

Laserleikkausjärjestelmän käyttöönotto

Case: Ilosen Puutyö

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikka
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Antti Teivonen

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikan koulutusohjelma

TEIVONEN, ANTTI:

Laserleikkausjärjestelmän
käyttöönotto
Case: Ilosen Puutyö

Puutekniikan opinnäytetyö, 36 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli CO₂ laserleikkaus- ja merkkausjärjestelmän käyttöönotto ja parametrien määrittäminen puupohjaisille materiaaleille. Työ tehtiin Ilosen Puutyön toimeksiannosta, jonka tiloissa myös kokeellinen osuus tehtiin. Yritys on pienikokoinen puuteollisuuden yritys Hämeenlinnan Hauholla.

Työn teoriaosuudessa tutustuttiin laitteiston hankintaan liittyviin asioihin, lasersäteen perusteisiin, CO₂-laserjärjestelmän toimintaan. Lisäksi tutustuttiin erilaisiin lasertyöstömenetelmiin ja -parametreihin.

Kokeellisessa osuudessa tutustuttiin eri puulajien ominaisuuksiin laserleikkauksessa ja kaiverruksessa. Jokaiselle materiaalille määriteltiin optimaaliset leikkausparametrit, jotka määriteltiin säätämällä leikkausnopeutta. Lisäksi jokaiselle materiaalille suoritettiin kaiverrustestaus käyttäen erilaisia tehon ja nopeuden yhdistelmiä.

Testauksessa käytetyt puulajit olivat haapa, koivu, kuusi, mänty, punapyökki, tammi ja tervaleppä sekä levy materiaalit MDF ja koivuvaneri. Saatujen tuloksien perusteella haapa, koivu ja tervaleppä soveltuvat parhaiten lasertyöstöön testatuista materiaaleista.

Opinnäytetyön tulosten avulla laitteen tulevilla käyttäjillä on käsitys siitä, miten erilaiset puumateriaalit käyttäytyvät työstettäessä laserilla. Lisäksi työstöparametrit on tallennettu valmiiksi ohjelmistoon, jolloin järjestelmän käyttäminen jatkossa on helpompaa ja nopeampaa.

Asiasanat: laser, lasertyöstö, laserleikkaus, laserkaiverrus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Materials Technology

TEIVONEN, ANTTI:

Deployment of a laser cutting system
Case: Ilosen Puutyö

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 36 pages, 2 pages of appendices

Spring 2016

ABSTRACT

The purpose of this thesis was the deployment of a laser cutting, engraving and marking system, and determining laser processing parameters for wood materials. The thesis was commissioned by Ilosen Puutyö Ky, which is a small woodworking company in Hauho, Finland.

The theoretical part of the thesis deals with purchasing and installation of the device and describes the CO₂ type of laser systems, the basics of the laser beam and laser processing methods. In addition, this part describes different parts of a laser system.

The practical part describes how to explore the parameters that influence different wood materials. This part includes the material used in the experiments. These wood materials are commonly used in industry. The tests were conducted by regulating the power and speed of the laser. Testing was carried out with a Trotec 60W CO₂ laser machine.

Tree species used in the tests were aspen, birch, spruce, pine, common beech, oak and alder, as well as board materials MDF and birch plywood. The results showed that aspen, birch and alder were the best suited materials for laser processing.

The test results of the thesis allow the future users to understand how different wood materials behave when working with laser. In addition, the results of the study can be used to improve the production rate of the line.

Key words: laser, laser processing, laser cutting, laser engraving

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYSESITTELY	2
3	LAITTEISTON HANKINTA	3
3.1	Hankinta- ja ostopäätös	3
3.2	Laitteiston valinta	3
3.3	Investointikustannukset ja käyttökustannukset	4
3.4	Käyttöönotto	4
4	TEORIAA LASERISTA	5
4.1	Laserin historia ja tekninen kehitys	5
4.2	Laservalo ja sen syntyminen	6
4.3	Absorptio ja heijastuminen	7
5	CO ₂ LASERLAITTEISTO	8
5.1	Teoriaa	8
5.2	Laserlähde	8
5.3	Peilit	9
5.4	Linssi	9
5.5	Leikkuupään rakenne	10
5.6	Leikkuupöytä	11
6	LASERTYÖSTÖMENETELMÄT	12
6.1	Lasertyöstön sovellukset	12
6.2	Laserleikkaus	12
6.3	Laserkaiverrus/merkkkaus	13
6.4	Puupohjaisten materiaalien työstäminen	13
7	LASERTYÖSTÖN PARAMETRIT	15
7.1	Parametrien jaottelu	15
7.2	Materiaaliparametrit	15
7.3	Laserparametrit	15
7.4	Prosessiparametrit	16
8	LAITTEISTON ASENTAMINEN	18
8.1	Laitteiston sijoittaminen	18
8.1.1	Paineilma	18

8.1.2	Sähkökytkennät	19
8.1.3	Savukaasujen poistaminen	19
8.2	Turvallisuus	20
8.3	Ylläpito	20
9	KOEAJOSUUNNITELMA	22
9.1	Laitteisto	22
9.2	Ohjelmisto	23
9.3	Testausmatriisi ja käytetyt parametrit	23
9.4	Materiaalien testaus	24
9.4.1	Haapa	25
9.4.2	Koivu	26
9.4.3	Kuusi	26
9.4.4	MDF	27
9.4.5	Mänty	28
9.4.6	Punapyökki	29
9.4.7	Tammi	29
9.4.8	Tervaleppä	30
9.4.9	Vaneri	31
10	TESTITULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	33
10.1	Leikkaustulokset	33
10.2	Kaiverrustulokset	33
10.3	Tulosten tarkastelu	34
10.4	Valmiit asetukset	34
11	KEHITYSEHDOTUKSET	35
12	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39

1 JOHDANTO

Nykyään laserlaite on erittäin monipuolinen ja kustannustehokas tuotantokone, joka mahdollistaa lukuisten eri materiaalien työstämisen. Lasertekniikka keksittiin jo vuonna 1916, mutta ensimmäinen valoa lähettävä laserlaite kehitettiin 1960-luvulla. Laser vankisti asemansa teollisuuden tuotantovälineenä 1980-luvulla ja on nykyään erittäin suosittu ja monipuolinen tuotantomenetelmä.

CO₂-laserkone soveltuu hyvin puupohjaisten materiaalien leikkaamiseen ja kaivertamiseen sen monipuolisien ominaisuuksien ansiosta. Leikattaessa lasersäde muodostaa riittävän suuren tehotiheyden kappaleeseen, mikä pystytään kohdistamaan tarkasti kappaleen pintaan siten, että materiaali alkaa kemiallisesti hajota säteen vaikutuksesta. Leikkausrailo on kapea, leikattavat muodot ovat vapaita ja lasertyöstö on kosketukseton menetelmä erilaisten materiaalien muokkaamiseen.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ilosen Puutyö Ky:n toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli CO₂-laserleikkurin käyttöönotto ja parametrien määrittäminen erilaisille puumateriaaleille. Testatut puulajit valikoituivat yrityksen toimintastrategian kannalta tärkeimpiin ja eniten käytettyihin materiaaleihin, joiden ominaisuuksiin tutustuttiin tarkemmin. Testaukseen valikoitui seitsemän eri puulajia: haapa, koivu, mänty, punapyökki, tammi ja tervaleppä. Lisäksi testattiin MDF-levyä ja koivuvaneria.

Teoriaosuudessa kerrotaan yleisesti hankintaprosessin vaiheista, laservalosta ja CO₂-laserleikkurista sekä erilaisista työstömenetelmistä. Testauksessa käytettyjen puumateriaalien ominaisuuksia tarkastellaan kokeellisessa osuudessa, jossa vertaillaan myös materiaalien eroja lasertyöstössä. Testauksessa käytettiin nopeuden ja tehon välistä suhdetta. Lisäksi tämä osio sisältää kehitysehdotuksia tulevaisuutta ajatellen. Työn tuloksia hyödynnetään jatkossa tuotannossa ja uusien käyttäjien kouluttamisessa.

2 YRITYSESITTELY

Ilosen Puutyö Ky on vuonna 1954 perustettu pieni puualan perheyritys Hämeenlinnan Hauholla. Yrityksen perustaja on Jaakko Ilonen (1929–2012). Toiminnan alkuvuosina yritys valmisti pääasiassa ikkunoita, ovia ja kalusteita yksityisille asiakkaille. Vuonna 1966 valmistui uusi tehdashalli Hauhon kirkonkylään, missä yritys toimii vielä tänäkin päivänä. 1970-luvulla alettiin tehdä huonekaluja sarjatuotantona ja seuraavalla vuosikymmenellä pääasiassa alihankintatöitä muille yrityksille. Enimmillään yrityksessä on työskennellyt 15 henkilöä. Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä viisi ammattitaitoista puuseppää, ja jokainen heistä käyttää kaikkia peruskoneita. Yrityksen vuotuinen liikevaihto on noin 400 000 €.

Marraskuussa 2001 tulipalo tuhosi lähes koko tehdaskiinteistön, ja tehtaan jälleenrakennus kesti puolitoista vuotta. Konekanta uusiutui, joskin myös käytettyjä laitteita hankittiin. Tuotanto jouduttiin aloittamaan täysin uudestaan, sillä tuotepiirustukset tuhoutuivat tulipalossa. Yritys valmistaa edelleen massiivipuusta huonekaluja, käyttöesineitä ja erilaisia tilaustöitä kuluttajille ja yrityksille. Yli 60 vuoden aikana yrityksen toiminnassa on ehtinyt tapahtua paljon. 40 vuotta sitten perusraaka-aineena oli mänty ja nykyään pääasiassa suomalainen koivu. Jatkuvan kehitystyön tavoitteena ovat tuotteet, jotka vastaavat vaativankin käyttäjän tarpeita ja toiveita. Yrityksen vahvuudeksi voidaan laskea monipuolinen konekanta, mikä mahdollistaa erilaisten tuotteiden valmistamisen puutavaran kuivauksesta pintakäsittelyyn lukuisine eri työvaiheineen.

Yrityksen uusin investointi on laser leikkaus- ja merkklauslaitteisto, jonka käyttöönottoon ja tuotannon aloittamiseen kyseinen opinnäytetyö keskittyy. Laserkone mahdollistaa vanhojen sekä kokonaan uusien tuotteiden jatkojalostamisen ja valmistamisen. Materiaaleina voidaan käyttää valmistuksessa syntyviä sivutuotteita, jotka aiemmin murskattiin ja poltettiin yrityksen tytäryhtiön Hauhon Lämpö Oy:n polttokattilassa kaukolämmön tuotantoon. Lisäksi koneinvestointi lisää yrityksen palveluita ja mahdollistaa toiminnan laajentamisen.

3 LAITTEISTON HANKINTA

3.1 Hankinta- ja ostopäätös

Uuden koneen hankinta tulee ajankohtaiseksi silloin, kun tuotannon kapasiteettia halutaan nostaa, tuotteiden laatua parantaa tai aloittaa kokonaan uuden tuoteryhmän valmistaminen. Lasertyöstölaitteiston hankinta koostuu lukuisista eri vaiheista, joita ovat investointitarpeen kartoittaminen, kustannuslaskelmat, laitteistojen ominaisuuksiin tutustuminen ja niiden vertaaminen sekä jälleenmyyjien kilpailuttaminen. Sopimuksen laatimisessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- laitespesifikaatio
- vastaanottotarkastus ja siihen liittyvät testaukset ja -kokeet
- hyväksynnät (CE-merkintä)
- takuu
- rahdit ja vakuutukset
- asennus ja käyttöönotto
- aikataulu ja toimitusvalvonta
- maksut, sakot ja sopimuksen purkaminen
- tiedotus ja salassapito
- kilpailukiellot
- huollot
- tuotannon käynnistys ja sovelluskehitys

(Kujanpää, Salminen ja Vihinen 2005, 350 & 351.)

