

LAB ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Tommi Sinkko

## **Kuitu- ja hiilidioksidilaserien toiminta ja käyttöerot**

Opinnäytetyö 2020

## Tiivistelmä

Tommi Sinkko

Kuitu- & Hiilidioksidilaserin toiminta ja käyttöerot, 25 sivua

LAB ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Konetekniikan koulutusohjelma

Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Simo Sinkko, LAB-ammattikorkeakoulu; Ismo Suomalainen, tuotantopäällikkö, Savira Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää hiilidioksidilaserkoneen ja kuitulaserkoneen toiminta ja niiden eroavaisuudet.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa kerrottiin koneiden toimintaperiaatteesta, kuinka ne toimivat käytännössä ja miten koneet muodostavat leikkaavan säteen sekä myös muista vaihtoehtoisista leikkausmenetelmistä. Työssä tehtiin myös vertailua siitä, onko yritykselle ollut kannattavaa päivittää vanhempaa koneistoa uuteen tehokkaampaan laitteistoon. Teoriaosuuden kirjoitusmateriaalia hankittiin esimerkiksi Internetistä, laserkoneiden käyttömanuaaleista sekä Lappeenrannan tiedekirjaston e-kirjoista.

Opinnäytetyön työosuudessa suunniteltiin leikattava kappale kahdelle eri saman paksuiselle materiaalille, jonka jälkeen voitiin tehdä vertailua siitä, miten kahden eri koneen leikkaustavat eroavat toisistaan ja siitä, onko molemmilla käytettävillä koneilla riittävät edellytykset hyvään työjälkeen.

Vertailun tuloksena saatiin selville, että kuitulaser on nopeampi sekä parempi. Se oli myös erittäin taloudellinen verrattuna hiilidioksidikoneeseen.

Asiasanat: hiilidioksidilaser, kuitulaser, toiminta

## **Abstract**

Tommi Sinkko

Fiber & Carbon dioxide laser operation and operating differences, 25 Pages

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Production

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Simo Sinkko, Senior Lecturer, LAB University of Applied Sciences; Mr Ismo Suomalainen, production manager, Savira Oy

The purpose of the thesis was to find out the operation of a carbon dioxide laser machine and a fiber laser machine and their differences.

The theoretical part of the thesis explained the principle of machine operation, how they work in practice and how machines form a cutting beam, as well as other alternative cutting methods. The study also compared whether it was profitable for the company to upgrade older machinery to new, more efficient equipment. The writing material of the theoretical part was obtained, for example, from the Internet, laser machine manuals and e-books from the Lappeenranta Science Library.

In the work part of the thesis, a piece to be cut was designed for two different materials of the same thickness, after which a comparison could be made of how the cutting methods of two different machines differ and whether both machines have sufficient conditions for a good job.

As a result of the comparison, it was found that the fiber laser is faster as well as better. It was also very economical compared to a carbon dioxide machine.

Keywords: Fiber laser, carbon dioxide laser, operating

# Sisällys

1	Johdanto .....	5
2	Vaihtoehtoiset työstömenetelmät .....	6
2.1	Plasmaleikkaus .....	7
2.2	Polttoleikkaus .....	7
2.3	Vesisuihkuleikkaus .....	8
3	Laserleikkaus .....	8
3.1	Leikkausrailon leveys laserleikkauksessa .....	9
3.2	Hiilidioksidilasertoiminta .....	9
3.3	Kuitulasertoiminta .....	13
4	Laserleikkausmenetelmät .....	14
4.1	Laserleikkaus sulattamalla .....	14
4.2	Laserleikkaus polttamalla .....	15
5	Materiaalin vaikutus leikkauksessa .....	16
5.1	Seosaineet materiaaleissa .....	16
5.2	Levymateriaalin pinnan vaikutus leikkaukseen .....	16
5.3	Säteen heijastuminen levyn pinnasta .....	17
5.4	Levyainepaksuus hiilidioksileikkauksessa .....	17
5.5	Levyainepaksuus kuitulaserleikkauksessa .....	18
6	Huolto .....	18
6.1	Hiilidioksidilaser .....	19
6.2	Kuitulaser .....	19
7	Testikappaleen leikkaus .....	20
8	Yrityksen näkemys ja yhteenveto .....	22
	Lähteet .....	24

# 1 Johdanto

Nykypäivänä laserleikkauksesta on kasvanut metalliteollisuudenalan yksi kivijalkaisimmista levynkäsittelymenetelmistä. Vielä noin 30 vuotta sitten Suomessa oli alle kymmenen laserkonetta, mutta tänä päivänä laserleikkauskoneiden määrä on kasvanut moninkertaiseksi. Kehitys alkuaikojen 1 kW:n hiilidioksidikoneista nykypäivän 10 kW:n kuitulaseryksikköihin on ollut valtaisa niin koneiden sisältä löytyvien osien perusteella kuin myös leikkausmateriaalikirjaston moninkertaisella kasvulla.

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on kertoa lukijalle, miten nämä nykypäivän hiilidioksidi- ja kuitulaserkoneet toimivat teollisuudessa sekä käydä yksityiskohtaisesti läpi koneiden sisältä käsin, miten lasersäde muodostuu ja millä tavalla koneet eroavat toisistaan. Leikkausmateriaalin monipuolistumisella yritykset ovat pystyneet kasvattamaan asiakaskuntaa sekä yrityksen omaa toimintaa. Oma henkilökohtainen osaamiskokemukseni laitteista auttaa tässä opinnäytetyössäni selvittämään ja kertomaan tarvittavaa tietoa.

Tarkoituksena on paneutua tarkemmin Savira Oy -yrityksestä löytyvään 4.4 kW:n hiilidioksidilaseriin sekä 10 kW:n kuitulaserkoneeseen (kuva 1). Opinnäytetyöni on rajattu edellä mainittujen koneiden toimintaan, materiaalinkäyttö- sekä huolto-toimenpide-eroihin, vaikka konevaihtoehtoja olisi enemmänkin. Materiaalia kyseiseen työhön löytyy riittävästi. Tarkoituksena on hyödyntää kirjallisuutta, työpaikaltani löytyvää materiaalia, koneiden valmistajan sivuja, sekä Internetiä. Työssä

on rajattu materiaaliksi yleisimmät teräsmateriaalit ja koneiden malleiksi pöytämalliset laserkoneet.



Kuva 1. Kuitulaserlaitteisto (Bystronic)

Savira Oy on v. 1975 Savitaipaleelle perustettu alihankintayritys, jonka päätyönä on valmistaa laserleikkaamalla erilaisten yritysten ja yksityishenkilöiden tarvitsemia osia eri materiaaleista, kuten rakenneteräksistä, ruostumattomasta ja haponkestävästä teräksestä, messingistä ja alumiinista. Yrityksessä työskentelee 12 henkilöä, joista viisi työskentelee toimistossa ja loput seitsemän hallin puolella valmistuspuolella. Yrityksen toimintaan kuuluvat myös seuraavat työt:

- särmästyöt
- lasermerkkäus
- kappaleiden hionta
- senkkäus
- kierteytys
- pienet hitsäukset.

