

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Lasertyöstön laboratorio

LUT Scientific and Expertise Publications  
Tutkimusraportit – Research Reports 55

## **Lasertekniikan kehittäminen taiteilijayhteistyön kautta Lares-projektin loppuraportti**

Marika Hirvimäki, Projektitutkija (M.Sc.)  
Matti Manninen, Projektitutkija (M.Sc.)  
Heidi Piili, Tutkija (D.Sc.,AmO)  
Antti Salminen, Professori (D.Sc.)

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RESIDENSSIJAKSOT</b> .....	<b>3</b>
2.1	WILLIAM DENNISUK, KUVANVEISTÄJÄ .....	4
2.1.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	5
2.1.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	5
2.2.	ELLA KETTUNEN, GRAAFIKKO/INTARSIA .....	6
2.2.1.	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	6
2.2.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	7
2.3	ADAM GRINOVICH, KORUTAITEILIIJA .....	8
2.3.1	Käytetyt digitaaliset valmistusmenetelmät ja materiaalit .....	9
2.3.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	9
2.4.	INNI PÄRNÄNEN, KORUTAITEILIIJA/MUOTOILIIJA .....	10
2.4.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	11
2.4.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	11
2.5.	EKKEHARD ALTENBURGER, KUVANVEISTÄJÄ .....	13
2.5.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	13
2.5.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	13
2.6	ANNU VERTANEN, GRAAFIKKO .....	17
2.6.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	17
2.6.2	Työn eteneminen .....	18
2.7	KIRSI KAULANEN, KUVANVEISTÄJÄ .....	19
2.7.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	20
2.7.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	20
2.8	MUHAMMED ZEESHAN, GRAAFIKKO .....	22
2.8.1	Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit .....	22
2.8.2	Työn eteneminen ja saadut opit .....	22
<b>3</b>	<b>TEKNISTEN PIIRUSTUSTEN LUOMINEN LAREKSESSA</b> .....	<b>22</b>
3.1	TYÖKAAVIO IDEOINNISTA VALMIISEEN TEOKSEEN .....	23
3.2	PIIRUSTUSTEN LUOMINEN .....	25
3.3	ONGELMAKOHTIA PIIRUSTUSTEN LUOMISESSA .....	26
3.4	PIIRUSTUSTEN MUOKKAAMINEN YKSINKERTAISEMMILLA VIIVOILLA .....	27
<b>4.</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>29</b>
	<b>LÄHTEET:</b> .....	<b>29</b>

## 1 Johdanto

Ennen modernin teknologian aikaa taiteilijoita pidettiin tekniikan innovaattoreina. Nykyisin innovaatioita harvoin syntyy, ellei taustalla ole myös tekniikan koulutusta (Malina F. 1974). Taiteesta kuitenkin otetaan edelleenkin ratkaisuja teknologian sovelluskohteisiin ja näistä yhtenä esimerkkinä voidaan mainita Michiganin yliopistossa tehty tutkimus, jossa japanilaisessa kirigami-taiteessa käytettyjä tekniikoita sovellettiin aurinkokennojen kehitykseen (Lamoureux et al. 2015).

Kirjallisuudessa on jonkun verran käsitelty aihetta, miten monialainen yhteistyö ja nimenomaan luovan alan ammattilaisen ja insinöörin välinen yhteistyö on auttanut hahmottamaan tekniikan rajoitteita ja tukemaan uusien teknologisten ratkaisujen syntymistä. Yhteistyön on todettu lisäävän usein uudenlaisia vaatimuksia. Ratkaisujen löytäminen voi olla jopa suhteellisen helppoa, mutta niiden läpikäyminen synnyttää kysymyksiä joihin insinöörien on vaikea vastata. Tällöin insinööri joutuu tarkastelemaan omaa tuttua maailmaa vierain ehdoin ja termein (Candy, L. and Edmonds, E. 2002).

Luovien alojen ja insinöörin työskentelykulttuuriset erot aiheuttavat yhteistyölle omat haasteensa ja etunsa. Luovilla aloilla, erityisesti taiteessa, tavoitteena on löytää tapoja puhutella ihmisten tunteita ja työntekoa ei ohjaa tieteessä taas kunnioitetut totuus ja fakta. Tästä yhtenä esimerkkinä voidaan mainita 3D-mallit, joissa insinööri haluaa päästä mahdollisimman lähelle todellista kappaletta. Taiteilijan tavoite taas saattaa olla 3D-malli, joka muistuttaa vain etäisesti alkuperäistä kohdetta. (Candy, L. and Edmonds, E. 2002) Taiteilijan työssä lähtökohtana on mielikuvitus ja ideoiden leikittely, joita kaventamalla taiteilija etenee kohti päämäärää. Tämän tyylinen työskentely tarjoaa paljon empiiristä pohjaa insinööri työskentelylle joka taas toimii lähtökohtana uusille teknologille innovaatioille (Malina, F. 1974, Maijanen, E. 2015)

Yhteistyön taustalla täytyy aina olla tekniikan ja taiteen ymmärryksen lisäksi kyky kommunikoida ja kuunnella toista, löytää kumpaakin osapuolta motivoivat tavoitteet ja kanavat jakaa tietoa (Candy, L. and Edmonds, E. 2002) Yhteistyö vaatii erilaisten näkemysten ja persoonallisuuksien hyväksymistä sekä jossain määrin luopumista osaamisensa ja ammattitaitonsa rajojen vartioinnista. Yhteisen kielen löytyminen ei aina ole kovinkaan helppoa. Ammattikieli ja argumentointi voi olla hyvinkin erilaista kahden tai useamman alan kohdatessa. Kielellisten muurien purkamisessa voidaan hyödyntää kuvia, prototyyppisiä ja tarinajuonteita. (Hirvimäki, M. 2015)

Tekes rahoitteinen Lares-projekti (Lasertaideresidenssi tunnearvoa konkretisoivana työkaluna, 1.1.2014-30.4.2016) kuuluu Fiiliksestä Fyrkkaa-ohjelmaan. Projektissa oli mukana Lappeenrannan teknillisen yliopiston lasertyöstön laboratorio (LUT Laser), Saimaan ammattikorkeakoulun (Saimaan AMK) liiketalous ja kuvataide sekä 6 yritystä (Puustelli Oy, Kalevala koru Oy, Oras Oy, Ylämaan Graniitti Oy, AM Finland Oy ja Suparinpei Oy). Projektiin valittiin 8 taiteilijaa hakuprosessin kautta.

Lares-projektissa uutta osaamista ja uudenlaisia ajattelumalleja tavoiteltiin LUT:n laserlaboratorion yhteyteen perustetun taiteilijaresidenssin kautta, jossa taiteilijat työskentelivät yhdessä lasertyöstön laboratorion tutkijoiden kanssa. Projektissa käytettiin digitaalisia valmistustekniikoita, joita ovat mm. laserpohjaiset valmistustekniikat sekä lisäävä valmistus eli ns. 3D-tulostus. Projektin päätavoitteena oli kerätä kuvataiteilijoiden ammatillisen identiteetin ja kulttuurin kautta muodostunutta hiljaista tietoa, ja käsitteellistää se sovellettavaksi yritysten arvonluontiprosesseissa kokemusten ja merkitysten osuuden lisäämiseksi.

Teknisestä näkökulmasta projektin tavoitteena oli siirtää lasertuntemusta luoville aloille siten, että lasertekniikka toimii taiteilijan työvälineenä konkretisoida visuaalista osaamista. Projektin haasteena oli tunnistaa taiteilijoiden ja yritysten tarpeita ja löytää niille lasertekninen ratkaisu.

Projektin loppuraportti on jaettu 5 osaan:

1. Taiteilijaresidenssi Skinnarilan kampuksella
2. Taiteilijoiden luovan työn diskurssit – Tutkimusaineiston keruu ja analysointi
3. Mitä insinööri ja liikemies voisivat oppia taiteilijalta?
4. Lasertekniikan kehittäminen taiteilijayhteisön kautta
5. Lasertekniikan tutkijan ja taiteilijan yhteinen oppimismatka Lares-projektin aikana – Monialaisuuden huomioiminen opetustilanteessa

Tässä loppuraportissa esitellään aihetta: Lasertekniikan kehittäminen taiteilijayhteisön kautta. Loppuraportissa käydään läpi jokaisen taiteilijan tekemistä teoksista ja kokeista muutama esimerkki, jotka ovat tukeneet teknologian kehittämistä ja tämän lisäksi teknisten piirustusten luominen ja siitä saadut opit projektin aikana.

## **2 Residenssijaksot**

Lares-projektissa oli yhteensä kahdeksan residenssijaksota, joiden aikana työskenteli kahdeksan taiteilijaa. Taiteilijat valittiin avoimen hakuprosessin kautta. Hakemuksia tuli yhteensä 139. Valintakriteereinä oli: taiteilijoiden ideoiden toteutettavuus LUT Laserin laserlaitteilla, taiteellinen tausta ja taso sekä soveltuvuus tutkimukseen ja hankkeen tavoitteisiin. Projektiin haluttiin mukaan nuoria ja kokeneempia taiteilijoita sekä suomalaisia ja ulkomaalaisia samassa suhteessa, mitä hakemuksia oli tullut. Projektiin valittiin mukaan: graafikko Ella Kettunen, korutaiteilija Adam Grinovich, muotoilija/korutaiteilija Inni Pärnänen, kuvanveistäjä Ekkehard Altenburger, graafikko Annu Vertanen, kuvanveistäjä Kirsi Kaulanen ja graafikko Muhammad Zeeshan. Ennen varsinaista residenssiaikaa suoritettiin pilotointivaihe kesällä 2014. Tähän osallistui tutkimusryhmämme lisäksi kuvanveistäjä William Dennisuk jonka kanssa olimme aikaisemmin tehneet yhteistyötä.

Jokainen taiteilija vieraili residenssissä 1-2 kk ajan, siten että residenssissä oli 1-2 taiteilijaa samaan aikaan. Heillä oli mahdollista työssään hyödyntää seuraavia laserprosesseja: leikkaus, hitsaus, merkkäus, pinnoitus, taivutus ja 3D-tulostus. Materiaalivaihtoehtoja olivat metallit ja epämetallit (esim. puu, kangas, muovi, keraami). Taulukossa I on esitetty LUT Laserin laitekanta. Lisätietoa projektista ja teoskuvia löytyy osoitteesta: [www.laser-art-residence.fi](http://www.laser-art-residence.fi).

Taulukko I LUT Laserin laserlaitteet ja laserprosessit.

Prosessit	Materiaalit	Laser	Max. työalue
<b>Hitsaus</b>	Metallit	5 and 10 kW	6 x 2 m
	Muovit (polymeerit)	200 W diodi 200 W kuitu	40 x 40 – 100 x 100 mm 150 x 150 mm
<b>Leikkaus</b>	Paperi, puu, kangas, nahka, muovi, kartonki...	2.5 kw CO2 120 W CO2	1 x 0.5 m 1,3 x 0.9 m
	Metallit	5 ja 10 kW 2,7 kW 80 W pulssi	6 x 2 m 2.5 x 1.25 m 210 x 350 mm
<b>Pinnoitus, karkaisu</b>	Metallit	5 ja 10 kW	8 x 3 m
<b>Merkkaus</b>	Epämetallit	120 W CO2	1.3 x 0.9 m
	Puu	2.5 kW CO2	1 x 0.5 m
	Metallit, keraamit, muovit, kivi, päällystetty kartonki, lasi	20 W pulssi 80 W pulssi	20 W: 54 x 54 mm 20 W: 165 x 165 mm 80 W: 210 x 350 mm
	Metallit, muovit, päällystetty kartonki, lasi	200 W kuitu	450 x 450 mm
<b>Kaiverus</b>	Metallit, keraamit, muovit, kivi	20 W pulssi	20 W: 54 x 54 mm 20 W: 165 x 165 mm
		80 W pulssi	80 W: 210 x 350 mm
<b>Taivutus</b>	Metallit	5 ja 10 kW	8 x 3 m
	Metallit	20 W pulssi	54 x 54 mm 165 x 165
<b>3D tulostus</b>	Metallijauhe	200 W fiber	245 x 245 x 215 mm

## 2.1 William Dennisuk, kuvanveistäjä

Ennen varsinaista residenssin alkua käynnistettiin pilot-residenssi. Pilot-vaiheeseen osallistui kuvanveistäjä William Dennisuk, jonka kanssa olimme tehneet yhteistyötä jo aikaisemminkin (lähde: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187538921501545X>). Pilotresidenssin aikana saimme arvokasta tietoa, miten residenssitoimintaa tulee kehittää ja muuttaa, mutta tämän lisäksi saimme myös selville valmistukseen liittyviä pullonkauloja.

Williamin yritysparina oli Ylämaan Graniitti ja heidän yhteistyönsä tuloksena syntyi n. 2 m korkea kiviveistos (kuva 1). William ja Ylämaan Graniitti ovat jatkaneet yhteistyötä myös residenssin jälkeen osallistumalla mm. Vaalimaan liittymän kilpailuun.



**Kuva 1.** Kiviveistos (Design: William Dennisuk ja valmistus: Ylämaan Graniitti).

### 2.1.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,5 kW CO <sub>2</sub>	ruostumaton teräs
2,7 kW CO <sub>2</sub>	vaneri

### 2.1.2 Työn eteneminen ja saadut opit

William teki itse piirustukset, mutta häntä tuettiin järjestämällä pilot-residenssin aikana pienimuotoinen työpaja, johon osallistui viisi LUT Laserin tutkijaa. Piirustusten lisäksi työpajassa ratkaistiin valmistusteknisiä haasteita ja käytiin läpi erilaisia materiaalivaihtoehtoja.