3.2 Laitteiston valinta

Laitteisto tulee mitoittaa sopivaksi tarvittavaan työtarpeeseen nähden. Suurimmat järjestelmän hintaan liittyvät ominaisuudet ovat laserin teho, työstöpöydän koko, ohjelmoitavien akseleiden määrä sekä työstöradan tarkkuus, liikkeiden kiihtyvyys ja hidastuvuus. Ominaisuuksien kasvaessa myös laitteiston hinta kasvaa, minkä seurauksena työasemat yleensä räätälöidään tietyille tuotteille, lajitelmille tai valikoiman mukaan. Laitteistoa hankittaessa tulee myös kiinnittää erityistä huomiota laitteiston huoltotarpeeseen ja ylläpidon helppouteen. Laitteistoa hankittaessa tulee pohtia laitteistolta vaadittavia ominaisuuksia ja soveltuvuutta tuotannon

erilaisiin sovelluksiin. Parhaimmassa tilanteessa tuotantolaitetta voidaan koekäyttää myyjän tiloissa, jossa nähdään koneen ominaisuudet luotaessa tuotantoa muistuttavat olosuhteet. Laserin valinnassa on tärkeää kartoittaa omat todelliset tarpeet nyt ja lähitulevaisuudessa. Lisäksi huolto- ja tukipalveluiden läheisyys ja saatavuus vaikuttavat häiriöttömän tuotannon jatkumiseen. (Kujanpää ym. 2005, 350.)

3.3 Investointikustannukset ja käyttökustannukset

Investointia ja tuotantoprosessin taloudellisuutta arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota sekä investointi- että käyttökustannuksiin. Suuri osa laitteen elinkaarikustannuksista muodostuu laitteen hankintahinnasta, sillä käyttämisen kustannukset ovat pienet. Laitteen investointikustannukset koostuvat karkeasti mm. laserjärjestelmän hinnasta, tarvittavasta tilainvestoinnista ja asennus- ja käyttöönottokustannuksista, jotka sisältävät myös tarvittavat sähkötyöt ja muut kiinteät asennukset kuten savukaasujen poiston ja paineilman. Käyttökustannukset muodostuvat lasertyypistä ja koostuvat energiankulutuksesta, huolto- ja ylläpitokustannuksista, käytetyistä laserkaasuista ja kuluvista osista kuten peileistä ja linssistä. (Kujanpää ym. 2005, 341.) Erityisesti pienissä laserjärjestelmissä vähäinen huollontarve korostuu, sillä parantuneiden hyötysuhteiden ansiosta ne pystytään tekemään ilmajäähdytteisiksi (Kilt Oy 2016).

3.4 Käyttöönotto

Käyttöönotossa päästään parhaaseen lopputulokseen, kun se suunnitellaan huolellisesti etukäteen, ja siinä käydään läpi valmistettavien tuotteiden prosessia. On myös tärkeää, että laitteiston käyttäjät saavat käyttöönotossa riittävät pätevyydet turvalliseen ja tehokkaaseen tuotantoon. Vastaanottotarkastuksessa ja koneen käyttöönotossa on hyvä käyttää lisäksi tarjolla olevia puolueettomia asiantuntijoita. (Kujanpää ym. 2005, 351.)

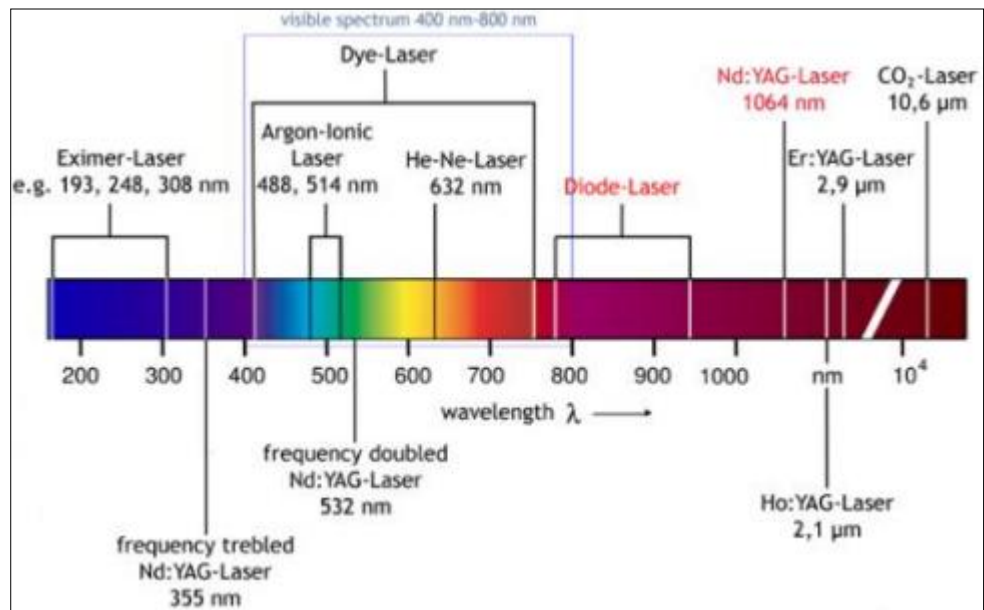
4 TEORIAA LASERISTA

4.1 Laserin historia ja tekninen kehitys

Laser muodostuu englanninkielen sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radion, joka tarkoittaa valon vahvistamista stimuloitun säteilyn emissiolla. Albert Einstein esitti ensimmäisen periaatteen laserin toiminnasta vuonna 1916, mutta vasta vuonna 1960 Maiman sai toimimaan ensimmäisen näkyvää valoa lähettävän laserlaitteiston. Teollisuudessa lasertekniikka vakiinnutti asemansa vasta 80-luvulla, ja 90-luvulla teknologia kehittyi valtavasti mahdollistaen uusia käyttökohteita ja tuotantomenetelmiä. (Peltonen, Perkiö ja Vierinen 2012, 379.)

Jokainen laserlaitteisto toimii optisena vahvistimena, jossa on aina kolme komponenttia: laseroitava väliaine, kaksi peiliä ja pumppausenergia. Väliaineen avulla laservalo voi syntyä, ja sen olomuoto voi olla kiinteä, neste tai kaasu. Laserointi tapahtuu kahden peilin välissä, joista ainakin toisen on oltava osittain läpäisevä. Pumppausenergiaa, kuten sähköä tai valoenergiaa käytetään virittämään elektroneja korkeammalle tasolle, josta palatessaan alemmalle tasolle ne alkavat lähettää vakioaallonpituuksista valoa. (Kujanpää ym. 2005, 33.)

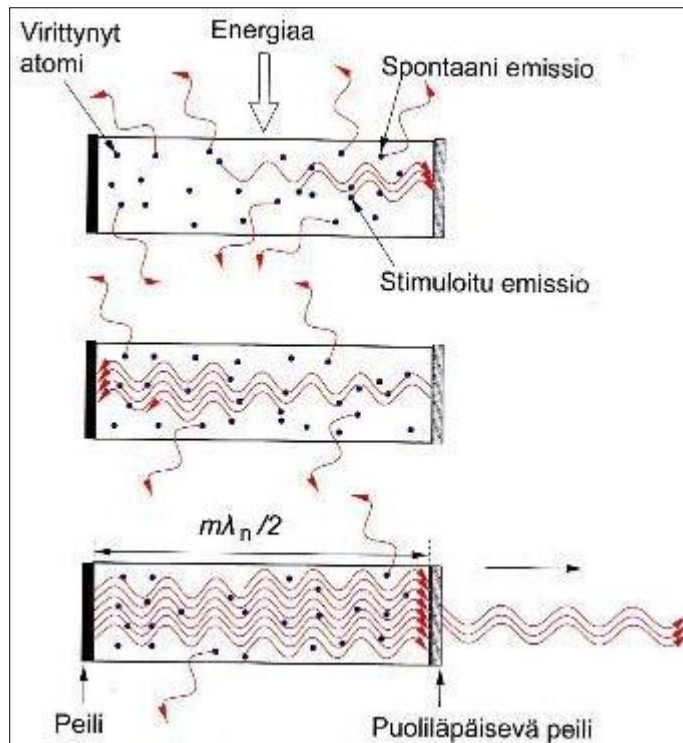
Laservalo on helposti kohdistettavissa oleva kapea valonsäde, joka on yksiväristä ja yhdensuuntaista. Yksittäiset säteet ovat samassa vaiheessa ja erilaisilla laserjärjestelmillä on yksi aallonpituus (KUVIO 1). Nykyään lasertekniikkaa hyödynnetään tieteellisessä, lääketieteellisessä, viihteellisessä, sotilaallisissa, lainvalvonnallisissa, tietoteknisissä sekä teollisuuden eri sovelluksissa. Lasersäde voidaan fokusoida hyvin pieneksi pisteeksi, jolla voi olla hyvin suuri tehointensiteetti, joka mahdollistaa lukuisia teollisuuden sovelluksia, kuten materiaalien leikkaamisen, hitsaamisen, merkkäamisen, kaivertamisen ja pintakäsittelymisen. (Kujanpää ym. 2005, 34.)



KUVIO 1. Erilaisten lasertyyppien aallonpituudet. (Evonik Industries 2015.)

4.2 Laservalo ja sen syntyminen

Atomi esitetään yleensä kuvalla, jossa elektronit kiertävät ydintä tarkkaan määrättyllä energiatasolla. Korkeammalla energiatasolla elektroni on virittyneessä tilassa, jolloin se on epästabili ja pyrkii palautumaan normaaliin tilaan. Palatessaan alempaan stabiiliin tilaan energiaa vapautuu fotonin muodossa. Tästä muodostunut energia irtoaa atomeista sähkömagneettisena säteilynä, jolla on ominainen aallonpituus. Fotonien törmätessä muihin virittyneisiin elektroneihin aiheutuu virittyneen tilan purkautuminen, jossa toinen fotoni vapautuu. Kyseistä muutosta kutsutaan stimuloiduksi emissioksi (KUVIO 2). Valon energia vahvistuu, sillä alkuperäinen atomi jatkaa liikettään muodostaen uusia fotoneja. Fotonit ovat siis samassa vaiheessa, ja niillä on sama suunta. Itse laserointi tapahtuu resonaattorissa, joka muodostuu laseroivasta väliaineesta ja kahdesta peilistä, joista toisen on oltava läpäisevä. Lasersäde muodostuu näiden peilien väliin vahvistaen stimuloitua emissiota. (Kujanpää ym. 2005, 34.)



KUVIO 2. Laserin toimintaperiaate. (Peltonen ym. 2012, 381.)

4.3 Absorptio ja heijastuminen

Valon osuessa materiaaliin se joko tunkeutuu siihen tai osa säteestä heijastuu takaisin rajapinnasta. Osa säteistä taittuu materiaalin sisään kulkien sen läpi tai absorboituen materiaaliin, jolloin materiaali vastaanottaa valon siirtämän energian. Tätä voidaan kuvata yhtälöllä $R + A + T = 100\%$, missä R on heijastuneen tehon osuus, A on absorboituneen tehon osuus ja T on läpimenneen tehon osuus.

Absorptioon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. materiaali, lämpötila, valon aallonpituus ja absorboivan pinnan laatu. (Kujanpää ym. 2005, 44-45.)

