

**Jukka Eskola**

**3D-LASERIN HYÖDYNTÄMINEN KUPARIN LEIKKAUK-  
SESSA**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Tuotantotalouden koulutusohjelma  
Syyskuu 2014**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Aika</b> Syyskuu 2014	<b>Tekijä/tekijät</b> Jukka Eskola
<b>Koulutusohjelma</b> Tuotantotalouden koulutusohjelma		
<b>Työn nimi</b> 3D-laserin hyödyntäminen kuparin leikkauksessa		
<b>Työn ohjaaja</b> Heikki Salmela	<b>Sivumäärä</b> 41+7	
<b>Työelämäohjaaja</b> Harri Häggman		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheen sain Ojala-Yhtymä Oy:n Sievin mekaniikkatehtaalta, jonka toiminta perustuu ohutlevymekaniikan sopimusvalmistukseen. Opinnäytetyön aiheena oli 3D-laserin hyödyntäminen kuparin leikkauksessa uutena valmistusmenetelmänä kuparituotteille. Opinnäytetyö oli osa yrityksen kehitysprojektia, jolla pyrittiin lyhentämään tuotteiden läpimenoaikoja, tehostamaan tuotantoa ja vähentämään jätemateriaalin muodostumista.</p> <p>Tavoitteena työssä oli selvittää laserleikkauksen soveltuvuus kuparituotteiden valmistamiseen ja vertailla sitä nykyiseen lävistämällä toteutettuun valmistusmenetelmään. Lisäksi työssä tutkittiin kuparimateriaalin käytön tehokkuutta lävistystyövaiheen ja laserleikkaustyövaiheen välillä.</p> <p>Työ toteutettiin laatimalla testaussuunnitelma, jonka pohjalta valmistettiin valitut kuparituotteet laserleikkaamalla. Testauksesta saatuja tietoja verrattiin lävistystyövaiheen vastaaviin tuloksiin. Testauksen ja analysoinnin avulla saatiin vertailutietoa laserleikkauksen hyödyistä ja ongelmista kuparituotteiden valmistuksessa.</p> <p>Työn tulosten ja johtopäätösten avulla yritys voi analysoida, onko laserleikkauksen käyttäminen kuparituotteiden valmistuksessa riittävän kustannustehokas menetelmä nykyiseen menetelmään verrattuna.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Kupari, laserleikkaus, lävistys, testaussuunnitelma		

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Ylivieska	<b>Date</b> September 2014	<b>Author/s</b> Jukka Eskola
<b>Degree programme</b> Industrial Management		
<b>Name of thesis</b> Utilizing 3D-laser in copper cutting		
<b>Instructor</b> Heikki Salmela		<b>Pages</b> 41+7
<b>Supervisor</b> Harri Häggman		
<p>This thesis was commissioned by Ojala Group mechanics factory which is located in Sievi and whose operations are based on sheet-metal contract manufacturing. The subject of the thesis was the use of 3D-laser in copper cutting as a new method of manufacturing copper products. The thesis was part of the company's development project, which aimed to shorten the product throughput times, to improve production efficiency and to reduce the amount of waste.</p> <p>The purpose of the work was to determine the suitability of laser cutting for manufacturing copper products, and to compare it to the current manufacturing process that is carried out by punching. In addition, the study examined the efficiency in the use of the copper material between the work phases of punching and laser cutting.</p> <p>The work was carried out by developing a testing plan, on the basis of which selected copper products were manufactured using laser cutting. The data acquired through testing were compared with the corresponding results of the punching phase. The testing and the analysis provided comparative information on the benefits and problems of copper products.</p> <p>With the help of the results and conclusions the company can analyze whether laser cutting a sufficiently cost-effective method to be used in manufacturing copper products compared to the current method.</p>		

### Key words

Copper, laser cutting, punching, testing plan

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 YRITYSESITTELY: OJALA YHTYMÄ OY</b>	<b>2</b>
<b>3 TUOTANNON KEHITTÄMINEN</b>	<b>3</b>
3.1 Lean-toiminta	4
3.2 Tuotannon tehokkuus	6
3.3 Toiminnanohjausjärjestelmä	9
3.4 Tuotannon laatuvaatimukset	10
<b>4 LASERLEIKKAUS</b>	<b>13</b>
4.1 Kuitulaser	15
4.2 CO <sub>2</sub> -laser	16
4.3 Nd:YAG-laser	17
4.4 Diodilaser	18
<b>5 TUOTANNON KONEET</b>	<b>19</b>
5.1 3D-Laser	19
5.1.1 Parametrit	21
5.1.2 Ohjelmointi	21
5.1.3 Laserleikkauksen vaiheet	23
5.2 Levytyökeskus	24
5.2.1 Lävistys	26
5.2.2 Työkalut	29
5.2.3 Ohjelmointi	31
<b>6 KUPARI</b>	<b>32</b>
<b>7 TESTAUSSUUNNITELMA JA TESTAUKSEN TOTEUTUS</b>	<b>34</b>
<b>8 TULOSTEN ANALYSOINTI</b>	<b>38</b>
<b>9 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>39</b>
<b>LÄHTEET LIITTEET</b>	<b>41</b>

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ojala-Yhtymä Oy:n Sievin mekaniikkatehtaalle, jonka toiminta perustuu ohutlevymekaniikan sopimusvalmistukseen. Yrityksen toimintaa ohjaavat laatujärjestelmät ja asiakkaiden tarpeisiin pyritään vastaamaan nykyaikaisilla koneilla, Lean- ajattelun hyödyntämisellä ja osaavalla henkilökunnalla. Alalla olevan kovan kilpailun vuoksi yritys kehittää omia toimintojaan jatkuvan parantamisen periaatetta noudattamalla, joka tarkoittaa jatkuvaa kehitysprojektien toteuttamista yrityksen kaikissa toiminnoissa. Opinnäytetyö on kehitystehtävä ja sen tavoitteena on selvittää kuparituotteiden valmistuksen tehostamista laserleikkauksen avulla, josta ei ole aikaisempaa tietoa olemassa.

Työssä tarkastellaan nykyisen lävistämällä suoritettavan valmistusmenetelmän ja uutena asiana laserleikkausmenetelmän soveltuvuutta sekä hyötyjä testattavien tuotteiden kohdalla. Vertailun kohteina ovat kuparituotteiden valmistuksessa koneiden asetusajat, ohjelmointi, työstöaika sekä tuotteiden laatu ja materiaalin hyödyntäminen. Työssä olevassa teoriaosuudessa käsitellään työhön liittyvien perusteiden, eli tuotannon tehostamisen, tuotteiden läpimenoaikojen ja materiaalin käytön tehostamisen perusteita. Lisäksi esitellään käytettäviä tuotantokoneita, menetelmiä ja kuparin ominaisuuksia.

Käytännössä työ toteutettiin laatimalla testaussuunnitelma valituista neljästä kuparituotteesta, joita valmistetaan levytyökeskuksella lävistämällä tuotantosolussa. Tuotteiksi valittiin erityyppisiä kupariosia, joiden materiaalivahvuus on 2 millimetriä ja tuotteiden geometrioista mukaan otettiin erilaisia muotoja mahdollisimman kattavan aineiston saamiseksi. Opinnäytetyöstä rajattiin pois koneista, työkaluista ja materiaaleista muodostuvien kustannusten vertailu. Testauksen jälkeen tuloksia verrattiin keskenään ja selvitettiin, millaisia hyötyjä laserleikkauksen avulla voitaisiin saada kuparituotteiden valmistuksessa. Työn toteuttamisen aikana havaitut asiat on käsitelty pääosin testaussuunnitelma ja testauksen toteutus kohdassa 7.

## 2 YRITYSESITTELY: OJALA YHTYMÄ OY

Ojala-yhtymä Oy on kansainvälisillä markkinoilla toimiva ohutlevymekaniikan sopimusvalmistaja, jolla on toimintaa Sievin tehtaassa ja Oulun toimiston lisäksi, Viron Tabasalussa, Slovakian Krivánissa ja Intian Chennaissa. Ojala-Yhtymän toiminta on aloitettu vuonna 1963 Sievissä ja yrityksen palveluksessa on noin 540 henkilöä. Vuonna 2012 yritykselle kertyi liikevaihtoa 50,8 miljoonaa euroa. (Ojalagroup. 2014.)

Ojala-Yhtymällä ei ole omia tuotteita, joten sen toiminta perustuu asiakkaiden suunnittelemien ohutlevy- ja kiskomekaniikkatuotteiden sopimusvalmistukseen. Asiakkaina ovat maailmanlaajuisesti toimivat laite- ja konevalmistajat erilaisilta teollisuudenaloilta. Yrityksen osaamisalueita ovat ohutlevymekaniikka- ja kiskomekaniikkatuotteiden valmistaminen aihio- ja lattamateriaaleista. Käytettävät materiaalit kattavat hyvin laajan valikoiman aina teräksestä muoveihin asti, kun materiaallivahvuudet ovat 0,3-20 millimetriä tuotteesta riippuen.

Ojala-Yhtymän Sievin tehtaalla tuotteiden valmistaminen tehdään tuotantosoluissa ja käytettävät laitteet muodostuvat pääasiassa levytyökeskuksista, särmäyspuristimista ja laserleikkauskoneista. Tuotteiden viimeistelyn toteuttamiseksi yrityksellä on käytössä pulverimaalauslinja ja pinnoitukseen sähkökemiallinen pintakäsittelylinja.

Yrityksen valmistamien mekaniikkatuotteiden lisäksi palvelutoiminta kattaa kokoonpanon ja integrointien toteuttamisen asiakkaiden toiveiden mukaisesti. Lisäksi toteutetaan tuotteiden testaus- ja pakkaustarpeita sekä elinkaaritukipalveluita aina tuotekehitysvaiheesta tekniseen ylläpitoon tuotteiden elinkaaren lopussa.