Lopullinen työ oli noin 2 m korkea ohuista laserleikatuista metalliosista koottu teos (kuva 2). Teoksen kokoamisessa hyödynnettiin laserleikattuja vanerisia tukilevyjä. William hitsasi teokseen kasaan taivutettujen metallitankojen avulla.



Kuva 2. a) Tukilevyt, b) veistoksen osat ja c) valmis veistos.

#### Saadut opit tekniikan näkökulmasta:

- pitkien ja kapeiden teräskappaleiden leikkaaminen
- oppia residenssitoimintaan esim. valmistuksen pullonkaulat taiteilijan näkökulmasta

#### 2.2. Ella Kettunen, Graafikko/Intarsia

Lares-projektin ensimmäinen residenssivierailija, Ella Kettunen, oli residenssissä 1.9.-30.9.2014. Hänellä ei ollut aikaisempaa kokemusta laserlaitteista eikä Solidworks-piirustusohjelmasta. Ella oli ensisijaisesti kiinnostunut puumateriaaleista ja laserien mahdollisuuksista intarsian tekemisessä. Tämän lisäksi häntä kiinnosti puun kaiverrus painolevyjen valmistuksessa.

Ellan yrityspariksi valittiin Puustelli, ja yhteistyö aloitettiin ennen residenssiaikaa etäpalaverilla, jossa käytiin läpi yhteisiä toiveita ja tavoitteita. Vierailulla Puustellin Harjavallan tehtaalla tarkennettiin materiaalivalintoja ja työn kulkua. Puustelli oli ensisijaisesti kiinnostunut materiaaliensa laserleikkauksesta ja merkkauksesta, johon residenssijaksolla pystyttiin löytämään vastauksia ja toimittamaan heille demonstraatiokappaleita. Työn etenemisestä tiedotettiin kerran viikossa residenssin aikana.

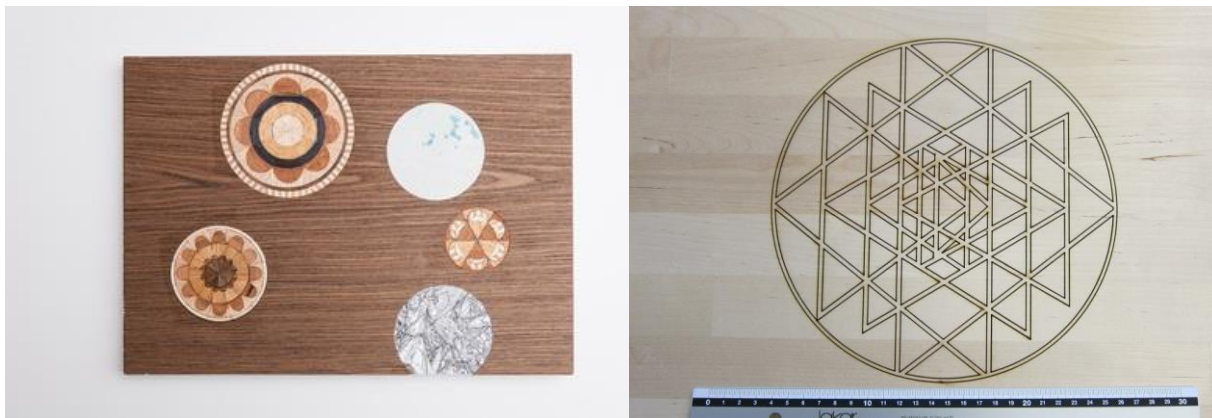
##### 2.2.1. Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,5 kW CO <sub>2</sub>	ruostumaton teräs
2,7 kW CO <sub>2</sub>	Erilaiset viilut (Ellan omia, Puustellin ja Etelä-Karjalan puunsorvaajien viilut), massiivipuu
20 W pulssikuitu	marmori, posliini

### 2.2.2 Työn eteneminen ja saadut opit

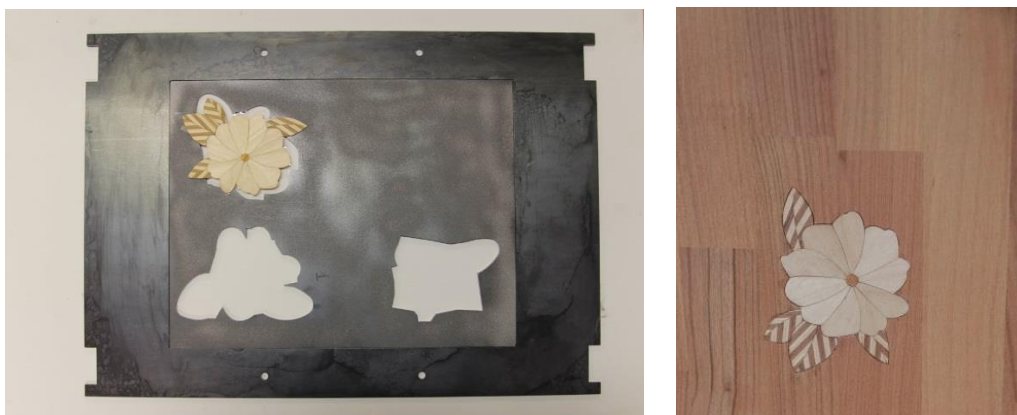
Ella oli ennen residenssiin tuloa tehnyt kuusi luonnosta käsin, jotka hän halusi toteuttaa residenssin aikana. Ennen laserleikkausta kuvat piti muuttaa teknisiksi piirustuksiksi Solidworksisilla ja tähän vaiheeseen Ella sai apua sekä opastusta LUT Laserin lisäksi Saimaan AMK:lta. Ella pystyi lopulta tekemään kaikki piirustukset itse, mikä mahdollisti suunniteltua useamman työn toteuttamisen kuukauden aikana.

Viilujen laserleikkaus ja puun kaiverrus onnistuivat hyvin ja tulokset vastasivat Ellan asettamia laatuvaatimuksia. Laatuvaatimuksena pidettiin siistejä palamattomia reunoja ja tarkkoja piirustusten mukaisia kappaleita. Teosten tekeminen oli tekniikan ja käsityön yhdistämistä, sillä laserleikkauksen jälkeen Ella liimasi viilupalat kiinni alustaan halutun kuvion mukaisesti ja laittoi työn kuivumaan puristimien alle (esimerkkinä kuva 3a). Laserkaiverrettu laatta (kuva 3b) vaatii vielä käsin kaivertamista, jotta sitä voidaan käyttää grafiikassa painolaattana. Käsin kaiverrus on hidasta ja laserlaitteen apu on lähinnä tarkat apuviivat geometrisessa muodossa. Myöhemmin tähän toi paremman vaihtoehdon projektin aikana hankittu uusi CO<sub>2</sub>-laserlaite, jolla voidaan poistaa laajempia alueita.



**Kuva 3.** a) Intarsia työ, joka koostuu laserleikatuista viiluista ja b) laserkaiverrus puulle.

Osan viiluista Ella upotti Puustellilta saadun massiivipuun sisälle. Koska massiivipuun kaivertaminen tasaisesti käsin on hankalaa, metallilevystä valmistettiin laserleikkaamalla sapluuna, jonka avulla voitiin koneellisesti jyrsiä halutun syvyinen ja muotoinen alue ruusua varten (kuvat 4 a ja b). Sapluuna muodostui kolmesta alueesta joita siirtämällä saatiin tarkka mittoja vastaava tasainen alue valmistettua.



**Kuva 4.** a) Metallinen sapluuna ja b) valmis työ.



Residenssin aikana Ellaa kannustettiin kokeilemaan puun lisäksi muita materiaalivaihtoehtoja ja myös muita laserlaitteita CO<sub>2</sub>-lasereiden lisäksi. Ella innostui keraamien merkkauksesta ja hän toi mukanaan erilaisia esineitä joihin suunnitteli merkattavia kuvioita (kuva 5 a ja b). Merkkkaus on prosessina nopea ja mahdollisti nopeasti teosten tekemisen sekä toi sitä kautta Ellalle uudenlaisen kokemuksen lasertekniikan eduista.



Kuva 5. a) Lasermerkattu keraamilaatta ja b) lasermerkattu posliinilautanen.

### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- Uutta tietoa epämetallisten materiaalien työstöön käytettävän CO<sub>2</sub>-laserlaitteen rajoitteista ja mahdollisuuksista, kun leikataan pieniä yksityiskohtia (n. 2-3 mm kokoiset palaset leikkautuivat vielä, pienemmät menivät silpuksi)
- Piirustusten siirtäminen työkoneille onnistuu parhaiten, jos ne piirretään pelkästään ympyrän kaarista tai viivoista (ei ns. vapaita kaaria)
- Marmoria ja posliinia ei oltu aikaisemmin LUT Laserilla merkattu ja laadullisesti saatu tulos oli hyvä ja antaa mahdollisuuden jatkotutkimukselle (artikkeleja aiheesta ei löydy)
- Intarsian tekeminen laseravusteisesti on maailmanlaajuisestikin uusi menetelmä, jonka todettiin nopeuttavan valmistusta ja mahdollistavan esim. sarjatuotannon

### 2.3 Adam Grinovich, korutaiteilija

Adamin residenssijakso oli 1.10.-30.11.2014. Adamilla oli aikaisempaa kokemusta 3D-tulostamisesta ja 3D-mallien piirtämisestä Rhinoceros-ohjelmalla. Residenssijaksolla hän halusi keskittyä nimenomaan 3D-tulostamiseen. Tämän lisäksi hän oli avoin muillekin laserprosesseille, joilla voitiin helpottaa ja nopeuttaa korujen valmistusta.

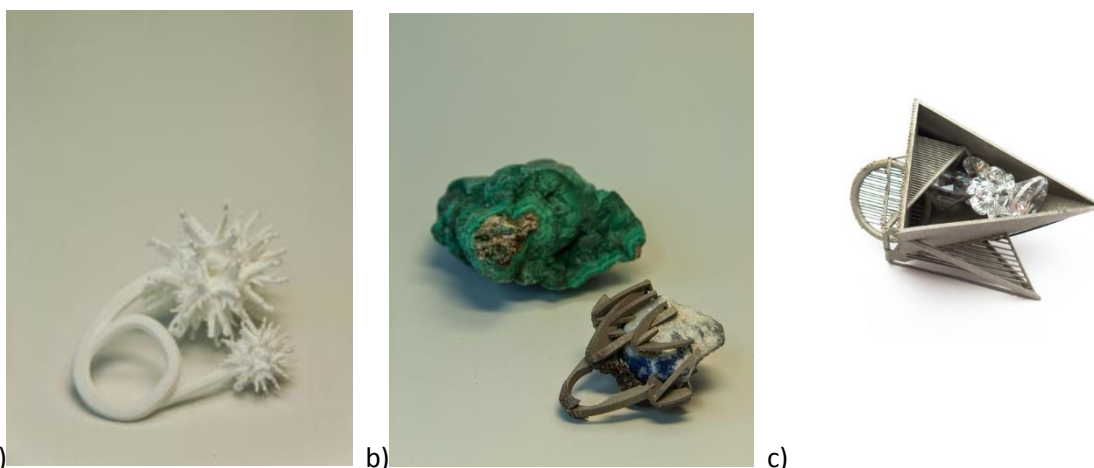
Adan Grinovichin yritysparina oli AM Finland. Ennen residenssijaksoa yritysyhteistyö aloitettiin syyskuussa etäpalaverilla, jossa käytiin läpi yrityksen ja taiteilijan tavoitteita. Päättävöitteeksi muodostui AM Finlandin 3D-tulostimen soveltuvuuden testaaminen korusovelluksille ja demonstraatiokappaleiden valmistaminen AM Finlandin verkkosivuille. Koska Adam ei asu Suomessa tapaaminen ennen residenssin alkua ei ollut mahdollista, joten yhteinen palaveri järjestettiin residenssijakson aikana Lahdessa. Taiteilijan ja yrityksen yhteistyö on jatkunut residenssiajan jälkeenkin ja AM Finland ja Adam ovat yhteistyössä valmistaneet useita taidekoruja.

### 2.3.1 Käytetyt digitaaliset valmistusmenetelmät ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
3D-tulostin, metalli (AM Finland, LUT Laser)	ruostumaton teräsjauhe
3D-tulostin, muovi (Materflow)	muovijauhe
2,7 kW CO <sub>2</sub>	ruostumaton teräs
2,5 kW CO <sub>2</sub>	ruostumaton teräs

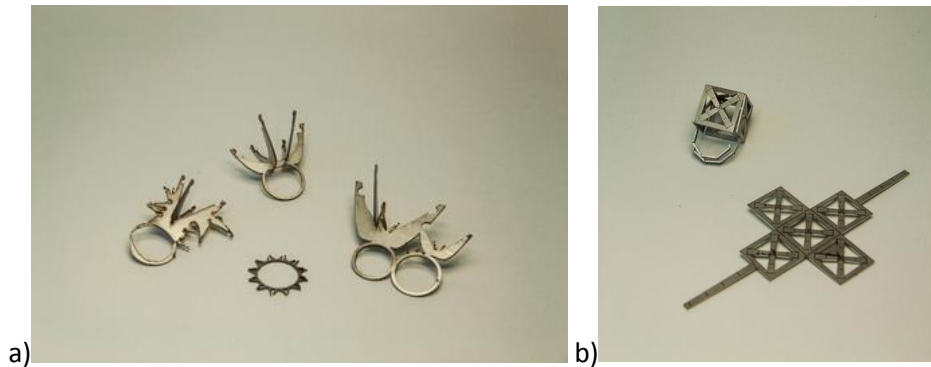
### 2.3.2 Työn eteneminen ja saadut opit

Adamilla oli vahva 3D-mallinnusosaaminen eikä hän tarvinnut piirustusten tekemisessä apua tai opastusta. Adamin päätavoitteena oli valmistaa haastavia ohuita rakenteita, joiden tulostaminen oli juuri ja juuri mahdollista 3D-tulostimille. Alkuperäisenä ajatuksena oli tarkoitus hyödyntää Saimaan AMK:n muovitulostinta, mutta Adamin suunnittelemat mallit olivat liian hentoja rakenteeltaan koneen resoluutiolle, joten teokset tehtiin Materflow Oy:llä Lahdessa (kuva 12a). AM Finlandilla Adam valmisti useita sormuksia, joihin istutti kiviä (kuva 6 b ja c). Sormukset onnistuivat piirustusten mukaisesti. Tyypillisesti valmistuksessa kappaletta tukevat tukirakenteet poistetaan, mutta Adam hyödynsi niitä osittain osina teoksiaan (Kuva 6 c).



