



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

**FAB LAB -KONSEPTI JA SEN MAHDOLLISUUDET JA RAJOITTEET
KONEENSUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA**

Olli Taimisto

**KANDIDAATINTYÖ
2016**

Ohjaaja: Tapio Korpela

TIIVISTELMÄ

Fab Lab -konsepti ja sen mahdollisuudet ja rajoitteet koneensuunnittelijan näkökulmasta

Olli Taimisto

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2016, 34 s.

Työn ohjaaja: Tapio Korpela

Tämä kandidaatintyö luo yleiskuvan Fab Lab -konseptista, jonka tarkoituksena on luoda monistettava digitaalisen pienvalmistuksen ympäristön malli. Työssä käydään läpi konseptin historiaa ja nykytilannetta sekä Fab Lab -ympäristölle asetettuja vaatimuksia. Lisäksi työssä käsitellään Fab Lab -ympäristöjen liiketoimintamalleja ja ympäristöön liittyvää tiedon julkisuuden periaatetta haasteineen.

Yleiskatsauksen lisäksi työssä käydään läpi Oulun yliopistoon avattu Fab Lab -ympäristö laitteineen ja erityispiirteineen. Edelleen tarkastellaan Fab Lab Oulun tarjoamia mahdollisuuksia ja yleisiä haasteita koneensuunnittelijan näkökulmasta.

Asiasanat: Fab Lab, koneensuunnittelu, digitaalinen pienvalmistus, 3D-tulostus, avoin innovaatioympäristö

ABSTRACT

The Fab Lab concept and its possibilities and limitations from the machine designer's perspective

Olli Taimisto

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2016, 34 p.

Supervisor: Tapio Korpela

This bachelor's thesis presents an overview of the Fab Lab concept. The concept aims to provide a duplicable model environment for small-scale digital fabrication. This thesis covers the concept's history, as well as the requirements for starting a Fab Lab. Fab Lab business models and the ideology and challenges of publicly shared projects will also be discussed.

In addition to a general overview of the Fab Lab concept, this thesis introduces Fab Lab Oulu, which has been opened at the University of Oulu, and uses it as an example of the possibilities and challenges the Fab Lab concept creates from the machine designer's perspective.

Keywords: Fab Lab, machine design, digital fabrication, 3D printing, open innovation environment

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on luoda tiivis katsaus Fab Lab -konseptiin. Lisäksi työssä on tavoitteena lähestyä konseptia, ja sen mahdollisuuksia ja haasteita koneensuunnittelijan näkökulmasta. Työssä on käytetty esimerkkinä Oulun yliopistossa syksyllä 2015 avattua konseptin mukaista Fab Lab Oulu -ympäristöä.

Haluan esittää kiitokseni työn ohjaajalle Tapio Korpelalle sekä muulle konetekniikan opintoalan henkilökunnalle työhön liittyvästä opastuksesta. Erityiskiitokset haluan esittää myös vaimolleni Hannalle.

Rovaniemi, 5.8.2016

Olli Taimisto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 FAB LAB -KONSEPTI	7
2.1 Fab Lab -konseptin historia.....	7
2.2 Fab Labien nykytilanne.....	8
2.3 Fab Lab -ympäristöjen vaatimukset	9
2.4 Fab Labien liiketoimintamallit.....	10
2.5 Tiedon julkisuus ja sen haasteet Fab Lab -konseptissa.....	12
2.6 Fab Labien tulevaisuus.....	13
3 FAB LAB OULU	14
3.1 Fab Lab -laitekanta.....	14
3.2 Täydentävä laitekanta ja suunnitellut laajennukset.....	15
4 FAB LAB -YMPÄRISTÖ KONEENSUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA.....	18
4.1 Yleinen tuotekehitysprosessi.....	19
4.2 Pikavalmistusmenetelmien yleisesittely.....	20
4.3 Fab Lab -ympäristö tuotekehitysprosessin tukena	21
4.4 Fab Lab -ympäristö koneensuunnittelutyössä	22
4.4.1 Vaatimukset koneensuunnittelutyölle.....	22
4.4.2 Mahdollisuudet koneensuunnittelutyössä.....	24
4.4.3 Haasteet koneensuunnittelutyössä	25
4.4.4 3D-tulostuksen vaatimukset CAD-ohjelmistoille.....	25
4.5 Koneensuunnittelijalle oleelliset laitteistot Fab Lab Oulu -ympäristössä	26
4.5.1 3D-tulostin (Stratasys Fortus 380mc).....	26
4.5.2 Laserleikkuri-kaiverrin (Epilog Laser Fusion 40)	28
4.5.3 Pientyöstökeskus (Roland monoFab SRM-20)	29
5 YHTEENVETO	30
6 LÄHDELUETTELO.....	32

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä tehdään tiivis yleiskatsaus Fab Lab -konseptiin ja sen taustoihin. Yleiskatsauksen lisäksi työssä keskitytään erityisesti Oulun yliopiston Fab Lab -ympäristöön valikoituneeseen laitekantaan koneensuunnittelijan näkökulmasta. Työssä esitellään ympäristö ja ne laitteet, joita nimenomaan koneensuunnittelija tyypillisimmin hyödyntänee. Näiden laitteiden osalta esitellään pääominaisuudet sekä ne merkittävimmät rajoitteet ja vaatimukset, joista koneensuunnittelijan on hyvä olla tietoinen.

Aihe valikoitui yhtäältä henkilökohtaisen uusiin valmistusmenetelmiin liittyvän kiinnostuksen pohjalta, toisaalta havaittuani, että Fab Lab -konseptista ei sen ajankohtaisuudesta huolimatta löytynyt tiiviiseen muotoon kirjoitettuja artikkeleita, joita koneensuunnittelija pystyisi hyödyntämään arvioidessaan ympäristön hyödynnettävyyttä omalta kannaltaan. Ylipäätään merkittävä osa konseptista kirjoitetuista julkaisuista toistaa samoja, usein markkinoinnillisia tai business-malliin liittyviä seikkoja ilman syvempää, suunnittelijaa kiinnostavaa sisältöä. Tämän vuoksi halusin työssäni arvioida koneensuunnittelijan mahdollisuuksia hyödyntää Fab Lab -ympäristöä sekä ymmärtää sen aiheuttamia rajoitteita ja haasteita.

2 FAB LAB -KONSEPTI

Fab Lab (*Fabrication Laboratory*) on digitaalisen pienvalmistuksen ympäristö, jonka alkuperäisenä ideana (esim. Gershenfeld 2012) on luoda toimintaympäristö, jossa ”kuka tahansa voi suunnitella ja valmistaa mitä tahansa”. Vaikka Fab Foundation on määritellyt Fab Lab -ympäristölle toimintakriteerit (Fab Foundation 2016a), eri puolille maailmaa perustettujen Fab Labien taloudelliset resurssit ja tutkimusintressit vaihtelevat merkittävästi. Tämän vuoksi Fab Labit eivät ole laitteistoiltaan ja toimintaedellytyksiltään suoraan verrattavissa toisiinsa.

Koska Fab Labien keskinäinen vertailu on hankalaa, luvuissa 3 ja 4 käsitellään Oulun yliopiston Fab Lab -ympäristöä ja peilataan sen laitekantaa ja varustelua koneensuunnittelutyöhön. Työn tekijän näkemys on, että yksittäisenkin ympäristön tarkempi hahmottaminen koneensuunnittelijan näkökulmasta antaa suunnittelijalle mahdollisuuden ymmärtää myös muiden vastaavien ympäristöjen olennaisia erikoispiirteitä ja hyödyntämismahdollisuuksia.

2.1 Fab Lab -konseptin historia

Fab Lab -konseptin taustalla on Massachusetts Institute of Technologyn (MIT) ”Bits and Atoms” -keskuksen (CBA) johtajan Neil Gershenfeldin luennoiman kurssin ”How to make (almost) anything” saavuttama suosio, jonka myötä ensimmäisen Fab Labin rakentaminen aloitettiin vuonna 2003 (mm. Gershenfeld 2012). Tilan tarkoitus nykyisen Fab Lab -konseptin mukaisesti oli toimia avoimena digitaalisen pienvalmistuksen ympäristönä.

Ensimmäisen Fab Lab -ympäristön laitteistoihin käytettiin rahaa n. 50 000 USD ja erilaisiin materiaaleihin n. 20 000 USD (Gershenfeld 2012). Vuonna 2009 konseptin leviämistä tukemaan perustettiin säätiö, Fab Foundation. Säätiön tarkoituksena on kansainvälisen Fab Lab -verkoston laajentaminen tukemalla paikallisia organisaatioita konseptin mukaisten laboratorioympäristöjen perustamisessa. (Fab Foundation 2016b).