### 3 TUOTANNON KEHITTÄMINEN

Ohutlevyvalalla oleva kireä kilpailutilanne pakottaa yritykset selvittämään vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä tuotteilleen, jotta toiminta olisi edelleen kustannustehokasta. Tämän vuoksi tuotannonkehittämisen on oltava jatkuvaa ja sen pohjalta myös tämä opinnäytetyö nähtiin tarpeelliseksi toteuttaa omalla työpaikallani. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuparituotteiden valmistuksen tehostamiseen liittyviä asioita, jotta tuotteiden valmistamisen läpimenoaikoja ja materiaalin käyttöä voitaisiin parantaa. Nykyisin kuparituotteita valmistetaan levytyökeskuksella lävistämällä ja työvaiheena se aiheuttaa pullonkaulan tuotannonvirtaukselle. Laserleikkauksen käyttäminen kuparituotteiden valmistamisessa mahdollistaisi nopeammat läpimenoajat, koska laserilla asetusten tekeminen on huomattavasti nopeampaa kuin levytyökeskuksella. Kuvaus laserleikkauksen vaiheista on kohdassa 5.1.3.

Mekaniikkatuotteiden valmistaminen tapahtuu nopealla aikataululla ja valmistuserät ovat pienentyneet merkittävästi aiemmasta, lisäksi varastoon valmistusta tehdään vain pienimuotoisesti. Siitä johtuen käytössä on joustava solutuotanto, joka mahdollistaa pienerä valmistuksen toteuttamisen tehokkaalla tavalla. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin tuotenimikkeiden suuri määrä ja valmistuserien pienuus, jonka seurauksena levytyökeskuksien asetusajojen osuus on merkittävä. Asetuksen aikana tehdään määrättyt valmisteluasiat, jotta tuotantoerä voidaan valmistaa tuotantokoneella. Kuvaus levytyökeskuksen käytöstä on kohdassa 5.2. Asetusten tekemiseen kuluva aika pitäisi saada mahdollisimman matalalle tasolle ja siten kasvattaa tuotantokoneen käyttöastetta. Sen seurauksena myös tuotannon tehokkuus saataisiin paranemaan.

Tuotannonkehittäminen vaikuttaa suoraan sopimusasiakkaiden tyytyväisyyteen ja haluun toimia yhteistyössä luotettavan kumppanin kanssa myös jatkossa. Asiakkaiden vaatimat nopeat toimitusaikataulut ja tuotteiden kustannusten alennukset eivät ole mahdollisia ilman jatkuvia kehityssponnisteluja valmistustoiminnan tehostamiseksi.

Ojala-Yhtymän käytössä on useita menetelmiä, joilla tuotantoprosessia voidaan kehittää ja seurata. Käsittelen tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa tuotannon tehokkuutta kuvaavaa tunnuslukua OEE ja Lean-toiminnan perusteita, jotka muodostavat lähtökohdat tälle työlle. Lisäksi käyn läpi toiminnanohjausjärjestelmän ja tuotannon laatuun liittyviä periaatteita sekä niiden käytännön hyödyntämiseen liittyviä asioita.

### 3.1 Lean-toiminta

Kilpailukyvyyn säilyttäminen edellyttää yrityksiltä kykyä tehdä uusia tuotteita ja tuottaa palveluita asiakkaille laadukkaasti, kustannustehokkaasti ja nopeasti. Kannattava ja menestyvä yritys voi tuottaa joustavasti ja nopeasti monenlaisia tuotevaihtoehtoja. Yrityksen menestyminen on riippuvainen henkilöstöstä ja vaatii heiltä kehittymiskykyä ja uusien ratkaisujen keksimistä. Metalliteollisuuden tilaa Suomessa voidaan kuvata seuraavilla tavoilla:

- yritysten välinen kilpailu on kansainvälistä ja kovaa
- asiakastarpeet on otettava huomioon entistä tarkemmin
- elinkaaret lyhenevät valmistettavilla tuotteilla
- prosessimainen tuotantomalli yleistyy, toimitusajat lyhenevät entisestään ja varastoon valmistusta pyritään välttämään
- myynnin jälkeisen toiminnan ja huollon merkitys kasvaa
- tuotteissa ja tuotantoprosessissa käytettävä tietotekniikan osuus lisääntyy
- Suomessa ihmisten johtaminen edellyttää rehellisyyttä ja avointa yhteistyö- ja tiedotusilmapiiriä. (Kajaste, V. ja Liukko, T. 1994, 7. )

Käsitteenä Lean-toiminta käyttöön otettiin vuonna 1990, kun tutkittiin selvityksen avulla useissa eri maissa toimivien autoteollisuusyritysten välistä kilpailukykyä. Sen perusteella havaittiin menestyvien yritysten toiminnassa samankaltaisia piirteitä ja samalla ymmärrettiin miksi kannattaa keskittyä vain lisäarvoa asiakkaalle tuovaan toimintaan. Silloin on mahdollista saada aikaan merkittäviä kustannus- ja aikasäästöjä käyttämättä investointeja lainkaan. (Kajaste ym. 1994, 7. )



Lean-toiminnan tärkeimmät periaatteet voidaan jakaa johtamisperiaatteisiin ja toimintatapoihin seuraavalla tavalla:

#### Johtamisperiaatteet

- tulos tehdään yhteistyössä ihmisten kanssa
- tavoitteiden asettelu, seuranta ja mittaaminen selkeää
- organisaation hajautus ja tulosvastuullisuuden delegointi ulottuu pitkälle
- henkilöstön yritteliäisyys ja monitaitoisuus
- yhteinen etu asiakkaan, omistajan ja henkilöstön kesken.

#### Toimintavat

- lisäarvon tuottaminen asiakkaalle toiminnan perusteena
- kokonaisuuden huomioiminen toiminnassa
- kustannusrakennetta kevennetään jatkuvasti
- tiedonkulku toteutetaan avoimena ja suoraan
- jatkuvan parantamisen periaate käytössä omassa toiminnassa
- toimitusketjujen toiminta nopeaa ja joustavaa
- nykyaikaisen tuotantotekniikan hyödyntäminen tehokkaasti yhdessä henkilöresurssien kanssa. (Kajaste ym. 1994, 8. )

Lean-ajattelua on hyödynnetty tehokkaasti Ojala-Yhtymän toiminnoissa, jonka tuloksena tuotteiden valmistaminen asiakkaille on saatu joustavaksi ja nopeaksi prosessiksi. Tuotantomuotona käytetään soluvalmistusta, jossa käytettävät koneet ovat tavallisesti levytyökeskus, kierteytyskeskus, niittauspuristin ja särmäyspuristin. Solutyyppisellä valmistuksella pyritään tuotteet saamaan mahdollisimman valmiiksi solun sisällä, jonka vaikutuksesta tuotteidenläpimenoajat saadaan matalalle tasolle.

Solutuotannon avulla voidaan valmistaa tuotteita asiakkaille imutyypin tuotannonohjauksen mukaisesti, jonka avulla valmistusprosessi on saatu reagoimaan tehokkaasti tuotannonohjauksen muutoksiin. Tuotteiden valmistusprosessissa pyritään tuomaan lisäarvoa asiakkaalle ja valmistamaan vain sitä, mistä asiakas on valmis maksamaan.

Tuotannon kehittämisessä pyritään lisäksi parantamaan toimitusvarmuutta ja sen vuoksi tärkeässä osassa ovat tuotteiden läpäisyajat prosessissa.

Lean työkalujen avulla voidaan tuotantoprosessia tehostaa jatkuvanparantamisen periaatteella ja saada aikaan tuotteiden joustavavirtaus tuotantoprosessin läpi. Lean työkalujen hyödyntäminen tehdään yleensä organisaatiokohtaisesti ja käyttöön otetaan soveltuvimmat ratkaisut tapauskohtaisesti. Työpaikallani käytetään esimerkiksi seuraavia Lean työkaluja:

- joustava solutuotanto
- tuotannon imuohjaus
- smed
- kanban
- six Sigma
- 5S-standardointi menetelmä.

### **3.2 Tuotannon tehokkuus**

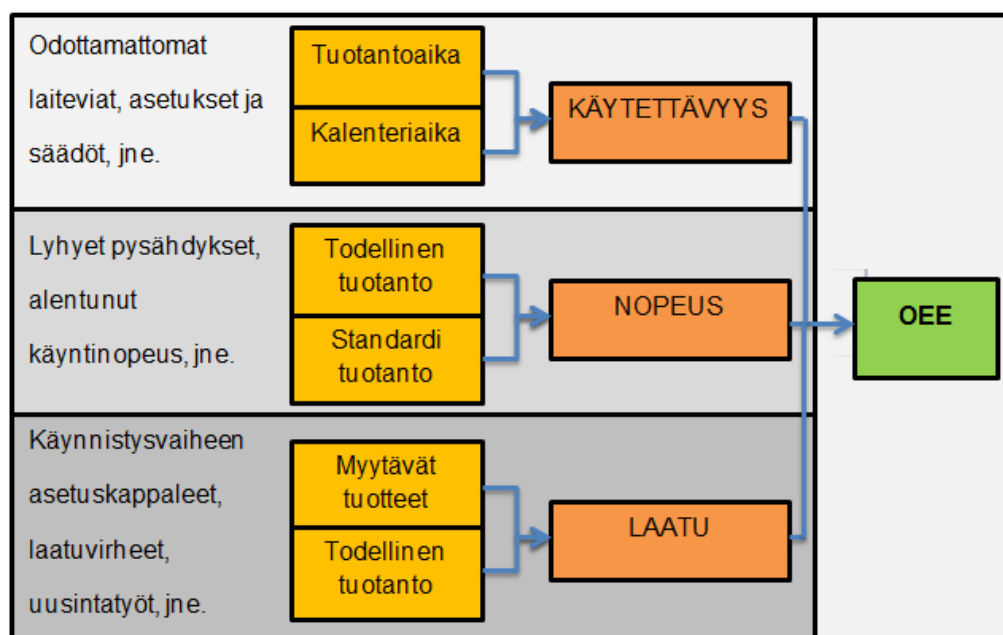
Merkittävä osa yrityksistä, jotka toimivat valmistavanteollisuuden aloilla käyttävät erityyppisiä tunnuslukuja saadakseen selville yrityksen toiminnantehokkuuden ja tuotannonlaaduntuottokyvyn. Tavallisimmin käytettyjä ovat OEE:n tunnusluvut, jotka Suomalaisittain tunnetaan KNL tunnuslukuina. KNL (käytettävyys, nopeus ja laatu), eli OEE (Overall Equipment Effectiveness) tarkoittavat tunnuslukua, joka mahdollistaa tuotantoprosessissa olevien tehtaiden, tuotantolinjojen, koneiden, osastojen, jne. tehokkuudenseurannan ja parantamisen. OEE:n avulla voidaan huomioida tuotantohävikkien (TAULUKKO 1) syntymisten syyt ja jaotella ne kolmeen eri vaikuttavaan tekijään, jotka ovat käytettävyys, nopeus ja laatu. Niiden avulla tuotantoprosessit voidaan muuttaa helposti ymmärrettävään selkeään tunnuslukumuotoon ja saada kuva todellisesta tuotannontehokkuudesta. (Novotek 2014.)