## 2 Vaihtoehtoiset työstömenetelmät

Laserleikkäuksen ohella on olemassa muitakin metalliteollisuudessa käytettäviä leikkäusmenetelmiä. Näitä ovat plasma-, poltto- ja vesisuihkuleikkäus.

## 2.1 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on terminen leikkausprosessi, jota voidaan käyttää kaikkien sähköä johtavien metallien leikkaukseen. Leikkaus tapahtuu katodina toimivan elektrodin ja anodina toimivan työkappaleen välillä palavan valokaaren tuottaman lämmön vaikutuksesta. (Ionix, Plasmaleikkaus.)

Plasma on ionisoituneen kaasun olotila, joka sisältää paljon energiaa. Teräksen plasmaleikkauksessa plasma sulattaa materiaalia ja sulanut materiaali puhalletaan pois kaasusuihkulla. Plasmaleikkauksessa lämpöä muodostuu leikkuualueelle vähemmän kuin polttoleikkauksessa. Plasmaleikkaus on materiaalivalikoimaltaan monipuolisempi ja nopeampi leikkausmenetelmä kuin polttoleikkaus. Plasmaleikkaus soveltuu hyvin hiiliterästen ja ruostumattomien terästen leikkaukseen. Plasmaleikkauksessa käytettäviä kaasuja ovat mm. argon, happi, typpi ja seoskaasut kuten Varigon. (Be Group, plasmaleikkaus 2020.)

## 2.2 Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on yleisimmin käytetty termisen leikkauksen menetelmä. Polttoleikkauksessa aloituskohta kuumennetaan kaasuliekin lämmön avulla syttymislämpötilaan. Sen jälkeen lisätään leikkaushappi, jonka muodostama happisuihku suorittaa varsinaisen polttoleikkauksen ja samalla puhaltaa palamisjätteet pois leikkausurasta. (Flinkenberg, polttoleikkaus, 2020.)

Polttoleikkaus on yksinkertainen ja edullinen leikkausmenetelmä, jossa hapen ja polttokaasun avulla leikataan terästä. Polttoleikkaamalla päästään jopa 300 mm paksuuteen saakka. (Be Group, polttoleikkaus, 2020.)

Polttoleikkaukseen soveltuvat useat eri teräslaadut, kuten rakenneteräkset, kulu- tusta kestävät teräkset ja painelaiteteräkset. Seostamattomia ja niukkaseosteisia teräksiä, joiden hiilipitoisuus on alle 0,3 % voidaan leikata ilman erityisiä toimenpiteitä. Polttoleikkaus ei sovi ruostumattomille teräksille. (Flinkenberg, polttoleikkaus, 2020.)

### **2.3 Vesisuihkuleikkaus**

Vesisuihkuleikkaus (vesileikkaus) on mekaaninen työstöprosessi, jossa korkea-paineinen vesisuihku irrottaa materiaalia työstettävästä kappaleesta ja huuhtelee sen pois. Veden seassa on erittäin hienoa hiekkaa. Pehmeitä materiaaleja leikattaessa hiekkaa ei tarvitse käyttää. Korkeapaineisen vesisuihkun paine voidaan nostaa jopa 400 MPa:han. Tämä tapahtuu hydraulisella paineenkohottajalla ja keraamisilla suuttimilla. Vesisuihku ohjataan työstettävään pintaan 0,08-0,23 mm suuttimesta. Nopeus saattaa olla jopa kaksinkertainen äänennopeuteen verrattuna. Menetelmällä voi leikata paksuakin teräslevyä sekä betonia (Wikipedia, vesisuihkuleikkaus, 2018).

## **3 Laserleikkaus**

Tässä luvussa on tarkoitus kertoa molemmista laserleikkausmenetelmistä. Kuitulaser ja hiilidioksidilaser muistuttavat ulkokuoriltaan hyvin paljon toisiaan, mutta kun tarkastellaan lähemmin, ja paneudumme mitä koneiden kuorien alta löytyy, voidaan huomata molempien koneiden olevan melko erilaisia työstömenetelmiltään. Työssä kerrotaan nimenomaa Bystronic-merkistä, koska kyseisiä koneita on Savira Oy:llä käytössä. Laserleikkauksessa ei tapahdu kontaktia pintojen välillä, vaan laserkoneen suutin, josta säde tulee, on noin 0.1 mm - 2 mm irti leikatavan materiaalin pinnasta. Termi laser tulee sanoista, "light amplification by stimulated emission of radiation - valon vahvistaminen säteilyn emissiolla." Suurimmat hyödyt laserleikkauksesta muihin perinteisiin menetelmiin verrattuna ovat kasvavat materiaalipaksuudet, nopeampi työstö, hyvä leikkausjälki, pinnan laatu sekä nykypäivän korkea mittatarkkuus.

Hiilidioksidilaser on hyvin perinteinen kone, jolla levyntyöstöä voidaan tehdä. Se on melko yksinkertainen käyttää. Lisäksi se täyttää tarvittavat laatuvaatimukset hyvään leikkausjälkeen. Vielä tänäkin päivänä suurimmasta osasta laserleikkausyrityksiä löytyy hiilidioksidilaserleikkausjärjestelmä, koska sen leikkaukseen kapasiteetti on riittävä paksuuksia ja materiaaleja vertailtaessa. Laitteen toiminta pe-

rustuu kaasumaiseen väliaineeseen, jota aktivoidaan suurienergisillä sähköpurkauksilla. Kaasun molekyylit joutuvat ylivirittyneeseen tilaan ja vapauttavat valoa. (Kujanpää, Salminen, Vihinen.)

Kuitulasertekniikka on vielä verrattain uutta. Sen toiminnan alku juontaa 2000-luvulle, kun suurimmat ongelmat tehon kasvattamisesta teknisesti saatiin korjattua, jonka jälkeen ensimmäisiä koneita alkoi tulla markkinoille. Vahvistettu valo suoritetaan ja kohdistetaan linssin avulla leikattavaan kappaleeseen. (Industrial Laser Solutions) Kuitulaserin ominaisuuksia ovat mm. suuri leikkausnopeus verrattuna samaa paksuutta vastaavaan hiilidioksidikoneella leikattuna, korkea hyötysuhde, kyky leikata heijastavia materiaaleja sekä alhaiset kunnossapito- ja käyttökustannukset

### **3.1 Leikkausrailon leveys laserleikkauksessa**

Leikkausrailon leveys riippuu leikkausmenetelmästä, polttopisteen paikasta, leikkauskaasusta, valonsäteen laadusta ja levyn paksuudesta. Leikkausrailon leveyteen ei voida vaikuttaa leikkauslaatua muuttamatta. Leikkausrailon vaikutus kappaleen ulkonäköön on merkittävä. Kun railo on leikattu siististi, se myös silloin tarkoittaa hyvää laatua. Railon roiskeettomuus, jäysteettömyys ja siisteys ovat tärkeitä laadunvalvonnan merkkejä, koska mitä puhtaampi kappale on leikkautuessa, sitä vähemmän siihen tarvitaan jatkotöitä.