2.2 Fab Labien nykytilanne

Fab Lab -konseptin mukaisten ympäristöjen määrä tällä hetkellä on virallisen tilaston mukaan 683. Eniten ympäristöjä on Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa, joiden alueella sijaitsee yli puolet tämänhetkisistä Fab Labeista. Ympäristöjä on kuitenkin kaikilla mantereilla lukuun ottamatta Etelämannerta. Pohjoismaista eniten Fab Labeja on avattu Islannissa ja Tanskassa, molemmissa seitsemän. Norjassa ympäristöjä on neljä, joista pohjoisin (MIT-FabLab Norway) on Lyngenin alueella. Ruotsissa Uumajan yliopistossa on yksi Fab Lab ja Suomessa kaksi: Oulun yliopistossa (syksystä 2015 lähtien) ja Aalto-yliopistossa Helsingissä. (Fab Foundation 2016c.) On kuitenkin huomioitava, että ympäristöjen todellinen määrä on suurempi kuin viralliset tilastot antavat ymmärtää. Tämä johtuu konseptin mukaisten ympäristöjen määrän nopeasta kasvusta.

Neil Gershenfeld kertoi haastattelussa vuonna 2013 ympäristöjen määrän kaksinkertaistuneen arviolta 1,5 vuoden aikasyklillä Fab Lab -konseptin vakiintumisen jälkeen (Cable News Network 2013). Troxlerin (2010: 3) mukaan Fab Labien määrä oli 45 vuonna 2010. Koska Fab Labeja on jo lähes 700, voidaan todeta aivan viime aikojen kiinnostuksen konseptia kohtaan olleen kasvavaa ja konseptin mukaisten ympäristöjen määrän kasvunopeuden ylittävän tällä hetkellä jopa Gershenfeldin vuonna 2013 esittämän arvion. Tätä tukee myös se, että pelkästään alkuvuonna 2016 ympäristöjen tilastoitu lukumäärä kasvoi lähes sadalla.

Fab Lab -konseptin olemassaolon aikana ympäristöön soveltuvat laitteistot ovat monipuolistuneet ja niiden hinta on jatkuvasti laskenut. Fab Labien määrä onkin kasvanut nopeasti, mikä lisää myös niiden tunnettuutta. Lisäksi laitteiden käytettävyys on koko ajan parantunut, mikä on helpottanut Fab Lab -ympäristöjen ylläpitoa ja käyttöä ja näin ne voivat yhä helpommin saavuttaa ”suuren yleisön” tilojen ja laitteiden potentiaalisina käyttäjinä. Kuitenkin Fab Labien suuri määrä, resurssien vaihtelevuus ja laitekannan jatkuva monipuolistuminen hankaloittavat ympäristöjen säilymistä yhteensopivina ja vertailukelpoisina.

2.3 Fab Lab -ympäristöjen vaatimukset

Fab Foundation määrittelee Fab Labin tekniseksi prototyyppiympäristöksi innovaatioiden ja keksintöjen tuottamiseen, jonka tarkoituksena on myös tarjota virikkeitä paikalliselle yrittäjyydelle. Kukin yksittäinen Fab Lab on paikallinen digitaalisen pienvalmistuksen ympäristö ja osa maailmanlaajuisesta verkostosta, jonka tarkoituksena on yhdistää oppijat, opettajat, tutkijat, tekijät ja innovaattorit. (Fab Foundation 2016d.)

Fab Foundation on asettanut neljä kriteeriä Fab Labin toiminnalle. Ensimmäinen ja tärkein on se, että Fab Labin on oltava yleisessä käytössä. Toiseksi Fab Labin täytyy hyväksyä Fab Lab Charter eli Fab Labin ”perustamiskirja”. Kolmantena vaatimuksena on yhteisten työkalujen ja prosessien jakaminen ja neljäntenä vaatimus osallistumisesta maailmanlaajuisen Fab Lab -verkostoon. (Fab Foundation 2016a.)

Jotta projektien jakaminen Fab Labien välillä on mahdollista, Fab Foundation (2016e) ylläpitää vaatimuslistausta ydinlaitteistoille, jotka jokaisesta Fab Labista tulisi löytyä. Ydinlaitteistojen lista kehittyy jatkuvasti ja kehityksen lopullisena tavoitteena on se, että yksittäisen Fab Labin laitteistoilla voitaisiin valmistaa uusi Fab Lab. Tällä hetkellä Fab Foundation on määrittänyt ydinlaitteistot seuraavasti (Fab Foundation 2016e):

- CNC-ohjattu laserleikkuri 3D-kokoonpanojen valmistamiseksi 2D-osista,
- CNC-ohjattu jyrsin, jossa on vähintään 1,2 m x 2,4 m työstöala, esim. huonekalu- ja talonrakennuskomponenttien valmistamiseen,
- CNC-ohjattu leikkuri esim. taipuisien piirilevyjen ja antennien valmistukseen,
- tarkkuustyöstökeskus muottien ja pintaliitospiirilevyjen valmistukseen ja
- ohjelmointityökalut halvoille, tehokkaille sulautetuille järjestelmille.

Ydinlaitteistojen lisäksi Fab Foundation on internet-sivuillaan julkaissut ideaalisen Fab Labin pohjapiirustuksen (Fab Foundation 2016f). Sivustolla julkaistu pohjapiirustus ei ole kuitenkaan sitova ja toimiikin valtaosassa tapauksista vain ohjenuorana suunniteltaessa uutta Fab Labia. Tästä syystä ideaalista pohjapiirustusta ei tarkastella tässä työssä. Pohjapiirustukseen tutustuttaessa on huomattava myös se, että se sisältää laitteita, jotka eivät kuulu Fab Labin perusvarustukseen.

Fab Foundation on siis koonnut kattavat, mutta esimerkinomaiset ja joustavat, listaukset ja suunnitelmat uuden Fab Labin perustamiseen. Säätiö pitää myös yllä inventaariolistausta, josta käyvät ilmi hyvinkin yksityiskohtaisesti suositukset ja vaihtoehdot uuteen Fab Labiin tarvittavista laitteistoista ja varusteluista. Inventaariolistauksen mukaisen ympäristön hinta on tällä hetkellä laitteistojen osalta 25 000–65 000 USD. Tämän lisäksi kulutustarpeiden hinta listauksen mukaan on 15 000–40 000 USD. (Fab Foundation 2016g).

Edellä esitettyjen hintojen perusteella uuden Fab Labin perustamiskustannukset suositellun tasoisen varustuksen osalta liikkuvat 40 000–105 000 USD:n välillä. On selvää, että näin suurella kustannusten vaihteluvälillä ympäristöjen todellinen taso vaihtelee huomattavasti. Fab Labeissa pelkästään yksittäisten laitteiden hankintahinnat saattavat olla moninkertaisia perussuosituksiin nähden. Esimerkiksi Fab Lab Oulun kalleimman 3D-tulostimen hinta ylittää jo yksistään inventaariolistauksessa mainitut laitteistokustannukset. Toisaalta on huomioitava, että kriteerit täyttävä ympäristö on mahdollista rakentaa myös merkittävästi edellä mainittuja suosituksia halvemmalla, mutta yleensä tämä vaatii laitteistojen valmistusta ainakin osaksi itse.

Kustannuksia mietittäessä on myös huomioitava, että uusi Fab Lab vaatii riittävän suuret tilat, joten vuosittaiset vuokratkustannukset saattavat nousta helposti ympäristön perustamishintaa korkeammaksi. Lisäksi Fab Lab vaatii toimiakseen ylläpidon, opastuksen, kehittämisen ja hallinnoinnin henkilöstöresursseja, joiden laajuuteen ja joista syntyviin kustannuksiin vaikuttavat osaltaan myös ympäristön aukioloajat.

2.4 Fab Labien liiketoimintamallit

Troxler ja Wolf (2010) tuovat esiin digitaalisen valmistuksen ja siihen liittyvien ympäristöjen, kuten Fab Labien, aiheuttaman muutoksen tuotteiden valmistuksessa sekä tästä aiheutuvan haasteen perinteiseen aineettomien oikeuksien suojaamiseen. Troxler ja Wolf perehtyivät yhdeksän yhdysvaltalaisen ja eurooppalaisen Fab Labin liiketoimintamalliin ja siihen, miten ne todellisuudessa tavoittavat erilaisia käyttäjäryhmiä. Näissä Fab Labeissa pyrittiin tavoittamaan käyttäjiksi konseptin

tavoitetta mukaillen opiskelijoita, tutkijoita, yrityksiä ja muuta yleisöä. Todelliset käyttäjäryhmät rajoittuvat kuitenkin pääosin opiskelijoihin. (Troxler ja Wolf 2010.)

Troxler (2010: 9) pitää Fab Labien haasteena sitä, että ne tarjoavat avoimen innovaatioympäristön yleensä vain tietyn oppilaitoksen opiskelijoille, eivätkä ole kovin kiinnostuneita tavoittelemaan muita potentiaalisia käyttäjiä. Tämä johtaa ympäristöjen liiketoimintamallien kannalta haasteisiin, eivätkä ympäristöt useinkaan ole taloudellisesti riippumattomia. Fab Labit, jotka pitävät huolta näkyvyydestään enemmän, saavuttavat yleensä paremmin myös muita kuin opiskelijoita käyttäjikseen, verkostoituvat paremmin ja voivat näin potentiaalisemmin saavuttaa myös taloudellisen riippumattomuuden (Troxler 2010: 9).