Käytettävyys tekijän avulla kuvataan tuotantohävikkiä, jonka syynä ovat seisokit, eli syyt joiden takia tuotanto on pysähtynyt sallittua pidemmäksi ajaksi. Nopeus

tekijällä kuvataan tuotantohävikkiä, joka johtuu nopeushäviöistä, eli kaikista koneen maksiminopeutta alemmista käyttönopeuksista. Laatutekijä kuvaa vastavasti tuotantohävikkiä, jonka aiheuttaa huono laatu, eli kaikki tuotanto mikä ei täytä vaadittavia laatukriteereitä. Näiden kolmen tekijän avulla voidaan laskea tunnusluku OEE, joka kuvaa tuotannontehokkuutta kokonaisvaltaisesti. Alla olevassa kuviossa on esitetty OEE:n muodostumiseen vaikuttavat tekijät (KUVIO 1). Tehokkuudenmittauksessa OEE toimii hyvin yhdessä Lean-toiminnan, tuottavan kunnossapitotoiminnan (TPM) ja erityyppisten tuotannon tuottavuuden ja kehittämisen lisäämiseen tarkoitettujen strategioiden rinnalla. (Novotek 2014.)

OEE laskenta suoritetaan seuraavan kaavan mukaisesti: (Novotek 2014.)

**OEE = Käytettävyys x Nopeus x Laatu**



KUVIO 1. Tuotannontehokkuus OEE muodostuu käytettävyys, nopeus ja laatu tekijöistä (Mukaihen Qk-karjalainen 2014.)

TAULUKKO 1. Esimerkkejä OEE:hen vaikuttavista tuotantohäviöistä (Mukaillen Novotek 2014.)

Six Big Losses-luokka	OEE-luokka	Esimerkkejä	Huomiot
Odottamattomat laiteviat	Käytettävyyshäviö	Konerikko, suunnitteleman huolto Työkalujen rikkoutuminen	Käytettävyyshäviön raja on lyhytkestoisissa seisokeissa joustava
Asetukset ja säädöt	Käytettävyyshäviö	Tuotevaihtoehdot Materiaalipula Asetus Vajaa miehitys Säätäminen	Seisonta-ajat pyritään minimoimaan SMED-menetelmän avulla
Lyhyet pysähdykset	Nopeushäviö	Tarkastukset Kappaleiden irroittelu ahiosta Ruuhkatilanteet Raaka-aineongelmat	Lyhyet pysähdykset ovat alle 5 minuutin mittaisia
Alentunut käyntinopeus	Nopeushäviö	Työntekijän tehotomuus Laitteiden kuluneisuus Hidas ajonopeus	Kaikki tekijät, jotka alentavat suurimman käyntinopeuden käyttämisestä
Käynnistysvaiheen asetuskappaleet	Laatuhäviö	Käynnistysvaiheessa muodostuva hävikki- ja ylituotanto	Asetuksessa muodostuvat vialliset kappaleet
Laatuvirheistä ja uusintatyöstä aiheutuvat häviöt	Laatuhäviö	Laatukriteereitä huonompi tuotanto Uusintatyöt	Virheellisen tuotannon uusintatyöhön menevä kapasiteetti on pois muusta tuotannosta

Edellä mainittujen perusteiden mukaisesti voidaan havaita tuotannon tehokkuuteen vaikuttavien asioiden koostuvan hyvin monentyyppisistä osatekijöistä. Sen vuoksi yritysten tulisi kehittää toiminta- ja kokonaisvaltaisesti ja kaikilla toimintataseillaan, jotta tuotannon kokonaistehokkuus saataisiin paranemaan.

Ojala-Yhtymän kehitystoiminnassa on huomioitu kaikkien osatekijöiden vaikutusten merkitys tuotannon tehokkuudelle. Tämän johdosta käytössä olevat menetelmät ja työohjeet on dokumentoitu hyvin tarkasti laatukäsikirjaan työn sujuvuuden takaamiseksi. Lisäksi tuotantosolujen layoutit on suunniteltu materiaalien virtauksien kannalta toimiviksi ja käytettävät työkalut löytyvät merkittävänä solujen työkaluhyllyistä. Tuotantosolujen toteutuksien yhtenäisyys mahdollistaa henkilöstön työpistemuutokset ja tuotteiden valmistamisen vaihtoehtoisissa soluissa esimerkiksi työkuorman ollessa epätasainen solukohtaisesti tarkasteltuna tai konerikkotapauksissa.

### **3.3 Toiminnanohjausjärjestelmä**

Toiminnanohjausjärjestelmä (ERP, Enterprise Resource Planning) voidaan määrittellä osaksi kokonaisuutta, jolla toteutetaan käytännössä edullinen ja laadultaan hyvä tuote asiakkaan tarpeisiin. Tavallisimmin toiminnanohjauksen avulla hoidetaan perustoiminnot yrityksessä, joita ovat esimerkiksi tuotanto, hankinta, varastointi, myynti, jakelu ja laskutus. Tietojärjestelmässä yrityksen toimintojen kuvaus tehdään prosessien avulla, joissa toteutetaan palveluiden ja hyödykkeiden tarpeita koneiden ja ihmisten avustuksella. Prosessit voidaan automatisoida ja integroida yhteen toiminnanohjausjärjestelmän avulla. Toiminnanohjausjärjestelmä auttaa huomattavasti oikean ja yhtenäisen tiedon reaaliaikaisessa levittämisessä koko yrityksen käyttöön. Lisäksi toiminnanohjaus tavoittelee teollisen yrityksen resurssien tehokasta hyödyntämistä. Resursseilla tarkoitetaan esimerkiksi koneita, ihmisiä ja laitteita. Järjestelmien käyttäminen mahdollistaa tapahtuma- ja tietomäärien järjestelmällisen hyödyntämisen, joiden hallinta käsin ei olisi mahdollista käytännössä. (Lehtonen, J-M. 2004, 128.)

Ojala-Yhtymän käytössä on Digia Enterprise (ERP) toiminnanohjausjärjestelmä, jonka avulla yrityksen koko tilaus-toimitusprosessia hallitaan. Toiminnanohjausjärjestelmästä löytyvät mm. kaikki yrityksen materiaalitiedot ja määrät, tuote nimikkeet, rakenteet, sekä valmistukseen tulevat työt. Järjestelmässä olevien töiden kiireellisyyttä hallitaan aktiivisen työjonon avulla, jonka mukaan valmistussoluissa tehtävien töiden järjestys määräytyy. Järjestelmään kuitataan kaikkien työkortissa

olevien työvaiheiden tiedot ja valmistettavien tuotteiden hyväksytyt sekä hylätyt kappaleet. Tämän vuoksi järjestelmästä voidaan ajaa raportteja mm. tehtyjen töiden toteutumisaajoista ja laatupoikkeama tapauksista myöhempää analysointia varten.

Toiminnanohjausjärjestelmän avulla itsenäisesti toimivien tuotantosolujen kuormituksenohjaus on tarkentunut merkittävästi. Valmistussolujen kuormitustilanteiden optimointi voidaan hoitaa tarkasti käytössä olevan toiminnanohjausjärjestelmän avulla ja sen vuoksi tuotannon tehokkuus paranee, sekä käytössä oleva kapasiteetti voidaan saada tehokkaammin käyttöön. Lisäksi materiaalien hallinta on saatu tarkemmaksi ja sen seurauksena voidaan ennakoida paremmin tulevien töiden kuluttamat materiaalitarpeet. Toiminnanohjausjärjestelmässä olevien materiaalien varastosaldojen tarkkuus on ensiarvoisen tärkeää valmistusprosessin sujuvuuden kannalta. Siihen vaikuttavia tekijöitä on useita, kuten esim. työntekijöiden kuittaukset ja nimikkeiden rakenteilla olevat oikeat tiedot, jotta tarvittavien osien saldojen määrät pysyvät oikeilla tasoilla.

### **3.4 Tuotannon laatuvaatimukset**

Laadulla tarkoitetaan yleisesti ajateltuna asiakkaiden tarpeiden tyydyttämistä, yrityksen lähtökohdista tarkasteltuna mahdollisimman kannattavasti ja tehokkaasti, jotta toiminta olisi kilpailukykyistä. Pelkästään asiakastyytyväisyys ei ole pääasia, johon pyritään millä hinnalla tahansa. Laadukkaaseen toimintaan liittyy suoritusasteen parantaminen jatkuvalla periaatteella kehityksen tuoman mahdollisuuden mukana. Kehittämisen perusteet tulevat omasta järjestelmällisestä laatutyöstä ja ulkopuolisen toiminnan lähtökohdista, jotka luovat pohjan toiminnankehitystyölle. Laatua määriteltäessä tärkeässä osassa ovat virheet, joita pyritään välttämään kaikin keinoin. Tavoitteena on tehdä asiat ensimmäisestä kerrasta oikein ja virheettömyyttä suuremmassa osassa kokonaislaadun kannalta on, että tehdään oikeita asioita tavoitteiden saavuttamiseksi. (Lecklin, O. 2002, 18-20.)