**Kuva 6.** a) Muovitulostettu sormus (Materflow Oy) ja b) metallinen sormus (AM Finland).

Näiden lisäksi tehtiin laserleikkauskokeita, joiden tarkoituksena oli kokeilla laserleikkauksen soveltuvuutta koruaihoiden valmistusmenetelmänä. Aikataulun takia osa kokeista jouduttiin leikkaamaan 2.7 kW CO<sub>2</sub>-laserlaitteella, koska 2.5 kW CO<sub>2</sub>-laser (LUT:n levytyöasema, jossa mukana laserlaite) oli varattu. Koska 2.7 kW CO<sub>2</sub>-laser on nimenomaan tarkoitettu epämetallisten materiaalien laserleikkaamiseen ja metallia leikattaessa laatuvaatimukset eivät täytyneet reunan laadun osalta, vaan reunoissa oli pursetta ja palamisen aiheuttamaan tummentumaa. Kokeet antoivat taiteilijalle kuitenkin kokemusta laserleikkaamisesta ja aihoiden toimivuudesta taidekoruina (kuva 7 a). Kuvan 7 b kokeissa käytettiin 2,5 kW CO<sub>2</sub>-laserlaitetta, jolla leikattiin korun osat ja katkoviivalla taitoskohdat, joiden tarkoitus oli helpottaa käsin taivutusta. Valittu materiaali oli kuitenkin liian paksua korusovelluksille ja kokeita ohuemmalla materiaalilla ei ehditty tekemään Adamin residenssijaksolla. Samaa ajatusta kuitenkin hyödynnettiin jatkossa Ekkehard Altenburgin residenssijaksen aikana.



**Kuva 7.** a) Laserleikattuja sormuksia ja b) laserleikattu sormus.

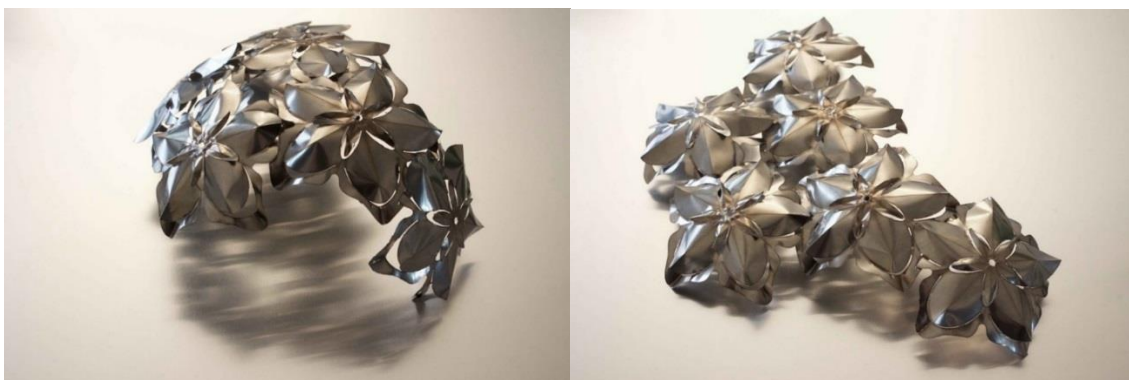
#### Saadut opit tekniikan näkökulmasta:

- Teräslevyn taivutus laserleikatun katkoviivan avulla. Tutkimusta hyödynnettiin ja jatkettiin lasertaideresidenssin aikana Ekkerhard Altenburgin kanssa
- Haastavien ohuiden rakenteiden tulostus metallista ja muovista
- 3D-tulostuksen soveltuvuudesta korutuotteille
- Tukirakenteiden hyödyntäminen osana kappaleita joka antoi uusia näkökulmia erilaisiin tapoihin tarkastella esineitä

#### 2.4. Inni Pärnänen, Korutaiteilija/muotoilija

Inni Pärnäsen residenssijakso oli 1.12.2014-31.1.2015. Inni oli ensisijaisesti kiinnostunut ohuen vanerin laserleikkaamisesta, josta hänellä oli myös aikaisempaa kokemusta. Residenssin aikana Innille annettiin Solidworks-koulutusta ja hän teki osittain itse piirustukset.

Yritysparina residenssijaksolla oli Suparinpei Oy:stä Timo Jokitalo sekä Saimian ja LUT Laserin edustajat. Palaverissa käytiin läpi mahdolliset laserprosessit sekä projektin tavoite ja kulku. Inni täsmensi vielä ajatuksiaan ennen residenssiin saapumista ja piti Helsingissä uuden palaverin Timo Jokitalon kanssa selventäen yritysyhteistyön tavoitteita. Heitä kumpaakin kiinnostava aihe oli lasertaiivutus ja kokeita jatkettiin vielä residenssijakson jälkeenkin syksyllä 2015. Innillä on suunnitteilla uusi tuoteperhe, johon idea lähti residenssijakson kokeista. Tuoteperhe on suunnattu nimenomaan kuluttajamarkkinoille. Ensimmäisiä prototyyppejä on esitetty kuvassa 8.



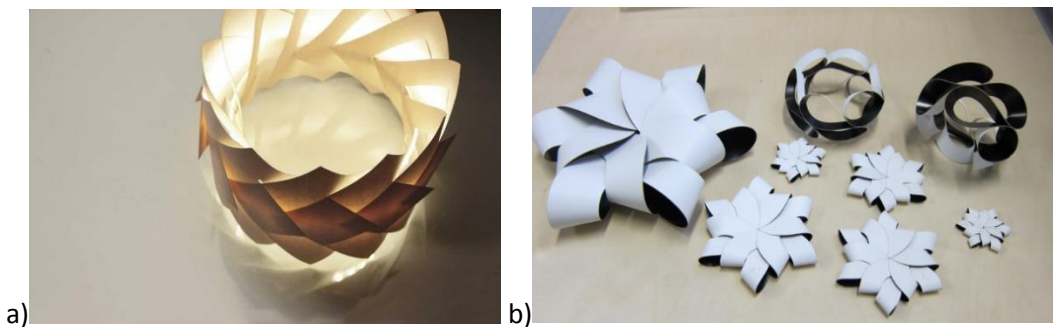
**Kuva 8.** Lasertaiivutuksen avulla valmistettuja kappaleita.

### 2.4.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,7 kW CO <sub>2</sub>	vaneri, nahka, alumiininauha, paperi
200 W kuitulaser	vaneri, painopelti (alumiini), ohut teräslevy

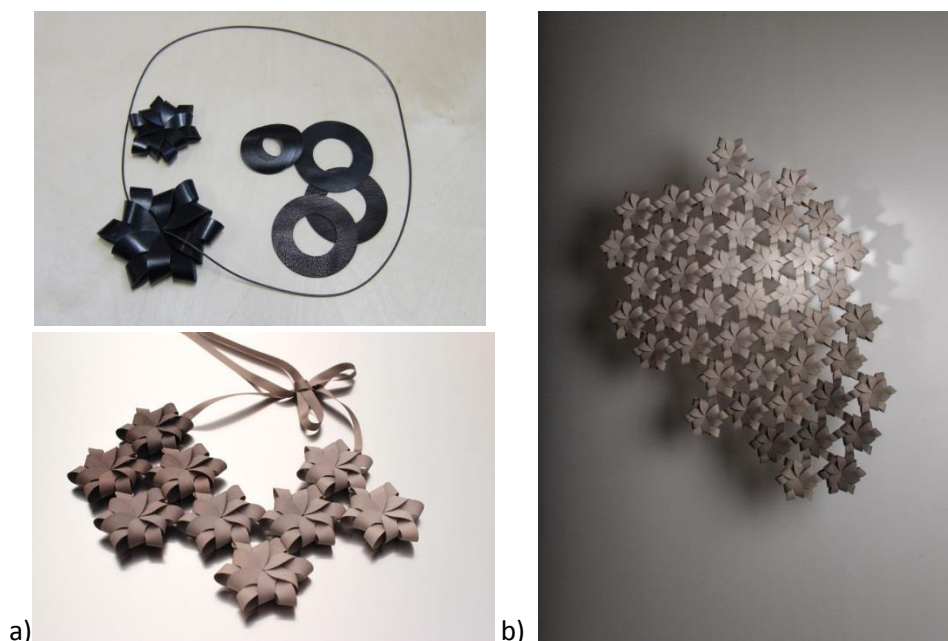
### 2.4.2 Työn eteneminen ja saadut opit

Ensimmäisenä kokeena laserleikattiin lampun varjostin vanerista (Kuva 9 a). Malli oli jo olemassa ennen residenssin alkua, mutta mittoja muutettiin liitoskohtien yhteensopivuuden takia.



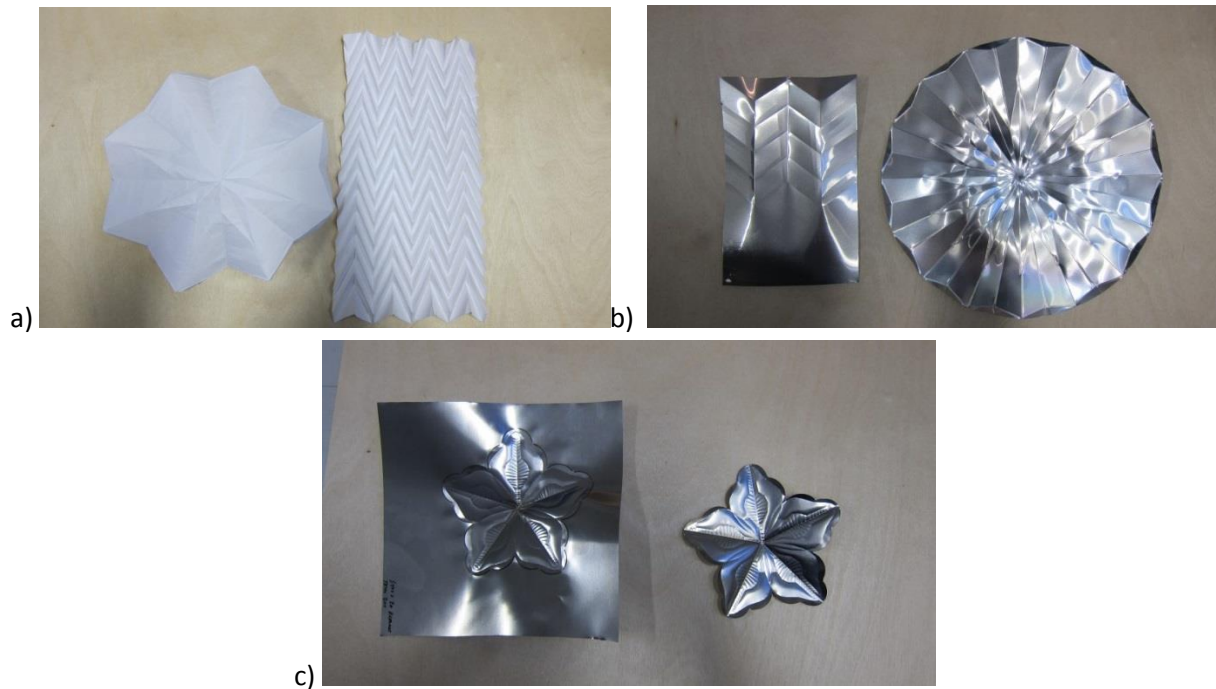
**Kuva 9.** a) Laserleikattu lampun varjostin ja b) laserleikattuja prototyyppejä.

Paperiprototia tehtiin hyrrä-teosta ja käsirenkaita varten (kuva 9 b). Tässä hyödynnettiin aikaisempaa kokemusta paperin laserleikkaamisesta, mutta sen sijaan LUT Lasereilla harvoin tehdään nopeita prototia paperimateriaalista. Kun prototyypit oli saatu valmiiksi ja liitoskohdat todettu hyväksi hyrrän aihiot laserleikattiin ohuesta vanerilevystä. Ennen laserleikkaamista Inni värjäsi vanerin ja laserleikkauksen jälkeen hän taivutti vanerin käsin haluttuun muotoon. Pienimmistä aihioista Inni valmisti kaulakoruja (kuva 10 a). Isommat hyrrät toimivat tilanjakajina (kuva 10 b). Hyrrä-mallilla leikattiin myös nahkasta aihiot, joista valmistui kaulakoruja (kuva 10 a).