Fab Labit vaikuttavat kuitenkin tyypillisesti keskittyvän markkinoinnissaan hyvin vahvasti opiskelijoihin, mikä voi johtaa siihen, että ulkopuolisen rahoituksen saaminen toimintaa tukemaan on haastavaa. Tämän vuoksi valtaosa ympäristöistä ei pystyisi toimimaan ilman julkista rahoitusta. On myös selvää, että PR-toiminnan keskittyessä opiskelijoihin suuren yleisön tietoisuus ympäristöjen olemassaolosta ja avoimuudesta jää vajaaksi. Tämä taas voi johtaa siihen, että monet käytännön tarpeista lähtevät keksinnöt saattavat jäädä toteuttamatta ja sinänsä hyvä avoimen innovaatioympäristön ideologia kuihtuu hyvin varustelluksi opiskelijatyöpajaksi.

Mikäli Fab Labien tavoittamaa yleisöä halutaan laajentaa, niiden markkinointia tulisi suunnata tavoittamaan laajempia kohderyhmiä. Markkinoinnin tehostamisella voitaisiin saavuttaa myös enemmän julkisuutta ja tietoisuutta yritysmaailmassa. Tämä puolestaan parantaisi mahdollisuuksia toteuttaa yritysälhtöisiä innovaatiotyöpajoja ja auttaisi Fab Lab -ympäristöjä toimimaan yritysten rekrytointikanavana. Ympäristön käyttäjäpohjan laajentuminen mahdollistaa paremman verkostoitumisen ja ideointiympäristössä toimivien käyttäjien näkökulmien laajentumisen entisestään. Näin voitaisiin saada tehokkaammin aikaan Fab Labien ympärille muodostuvaa yritystoimintaa, mikä on myös Fab Labien perustamiskirjan mukainen tavoite (Fab Foundation 2016h).

2.5 Tiedon julkisuus ja sen haasteet Fab Lab -konseptissa

Fab Lab -konseptin peruseriaatteen mukaan kaikkien ympäristössä kehitettyjen suunnitelmien ja prosessien pitäisi säilyä julkisina niin, että muut Fab Labien käyttäjät voivat oppia niistä. Fab Labeissa kehitettyjen suunnitelmien suojaaminen ja myyminen on sinänsä sallittua. (Fab Foundation 2016h.) Tiukat käytännön tulkinnat tietojen julkisuudesta voivat aiheuttaa haasteita ja muodostua ongelmallisiksi nykyisillä aineettomien oikeuksien suojauskäytännöillä. Lisähaasteen globaaliin avoimuuteen tuovat myös erilaiset kansainväliset ja kansalliset erot aineettomien oikeuksien suojaamisessa.

Mikäli esimerkiksi Fab Lab -ympäristön käyttäjä tekisi innovaation, joka olisi patentoitavissa, syntyy kysymys, onko patentoinnista hyötyä, jos suunnitelman samanaikaisesti pitäisi olla muiden Fab Lab -käyttäjien hyödynnettävissä oppimismielessä. Tämä saattaa vaikeuttaa myös ympäristössä syntyvien, kaupallista potentiaalia omaavien tuotteiden todellista markkinoille tuloa ja keksintöjä hyödyntävien yritysten syntymistä. Lieneekin selvää, että useimmissa tapauksissa, kun tällaisia keksintöjä syntyy, tiedon julkistamisessa sovelletaan tilannekohtaista harkintaa. Näin mahdollistetaan ideoiden todellinen kehittyminen liiketoimintapotentiaalia omaaviksi tuotteiksi ja palveluiksi.

On mielenkiintoista nähdä, millaiseksi tiedon jakamisen ja julkisuuden periaate muotoutuu ja mitkä ovat sen mahdolliset vaikutukset laajemmin. On selvää, että esimerkiksi 3D-tulostuksen yleistymisen tulee mahdollistamaan tiettyjen, jopa tuotesuojattujen, tuotteiden omatoimisen valmistamisen. Esimerkiksi Tuulilasi-lehden julkaisemassa blogikirjoituksessa kerrottiin suomalaisen harrastajan tulostaneen varaosan sähköautoonsa 30 sentillä, koska hän ei ollut valmis maksamaan alkuperäisosasta 120 euron hintaa (Linja-aho 2016). Loppukäyttäjien kannalta omatoiminen tulostus on erinomainen vaihtoehto, mutta se saattaa osaltaan aiheuttaa merkittäviä haasteita ja uudistumistarpeita alkuperäisen tuotteen valmistajan liiketoimintaan. Kotitulostukseen perustuva toimintamalli saattaa myös aiheuttaa hankalia vastuukysymyksiä esimerkiksi onnettomuustilanteessa, mikäli autoon tulostettu, turvallisuuden kannalta kriittinen osa ei lujuudeltaan tai ominaisuuksiltaan

vastaa alkuperäistä. Toisaalta 3D-tulostuksen yleistyminen tekee mahdolliseksi kehittää alkuperäisvalmistajien digitaalisia varaosavaroja, kunhan mainitut tuotesuojaukseen, turvallisuuteen ja liiketoimintaan liittyvät haasteet saadaan ratkaistuiksi.

On pelkästään hyvä, että tiedon julkisuuden periaate laajenee myös konkreettisten tuotteiden pariin. Edelleen on selvää, että toimintaympäristöjen muuttuessa ja laajentuessa myös tähän liittyvät haasteet ja ongelmat ratkaistaan. Vastaavasti sama on ollut havaittavissa musiikki- ja elokuvateollisuudessa, jossa pitkään taisteltiin sähköistä levitystä vastaan. Viimeisen kymmenen vuoden aikana tilanne on kuitenkin kääntynyt siihen, että merkittävä osa kaupallisestakin levityksestä tapahtuu sähköisesti.

2.6 Fab Labien tulevaisuus

Vaikka Fab Labien määrä on tällä hetkellä yli 15-kertainen verrattuna vuoteen 2010, on edelleen havaittavissa yhteneväisyys Troxlerin (2010) havaintoihin ympäristöjen kohdentumisesta lähinnä tietyn oppilaitoksen opiskelijoille. Tämä vahvistaa sitä, että myös Fab Lab -konseptilla on edelleen pitkä tie kuljettavana ennen kuin se uskottavasti muotoutuu täysin avoimeksi innovaatioympäristöksi. Fab Lab -ympäristöjen tosiasiallisen käyttäjäkunnan laajentaminen on haaste, johon tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota. Näin ympäristöjä saataisiin hyödynnettyä yhä paremmin, ja ne voisivat tehokkaammin toimia uuden liiketoiminnan mahdollistajina.

Digitaalinen valmistus tulee väistämättä yhä merkittävämmäksi valmistusmenetelmäksi tulevaisuudessa. Sen vaatima kehitys esimerkiksi tuoteoikeuksien suhteen tulee löytämään väylänsä samoin kuin digitaalinen jakelu on ongelmista huolimatta muuttunut merkittäväksi osaksi musiikin ja elokuvien jakelua.

Fab Lab -ympäristöissä käytettävät laitteet ovat viime vuosina kehittyneet nopeasti. On odotettavissa, että kehitys jatkuu, ja etenkin 3D-tulostimien nopea yleistyminen laskee entisestään niiden hintoja ja laitteiden käytettävyys paranee. Näin ympäristöjen käyttöön saadaan jatkuvasti yhä parempia laitteita, mutta toisaalta haasteena on laitekannan nopea vanheneminen.

3 FAB LAB OULU

Tässä luvussa keskitytään Fab Lab Oulu -ympäristöön ja siellä kesällä 2016 käytössä olleisiin laitteisiin. Luvussa 4 käydään tarkemmin läpi niitä laitteita, jotka tyypillisimmin kiinnostavat koneensuunnittelijaa.

Fab Lab Oulun tilat sijaitsevat Oulu yliopiston Linnanmaan kampuksella, 2T-sisäänkäynnin tuntumassa, huoneissa TF132–135. Fab Lab on yliopistokäytössä maanantaista torstaihin klo 9.00–16.00 ja kaikkien vapaassa käytössä perjantaisin klo 9.00–16.00. Fab Lab Oulu tarjoaa Fab Lab -konseptin mukaisesti työkalut, välineet, ohjelmistot, käytänteet sekä opastuksen laitteiden käyttöön. Ympäristöstä löytyvät myös tilat ja laitteistot ohjelmistoiheen esimerkiksi suunnittelua ja ideointia varten. Lisäksi tilat mahdollistavat yhteydenpidon muihin Fab Labeihin. Kesällä 2016 laboratorioon ei vielä ole erillistä varauskalenteria, mutta sellainen on odotettavissa toiminnan aktivoituessa. (Fab Lab Oulu 2016a.)

3.1 Fab Lab -laittekanta

Fab Lab Oulun laitekanta on kehittynyt koko laboratorion olemassaolon ajan voimakkaasti, mutta Fab Lab -konseptin mukaiselta perustaltaan ympäristössä on tätä kirjoitettaessa käytössä seuraavat laitteistot (Fab Lab Oulu 2016b):

- **Stratasys Fortus 380mc**, CNC-ohjattu 3D-tulostin, erilaisten muoviosien ja kokoonpanojen tulostamiseen,
- **Epilog Laser Fusion 40**, CNC-ohjattu laserleikkuri-kaiverrin 2D- tai 3D-suunnitteluun ja -valmistukseen,
- **Roland SRM-20**, CNC-ohjattu pientyöstökeskus piirilevyjen ja valumuottien valmistukseen,
- **Roland Camm-1 GS-24**, CNC-ohjattu vinylileikkuri joustavien piirilevyjen ja tarrojen yms. valmistukseen (kuva 1),
- **CNC-ohjattu puutyöstökeskus (omavalmiste)**, suurten (puu)osien kuten huonekalujen valmistukseen ja

- **elektroniikkatyöpisteet** piirilevyjen ja elektroniikan prototypointiin ja mikrokontrollerien ohjelmointiin.