Laatujärjestelmän rakenne muodostuu tyypillisesti laatukäsikirjasta, prosessikuvauksista, työtapakuvauksista ja viiteaineistosta. Käytössä olevan laatujärjestelmän avulla yrityksen johto on luonut toimintatavat, joilla tavoitellaan esimerkiksi seuraavia asioita:

- toiminnan ja sen ohjauksen järjestelmällisyyden valvonta
- asiakastyytyvyyden varmistaminen
- korkean ja tasaisen laadun varmistaminen tuotteissa, prosesseissa ja palveluissa
- työn tuottavuuden kasvattaminen
- henkilöstön koulutuksen ja työohjauksen tukeminen
- johdon työvälineenä kehitystyössä
- yhtenäisen käytännön luominen
- hyväksytyjen menettelytapojen dokumentointi. (Lecklin, O. 2002, 31.)

Ojala-Yhtymän toimintaa ohjaa laadunhallintajärjestelmä, jolla pyritään toiminnan jatkuvaan kehittämiseen. Sen avulla tavoitellaan asiakastyytyvyyttä, parempaa kilpailukykyä ja kasvua sekä liiketoiminnan kannattavuutta. Perustaksi laadunhallinnan toteuttamiselle on laadittu laatukäsikirja, jossa on selkeät kuvaukset yrityksen toiminnoista kaikilla tasoilla. Käytettävistä prosesseista, menetelmistä, resursseista ja työohjeista on laadittu dokumentoidut kuvaukset, joiden pohjalta yrityksen toimintaa hallitaan ja toteutetaan. Laadunhallintajärjestelmä on räätälöity yrityksen liiketoiminnan mukaan ja sen toteuttamiseen vaikuttivat mm. yhteistyökumppanien vaatimukset.

Ojala-Yhtymän laadunhallintajärjestelmä sisältää sertifioidut ISO 9001:2008 ja ISO 14001:2004 standardit. ISO 9001:2008 standardin vaatimuksien perusteella pyritään täyttämään asiakkaiden odotukset johtamisjärjestelmällä ja valmistamaan tuotteita, jotka täyttävät yhdessä sovitut tavoitteet laadunhallintaan, sekä laadunvarmistukseen liittyen. Laadunhallintajärjestelmän hyödyntäminen tuo merkittäviä etuja yritykselle, joita ovat esimerkiksi selkeät toiminta- ja prosessikuvaukset, laatu- ja kustannusten alentuminen, parempi asiakastyytyvyys, resurssien parempi hyödyntäminen ja toteutuneen laatutason selkeytyminen.

ISO 14001:2004 standardi määrittelee vaatimukset yrityksen ympäristöjohtamisjärjestelmän käytölle. Sen vaatimuksesta yrityksen organisaation tulee asettaa ympäristöön liittyvät päämäärät, tavoitteet ja johtamisjärjestelmä niiden saavuttamiseksi.



## 4 LASERLEIKKAUS

Laserleikkausta käytetään yleisimmin teollisuuden tarpeisiin tarkoitetuista laser-työstösovelluksista. Sen käyttökohteina ovat tyypillisesti levyaihoista ja muovatuista tuotteista valmistettujen osien leikkaus valitun muotoiseksi. Laserleikkauksen aikana materiaali joiltain osin höyrystyy ja sulaa lasersäteen fokuksinnin vaikutuksesta. Tämän vuoksi laserleikkausta kutsutaankin termiseksi prosessiksi. Kun leikkauskaasuna käytetään aktiivista kaasua, kuten happea, materiaali joiltain osin palaa leikkauksen aikana. (Kujanpää, Salminen & Vihinen 2005, 133.)

Lasersäteen fokuksointi tehdään tavallisesti materiaalin pinnalle, jossa muodostuvan polttopisteen halkaisijana käytetään tavallisesti 0,1-0,5 millimetriä. Tehokas lasersäde yhdessä pienen polttopisteen kanssa saa aikaan voimakkaan energiatiheyden (yli  $10^5$ - $10^6$  W/mm<sup>2</sup>). Sen vaikutuksesta kappaleen materiaalipaksuuden läpi muodostuu sylinterin muotoinen höyrystynyttä materiaalia täynnä oleva reikä, jonka ympärillä on sulaa materiaalia. Sulana ja höyrystyneenä oleva materiaali poistetaan leikkauspaikasta puhaltamalla nopeaa kaasuvirtausta käyttäen. (Kujanpää ym. 2005, 133.)

Laserleikkauksessa tarvittava kaasuvirtaus kohdistetaan leikkauspaikkaan samansuuntaisesti kuten lasersäde suutinta käyttäen. Välimatka suuttimen ja materiaalin pinnan välillä on tyypillisesti pienehkö (0,5-1,5 mm), jolla estetään kaasuvirtauksen hajaantuminen. Muodostuva leikkausrailo saadaan aikaan liikuttamalla lasersädettä ja leikkauskohteena olevaa materiaalia toisiinsa nähden. Leikattavan materiaalin lävitse ulottuva leikkausrailon leveys on vain muutaman kymmenesosa-millimetrin vahvuinen ja tasainen laadultaan. (Kujanpää ym. 2005, 133.)

Laserleikkauksen avulla saatavat hyödyt:

- leikkausvapaus tuotteen geometrinen muotojen, materiaalin valinnan ja kappalemäärän suhteen, koska ei tarvetta työkaluvalinnoille
- tuotesuunnittelun mahdollisuus uuden tuotteen ja siihen liittyvien osien muotoilussa ja suunnittelussa
- hyvä tuottavuus ja osien saatavuus korkean leikkausnopeuden ansiosta
- korkea laatu osille ilman jälkikäsittely tarvetta. (Kujanpää ym. 2005, 133.)

Merkittävin osa laserleikkauksen käyttösovelluksista on normaalin hiiliteräksen leikkausta, lisäksi ruostumattomien terästen leikkausta tehdään runsaasti ja sen osuus on kasvamassa nopeasti laserien säteenlaadun kehittyessä. Sen vaikutuksesta suurilla tehoilla on mahdollista leikata entistä nopeammin ja aikaisempaa paksumpia materiaaleja. Laserin avulla voidaan leikata hyvin monenlaisia materiaaleja. Materiaalien leikattavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat: materiaaleilla olevat optiset ominaisuudet, joita ovat esim. heijastavuus, absorptio ja lämpäisevyys. Termisistä ominaisuuksista leikattavuuteen vaikuttavat ainakin höyrystymis- ja sulamislämpötilat, lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Hiilidioksidilaser on monipuolinen ja sen avulla voidaan leikata lähes kaikkia materiaaleja, jotka ovat laserleikattavissa. (Kujanpää ym. 2005, 143.)

Tuotannon työasemina toimivissa lasereissa käytetään tavallisesti kahteen eri tarkoitukseen kaasuja, jotka voidaan jakaa työkaasuihin ja resonaattorikaasuihin. Ainoastaan hiilidioksidilaserissa ja joissakin hienotyöstölasereissa käytetään resonaattorikaasuja. Työkaasuja eli prosessikaasuja käytetään laserleikkaus-, laserhittaus- ja laserporaussovelluksissa. Hiilidioksidilaserin resonaattorissa käytetään säteen synnyttämiseen laserkaasuja, joita ovat helium, hiilidioksidi ja typpi. Laser työasemissa käytettävien prosessikaasujen tehtävät ovat esimerkiksi leikkausprosessin avustaminen, hitsauksessa ja pinnoituksessa sulan suojaaminen, pinnoituksessa jauhepartikkeleiden kuljettaminen ja karkaisussa metallin hapettumisen suojaaminen.

Prosessikaasuja lasertyöstössä käytetään seuraavalla tavalla: (Kujanpää ym. 2005, 111-112.)

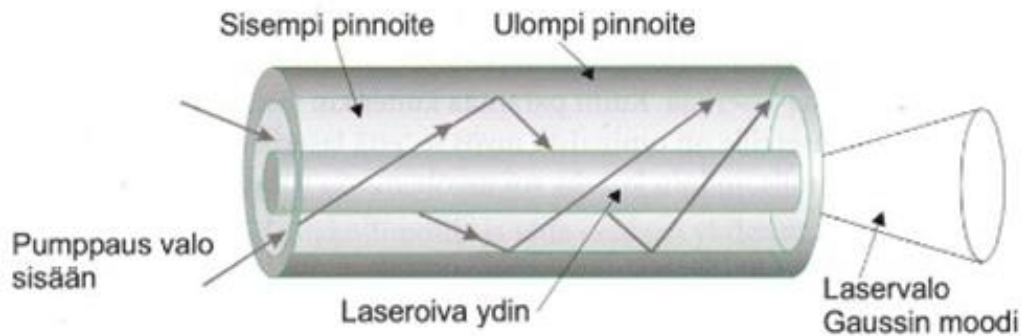
Laserleikkaus:	Typpi, happi, argon ja paineilma
Laserpinnoitus:	Helium, argon ja seoskaasu
Laserhitsaus:	Typpi, helium, argon ja seoskaasu
Laserkarkaisut:	Argon. (Kujanpää ym. 2005, 111-112.)

