

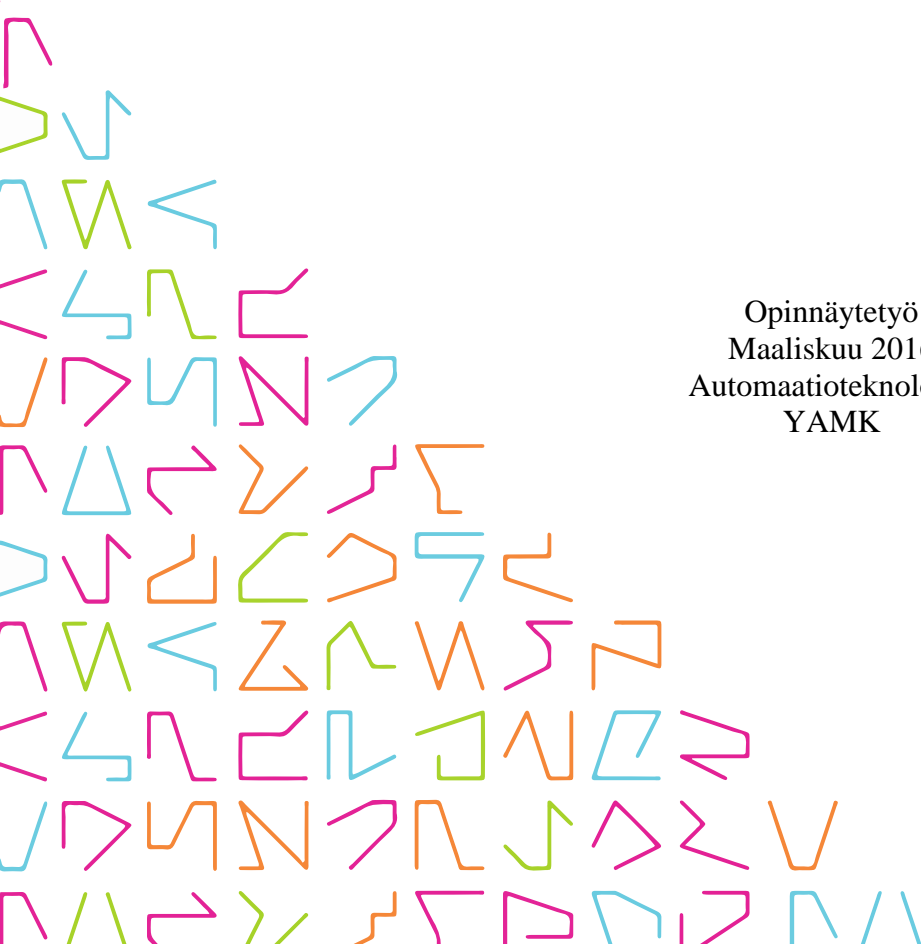


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **3D-TULOUSTUSJÄRJESTELMÄN HANKINTA JA JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖKOHDESELVITYS KAUPALLISESSA TUOTANNOSSA**

Tuomo Myllymäki

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2016  
Automaatioteknologia  
YAMK



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologian koulutus, YAMK

MYLLYMÄKI TUOMO:

3D-tulostusjärjestelmän hankinta ja järjestelmien käyttökohdeselvitys kaupallisessa tuotannossa

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 15 sivua  
Maaliskuu 2016

---

Tämä opinnäytetyö pohjautui EAKR-rahoitteisista 3D-tekniikkaan liittyvistä projekteista, joissa koulutusorganisaatioiden oli tarkoitus rakentaa yritysysteistyön avulla Pirkanmaan alueelle 3D-tulostustekniikoiden osaamiskeskittymää. Yhteistyöllä rakennettavat yritysten kehityssuunnitelmat toimivat pohjana opetusympäristöjen ja -suunnitelmien muokkaantumiseen, tarkoin mietittyjen laitteistohankintojen myötä.

Työn tavoitteena oli Sastamalan koulutuskuntayhtymän laitteistohankintaprosessin selkeyttäminen yhdeksi kokonaisuudeksi sekä tuoda esille tutkimuksen avulla yritysmaailman nykyhetken suuntauksia 3D-tekniikasta. Työssä käsiteltiin myös yleisesti 3D-tulostusta sekä tutkittiin tarkemmin FDM-menetelmää ja sen toimintaperiaatteita.

Tutkimus suoritettiin kyselyllä. Se kohdennettiin laitteistotoimittajille ja tulostuspalveluja tuottaville yrityksille, koska heillä oli ensikäden tietoa 3D-tekniikkaan liittyvistä tuotteista. Kysely rakennettiin GoogleForms-editorilla ja lähetettiin yritysten asiantuntijoiden sähköposteihin.

Tutkimuksesta saadut tiedot viittaavat laajaan ja monipuoliseen 3D-tulostusmenetelmien käyttöön eri ammattialoilla. Laitteiden käytön suuntaus on selkeästi painottunut suunnitteluun ja prototyöskentelyyn. Tutkimustietojen on tarkoitus toimia tukena Saskyn opetusympäristön kehittämisessä, mutta näkökantojen vieminen koulutusympäristöön ei kuulu tähän työhön. Sen tekee työn tilaaja oman harkintansa mukaan.

---

Asiasanat: 3D-tulostus, ainetta lisäävä valmistus, pikavalmistus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Automation Engineering

### **MYLLYMÄKI TUOMO:**

Acquisition of 3D Printing Systems and Their Application in Commercial Production

Master's thesis 70 pages, appendices 15 pages  
March 2016

---

This master's thesis is based on projects which related in 3D technology. In these projects, educational organizations intend to build a center of competence of 3D technologies in the area of Pirkanmaa district. The 3D technology development plans of the organizations, which have been built collaboratively, act as a basis for modification of educational environments and –strategies.

Purpose of this thesis was to unify the hardware purchase units of Sastamala municipal education and training consortium. Also the implementation of application report about 3D technology systems in the commercial production was studied. The 3D printing was elaborated in this thesis. Furthermore, especially the FDM technique and its operational principles were studied.

A survey was conducted among 3D hardware suppliers and companies who offer 3D printing services. Those companies has first-hand knowledge about 3D products and consumer habits. Survey was built in the GoogleForms with ready-made answer options and sent to the company emails.

Results of the survey refer to wide and versatile use of 3D printing methods in different industry. Most of the use of 3D printers is headed to the field of planning and prototyping. Findings of the survey utilize to develop Sastamala municipal education and training consortium's teaching environment.