5 CO₂ LASERLAITTEISTO

5.1 Teoriaa

Hiilidioksidilaser eli CO₂ on tehokkain kaasulasereista ja teollisuuden yleisin lasertyyppi, joka mahdollistaa monipuolisesti useita eri sovelluksia. Kyseiset laitteistot soveltuvat tarkkaan työstöön. Hiilidioksidilaserin valo sijoittuu infrapuna-alueelle, eikä sitä voi nähdä. CO₂-työstölaserin säteen synnyttämiseen tarvittava hyötysuhteen maksimi on 21 %, ja se on tyypillisesti 10 - 15 %. Aallonpituus on tyypillisesti 10,6 µm tai 9,6 µm. CO₂-laserin teho on erittäin laaja välillä 10 W - 100 kW, riippuen laserin rakenteesta ja kaasujen viritystyylistä. Laserputkessa olevaa väliainetta viritetään johtamalla siihen sähkövirtaa. Hiilidioksidilaserlaitteistot voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen perusteella viiteen ryhmään, jotka ovat suljetun resonaattorin-, hitaan pitkittäisvirtauksen, nopean pitkittäisvirtauksen, poikittaisvirtauksen, diffuusiojäähdytetyn ja TEA-laser. Suljetun resonaattorin laserissa kaasu on suljettu laserputken, eli resonaattorin sisään, eikä sitä muuteta prosessin aikana. Jäähdytys tapahtuu vain resonaattoriputkien seinämien läpi, minkä seurauksena resonaattori lämpiää, joten tehot jäävät pieniksi, yleensä muutamaan sataan wattiin. Resonaattorissa oleva kaasu on vaihdettava mallista riippuen noin 10 000 tunnin välein, mikä tapahtuu vaihtamalla koko resonaattorin lasiputki kaasuineen. Lisäksi lasersäteen ominaisuudet ovat monipuoliset, ja säde voidaan saada jatkuvana tai pulssitettuna. Hiilidioksidilaser soveltuu orgaanisten materiaalien, kuten puun leikkaamiseen ja kaivertamiseen. (Kujanpää ym. 2005, 54-56.)

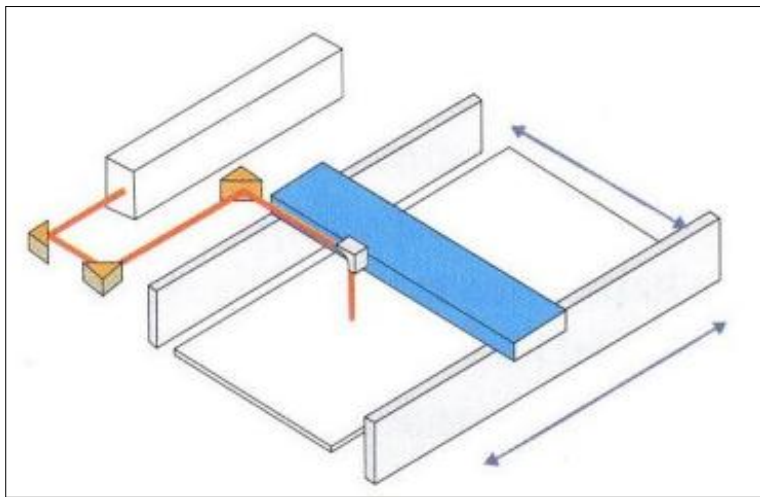
5.2 Laserlähde

Resonaattorissa oleva kaasuseos on tapauskohtainen, ja se sisältää tyypillisesti 60 - 80 % heliumia, 1 - 9 % hiilidioksidia ja 13 - 35 % typpeä. Typpi toimii herättäjänä, joka avustaa sähköisen energian siirtoa CO₂-molekyylisiin. Helium toimii prosessissa tehokkaana jäähdyttäjänä. Laserlähde on usein järjestelmän kallein yksittäinen komponentti.

(Kujanpää ym. 2005, 54.) Laserlähteen normaali elinikä vaihtelee valmistajasta ja rakenteesta riippuen alle tuhannesta tunnista jopa kymmeneen tuhansiin tunteihin (Kilt 2016).

5.3 Peilit

Lasersäde ohjataan optiikkaketjua pitkin, joka koostuu normaalisti 1-6 peilistä. Jokainen peili lisää tehohäviötä. Viimeisellä peilillä ohjataan säde optiikka linssin läpi materiaalin pintaan. Peilien materiaalina käytetään tyypillisesti kuparia tai piitä, jotka on pinnoitettu molybdeenillä tai kullalla.

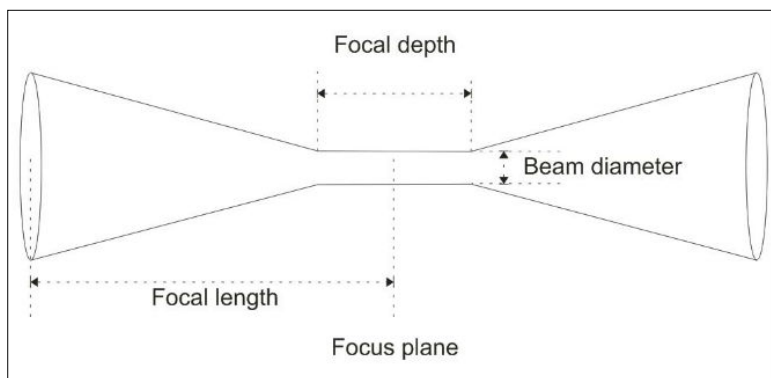


KUVIO 3. Lentävän eli liikkuvan optiikan laserjärjestelmä, joka koostuu neljästä peilistä ja yhdestä linssistä. (Kujanpää ym. 2005, 93.)

5.4 Linssi

Linssin käytöllä saavutetaan tarvittava paine fokusoivan optiikan ja työstettävän kappaleen väliin (Kujanpää ym. 2005, 80). Lisäksi linssin avulla saadaan pienempi polttopiste. Linssi on laserin yksi kalleimmista kuluvista osista. Linssin valintaan vaikuttavat mm. lasertyyppi, työstettävä materiaali, merkkauksen tarkkuusvaatimukset ja leikattavan materiaalin paksuus. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mitä enemmän yksityiskohtia ja tarkempaa jälkeä halutaan, sitä pienempi linssi on valittava ja mitä paksumpaa materiaalia leikataan, on kasvatettava käytettävän linssin kokoa. (Trotec 2016.)

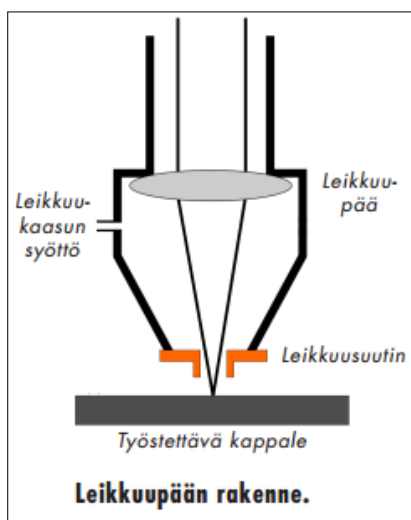
Polttopäli (focal length) kuvaa optisen komponentin fokuksinnin etäisyyttä fokuksivasta linssistä polttopisteeseen. Polttopisteen syvyys (focal depth) kuvaa aluetta, jossa lasersäde on optimaalisesti keskittynyt. Polttopisteen halkaisija (beam diameter) kuvaa säteen halkaisijaa polttopisteen kohdalla (KUVIO 4). Tyypillisesti linssin materiaalina käytetään sinkkiselenidiä. Linssin materiaalina voidaan käyttää myös galliumarsenidia ja kalsiumkloridia. (Kujanpää ym. 2005, 34 & 81.)



KUVIO 4. Lasersäteen fokuksinnin muuttujat. (Trotec 2016.)

5.5 Leikkuupään rakenne

Leikkuupää sisältää peilin ja fokuksivon linssin. Lisäksi leikkauskaasu (paineilma) syötetään samansuuntaisesti lasersäteen kanssa leikkauskaumaan leikkaussuuttimen läpi.



KUVIO 5. Leikkuupään rakenne. (Kilt Oy 2016.)

5.6 Leikkuupöytä

Erlaisia työstöpöytiä on saatavilla lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Yleisimpiä työstöpöytiä ovat kaiverrus-, hunajakkenno-, imu- ja lamellipöytä. Kaiverruspöytää käytetään kaiverrussovelluksissa, joissa ei läpileikata materiaalia. Hunajakennopöytää (KUVIO 6) käytetään silloin, kun materiaalia läpileikataan. Hunajakennopöytää käytettäessä taustapuolen heijastumisjäljet voidaan minimoida. Imupöytää käytetään ohuiden ja kevyiden materiaalien, kuten paperin, pahvin ja kalvojen koristeleikkauksiin. Se toimii alipaineen pitäessä kappaleen tasaisesti paikoillaan kiinni työpöydässä. Lamellipöytää käytetään suurikokoisten kappaleiden leikkaamiseen. (Seri-Deco 2016.)



KUVIO 6. Hunajakennopöytä. (Trotec 2016.)

6 LASERTYÖSTÖMENETELMÄT

6.1 Lasertyöstön sovellukset

Puuteollisuudessa laseria voidaan hyödyntää lukuisiin eri työstömenetelmiin, kuten erilaisten materiaalien leikkaamiseen ja kaivertamiseen, joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa alaluvuissa. Laserin käyttö erilaisiin materiaaleihin mahdollistaa myös lukuisia muita työstömahdollisuuksia, joista tyypillisimpiä ovat hitsaus, pintakäsittely, merkkäus, poraus ja juotto. Laserlaitteiden jatkuva kehitys luo uusia mahdollisuuksia teollisuuden sovelluksiin ja prosesseihin.

Lasertyöstö on kosketukseton työstömenetelmä, eikä mekaanista rasitusta kohdistu kappaleeseen, mikä mahdollistaa myös pienten kappaleiden työstämisen, koska kiinnipysymisen ongelmaa ei ole. Laser soveltuu myös aroille ja hauraille materiaaleille. Etuina puupohjaisille materiaaleille on se, ettei materiaali repeydy, mikä on usein ongelma mekaanisessa työstössä, kuten jyrsinnässä. Lasertyöstön tarkkuus on erinomainen, ja se mahdollistaa vapaiden muotojen leikkaamisen. Leikkaussauma on kapea, ja materiaalihukka pystytään minimoimaan. Laserleikkauksen etuja voidaan hyödyntää parhaiten silloin, kun tuote suunnitellaan alusta alkaen laserleikkauksen mahdollisuudet huomioiden. Lisäksi käytettävissä olevat suuret nopeudet mahdollistavat tehokkaan ja kilpailukykyisen tekniikan.

6.2 Laserleikkaus

Laserleikkaaminen on eniten käytetty työstömenetelmä teollisuudessa. Laserleikkaus on terminen prosessi, jossa lasersäde höyrystää ja sulattaa materiaalia mahdollistaen rajattomien muotojen leikkaamisen. Yleisesti lasersäde fokusoidaan kappaleen pinnalle, johon muodostuu polttopiste, jonka halkaisija on 0,1 - 0,5 mm. Tehokas lasersäde ja pieni polttopiste muodostavat suuren jopa yli 10^5 W/mm² energiatiheyden, joka mahdollistaa materiaalin leikkautumisen. Laserleikkauksessa käytetään usein hunajakennopöytää, jonka läpi leikkaussaumasta puhallettava

savukaasu siirtyy poistoilman mukana suodatusjärjestelmään. Tyypillisesti orgaanisten materiaalien leikkaaminen soveltuu vain hiilidioksidilaserille.

6.3 Laserkaiverrus/merkkkaus

Merkkkaus tapahtuu yleisesti skannerityyppisillä tasolasereilla, joissa lasersäteen ohjaus tapahtuu liikkuvilla peileillä, jolloin liikuteltavat massat saadaan pysymään pieninä ja merkkauksenopeus suurena (Kilt Oy, 2016). Laserilla tehtävät merkinnät ovat kulutuksenkestäviä ja käytännössä ikuisia, sillä merkinnän kulumisen edellyttää myös merkatun materiaalin kulumista. Puumateriaalien merkkaamiseen käytetään yleisesti CO₂-laseria. Merkkkaus voi perustua kaivertamiseen, hapettumisella aiheutettuun päästövärykseen tai polymeerien vaahdottamiseen. Tyypillisenä merkinnän syvyytenä käytetään 0,2 mm:ä. Merkkkaus voidaan suorittaa kolmella eri tekniikalla, joita ovat vektori-, maski- ja pistematriisimerkkkaus. Lasermerkintä voidaan jaotella myös seuraavien tyyppien mukaan: hiilletys, värinmuutos, pinnan fyysinen muutos, höyrystäminen, sulatus tai edellisten yhdistelmä. (Kujanpää ym. 2005, 27 & 208.)