Laserleikkauksessa kaasunpaine vaikuttaa merkittävästi leikkausrailon laatuun muodostuvan reunan kohdalla. Matalan paineen leikkausalue eli happileikkaus alueella käytetään tavallisesti 1-6 baarin painetta. Korkeapainealueella eli typpi-leikkaus alueella käytetään 10-20 baarin painetta. (Kujanpää ym. 2005, 144.) Ojala-Yhtymän käytössä olevassa 3D-laserissa on käytetty happikaasunpaineena 8 baaria, joka on ollut riittävä nykyisten muovattujen ohutlevytuotteiden laserleikkaamiseen. Tämän opinnäytetyön testausvaiheessa valmistettujen 2 millimetrin kuparituotteiden laserleikkausta varten työstökaasuna käytettävän hapen kaasunpaine nostettiin noin 11 baariin, jotta laserleikkauksen aikana leikkausrailossa oleva sulamateriaali saataisiin tehokkaammin poistettua puhalluksen avulla. Lisäksi haluttiin estää lasersäteen heijastumisen mahdollisuus kuparimateriaalin pinnasta ja luoda paremmat edellytykset laadukkaalle leikkausrailolle paksummissa tuotteissa.

#### 4.1 Kuitulaser

Materiaalien prosessointi vaatii nykyisin lasereilta entistä laadukkaampaa säteenlaatua ja parempaa hyötysuhdetta. Tämän seurauksena markkinoille kehitetään uusia lasereita, joista viimeisin on suurteholasertekniikkaan perustuva kuitulaser. Kuitulaserissa lasersäde muodostetaan optisen kuidun sisälle. Resonaattori muodostuu kuidusta ja sen sisällä oleva ydin seostetaan laseroivan väliaineen avulla, pumppaamalla sitä diodilaserin valolla. Varhaisemmissa kuitulaserin kehitysversioissa pumppausenergia viedään suoraan kuituvyyhteen optisen akselin suhteen kohtisuorassa, joka perustuu pumppausenergian tuomiseen kuidun päästä sen sisälle.

Silloin pumppausenergia lävistää laseroivan kerroksen monta kertaa, kun se etenee kokonaisuheijastuksen vuoksi kuidussa ilman häviöitä. Laseroivan ytimen halkaisija on mahdollista tehdä pieneksi, joka tuottaa vastaavasti pienen säteenhalkaisijan ja todella hyvän säteenlaadun. Rakenteeltaan kuitulaser on tavallisesti modulaarinen, joka tuottaa suuren tehon yhdistämällä lasersäteitä useista lasermoduuleista. (Kujanpää ym. 2005, 68.)



KUVIO 2. Laservalon muodostumisen periaate kuitulaserilla. (Kujanpää ym. 2005, 68.)

## 4.2 CO<sub>2</sub>-laser

Konepajasovelluksissa käytettävistä lasereista yleisin on hiilidioksidilaser (CO<sub>2</sub>-laser). Hiilidioksidilaseri on periaatteeltaan kaasulaser, jonka toiminta perustuu kaasuseokseen, jossa on laseroivaa hiilidioksidikaasua, sekä heliumia ja typpeä. Hiilidioksidilaserista muodostuvan laservalon energiatasot muodostavat pääasiassa kaksi aallonpituutta, jotka ovat 10,6  $\mu\text{m}$  ja 9,6  $\mu\text{m}$ . Typen tehtävänä hiilidioksidilaserissa on tavallaan prosessin herättäminen, jossa se auttaa sähköisen energian viemistä CO<sub>2</sub>-molekyylisiin. Typellä on energiatasoero, jonka vastaavuus on samanlainen kuin hiilidioksidimolekyylin ylempi viritystaso ja sen avulla laservalon tarvitsema kvantti pystyy muodostumaan. Heliumin tehtävänä on toimia voimakkaana jäähdyttäjänä laserkaasuseokselle. Resonaattorissa oleva helium lämpenee syntyvän hukkalämmön vaikutuksesta. Lämmennyt kaasu siirretään jäähdyttiin, jossa helium voi välittää lämmönvaihtimelle muodostuneen lämmön ilman laserointiprosessin häiritsemistä. (Kujanpää ym. 2005, 54.)

Käytettävä kaasuseos riippuu resonaattorista ja yleensä resonaattorikaasun koostumus sisältää typpeä 13-35 %, hiilidioksidia 1-9 % ja heliumia 60-85 %. Lisäksi on olemassa valmiita seoksia, joita voidaan käyttää resonaattorikaasuina. Käytettävän resonaattorikaasun tulee olla mahdollisimman puhdasta, riittävän laseroinnin hyötysuhteen saavuttamiseksi. Tavallisesti kaasu kulkee lämmönvaihtimien kautta ja samalla sitä uusitaan jatkuvasti. Hiilidioksidilaserin laseroivaan väliaineeseen johdetaan sähkövirtaa ja sen avulla saadaan aikaan virittyminen. Virittämisessä käytetään vaihtovirtaa RF-taajuudella tai tasavirtaa. Laserien kohdalla hyötysuhteella tarkoitetaan säteentehon vertaamista sen muodostamiseen tarvittavan sähkötehon määrään. Teoreettisena hyötysuhteena hiilidioksidilaserilla on maksimissaan noin 21 %. Käytännössä laserin hyötysuhteeseen vaikuttavat käytetyt laitteet ja tavallisesti laitteistojen sähköinen hyötysuhde asettuu noin 10-15 % paikkeille. (Kujanpää ym. 2005, 55.)

Ojala-Yhtymällä on käytössään myös 2D-lasertyöasema, jonka toimintaperiaate perustuu hiilidioksidilaserilla tuotettuun lasersäteeseen. Koneen avulla voidaan leikata useita eri materiaaleja ja valmistaa sellaisia tuotteita, joiden valmistus lävistämällä ei ole mahdollista. Laserleikkaamalla valmistettujen tuotteiden materiaali vahvuus voi parhaimmillaan olla noin 20 millimetriä materiaalista riippuen. Avoimen rakenteensa johdosta sen hyödyntämistä kuparin leikkauksessa ei voida toteuttaa säteen heijastumisvaaran vuoksi.

### **4.3 Nd:YAG-laser**

Nd:YAG-lasereiden, eli kidelaserien lähettämä laservalon aallonpituus on 1064 nm ja se muodostetaan YAG-kiteissä sijaitsevissa neodyymiatomeissa. Nd:YAG-lasereilla muodostettavalla valolla on lyhyt aallonpituus, jonka vuoksi se pystyy läpäisemään lasia, kuten esimerkiksi kvartsilasin. Tämä mahdollistaa Nd:YAG-laserin valon kuljettamisen valokuidun avulla, joka ei onnistu hiilidioksidilaserin valon kohdalla, jossa joudutaan käyttämään peilejä. Nd:YAG-laserin valo muodostetaan tilassa, joka on kiinteä ja sen vuoksi suuria tehoja käyttävien laserien kehittyminen on hitaampaa, kiteen tarvitsemaan jäähdytykseen liittyvien ongelmien vuoksi. (Kujanpää ym. 2005, 58.)

#### 4.4 Diodilaser

Nykyisin on olemassa suuritehoisia diodilasereita, joilla voidaan työstää erilaisia materiaaleja. Saatava säteenlaatu on parhaimmillaan riittävä leikkaukseen ja syvä-tunkeumahitsaukseen, vaikka sen laatu ei yllä Nd:YAG- tai CO<sub>2</sub>-laserien tasoille. Sen vuoksi diodilasereita ei ole käytössä konepajojen leikkauskohteissa ja tarvittavat hitsaukset tehdään yleensä sulattavalla menetelmällä. Tavallisimmin diodilasereita käytetään muovien ja ohutlevyjen pintakäsittelyihin ja hitsauksiin. Rakenteensa puolesta suuritehoinen diodilaser eroaa merkittävästi toisista työstölaser toteutuksista. Rakenne muodostuu useista pienistä (1-2 W) diodilaserosista. (Kujanpää ym. 2005, 65.)

Diodilaserilla tuotettua sädettä on mahdollista kuljettaa YAG-laserien mukaisesti optisella kuidulla. Silloin muodostuvan polttopisteen koko tulee suuremmaksi, muiden suurteholasereiden polttopisteeseen verrattuna. Siihen vaikuttaa diodilaserin vaatima paksumpi kuitu, kuin vastaavan teholuokan Nd:YAG-lasereiden kohdalla tarvitaan. Paksumpi kuitu mahdollistaa laserin joustavamman käytön. Diodilaserien kohdalla on usein mahdollista päivittää laseri tarvittaessa suurempitehoiseksi myös myöhemmässä vaiheessa. Kokonaishyötysuhteeltaan suuritehoinen diodilaser on lasertyypeistä parhain noin 30 %:in luvullaan. Merkittävin siihen vaikuttava asia on diodin laseroinnin saavuttama hyötysuhde, joka voi olla korkeimmillaan 60 %:a. Diodilaserissa kuluvia osia ovat diodit, joiden kestoajaksi on luvattu 10 000-20 000 tuntia. Diodilaseria voidaan pitää kuitenkin käyttökustannuksiltaan edullisena. (Kujanpää ym. 2005, 67-68.)

## 5 TUOTANNON KONEET

Yrityksen käytössä oleva konekanta on monipuolinen ja nykyaikainen, joten se mahdollistaa hyvin monentyyppisten tuotteiden valmistamisen. Tuotantosoluissa käytettävät koneet ovat pääasiassa levytyökeskus, kierteytyskeskus, särmäyspuristin ja niittauspuristin, joilla voidaan valmistaa ohutlevytuotteita asiakasyritysten vaativiin kohteisiin. Lisäksi käytössä on 2D- ja 3D-lasertyöstösolut, joiden avulla valmistettavien tuotteiden valikoimaa on voitu laajentaa hyvinkin kattavaksi. Lasertyökeskusten avulla voidaan leikata laaja valikoima materiaaleja ja tuotteita, joiden valmistaminen muilla käytössä olevilla työmenetelmillä ei onnistuisi. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin tarkemmin valmistussolujen tuotantokoneita ja valmistusmenetelmiä, jotka perustuvat lävistykseen ja laserleikkaukseen.