---

Key words: 3D printing, additive manufacturing, rapid prototyping

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....                                    | 7  |
| 2     | AINETTA LISÄÄVÄ VALMISTUS .....                  | 8  |
| 2.1   | Menetelmät .....                                 | 8  |
| 2.1.1 | Materiaalin pursotus.....                        | 9  |
| 2.1.2 | Jauhepetimenetelmä .....                         | 9  |
| 2.1.3 | Laminointi .....                                 | 10 |
| 2.1.4 | Nesteen fotopolymerointi.....                    | 10 |
| 2.1.5 | Sideaineruiskutus .....                          | 11 |
| 2.1.6 | Materiaalin ruiskutus.....                       | 12 |
| 2.1.7 | Suora kerrostus.....                             | 12 |
| 2.2   | Lisäävän valmistuksen näkökulmia .....           | 13 |
| 2.2.1 | Eroavaisuuksia muihin valmistusmenetelmiin ..... | 13 |
| 2.2.2 | Hyödyt.....                                      | 14 |
| 2.2.3 | Haitat .....                                     | 15 |
| 2.3   | Ohjelmistot ja 3D-mallinnus.....                 | 16 |
| 2.3.1 | Mallinnusohjelmat .....                          | 16 |
| 2.3.2 | Tulostusohjelmat.....                            | 17 |
| 2.3.3 | Verkkoyhteisöt ja tuotekirjastot.....            | 18 |
| 3     | FDM - MENETELMÄ .....                            | 19 |
| 3.1   | FDM-prosessin kuvaus .....                       | 20 |
| 3.2   | Toimintaperiaate .....                           | 21 |
| 3.3   | Materiaalit .....                                | 23 |
| 3.3.1 | PLA (Polylactic acid) .....                      | 24 |
| 3.3.2 | ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) .....      | 25 |
| 3.3.3 | Nylon (Polyamide).....                           | 26 |
| 3.3.4 | PC (Polycarbonate) .....                         | 27 |
| 3.3.5 | PPSU (Polyphenylsulfone) .....                   | 28 |
| 3.3.6 | PEI (Polyetherimide).....                        | 28 |
| 3.3.7 | PET (Polyethylene terephthalate) .....           | 29 |
| 3.3.8 | PE (Polyethylene).....                           | 29 |
| 3.3.9 | WoodFill .....                                   | 30 |
| 3.4   | Tukimateriaalit.....                             | 31 |
| 3.4.1 | PVA (Polyvinyl alcohol).....                     | 31 |
| 3.4.2 | HIPS (High Impact Polystyrene) .....             | 31 |
| 4     | 3D - TULOSTUSJÄRJESTELMÄN HANKINTAPROSESSI.....  | 33 |
| 4.1   | Hankinnan kohde .....                            | 33 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.2   | Hankintamenettely .....  | 34 |
| 4.2.1 | Kynnysarvot .....  | 34 |
| 4.2.2 | Avoin menettely .....  | 35 |
| 4.3   | Tarjouspyyntö ja aikataulu.....  | 36 |
| 4.4   | Tulostuslaitteiston valinta .....  | 36 |
| 4.4.1 | Tarjouspyyntöjen vertailu .....  | 36 |
| 4.4.2 | Valittu laitteisto.....  | 37 |
| 5     | TULOSTINJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ KAUPALLISESSA<br>TUOTANNOSSA .....          | 40 |
| 5.1   | Tutkimuksen tarve ja rajausta .....                                      | 40 |
| 5.2   | Tutkimusmenetelmä.....   | 40 |
| 5.3   | Tutkimuksen eteenpäin vieminen ja aikataulu.....                         | 42 |
| 6     | TUTKIMUSTULOKSIEN KÄSITTELY .....  | 43 |
| 6.1   | Hankitut 3D-tulostusmenetelmät .....                                     | 44 |
| 6.2   | Sovelluskäyttökohteet .....  | 45 |
| 6.3   | Rakennus- ja tukimateriaalit .....                                       | 46 |
| 6.4   | Tulostusta tukevat oheislaitteet.....                                    | 48 |
| 6.5   | Tulostimia käyttävät toimialat .....                                     | 49 |
| 6.6   | Lisätietoa.....  | 50 |
| 6.7   | Tutkimuksen analysointi.....   | 51 |
| 7     | POHDINTA.....  | 52 |
|       | LÄHTEET.....   | 53 |
|       | LIITTEET .....   | 56 |
|       | Liite 1. Laitteistotoimittajille suunnattu kysely.....                   | 56 |
|       | Liite 2. Laitteistotoimittajilta saadut vastaukset.....                  | 61 |
|       | Liite 3. Tulostuspalveluja tuottaville yrityksille suunnattu kysely..... | 64 |
|       | Liite 4. Tulostuspalveluja tuottavilta saadut vastaukset .....           | 69 |

## LYHENTEET JA TERMIT

|      |  |
|------|--|
| 3D   | Three Dimension  |
| RM   | Rapid Manufacturing (pikavalmistus)  |
| RP   | Rapid Prototyping  |
| AM   | Additive Manufacturing (lisäävä valmistus)   |
| FDM  | Fused Deposition Manufacturing   |
| FFF  | Fused Filament Fabrication   |
| SLS  | Selective Laser Sintering  |
| DMLS | Direct Metal laser Sintering   |
| EBM  | Electro Beam Melting   |
| SHS  | Selective Heat Sintering   |
| LOM  | Laminated Object Manufacturing   |
| UAM  | Ultrasonic Additive Manufacturing  |
| 3DP  | Three Dimensional Printing   |
| STL  | Stereolithography (stereolitografia) – tiedostoformaatti                           |
| PLA  | Polylastic acid (Polylaktidi) – materiaali   |
| ABS  | Acrylonitrile butadiene styrene<br>(Akrylinitriilibutadieenistyreeni) – materiaali |
| PC   | Polycarbonate (Polykarbonaatti) – materiaali                                       |
| PPSU | Polyphenylsulfone (Polyfeeenisulfoni) – materiaali                                 |
| PEI  | Polyetherimide (Polyeetteriimidi) – materiaali                                     |
| PET  | Polyethylene Terephthalate (Polyetyleeniterflaatti) – materiaali                   |
| PE   | Polyethylene (Polyeteeni) – materiaali   |
| PVA  | Polyvinyl Alcohol (Polyvinyylialkoholi) – materiaali                               |
| HIPS | High Impact Polystyrene (suuria voimia sietävä Polystyreeni)<br>- materiaali       |

## 1 JOHDANTO

Työssä tutustutaan 3D-tulostusteknologiaan. Tarkastellaan tätä varsin uutta valmistusmenetelmää yleiseltä näkökantilta ja haetaan vertailunäkökulmia muihin erilasiin valmistusmenetelmiin. Tuodaan esille 3D-tekniikan mahdollisuuksia, rajoitteita ja kehitysuuntia.

Työssä perehdytään tarkemmin yhteen yleisimmistä 3D-tulostusmenetelmistä maailmalla. FDM on yksinkertainen muovien ja muoviseosten pursotusmenetelmä. Tutustutaan menetelmän laitteistorakenteeseen sekä sen toimintaperiaatteeseen. Käydään läpi myös erilaisten materiaalien ominaisuuksia ja niiden soveltuvuutta tulostukseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on dokumentoida Sastamalan koulutuskuntayhtymän suorittama 3D-tulostusjärjestelmän hankintaprosessi. Järjestelmän tarkoitus on soveltua toisen asteen koulutuksen eri alojen opetuskäyttöön ja auttaa samalla yhteistyöyrityksiä aihepiiriin tutustumisessa.