6.4 Puupohjaisten materiaalien työstäminen

Laserlaitteistot soveltuvat hyvin orgaanisten materiaalien, kuten esimerkiksi puun leikkaamisen ja merkkaamiseen. Huonekaluteollisuudessa lasereilla pystytään leikkaamaan jopa yli 40 mm:n paksuuteen asti. Verrattuna perinteisiin menetelmiin laserilla voidaan säästää materiaalia ja leikkauskustannukset ovat 10 - 50 % perinteisten menetelmien kustannuksista, kun leikataan kaarevia muotoja. Leikkaaminen perustuu materiaalin kemialliseen hajoamiseen, jossa materiaalin tiheydestä riippuen lämpötila nousee 2000 - 3000 asteeseen. Puuainekko koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniinistä, vedestä ja ilmasta, joiden koostumukset vaihtelevat puulajeittain niiden suhteellisesta osuudesta. Puupohjaisten materiaalien leikkausnopeuteen vaikuttavat materiaalin tiheys ja puulaji, jos paksuus ja kosteus pysyvät vakioina.

Leikkauskaasuna käytetään paineilmaa, joka tuo leikkaukseen lisää energiaa, kun muodostuneessa hapettumisessa osa hiilestä muuttuu hiilidioksidiksi eksotermisen reaktion seurauksena. Leikattaessa puuta sen reuna tummuu, mikä johtuu selluloosan kemiallisen hajoamisen seurauksena jäävästä hiilestä. Tummuusasteen määrä riippuu puuaineessa olevan selluloosan osuudesta, jota voidaan vähentää käyttämällä suurta painetta leikkusrailoon kohdistetulla leikkauskaasulla eli paineilmalla. Leikatusta reunasta tulee sileä, suora ja tikuton, ja sen laatu on parempi kuin mekaanisilla menetelmillä tuotetun.

Laserlaitteistot (CO_2) mahdollistaa puun lisäksi myös lukuisten muiden materiaalien, kuten kumin, nahkan, tekstiilien, akryylin, pahvin, paperin, lasin ja erilaisten muovien lasertyöstämisen. Myös metalleja voidaan merkata pintaan poltettavan väliaineen avulla. PVC-muovi ei sovellu lasertyöstämiseen, sillä jo $100\text{ }^\circ\text{C}$:ssa siitä alkaa muodostua vaarallista kloorivetyhappoa (HCl), joka alkavaa syövyttämään koneen osia. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos materiaali voidaan hävittää polttamalla, voidaan sitä myös työstää laserilla. (Seri-Deco 2015.)

7 LASERTYÖSTÖN PARAMETRIT

7.1 Parametrien jaottelu

Lasertyöstön parametrit voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään, jotka ovat materiaali-, laser- ja prosessiparametrit. Hyvä leikkausjälki edellyttää sopivaa tasapainoa tuodun lasertehon ja kulutetun tehon välillä. Parametrien optimoinnilla energiatehokkuus ja työstön laatu paranevat.

7.2 Materiaaliparametrit

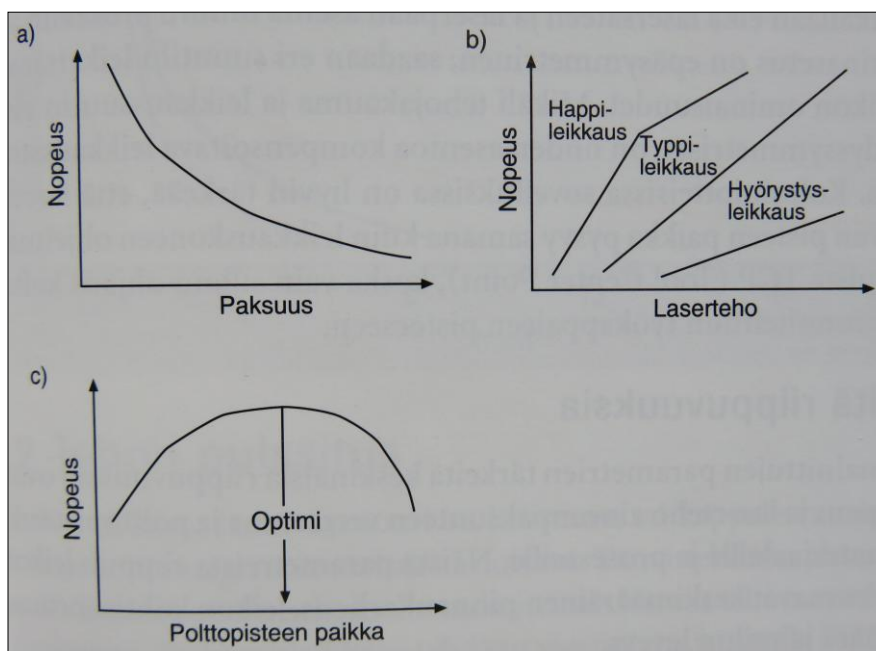
Materiaaliparametreja ovat materiaalin fysikaaliset ja optiset ominaisuudet. Materiaalin fysikaalisiin ominaisuuksiin kuuluvat mm. kappaleen paksuus, pinnanlaatu sekä lisäksi lämpötekniset ominaisuudet. Optisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan valon ja materiaalin vuorovaikutusta. Orgaanisilla materiaaleilla kuten puulla optiset ominaisuudet ovat samansuuntaisia. (Kujanpää ym. 2005, 137.)

7.3 Laserparametrit

Laserparametreihin kuuluvat mm. aallonpituus, laserteho, moodi, säteenlaatu, polarisaatio, raakasäteen halkaisija, pulssin kesto ja taajuus. Saavutettavaan tunkeuman syvyyteen ja työstönopeuteen vaikuttaa eniten käytetty laserteho. Työstön kannalta on tärkeää erottaa ulostuloteho työkappaleeseen kohdistuneesta tehosta, sillä tehohäviöitä syntyy peilioptiikkaan perustuvassa säteenkuljetuksessa. Lisäksi optiikan likaantuminen lisää tehohäviöitä. Tehon pulssituksella pystytään laskemaan kappaleeseen siirtyvää lämmöntuontia, mikä helpottaa ohuiden, tarkasti työstettävien ja herkästi lämpöä kestävien komponenttien työstöä. Pulssityöstön parametrit ovat materiaalikohtaisia, ja ne valitaan lisäksi sovelluskohtaisesti. (Kujanpää ym. 2005, & 305.)

7.4 Prosessiparametrit

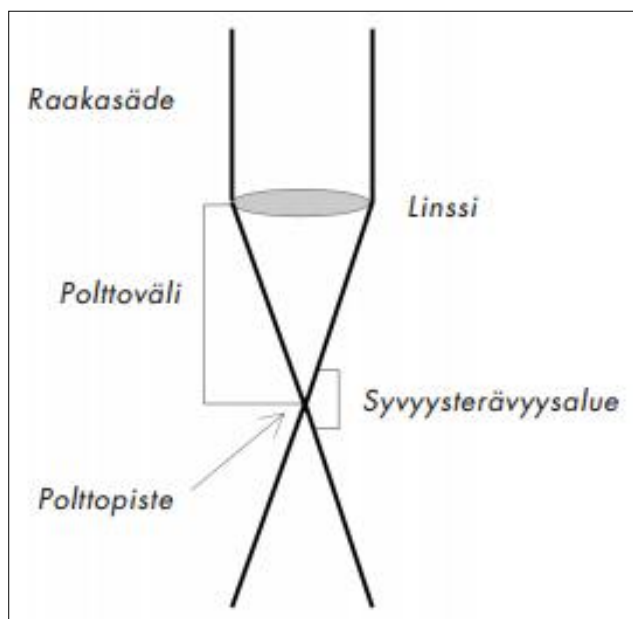
Prosessiparametreihin kuuluvat mm. leikkausnopeus, polttopisteen paikka, polttoväli, kaasulaji ja sen paine, suutinreiän halkaisija ja muoto sekä suuttimen etäisyys. Leikkausnopeus on tyypillisesti 80 - 90 % maksimileikkuunopeudesta. Leikkausnopeutta joudutaan pienentämään leikattavan materiaalin paksuuden kasvaessa, kuten kuviosta 7 voidaan havaita. Sulattavassa leikkauksessa liian alhainen leikkausnopeus aiheuttaa pursetta ja happileikkauksessa materiaalin palamista. Polttopisteen paikkaan vaikuttavat mm. suoritettava prosessi ja käytössä oleva optiikka. (Kujanpää ym. 2005, 137 & 307.)



KUVIO 7. Riippuvuuksia parametrien välillä. (Kujanpää ym. 2005, 137.)

Polttopisteen paikka määritellään kappaleen paksuuden ja materiaalin mukaan. Leikatessa materiaalia polttopisteen paikalla on erittäin suuri merkitys leikkautuvuuteen ja jäljen laatuun. Sulattavassa leikkauksessa polttopiste on lähellä leikattavan levyn alareunaa, ja maksimoitaessa leikkausnopeus polttopisteen paikka nousee suurin piirtein levyn puoliväliin. Levyn paksuuden ollessa yli 10 mm polttopiste sijaitsee muutamia millijä levyn pinnan yläpuolella (Kujanpää ym. 2005, 137 &

307). Kappaleeseen kohdistuvan focuspisteen suuri energiatiheys (yli 10^5 W/mm²) saa aikaan materiaalin höyrystymisen.



KUVIO 8. Lasersäteen kohdistus. (Kilt Oy 2016.)

Puumateriaaleja leikattaessa kaasuna käytetään paineilmaa eli happea. Materiaalin paksuuden kasvaessa myös leikkauskaasun paine kasvaa sulattavaan leikkaukseen perustuvassa työstössä. Painetta nostettaessa myös kaasun virtausnopeus kasvaa. Leikkauskaasu ohjataan lasersäteen suuntaisesti koaksiaalisesti leikkaurailoon. Kaasuvirtaus pyritään saamaan pyörteettömäksi. Suutin valmistetaan normaalisti heijastamattomasta materiaalista, kuten kuparista. (Kujanpää ym. 2005, 138 & 145.)

Tärkeimmät keskinäiset riippuvuudet ovat leikkausnopeuden ja lasertehon suhde verrattuna leikattavan materiaalin aineenpaksuuteen sekä polttopisteen paikka erilaisissa prosesseissa ja materiaaleissa. Kyseiset parametrit vaikuttavat eniten leikon laatuun, jota kuvaavat pinnankarheuden lisäksi leikon kohtisuoruus, purseen määrä ja railon leveys. (Kujanpää ym. 2005, 138.)

8 LAITTEISTON ASENTAMINEN

8.1 Laitteiston sijoittaminen

Laitteiston sijoittamisessa tulee noudattaa koneen ohjekirjassa olevia ohjeita, sillä ne ovat laitekohtaisia. Laite tulisi sijoittaa paikkaan, jossa se ei altistu korkeille lämpötiloille eikä suurille lämpötilavaihteluille. Kone ei saa myöskään altistua pölylle tai suurelle suhteelliselle ilmankosteudelle, jonka maksimiarvona on 70 %. Lämpötilan tulee olla 15 - 25 °C:n välillä, jotta kosteus ei tiivisty laitteen pinnoille. Laite tulee sijoittaa paikkaan, jossa se ei altistu iskuille eikä auringon valolle. Laitteen etäisyyden ohjaavasta tietokoneesta tulee olla maksimissaan 2,5 m. Lisäksi sijoituspaikkaan vaikuttavat ilmanvaihto, savukaasujen poisto, paineilmaliihtäntä ja koneen kytkeminen sähköverkkoon.