### 5.1 3D-laser

Tähän opinnäytetyöhön liittyvän 3D-lasertyöaseman (KUVIO 3) toimintaperiaate perustuu kuitulasertekniikkaan, jonka tarkempi kuvaus kohdassa 4.1. Laserleikkausta varten laitteessa on 6-akselia (TAULUKKO 2), joista X, Y ja Z-koordinaatistoakseleilla toteutetaan lineaariliikkeet vaaka, pysty ja syvyys suuntiin. Lineaariliikkeiden avulla voidaan laserleikkauspäätä kuljettaa työalueella haluttuun asemaan kolmiulotteisesti numeraalisen ohjauksen mukaan. Lisäksi 3D-laserissa on A ja B-akselit, joilla voidaan määrittellä laserleikkaustyöstössä käytettävän lasersäteen suunta ja kulma suhteessa työstettävän kappaleen pintaan nähden. Laserleikkauspäätä voidaan liikuttaa 5-akselin lisäksi muuntuvan C-akselin liikkeellä, joka on 10 millimetriä molempiin suuntiin. 3D-lasertyöaseman tarkemmat tekniset tiedot esitetty liitteessä (LIITE 1).

TAULUKKO 2. Rapido 3D-kuitulaserin tekniset tiedot (Primapower 2014.)

<b>RAPIDO 3D-kuitulaser</b>			
Laser teho 2 kW			
Lineaariakselin liike	X 4080 mm	Y 1530 mm	Z 765 mm
Pyörivä akseli	A 360 ° B ± 135 °		
Muuntuva akseli	C ± 10 mm		
Liikenopeus	100 m/min A ja B 1.5 kierrosta/s		
Paikoitustarkkuus	0.03 mm A ja B 0.005°		



KUVIO 3. Prima Power Rabido 3D-lasertyöasema (Primapower 2014.)



### 5.1.1 Parametrit

Laserleikkauksessa käytettäviä parametreja voidaan tarkastella ns. energiatasapainojen perusteella. Leikkausprosessi tuottaa laadukkaan ja vakaan jäljen, kun tarvittavat edellytykset ovat kunnossa. Nämä edellytykset ovat oikea tasapaino tuodun lasertehon ja käytetyn tehon suhteen. Laserleikkauksessa käytettävät parametrit voidaan jakaa laser-, prosessi- ja materiaaliparametreihin, joihin kuuluvat asiat kuvattu alla:

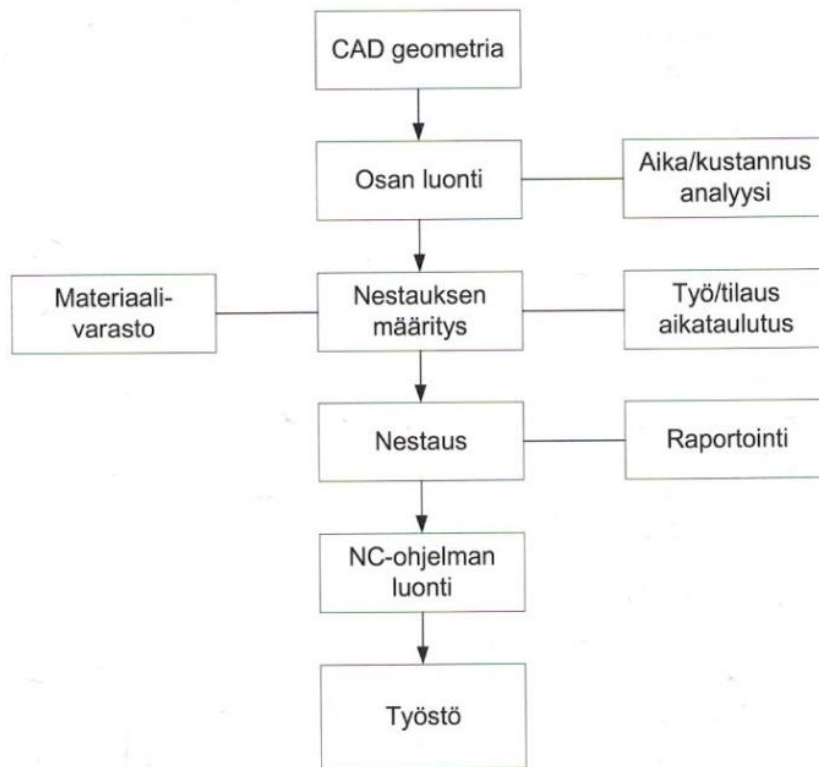
- laserparametrit: laserteho, säteenlaatu, moodi, aallonpituus, raakasäteen halkaisija, polarisaatio, pulssin taajuus ja kesto
- prosessiparametrit (leikkausparametrit): polttoväli, polttopisteen paikka, leikkauksenopeus, kaasulaji, kaasunpaine, suuttimen muoto, suuttimen etäisyys ja suutinreiän halkaisija
- materiaaliparametrit: materiaalin optiset ja fysikaaliset ominaisuudet. (Kujanpää ym. 2005, 136-137.)

Näiden lisäksi on muitakin parametreja, joiden vaikutus on huomattava tapauskohtaisesti tarkasteltuna. Sellaisia ovat esimerkiksi 3D- ja viistemuotojen leikkaussovelluksissa toteutuva leikkauspään kulmanasento, kun sitä verrataan työkappaleen pintaan. Teknisesti merkittäviä asioita ovat myös leikkausparametrit, jotka suhteutetaan leikkauksenopeuteen, lävistysparametrit leikkauksen aloituksessa ja ominaisuuksien kompensointi konekohtaisesti. (Kujanpää ym. 2005, 137.)

### 5.1.2 Ohjelmointi

Lasertyöstölaitteiden ohjelmointiin on olemassa monenlaisia tapoja, joista tyypillisin on laitteen ohjelmointi riviohjelmointia käyttäen suoraan työstölaitteessa olevan ohjaimen avulla. Laserleikkauksen osalta edellä mainittua tapaa ei käytännössä käytetä, vaan sen sovelluskohteita ovat valmiin ohjelman korjaukset tuotetta vastaavaksi ja mittojen kompensointi tarpeet. Tavallisin kohde käytölle on esimerkiksi 3D-ohjelman tarvitsema hienosäätökorjaus, jotta ohjelman vastaavuus saadaan tuotteen muotojen mukaiseksi. Ohjelmointi suoritetaan nykyään varsinkin 2D-sovelluksissa pääasiassa muuntamalla CAM-ohjelman avustuksella CAD-kuva

suoraan CNC-ohjelmaksi työstökoneille. Osana CAM-ohjelmaa on tavallisesti ns. nestausohjelma, jonka avulla voidaan leikattavat tuotteet sijoitella levyaihiolle. Kehittyneimmät nestausohjelmat sijoittelevat suoraan CAD-kuvat halutulle levyaihiolle, samalla huomioiden materiaalinkäytön optimoinnin. (Kujanpää ym. 2005, 128.)



KUVIO 4. Esimerkki työstöohjelman toteuttamisen generoinnista laserille (Kujanpää ym. 2005, 128.)

Ohjelmointi 3D-työstöradan toteuttamiseksi on huomattavasti haastavampaa kuin 2D-sovelluskohteissa. Tavallisesti kolmiulotteisten tuotteiden toteuttaminen tehdään muovaamalla, jonka seurauksena saatava muoto ei vastaa täysin CAD-kuvaa. Se tarkoittaa käytännössä ohjelmien, eli työstöratojen korjausta ohjelmointi vaiheen jälkeen, jotta ne saadaan vastaamaan toteutuneen tuotteen mittoja ennen valmistusta tuotannossa. Myös silloin on huomioitava ja pyrittävä kompensoimaan tuotteissa olevia muotojen keskinäisiä heittoja, joilla voi olla vaikutusta lopputuotteiden mittoihin.

Lisäksi ohjelman toteuttamisessa on otettava huomioon, että laitteistoilla voidaan seurata tuotteen todellista pintaa kapasitiivisen korkeudensäädön avulla, mutta seuranta voidaan toteuttaa kerrallaan vain yhden akselin kohdalla. (Kujanpää ym. 2005, 129.)

Laserleikkauksessa käytettävä työstöohjelma tehdään tuotteen geometriatietojen pohjalta, jotka saadaan asiakkaalta sähköisessä muodossa. Suunniteltu laserleikkauksen työstöohjelma toteutetaan CAD-CAM ohjelmistojen avulla ja tallennetaan verkossa olevalle serverille valmiiksi ohjelmanlukua varten. Laserleikkaustyövaiheen asetuksen aikana koneen käyttäjä lataa tuotteen speksejä vastaavan NC-ohjelman lasertyöstöasemalle ja muuttaa tarvittavat parametrit vastaamaan materiaalin laserleikkauksen optimaalisia arvoja. Laserleikkauksen testausvaiheessa leikattavien 2D-tuotteiden ohjelmointivaihtoehdot olivat testauksen aikana vielä epäselvät. Toimivin ratkaisu olisi tuotteiden sijoittelumahdollisuus (nestaus) 3D-lasertyöstöaseman käyttäjän toimesta, jolloin materiaalinkäyttö voitaisiin optimoida tapauskohtaisesti, kuten 2D-lasertyöstöasemalla tehdään. 3D-laserin ohjelmointivaihtoehdoista ja laserin tehojen nostamisesta on selvitykset käynnissä.

### 5.1.3 Laserleikkauksen vaiheet

Laserleikkaustyövaiheen suorittaminen 3D-lasertyöstöasemalla tehdään toiminnanohjausjärjestelmässä näkyvän solukohtaisen työjonon perusteella. Työjonossa näkyvät laserleikkaussoluun suunniteltujen tuotteiden työt ja niiden kiireellisyys. Laserleikattavien tuotteiden valmistus toteutetaan pääasiassa seuraavien vaiheiden mukaisesti:

- kuitataan työkortissa oleva laserleikkaustyövaihe aloitetuksi toiminnanohjausjärjestelmään
- ladataan 3D-laserille tuotteen laserleikkauksessa käytettävä NC-työstöohjelma
- säädetään leikkausparametrit materiaalille sopiviksi optimaalisen leikkaustahtuman aikaansaamiseksi
- asennetaan jigi lasertyöstöaseman kääntöpöydälle

- asetetaan materiaalihiho kääntöpöydällä olevan jigin päälle
- asemoidaan ohjelma jigin ja materiaalihihon suhteen
- leikataan koekappale, josta tarkistetaan laatu ja mittojen ym. asioiden vastavuus työkortin ja piirustusten kanssa
- valmistetaan tuotantosarja
- kuitataan hyväksytyt ja hylätyt kappaleet toiminnanohjausjärjestelmään, sekä päätetään laserleikkaustyövaihe.