**Kuva 10.** a) Laserleikattu kaulakoruja ja b) hyrrä-tilanjakaja.





**Kuva 12.** a) Paperiprotot taivutuskokeita varten, b) lasermuokattu painopelti ja c) lasermuokattu levy.

### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- Nahkan laserleikkaus ja sen mahdollisuudet teollisuudessa (aiheesta kirjoitettiin artikkeli: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215015187>)
- Metallin lasermuokkaus ja taivutus ovat vähän tutkittuja aiheita maailmanlaajuisesti. Kokeet auttoivat ymmärtämään prosessia enemmän ja antoivat hyvän lähtökohdan lisätutkimukselle.
- Ideoita lasermuokkauksen sovelluskohteista
- Lasermuokkauksen hallittavuus osittaisella laserleikkauksella
- Lasermuokkauksen monitorointi ja sitä kautta prosessin hallittavuus
- Puumateriaalin lasermerkkaus 200 W kuitulaserilla
- Alumiinin laserleikkautuvuus 2.7 kW CO<sub>2</sub>-laserilla

### 2.5. Ekkehard Altenburger, kuvanveistäjä

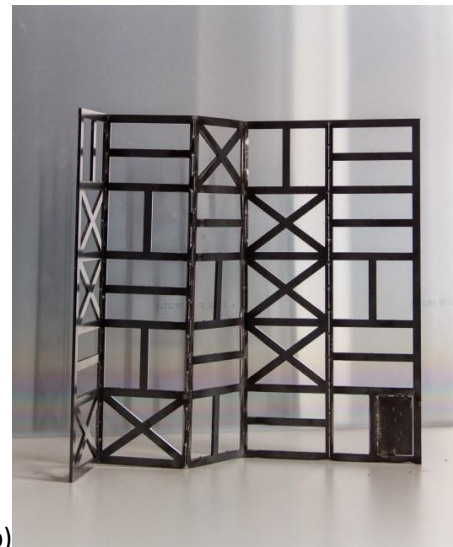
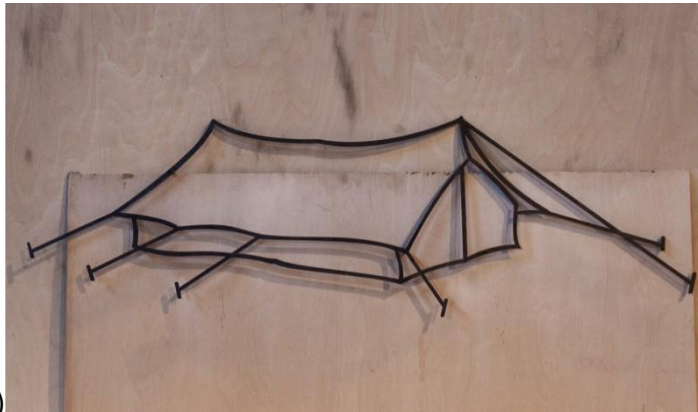
Ekkehard Altenburger vieraili residenssissä 1.2.-30.2.2015. Hänellä oli aikaisempaa kokemusta lasertekniikasta teostensa valmistuksessa, koska hänellä itsellään on myös CO<sub>2</sub>-laserlaite jota hän käyttää epämetallisten materiaalien leikkaamiseen mm. paperi. Ekkehard osasi itse tehdä piirustukset Rhinoceros-ohjelmalla eikä näin olleen hyödyntänyt Lares-projektin aikaista Solidworks koulutusta.

#### 2.5.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,5 kW CO <sub>2</sub>	teräs
20 W pulssikuitu	peili

#### 2.5.2 Työn eteneminen ja saadut opit

Ekkehardin ensimmäinen työ oli "telttä"-teos (kuva 13 a), jonka Ekkehard oli suunnitellut ennen residenssiin tuloa. Kappale on laserleikattu 2,5 kW CO<sub>2</sub>-laserlaitteella metallilevystä.


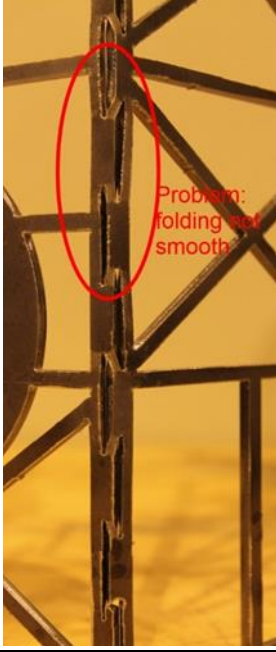



a) Kuva 13. a) Telttä-teos ja b) taivutettu ja leikattu teräslevy.

Telttä teoksen jälkeen Ekkehard keskittyi taivutuskokeisiin (esimerkki esitetty kuvassa 13 b). Taivutuskokeissa hän hyödynsi laserleikattua katko- ja limiviivaa ja taivutukset taiteilija teki käsin. Taulukossa II on esitetty taivutuskokeiden vaiheet. Testisarja edustaa hyvin iteratiivista prosessia joka liittyy oleellisena osana tieteen ja taiteen tekemiseen.

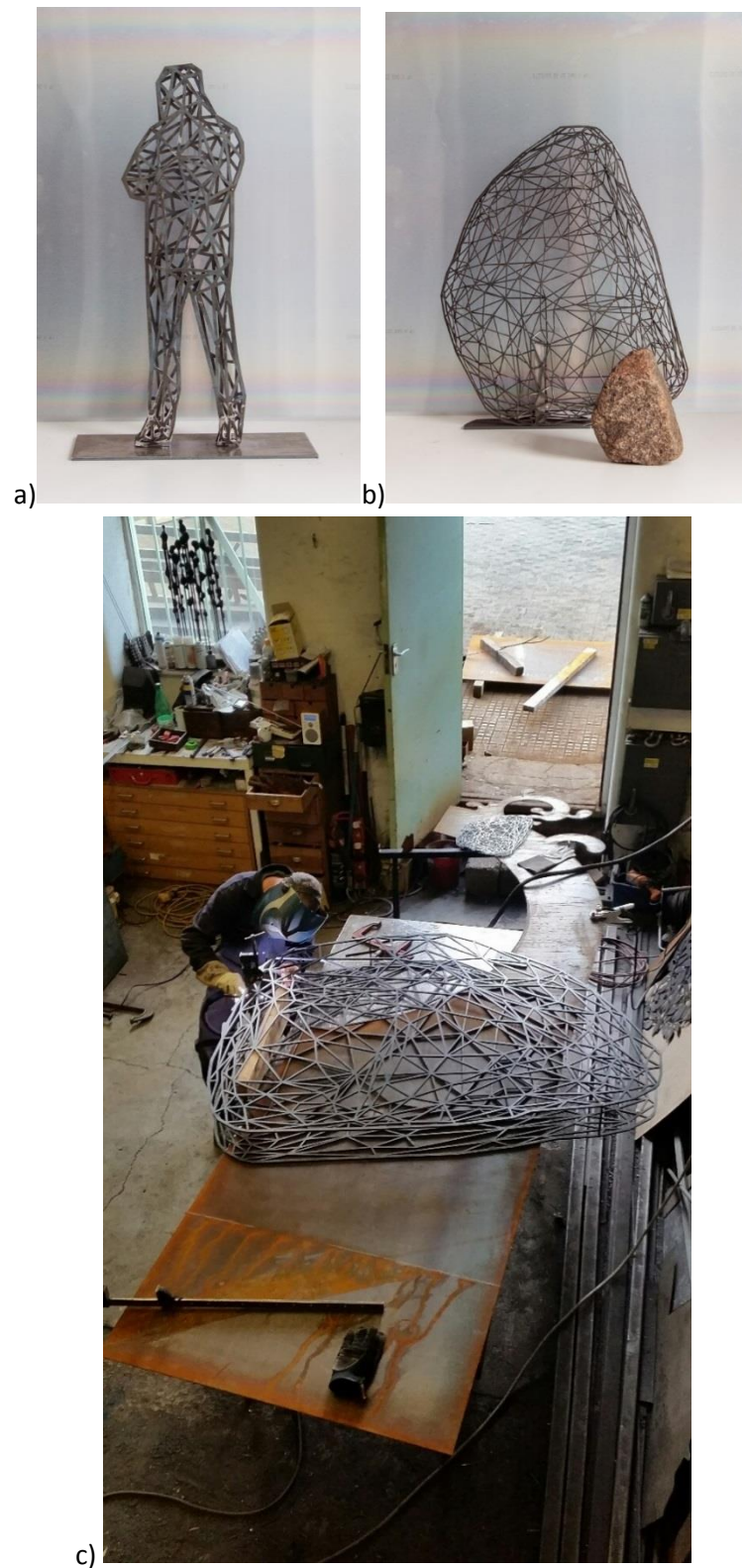
Taulukko II Lasertaivutuskokeita Ekkehard Altenburgerin residensijaksolla.

Testi	1	2	3
Kuva			
Testin tulos	Kappaleeseen on laserleikattu katkoviiva. Taivutuksessa levyn reunat ottivat kiinni toisiinsa ja taitoskohta on "pullahtanut" auki.	Kappaleeseen on laser-leikattu limittäiset viivat. Nämä leikkausviivat ovat liian lähellä toisiaan ja taivutuksessa kannas on murtunut ja taitokseen muodostunut reikiä	Laserleikkaus testi tehty samalla tavalla kuin testissä 2, mutta leikatut viivat ovat hieman kauempana toisistaan. Taitokseen on edelleen tullut reikiä.

Testi	4	5	6
Kuva			
Testin tulos	Kappaleeseen on laserleikattu limittäiset viivat. Viivat ovat liian kaukana toisistaan ja taivutus on vaatinut paljon voimaa. Taivutus ei ole siisti.	Kappaleeseen on laserleikattu limittäiset viivat. Viivat ovat lähempänä toisiaan kuin testissä 4, mutta edelleen liian kaukana toisistaan.	Optimietäisyydet limivii-voille. Taitos on siisti ja taivutus onnistuu helposti käsivoimin.

Taiteellisesti mielenkiintoinen idea oli kolmiulotteisen efektien luominen kahden teräslevyn avulla. Ekkehard skannasi kiven sekä itsensä ja hyödynsi skannauksessa syntyneen verkkomaisuuden, jonka resoluution hän muutti mahdollisimman epätarkaksi. Hän otti muodostuneen 3D-mallin etu- ja takapuolelta 2D-piirustukset, joiden mukaan laserleikkaus tehtiin. Valmiissa työssä laserleikatut levyt on asetettu lähelle toisiaan ja 3D-efekti muodostuu 2 leikatun teräslevyn avulla (kuva 14 a ja b). Residenssin jälkeen Ekkehard on tehnyt kiven vielä isompikokoisena hyödyntäen residenssinaikana saaneita oppeja (kuva 14 c). Sekä Polygon me, että Saima kivi –teokset (kuva 14 a ja b) ovat sittemmin hyväksytyt näyttille Royal Academyn vuoden 2016 kesänäyttelyyn Royal Academy of Arts instituuttiin Lontooseen. Suurempi teos (kuva 14 c) tulee näytteille Cube Galleryyn Brockleyhin toukokuun 2016 lopulla.

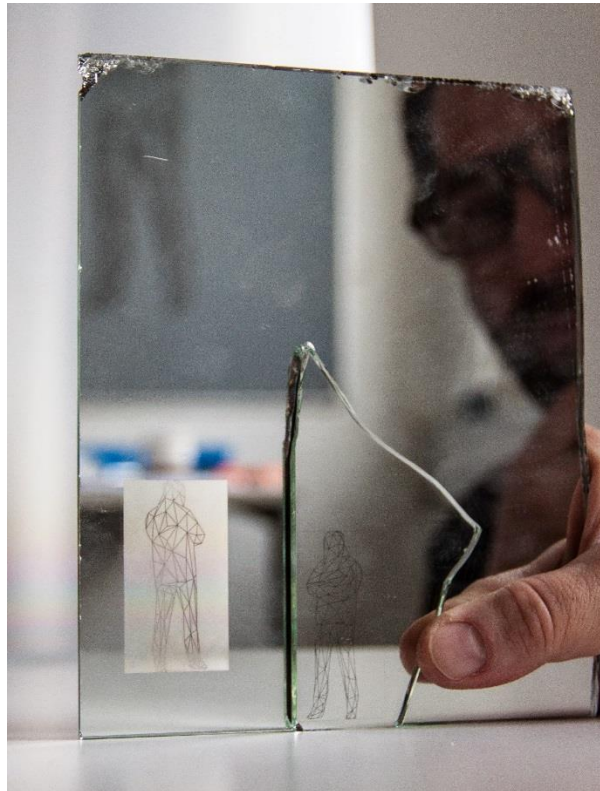




**Kuva 14.** a) Polygon me-teos, b) Saima kivi-teos ja c) isommaksi skaalattu Saima kivi-veistos.

Ekkehard oli kiinnostunut myös lasermerkkauksesta joten hänen kanssa tehtiin myös yksi kokeilu peilin merkkauksesta. Peilimateriaalia poistettiin peilin taustapuolelta 20 W pulssilaserilla. Kuvassa 15 on esitetty merkattu peilikappale. Johtuen laserlaitteen rajoitteista, materiaali voitiin siististi merkata vain pieneltä alueelta. Taustalla olevasta peilistä on poistettu Polygon me-mallin ympäriltä peilin taustamateriaalia siten,

että pelkästään malli on jäänyt koskemattomaksi, muuten peili on muuttunut läpinäkyväksi lasertyöstetyltä alueelta. Edessä olevassa peilipalassessa on poistettu peilin taustamateriaalia vain Polygon me-mallin rajat.