Leikkausrailon kulku ei laserleikkauksessa ole tarkasti suorassa kulmassa levyyn nähden. 10 mm levyn paksuutta kohden leikkaustaso voi poiketa jopa 0.1 mm. Suorakulmaisuuuden arviointi nojautuu standardiin DIN EN ISO 9013 (lämpöleikkausten jako). Suorakulmaisuus on laserleikkauksessa yleensä huomattavasti parempi kuin plasmaleikkauksessa tai autogeenisessä polttoleikkauksessa. (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018.)

### **3.2 Hiilidioksidilasertoiminta**

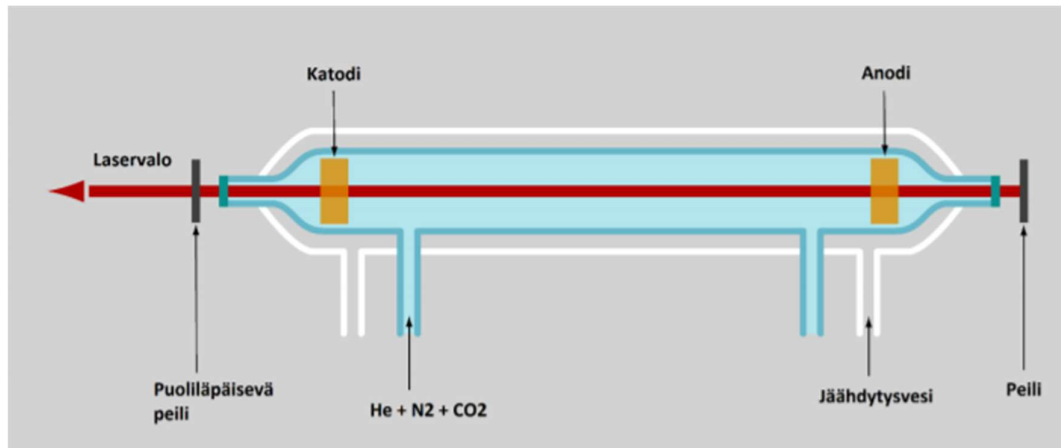
Nykypäivänä toistaiseksi hiilidioksidilaser on vielä erittäin yleinen laserkone metallityöstöpajoissa. Hiilidioksidilaser on kaasulaser, jonka käyttämässä kaa-

suseoksessa on laseroivan hiilidioksidikaasun lisäksi typpeä ja heliumia. Hiilidioksidilaserin energiatasot synnyttävät kaksi pääasiallista aallonpituutta, jotka ovat 10,6  $\mu\text{m}$  ja 9,6  $\mu\text{m}$ .

Typpeä käytetään hiilidioksidilaserissa eräänlaisena herättäjänä. Se avustaa sähköisen energian siirtoa hiilidioksidimolekyylin. Sillä on energiatasoero, joka vastaa hiilidioksidimolekyylin ylempää viritystasoa, josta laservalon vaatima kvantti voi muodostua. Helium toimii tehokkaana laserkaasuseoksen jäähdyttäjänä. Helium lämpiää resonaattorissa, jossa syntyy aina hukkalämpöä. Kun kaasu sitten viedään jäähdytimeen, helium pystyy siirtämään lämmön lämmönvaihtimeen tehokkaasti, eikä kuitenkaan häiritse varsinaista laserointiprosessia. (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005.)

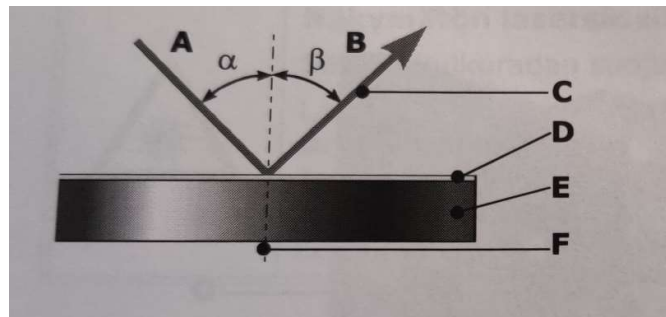
Hiilidioksidilaitteissa käytettävä kaasuseos on resonaattorikohtaista. Tyypillisesti resonaattorikaasu sisältää hiilidioksidia 1 - 9 %, typpeä 13 - 35 % ja heliumia 60 - 85 %. Resonaattorikaasun on oltava aina mahdollisimman puhdasta, jotta suurin mahdollinen hyötysuhde laseroinnissa olisi maksimissaan. Yleensä kaasu kiertää lämmönvaihtimien läpi ja uusiutuu jatkuvasti. (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005.)

Lasersäde johdetaan resonaattorin lähtöpeililtä, jota myös ulostuloikkunaksi kutsutaan, polarisointipeiliin, sieltä taittopeilien ja tarkennuslinssin kautta lopulta työkappaleelle (kuva 2). Säteen kulkutietä laserlähteen ulostulon ja Z-akselin leikkauspään kiinnittimien välillä sanotaan säteen kulkuradaksi. Työstettäessä palkki ja leikkausvaunu liikkuvat sekä niihin asennutetut taittopeilit, jolloin säteen kulkeuma matka muuttuu jatkuvasti. Säteen kulkurata on täysin suojattu koneen rakenteiden, suojapalkeiden ja suojusten avulla. Suojapalkeet ja suojuukset koneen ympärillä estävät laitteiston läheisyydessä olevia henkilöitä joutumasta alttiiksi hajasäteilylle ja suoraan kontaktiin lasersäteen kanssa. Toisaalta myös koneen sisällä oleva optiikka on suojaissa ympäristön vaikutuksilta kuten pölyltä.



Kuva 2. Resonaattorin toiminta (Wikimedia Commons)

Taittopeilejä käytetään muuttamaan säteen suunta koneiston akseleiden suuntaiseksi. Ne on kiinnitetty kehykseen liitinrenkaalla, jonka ansiosta peilin kehyksen asentoa voidaan säätää sekä vaaka- että pystysuunnassa säätöruuvien avulla. Säteen kulkutien säätöruuvit säädetään koneen käytön yhteydessä eikä niitä sen jälkeen enää tarvi muuttaa. Tulo- ja heijastuskulmaa verrataan peilin kohtisuoraan akselisuuntaan ja kun taittopeiliä käännetään tietyn astekulman verran, säteen heijastuskulman suunta muuttuu tähän verrattuna kaksinkertaisella kulma-arvolla (kuva 3 ja 4).