Suurin osa Ilosen Puutyön tiloista on pölylle alttiita, joten laserlaitteen tuotantotilalle oli kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäinen oli sijoittaa se yläkerrassa olevaan erilliseen myymälähuoneeseen ja toinen rakentaa alakerran halliin pölyltä eristetty tila/huone.

Valinta kohdistui yläkerrassa olevaan myymälähuoneeseen, sillä sijoituspaikan valinnassa ratkaisevina tekijöinä olivat taloudelliset tekijät, asennuksen helppous ja tilojen toimivuus tuotannon kannalta.

8.1.1 Paineilma

Leikkauskaasun eli tässä tapauksessa paineilman on oltava puhdasta, eikä siinä saa olla vettä, öljyä tai muita epäpuhtauksia. Paineilman tärkein tehtävä on pitää leikkuupäässä oleva fokuointilinssi puhtaana, jolloin optiikan puhdistustarve minimoituu ja samalla linssin kestoikä kasvaa huomattavasti. Paineilman toinen tehtävä leikkausprosessissa on puhaltaa leikkaussaumasta savukaasut pois, jotta kappaleen pinnalle ei muodostu savujälkiä. Leikkausrailoon kohdistettu ilma tehostaa myös leikkautumista nopeuttaen prosessia ja parantaen leikkausjälkeä. (Kilt Oy 2015.)

8.1.2 Sähkökytkennät

Laitteiston lähettyville tuotiin yksivaiheinen pistorasia niin laserleikkurille kuin laseria ohjaavalle tietokoneellekin. Lisäksi koneen lähettyville sijoitettiin ohjauskeskus savukaasujen poistojärjestelmälle. Ohjauskeskus koostuu kontaktorista, jolla ohjataan savukaasujen poistoimurin moottoria, sekä kolmiasentoisesta kytkimestä, jolla määritetään keskuksen toimintaperiaate. Kytkimen asentovaihtoehtoja ovat ”Pois”, ”Päällä” ja ”Auto”. Kytkimen asennoilla ”Pois” ja ”Päällä” voidaan ohjata poistoa käsin käsin päälle tai pois. Normaalityössä kytkin on ”Auto”-asennossa, jolloin savukaasuumuri lähtee käyntiin kun työ aloitetaan ja sammuu 30 sekunnin viiveellä työstön loputtua poistaen vielä viimeiset työstössä syntyneet savukaasut.

8.1.3 Savukaasujen poistaminen

Pölyjä ja erilaisia höyrystymis- ja palamiskaasuja muodostavia aineita, kuten kumia ja puuta työstettäessä laite on varustettava riittävällä savukaasujen poistolla tai suodatuksella. Imurilta vaadittava minimi imutehon on oltava vähintään 300 m³/h ja alipaineen on oltava yli 1500 Pa. (SDSL 300 -käyttöohje, 2015.)

Savukaasujen poistossa oli kaksi vaihtoehtoa: ensimmäinen edullisempi vaihtoehto oli rakentaa galvanoidusta purunpoistoputkista savukaasujen poisto suoraan ulkoilmaan. Tämän vaihtoehdon etuna puhallinmoottori saadaan sijoitettua ulkotiloihin ja laitteiston äänenvoimakkuus on täten pienempi. Vanhojen ylimääräisten purunpoistoputkien ja puhallinmoottorin hyödyntäminen putkiston rakentamisessa pienensi vaihtoehdon investointikustannuksia. Lisäksi savukaasujen poiston valinnassa laitteiden ylläpito ja huoltokustannukset ovat pienemmät. Tämän vaihtoehdon haittapuoliksi voidaan laskea lämpöhukka, kun lämmintä sisäilmaa siirretään suoraan ulkoilmaan.

Toinen vaihtoehto oli koneen lisävarusteena saatava sisälle sijoitettava suodatusjärjestelmä. Laitteiston etuna olisi ollut se, että lämmin ilma

saataisiin suodatuksen jälkeen takaisin tuotantotiloihin. Haittapuoliksi voidaan laskea suuremmat investointikustannukset, huollontarve (suodattimien puhdistus/vaihto) ja äänenvoimakkuus.

Savukaasujen poistossa päädyttiin ensimmäiseen vaihtoehtoon edullisempien investointikustannusten takia. Lisäksi päätöstä vankisti laitteiston pienempi äänenvoimakkuus, sillä viereisissä tiloissa ovat yrityksen toimistotilat.

8.2 Turvallisuus

Laserleikkaaminen on turvallista, sillä työstettävän alueen ulkopuolinen pinta ei altistu mekaaniselle hankaukselle eikä vahingolliselle kosketukselle. Oikein käytettynä turvavarusteet takaavat sen, ettei käyttäjän turvallisuus vaarannu avonaisille tai liikkuville osille.

Tuotantokäyttöiset laserkoneet ovatkin verrattavissa turvallisuustasoltaan CD-levysoittimeen tai mikroaaltouuniin. (Seri-Deco 2015.)

8.3 Ylläpito

Leikattaessa ja kaiverrettaessa syntyy aina pölyjä ja kaasuja, jotka on pyrittävä poistamaan tehokkaasti laitteesta ja työstökohdasta. Pölyä muodostavia materiaaleja käytettäessä myös koneen huoltotarve kasvaa. Laitteen ja sen osien käyttöikä lisää säännöllinen putsaus. Valmistaja suosittelee pitämään laitteen puhtaana sisältä ja putsamaan linssin kerran päivässä, työstöpään peilin kerran viikossa ja toisen liikkuvan peilin kerran kuukaudessa. Myös imurin säännöllinen huolto ja puhdistus takaavat häiriöttömän tuotannon ja mahdollistavat näin kannattavamman liiketoiminnan. Laser tulisi myös sijoittaa tilaan, jossa on tasainen lämpötila (15 - 25 °C). (Seri-Deco 2015.)

Laserin ylläpito perustuu pääosin ennakoivaan kunnossapitoon, jossa huolehditaan koneen osien puhtaudesta, määräaikaishuoltojen tekemisestä ajallaan ja joidenkin strategisten komponenttien kunnan tarkkailemisesta. Epäpuhtaudet lasersädettä heijastavissa tai läpäisevissä

osissa, kuten peileissä ja linssissä, lisäävät säteen absorptiota ja lämmittävät komponenttia normaalia enemmän aiheuttaen yleensä komponentin vaurioitumisen. (Kujanpää ym. 2005, 352.)

9 KOEAJOSUUNNITELMA

9.1 Laitteisto

Työn testausosuus tehtiin käyttämällä Ilosen Puutyö Ky:n tuotantotiloissa olevaa SDSL Speedy 300 60W CO₂-laseria (KUVIO 9). Laitteisto on skannerityyppinen tasolaser, jossa lasersäteen ohjataan leikkuupäähän peileistä ja linssistä koostuvaa optiikkaketjua pitkin. Taulukossa 1 on esiteltyä testauksessa käytetyn koneen tärkeimpiä ominaisuuksia. Työn tarkoituksena oli tutkia leikkaustehon ja nopeuden vaikutusta eri puumateriaaleille ja paksuuksille ja määrittää työstöparametrit valmiiksi seuraaville käyttäjille.



KUVIO 9. Trotec Speedy 300 CO₂-laser.

Taulukko 1. SDSL 300 tekniset ominaisuudet. (SDSL 300 - käyttöohje.)

Laite	SDSL 300
Max. Kaiverrusala	726 x 432 mm
Max. Kappaleen koko	800 x 460 x 200 mm
Max. Kaiverrusnopeus	355 cm/sek
Lasertyyppi	Suljetun resonaattorin CO ₂ -laser
Jäähdytys	Ilmajäähdytteinen
Käyttöjännite	AC; 220 - 240 V; 50 Hz; 16 A Sulake
Lasersäteen aallonpituus	10,6 µm
Tarkennusetäisyys	2 tuumaa
Tarkkuus	+/- 0.025 mm
Teho	60W
Tehontarve	1300 W
Turvallisuusluokka	Luokka 2
Melu	70 dB

9.2 Ohjelmisto

Laitteen ohjelmointiin käytetään laseria varten investoitua Adobe Illustrator -ohjelmistoa ja työstöstä riippuen lisäksi yrityksessä jo entuudestaan ollutta AutoCAD -ohjelmistoa. Ohjelmistot on asennettu laserin vieressä olevalle tietokoneelle, joka on suorassa yhteydessä laseriin. Valmiiksi muokattu työ tulostetaan laserin omaan Job Control -ohjelmaan, jossa määritetään erilaiset työstöparametrit, kuten teho, nopeus, taajuus ja resoluutio.

9.3 Testausmatriisi ja käytetyt parametrit

Materiaalien leikkautuvuuden testaus suoritettiin tekemällä 15 mm:n testiympyrä, jolla haettiin optimaaliset parametrit leikkausnopeudelle 5 mm ja 10 mm materiaalivahvuuksille. Tehon arvona oli 100 % kaikissa leikkaustesteissä. Leikkauskaasuna käytettiin paineilmaa, jonka paine oli 2 bar. Leikatessa taajuutena käytettiin 1000 Hz, kaiverrettaessa 500 Hz ja tarkkuutena käytettiin 500 DPI (Dots Per Inch).

Merkkauksessa valittavat parametrit voidaan valita tehon ja nopeuden suhteen 1 % välein maksimiarvon ollessa 100 %. Testausta rajattiin siten,

että leikkaustehoina käytettiin 100, 75, 50 ja 25 %. Leikkausnopeuksina käytettiin 70, 50, 30 ja 10 %:n nopeuksia, jotka testattiin ristiin (TAULUKKO 2). Kaiverrus tehtiin 2 cm x 2 cm alalle, ja kaiverrusvaihtoehtoja tuli siten 16 kpl jokaiseen puulajiin. Koivun kaivertamisessa tehtiin lisäksi testaus 10 %:n välein nopeuden ja tehon suhteen, jolloin kaiverrusvaihtoehtoja tuli 100 kpl.

TAULUKKO 2. Testausmatriisi

Teho (P) %	Nopeus (S) %
100	70
	50
	30
	10
75	70
	50
	30
	10
50	70
	50
	30
	10
25	70
	50
	30
	10

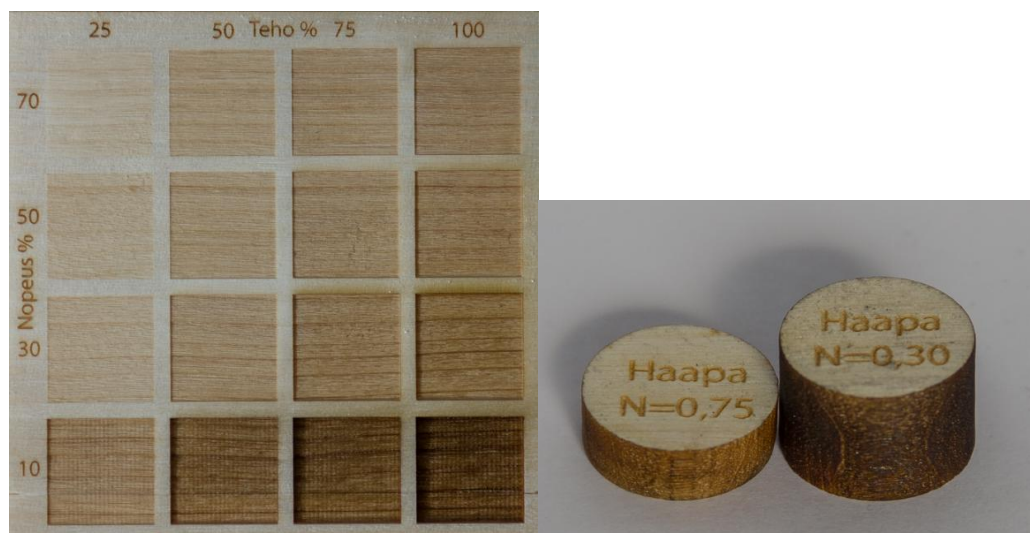
9.4 Materiaalien testaus

Raaka-aineina käytettiin yrityksen toimintastrategian kannalta tärkeimpiä materiaaleja. Koivu on yrityksen käytetyin raaka-aine, joten sen ominaisuuksiin tutustutaan muita tarkemmin. Lisäksi koivua on helppo työstää ja merkata sen tasalaatuisuuden vuoksi. Testeissä on kuitenkin huomioitava, että samaa puulajia olevien yksilöidenkin välillä vaihtelu saattaa olla huomattava johtuen esimerkiksi puiden eri iästä ja kasvu- ja ilmasto-olosuhteista. Kaikki testauksessa käytetyt puumateriaalit olivat kosteudeltaan puusepänkuivaa eli noin 6 - 9 %. Testauksissa käytetyn laserin teho (60 W) rajoitti materiaalipaksuuden materiaalista riippuen 6 - 12 mm:iin. Kevyet puumateriaalit, kuten mänty ja kuusi, leikkautuivat

helposti 12 mm:iin asti, mutta vanerin maksimipaksuus rajoittui 6,5 mm:iin. Testauksessa tutkittavat materiaalivahvuudet valikoituivat näin ollen massiivipuiden osalta 5 ja 10 mm:iin. Vanerissa paksuuksina käytettiin 4 ja 6,5 mm:n levyjä. MDF:n paksuutena käytettiin 6 mm:n vahvuista levyä. Testauksessa tutkittiin materiaalien leikkaus- ja merkattavuusominaisuuksia muuttaen laserin teho- ja nopeusparametreja.