Opinnäytetyössä suoritetaan tutkimus 3D-tekniikan kaupallisen tuotannon suuntauksista. Selvitetään millä menetelmillä ja materiaaleilla teollisuudessa toimitaan sekä mihin sovelluskohteisiin 3D-tulostusta käytetään tällä hetkellä. Tutkimus suoritetaan kyselytutkimusmenetelmällä ja suunnataan laitteistotoimittajille sekä tulostuspalveluja tuottaville yrityksille, koska heillä on ensikäden tietoa tuotteistaan ja niiden käytöstä. Tutkimuksen tarkoituksena on vahvistaa 3D-tulostuslaitteiston koulutusympäristökäyttöä.

## 2 AINETTA LISÄÄVÄ VALMISTUS

Alkuaikoina ainetta lisäävästä mallinnuksesta käytettiin termiä Rapid Prototyping (RP), jonka yleinen käsite on rakentaa fyysinen kappale suoraan digitaalisen tiedoston mallista. Valmistusmenetelmä kehitettiin visualisoimaan tuotteita, korvaamaan piirustuksia, erilaisia tulkintoja ja esityksiä. Suurin syy suppeaan käyttöön oli materiaalien vähyys sekä niiden ominaisuudet. (Gibson, Rosen & Stucker 2010, 1.)

ASTM International, joka tunnettiin vuoteen 2001 asti nimellä ASTM (American Society of Testing and Materials) loi uuden standardinmukaisen nimikkeen Additive Manufacturing (AM). AM on nykyään lisäävän valmistusmenetelmän osalta yleisessä käytössä. Muita 3D-tulostukseen liitettyjä kansainvälisiä termejä ovat: Additive Fabrication, Additive Processes, Additive Techniques, Additive Layer Manufacturing, Layer Manufacturing sekä Freeform Fabrication. (SME: Additive Manufacturing Glossary.)

Laajamittaisen ja yleiskäytöllisen lisäävän valmistuksen AM-termiin siirryttiin, kun pysyttiin identifioimaan tuotteen käyttö valmiina kappaleena isommassa kokonaisuudessa. Tätä kuvataan FFF-termillä. Kirjaimet tulevat sanoista Form, Fit ja Function. Form määrittää kappaleen visuaaliset parametrit sekä muotojen tarkoitukset. Fit käsittää kehittyneen tarkkuuden myötä mahdollisen käytön muissa toiminnollisuuksissa. Functionin kautta tarkastellaan mahdollisia käytännöllisyyksiä yhä monimutkaisemmissa käyttötaroituksissa. (Gibson, Rosen & Stucker 2010, 1–3.)

### 2.1 Menetelmät

Tulostusmenetelmiä on useita erilaisia. Niitä yhdistävä tekijä on tuotteen rakentaminen kerros kerrokselta. Kaikki lisäävän valmistuksen menetelmät eivät sisällä tulostusominaisuutta, mutta niitäkin käsitellään tulevassa vertailun vuoksi.

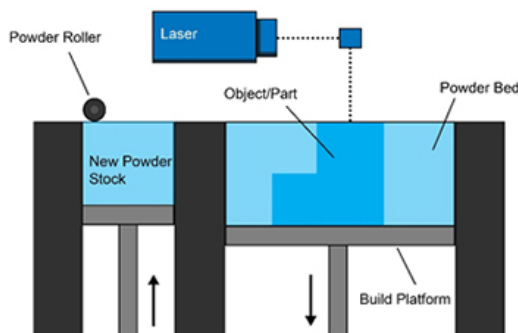


### 2.1.1 Materiaalin pursotus

Pursotustekniikassa lähelle sulamispistettä kuumennettu tulostusmateriaali pursotetaan suuttimien läpi. Termoplastiset muovimateriaalit ovat pursotustekniikassa yleisimmät tulostusmateriaalit. Pursotus ei kuulu tarkimpiin tulostusmenetelmiin suuttimien pyöreän muodon vuoksi. (Loughborough University: Material Extrusion.) Pursotustekniikasta esimerkkiprosessina työssä käsitellään tarkemmin FDM-menetelmää (3 FDM-menetelmä).

### 2.1.2 Jauhepetimenetelmä

Jauhepetimenetelmässä rulla tai terä levittävät jauhetta tulostuspöydälle halutun paksuisen kerroksen, joka on yleensä noin 0,1 mm. Riippuen menetelmästä, jauhe kerros vuorollaan sulatetaan muotoon laserin (SLS- ja DMLS-menetelmät) (Kuva 1) tai elektronisuihkun (EBM-menetelmä) avulla. EBM-menetelmä tarvitsee tulostustilaksi tyhjiön toimiakseen. SHS menetelmä eroaa muista jauhepetimenetelmistä siten, että se käyttää lämmitettävää tulostuspäätä jauhemateriaalin sulattamiseen. (Loughborough University: Powder Bed Fusion.)

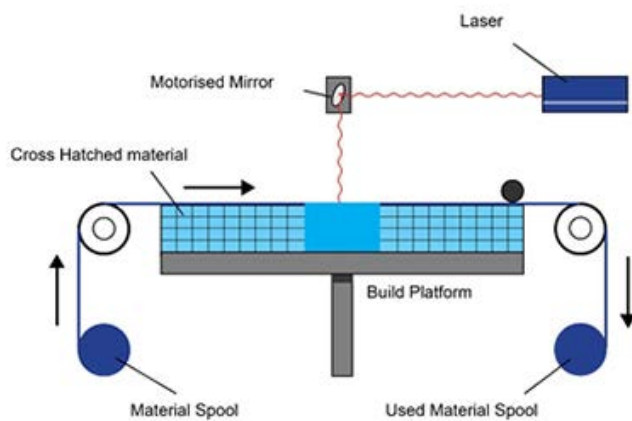


KUVA 1. SLS-menetelmä. (Loughborough University: Powder Bed Fusion.)

### 2.1.3 Laminointi

Laminointitekniikassa kiinteät materiaalikerrokset liitetään toisiinsa. LOM on ensimmäisiä lisäävän valmistuksen menetelmiä. Siinä paperit asetellaan päällekkäin ja liitetään toisiinsa sideaineen avulla. Kerrosten liittämisen jälkeen paperimassa leikataan haluttuun muotoon terävän työkalun avulla. (Loughborough University: Sheet Lamination.)