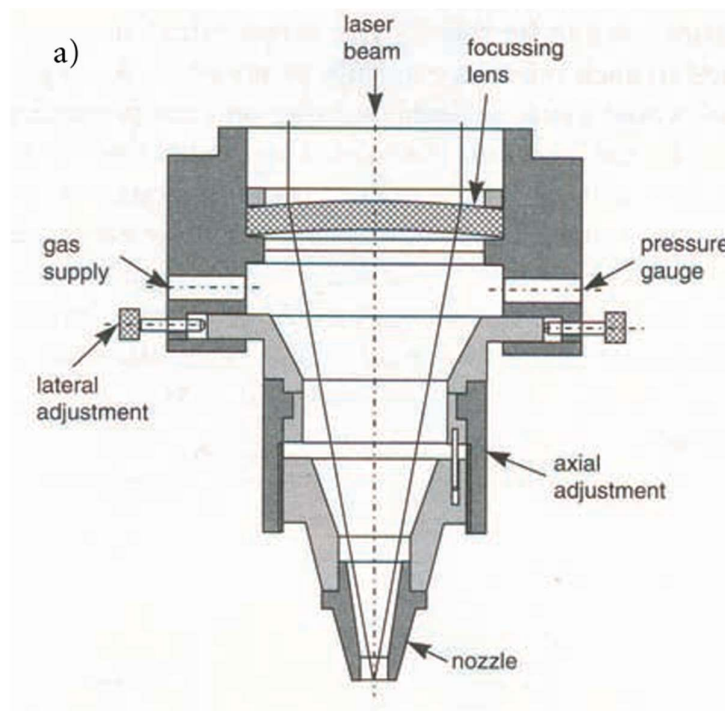


Kuva 3. Säteen heijastuskulma tulo ja ulostulo (Bystronic Laser AG, 2004)

<b>A</b>	Tulokulma $\alpha$	<b>D</b>	Pinnoitus
<b>B</b>	Ulostulokulma $\beta$	<b>E</b>	Pohjamateriaali
<b>C</b>	Lasersäde	<b>F</b>	Peilin kohtisuora akselisuunta

Kuva 4. Säteen heijastuskulman tulo- ja ulostuloselitykset (Bystronic Laser AG, 2004)

Hiilidioksidilaitteisto soveltuu erityisen hyvin polttoleikkaukseen materiaalin paksuuden ollessa 4 - 15 mm ja käytettäessä happea leikkauskaasuna siistin leikkauks jäljen takia. Seosteräksiä sekä muita ei-kirkkaita teräksiä leikattaessa leikkauskaasuna suositellaan käyttämään happea. Laser soveltuu erityisen hyvin sulatusleikkaukseen materiaalin paksuudesta 2 - 12 mm alkaen, kun leikkauskaasuna käytetään typpeä ja materiaalina toimii austeniittinen teräs. Leikattujen kappaleiden reunat ovat huomattavasti vähemmän karkeat verrattuna kuitulaserilla leikattuun, erityisesti materiaalipaksuuksissa 8 - 15 mm. Kuvassa 5 on esitetty hiilidioksidilaserin leikkauspää.



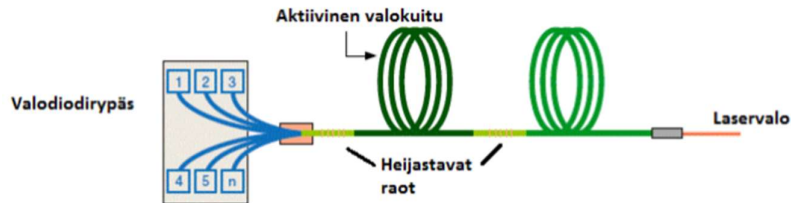
Kuva 5. Hiilidioksidilaserleikkauspää (Kujanpää, Salminen, Vihinen 2005.)

### 3.3 Kuitulasertoiminta

Kuitulaserin toiminta ja rakenne pohjautuu pitkälti hyvin samanlaiseen kuin hiilidioksidilaitteessa. Suurimpana yksittäisenä erona kuitenkin on valon tuottamistapa, mikä koneiden nimessä voimme jo huomata. Kuitulaserkoneessa valon tuottaminen tapahtuu kiinteitä aineita aktivoimalla, kun hiilidioksidissa aktivoimana aineena ovat erilaiset kaasut, (kuva 6). Kiinteät aineet yleisesti ovat maaalkali-ioneja, jotka tietyllä aallonpituudella pystyvät absorboimaan valoa. Säde muodostuu suoraan optisen kuidun sisälle ja se itsessään on resonaattori. Kuidun sisällä tapahtuvan kokonaisuajastuksen ansiosta häviöitä ei tule pumpattavaan energiaan. Kuitulaser perustuu optiseen kuituun, jonka keskellä on laseraktiivista väliainetta sisältävä ydin. Kuitulaserissa säde synnytetään suoraan optisen kuidun sisään. Kuitu muodostaa resonaattorin ja ydin on seostettu laseroivalla väliaineella, jota pumpataan diodilaserin valolla. Kuitua käytetään myös säteen kuljettamiseen, joka on helpompaa ja edullisempaa kuin peilioptiikka hiilidioksidilaserilla. Kuitulaser eroaa muista kuituoptiikkaa hyödyntävistä lasertyypeistä siten, että siinä säde tuotetaan suoraan kuidun sisälle.

Kuitulaserlaitteiston aallonpituus on noin 1 $\mu$ m. Optimaalisten käyttöalueiden ansiosta eri aallonpituudet täydentävät toisiaan kaikkien käyttökohteiden optimoimiseksi. Onnistuneesti valitut laserlaitteistot ovat tärkeimpiä tekijöitä alhaisten kustannusten ja parhaan tuotannon takaamiseksi. Kuitulaserilla varustettu leikkauskoneisto on erityisen taloudellinen vaihtoehto sulatusleikkaukseen. Kuitulaseria käytettäessä ei ohuen levyn alueella tapahdu plasmaleikkausta. Leikkausreunojen laatu on tästä syystä korkeilla leikkausnopeuksilla nopeuteen 60 m/min asti huomattavasti hienompi kuin hiilidioksidilaserilla leikattaessa. Laitteisto reagoi herkemmin materiaalipoikkeamiin polttoleikattaessa terästä, jonka materiaalin paksuus alkaa 12 mm:stä. Polttopisteiden paikat ovat osittain huomattavan erilaiset verrattaessa hiilidioksidilaserkoneistoon.

Kuitulaserissa vaaditaan vain yksi polttoväli kaikkien käyttötarkoitusten täyttämiseksi. Tekniikkaohjelman rajat ovat erilaiset. Kuitulaser pystyy työstämään pienempiä aukkoja CW-tekniikalla kuin mikä on mahdollista hiilidioksidilaserilla. Kuitulaserin yhteydessä sulatusleikkauksessa syntyy aina n. 50-500 µm:n mikrojäystettä levyn alapuolelle (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018).