Kuva 1. Vinyylileikkuri Roland Camm-1 GS-24, Fab Lab Oulu.

Fab Lab Oulun varustelu on varsin hyvä suhteessa muihin ympäristöihin maailmalla. Laitteistovalinnat ovat korkeakoulutasoiseen Fab Labiin perusteltuja. Etenkin ympäristön ensisijaiseksi 3D-tulostimeksi valittu Stratasys Fortus 380mc vaikuttaa olevan erinomainen valinta. Laite on kelvollinen jopa teolliseen tuotantoon ja edesauttaa osaltaan varmasti ympäristön tunnettuutta ja kiinnostavuutta myös yritysmaailman edustajien silmissä. Ympäristössä on käytössä myös kolme muuta 3D-tulostinta (ks. luku 3.3) ja se tarjoaa näin käyttäjilleen mahdollisuuden tutustua myös halvempiin ja pienempiin 3D-tulostimiin aina kuluttajahintaluokkaa myöten.

3.2 Täydentävä laitekanta ja suunnitellut laajennukset

Fab Lab Ouluun on hankittu merkittävä määrä ympäristön toimintaa tukevia laitteita, jotka eivät suoraan kuulu konseptin vaatimuksiin. Nämä laitteet esitellään seuraavassa listassa:

- **Formlabs Form 2**, 3D-tulostin pienten osien valmistamiseen nestemäisestä hartsista laserilla kovettamalla. Maksimi tulostuskoko 145 x 145 x 175 mm, kerrospaksuus 25–100 µm. (Formlabs 2016.)
- **M3D The Micro**, 3D-tulostin pienten osien valmistamiseen pursotustekniikalla. Perustulostuskoko 109 x 113 x 116 mm. Yli 74 mm korkeudella tulostuskoko 91 x 84 mm. Kerrospaksuus 50–350 µm. (M3D 2016.)
- **Leapfrog Creatr**, 3D-tulostin osien valmistamiseen pursotustekniikalla. Maksimi tulostuskoko 230 x 270 x 200 mm, kerrospaksuus 50–350 µm. (3D Hubs Inc. 2016.)
- **Bernardo Profi 700 BQV**, metallisorvi 3-akselidigitaalinäytöllä pienten osien koneistamiseen sekä esimerkiksi 3D-tulostettujen osien pinnanlaadun parantamiseen (kuva 2). Portaaton nopeudensäätö välillä 50–1800 kierr./min. Kärkikorkeus 140 mm ja maksimi kärkiväli 700 mm. Moottoriteho on 1 kW. (Bernardo 2016.)
- **Proxxon BFW 40/E**, manuaalijyrsin esimerkiksi 3D-tulostettujen osien jälkikäsittelyyn tai pienten osien valmistamiseen jyrsimällä. Moottoriteho on max. 250 W ja kierrosnopeus 900–6000 kierr./min (Proxxon 2016).
- **Kendro Heraeus M110**, laboratoriuuni esimerkiksi metallien lämpökäsittelyyn. Maksimilämpötila on 1100 °C ja uunin tilavuus 9 litraa (Labotest Oy 2016).
- **pesuallas** 3D-tulosteiden tukirakenteiden poistoon
- **puhalluskammio** kappaleiden puhdistamiseen alumiinioksidia käyttäen
- **vannesaha** esimerkiksi puutyöstökeskuksella valmistettujen osien viimeistelyyn sekä laserleikkuri-kaivertimessa käytettävien levyjen esivalmisteluun.



Kuva 2. Metallisorvi Bernardo Profi 700 BQV, Fab Lab Oulu.

Edellä mainittujen laitteiden lisäksi Fab Lab Oulu -ympäristöön on kaavailtu hankittavaksi tulevaisuudessa pienikokoinen CNC-koneistuskeskus (Pirkola 2016). Mahdollisen hankinnan aikataulu on vielä avoin, mutta malliksi on Pirkolan mukaan tässä vaiheessa kaavailtu Haas Officemill OM-2A -mallia. Tämän kaltainen, suhteellisen pienikokoinen koneistuskeskus olisikin erinomainen lisä Fab Lab -laitteistoon koneteknisestä näkökulmasta. Laite mahdollistaisi esimerkiksi 3D-tulosteina prototyyppien osien valmistuksen koneistamalla.

4 FAB LAB -YMPÄRISTÖ KONEENSUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA

Tässä luvussa keskitytään Fab Lab -ympäristön erityisvaatimuksiin, mahdollisuuksiin, haasteisiin ja rajoitteisiin koneensuunnittelijan näkökulmasta. Ympäristön laitteet ja niitä käyttävät ohjelmistot vaativat suunnittelijaa huomioimaan tiettyjä erikoispiirteitä, jotka eivät välttämättä tule vastaan käytettäessä perinteisempiä valmistusmenetelmiä.

Fab Lab -ympäristön tarjoamista menetelmistä 3D-tulostus on todennäköisimmin ja laajimmin koneensuunnittelijan hyödyntämä niin uutuusarvonsa kuin käytännön sovellutustensa takia. Tästä johtuen kappaleessa 4.5 muut ympäristön laitteet on käyty läpi pintapuolisemmin puuttumatta yhtä syvästi niiden teknisiin ominaisuuksiin tai niiden aiheuttamiin erityisvaatimuksiin suunnittelutyön kannalta.

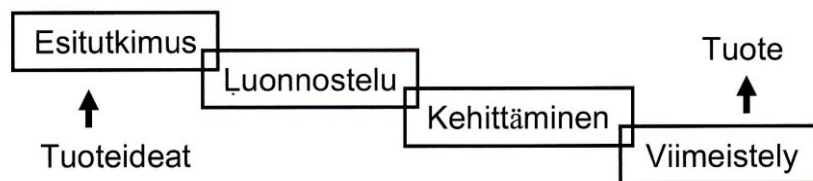
Fab Labia hyödyntäessään koneensuunnittelijan on huomioitava tietyt rajoitteet yhtäältä suunniteltavien kappaleiden dimensioissa ja toisaalta käytettävissä olevissa materiaaleissa. Vastaavasti suunnittelijan on huomioitava se, että mikäli esim. prototypointivaiheessa käytetään Fab Lab -ympäristön tai muun vastaavan pikavalmistusympäristön (engl. rapid prototyping environment, rapid manufacturing environment) tarjoamia välineitä, saattavat ne mahdollistaa merkittävänkin oikaisemisen perinteisiin valmistustekniikoihin nähden. Uudet valmistusmenetelmät haastavat suunnittelijaa, koska ne vaativat perinteisten suunnittelumethodien hylkäämistä ja uuden ajattelumallin omaksumista.

Koneensuunnittelija ei kuitenkaan voi harkitsemattomasti hyödyntää uusien valmistus- ja prototypointimenetelmien tuomia mahdollisuuksia, vaan hänen on huomioitava myös lopullisen valmistustekniikan asettamat mahdolliset suunnittelu- ja valmistusrajoitteet. Mikäli esimerkiksi prototypointivaiheessa käytetään 3D-tulostusta, mutta lopullinen tuote valmistetaan muovista ruiskupuristamalla, on suunnittelijan huomioitava työssään lopullinen valmistusmenetelmä ja muun muassa se, miten lopullinen tuote irrotetaan muotista.

Koneensuunnittelijan on otettava huomioon myös se, että pikavalmistusmenetelmien hyödyntäminen voi sisältää riskin siitä, että suunnittelutyön tehokkuus ja tulokset kärsivät verrattuna perinteisempiin menetelmiin. Huolimaton suunnittelutyö voi johtaa pahimmillaan siihen, että suunnitelmat ovat mahdottomia toteuttaa lopputuotetta valmistettaessa. Tämä saattaa johtaa siihen, että suunnitteluprosessi on aloitettava alusta.

4.1 Yleinen tuotekehitysprosessi

Björk et al. (2014: 9–10) esittelevät yleisen koneensuunnitteluun liittyvän tuotekehitysprosessin ja sen etenemistä kuvaavan kaavion (kuva 3), joka onkin erinomaisesti sovellettavissa perinteiseen koneensuunnittelutyöhön. Björk et al. tähdentävät sitä, että tuotekehitysprosessin alkupään virheitä on usein hankalaa tai mahdotonta korjata myöhemmin tuotetta valmistettaessa tai huollettaessa.



Kuva 3. Tuotekehitysprosessin kuvaus (Björk et al. 2014: 10).

Björk et al. (2014: 9–10) esittämän tuotekehitysprosessin luonnostelu- ja kehitysvaiheet (kuva 3) ovat erityisen kiinnostavia nopean prototypoinnin ja esivalmistuksen menetelmien hyödynnettävyyden kannalta. Näissä vaiheissa koneensuunnittelutyön tuloksia voidaan parantaa, kun käytössä on menetelmiä, joilla suunnitteluvaiheen malleja voidaan nopeasti ja riittäväällä tarkkuudella siirtää tietokoneen ruudulta prototyypeiksi.