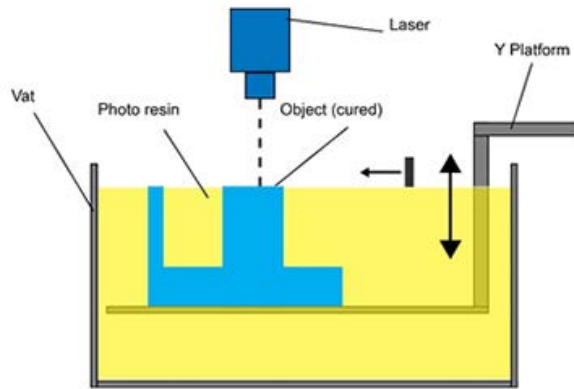
Metallilevyjen laminointiin käytetään UAM-menetelmää, jossa päällekkäin asetellut metallilevyt hitsataan toisiinsa ultraäänen avulla. Menetelmää voidaan hyödyntää useisiin eri metallilaatuihin. UAM-menetelmässä voidaan eri metalleja kerrostaa toistensa päälle. Päällekkäin liitetyt metallit leikataan muotoonsa laserin avulla. Kerrostettuja levyjä voidaan työstää jälkikäteen normaalisti työstökoneilla (Kuva 2). (Loughborough University: Sheet Lamination.)



KUVA 2. UAM-menetelmän toimintamalli. (Loughborough University: Sheet Lamination.)

### 2.1.4 Nesteen fotopolymerointi

SLA-menetelmä on yksi tarkimmista 3D-tulostusprosesseista. Valoherkkää hartsipohjaista nestettä kovetetaan haluttuun muotoon kerros kerrallaan ultraviolettilaserin avulla. Tulostettava materiaali on nestemäistä ja siksi monimutkaisemmissa kappaleissa tuki lisätään erikseen. Tulostusjälkeä voidaan parantaa käyttämällä putsausterää jokaisen kerroksen päällä, jolloin saadaan poistettua kappaleesta ylimääräiset ainekovettumat. Tuloste voidaan kuivata käyttämällä ilmaletkua tai ultraviolettivaloa (Kuva 3). (Loughborough University: Vat Polymerisation.)

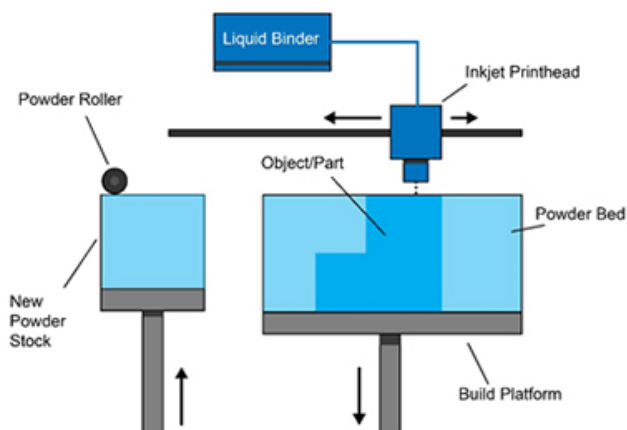


KUVA 3. Kammion sisällä tapahtuva nesteen fotopolymeerointi. (Loughborough University: Vat Polymerisation.)

### 2.1.5 Sideaineruiskutus

Sideaineruiskutusmenetelmä tunnetaan usein myös 3DP-nimestä. Sideaine on nestemäisessä muodossa, joka sitoo jauhemaisen tulostusmateriaalin haluttuun muotoon. 3DP on muita menetelmiä nopeampi, koska siinä voidaan käyttää useampaa samanaikaisesti. Jälkikäsittelyvaihe saattaa viedä enemmän aikaa verrattuna muihin menetelmiin.

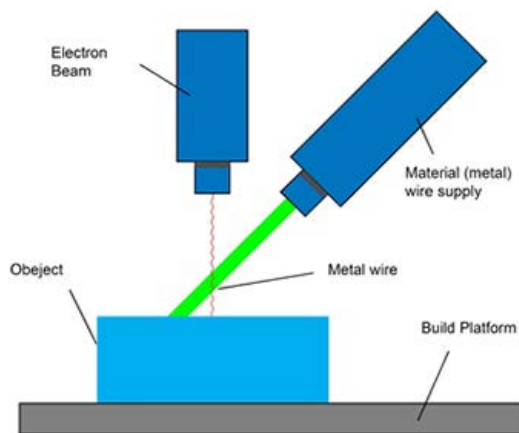
Tulostaessa ei tarvita erillistä tukimateriaalia, koska sideaineen ulkopuolelle jäänyt jauhe toimii tukena seuraavan kerroksen rakennusmateriaalille. Menetelmällä voidaan tulostaa esimerkiksi ruostumatonta terästä, lasia tai erilaisia muoveja (Kuva 4). (Loughborough University: Binder Jetting.)



KUVA 4. Sideaineruiskutusprosessi. (Loughborough University: Binder Jetting.)

### 2.1.6 Materiaalin ruiskutus

Materiaalin ruiskutus tapahtuu pieninä pisaroina kerrallaan. Pisarat kovetetaan ultraviolettivalon avulla. Menetelmä soveltuu vahamaisille materiaaleille niiden viskositeettiominaisuuksien vuoksi. Materiaalia muokataan tulostuspäälle mentäessä joko lämmöllä tai pietsosähkömenetelmällä. Tulostuskappale jälkikäsitellään liuottamalla tukimateriaali Natriumhydroksidissa tai puhdistetaan vesisuihkun avulla (Kuva 5). (Loughborough University: Material Jetting.)

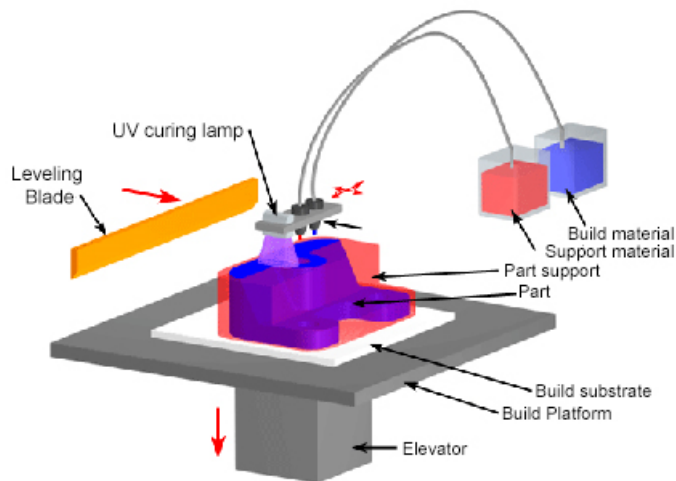


KUVA 5. Materiaalin ruiskutusmenetelmä. (CustomPartNet)

### 2.1.7 Suora kerrostus

Suora kerrostaminen on monimutkainen tulostusprosessi. Sitä käytetään yleisemmin materiaalin lisäämiseen jo olemassa olevaan kappaleeseen tai sen korjaamiseen. Se on samankaltainen tulostusperiaatteeltaan kuin pursotusmenetelmä, mutta siinä voidaan tuoda materiaali halutussa kulmassa liikkuvien robottivarsien avulla. Jauhemainen tai lankamainen materiaali sulatetaan tulostuspintaan laserilla tai elektronisuihkulla.