9.4.1 Haapa

Haapa on vaaleaa, pehmeää, joustavaa sekä tiivistä puumateriaalia, jolla on pitkä ja suorasyinen rakenne. Haavan sävy vaihtelee valkoisesta vaaleanharmaaseen pinta- ja sydänpuiden ollessa samansävyiset. Ilmakuivan haavan tiheys on noin 490 - 540 kg/m³. (Puuproffa 2012.)



KUVIO 10. Haavan kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Haapa leikkautui kevyesti, ja leikkaussauman sävy oli 5 mm:n paksuudella vaaleanruskea ja 10 mm:n paksuudella tummanruskea (KUVIO 10). Haavan kaiverrusjälki oli melko tasalaatuinen, mutta kevät- ja kesäpuun erot korostuivat sitä enemmän, mitä suurempaa tehoa ja hitaampaa nopeutta käytettiin. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat suuret. Testatun haavan tiheys oli 495 kg/m³.

9.4.2 Koivu

Koivu on tasalaatuista, kohtalaisen kovaa, tiivistä ja vahvaa puumateriaalia, joka on väriltään vaaleaa tai kellertävää. Koivussa pinta- ja sydänpuu ovat lähes samanväriset. Ilmakuivan koivun tiheys on noin 600 kg/m^3 . (Puuproffa 2012.)



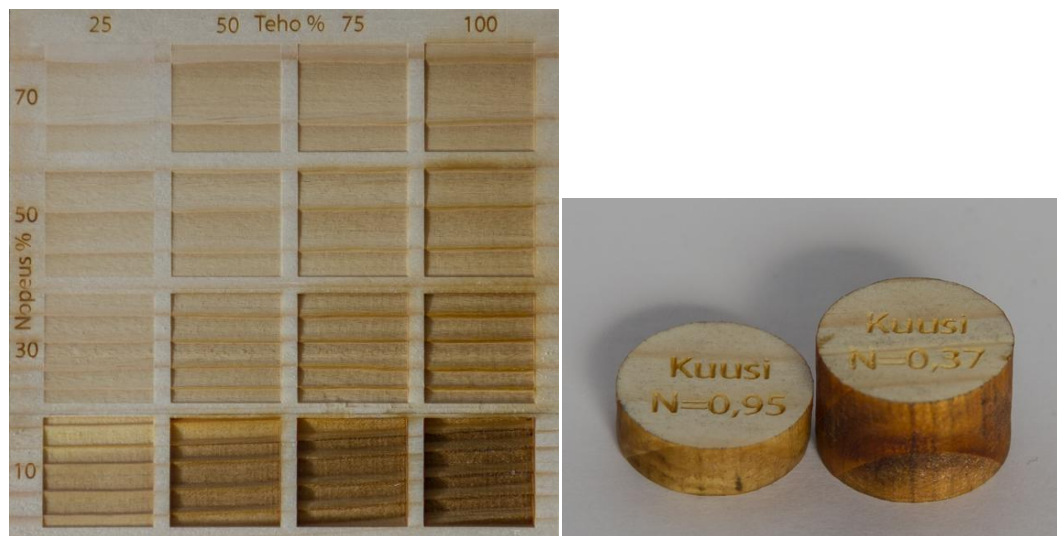
KUVIO 11. Koivun kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt

Koivu leikkautui melko kevyesti ja leikkaussauman sävy oli 5 mm:n paksuudella ruskea ja 10 mm:n paksuudella tummanruskea (KUVIO 11). Koivun kaiverrusjälki oli erittäin tasalaatuinen, eivätkä kevät- ja kesäpuun erot korostuneet ollenkaan. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat melko suppeat. Testissä käytetty koivu oli melko tiheää ollen 730 kg/m^3 . Koivulle suoritettiin myös laajempi kaiverrustestaus, jossa testattiin tehon ja nopeuden muutoksia 10 %:n välein. Vaihtoehtoja tuli siis 100 kpl. Testauksesta otettu kuva on nähtävissä liitteestä 2.

9.4.3 Kuusi

Kuusi on suorasyistä, tasa-aineista, kevyttä ja pehmeää puumateriaalia, joka on sävyiltään vaaleaa tai kellertävää. Pinta- ja sydänpuu ovat lähes samanväriset. Havupuissa, kuten kuusessa, kevät- ja kesäpuun värierot johtuvat soluseinämien paksuuseroista. Ilmakuivan kuusen tiheys on noin

300 - 480 kg/m³. (Puuproffa 2012.) Kotimaisen kuusen kesäpuuprosentti on noin 15 % vaihdellen 10 - 40 %:n välillä (KKTavastia 2008).



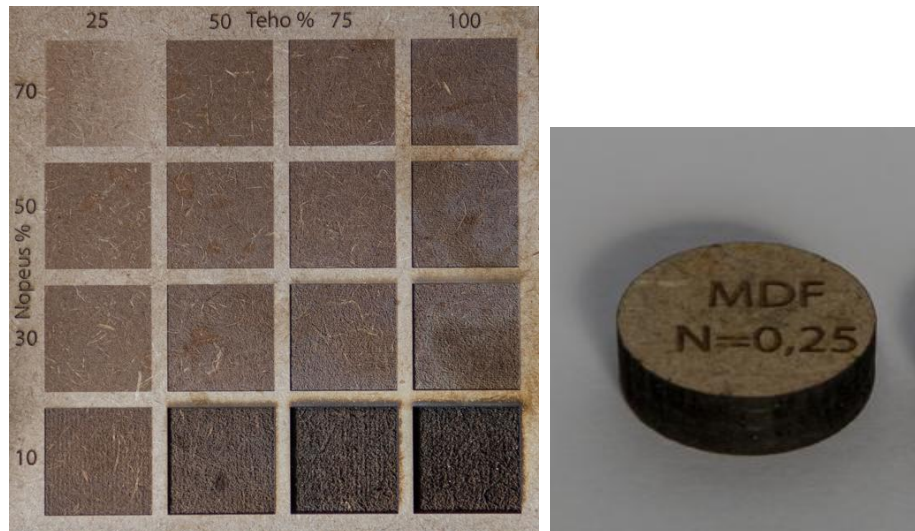
KUVIO 12. Kuusen kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Kuusi leikkautui kevyesti, ja leikkaussauman sävy oli 5 mm:n paksuudella vaaleanruskea ja 10 mm:n paksuudella ruskea (KUVIO 12). Kuusen kaiverrusjälki oli melko epätasainen johtuen kevät- ja kesäpuun tiheuseroista ja ne korostuivat sitä enemmän, mitä suurempaa tehoa ja hitaampaa nopeutta käytettiin. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat kohtuullisen suuret. Testatun kuusen tiheys oli 400 kg/m³.

9.4.4 MDF

MDF (Medium Density Fibreboard) valmistetaan puukuiduista puristamalla ne yhteen liiman ja lämmön avulla valmiiksi levyksi. MDF:n tiheys vaihtelee laaduttain välillä 600 - 1000 kg/m³. (Puuproffa 2012.)

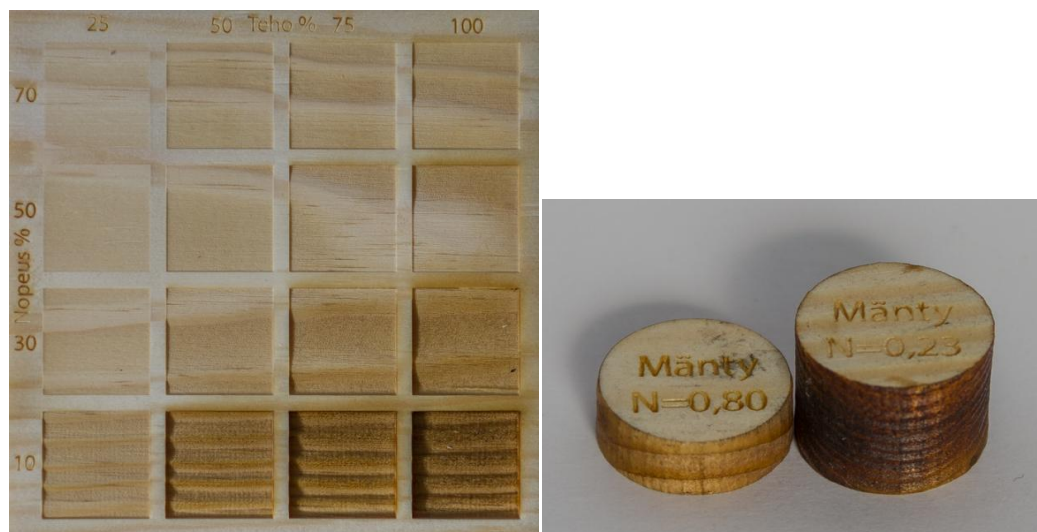
MDF leikkautui kohtuullisesti ja leikkaussauman sävy oli mustaksi hiiltynyt (KUVIO 13). MDF-levyn kaiverrusjälki oli erittäin tasalaatuinen. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat melko suppeat lukuun ottamatta kohtia, jotka olivat hiiltyneet kaiverrettaessa suurella teholla ja pienellä nopeudella. Testissä käytetyn MDF:n tiheys oli 820 kg/m³.



KUVIO 13. MDF:n kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

9.4.5 Mänty

Mänty on suorasyistä, karkeaa, kevyttä ja suhteellisen pehmeää puumateriaalia, joka on sävyltään pintapuun osalta vaaleankellertävää ja sydänpuun osalta punaruskeaa. Ilmakuivan männyn tiheys on noin 540 kg/m^3 . (Puuproffa 2012.) Kotimaisen männyn kesäpuuprosentti on noin 25 % vaihdellen 15 - 50 %:n välillä (KKTavastia 2008).