4.2 Pikavalmistusmenetelmien yleisesittely

Pikavalmistusmenetelmät ovat kehittyneet jo 1970-luvulla, kun tilavuusmallinnuksen kehittymisen myötä tavoitteeksi tuli valmistaa suunniteltu kappale suoraan mallista ilman perinteisten valmistusmenetelmien käyttöä (Porter 2015). Pikavalmistuksen avulla onkin mahdollista käyttää perinteisestä poikkeavia lähestymistapoja suunnittelussa. Tämä voi johtaa tuotteen valmistusmateriaalin käsittelyn suoraviivaistumiseen ja erilaisten kiinnittimien tarpeen vähentymiseen tai poistumiseen. Useissa tapauksissa myös muottien tarve vähenee ja ainetta poistavia työstömenetelmiä tarvitaan vähemmän. Porter (2015) jakaa pikavalmistusmenetelmät ainetta lisääviin, poistaviin ja muovaaviin menetelmiin. Näistä tässä kandidaatintyössä käsitellään pääasiassa ainetta lisääviä menetelmiä. Tämä johtuu Fab Lab -ympäristössä käytössä olevista laitteistoista sekä siitä, että koneensuunnittelutyössä 3D-tulostus on ympäristön menetelmistä merkittävin.

Porter (2015) jakaa pikavalmistusmenetelmien sovellusalueet seuraavasti:

1. nopea prototypointi (engl. rapid prototyping),
2. yksittäiskappaleiden ja piensarjojen valmistus sekä
3. pikavalmistetut työkalut (engl. rapid tooling).

Näistä pikavalmistusmenetelmistä Fab Lab soveltuu hyvin nopeaan prototypointiin sekä yksittäiskappaleiden ja piensarjojen valmistukseen. Pikavalmistetut työkalut vaativat yleensä ainetta lisääviä metallimenetelmiä, jotka eivät tyypillisen Fab Lab -ympäristön laitteistoilla ole mahdollisia.

Pikavalmistusmenetelmien etuina Porter (2015) piti mm. mahdollisuutta valmistaa suunnitellut komponentit tai kokoonpanot suoraan CAD-tiedostoista. Lisäksi Porter piti merkittävänä etuna suunnittelun vapautumista sekä sitä, että monimutkaisetkaan rakenteet eivät lisää valmistuskustannuksia, mikäli kappaleet voidaan valmistaa suoraan ainetta lisäävillä menetelmillä. Edelleen Porter tähdensi nopean suunnittelun ja

valmistuksen mahdollistamaa tuotekehityksen nopeutumista, kun prototyypeistä saatava käytännön palaute pystytään viemään sujuvasti ja nopeasti suunnittelupöydälle.

4.3 Fab Lab -ympäristö tuotekehitysprosessin tukena

Erilaiset pikamallinnus- ja valmistusmenetelmät, joita Fab Lab tarjoaa, madaltavat koneensuunnittelijan kynnystä kokeilla täysin uusia tai aiemmin hankalasti testattavissa ja todennettavissa olleita näkökulmia. Lisäksi ympäristön laitteet tarjoavat erinomaisen mahdollisuuden myös tietyissä suunnittelutöissä erittäin tärkeään esitestaukseen, kun tehdyt suunnitelmat pystytään toteuttamaan nopeasti. Koska ympäristössä käytössä olevat laitteet ovat myös helposti etenkin teknisesti orientoituneen käyttäjän omaksuttavissa ja käytettävissä, on suunnittelijalla ympäristöä käyttäessään hyvät mahdollisuudet hahmottaa uusia valmistusmenetelmiä käytännössä. Onkin todennäköistä, että nämä uudet valmistusmenetelmät tulevat lähivuosina nykyistä merkittävämmäksi osaksi tuotteiden suunnitteluprosessia.

Koska Fab Lab -ympäristö mahdollistaa nopean prototypoinnin ja esivalmistuksen, konseptin aktiivinen hyödyntäminen antaa niin kokeneille, aloitteleville kuin vasta opiskelevillekin koneensuunnittelijoille uusia erinomaisia välineitä suunnittelutyön ja ajattelun tueksi. Myös esimerkiksi sähkötekniikan valmistussolut Fab Lab -ympäristössä auttavat avarakatseista koneensuunnittelijaa ymmärtämään tuotteiden suunnittelua kokonaisvaltaisemmin ja siten parantavat suunnittelijan valmiuksia toimia nykyaikaisten yritysten toimintaympäristöissä.

4.4 Fab Lab -ympäristö koneensuunnittelutyössä

Fab Lab -ympäristössä käytössä olevat laitteistot ja valmistusmenetelmät asettavat tiettyjä rajoitteita koneensuunnittelussa etenkin valmistusmateriaaleille, toleransseille, kappaleiden koolle sekä käytettävissä olevilla menetelmillä saavutettavalle materiaalilujuudelle. Koneensuunnittelijan kannalta kiinnostavimpina voidaankin pitää suunnittelukohteita, jotka ovat riittävän tarkasti ja luotettavasti prototyyppitavissa esimerkiksi 3D-tulostuksen keinoin. Tämä voi tarkoittaa joko sopivassa suhteessa toteutettuja pienoismalleja tai suoraan oikeaan kokoon valmistettua mallia, vaikka lopputuotteen valmistus tapahtuu muussa ympäristössä ja muilla menetelmillä.

4.4.1 Vaatimukset koneensuunnittelutyölle

Porterin (2015) mukaan yksi merkittävimmistä huomioitavista seikoista etenkin 3D-tulostusta käytettäessä on tulostettavan kappaleen asennon määrittäminen optimaaliseksi tulostusalustalla. Asentoon vaikuttavat mm. kappaleelta vaadittavat lujuusominaisuudet, koska kerrosteinen tulostus on lujuudeltaan erilainen pysty- ja vaakasuunnassa. Suunnitellun kappaleen asento tulostusalustalla vaikuttaa lisäksi esimerkiksi saavutettavaan tulostustarkkuuteen (ja siten mm. saavutettavaan pinnanlaatuun) sekä tulosteelle vaadittavien tukirakenteiden määrään. Vaikka tukirakenteiden lisäys parantaakin yleensä kappaleen mittatarkkuutta, vaikuttaa se tulostusaikaan ja jälkikäsittelyyn kuluvaan aikaan, sillä monimutkaiset tukirakenteet ovat huomattavasti työläämpiä poistaa. Kappaleen tulostusasentoa mietittäessä onkin tärkeää priorisoida kappaleen kriittisten piirteiden paras mahdollinen asento lopputuloksen kannalta. (Porter 2015.)

Ainetta lisäävien menetelmien käytössä tulosteen hyödynnettävyyteen vaikuttaa merkittävästi myös käytettävä tulostemateriaali. Fab Lab -ympäristöissä tulostemateriaaleina käytetään lähes poikkeuksetta muoveja, tyypillisimmin biohajoavaa polylaktidia (engl. polylactid acid, lyh. PLA) ja akryylinitriilibutadienistyreeniä (lyh. ABS). PLA on yleisin 3D-tulostuksessa käytettävä muovi. Sen tulostuslämpötila on 185–220 °C, kimmomoduuli 3.5 GPa ja murtolujuus n. 45 MPa. ABS-muovin tulostuslämpötila puolestaan on 210–230 °C, kimmomoduuli 2 GPa ja murtolujuus 30–

45 MPa. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan ABS-muovi on yksi parhaista muovimateriaaleista 3D-tulostukseen. (Porter 2015.)

3D-tulostuksessa käytettävää muovimateriaalia valittaessa koneensuunnittelijan on huomioitava etenkin tuotteen käyttölämpötila, mikäli tulostetta on tarkoitus käyttää lopputuotteena. Esimerkiksi PLA-muovin lasitransitiolämpötila on 60–65 °C, jossa materiaali muuttuu kideisestä olomuodosta kumimaiseksi. Käytännössä tämä näkyy materiaalin lujuusominaisuuksien heikkenemisenä, eikä käyttölämpötilan sen vuoksi tulisi olla liian lähellä tulostemateriaalin lasitransitiolämpötilaa. (Porter 2015.)

Tulostemateriaalin lujuusominaisuudet sekä lämmönkesto voivat siis rajoittaa tulostetun kappaleen käytön pelkästään prototypointiin. Mikäli tulostemateriaalin ominaisuudet ja tulosteen muut ominaisuudet ovat riittävät, tulostettu kappale voi kuitenkin sellaisenaan tai jälkikäsiteltynä olla kelvoinen lopulliseen käyttöön. Koneensuunnittelussa on tärkeää huomioida lopputuotteelta vaadittavat ominaisuudet mahdollisimman tarkasti, ymmärtää valitun materiaalin erikoispiirteet tulostuksessa sekä pyrkiä valitsemaan tulostusmateriaali siten, että tulosteen käytettävyys on paras mahdollinen. Suunnitteluvaiheessa on myös tärkeä miettiä sitä, onko kappaleeseen syytä lisätä työstövaroja tai kiinnityspintoja mahdollista jälkikäsitteilyä varten. Lisäksi tulostemateriaalin jäähtymisestä aiheutuva kutistumisvara tulee ottaa huomioon suunnittelussa. (Porter 2015.)