Metallit ovat yleisin menetelmän tulostusmateriaali, mutta voidaan myös käyttää muoveja tai keraameja (Kuva 6). (Loughborough University: Direct Energy Deposition.)



KUVA 6. Suora kerrostus-menetelmä. (Loughborough University: Direct Energy Deposition.)

## 2.2 Lisäävän valmistuksen näkökulmia

Ainetta lisäävissä valmistusmenetelmissä tulostusmateriaalin massaa kasvatetaan kerros kerrokselta kunnes tuloste on mallinnetun kuvan kanssa yhdenmukainen (SME: Additive Manufacturing Glossary).

Tulostuskappaleen laatu määritellään tulostuskerrosten paksuuden mukaan. Mitä ohuempi kerros tulostetaan, sitä tarkempi lopputulos. Tulostuslaitteistojen eroavaisuudet ilmenevät laitteistojen tavoista tuottaa kerroksia. Mitä materiaaleja niillä voidaan tulostaa sekä miten tulostuskerrokset liitetään toisiinsa. Monilla menetelmillä voidaan tulostaa samankaltaisia materiaaleja. Silloin huomio kannattaa kiinnittää laitteistojen nopeuteen sekä materiaalien jälkikäsittelyn tarpeeseen.

### 2.2.1 Eroavaisuuksia muihin valmistusmenetelmiin

Kaikilla valmistusmenetelmillä tuotteen valmistusprosessi on samankaltainen. Se alkaa suunnittelulla, mikä toteutetaan pääsääntöisesti tietokoneavusteisesti mallintamalla 3D-kuva tuotteesta. Tämän jälkeen suunnitellaan mahdolliset työstöradat ja haetaan soveltuvat työkalut. Valmistelujen jälkeen alkaa varsinainen kappaleen valmistusprosessi.

Valmistusprosesseja voivat olla ainetta lisäävän valmistuksen lisäksi ainetta vähentävä valmistus tai muovaava valmistus. Ainetta vähentäviin valmistusmenetelmiin kuuluu työstökoneprosessit ja muovaava valmistus käsittää valumenetelmät.

Kaikki asiat lähtevät valmistusmenetelmiä toteuttavasta tahosta. Vähentävän ja muokkavan menetelmän laitteistojen käyttäjä koulutetaan normaalisti pitkäaikaisella intensiivikoulutuksella tai monivuotisesti koulutusorganisaatioissa. Syynä tähän on laitteistojen vaarallisuus ja monimutkaisuus. 3D-tulostimia käyttävä henkilö tarvitsee hieman tietoa laitteiston parametreista ja soveltuvuuksista materiaaleille. Laitteiston käyttö onnistuu ohjekirjaa selailemalla tai nopean kurssituksen kautta. Ammattimaisemmassa käytössä on hyvä olla tietoa materiaalien käyttäytymisestä ja ominaisuuksista.

Tulostusvaiheessa erilaisia työkaluja tarvitaan äärimmäisen vähän. Korkeintaan kerrostusten välissä ylimääräisten tulostusjäämien putsamiseen ja jälkikäsittelyssä tukimateriaalin poistoon kuuluvat työkalut. Työstökoneet tarvitsevat erilaisia leikkaavia ja poraavia teriä, riippuen valmistettavan kappaleen monimutkaisuudesta. Valumuotteja rakennettaessa tarvitaan usein työstökoneita ja erilaisia koteloita, joihin valumallit voidaan sijoittaa. Tuotteiden jälkikäsittelyssä voidaan tarvita sähkötyökaluja tai jopa robottia hoitamaan tarkat viimeistelyt. Oli se sitten pesemistä, hiomista tai muuta ylimääräisten asioiden poistamista. (Gibson, Rosen & Stucker 2010, 9–12.)

Kappaleen valmistuksessa tulostusmenetelmät eivät pääse samoihin mittatarkkuuksiin kuin esimerkiksi työstökoneiden tarkkuudet. Materialistisesti tulostuksesta tulevat kappaleet eivät ole yhtä kestäviä kuin työstö- tai valumenetelmissä. Kuitenkin tulostus saa etua siitä mitä enemmän kappaleessa on geometrinen monimuotoisuus.

(Gibson, Rosen & Stucker 2010, 9–12.)

### **2.2.2 Hyödyt**

Hyötynäkökulmia voidaan materiaalin tulostamisessa nähdä varsinkin kustannusten puolella. Koulutuksissa suurin kustannusmenoerä kasautuu käytetystä ajasta. Tulostimien käyttökohtainen koulutus on nopea prosessi, koska siinä käydään läpi peräkkäisiä toimintoja ja vaadittuja käskyjä tulostuskappaleen aikaan saamiseksi.

Valmistusprosessissa materiaalia kuluu vain niin paljon kuin tulostuskappale tarvitsee ja sen kulutusta on myös helppo seurata. Ylimääräinen materiaali voidaan kierrättää uusiokäyttöön melkein kaikissa tulostusmenetelmissä. Materiaalin pienen kulumisen ohella 3D-tulostuksen etuna on työkalujen tarpeen vähyys. Jälkikäsittelevaihe on tulostusmenetelmille aina samankaltainen eli laitteen ulkopuolisia työkaluja ei tarvitse olla laajaa valikoimaa. (Loughborough University: What is Additive...)

Tuotteiden kilpailukykyä voidaan parantaa hyvän suunnittelun ja markkinoinnin kautta. Molemmissa työprosesseissa kappaleen mallintaminen fyysiseksi kappaleeksi luo konkreettisia näkökantoja ja helpottavat asioiden eteenpäin viemistä. Suunnitteluprosessi nopeutuu testauskappaleen rakentamisen myötä, eikä tarvitse suorittaa varsinaista tuotantovaihetta muutosten huomioimiseksi. Samalla tavalla potentiaaliset asiakkaat näkevät tuotteen konkreettisuuden eri näkökulmista. (Loughborough University: What is Additive...)

3D-tulostamisen kautta voidaan myös tavoitella ympäristönkuormitusten keventämistä ja kuljetusliikennöinnistä koituvia kustannuksia (Loughborough University: What is Additive...). 3D-tulosteiden valmistusprosessi on kevyt ja nopea verrattuna muihin valmistusmenetelmiin. Kappaleet voidaan suunnitella niiden toiminnollisuuksien mukaan ja ne saadaan valmistettua suoraan suunnitellusta 3D-kuvasta ilman ylimääräisiä työstörata- tai työkaluvalmisteluja. Suunnittelussa voidaan pohtia jälkikäsittelevän vähentämisen mahdollisuuksia. (Gibson, Rosen & Stucker 2010, 9–12.)

Monimutkaisten geometrinen kuvioiden rakentaminen on nopeaa. Siten saadaan yksilöllistettyä tuotteita. Esimerkiksi lääketieteelliseen tarkoitukseen potilaalle voidaan tulostaa jokin korvaava kehon ulkoinen osa. (Loughborough University: What is Additive...)