**Kuva 15.** Peiliin lasermerkattu Polygon me-mallikuva.

### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- Katkoviivan ja limittäisen viivan hyödyntäminen paksun teräksen käsin taivutuksessa
- 3D skannauksen hyödyntäminen piirustusten tekemisessä
- Putken leikkaukseen saatu oppi (selvitystyö ennen residenssin alkua ja residenssin aluksi. Putken leikkausta ei tehty residenssin aikana)

## 2.6 Annu Vertanen, graafikko

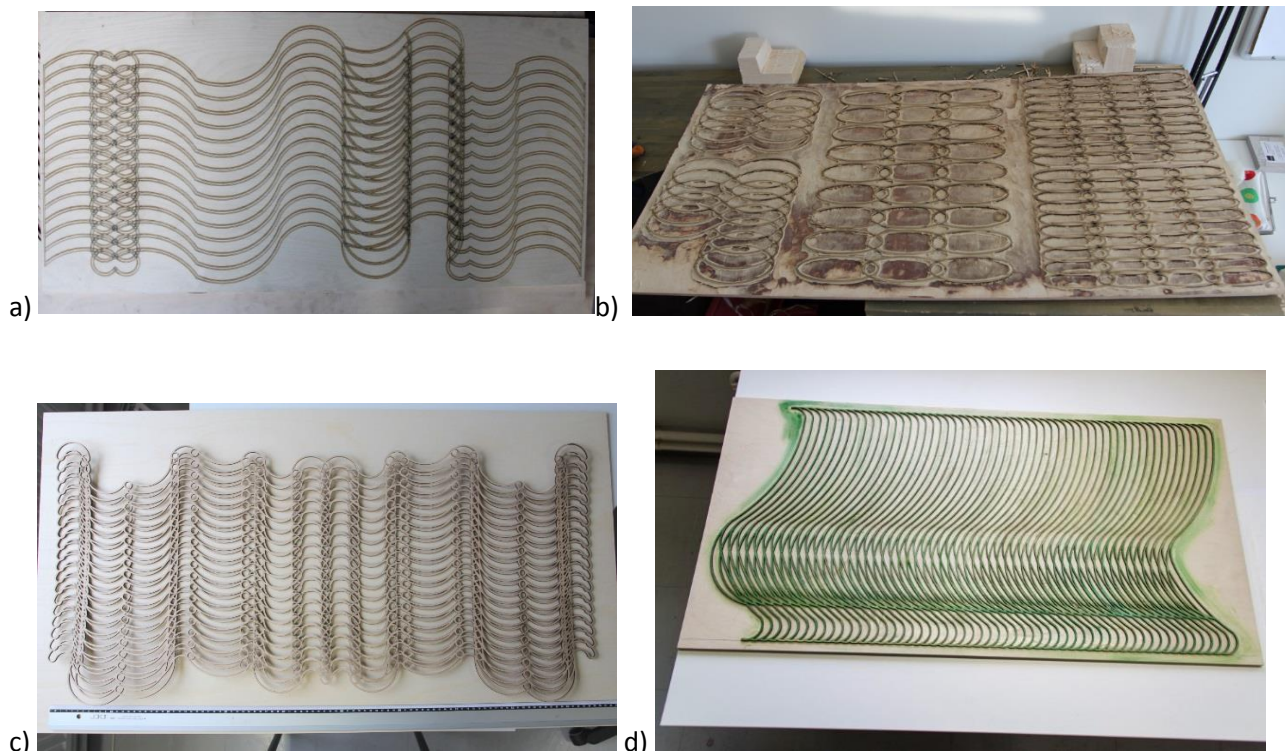
Annu Vertasen residenssijakso oli 1.3.-30.4.2015. Annulla ei ollut aikaisempaa kokemusta lasertekniikasta eikä teknisten piirustusten tekemisestä. Hän kuitenkin oli halukas opiskelemaan Solidworksin käyttöä ja teki kaikki piirustukset residenssin aikana itse. Annu halusi nimenomaan oppia miten voi hyödyntää lasertekniikkaa painolevyjen valmistuksessa.

### 2.6.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,5 kW CO <sub>2</sub>	teräs
2,7 kW CO <sub>2</sub>	vaneri, akryyli
20 W pulssikuitu	peili

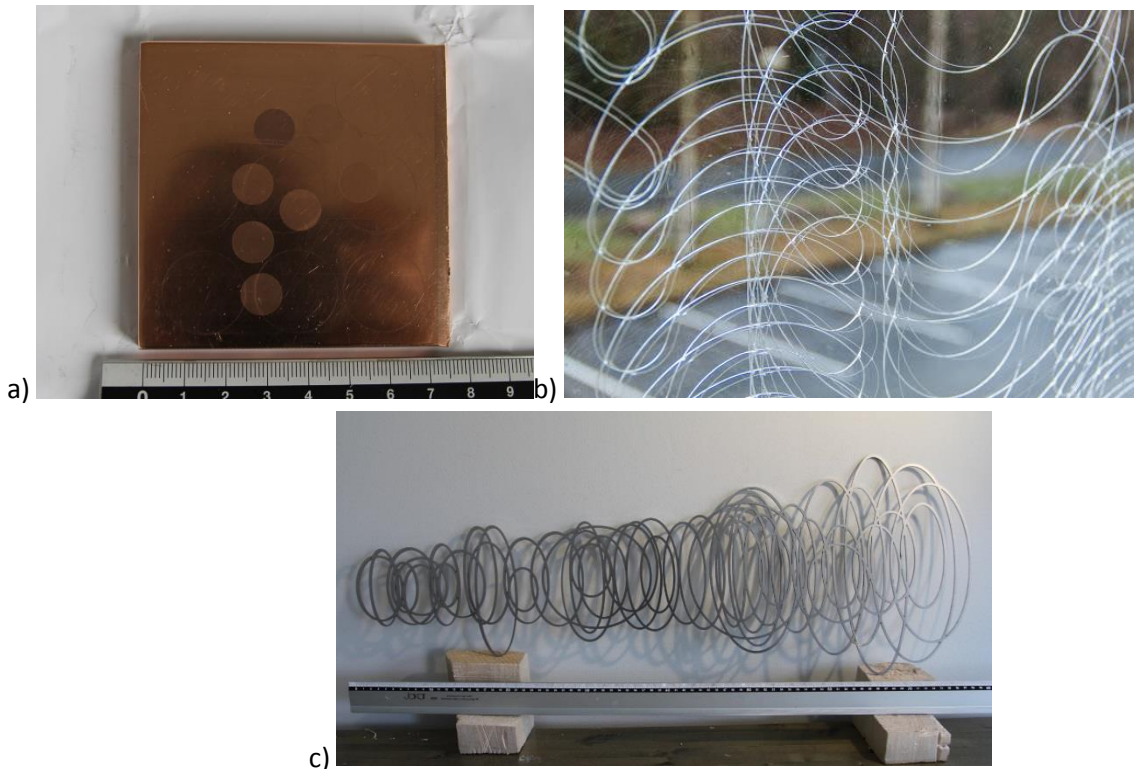
## 2.6.2 Työn eteneminen

Annun toiveena oli löytää uudenlaisia ratkaisuja painolaattojen tekemiseen. Aluksi painolaattoja tehtiin kaivertamalla puuhun ns. apuviivat CO<sub>2</sub>-laserlaitteella ja Annu poisti ylimääräisen materiaalin käsin kaivertamalla (Kuva 16 a ja b). Menetelmä oli hidas ja tämän takia yhteistyössä syntyi ajatus, että muoto voitaisiin ensin laserleikata ohuesta vanerista ja liimata tämän jälkeen alustalle. Samalla tavalla valmistetaan mm. leimasimia. Ensimmäiset vanerin laserleikkauskokeet onnistuivat kohtalaisesti. Vanerin leikkaamisessa suurin ongelma oli leikkauksen aikana irronneet palat, jotka ottivat välillä suuttimeen kiinni. Tämän lisäksi itse leikkaus aiheutti todella paljon savua. Muoto myös rikkoutui helpolla, koska leikattavat muodot olivat suhteellisin ohuita ja monimutkaisia. Leikkaamalla useita kappaleita saatiin myös onnistuneita tuloksia aikaiseksi ja Annu pystyi liimaamaan rikkoutuneita paloja paikoilleen. Laserleikkaamalla voitiin mahdollistaa painolaattojen nopeampi valmistaminen (kuva 16 c ja d). Siinä missä ennen painolaatan kaivertaminen olisi vienyt pari viikkoa vähintään, se saatiin nyt tehtyä parissa päivässä, josta suurin osa ajasta kului liiman kuivumiseen.



**Kuva 16.** Painolaattojen valmistusta a) laserkaivertamalla, b) viimeistely käsin kaivertamalla, c) laserleikattu vaneri ja d) valmis painolaatta.

Vaneristen painolaattojen lisäksi Annun kanssa kokeiltiin kaivertaa akryyliin ja kupariin uraa (kuva 17 a ja b). Kupari on hyvin yleisesti käytetty materiaali painolaatoissa ja laserilla saatiin hyvä jälki aikaiseksi, mutta pieni työalue rajoitti tekemistä. Akryylin kaiverrus onnistui pääsääntöisesti hyvällä laadulla. Viivojen risteyskohdassa syntyi ns. muovipiikki jota ei pystytty välttämään. Viimeisenä työnä tehtiin laserleikkaamalla metallilevystä reliefi. Leikkaamisessa haasteena oli monet pienet osat, jotka eivät leikkautuneet läpi asti ja näin kappaleen jälkityöstö (kiinni jääneiden palojen irrotus) vaati aikaa (kuva 17 c). Lisäksi ongelmia aiheutti piirustustiedoston siirtäminen työkoneelle, koska piirustus sisälsi runsaasti ellipsimuotoja, joita työkone ei sellaisenaan osannut tulkitä. Piirustusten muokkaamiseen liittyvät ongelmat saatiin onneksi ratkaistua.



**Kuva 17.** Laserkaiverrettu kupari b) akryyli c) laserleikattu metallilevy

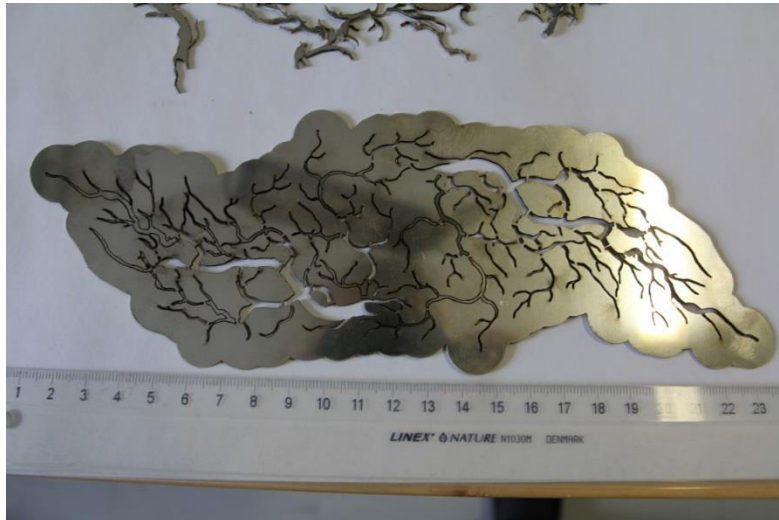
#### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- Ohueen vaneriin monimutkaisen muodon laserleikkaaminen
- Akryylin kaiverrus
- Kuparin kaiverrus ja merkkkaus painolaatan valmistuksessa
- Piirustusten muuttaminen koneen ymmärtämään muotoon

#### 2.7 Kirsi Kaulanen, kuvanveistäjä

Kirsi Kaulanen oli Lares-residenssissä 1.4.-31.5.2015. Kirsillä oli paljon aikaisempaa kokemusta laserleikkaamisesta, koska hän oli hyödyntänyt tekniikkaa veistoksissaan jo noin 10 vuoden ajan. Piirustusten tekeminen tapahtui Kirsin omien yhteystyökumppaneiden kautta, mutta tarjosimme siihen lisäapua sekä Saimian että LUT laserin toimesta.

Kirsin yritysparina toimi Kalevala Koru. Kalevala Korun ja Kirsin yhteinen mielenkiinnon kohde oli hopean laserleikkaus. Tätä varten LUT Laserilla otettiin uusi laserlaite käyttöön, 80 W pulssikuitulaserlaite. Residenssijakson aikana tehtiin muutama hopean leikkaustesti ja leikattiin yksi rannekoru valmiiksi asti (kuva 18). Hopean leikkauksen todettiin onnistuvan, mutta leikkaus on hidasta ja aiheuttaa pursetta levyn alapinnalle leikkauskohtaan. Koru lähetettiin Kalevala Korulle kiillotettavaksi ja taivutukseen. Suunniteltu muoto ei kuitenkaan kestänyt taivutusta vaan vaati muutoksia designiin. Kirsi jatkaa yhteistyötä Kalevala Korun kanssa Lares-projektin jälkeen.



**Kuva 18.** Hopeasta leikattu rannerengas.

### 2.7.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
2,5 kW CO <sub>2</sub>	kiiltohehkutettu ruostumaton teräs
80 W pulssikuitu	hopea

### 2.7.2 Työn eteneminen ja saadut opit

Kirsin päätyö residenssiaikana oli valmistaa Meilahden kutsukilpailuun kilpailutyö (kuva 19 b). Hän toi mukanaan plastoliinista tehdyn "Viola"-veistoksen (kuva 19 a). Työ skannattiin ja saadun mallin avulla piirrettiin kukan ja lehtien ruodot, jotka tämän jälkeen laserleikattiin teräslevystä CO<sub>2</sub>-laserlaitteella. Samoin laserleikattiin kukan ja lehden pinnan muodostavat spiraalit, varsi ja juurakko. Pienimmät spiraalit laserhitsattiin kukan keskelle ja muut osat liitettiin TIG-hitsaamalla.