Porter (2015) korosti suunnittelijalta tarvittavaa tulostusprosessiin ja jälkikäsitteilyyn liittyvää tietotaitoa: tulostuslaitteen koneparametrien ymmärtämistä, tulosteisiin syntyvien jännitysten ymmärtämistä, jännitysten ja tukimateriaalien poistoon sekä muuhun jälkikäsitteilyyn liittyvää osaamista. Fab Lab -ympäristö tukeekin koneensuunnittelijaa näiden taitojen kehittämisessä, koska saatavissa on opastusta laitteiden käyttöön. Tietotaidon leviämistä auttaa myös se, että ympäristöjen toiminnan vakiintuessa niissä toimiva henkilöstö oppii ymmärtämään laitteistojen toimintaa sekä opastamaan niiden käyttäjiä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen.

Kuten perinteisemmissäkin valmistusmenetelmissä, koneensuunnittelijan on huomioitava, ettei 3D-tulosteen valmistamiseen kuluva aika koskaan ole suoraan tulostusaika. Tuotantoaikaan vaikuttavat merkittävästi muun muassa

tulostusmateriaalien vaihdot, laitteistojen puhdistus, tukimateriaalien poisto ja jälkikäsitteily. (Porter 2015.)

4.4.2 Mahdollisuudet koneensuunnittelutyössä

Porter (2015) piti merkittävänä sitä, että 3D-tulostusta hyödynnettäessä perinteisen valmistustekniikan rajoitteet voidaan unohtaa ja esimerkiksi yhdistää toimintoja samaan osaan perinteisiä valmistusmenetelmiä vapaammin. Lisäksi Porter korosti mahdollisuutta valmistaa 3D-tulosteina sellaisia kokoonpanoja tai mekanismeja, joiden toteutus ei perinteisillä valmistusmenetelmillä onnistuisi. Myöskään monimutkaiset konstruktioratkaisut eivät 3D-tulostusta hyödynnettäessä välttämättä lisää valmistuskustannuksia. Porter pitää hyvänä mahdollisuutena myös 3D-tulosteiden hyödyntämistä tiettyjen kalliiden tai vaikeasti valmistettavien osien korvikkeosina, kun arvioidaan esimerkiksi kokoonpanon toiminnallisuutta, kokoonpantavuutta tai komponenttien asemointia kesken suunnitteluprosessin.

Porterin (2015) mukaan myös topologiseen optimointiin keskittyneet ohjelmistot ovat kehittyneet ja 3D-tulostuksen yleistymisen myötä niitä hyödyntämällä voidaan luoda automaattisesti optimoituja rakenteita tiettyjen reunaehtoien (mitat, kriittiset pisteet, materiaaliarvo, sallitut jännitykset tai siirtymät yms.) perusteella. Ohjelmistot käyvät läpi tuhansia FEM-analyyssejä tuottaen optimaalisen rakenteen automaattisesti. Näin voidaan säästää merkittävästi esimerkiksi painoa tai kallista tulostusmateriaalia.

Kandidaatintyön tekijän näkemyksen mukaan Porterin (2015) kuvaamat ominaisuudet puoltavat lähes varauksetta 3D-tulostuksen hyödyntämistä. Koneensuunnittelijan on kuitenkin muistettava, ettei perinteisten valmistusmenetelmien asettamia rajoituksia tule unohtaa, jos 3D-tulosteita hyödynnetään ainoastaan prototyyppitarkoituksessa ja jos lopullinen valmistus tapahtuu tavanomaisin menetelmin. Suunnittelijan on hyvä myös sisäistää, että 3D-tulostuksen kustannukset saattavat olla merkittävästi perinteisiä valmistusmenetelmiä suurempia, mikäli käytetään esimerkiksi metallitulostusmenetelmiä tai tulostetaan suuria kappaleita.

4.4.3 Haasteet koneensuunnittelutyössä

Ensisijainen ainetta lisääviin menetelmiin liittyvä suunnitteluhaaste on se, että koneensuunnittelijan on pystyttävä uudistamaan ajatteluaan verrattuna perinteiseen suunnittelutyöhön. Tämän lisäksi myös tuotannollisten rajoitteiden ymmärtäminen on suunnittelijalle haaste. (Porter 2015.)

Tiedon jakamisen ja julkisuuden periaate (ks. luku 2.5) on koneensuunnittelijan haasteena huomionarvoinen silloin, kun tarkoituksena on valmistaa jatkossa kaupallisesti hyödynnettäviä ja malli- tai tuotesuojausta tarvitsevia laitteita tai keksintöjä. Suunnittelijan ei myöskään sovi unohtaa sitä, että Fab Lab -ympäristö on avoin ja soveltuu lähinnä tuotteiden esivalmistukseen ja prototypointiin, ei varsinaiseen massatuotantoon.

Kaupallisen koneensuunnittelun kannalta Fab Lab on erinomainen tutustuttaessa uusiin, nopeisiin tuotantomenetelmiin. Mikäli ympäristön laitteet osoittautuvat hyödyllisiksi, niiden hankinta kaupallisten toimijoiden omaan käyttöön ei enää nykyään ole merkittävä kustannuskysymys. Tämä on myös eettisesti oikea malli, jossa itse Fab Lab -ympäristöt säilyvät alkuperäisen toiminta-ajatuksen mukaisesti mahdollisimman monien käyttäjien vapaassa käytössä innovaatioympäristöinä, ja kaupallinen toiminta tapahtuu kunkin toimijan omien resurssien puitteissa (Fab Foundation 2016h).

4.4.4 3D-tulostuksen vaatimukset CAD-ohjelmistoille

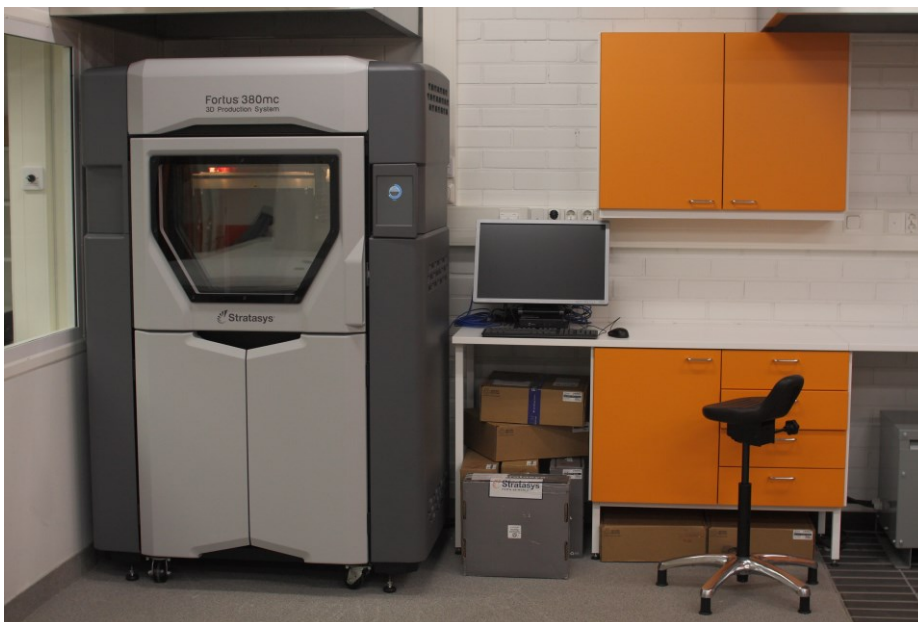
3D-tulostus vaatii CAD-ohjelmistolta 3D-mallin, jota ilman tulostus on käytännössä mahdotonta. Nykyaikaiset 3D-suunnitteluohjelmistot mahdollistavat 3D-tulostuksen yleensä kohtuullisen helposti. Merkittävin vaatimus suunnitteluohjelmistolle on, että 3D-mallin tallennus onnistuu STL-formaatissa. STL-muunnoksessa alkuperäinen 3D-malli kolmioidaan ja viipaloidaan 3D-tulostimelle sopivaan kerroksittaiseen muotoon. Muunnosprosessi vaihtelee ohjelmistoitain, mutta on yleensä varsin helppokäyttöinen ja luotettava. STL-muunnosta tehtäessä kannattaa kuitenkin tarkistaa, voiko mallin kolmioinnissa muokata resoluutioarvoja. Liian karkea kolmiointi heikentää tulostuksen tarkkuutta ja pahimmillaan tämä voi aiheuttaa liiallista toleranssien heikkenemistä. (Porter 2015.)

4.5 Koneensuunnittelijalle oleelliset laitteet Fab Lab Oulu -ympäristössä

Koneensuunnittelun ja -rakennuksen kannalta Fab Lab -ympäristö sisältää varsin selkeän ja rajatun määrän laitteita, joita koneensuunnittelija ympäristöstä todennäköisimmin käyttää. Tässä luvussa keskitytään esittelemään näitä laitteita Fab Lab Oulussa. On huomattava, että niiden ominaisuudet, rajoitteet sekä suunnittelulliset ja tuotannolliset seikat eivät ole yleispäteviä eivätkä siten suoraan hyödynnettävissä muihin ympäristöihin. Kappaleissa 4.5.1–4.5.3 esitetyt ohjeet ja ominaisuudet ovat kuitenkin soveltaen hyödynnettävissä niin muissa Fab Labeissa kuin vastaavaa 3D-tulostus- tai pikavalmistusympäristöissä.