### **2.2.3 Haitat**

Materialistiset ongelmat sisältävät mahdollisia rajoitteita, jotka estävät laaja-alaista tulostamista. Tällaisia haittoja on varsinkin tulostimien kokoluokka. Pääosa tulostimista pysyy tulostamaan vain alle yhden kuutiometrin kokoisella alueella. Toinen ongelma suuren mittakaavan tulostamiselle on vielä materiaalien rajoittuneisuus. Viime vuosina uusia materiaaleja on tullut paljon markkinoille, mutta suureessa käytössä on vasta perinteisemmät materiaalit (Phil of Humanity). Usein ongelmana ovat myös materiaalien ominaisuudet

sulatetussa olomuodossa. Sulaa materiaalia on vaikea hallita ja saada muokattua halutuksi, varsinkin pienissä yksityiskohdissa.

Esteettisemmät ongelmat saattavat ilmetä vasta myöhemmin. Esimerkiksi hyödyttömän tavaran tulostaminen saattaa luoda tulostusjätteen kertymistä, vaikka jo nykyään on paljon uusiokäyttöisiä tulostusmateriaaleja. Tulostamalla saadaan tuotettua myös tuotteita, joihin yritykset ovat asettaneet tekijänoikeudet. Tällaisia rikkeitä on melkein mahdoton valvoa. Tulostamalla myös kyetään teettämään erilaisia aseita, joiden tekemistä ei voida valvoa eikä niitä kyetä jäljittämään. (Phil of Humanity.)

## **2.3 Ohjelmistot ja 3D-mallinnus**

### **2.3.1 Mallinnusohjelmat**

Mallinnusohjelmilla tarkoitetaan ohjelmistoja, joilla voidaan suunnitella tai muokata digitaalisesti 2D- ja 3D-muotoisia kappaleita. Niiden käyttö on yleistynyt viime vuosikymmeninä ja ne ovatkin syrjäyttäneet erilaisten valmistusmenetelmien numeerisen koodauksen. Mallinnettua kappaletta siirrettäessä tuotetta valmistavalle koneelle ohjelmistot muokkaavat kuvasta automaattisesti koodipohjaisen version, mitä koneet noudattavat. Alla on mainittu useampia mallinnusohjelmia, jotka vaativat erityyppisiä lisenssejä toimiakseen. Lisenssien lisäksi ohjelmistot ovat yksilöidyistä tietokoneista riippuvaisia:

- Rhino
- AutoCAD
- SolidWorks
- Catia

Konekohtaisia ilmaiseksi ladattavia ohjelmia ovat esimerkiksi:

- Autodesk 123D
- Inventor fusion
- Blender



3D-tulostuksen myötä ohjelmistoihin on tullut lisäyksenä tallennusformaatti STL, joka määrittelee vain pinnalliset muodot kappaleesta. Tämän kehityksen myötä ohjelmistojen käyttöä hallinneet tietokoneisiin asennettavat ohjelmistot ovat saaneet kilpailijoita verkossa toimivista ohjelmistoista. Ne ovat pääsääntöisesti keskittyneet vain 3D-tulostettavaan kappaleisiin. Alla on lueteltu joitakin tunnetuimpia verkkopohjaisia mallinnusohjelmia:

- TinkerCAD
- Shapemith
- 3DTin
- Clara.io
- SketchUp

### 2.3.2 Tulostusohjelmat

Tulostusohjelmat toimivat välikappaleena mallinnusohjelmien ja tulostuslaitteistojen välillä. Niiden tarkoituksena on luoda mahdollisimman tarkka kopio mallinnetusta kappaleesta tulostettavaksi. Ohjelmistoissa voidaan määrittellä kerroskohtaisista muotojen täytöistä aina tulostusnopeuteen.

Osa 3D-tulostuslaitevalmistajista haluaa palvella laitteistokäyttäjään kehittämillään ohjelmistoilla. Nämä ohjelmistot rakennetaan omavaraisesti yrityksessä yleisöltä piilossa ja annetaan käyttäjien käyttöön lisenssejä vastaan. Lisenssiohjelmistoja ovat esimerkiksi:

- Netfabb studio
- Simplify3D
- Creation workshop
- Craftware
- Insight

Toiset laitteistovalmistajat keskittyvät pelkästään laitteistojen kehittämiseen ja antavat käyttäjille vapaammat kädet avoimen lähdekoodin periaatteella. Avoimessa lähdekoodissa halukkaat voivat koodata ohjelmistoon parannuksia heikkoihin osa-alueisiin tai luoda kokonaan uusia elementtejä tulostuksen parantamiseksi. Vapaasti käytettäviä ja koodattavia ohjelmistoja ovat:

- ReplicatorG
- MeshLab
- Slic3r
- Cura
- Reprap

### 2.3.3 Verkkoyhteisöt ja tuotekirjastot

Erilaisia 3D-mallinnuskuvia tallentavia ja jakavia verkkoyhteisöjä on ilmaantunut 3D-tulostuksen yleistytessä. Samalla mallinnusohjelmat ovat siirtyneet enemmän yksityisten ulottuville. Verkkoyhteisöön saa kuka tahansa rekisteröityä ja käyttää kasvavaa tuotekirjastoa vapaasti. Rekisteröitynyt henkilö saa tallentaa mallinnuksiaan sivustoille. Tallenteet saa laittaa yleiseen jakoon tai ne voi jakaa vain halutuille tahoille. Ne voi myös pitää yksityisenä. Moni yritys on alkanut hyödyntää yhteisöjen tarjoamaa nopeaa tiedonkulkua ja toimiikin yritysyhteistyössä ja asiakkaidensa kanssa sivustojen kautta. Tällaisia sivustoja ovat:

- CrabCAD.com
- Thingiverse.com
- TraceParts.com
- Turbosquid.com

### 3 FDM - MENETELMÄ

Fused Deposition Manufacturing (FDM) ja Fused Filament Fabrication (FFF) ovat käytännössä sama muovin tulostusmenetelmä. FFF on yleisesti käytössä menetelmänimikkeenä, kun taas yritys nimeltä Stratasys on luonut FDM:n omaksi tavaramerkikseen. Tässä työssä käytetään jatkossa nimikettä FDM, koska Sastamalan koulutuskuntayhtymän laitteistohankintaprosessi keskittyy juuri tämän menetelmän ympärille ja sen toimilaitteisiin (4 3D - tulostusjärjestelmän hankintaprosessi). Käydään läpi FDM:n toimintaprosessin eri vaiheita ja tutustutaan lähemmin sen toimintaperiaatteeseen sekä laitteiston komponentteihin.

Käsitellään materiaaleja, joita voidaan FDM-tulostimella pursottaa. Näihin materiaaleihin sisältyy varsinaisen kappalemateriaalin lisäksi myös monimutkaisien kappaleiden tulostamiseen tarvittavia tukimateriaaleja.