## 5.2 Levytyökeskus

Levytyökeskuksia (KUVIO 5) käytetään ohutlevytuotteiden valmistamisessa työstämään reikiä ja haluttuja muotoja tuotteisiin. Työstäminen tapahtuu kertauskalla tai toistuvilla iskusarjoilla, joiden aikana lävistävillä työkaluilla poistetaan materiaalia leikkaamalla muodostaen tuotteiden geometriset muodot. Levytyökeskuksissa käytetään myös muovaavia työkaluja, joilla voidaan toteuttaa haluttuja erikoismuotoja ohutlevytuotteisiin. Tällaisia erikoismuotoja ovat esim. kaulusvedot kierteille, senkit ruuvien kantojen upotuksille, sinetit kiinnityksille, tuuletusaukot, ym. Useimpiin levytyökeskuksiin voidaan liittää laser- tai plasmaleikkaus yksikkö monipuolisemman käytön toteuttamiseksi. Levytyökeskuksen avulla voidaan saavuttaa tuotteiden lyhyempi läpimenoaika, sekä kustannustehokkuus nykyisessä pienerävalmistuksessa, kun työvaiheiden toteuttaminen voidaan yhdistää yhteen tuotantokoneeseen. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 38.)



KUVIO 5. Levytyökeskus tuotantosolussa (Ojala-Yhtymä 2014, kuva: Jukka Eskola)

Levytyökeskukset ovat CNC-ohjattuja tuotantokoneita ja niillä valmistettävien ohutlevytuotteiden tarkkuutta voidaan pitää hyvänä, sekä riittävänä ilman viimeistelyä useimpiin käyttökohteisiin, kuten kokoonpanon tarpeisiin. Levytyökeskukset ovat toimintataperiaatteeltaan mekaanisia tai hydraulisia sekä runkorakenteeltaan avoimia C-tyyppisiä tai täyskehäisiä O-tyyppisiä. Levytyökoneiden puristusvoima on tavallisesti 300 kN, kuten kuviossa (KUVIO 5) oleva kone ja lävistettävien levyjen paksuus voi olla suurimmillaan 3-12 mm. Levytyökeskuksiin liittyviä ominaisuuksia ovat puristusvoima, lävistettävän aihionkoko, työkalulaitteiston toimintatapa, koneen rakenne, mm. ohjelmointitapa, rungon tyyppi, lävistys- ja liikenopeudet, jne. (Aaltonen, ym. 1997, 39.)

Oma kokemukseni ohutlevytuotteiden valmistamisesta perustuu levytyökeskusten käyttämiseen 14 vuoden ajalta, jonka olen työskennellyt työelämässä. Sen vuoksi opinnäytetyöni aihe oli kiinnostava ja ajankohtainen sekä sopivan haastava nykyaikaisen laserleikkausmenetelmän soveltamisen pohjalta.

Tuotantosoluissa valmistetaan kuparituotteita levyaihiosta, joiden paksuus vaihtelee 0,5 - 6 millimetriin. Levyaihiot leikataan laaditun NC- ohjelman perusteella tuotetun työkalulistan mukaisesti valmiiksi ja tuodaan soluun lävistystyövaihetta varten.

Levytyökeskuksen käyttämiseen liittyvä asetus tehdään tuotantosolussa pääasias-  
sa seuraavien vaiheiden mukaisesti:

- työ kuitataan aloitetuksi toiminnanohjausjärjestelmään
- tarkastetaan työkalujen asennustarve, vertaamalla työkalulistaa solussa olevaan työkalutauluun
- kerätään ja asennetaan työkalut revolveriin
- palautetaan revolverista poistetut työkalut merkityille paikoille hyllyyn
- päivitetään työkalutaulu
- haetaan verkosta tuotetta vastaava NC- ohjelma levytyökeskukselle
- muokataan ohjelma
- asetetaan levynpitimet työkalulistan mukaisiin paikkoihin
- laitetaan levyaihio levynpitimiin
- suoritetaan NC- ohjelman mukaiset lävistyksset ja muovaukset
- tarkastetaan tuote vertaamalla sitä dokumentteihin
- kuitataan asetus toiminnanohjausjärjestelmään
- valmistetaan tuotantosarja
- kuitataan valmistuneet ja hylätyt tuotteet toiminnanohjausjärjestelmään, sekä päätetään lävistystyövaihe valmistuneeksi.

### **5.2.1 Lävistys**

Levytyökeskuksissa käytetään usein pyörivää revolveria (KUVIO 6), jossa on paikat erikokoisille lävistystyökaluille. Työkalu muodostuu yläpuolisesta pistimestä ja alapuolisesta tyynystä, joista lisää kohdassa 5.2.2. Tässä työssä esimerkkinä olevassa levytyökeskuksessa on työkalupaikkoja 58 kappaletta ja työkalujen kokovaihtoehtoja on 5 kappaletta. Lisäksi revolverissa on kaksi indeksiasemaa, joiden avulla työkalua voidaan pyörittää NC- ohjelman mukaisesti haluttuun kulmaan täy-

den kierroksen matkalla. Lävistysvoimaa levytyökeskuksessa on 30 tonnia ja liikealue Y- suuntaan on 1270 mm, sekä X-suuntaan 1830 mm, levypitimien NC- ohjelmallisella paikanvaihdolla voidaan liikealuetta kasvattaa X-suuntaan, jolloin tuotannossa tyypillisen aihokoon 1250 x 2500 mm työstäminen on mahdollista. Useimmissa nykyaikaisissa levytyökeskuksissa työstöalue on Y-suuntaan 1270 mm ja X-suuntaan 2500 mm, jolloin otteenvaihtoa ei tarvita.

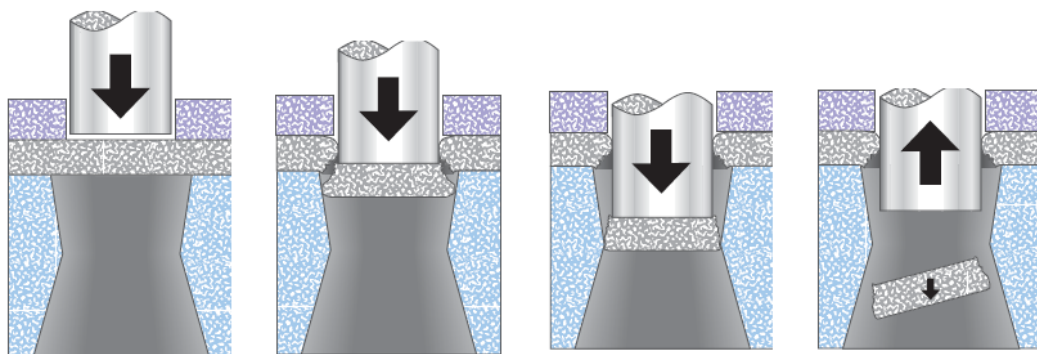
Materiaaliaihio asetetaan levynpitimiin, joita on kaksi tai kolme kappaletta ja joiden paikat määräytyvät NC -ohjelman perusteella. Levytyökeskuksessa on liikeakselit X- ja Y-suuntiin, joita liikutetaan kuularuuvien välityksellä servomootoreiden avulla. Lävistys toteutetaan mekaanisenpainimen avulla, joka liikuttaa yläpuolista työkalua ja poistaa materiaalia alapuolisen tyynyn lävitse, muodostaen NC- ohjelman mukaisia tuotteita. Lävistyksen periaatekuvaus on esitetty (KUVIO 7).

Lävistyksen aikana voidaan havaita seuraavat vaiheet:

- materiaalissa tapahtuu kimmoinen taipuma, kun pistin kohtaa lävistettävän levyn yläpuolisen pinnan
- pistin leikkautuu materiaaliin
- leikkautuva materiaalin jättepala repeytyy ja samalla muodostuu jäystereunus muodostuvan aukon alapinnalle
- leikkautuva materiaalin jättepala irtoaa
- pistin työntää irtoavan jätepalan tyynyn lävitse
- pistin palautuu takaisin jousen voimasta. (Aaltonen, ym. 1997, 90-91.)



KUVIO 6. Levytyökeskuksen revolveri ja työkaluja (Ama-prom 2014.)



KUVIO 7. Lävistyksen periaate (Mate 2014.)



## 5.2.2 Työkalut

Levytyökeskuksissa käytettävien työkalujen rakenne muodostuu tavallisesti seuraavista osista, jotka ovat pistin, tyyny, irroittaja, jousi ja ohjuriholkki. Käytettäviä pistimen ja tyynyn muotoja, sekä kokoja on runsaasti tarjolla, joista tavallisimpia muotoja ovat esimerkiksi suorakulmio, pyöreä, neliö, venytetty reikä ja kolmio. Lävistystyökalujen käytössä on tärkeää valita pistimen ja tyynyn välitys oikein, jotta lävistystapahtuma olisi optimaalinen. Välyksen valinnassa käytetään tyypillisesti 10-30 % osuutta levynpaksuudesta. Väärän välyksen käyttäminen lisää tarvittavan lävistysvoiman tarvetta, kuluttaa työkaluja normaalia enemmän, lisää pistimen tarttumisvaaraa peltiin, mahdollistaa jätepalannousun ja heikentää leikkausreunan laatua. (Aaltonen, ym. 1997, 40.)