4.5.1 3D-tulostin (Stratasys Fortus 380mc)

Kesäkuussa 2016 Fab Lab Oulun laitekantaan kuului neljä erilaista CNC-ohjattua 3D-tulostinta. Vuonna 2015 markkinoille tullut, lämmitetyllä tulostuskammeriolla varustettu Stratasys Fortus 380mc (kuva 4) on laitteista suurin ja tasokkain, ja sillä pystytään valmistamaan tuotantolaatuisia kestopuoviosia. Laite käyttää pursotustekniikkaa ja on siten yhteensopiva muiden Fab Labien laitteiden kanssa. Tulostimen rakennustilavuus eli tulosteen maksimikoko on 355 x 305 x 305 mm. (Porter 2015.)



Kuva 4. 3D-tulostin Stratasys Fortus 380mc, Fab Lab Oulu.

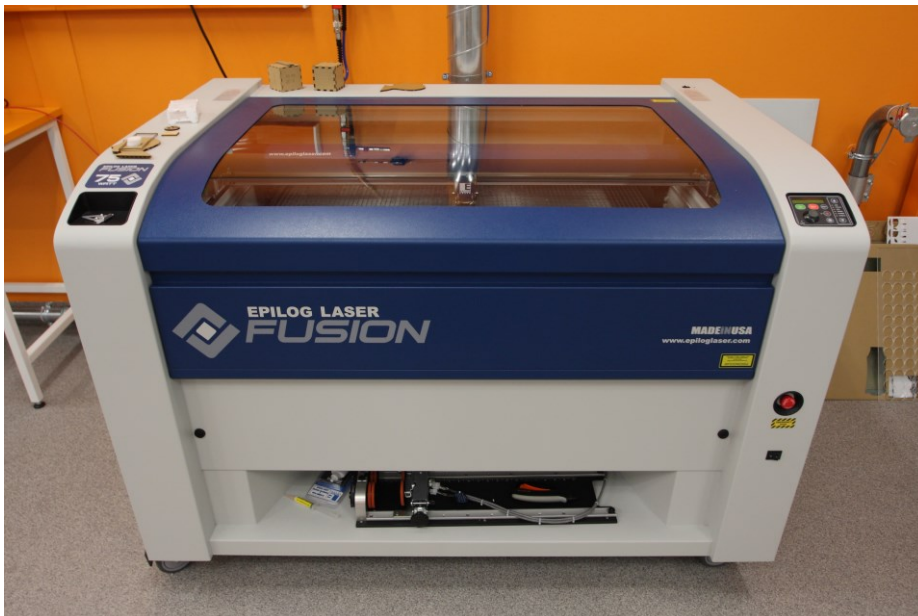
Antikaisen (2016) mukaan Stratasys Fortus 380mc on erittäin toimintavarma ja käytettävyydeltään ylivertainen muihin Fab Lab Oulun 3D-tulostimiin nähden. Laitteen tulostuskerroksen paksuus on 0,127–0,330 mm ja siihen on saatavilla useita erilaisia tulostusmateriaaleja (Stratasys 2016). Fab Lab Oulussa tulostusmateriaaleina on tähän mennessä käytetty ABS-muovia sekä polyamidia (Antikainen 2016).

Laitetta käytettäessä on huomioitava, että 3D-suunnitteluohjelmistosta tallennettu STL-mallitiedosto ladataan ensin laitevalmistajan omaan Insight-ohjelmistoon, jossa mallille valitaan kerrospaksuudet, työstöratastrategiat ja kappaleen asettelu tulostusalustalle. Yhdellä kerralla on mahdollista tulostaa useita malleja tai kopioita samasta kappaleesta. Tämä onkin usein järkevää, koska laitteen apuajat eivät juuri muutu esimerkiksi tulostettaessa useampia kopioita. Näin kaksi kopiota on merkittävästi nopeampi tulostaa rinnakkain kuin sarjatyönä. Insight-ohjelmistossa tehtyjen asetusten jälkeen malli siirretään tulostimeen, jonka kosketusnäytöllinen käyttöliittymä opastaa varsinaisen tulostuksen tekemisessä. Näyttö kertoo myös tulostusajan. Käyttövarmuutensa ansiosta laite voidaan jättää tekemään tulostus itsenäisesti. (Antikainen 2015.)

Laitetta käytettäessä ja sillä tulostettavia kappaleita suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon etenkin kappaleen orientaatio tulostusalustalla, koska tulosteen z-akselin suuntainen lujuus poikkeaa x- ja y-akseleiden suuntaisesta lujuudesta. Mitoituksessa tulee huomioida, että tulostustarkkuudesta johtuen esimerkiksi halkaisijaltaan 50,0 mm oleva akseli ei ilman hiomista mahdu halkaisijaltaan 50,0 mm reikään. Käytännön kokemuksen perusteella tämän sovitusongelman ratkaisee n. 0,2 mm välyksen käyttäminen suunnitteluvaiheessa. Sovitukset on kuitenkin usein testattava käytännössä eikä absoluuttista ja yleispätevää ohjetta ole mahdollista antaa. Kappaleen tulostuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon sen vaatimat tukirakenteet sekä mahdollisuus käyttää umpinaisissa rakenteissa kennomaista sisusta, mitkä vaikuttavat merkittävästi tulostusaikaan. Lisäksi tukirakenteiden määrä vaikuttaa jälkikäsittelyn tarpeeseen ja niiden poistoon kuluvaan aikaan. (Antikainen 2015.)

4.5.2 Laserleikkuri-kaiverrin (Epilog Laser Fusion 40)

Fab Lab Oulussa käytössä oleva CNC-ohjattu Epilog Laser Fusion 40 -laserleikkuri-kaiverrin (kuva 5) on työstöalaltaan suhteellisen suuri (n. 1000 mm x 700 mm) ja sen työstöpäänä toimii 75 W CO₂-laser. Ilmajäähdytteisen laserin teho ja suuri tuuletettu työstökammio mahdollistavat myös kohtuullisen paksut leikattavat materiaalivahvuudet (n. 330 mm). Laitetta ei voida käyttää metallien leikkaukseen, mutta kaiverrus ja merkkkaus ovat mahdollisia myös pinnoitetuille metalleille. (Epilog Laser 2015.) Tavanomaista käyttöä Fab Lab Oulussa ovat erilaisten muovimateriaalien sekä pahvin leikkaus ja kaiverrus (Antikainen 2015).



Kuva 5. Laserleikkuri-kaiverrin Epilog Laser Fusion 40, Fab Lab Oulu.

Antikaisen (2015) mukaan laitetta käytettäessä suositus on, että Inkscape-ohjelmistosta viedään 2D-kuva PDF-tiedostoksi. Laite kaivertaa PDF-tiedostossa olevat rasterikuviot ja vastaavasti leikkaa vektorikuviot. Mikäli leikattava tai kaiverrettava kuva on mahdollista asemoida niin, että pitkä sivu on laitteen x-akselin suuntaisesti, saavutetaan nopeampi työstönopeus. Myös pitkiä työstöliikkeitä kannattaa suosia moottorirasituksen pienentämiseksi. Tulostusasetuksia määrittäessä on tärkeää löytää optimaalinen tehon ja nopeuden suhde. Käytännössä laitteen vakioasetukset ovat usein turhan

tehopainotteisia, joten niiden tekemiseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. (Antikainen 2015.)

4.5.3 Pientyöstökeskus (Roland monoFab SRM-20)

Roland monoFab SRM-20 on pöytäkokoinen, CNC-ohjattu 3-akselinen pientyöstökeskus (kuva 6). Työstökeskus on tarkoitettu pehmeille, ei-metallisille materiaaleille kuten akryyli- ja ABS-muoveista valmistettaville konstruktiolle, prototyypeille, valumuoteille ja esimerkiksi piirilevyille. Laitteella valmistettavia kappaleita suunniteltaessa on huomioitava, että koko voi olla maksimissaan 200 x 150 x 60 mm (pituus x leveys x korkeus) ja työstettävän kappaleen paino maksimissaan 2 kg. Valmistajan mukaan laitteen mekaaninen tarkkuus on 1 µm luokkaa ja työstöpään kierrosnopeus on 3000 – 7000 kierr./min. (Roland DGA Corporation 2016.)



Kuva 6. Pientyöstökeskus Roland monoFab SRM-20, Fab Lab Oulu.

5 YHTEENVETO

Kandidaatintyön tarkoituksena oli luoda tiivis yleiskuva Fab Lab -konseptiin ja sen mukaisiin innovaatioympäristöihin. Fab Lab -konseptin mukaisten ympäristöjen määrä kasvaa nopeasti, ja niitä on tällä hetkellä jo 683 eri puolilla maailmaa. Fab Labien laitteistot myös monipuolistuvat jatkuvasti.

Fab Foundationin määrittämistä suosituksista huolimatta ympäristöjen tilat, taloudelliset resurssit ja tutkimusintressit poikkeavat toisistaan, joten kattavan ja yksiselitteisen tilaston luominen esimerkiksi Fab Labien erilaisista varustelutasoista ei olisi ollut tämän kandidaatintyön puitteissa mahdollista. Vaikka Fab Labit noudattavat samoja periaatteita ja kriteereitä, ei ole tarkoituksenmukaista vertailla esimerkiksi 35 000 euron hintaisen ympäristön toimintaedellytyksiä kymmenen kertaa kalliimpaan.