FDM-menetelmän etuna on laaja materiaalikanta, joissa on hyvät lujuusominaisuudet. Valittavissa on myös erilaisia seoksia, mitkä hidastavat tulen etenemistä tai kestävät kemiallisia aineita. Menetelmänä FDM on turvallinen eikä siinä tarvitse käyttää materiaalia sulattavana elementtinä laseria. Tulostetun materiaalin jälkikäsitely on helppoa.

Laite- ja materiaaliominaisuudet mahdollistavat ohuet seinämämuodot tulostuskappaleissa. Suutinreikien halkaisijat ovat 0,127 mm, 0,178 mm, 0,254 mm ja 0,330 mm. Nämä lukemat ovat myös tulostuskappaleessa kerrospaksuudet. Halkaisija- ja paksuusmääritykset ovat tuumamittojen prosenttiosuuksia. (Cooper 2001, 72.)

Tulostusnopeus FDM-menetelmässä on hitaampi kuin laserpohjaisissa tulostusmenetelmissä. Kokonaistulostusaikaa saadaan FDM-menetelmässä nopeutettua ohentamalla seinämiä ja keventämällä rakenteellisia osioita. Nämä kuitenkin pitää tehdä tulostuskappaleelta vaadittujen ominaisuuksien rajoissa. Pieniä kappaleita tulostettaessa tulostuspää saattaa osua jo pursotettuihin muoviosiin ja sitä kautta pilata tulostuksen (Liou 2008, 257–263). Heikkouksiin voidaan myös lukea tulostustarkkuus verrattuna nestemäisiin prosesseihin.

### 3.1 FDM-prosessin kuvaus

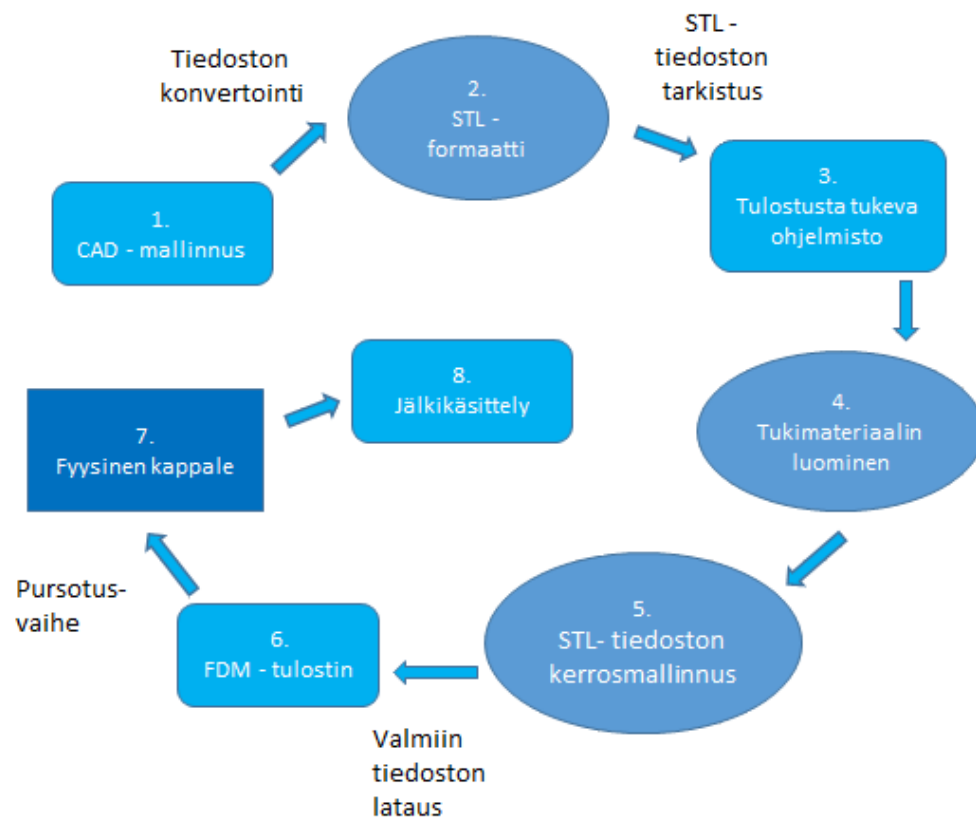
Tuotteen valmistus alkaa suunnittelulla. Yksinkertaisimmillaan se tapahtuu 3D-mallin-  
nusohjelmalla. Erilaisia ohjelmia on paljon ja niissä kannattaa huomioida STL-tiedosto-  
formaatin tukeminen. Nykyään ohjelmistoista suurin osa tukee kyseistä formaattimuotoa.  
Riippuen tulostuslaitteistosta ja sen mahdollisista rajoitteista, mallinnusvaiheessa kannat-  
taa ottaa huomioon muodot sekä seinämien paksuudet.

STL on lisäävään valmistukseen liittyvä standardoitu formaattimuoto, jonka yritys 3dsys-  
tems kehitti. STL-formaatti toimii siltana mallinnusohjelmien ja 3D-tulostimien välillä.  
STL työstää kolmiulotteiseen mallinnuskappaleeseen erikokoisia kolmioita, määrittäen  
samalla näiden kärkipisteiden koordinaatit binääri- tai ASCII- muodoissa (FIRPA 2014).  
Tulostettavan kappaleen pinnanlaatu riippuu resoluutiosta, mikä määräytyy kolmioiden  
määrästä. Mitä enemmän kolmioita on määritellyllä alueella, sitä tarkempi on ohjelmiston  
STL-kuvaus alkuperäisestä kuvasta. STL – tiedosto sisältää tietoa ainoastaan pinnanmuo-  
dosta (3D Additive Fabrication 2011).

Tietokoneissa toimivat 3D-tulostusohjelmat toimivat linkkinä mallinnusohjelmien ja tu-  
lostimien välillä. Ohjelmalla voidaan muokata tulostettavan kappaleen pinnan ja sisära-  
kenteen ainetiheyttä sekä tulostuksen työstörajoja. Ohjelmistolla voidaan tarkastella tu-  
lostuksen kestoaikaa ja tulostukseen kuluvan materiaalin määrää.

Tulostimella voidaan hienosäätää tulostusnopeutta ja pursotuspäässä sijaitsevien lämmi-  
tyslaitteiden lämpötilaa. Näitä voidaan myös muokata tulostuksen ollessa käynnissä. Tu-  
lostusmateriaalista riippuen kannattaa huomioida tulostimen ominaisuudet ja ympäristön  
vaikutukset tulostuksen onnistumiseksi. Tällaisia asioita voivat olla tulostuskotelon um-  
pinaisuus, ilman kiertokulku ja viilennys, sekä myöhemmin tarkemmassa tarkastelussa  
oleva lämmitettävä tulostusalusta (3.2 Toimintaperiaate).