Kuva 6. Kuitulaserin toimintaperiaate (Avio)

## 4 Laserleikkausmenetelmät

### 4.1 Laserleikkaus sulattamalla

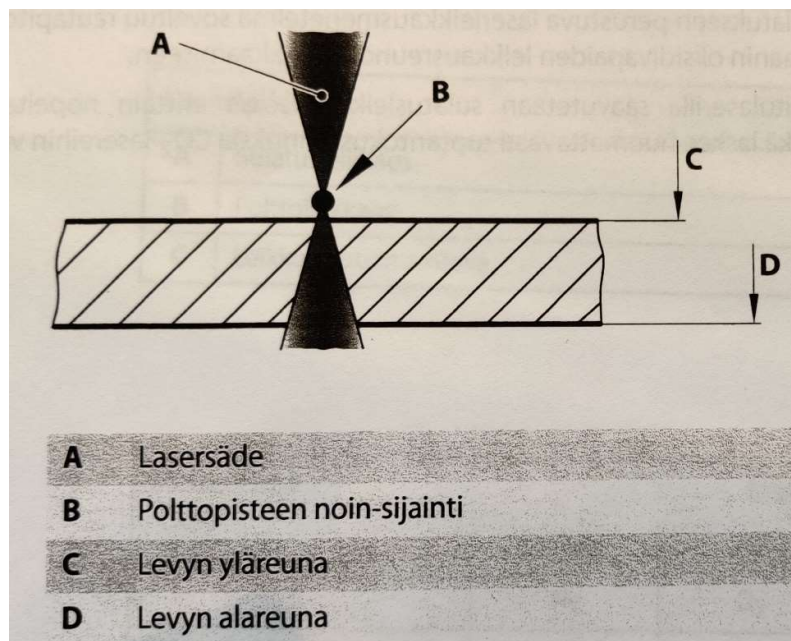
Sulatusleikkauksessa materiaali sulatetaan paikallisesti ja sulanut materiaali puhalletaan pois kaasuvirralla, kuitulaserilla leikatessa suurimmaksi osaksi käytetään tässä tapauksessa typpikaasua. Mustaa terästä hiilidioksidilaserilla leikatessa yleisempi kaasu on happi ja kirkkaiden ruostumattomien ja haponkestävien teräksien leikkauskaasuna useimmin on typpi. Koska materiaali poistetaan railosta aineen ollessa sulassa nestemäisessä muodossa, menetelmää kutsutaan sulatusleikkaukseksi. Sulatusleikkaus on kuitulaserin pääasiallinen käyttötapa ja tuo sen edut parhaiten esille.

Lasersäde toimii yhdessä erittäin puhtaan, inertin leikkauskaasun kanssa, joka puhaltaa sulan materiaalin pois leikkaurailosta, mutta ei osallistu itse leikkausprosessiin. Sulatukseen perustava laserleikkausmenetelmä soveltuu rautapitoisten materiaalien ja titaanin oksidivapaiden leikkausreunojen leikkaamiseen. Kuitulaserilla saavutetaan sulatusleikkauksessa erittäin nopeita leikkausnopeuksia, mikä laskee huomattavasti tuotantokustannuksia hiilidioksidilaserilaitteistoon verrattuna.

## 4.2 Laserleikkaus polttamalla

Toinen mahdollinen tapa leikata materiaalia on polttamalla. Tässä tapauksessa suurin ero sulatukseen on se, että leikkauskaasuna käytetään happea typen sijaan. Kuumentuneen metallin ja hapen välille syntyvä reaktio nostaa polttokohdan lämpötilaa entisestään. Leikatessa yli 6 mm paksuista levyä pystytään saavuttamaan parempia taloudellisia leikkausnopeuksia jo pienillä leikkaustehoilla. (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018)

Tästä syystä usein mustia teräksiä leikattaessa leikkausmenetelmänä on polttaminen. Leikkausparametrien kanssa on oltava tarkkana, jotta materiaali ei polta sulanutta materiaalia levynpinnan päälle aiheuttaen täten kappaleen valmistuksen epäonnistumisen. Vertailtaessa hiilidioksidi- ja kuitulaserin leikkaustapoja on tullut huomattua, että hiilidioksidikoneella leikkaustapa on usein polttamalla ja kuitulaserilla sulattamalla. Kuitulaserin korkean leikkausnopeuden takia yritykselle tulee kannattavammaksi valmistaa kaikista materiaaleista tuotteita sulattamalla, toisin kuin hiilidioksidikoneella, jolla on mentävä materiaalin mukaan, jolloin kirkkaat teräket valmistetaan sulattamalla ja mustat teräket polttamalla. Kuvassa 7 on esitetty polttopisteen paikka polttoleikkauksessa.



Kuva 7. Polttopisteen paikka polttoleikkauksessa (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018)

## **5 Materiaalin vaikutus leikkauksessa**

Tässä luvussa käsitellään materiaalin pinnanlaatua, niiden seosaineiden, säteen heijastumisen vaikutusta sekä eri ainevahvuuksien merkitystä leikkaukseen. Tarkastelussa käytetään niukkaseosteisia rakenneteräksiä, alumiinia sekä austeniittisiä teräksiä.

Leikkauksen tuloksena työkappaleen reuna saattaa olla täysin puhdas tai rosoinen ja jäysteinen. Keskeisiä leikkaukseen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat seosaineet, mikrorakenne, levyn alapinta, pintakäsittely, säteen heijastuminen, lämmönjohtokyky sekä sulamispiste.

### **5.1 Seosaineet materiaaleissa**

Seosaineet vaikuttavat olennaisesti materiaalien lujuuteen, ominaispainoon, hitsattavuuteen sekä hapettumisen- ja haponkestävyyteen. Merkittävimpiä rautaraaka-aineiden seosaineita ovat hiili, kromi, nikkeli, magnesium ja sinkki. Mitä korkeampi teräksen hiilipitoisuus on, sitä vaikeammin leikattavaa materiaali on. Kriittinen hiilipitoisuusraja on 0,8 %. (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018)

Leikkauksen laatu ja leikkausteho ovat riippuvaisia seosaineista. Rakenneteräksellä korkea pii-pitoisuus johtaa karkeaan leikkuureunaan ja se lisää kuonan sekä jäysteen muodostumista. Jos hiilipitoisuudet ovat enemmän kuin 0,16 %, se voi johtaa huonoon leikkauslaatuun, teräviin nurkkiin ja pieniin reikiin (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018).

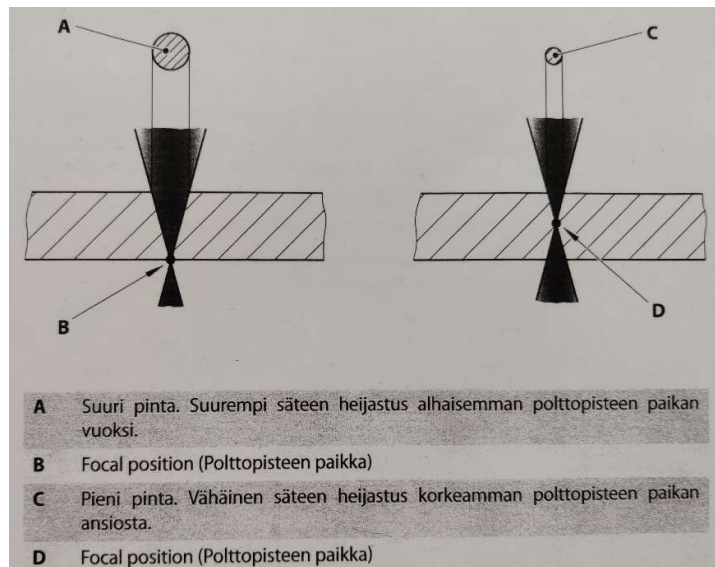
### **5.2 Levymateriaalin pinnan vaikutus leikkaukseen**

Leikattavan materiaalin yläpinnalla on suuri vaikutus siihen, minkälainen leikkauksen lopputulos sekä leikkausjälki ovat. Positiivisesti leikkauksen lopputulokseen ja leikkausjälkeen vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää peitattuja levyjä, valssaussiniset öljytyt levyt, hienorakeiset, joissa tasainen pinta ja pientä mikrohilsettä, myös hiekka- ja kuulapuhalletut pinnat ovat varauksella sopivia, mutta aina parempia mitä alati ruosteiset levyn pinnat. Päinvastaisesti negatiivisesti vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää, irtonainen valssaus- ja hehkutushilse, epätasainen pinta murtumiseen ja epäsäännöllisyyksineen, kaikenlainen lika yleensä levyn

pinnalla, teräksen leimaukset ja valssauskuviot, värimerkinnot, sekä pohjamaalit tai värit yleisesti.