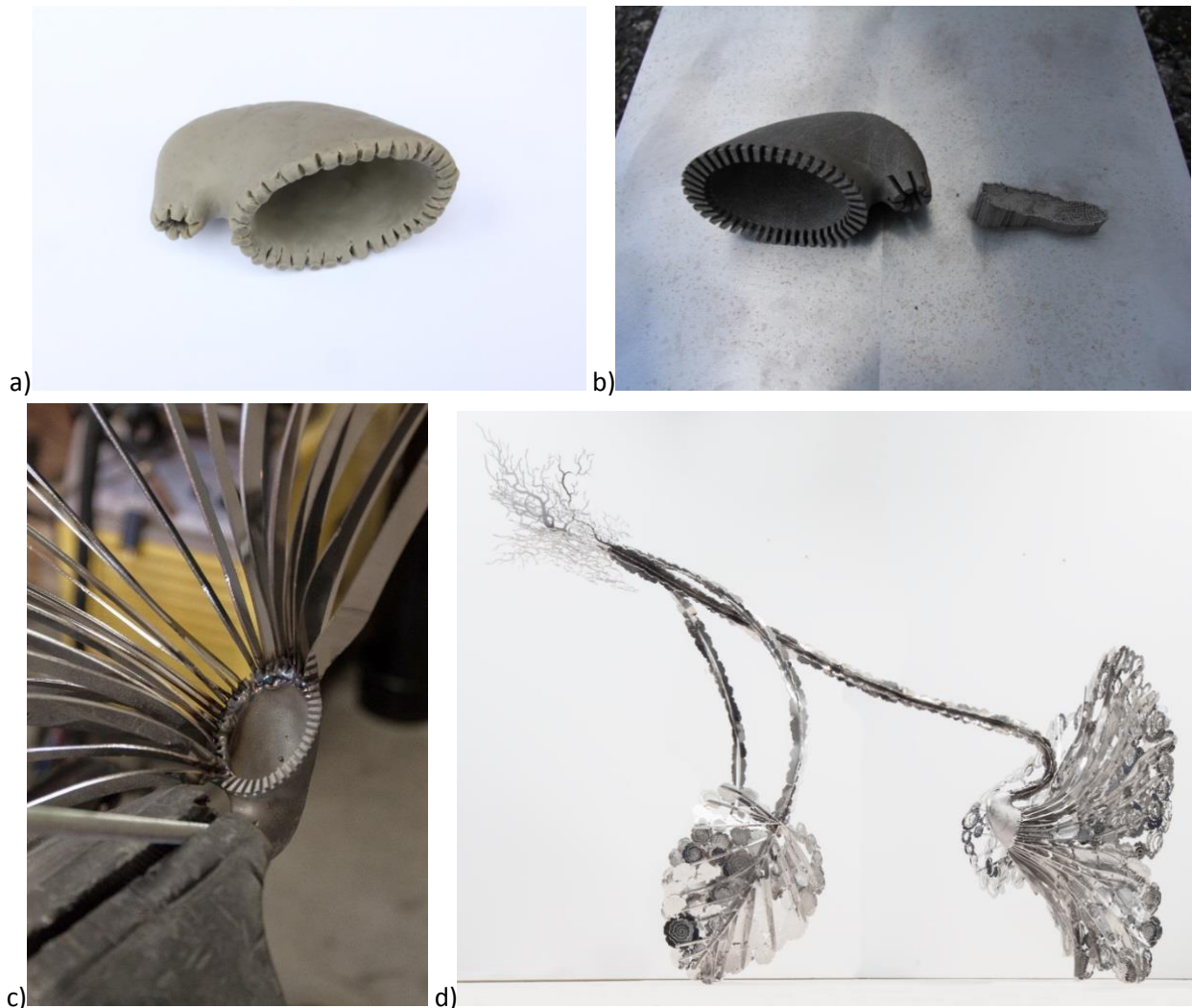
a)



b)

**Kuva 19.** a) Plastoliinista tehty pienoismalli ja b) valmis Viola-teos.

Teoksen ehkä kriittisin osa oli kukan keskelle tuleva ”mykiö”, johon lehtien ruodot ja kukan varsi kiinnittyvät. Kappale on muodoltaan orgaaninen ja vaikeasti mallinnettava ja valmistettava. Ratkaisuksi tähän löydettiin Saimialla oleva 3D skanneri jolla voidaan skannata kappaleita, ja muodostaa digitaalinen 3D-malli skannausdatasta. Kirsi valmisti ensimmäisen mallin plastoliinista (kuva 20 a). Plastoliinimalli skannattiin ja skannausdatasta muodostettuun digitaaliseen malliin tehtiin Solidworksilla tarkempia yksityiskohtia (koloja lehtiruodoille ja varsiosille). Tämän jälkeen kappale tulostettiin 3D-mallin mukaisesti metallijauheesta (kuva 20 b). 3D-tulostettuun kappaleeseen liitettiin lehtiruodot TIG-hitsaamalla (kuva 20 c). Teoksen monimutkaisuudesta johtuen kaikkia hitsauksia ja kiillotusta ei saatu valmiiksi residenssijakson aikana vaan se tuli valmiiksi hieman sen jälkeen, ks. kuva 20 d.



**Kuva 20.** a) Plastoliinista muovattu kappale, b) 3D-tulostettu kappale, c) lehtiruotojen hitsaaminen kappaleeseen ja d) valmis työ.

#### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- Skannauksen ja lasertekniikan ml. 3D-tulostuksen yhdistäminen
- Kiiltohehketetun ruostumattoman teräksen laserleikkaus, -merkkäus ja -hitsaus
- Hopean laserleikkaus

## 2.8 Muhammed Zeeshan, graafikko

Viimeisenä Lares-residenssissä vieraili Muhammad Zeeshan, 1.5.-30.6.2015. Muhammadilla oli aikaisempaa kokemusta valkoisen kartongin lasermerkkaamisesta ja residenssissä hän halusi kokeilla lasermerkkaamista mustaan päällystettyyn kartonkiin. Muhammad teki kaikki piirustukset itse.

### 2.8.1 Käytetyt laserlaitteet ja materiaalit

Laserlaite	Käytetyt materiaalit
200 W kuitulaser	päällystetty kartonki

### 2.8.2 Työn eteneminen ja saadut opit

Residenssijaksolla Muhammad halusi lasermerkata päällystettyä kartonkia. Kartongista poistettiin laserin avulla kartongin pinnassa oleva musta kerros, jolloin alla oleva valkea kartonki tuli esille. Lisäksi alla oleva vaalea kerros paloi paikoittain hieman jolloin lopputuloksena syntyi ruskehtava työstöjälki. Työn tavoitteena oli saada aikaan merkkaukset, jotka muistuttavat lyijykynällä piirrettyä viivaa. Muhammad teki piirustukset itse ja yhden kuvan tekemiseen meni noin 6 h. Lasermerkkaus kesti noin 30 min ja piirustuksen lataaminen koneelle n. 15 min. Teoksia valmistui n. 30 kpl ja kuvassa 21 on esitetty muutama esimerkki.



Kuva 21. Lasermerkattuja teoksia.

#### Saadut opit tekniikan näkökulmasta

- isojen tiedostojen (yli 100 MB) käyttäminen materiaalien työstämisessä ja siihen liittyvät ongelmat

## 3 Teknisten piirustusten luominen Lareksessa

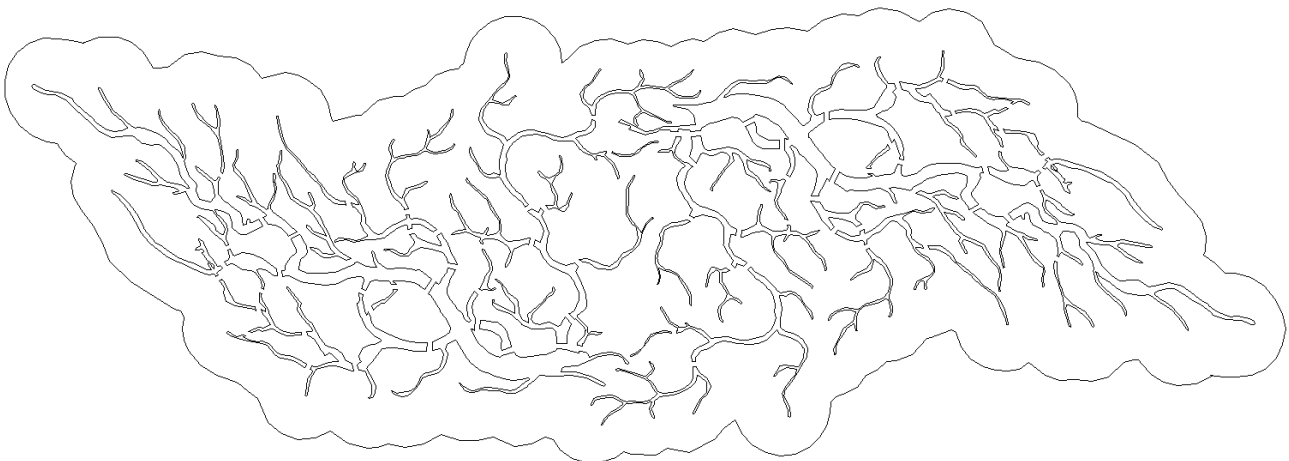
Taideteosten luomiseen projektissa käytettiin avuksi lasertekniikkaa, joka kuuluu yleisemmin digitaalisiin valmistustekniikkoihin. Laserlaitteita ei vielä tällä hetkellä voi käyttää kovin tehokkaasti ilman teknisiä piirustuksia. Projektin aluksi ideoitiin hieman sitä, miten laserkoneet voisivat nykytekniikalla toimia myös

hieman kuin kynä jolla piirretään. Ei pelkästään siis luovien töiden valmistusvälineinä vaan ideointivaiheen työkaluina jo.

Projektissa yhdeksi merkittäväksi tekniseksi haasteeksi muodostui taiteilijoiden luovan osaamisen kääntäminen lasertyökoneiden ymmärtämään digitaaliseen muotoon. Yleensä tämä lähti siitä että taiteilijat joko piirsivät tai muuten hahmottelivat ideansa. Sen jälkeen piirustukset muunnettiin koneiden ymmärtämään muotoon. Näistä konepiirustuksista käytetään yleisesti nimitystä tekninen piirustus tai CAD-tiedosto, tai insinöörien keskuudessa vain ”piirustus”. Ihan aluksi tämä aiheutti jonkin verran hämmennystä, koska taiteilija luonnollisesti ymmärsi sanan piirustus eri tavalla kuin insinööri. Jos insinööri oli liian tottunut käyttämään tätä lyhennettyä muotoa teknisestä piirustuksesta eikä tajunnut selvittää näiden kahden eroa, sillä oli merkittävä vaikutus siihen miten nopeasti teoksia saatiin toteutettua.

Teknisten piirustusten lisäksi 3D-tulostuksessa ja moniakselisessa CNC-koneistuksessa käytetään 3D-malleja, joiden pohjalta valmistus tapahtuu. Tällöin taiteilijalla täytyy olla osaamista 3D-mallien luomisesta. 3D-mallinnuksen osaaminen ei ole vielä kovin yleistä, joten tässä projektissa yhdeksi ratkaisuksi nostettiin 3D-skannaus. Skannauksella voidaan olemassa oleva kappale skannata käsivaraisella laitteella, jonka jälkeen skannauksesta saadusta pistepilvestä tai vastaavasta muodostetaan 3D-malli. Periaate toimii kohtuullisen hyvin, mutta skannaus ei yleensä pysty piirtämään tarkkoja yksityiskohtia, joten sellaiset pitää lisätä malliin jälkikäteen. Tämä vaatii taas osaamista 3D-mallinnuksesta.

Suurin osa projektissa tehdystä työstä oli kuitenkin tasomaista levyjen leikkausta, kaiverrusta tai merkkausta, jolloin kyseeseen tulivat 2D-piirustukset. Kuvassa 22 on esimerkki tällaisesta piirustuksesta. Nämä piirustukset eroavat normaalista valo- tai rasterikuvasta siinä, että kuvassa näkyvät viivat ovat matemaattisia vektoreita eivätkä pelkkiä mustia viivoja. Viivoilla ei ole viivanleveyyttä ollenkaan, ja niitä voi skaalata isommaksi tai pienemmäksi ilman että niihin tulee mitään virhettä. Tämä mahdollistaa tarkkojen osien työstämisen.



**Kuva 22.** Kuva rannekoru-piirustuksesta.

### 3.1 Työkaavio ideoinnista valmiiseen teokseen

Luovan työn tekeminen lähtee ideoinnista, eli keksitään tavalla tai toisella idea teoksesta, mikä haluttaisiin valmistaa. Taiteilijoille annettiin tässä suhteessa vapaus edetä teosten ideoinnissa vapaasti, kuten he itse

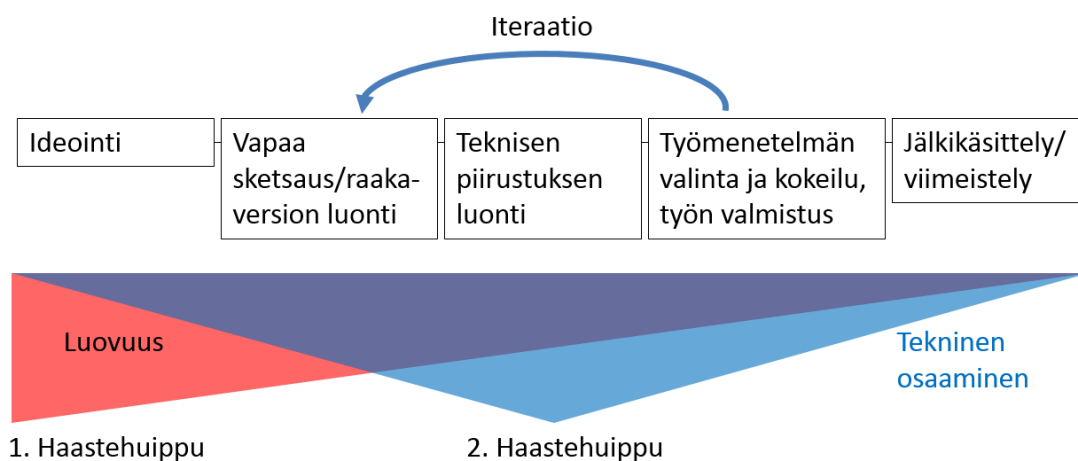


parhaaksi näkivät. Ideoinnin jälkeen alkoi työn hahmottaminen fyysisesti, tässä projektissa joko piirtämällä tai muovaamalla ideasta malli. Tämäkin vaihe oli kohtuullisen itsenäistä työskentelyä taiteilijoilta, joskin jotkut taiteilijat hahmottelivat mallejaan suoraan Solidworksilla, jonka käyttöä opetettiin projektissa. Koska projektissa käytettävät työstökoneet tarvitsivat digitaaliset mallit teoksista, niin mallinnuksen jälkeen tai samanaikaisesti aloitettiin teknisen piirustuksen tekeminen. Tätä varten on olemassa monia ohjelmistoja, jotkut niistä jopa ilmaisia. Projektissa käytettiin mallien tekemiseen pääasiassa Solidworksia, koska se on tehokas ohjelma sekä 2D-, että 3D-mallien tekemiseen ja yliopistolla on ohjelmistoon lisenssi.