Työkaluista pistin ja tyyny (KUVIO 8) kestävät pitkäaikaista käyttöä ja niiden teroitustarve riippuu mm. iskujenmäärästä ja materiaalin kovuudesta, ym. asioista. Käytännössä työkaluilla voidaan lävistää useita kymmeniätuhansia iskuja ennen teroitusta. Teroitus tapahtuu erillisellä hiomalaitteella työkaluhuollossa ja samalla teroitetaan pistin ja tyyny optimaalisen leikkaustapahtuman varmistamiseksi. Teroituksen vaikutuksesta pistin lyhenee ja tyynyn korkeus alenee, joten asia pitää ottaa huomioon työkalujen käyttöönotossa säätämällä mitat ohjeidenmukaisiksi mm. säätörikköjen avulla. Isoilla työkaluilla käytetään usein kulmaan teroitusta, jotta lävistysvoiman tarve olisi pienempi ja muodostuva melu olisi vähäisempää.

Tässä työssä esimerkkinä olevassa levytyökeskuksessa (KUVIO 5) on 58-paikkainen pyörivä revolveri, jossa on työkaluja (TAULUKKO 3) pienimmästä A-tyypistä suurimpaan E-typin kokoon. Taulukosta voidaan nähdä suurin pyöreän työkalun halkaisija millimetreinä, jota voidaan käyttää kyseisen kokoisessa työkalupaikassa.

TAULUKKO 3. Esimerkkinä olevan levytyökeskuksen revolverin työkalupaikat (Amada 2014.)

Työkalun tyyppi	Työkalun suurin halkaisija / mm	Työkalupaikkoja
A	12,7	36
B	31,7	12
C	50,8	4
D	88,9	2
E	114,3	2
Pyörivä työkalupaikka / Auto Indexi		
B	31,7	2



KUVIO 8. Esimerkkejä lävistystyökaluista (Amada 2014.)

### 5.2.3 Ohjelmointi

Levytyökeskuksella tuotteiden valmistaminen tapahtuu NC- ohjelman mukaisesti, joka on toteutettu CAD-CAM ohjelmistojen avulla. Asiakkaalta saatujen tuotetta vastaavien geometriatietojen perusteella luodaan ohjelmistoilla työstöradat levytyökeskukselle tuotteen valmistusta varten. NC- ohjelman toteuttamiseen vaikuttavat mm. tuotteen muoto ja käytettävä materiaali. Ohjelmassa käytettävän materiaali-aihion koko määräytyy tuotteen mukaan, johon vaikuttavat tuotteen sijoittelu aihiolle ja siitä seuraava materiaalin käytöntehtokkuusprosentin suuruus. Kustannusten kannalta tarkasteltuna pyritään materiaalinkäyttöä tehostamaan ohjelmien suunnittelusta lähtien.

Tuotteiden määrästä johtuen käytössä on paljon erilaisia NC- ohjelmia ja niihin suunniteltuja aihio-ohjelmia. Tavallisesti kuparimateriaalien valmistuksessa tarvittavat aihiot leikataan työkortissa olevan leikkaustyövaiheen mukaisesti sopiviin kokoihin suuremmista aihioista ennen lävistystyövaihetta. Työkortin mukana tulevasta NC-ohjelmaa vastaavasta työkalulistasta voidaan nähdä tarvittavat tuotteen valmistukseen liittyvät asiat, kuten lävistysohjelmannumero, lävistystyökalut, käytettävä materiaali, materiaalin vahvuus, aihio-ohjelmien paikat, materiaalinkäytön tehokkuusprosentti, jne. Työkalulistan mukaisesti levytyökeskuksen käyttäjä suorittaa asetuksen tekemisen levytyökeskukselle.

Lävistysohjelman pituus ja käytettävät työkalut riippuvat valmistettavien tuotteiden geometrioista, joilla on suuri vaikutus aihio-ohjelmien lävistysaikaan. Kuparituotteiden valmistaminen lävistämällä voi aiheuttaa ongelmia työkalujen toiminnassa, joka tulee esille työkalujen tarttumisenä ja sen seurauksena aihio saattaa liikahtaa levytyökeskuksen levynpitimissä. Tämän vuoksi levytyökeskuksen liikeakselien nopeutta joudutaan usein alentamaan, jotta lävistystyökalujen tarttuminen voitaisiin estää. Lisäksi usein paksuilla materiaaleilla (4-6 mm) lävistysohjelmat on toteutettu puolelta aihiolle. Lävistettäessä kupariaihiota yhden ohjelmakierron jälkeen käännetään aihio-ohjelmien levynpitimissä, jotta tarttumisen aiheuttamat vialliset tuotteet voidaan minimoida.

## 6 KUPARI

Kuparin hyödyntäminen teknisissä kohteissa onnistuu hyvin, koska kuparilla olevat tärkeimmät ominaisuudet sähkön- ja lämmönjohtavuus ovat hyviä ja ainoastaan hopealla ne ovat parempia. Kuparilla on lisäksi hyvä syöpymisenkestävyys, koska se on jalometalli sähkökemiallisessa jännitesarjassa ja sen pintaa suojaa oksidikalvo. Kupari on sitkeä metalli ja helposti muokattavissa kaikissa lämpötiloissa, koska sillä on pintakeskinen kuutiohilarakenne, mutta sen seurauksena vastaavasti sen lujuusarvot ovat matalammat. Pieni kimmokerroin, joka on noin puolet teräksen kertoimesta aiheuttaa kuparijousten joustovaikutuksen olevan noin kaksinkertainen verrattuna teräkseen. (Koivisto, K, Laitinen, E, Niinimäki, M, Tiainen, T, Tiilikka, P & Tuomikoski, J. 2010. 177.)

TAULUKKO 4. Puhtaan kuparin tärkeimmät ominaisuudet (Koivisto, ym. 2010. 177.)

Sulamislämpötila	1083 °C
Hilarakenne	Pintakeskinen kuutio
Tiheys	8,93 g/cm <sup>3</sup>
Kimmokerroin	122,5 kN/mm <sup>2</sup>
Vetomurtolujuus	220 N/mm <sup>2</sup>
Sähkönjohtavuus	100 % IACS

Kuparin laserleikkausprosessia vaikeuttavat sen suuri lämmönjohtavuus ja säteen heijastuminen materiaalinpinnasta, joiden vaikutuksesta leikkauksen vaatiman sulan ja höyryn aikaansaaminen on vaikeampaa. Lämmönjohtumisen aiheuttamat tehohäviöt suurenevat voimakkaasti, kun ainepaksuus suurenee. Tämän vaikutuksesta käytännössä ainoastaan pienien materiaali-paksuuksien leikkaaminen on kannattavaa taloudellisesti. Materiaalikohtaiset lasertehon alarajat määrittelevät laserleikkauksen onnistumisen ja kuparimetalleilla, joita ovat esimerkiksi messinki ja kupari alarajateho on noin 1 kW. Lisäksi leikkauksen onnistumisen edellytyksenä on todella hyvä säteenlaatu.

Kuparimetallien leikkaus onnistuu hapen avulla paremmin kuin kaasuilla, jotka ovat inerttejä. Siihen vaikuttavat palamisen tuottama ylimääräinen energia ja leikkauksessa muodostuvan oksidin vaikutuksesta hyvään lasersäteens absorptioon. (Kujanpää ym. 2005, 268-269.)

Kuparituotteiden valmistamisessa käytettävä materiaali tulee yritykseen levyaihioidena, joiden koko on tavallisesti 1000 x 2000 millimetriä ja materiaalivahvuudet vaihtelevat 0,5 – 6 millimetriin. Aihioista leikataan lävistys ja laserleikkaus ohjelmissa käytössä olevia aihokokoja leikkaustyövaiheessa, joka on tavallisesti ensimmäinen työvaihe tuotannossa. Leikkaustyövaiheen kuittaus vähentää raakamateriaalin varastosta. NC- ohjelmissa käytettävät ahiokoot on optimoitu, jotta leikkaustyövaiheessa ei muodostuisi jätepala-aihoita ja materiaalikäyttö olisi tehokasta. Tyypillisiä kuparimateriaalin ahiokokoja tuotantokoneiden NC- ohjelmissa ovat 1000 x 200 mm, 1000 x 250 mm, 1000 x 333 mm, 1000 x 400 mm, 1000 x 500 mm ja 1000 x 666 mm.

## **7 TESTAUSSUUNNITELMA JA TESTAUKSEN TOTEUTUS**

SALATTU

SALATTU

SALATTU



SALATTU

## 8 TULOSTEN ANALYSOINTI

SALATTU

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

SALATTU

## SALATTU

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. 1. painos. Porvoo: WSOY. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 39.)

Amada. 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.amada.com>. Luettu 26.2.2014.

Ama-prom. 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ama-prom.fi>. Luettu 26.2.2014.

Kajaste, V. ja Liukko, T. 1994. Lean-toiminta , Suomalaisten yritysten kokemuksia. Tampere: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Koivisto, K, Laitinen, E, Niinimäki, M, Tiainen, T, Tiilikka, P & Tuomikoski, J. 2010. Konetekniikan Materiaalioppi. 12.-13. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. 2005. Lasertyöstö. Tampere: Teknologiainfo Teknova Oy. (Kujanpää, Salminen & Vihinen 2005, 133.)

Lecklin, O. 2002. Laatu yrityksen menestystekijänä. 4. uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Lehtonen, J-M. (toim.). 2004. Tuotantotalous. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Mate. 2014. Www dokumentti. Saatavissa: <http://www.mate.com/en>. Luettu 26.2.2014.

Novotek. 2014. Www dokumentti. Saatavissa: <http://www.novotek.fi> Luettu 18.3.2014.

Ojalagroup. 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.otalagroup.com/fi/> Luettu 12.3.2014.

Primapower. 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.primapower.com> Luettu 12.3.2014

Qk-karjalainen 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi> Luettu 6.4.2014

SALATTU

**SALATTU**

SALATTU



SALATTU

SALATTU

SALATTU

SALATTU

**SALATTU**

SALATTU

SALATTU

SALATTU



SALATTU