### 5.3 Säteen heijastuminen levyn pinnasta

Säteen heijastuminen levyn pinnasta riippuu pitkälti perusmateriaalista, polttopisteen paikasta, pinnan karkeudesta ja pinnan käsittelytavasta. Alumiiniseoksilla, puhtaalla alumiinilla, hopealla, kuparilla, messingillä ja kromiteräksillä on erittäin suuri heijastuskyky. Levystä heijastumista pystytään kuitenkin valvomaan leikkauksen aikana. Mikäli tietty rajakynnys maksimissa ylittyy, laserlaitteisto saattaa automaattisesti kytkeytyä pois päältä ja käyttöruudulle ilmestyy virheilmoitus. Heijastumista voidaan kuitenkin rajoittaa laserteholla, polttopisteen paikan säätelyllä (kuva8) sekä leikkausnopeudella.



Kuva 8. Vertailu säteen heijastumisesta polttopisteen paikan perusteella (ByStar Fiber, Leikkaustekniikka, 2018)

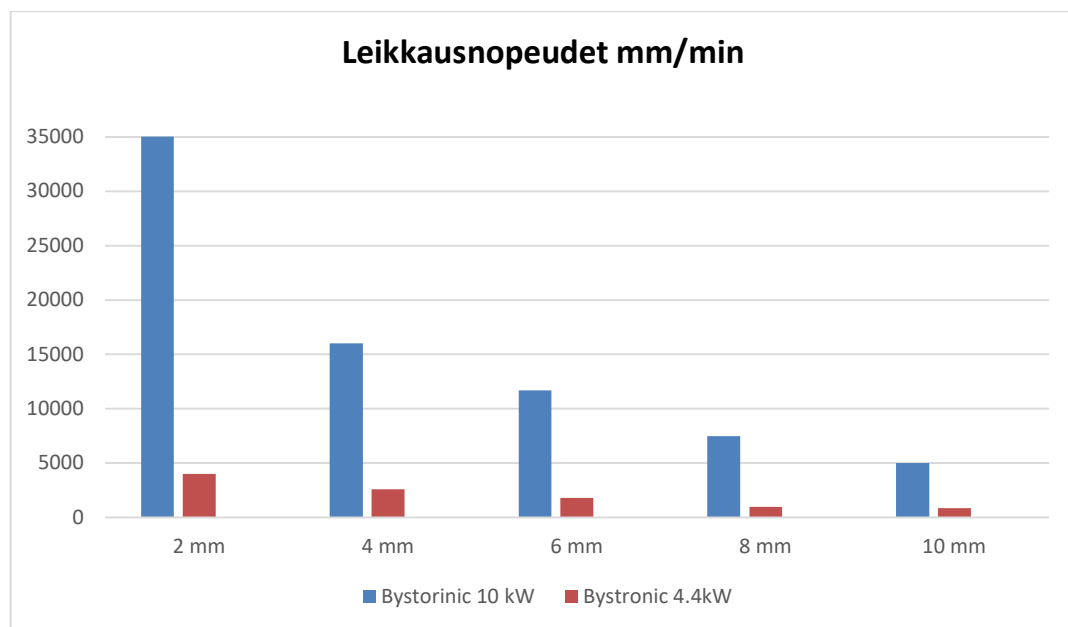
### 5.4 Levyainepaksuus hiidioksideleikkauksessa

Mahdollistettavan materiaalin ainevahvuus leikkautumiseen edellyttää riittävää koneen tehoa, oikeanlaista leikkauskaasua ja tiettyä materiaalia.

Yleisimpiä leikkausmateriaalien ainevahvuuksia hiilidioksidikoneelle (4.4kw) ovat niukkaseosteisiä rakenneteräksiä 0.5 - 20 mm, mutta suurin taloudellinen hyöty leikkaukseen saadaan useimmiten 0.5 - 12 mm vahvuuksilla.

### 5.5 Levyainepaksuus kuitulaserleikkauksessa

Koneen korkean hyötysuhteen ja suuren tehon ansiosta (10 kW) materiaalin ainevahvuus rakenneteräksissä kipuaa aina 30 mm asti tyypileikkauksessa, 30 mm austeniittisia leikatessa ja 40 mm alumiinia leikatessa. Suurin taloudellinen hyöty saadaan 2 - 20 mm (kuva 9), nimenomaisesti tyypileikkausta käytettäessä.



Kuva 9. Hiilidioksidi- ja kuitulaserleikkauksen leikkausnopeus, ruostumaton teräs tyyppi N<sub>2</sub>

## 6 Huolto

Huoltojen perusteella koneet eroavat suurelta osin toisistaan. Koska kuitulaserkoneen säteen muodostuminen koostuu ei-kaasumaisesta aineesta, sen huoltovarmuus on huomattavasti parempi kuin hiilidioksidilaserilla. Molempien koneiden huoltovälinä pyritään pitämään noin yhtä vuotta. Bystronicilta tulee huolto-

mies tekemään koneiden vuosihuollon, sillä suurinta osaa töistä ei suositella tekemään ilman koneen valmistajan hyväksymää huoltomiestä. Joitakin pieniä huoltotöitä voivat yrityksen työntekijät tehdä.