Kun tekninen piirustus saatiin valmiiksi, voitiin työ valmistaa oikealla laserikoneella. Tätä varten piti tehdä valinta siitä, millä laserilla työtä aletaan valmistaa ja sen jälkeen kokeilla eri laserparametreja sekä muita mahdollisuuksia. Yleensä tässä vaiheessa alkoi valmiin työn iterointi, jossa työ valmistetaan eka parhaaksi nähdyllä ja kokeilla parametreilla, ja sen jälkeen mietittiin miten siitä saataisiin vielä parempi joitain yksityiskohtia muokkaamalla ja parantelemalla. Usein oli mahdotonta saada paras mahdollinen tulos heti ensimmäisellä kerralla. Paras esimerkki tästä oli Ekkehard Altenburgerin kokeet paksumman teräslevyn rei'ittämisestä niin, että sen voi jälkikäteen taivuttaa käsivoimin siististi. Tämä vaati yhteensä kuusi iteraatiokierrosta ennen kuin saavutettiin haluttu lopputulos. Joskus varsinaista iteraatiota piirtämisestä lähtien ei tarvittu, mutta työ jouduttiin silti valmistamaan useampaan kertaan koska jotain meni valmistuksessa pieleen ja työ meni osittain pilalle. Tällöin virhe oli usein puutteelliset ja liian pikaisesti tehdyt esivalmistelut, jossa kappale asetetaan tukevasti paikoilleen ja katsotaan että kaikki on muutenkin valmiina. Koska teokset olivat luonteeltaan taiteellisia, eivätkä esim. tarkkoja koneenosia, ne eivät ikinä täysin epäonnistuneet vaan taiteilijat pystyivät aina hyödyntämään myös hieman pilalle menneet kokeet.

Teoksen valmistuksen jälkeen alkoi työn viimeistely. Tähän vaiheeseen kuului esim. hionta, maalaus, kokoonpanohitsaus ja muut samankaltaiset viimeistelymenetelmät. Viimeistelyä tehtiin osittain laserlaboratoriossa ja osittain taiteilijan omissa työtiloissa. Usein viimeistelyä ei keritty tekemään – tai edes haluttu tehdä – varsinaisen residenssiperiodin aikana ja tällöin taiteilija viimeisteli teokset omissa tiloissaan.

Kuvassa 23 on esitetty taiteilijoiden teosten tekemiseen liittyvä työkaavio silloin, kun käytetään digitaalisia valmistusmenetelmiä, joita edeltävänä vaiheena kuuluu teknisen piirustuksen tekeminen. Kuvaan 23 on myös hahmoteltu projektin myötä syntynyt näkemys siitä, miten luovuus ja tekninen osaaminen kulkevat käsi kädessä tunnekokemusta jahdattaessa.



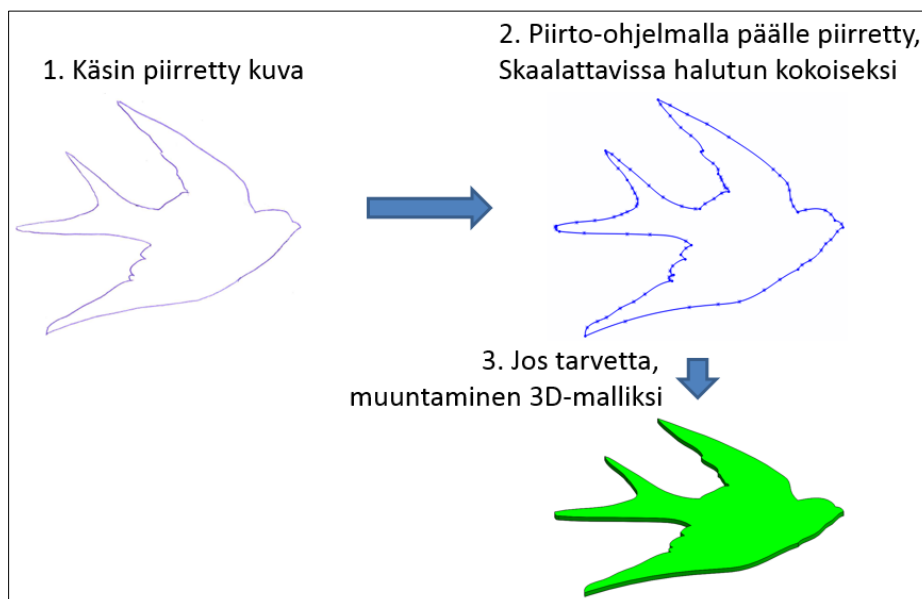
**Kuva 23.** Työkaavio teosten valmistuksesta digitaalisia valmistusmenetelmiä hyödyntäen.

Aluksi ideointivaiheessa luovuus on suurimmillaan, ja työ tapahtuu pääasiassa pään sisällä mielikuvitusta käyttäen. Ensimmäinen suuri haaste (kuvassa 23 ensimmäinen haastehuippu) onkin juuri keksiä hyvä idea. Työstettäessä ideaa eli työtä pidemmälle, teknisen osaamisen osuus kasvaa nopeasti. Digitaalisia valmistusmenetelmiä käytettäessä tekninen haastavuus huipentuu teknisen piirustuksen luomiseen (kuvassa 23 toinen haastehuippu), joka voi olla joko 2D-piirustus tai 3D-malli. Usein näitä piirustuksia tarvitaan monia, jos teos koostuu useammasta osasta. Joissakin tapauksissa piirustuksia voi olla satoja, jolloin teoksen valmistaminen vaatii myös normaalia enemmän organisointi- ja dokumentointikykyä. Kuitenkin, tässäkin vaiheessa luovuudella on merkittävä rooli, koska useimmiten lopullinen teos ei vastaa täysin vapaalla kädellä luonnosteltua mallia, vaan vaatii kompromisseja ja luovaa kykyä ymmärtää, miten jotkut yksityiskohdat voidaan piirtää ja valmistaa. Valmistettavuus itsessään on tärkeä ja iso osa valmistustekniikkaa, ja vaikka se pääosin käsittelee funktionaalisten osien valmistusta, joissa toleranssit ja pinnanlaatuvaatimukset ovat erittäin kovia, on se myös yllättävän suuri osa taideteosten luomista.

Kärjistäen voidaan sanoa, että luovan työn määrä vähenee teoksen valmistuessa, mutta se ei täysin katoa missään vaiheessa. Myös viimeistelyvaiheessa tarvitaan tietty määrä luovuutta, jotta teos pääsee täysin oikeuksiinsa. Myös teknisen osaamisen vaatimustaso laskee teknisen piirtämisen jälkeen merkittävästi, mutta kokeilu ja viimeistely vaativat osaamista koneiden ja muiden työvälineiden käytöstä. Yleensä tämä ei ole niin haastavaa kuin digitaalinen piirustusten luomien, koska ihmisillä on enemmän kokemusta käsillä tekemisestä kuin tietokoneella luomisesta.

### 3.2 Piirustusten luominen

Projektissa havaittiin käytännössä kolme tapaa luoda teknisiä piirustuksia. Käsien paperille piirretyn kuvan voi skannata tai valokuvata (jos piirustus on liian iso skannattavaksi) ja sen päälle piirtää tietokoneella. Tämä on hyvin yleinen tapa silloin, kun olemassa on vain käsin piirretty malli. Kun tekninen piirustus on tietokoneella piirretty, sen voi skaalata oikean kokoiseksi. Kuvassa 24 on esitelty tämä periaate visuaalisesti.



**Kuva 24.**

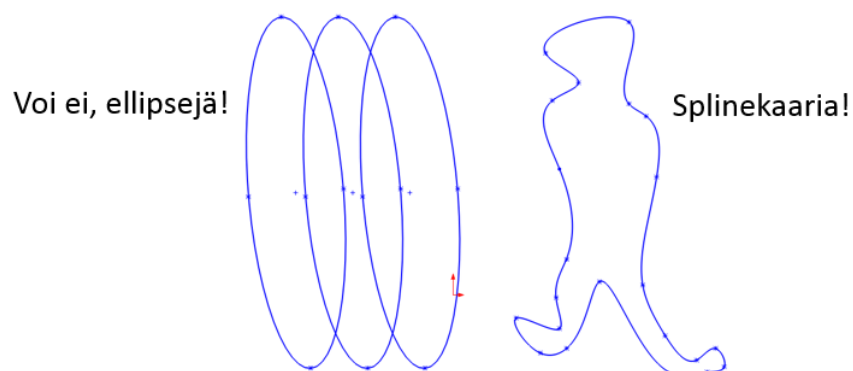
Teknisen piirustuksen luominen käsin piirretystä mallista lähtien.

Toinen vaihtoehto piirustusten luomiseen on piirtää ne tietokoneella suoraan, muistiinpanojen ja mittatietojen pohjalta. Esimerkiksi koneenosien suunnittelussa tämä on yleisin tapa, koska osien piirtäminen käsin vie vähintään yhtä paljon aikaa, joten ne on järkevintä piirtää suoraan digitaalisesti. Kolmas projektissa löydetty tapa tuottaa 2D-piirustuksia on 3D-skannata kappale ja tuottaa skannauksen muodostamasta datasta teknisiä piirustuksia. Tätä pilotoitiin Ekkehard Altenburgerin Saima kivi-teoksen valmistamisessa ja huomattiin että tekniikalla on mahdollista luoda visuaalisesti kolmiulotteisen näköisiä teoksia kaksiulotteisista kappaleista.

Jotkut laserlaitteet osaavat käsitellä myös suoraan valokuvia, niin että lasertyöaseman työstöohjelmaan syötetään valokuva. Tämän jälkeen ohjelma muuntaa valokuvan mustavalkoiseksi ja käsittelee lasersäteiden avulla esimerkiksi kaikki mustat tai kaikki valkeat alueet. Jos parametrit ja materiaali on valittu oikein, tulee tällaisesta merkkauksesta kohtuullisen valokuvamainen.

### 3.3 Ongelmakohtia piirustusten luomisessa

Teknisten piirustusten luomisessa on tiettyjä laitekohtaisia ongelmia. Koska työkonet perustuvat digitaaliseen tekniikkaan, ne vastaavat aina enintään sen tason tietoteknistä tasoa, mikä konetta suunniteltaessa on ollut mahdollista. Koska tietotekniikka on viime vuosikymmeninä kehittynyt niin kovaa vauhtia, monet vielä käytössä olevat työstökoneet eivät välttämättä ole täysin yhteensopivia nykyisen tekniikan kanssa. Tämä aiheuttaa ongelmia siinä vaiheessa, kun teknisiä piirustuksia tehdessä käytetään vääränlaisia ”piirtovälineitä”. Kaikki työkonet eivät ymmärrä kaikkia viivamuotoja, joita tietokoneella voi nykyään piirtää. Pääsääntöisesti tietokoneella piirrettäessä viivat voidaan jakaa suoriin viivoihin, ympyrän kaarihin, ympyröihin, ellipseihin, ja ns. splinekaarihin. Näistä kolme ensimmäistä ovat varmoja muotoja, joita vanhatkin koneet tunnistavat. Jos piirustuksessa kuitenkin joudutaan käyttämään ellipsejä tai splinejä tai vastaavia monimutkaisempia kaaria, niin piirtäjän täytyy muistaa varmistaa valmistajalta että tällaisia muotoja voidaan käyttää. Muussa tapauksessa piirustuksia voidaan joutua muokkaamaan siten, että ellipsien ja splinekaarien päälle piirretään nämä samat muodot, mutta ympyrän kaarilla tehtynä. Kuvassa 25 nähdään piirrettyinä ellipsejä ja splinekaaria.



**Kuva 25.** Tietokoneella piirrettyjä muotoja: vasemmalle ellipsejä ja oikealla splinekaarista muodostuva hahmo.

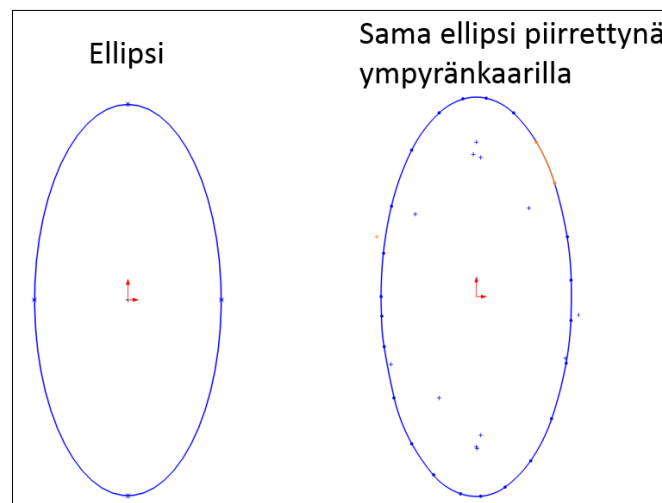
Toinen ongelma voi joissain tapauksissa olla se, että työkonen ohjelma ei tunnista käytettyä tiedostotyyppiä. Projektissa eräät laserlaitteet eivät hyväksyneet Adobe Illustratorin käyttämää, nykyään aika yleistä, .ai -tiedostotyyppiä. Näissä tapauksissa tiedosto pitää muuntaa vanhimpaan ja yleisimpään

digitaalisessa valmistuksessa käytettävään tiedostotyyppiin, jonka pääte on .dxf. Ongelmaksi muodostui tässä tapauksessa yleensä se, että muuntaminen ei onnistunut ilman, että piirustukset menivät jollain tapaa pilalle. Viivojen väliin saattoi ilmestyä aukkoja tai viivojen mitat eivät enää pitäneet paikkaansa.