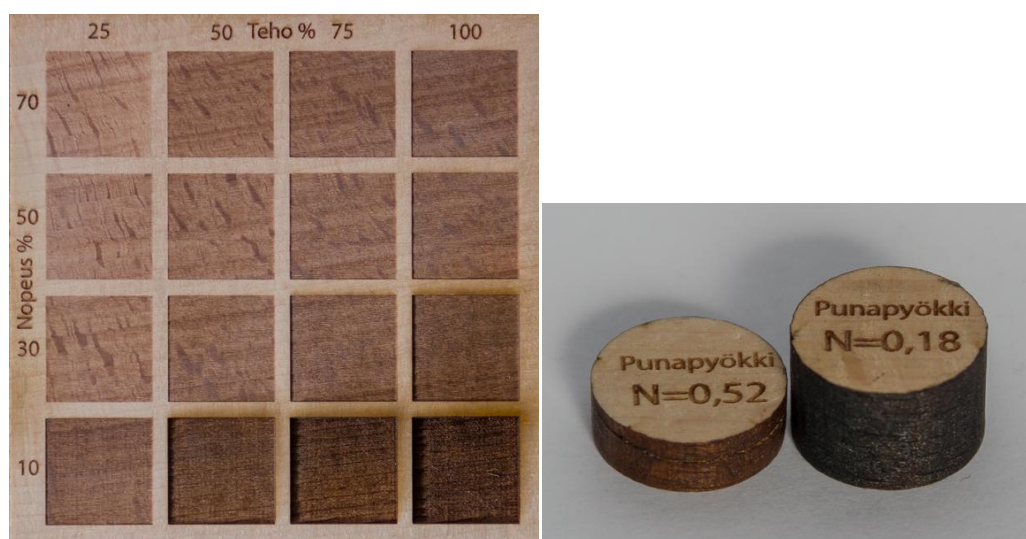
KUVIO 14. Männyn kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Mänty leikkautui kevyesti, ja leikkaussauman sävy oli 5 mm:n paksuudella vaaleanruskea ja 10 mm:n paksuudella ruskea (KUVIO 14). Männyn

kaiverrusjälki oli melko epätasainen johtuen kevät- ja kesäpuun tiheyseroista. Erot korostuivat sitä enemmän, mitä suurempaa tehoa ja hitaampaa nopeutta käytettiin. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat melko suppeat. Testatun männyn tiheys oli 520 kg/m^3 .

9.4.6 Punapyökki

Punapyökki on sileää, lujaa, raskasta ja homogeenistä puumateriaalia. Punapyökki on sävyltään punertavan ruskean sävyistä. Ilmakuivan punapyökin tiheys on noin 750 kg/m^3 . (Puuinfo 2015.)



KUVIO 15. Punapyökin kaiverrustesti ja leikkaussauvan sävyt.

Punapyökki vaati hitaimman leikkausnopeuden testatuista puumateriaaleista. Leikkaussauvan sävy oli 5 mm:n paksuudella tummanruskea ja 10 mm:n paksuudella mustaksi hiiltynyt (KUVIO 15). Punapyökin kaiverrusjälki oli melko tasalaatuinen, mutta kevät- ja kesäpuun erot korostuivat sitä enemmän, mitä suurempaa tehoa ja hitaampaa nopeutta käytettiin. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat laajat. Testissä käytetyn punapyökin tiheys oli 720 kg/m^3 .

9.4.7 Tammi

Tammi on lujaa, kovaa ja tiheäsyistä puumateriaalia, jonka väri vaihtelee vaaleankellertävästä ruskeaan. Tammessa on myös tummanjuovikas

kuviointi. Kehäputkiloisilla puilla, kuten tammella, kesäpuuosuus voi olla jopa yli 70 %. Etenkin kaiverruksessa tammen suuri kesäpuuosuus vaikutti merkkauussyvyyden vaihteluun huomattavasti. Kevätpuun osuuteen tuli huomattavasti syvempi kaiverrus kuin kovempaan kesäpuuosuuteen. Ilmakuivan tammen tiheys on noin 753 kg/m^3 . (Puuproffa 2012.)



KUVIO 16. Tammen kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Tammi vaati toiseksi hitaimman leikkausnopeuden testatuista puumateriaaleista. Leikkaussauman sävy oli kummallakin dimensiolla mustaksi hiiltynyt (KUVIO 16). Tammen kaiverrusjälki oli melko tasalaatuinen, mutta kevät- ja kesäpuun erot korostuivat sitä enemmän, mitä suurempaa tehoa ja hitaampaa nopeutta käytettiin. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat melko suppeat. Testissä käytetyn tammen tiheys oli noin 730 kg/m^3

9.4.8 Tervaleppä

Tervaleppä on suorasyistä, tasa-aineista, hieman karkeaa, kevyttä, pehmeää, kimmoisaa ja sitkeää puumateriaalia, joka on sävyiltään punaruskeaa. Pinta- ja sydänpuun eroa on vaikea havaita. Ilmakuivan tervaleppän tiheys on noin 530 kg/m^3 . (Puuproffa 2012.)



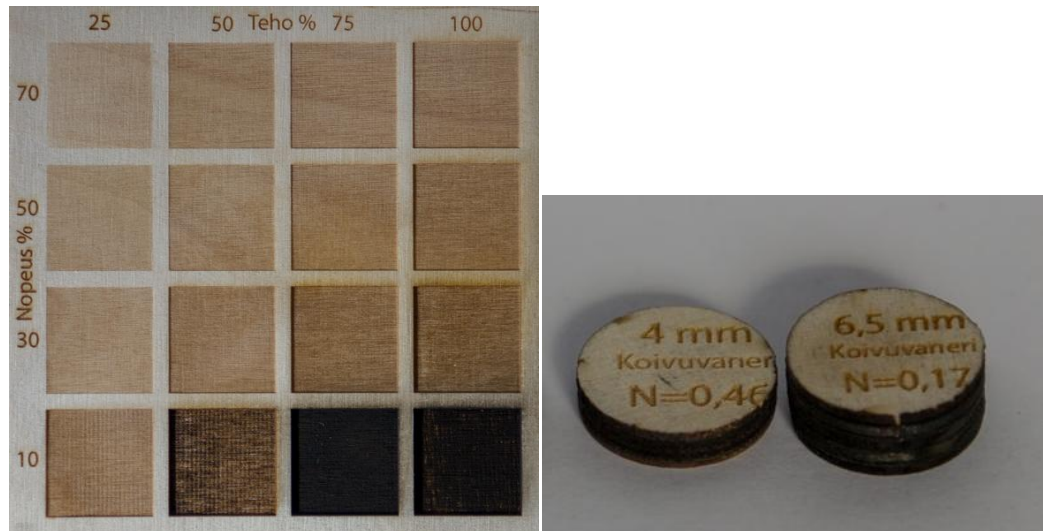
KUVIO 17. Tervaleppän kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Tervaleppä leikkautui kevyesti ja leikkaussauman sävy oli 5 mm:n paksuudella ruskea ja 10 mm:n paksuudella tummanruskea (KUVIO 17). Tervaleppän kaiverrusjälki oli erittäin tasalaatuinen, eivätkä kevät- ja kesäpuun erot korostuneet ollenkaan. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat laajat. Testissä käytetyn tervaleppän tiheys oli 420 kg/m^3 .

9.4.9 Vaneri

Normaalit vanerit soveltuvat myös laserleikkaukseen, mutta leikkausjälki jää hiiltyneen mustaksi, josta irtoaa runsaasti nokea. Ureapohjaisia liimoja käyttämällä vaneri saadaan leikkautumaan kauniimmin. (Laser-Riimikko 2016.) Koivuvanerin tiheys on noin 680 kg/m^3 .

Ohutviiluvanerit valmistetaan yleisesti koivusta sorvaamalla noin 0,15 - 0,5 mm paksuja viiluja ja ristiinliimaamalla ne. Ohutviiluvaneri on erittäin tasalaatuista, sillä viilut ovat saumattomia. Se on lisäksi helposti työstettävää materiaalia, joka soveltuu hyvin laserleikkaamiseen. Laserleikkauksessa reuna jää siistiksi ja kauniin ruskeaksi.



KUVIO 18. Koivuvanerin kaiverrustesti ja leikkaussauman sävyt.

Testauksessa käytetyllä 60 W:n laserilla testatun vanerin leikkauksen maksimipaksuus jäi 6,5 millimetriin. Hidasta leikkausnopeutta käyttämällä ja fenolipohjaisen liiman takia leikkaussauma hiiltyi mustaksi molemmilla dimensioilla (KUVIO 18). Leikatessa vanerin sisällä olevat oksat saattavat hajottaa ja kääntää sädettä, mikä saattaa haitata leikkautumista. Vanerin kaiverrusjälki oli kuitenkin melko tasalaatuinen. Suurella teholla ja pienellä nopeudella kaiverrettaessa kaiverrus menee pintaviilusta läpi, jolloin pinta jää hiiltyneen mustaksi. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat melko suppeat lukuun ottamatta kohtia joissa pintaviilu meni puhki ja liimasauma tuli esiin. Lisäksi kohdissa, joissa liimasauma tuli näkyville, muodostui kipinöintiä. Testauksessa käytetyn vanerin tiheys oli 650 kg/m^3 .

10 TESTITULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

10.1 Leikkaustulokset

Testauksen perusteella materiaalin tiheydellä oli selvä vaikutus materiaalien leikkautuvuuteen ja kaiverruksen syvyyteen. Kaikki massiivipuut soveltuivat laserleikkaamiseen, mutta punapyökkin ja tammen reunat hiiltivät mustaksi leikatessa. Etenkin haapa, koivu, kuusi, mänty ja tervaleppä leikkautuivat kevyesti, leikkaussauma jäi siistiksi, eikä niistä irronnut hiiltä. Testauksessa käytetyt levymateriaalit MDF ja vaneri olivat tasalaatuisia leikata, mutta leikkaussauma hiiltyi mustaksi, mikä johtui valmistuksessa käytetyistä liimoista. Testauksessa käytetyt levyjen paksuudet olivat koneen tehoon nähden maksimidimensioita. Käytettyjä leikkausparametreja ja lisätietoja voidaan tarkastella taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Leikkausparametrit ja lisätiedot.

Materiaali	Paksuus (mm)	Teho (P) %	Nopeus (S) %	Tiheys (Kg/m ³)	Erytishuomiot leikkauksessa
Haapa	5	100	0,75	495	Reuna vaalean ruskea
	10	100	0,3		Reuna tummanruskea
Koivu	5	100	0,55	730	Reuna ruskea
	10	100	0,21		Reuna tummanruskea
Kuusi	5	100	0,95	400	Reuna vaalean ruskea
	10	100	0,37		Reuna ruskea
Mänty	5	100	0,8	520	Reuna vaalean ruskea
	10	100	0,23		Reuna ruskea
Punapyökki	5	100	0,52	720	Reuna tummanruskea
	10	100	0,18		Reuna hiiltyy
Tammi	5	100	0,5	730	Reuna hiiltyy
	10	100	0,19		Reuna hiiltyy
Tervaleppä	5	100	1	420	Reuna ruskea
	10	100	0,35		Reuna tummanruskea
MDF	6	100	0,25	820	Reuna hiiltyy
Vaneri	4	100	0,46	650	Reuna hiiltyy
	6,5	100	0,17		Reuna hiiltyy

10.2 Kaiverrustulokset

Kaiverrettaessa koekappaleita materiaalin tiheydellä oli suuri vaikutus kaiverussyvyyteen. Kevyet materiaalit, kuten haapa, kuusi, mänty ja tervaleppä kaivertuivat syvemmälle kuin tiheimmät materiaalit, kuten koivu, punapyökki, tammi, MDF ja vaneri. Tasalaatuisin kaiverrusjälki jäi

koivulla ja tervalepällä sekä MDF:llä ja vanerilla. Melko tasalaatuinen kaiverrusjälki saatiin haavalla, punapyökillä ja tammella. Kuusella ja männyllä oli huomattavan suuret kaivertumiserot kevät- ja kesäpuun välillä, minkä seurauksena kaiverrusjäljessä oli jopa muutaman millin syvyyserot. Kaiverruksessa syntyneet sävyerot olivat selkeimmät haavalla, koivulla ja tervalepällä. Optimaalisia kaiverrusparametreja voidaan tarkastella taulukosta 4.