### **6.1 Hiilidioksidilaser**

Hiilidioksidilaserin tärkein sekä herkin osa on optiikka, joka määrittää leikkauksen lopputuloksen. On erittäin tärkeää, että kaikki koneen sisäiset peilit ja linssit huolletaan tarkasti. Suurin osa koneen sisäpuolella olevista peileistä näyttää samalta, joten niitä ei välttämättä tunnista ilman sarjanumeron tarkastusta. Peilejä on kahdenmallisia: suorasti tai epäsuorasti jäähdytettyjä. Linsseillä ja peileillä on erikoispinnoite, joten niiden käsittelyn tulee olla erityisen varovaista, ettei pinnoite kärsi ja leikkauksen laatu heikkene. Taittopeilien säätämällä saadaan lasersäde osumaan peilipinnan keskelle. Tätä varten käytetään kohdistustulkkia, johon laiteaan pahvilevy ja siihen kohdistetaan yksittäispulssi. Niin sanotun lankaristi tulee olla keskellä polttojälkeä, jotta voidaan todeta säteen olevan keskellä. Tämä toimenpide tehdään jokaisessa pöydän nurkkapisteessä, jotta säteen laatu ei vaihdu leikkauksen edetessä pöydän eri pisteisiin. Muita huollon yhteydessä tehtäviä töitä hiilidioksidilaserille ovat alipainepumpun öljynsuodattimen ja öljynvaihto, turbopuhaltimien laakerien rasvaus ja tarkastus, kaikkien pneumatiikkaliittimien tarkistus ja vaihto tarvittaessa. Vaihtopöydässä kulkee kaksi ketjua, jotka tulee puhdistaa ja tarkastaa niiden kuluneisuus sekä mahdolliset vauriot ja tämän jälkeen rasvata ja kiristää. Koneessa on hydraulinen yksikkö, joka tuottaa kaikki tarvittavan öljypaineen laitteeseen. Suositeltavaksi suodatinpatruunan vaihtoväliksi on annettu 1000 työtuntia (Bystronic Laser AG, 2004).

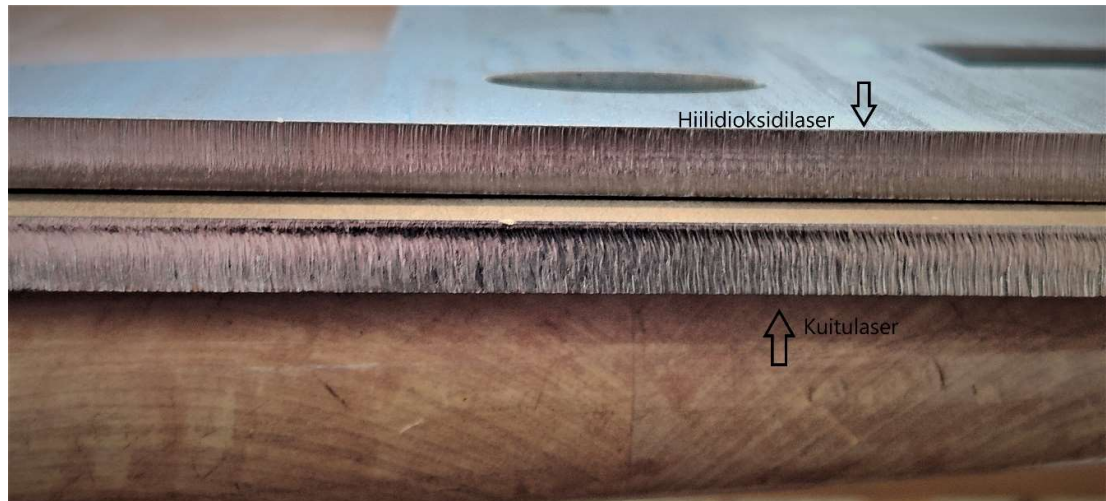
### **6.2 Kuitulaser**

Kuitulaserkoneessa säteen muodostuminen koostuu nimensä mukaan kuidusta, joten edellisessä kappaleessa mainitut koneen sisäiset peilit puuttuvat kokonaan ja tällöin myös kaikki siihen liittyvät huoltotyöt puuttuvat. Koneen huolto perustuukin pitkälti vain osien puhdistukseen ulkoisesti ja pitemmän aikavälin osien vaihtoon tarvittaessa. Tämä tarkoittaa sitä, että leikkuusillan johteiden puhdistaminen ja rasvaus on tärkeää. Bystronic on antanut pneumatiikkaosien vaihtoväliksi 1000

tuntia ja pöydänvaihdon nostoyksikön vaihteistoöljyn vaihtoväliksi noin 3000 tuntia. Leikkuupäästä ei suoriteta samanlaista polttopisteen paikkatestiä kuin hiilidioksidikoneessa, mutta leikkuupään puhdistaminen on erittäin tärkeää, sillä sen sisällä on kehittyneempää teknologiaa, mikä yleensä tarkoittaa myös sitä, että kone on herkempi myös kaikesta pölystä ja liasta aiheutuneista vikailmoituksista. Kun leikkuusilta on liikkunut koneen sisällä 100 000 metriä, kone suorittaa itsenäisesti rasvauksen ajamalla leikkuupäätä pöydän ristikkäisiin nurkkapisteisiin noin viiden minuutin ajan, jonka jälkeen se jatkaa käynnissä olevaa työtä.

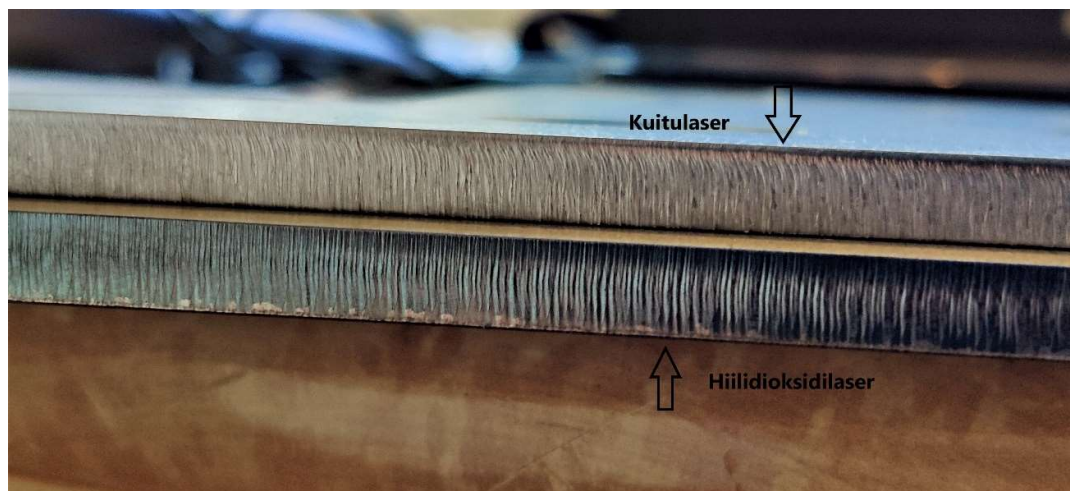
## **7 Testikappaleen leikkaus**

Tarkoituksena oli suunnitella kappale, jonka voi leikata molemmilla koneilla ja vertailla täten leikkautuvuutta, reikien onnistumista, leikkausaikaa sekä leikkauksen laatua. Tätä varten suunniteltiin ruostumattomasta teräksestä (kuva 10) ja tavallisesta rakenneteräksestä 6 mm paksu osa, jossa on erikokoisia reikiä. Leikkattavan kappaleen koon on oltava riittävän iso, muttei liian monimutkainen, jotta leikkaus kuitenkin onnistuisi molemmilla ongelmitta. Reikien kooksi muodostui halkaisijaltaan 4 mm, 10mm ja 24mm kokoiset reiät. Tämä sen takia, koska hiilidioksidilaserin niin kutsuttu reikävarmuus onnistumisen suhteen pienenee huomattavasti, mitä enemmän reikä on varsinaista leikkausmateriaalipaksuutta pienempi. Kappaleeseen tehtiin myös yksi terävä kärki, jotta voitaisiin tehdä havainnot, lähtekö kappale hitsaamaan liian pienen nurkkapyörityksen takia. Tätä ei leikkauksen aikana tapahtunut, joten molemmilla koneilla kappaleessa oli vauhtiin nähden riittävä kulmapyöritys.