Fab Lab -ympäristön hyödyllisyyteen koneensuunnittelijan kannalta vaikuttaa laitekannan lisäksi merkittävästi se, mihin suunnittelutyö tähtää. Mikäli tarkoituksena on valmistaa kaupallisesti hyödynnettäviä tuotteita, saattaa vaatimus tiedon julkisesta jakamisesta olla ristiriidassa malli- tai tuotesuojauksen tarpeen kanssa. Mikäli taas ympäristöä käytetään vain uusiin tuotantomenetelmiin tutustumisen välineenä tai esimerkiksi prototypointiin, ei tiedon julkisen jakamisen periaate ole yhtä kriittinen. Tiedon julkisuus Fab Labeissa vaatineekin tulevaisuudessa tarkempaa selvitystyötä ja linjauksia, ettei tämä periaate turhaan muodostu rajoitteeksi innovaatiotoiminnalle.

Kandidaatintyössä tutustuttiin Fab Lab Oulu -ympäristöön laitteineen ja erityispiirteineen. Fab Lab Oulun laitteistovalinnat ovat korkeakoulutasoiseen ympäristöön perusteltuja ja sen tarjoamista mahdollisuuksista koneensuunnittelijalle tärkein on 3D-tulostus. Ympäristössä on käytössä neljä eritasoista 3D-tulostinta, joista tasokkain, Stratasys Fortus 380mc, on koneensuunnittelijan näkökulmasta mielenkiintoisin. Sillä voi valmistaa tuotantolaatuisia kestopuoviosia, ja se auttaa suunnittelijaa hahmottamaan teollisen 3D-tulostuksen käytännön mahdollisuuksia ja vaatimuksia. Myös Fab Labiin valittu laserleikkuri-kaiverin ja pientyöstökeskus yhdessä täydentävien laitteiden kanssa auttavat koneensuunnittelijaa laajentamaan ymmärrystään nykyaikaisista pikavalmistumenetelmistä.

Mikäli Fab Lab Oulu -ympäristöön suunnitellun pienen CNC-koneistuskeskuksen hankinta toteutuu, lisää se entisestään ympäristön hyötyä koneensuunnittelijalle. Lisäksi ympäristön hyödynnettävyyttä koneensuunnittelussa parantaisi sille luotu kattava ja laitteistojen käytännön käyttökokemukseen perustuva suunnittelu- ja käyttöohjeistus.

Fab Lab Oulun olemassaolo tai avoimuus ei vaikuta olevan yleisesti tiedossa edes Oulun yliopiston tekniikan opiskelijoiden keskuudessa. Jotta Fab Lab Oulu tavoittaisi nykyistä laajemmin konseptin mukaisia kohderyhmiä, olisi sen tunnettuutta parannettava markkinointia ja viestintää kehittämällä. Kehitystyön kannalta mielenkiintoista voisi olla pitempään toimineiden ja maantieteellisesti lähellä olevien Fab Labien vertailu ja niissä muodostuneiden hyvien käytänteiden yhteen kokoaminen. Myös näiden Fab Labien välinen tiivistetty yhteistyöverkosto voisi kehittää kaikkien ympäristöjen toimintaa.

Työtä tehdessäni havaitsin, että koneensuunnittelijan näkökulma ja Fab Lab -konseptiin kohdistuvat vaatimukset voivat poiketa merkittävästi alkuperäisen konseptin ideasta, jossa ”kuka tahansa voi suunnitella ja valmistaa mitä tahansa”. Koneensuunnittelijan näkökulmasta ajatus ei ole vielä realistinen, joskin konsepti kehittyy jatkuvasti ja luo varmasti yhä parempia suunnittelu- ja valmistusmahdollisuuksia. Aiemman markkinointiin liittyvän koulutukseni ja käytännön kokemukseni perusteella minulle tuli myös vaikutelma, etteivät Fab Lab -ympäristöt ole aina edes erityisen halukkaita tavoittamaan suurta yleisöä potentiaalisiksi käyttäjikseen. Tämä voi osin olla tietoinen valinta, mutta Fab Labien tämänhetkinen heikko tunnettuus on hyvä ottaa huomioon ympäristöjen toimintaa ja liiketoimintamalleja kehitettäessä.

6 LÄHDELUETTELO

3D Hubs Inc. (2016) 3D Hubs, Leapfrog Creatr 3D Printer Reviews & Ratings
<https://www.3dhubs.com/3d-printers/leapfrog-creatr> [4.8.2016].

Antikainen E (2015) Täydentävät valmistusmenetelmät -kurssiin liittyvä Fab Lab Oulun esittelykierros [16.5.2015].

Antikainen E (2016) Tapaaminen Fab Lab Oulun laitteistoihin liittyen [15.6.2015].

Bernardo (2016) Bernardo, Profi 700 BQV
<http://www.bernardo.at/shop/en/metal/metal-working/profi-700-bqv.html>
 [24.6.2016].

Björk T *et al.* (2014) Koneenosien suunnittelu. 6. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Cable News Network (2013) On GPS: Future of digital fabrication.
<http://edition.cnn.com/videos/bestoftv/2013/07/17/exp-gps-gershenfeld-3d-printing.cnn> [30.7.2016].

Gershenfeld N (2012) How to make almost anything. The digital fabrication revolution. Foreign Affairs 91: 43-57.

Epilog Laser (2015) Epilog Laser, The Fusion Laser Series.
<https://www.epiloglaser.com/products/fusion-laser-series.htm> [15.4.2016].

Fab Foundation (2016a) Fab Foundation, What qualifies as a Fab Lab?
<http://www.fabfoundation.org/fab-labs/fab-lab-criteria/> [30.7.2016].

Fab Foundation (2016b) Fab Foundation, About. <http://fabfoundation.org/about-us/>
 [30.7.2016].

Fab Foundation (2016c) Fab Labs, All countries. <https://www.fablabs.io/labs>
 [30.7.2016].

Fab Foundation (2016d) Fab Foundation, What is Fab Lab?
<http://www.fabfoundation.org/fab-labs/what-is-a-fab-lab/> [30.7.2016].

Fab Foundation (2016e) Fab Foundation, Fab Lab FAQ.
<http://fab.cba.mit.edu/about/faq/> [30.7.2016].

- Fab Foundation (2016f) Fab Foundation, Ideal Lab Layout. <http://www.fabfoundation.org/fab-labs/setting-up-a-fab-lab/ideal-lab-layout/> [30.7.2016].
- Fab Foundation (2016g) Fab Foundation, Setting up a Fab Lab. <http://fabfoundation.org/fab-labs/setting-up-a-fab-lab/> [30.7.2016].
- Fab Foundation (2016h) Fab Foundation, The Fab Charter. <http://fabfoundation.org/fab-labs/the-fab-charter/> [30.7.2016].
- Fab Lab Oulu (2016a) Fab Lab Oulu. <http://www.oulu.fi/fablab/> [30.7.2016].
- Fab Lab Oulu (2016b) Fab Lab Oulu, Facilities. <http://www.oulu.fi/fablab/facilities> [30.7.2016].
- Formlabs (2016) Formlabs, Form 2 Desktop SLA Printer. <http://formlabs.com/products/3d-printers/form-2/> [16.6.2016].
- Labotest Oy (2016) Kendro Heraeus laboratoriouunien tuote-esite. http://www.labotest.fi/Pdf/High_Temp_Furnaces_E_0302.pdf [1.8.2016].
- Linja-aho V (2016) Tuulilasi-blogi, Suomalaisautoilija suuttui 120 € varaosaan, tulosti itse 0,30 eurolla. <http://www.tuulilasi.fi/blogit/sahkolinjaaho/suomalaisautoilija-suuttui-120-eu-varaosaan-tulosti-itse-030-eurolla> [30.7.2016].
- M3D (2016) M3D, The Micro by M3D. <https://printm3d.com/themicro/> [16.6.2016].
- Pirkola H (2016) Sähköpostiviesti liittyen Fab Lab -ympäristöön suunniteltuun koneistuskeskukseen [1.8.2016].
- Porter J (2015) Täydentävät valmistusmenetelmät -kurssin luennot, Oulun yliopisto.
- Proxxon (2016) Proxxon, BFW 40/E. <http://www.proxxon.com/en/micromot/20165.php?list> [1.8.2016].
- Roland DGA Corporation (2016) Roland DGA, monoFab SRM-20 Desktop Milling Machine. <https://www.rolanddga.com/products/3d/srm-20-small-milling-machine> [12.5.2016].
- Stratasys Ltd (2016) Stratasys, Fortus 380mc and Fortus 450mc. <http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-380-450mc> [16.6.2016].

Troxler P (2010) Commons-based Peer-Production of Physical Goods. Is there Room for a Hybrid Innovation Ecology? The 3rd Free Culture Research Conference, Berlin, Germany.

Troxler P & Wolf P (2010) Bending the Rules. The Fab Lab Innovation Ecology. 11th International CINet Conference, Zürich, Switzerland.