.uk/laser-cutter-parameters/>> Luettu 4.5.2021