Kaikista varmin tapa tuottaa kaikkien koneiden kanssa yhteensopivia piirustuksia on käyttää vain suoria viivoja, ympyrän kaaria ja ympyröitä ja tallentaa tuotettu tiedosto käyttäen .dxf-tiedostomuotoa. Tällöin edes eri käyttöliittymien (käytännössä Applen tai Microsoftin) käyttäminen ei pitäisi tuottaa ongelmia.

### 3.4 Piirustusten muokkaaminen yksinkertaisemmilla viivoilla

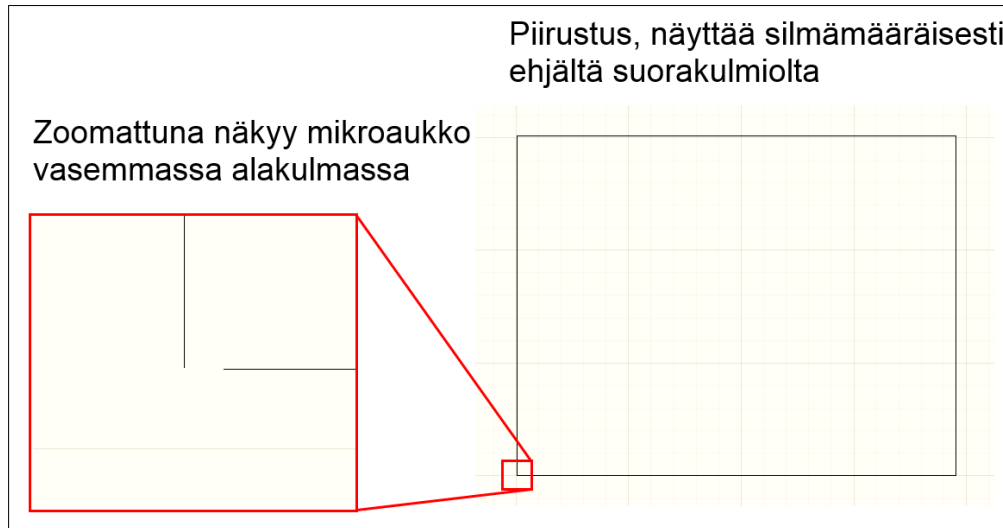
Jos piirustus on tehty käyttäen ellipsejä tai splineviivoja ja on varmaa, että työkonet eivät pysty tällaisia viivoja käsittelemään, täytyy ongelmaviivat tai koko piirustus piirtää uusiksi. Kuvassa 26 on ensiksi piirretty ellipsi ellipsi-piirtovälineellä, ja sitten sama ellipsi ympyrän kaarilla. Kuvassa oikealla näkyy oranssilla yksi ympyrän kaarista. Maalaisjärjellä ajateltuna on ehkä vaikea ymmärtää, miksi näin täytyy joissain tapauksissa tehdä, mutta tietokoneen kannalta oikealla oleva piirustus on paljon helpommin ymmärrettävissä kuin vasemmanpuoleinen kuva. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että ympyrän kaaren matemaattinen mallintaminen (säde ja kaaren aloitus- ja lopetuspisteet) on ohjelmoitu työstökoneisiin, kun taas ellipsejä tai splinekaarta määrittävää matematiikkaa ei joissain tapauksissa ole, koska ne ovat uudempia piirustusvälineitä ja vaikeampi määrittää matemaattisesti.



**Kuva 26.** Tietokoneella piirrettyjä ellipsejä: vasemmalla käyttäen ellipsi-työkalua ja oikealla sama ellipsi piirrettynä ympyrän kaarilla. Oikeassa kuvassa näkyvä oranssi kaari on yksi ympyrän kaarista. Siniset ristit oikealla ovat kaarien muodostamien ympyröiden keskipisteitä.

Projektin aikana LUT:n laserlaboratorioon hankittiin ohjelma, jolla splinekaaria sisältävät kuvat voidaan automaattisesti muuntaa pelkkiä ympyrän kaaria sisältäväksi piirustukseksi. Tämä on erityisen tärkeää silloin, kun piirustus sisältää paljon splineviivoja, kuten esimerkiksi orgaanisissa muodoissa. Tuhansien viivojen muuntaminen käsivaraisesti on erittäin aikaa vievää. Ohjelmaa käytettiin projektin aikana paljon, ja monessa tapauksessa se nopeutti työskentelyä huomattavasti. Ongelmaksi joissain tapauksissa muodostui, että piirustukset sisälsivät niin paljon viivoja eli olivat kooltaan niin suuria, ettei ohjelma pystynyt käsittelemään niitä. Automaattiset muunto-ohjelmat eivät muutenkaan ole täydellisiä, vaan piirustuksia jouduttiin vielä hieman korjailemaan. Tätä varten käytettiin AutoCAD 2014-ohjelmaa, jolla mm. yhdistettiin viivoja, jotka eivät ole täysin yhdessä. Kahden viivan välillä olevaa erittäin pientä aukkoa kutsutaan mikroaukoksi tai

mikrogapiksi (kuva 27). AutoCAD:ssa tai vastaavissa ohjelmissa tällaiset mikroaukot voidaan korjata suurimmaksi osin, mutta nekään eivät toimi täydellisesti. Viimeisetkin automaattisesta piirustusten muuntamisesta aiheutuneet virheet voitiin korjata vasta käsin lasertyökoneen omassa ohjelmassa, jossa se oli onneksi mahdollista.



**Kuva 27.** Piirustusohjelmassa piirretty suorakulmio johon on jäänyt mikroaukko vasempaan alakulmaan. Taustalla näkyvä ruudukko on vain apuruudukko eikä osa piirustusta.

Jotkut työkoneet pystyvät tekemään piirustusten yksinkertaistamisen automaattisesti, jos ohjelma havaitsee, että piirustus sisältää kaaria, joita kone ei pysty käsittelemään. Tällöin kone korvaa kaaret todella pienillä suorilla viivanpätkillä. Kone joutuu tällöin seuraamaan pieniä viivanpätkiä sen sijaan, että seuraisi jouhevasti kaarta, mistä on yleensä seurauksena huono työstöjälki.

Käytännössä siis piirustusten korjaus kannattaa tehdä itse käsin, jos mahdollista. Automaattinen piirustusten muokkaus onnistuu silloin, jos piirustus ei ole kooltaan liian iso. Todennäköisesti piirustus sisältää kuitenkin tällöinkin mikroaukkoja, jotka pitää sulkea toisella ohjelmalla ja osittain käsin.

Ellipsien muuntamiseen ympyrän kaariksi keksittiin ratkaisuksi internetistä löytynyt lisäosa AutoCAD-ohjelmaan, jonka avulla runsaasti ellipsejä sisältäneet piirustukset saatiin käännettyä työstettävään muotoon. Tämä onnistui kohtuulliset hyvin, mutta tässäkin tapauksessa piirustus sisälsi muunnoksen jälkeen mikroaukkoja jotka täytyi tukkia.

Piirustusten muuntamista ei tarvitse aina tehdä. Jos työkone ymmärtää monimutkaisempia viivoja ja käytetyn tiedostotyyppin, niin ongelmia ei pitäisi ilmetä. Iso osa teollisuuden käyttämistä laitteista ovat kuitenkin aika vanhoja, joten on oletettavaa että käytössä on paljon laitekantaa jotka eivät ole vielä täysin valmiita vapaaseen viivaan. LUT:n laserlaboratorion laitekannasta kolme laitetta osaavat käsitellä vektorikuvia, kaikkia viivatyyppisiä ja valokuvia, ja neljä laitetta pystyvät käsittelemään piirustuksia, joissa on vain suoria viivoja, ympyröitä ja ympyrän kaaria. Lisäksi vain yksi laite osaa käsitellä vaivattomasti .ai tiedostotyyppiä.

#### 4. Yhteenveto

Lares-projektissa (Lasertaideresidenssi tunnearvoa konkretisoivana työkaluna) uutta osaamista ja uudenlaisia ajattelumalleja tavoiteltiin perustamalla lasertaideresidenssi LUT:n laserlaboratorion yhteyteen. Residenssissä taiteilijat työskentelivät yhdessä LUT:n lasertekniikan tutkijoiden ja oman yritysparinsa kanssa 1-2 kk jakson ja saivat vapaasti hyödyntää kaikkia käytössä olleita LUT:n lasertyöasemia. Tekniikan näkökulmasta projektin päätavoitteena oli teknologian haastaminen ja kehittäminen luovuuden kautta ja löytää uusia laserteknologisia ratkaisuja kuluttajatuotteita valmistaville yrityksille.

Yhteistyön suurin etu oli taiteilijoiden tapa tarkastella tekniikkaa ilman rajoitteita, joka auttoi myös mukana olleita tutkijoita kyseenalaistamaan opittuja tapoja ja olettamuksia. Tätä kautta projektin aikana kokeiltiin uusia materiaaleja ja laserprosesseja, joita on maailmanlaajuisestikin tutkittu hyvin vähän. Esimerkiksi hopean laserleikkauksen todettiin onnistuvan ja soveltuvan korusovelluksiin, vaikkakin leikkausnopeus oli hidaskäyttöinen ja kappaleet vaativat jälkityöstöä purseen aiheuttaman röpelöisen pinnan vuoksi. Muita vähemmän tutkittuja aiheita olivat kiven, jalometallien ja keraamien lasermerkkaaminen. Metallien lasertaivutusta ja muokkausta ei ole tutkittu juurikaan puuttuvien sovellusesimerkkien vuoksi. Tämän takia projektin aikana tehdyt kokeet antoivat uutta tietoa prosessin parempaa hallintaan ja hyödynnettävyyteen esim. muotoilussa. Myös akryylin kaiverrus, kiiltohehkutetun teräksen ja nahkan laserleikkaaminen olivat tutkimuksellisesti mielenkiintoisia aiheita.

Teknisten 2D-piirustusten ja 3D-mallien tekeminen oli useimmiten yhteistyön hitain ja haastavin vaihe, jossa oli myös erilaisia terminologiaan liittyviä ongelmia. Projektin aikana ratkaistiin useita teknisten piirustusten luomiseen liittyviä ohjelmallisia ongelmia ja saatiin osaamista siitä miten käsin tehtyjä piirustuksia ja sketsejä voidaan muuttaa lopulliseen työkoneen ymmärtämään muotoon. Yksi mielenkiintoisimmista tavoista tehdä 3D-malli oli 3D-skannata taiteilijan käsin tekemä plastoliinimalli (vahamalli). 3D-malliin lisättiin yksityiskohtia, jonka jälkeen se valmistettiin 3D-tulostimella. Eräissä laserleikkauksokokeissa tuotettiin 2D-piirustuksia 3D-skannaamalla kappaleita ja tuottamalla skannauksen muodostamasta datasta teknisiä piirustuksia. Kumpikin esimerkki antoi uutta tietoa tutkijoille ja myös nopeutti prosessia.

Projektin aikana laitteiden rajoitteista saatiin tarkempaa tietoa, koska työstettävien kappaleiden koot olivat monesti kooltaan joko hyvin suuria tai pieniä tai muodoltaan haastavampia kuin perinteiset koekappaleet. Myös kappaleiden paksuudet ja materiaalit vaihtelivat metalleista moniin eri epämetallisiin materiaaleihin kuten esim. puumateriaaleihin ja keraameihin. Projektin kautta voitiin myös mukana oleville yrityksille tarjota tietoa lasertekniikan mahdollisuuksista juuri heidän toivomiin materiaaleihin, koska teosten valmistuksessa voitiin hyödyntää yrityksen omia materiaaleja. Projektin aikana otettiin 2 uutta laseria käyttöön, joilla voitiin toteuttaa paremmin taiteilijoiden ja yritysten esittämiä toiveita.

#### Lähteet:

Malina, F.J., 1974. Reflections of an artist-engineer on the art-science interface. *Impact of Science on Society* XXIV, No. 1, 19-29.

Lamoureux, A., Kyusang, L., Shlian, M., Forrest, S.R., Shtein, M., 2015. Dynamic kirigami structures for integrated solar tracking. *Nature Communications* 6:8092, pp. 6.

Candy, L., Edmonds, E., 2002. *Explorations in Art and Technology*. Springer-Verlag, London, pp. 307.

Maijanen, E., 2015. Mitä insinööri ja liikemies voisivat oppia taiteilijalta?. publications from Saimaa University of Applied Science, Series A, Reports and studies 60, pp. 50.

Hirvimäki, M., 2015. Lasertekniikan tutkijan ja taiteilijan yhteinen oppimismatka Lares-projektin aikana – Monialaisuuden huomioiminen opetustilanteessa. *Oppiva opettaja 14: Yliopistopedagogisen koulutuksen 2014-2015 opetuksen kehittämishankkeet*, 267-281.

Edmonds, E.A., Weakley, A., Candy, L., Fell, M., Knott, R., Pauletto, S., 2005. The Studio as Laboratory: Combining Creative Practice and Digital Technology Research. *International Journal of Human-Computer Studies* 63, Iss. 4-5, 452-481.

ISBN 978-952-265-973-6 (PDF)

ISSN-L 2243-3376

ISSN 2243-3376

Lappeenranta 2016