TAULUKKO 4. Kaiverrusparametrit ja lisätiedot.

Materiaali	Paksuus (mm)	Teho (P) %	Nopeus (S) %	Tiheys (Kg/m ³)	Erytishuomiot merkkauksessa
Haapa	5	100	60	495	Melko tasalaatuinen, laajat sävyt
Koivu	5	100	40	730	Tasalaatuinen
Kuusi	5	75	30	400	Kevät ja kesäpuun ero suuri
Mänty	5	75	30	520	Kevät ja kesäpuun ero suuri
Punapyökki	5	100	40	720	Melko tasalaatuinen
Tammi	5	100	40	730	Melko tasalaatuinen
Tervaleppä	5	100	70	420	Tasalaatuinen, laajat sävyt
MDF	6	100	40	820	Tasalaatuinen, hiiltyy pienellä nopeudella
Vaneri	6,5	100	40	650	Tasalaatuinen, hiiltyy liimasaumasta

10.3 Tulosten tarkastelu

Puulajeilla, kuten haavalla, kuusella ja tervalepällä on pieni tiheys, joten niiden leikkautuminen oli kaikista kevyintä. MDF:n ja vanerien reunat hiiltyivät mustiksi johtuen niiden rakennetta sitovista liimoista. Tervaleppä ja koivu erottuivat selkeästi kaiverruksen tasalaatuisuudella. Haavalla, koivulla ja tervalepällä oli laajin sävymuutos käytettäessä erilaisia parametreja. Nämä kolme puulajia soveltuivat myös kokonaisuudessaan parhaiten laserleikkaukseen ja kaiverrukseen testauksessa olleista materiaaleista.

10.4 Valmiit asetukset

Testauksessa parhaiten määritellyt parametrit tallennettiin ohjelmistoon, ja näin ollen käyttäminen on jatkossa helpompaa ja nopeampaa myös muiden käyttäjien toimesta. Aloitettaessa uusi työ, aikaa ei kulu turhaan parametrien määrittämiseen, vaan materiaali valitaan tulostusvaiheessa materiaalistasta.

11 KEHITYSEHDOTUKSET

Testauksen aikana laitteistoa käytettäessä syntyi muutamia kehitysehdotuksia tulevaisuutta ajatellen. Laitteisto vaatii paineilmaa linssin puhtaanapitoon ja leikkaussaumaan puhallettaessa. Yrityksen laserlaitteisto on liitetty tuotannon paineilmaverkkoon, johon paineilma tuotetaan ruuvikompressorilla. Laserlaitteistoa varten voisi rakentaa vastaventtiilillä ”suljetun piirin”, jotta laitteistoa voisi käyttää pienemmällä kompressorilla myös niinä aikoina kun suurempi ruuvikompressor ei ole käytössä. Paineilmaa tuottaessa tulee kuitenkin kiinnittää erityishuomiota siihen, ettei kosteutta pääse syntymään putkistoon. Toinen vaihtoehto olisi ollut konetta hankittaessa lisävarusteena saatava air assist -pumppu, jolla pystyttäisiin pitämään linssi puhtaana.

Erialaisten mallineiden valmistus helpottaisi kappaleiden kohdistamista työpöydällä. Tämä nopeuttaisi valmistusprosessia ja mahdollistaisi useamman vapaamuotoisen kappaleen kohdistamisen ja työstämisen kerralla.

Koneen käytön helpottamiseksi eri työvaiheisiin voitaisiin tehdä ohjekortit, joissa kerrotaan selkeästi etenemisvaiheet, jolloin koneen käyttäminen ei olisi pelkän muistin varassa. Lisäksi ohjekortit mahdollistaisivat useamman eri henkilön hyödyntämisen koneen käytössä.

Paksuja kappaleita leikattaessa voitaisiin harkita suurempituumaisen linssin ostamista, mikä mahdollistaisi paremman leikkautuvuuden paksummille materiaaleille. Haittapuolena on se, että merkkaukset eivät olisi niin tarkkoja kuin nykyisellä linssillä.

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutustua CO₂-laserleikkurin käyttöönottoon ja parametrien säätämiseen erilaisille puumateriaaleille. Lasertyöstäminen tarjoaa lukuisia mahdollisuuksia teollisuuden erilaisiin sovelluksiin ja mahdollistaa kustannustehokkaan ja taloudellisen tuotannon.

Testauksessa olleet puumateriaalit soveltuivat laserleikkaamiseen- ja merkkaukseen, ja puulajien erilaiset ominaisuudet pystyttiin kartoittamaan testaussuunnitelman mukaisesti. Testaustuloksia tarkastellessa pystytään havaitsemaan, että mitä tiheämpää leikattava materiaali oli, sen hitaampaa leikkausnopeutta jouduttiin käyttämään. Puulajeilla kuten haavalla, kuusella ja tervalepällä on pieni tiheys, joten niiden leikkautuminen oli testijoukon kevyintä. MDF:n ja vanerien reunat hiiltivät mustiksi, mikä johtuu niiden rakennetta sitovista liimoista. Tervaleppä ja koivu erottuivat selkeästi kaiverruksen tasalaatuisuudella. Haavalla, koivulla ja tervalepällä oli laajin sävymuutos käytettäessä erilaisia parametreja. Nämä kolme puulajia soveltuivat myös kokonaisuudessaan parhaiten laserleikkaukseen ja kaiverrukseen testauksessa olleista materiaaleista.

Testauksessa tutkitut materiaalit käyttäytyivät melko samanlaisesti, ja erot olivat kokonaisuudessaan pieniä. Tästä huolimatta testaus onnistui hyvin ja puulajien erilaiset ominaisuudet lasertyöstössä selvisivät testissä.

Testauksen perusteella selvisivät eri puumateriaalien ominaisuudet ja niiden soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin ja vaatimuksiin. Lisäksi määritellyt parametrit nopeuttavat valmistusprosessia, ja uudet käyttäjät pääsevät keskittymään tuotantokapasiteetin nostamiseen.

Laiteinvestointi mahdollistaa kokonaisuuksien valmistamisen kilpailukykyisempään hintaan yrityksen omana työnä verrattuna aikaisempaan, jolloin komponenttien valmistamisessa jouduttiin käyttämään muita alihankkijoita. Samalla tuotteiden laatu saadaan pysymään parempana ja toimitusajat lyhyempinä.

LÄHTEET

Painetut lähteet

Kujanpää, V., Salminen, A., Vihinen, J. 2005. Lasertyöstö. Helsinki: Teknoligiainfo Teknova.

Peltonen, H., Perkiö, J., Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 8. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.

KKTavastia. 2008. Puun ominaisuudet. Koulutusmateriaali.

Elektroniset lähteet

Evonic Industries 2015. Polymers & Lasers; laser application center [viitattu 15.4.2016] Saatavissa: <http://www.vestamid.com/sites/lists/PP-HP/Documents/Polymers-Lasers-EN.pdf>

Ilonen, 2016. Yritysinfo [viitattu 15.4.2016] Saatavissa: <http://www.ilonen.fi/yritysinfo.php>

Kilt Oy, 2016. Laseropas [viitattu 8.4.2016] Saatavissa: http://kilt.fi/lataukset/Laseropas_KILT_Oy.pdf

Laser-Riimikko, 2016. Materiaaliohje [viitattu 8.4.2016] Saatavissa: <http://laser.riimikko.fi/materiaaliohje.htm>

Puuinfo 2016. Puutieto. Puulajit [viitattu 22.4.2016] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/suomen-mets%C3%A4t/puulajit>

Puuproffa 2012. Puulajit [viitattu 24.4.2016] Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puulajit/puulajit

Seri-Deco, 2016. Kaivertaminen. Laserit [viitattu 25.4.2016] Saatavissa: http://www.seri-deco.fi/kaivertaminen-laserit-c-51_73.html

Troteclaser, 2016. Laser machines. Speedy [viitattu 20.4.2016] Saatavissa: <http://www.troteclaser.com/en-US/Laser-Machines/Pages/laser-engraving-machines-speedy.aspx>

Julkaisemattomat lähteet

SDSL 300 -käyttöohje 2015

LIITTEET

LIITE 1. Kaiverrustestauksessa olleet puumateriaalit.

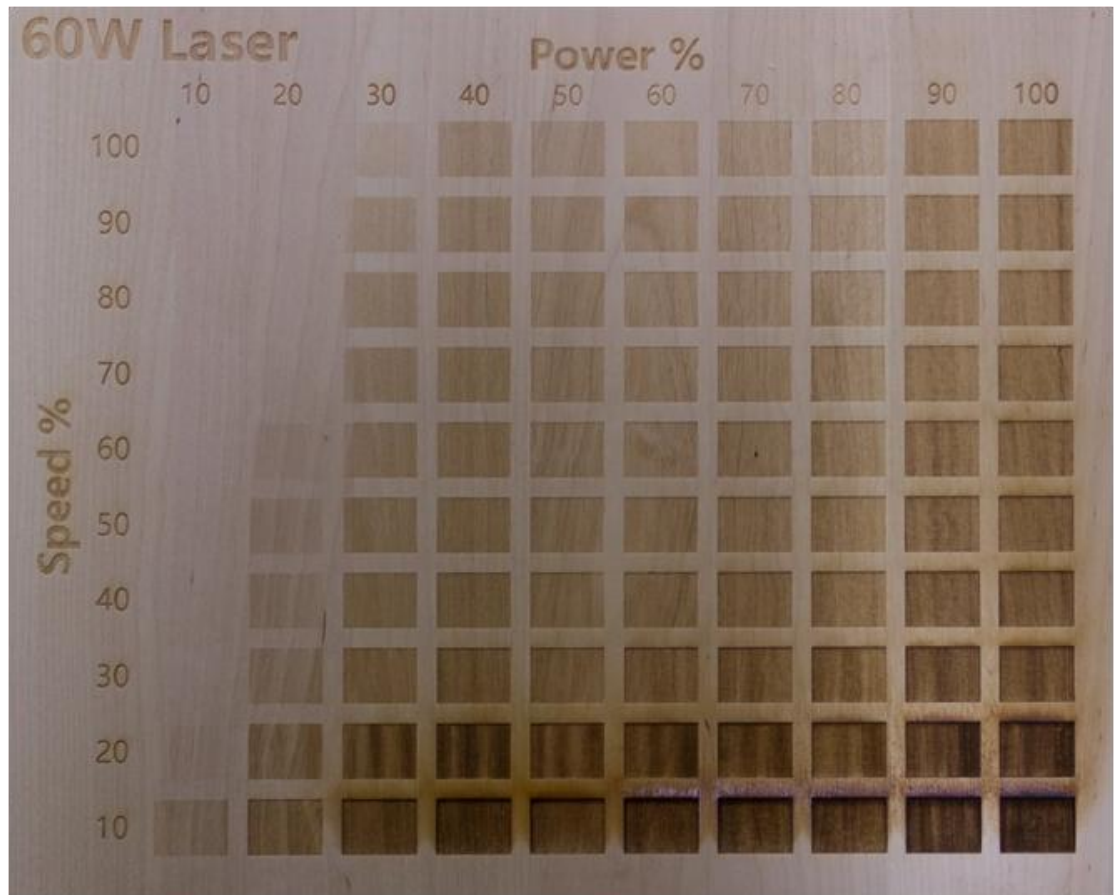


Kaiverrustestauksessa olleet puumateriaalit alkaen ylhäältä vasemmalta oikealle: koivu, tervaleppä, punapyökki, haapa, kuusi, mänty, tammi, MDF ja koivuvaneri.



Leikkaussauman sävyt vasemmalta alkaen: haapa, koivu, kuusi, mänty, punapyökki, tammi, tervaleppä, MDF ja koivuvaneri (4 ja 6,5 mm).

LIITE 2. Koivulle suoritettu tarkempi kaiverrustestaus.



Koivulle suoritettu testausmatriisi, jossa on käytetty nopeuden ja tehon muutosta 10 % välein.