Kuva 10. Ruostumattoman teräksen leikkausjälki molemmilla koneilla

Ruostumaton teräs leikattiin tyvellä molemmilla koneilla, mutta rakenneteräksestä (kuva 11) hiilidioksidikoneella ajettiin kappale hapella, koska se on huomattavasti varmempi leikkaustapa laadun kannalta kuin typpileikkaus. Nimenomaisesti rakenneterästä leikatessa leikkausjälki oli huomattavan erilainen, sillä hiilidioksidikone käytti leikkauskaasuna happea ja kuitulaser typeä.



Kuva 11. Rakenneteräksen leikkausjälki molemmilla koneilla

Kuitulaserkoneella molemmat kappaleet leikattiin tyvellä. Rakenneteräksessä kuitulaserilla leikattuna kappaleen alapintaan jäi hienoinen purse, mutta se oli tarpeeksi siisti, jotta tarpeen vaatiessa, jos osa olisi asiakkaan piirättämä, asiakas hyväksyisi leikkausjäljen. Molemmilla koneilla leikatut kappaleet olivat erittäin mittatarkkoja (kuva 12) sekä niiden leikkausjälki oli hyvä.

Hiilidioksidilaser	RST 6MM	Rakenneteräs 6MM
Leikkausnopeus, m/min	1,7	2
Kaasupaine, bar	15	0,6
Leikkausteho, W	4200	3600
Leikkauskaasu	Typpi	Happi
Leikkausaika, s	90	60
Mittatarkkuus, mm	0.05- 0.1	0.1-0.15
Polttopisteen paikka	9	3

Kuitulaser	RST 6MM	Rakenneteräs 6MM
Leikkausnopeus, m/min	10	11,7
Kaasupaine, bar	12	6,5
Leikkausteho, W	8000	10000
Leikkauskaasu	Typpi	Typpi
Leikkausaika, s	15	12
Mittatarkkuus, mm	0.01- 0.05	0.05-0.1
Polttopisteen paikka	7	3

Kuva 12. Vertailutaulukko eri materiaaleista leikatuista kappaleista

## 8 Yrityksen näkemys ja yhteenveto

Kun yritys päätti päivittää vanhemman 4 kW:n hiilidioksidikoneen 10 kW:een kuitukoneeseen, sen tarkoitus oli parantaa leikkauskapasiteettia ja mahdollistaa uusia asiakkaita. Kuitukone on ollut käytössä vuoden 2018 huhtikuusta, ja koneen päivityksen tuomista hyödyistä pystytään tekemään jo selkeitä huomioita. Yrityksen nykyiset asiakkaat ovat voineet tilata paksumpia levykappaleita, joita ei aikaisemmin ole pystytty leikkaamaan. Ennen kuitukoneen tuloa Savira Oy joutui käyttämään usein omia alihankkijoita toimittamaan yli 15mm levyosia. Näiden osalta voidaan siis todeta, että leikkauskapasiteetti on kasvanut vertailtaessa nimenomaisesti materiaalipaksuuksia. Yrityksen sähkölaskussa huomattiin myös suuri muutos, kun noin kolmasosa sähkökustannuksista väheni johtuen kuitulaserin sähkönkulutuksen pienentymisestä niin leikatessa kuin tyhjäkäynnillä. Toisin kuin hiilidioksidikone, jonka sähkönkulutus tyhjäkäyntinä on erittäin paljon suurempi. Kuitulaserkone on huomattavasti huoltoystävällisempi kuin mitä hiilidioksidikone, koska koneessa ei ole peilioptiikkaa ja säde tulee suoraan kuitua pitkin. Yhteenvetona voidaan todeta, että yrityksen päivitettyä vanha kone uuteen kuitukoneeseen on päivitys ollut kannattava. Yritys on pystynyt kasvattamaan materiaalipaksuuden ja materiaalikirjaston kasvulla lievästi asiakkaille leikattavan materiaalin määrää. Kun tarkastellaan opinnäytetyön tekijän näkökulmasta, huomattiin kirjoittajan perehtyneen entistä syvemälle koneiden sisältöön ja oppineen paljon uutta. Kaiken kaikkiaan työ oli erittäin mukava ja mielenkiintoinen

tehdä. Työnaikana opittua asiaa voidaan käyttää hyväksi työelämässä, sekä tarpeen vaatiessa myös joissakin koulutustilaisuuksissa.

## Lähteet

Anttila, A. 2010. Kulutusteräksen CO<sub>2</sub>-laserleikkaus. Luettu 8.2.2020

Avio 2016, Fiber laser welder. <http://www.avio.co.jp/english/products/assem/li-neup/laser/fiber.html>. Luettu 14.1.2020

Be Group Terminen leikkaus. <https://www.begroup.fi/palvelut/terminen-leikkaus/>. Luettu 20.3.2020

ByStar Fiber 2018, Leikkaustekniikka.

Bystronic Laser AG 2004, Käyttöohjeet.

EMJ Metals, 2017, Metallin leikkaaminen plasmalaitteilla. [https://emjmetals.lv/fi\\_fi/metallityosto/plasmaleikkaus\\_](https://emjmetals.lv/fi_fi/metallityosto/plasmaleikkaus_) Luettu 19.3.2020

Fibre delivered laser beam cutting optimisation, 2013. <http://www.filco-project.eu/the-project.jsp>. Luettu 3.2.2020

Flinkenberg Polttoleikkaus 2020. <https://www.flinkenberg.fi/steel/teraslevyt/polttoleikkaus/> Luettu 20.3.2020

Ionix Plasmaleikkaus 2020. <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/plasmatyosto/plasmaleikkaus/> Luettu 17.3.2020

Kauppinen, K. 2016. Hiilidioksidi ja kuitulaserin vertailu. Luettu 8.2.2020

Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. Lasertyöstö. Teknologiateollisuuden julkaisuja nro 3/2005. Tampere. Tammer-Paino Oy

Salminen, J. 2015. Kiinnittimen suunnittelu laserleikkuriin. Luettu 8.2.2020

Tibnor 3 Asiaa plasmaleikkauksesta – tiesitkö?. [https://www.tibnor.fi/esikasittely/esikasittelyvinkkeja/plasmaleikkaus\\_](https://www.tibnor.fi/esikasittely/esikasittelyvinkkeja/plasmaleikkaus_) Luettu 21.3.2020

Wikimedia Commons 2009 Roland Brierre, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser\\_CO2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser_CO2.png). Luettu 18.1.2020

Wikipedia Vesisuihkuleikkaus 2018, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Vesisuihkuleikkaus>. Luettu 24.4.2020