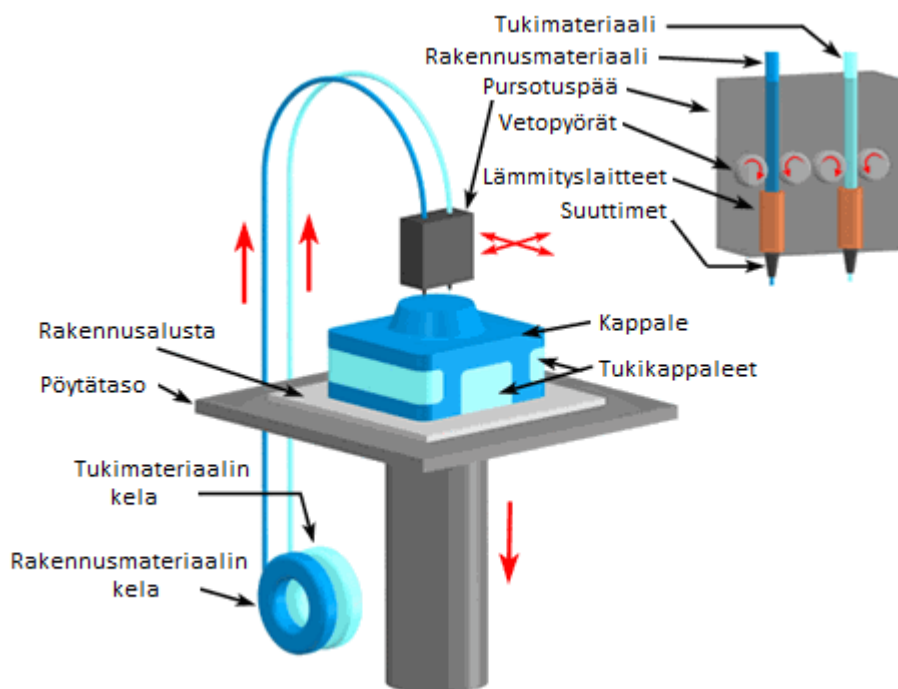
Tulostettu kappale on harvoin valmis sellaisenaan. Yleensä tarvitaan jälkikäsittelytoi-  
menpiteitä. Varsinkin jos tulostetaan tukimateriaalin kanssa, niin ylimääräisen aineen  
poisto kappaleen ympäriltä on tarpeen. Riippuen tukimateriaalista, se voidaan poistaa  
veistämällä, hiomalla tai liuottamalla nesteeseen. Varsinainen tulostuskappale tarvitsee  
joskus ehostamista pinnanlaadun suhteen. Riippuen materiaalista, sitä voidaan parantaa  
siihen soveltuvilla nesteillä. Esimerkiksi epoksiseoksella, joka on yhteensopiva PLA-ma-  
teriaalin kanssa (Kuvio 1).



KUVIO 1. FDM-prosessi.

### 3.2 Toimintaperiaate

FDM – tulostuksen toimintaperiaate on yksinkertainen. Toiminta voidaan jakaa useampaan osa-alueeseen. Riippuen tulostimesta materiaalien säilytys tapahtuu keloilla tai kotelossa. Kummassakin tapauksessa ne ovat nauhamaisessa muodossa rullalla, joista niitä voidaan helposti syöttää eteenpäin (Kuvio 2).



KUVIO 2. FDM-menetelmän toimintaperiaate. (muokattu: CustomPartNet 2008)

FDM-tulostimen avainkomponentti on pursotuspää. Se sijaitsee suoraan tulostusalueen yläpuolella. Pursotuspään sisällä olevat komponentit ja sen liike (X- ja Y-koordinaatisto) määrittävät tulostettavan kappaleen muodon. (Cooper 2001, 73–74.)

Materiaalin syöttömekanismina toimivat muovi- tai kumipinnoitteiset vetopyörät, jotka ovat sijoitettu tulostuspään takaosaan. Vetopyöristä materiaali ohjataan lämmityslaitteiden läpi. Tulostusohjelmistoissa on usein lämmityslaitteille valmiiksi määritetyt materiaalikohtaiset lämpötilat. Tarkoituksena on kuumentaa materiaali helposti muovattavaan tilaan. Ei kuitenkaan täysin nestemäiseen muotoon.

Tietyllä nopeudella ja sopivalla sulamisasteella oleva muovimateriaali saatetaan rakennusalustalle suuttimien läpi. Suuttimien koko (reiän halkaisijan koko) vaihtelee materiaalista riippuen, niiden ominaisuuksien vuoksi.

Pursotuspäässä on yleensä enemmän kuin yksi suutin. Kuitenkin vain yksi suutin on kerrallaan aktiivinen. Passiiviset suuttimet ovat aktiivista suutinta korkeammalla, etteivät ne sotke tulostusjälkeä. Tarvittaessa suuttimet vaihtavat roolejaan tulostuskerroskohtaisesti. (Cooper 2001, 73–74.)

Tulostimen viimeisessä rakenteellisissa osiossa sijaitsevat pöytätaso sekä rakennusalusta. Materiaalista riippumatta pöytätason päällä käytetään irrallista rakennusalustaa. Tarpeen

mukaan se voi olla muovinen tai lasitaso. Riippuen tulostettavasta materiaalista ja sen ominaisuuksista rakennusalusta on usein myös lämmitettävä. Rakennusalustan lämpöarvoja säädellään ohjelmiston kautta. Lämmitettävä rakennusalusta estää materiaaleja jäähtymästä liian nopeasti. Hidas jäähtyminen estää epämuodostumien ja vääntymisien syntymisen. Irrotettavaa rakennusalustaa käytetään aina tulostustasona, koska sen saa tulosteen kanssa helposti pois tulostimesta. Tulostustaso kiinnitetään pöytään erilaisin tapein tai lukkomenetelmin. Korkeussuunnan liikkumisesta huolehtii pöytätason tekemä pystysuuntainen (Z-koordinaatistoakseli) liike ja sen suuruuden määrittää tulostekerrospaksuus. (Cooper 2001, 73–74.)

### 3.3 Materiaalit

FDM-menetelmällä kyetään tulostamaan kestumuovimateriaaleja. Muiden menetelmien materiaaleihin verrattuna FDM-materiaalien hinta on huokea. Nämä lämpömuokattavat sidosaineet ja niiden seosaineet ovat yleisimpiä menetelmän materiaaleja. Tulostettavat raakamateriaalit ovat pakattu keloille nauhoina, joten ne on helppo asentaa tulostimille ja siitä johdattaa pursotuspäälle muokattavaksi (Kuva 7). Materiaaleja on monia erilaisia ja kaikissa on omat ominaisuutensa. Näistä alla käsitellään yleisimmin käytettyjä muovimateriaaleja ja niiden johdannaisia. (Liou 2008, 257–263.)



KUVA 7. Tulostusmateriaali käyttövalmiina rullalla. (3D-tulostus.fi)

FDM on menetelmänä yksinkertainen laitteiston toiminnollisuuksien osalta. Se mihin menetelmällä pystytään, riippuu paljon tulostettavan materiaalin ominaisuuksista tulostusvaiheessa, jälkikäsittelyssä sekä tulostetun kappaleen käyttövaiheessa.

FDM – tulostusmateriaaleista puhuttaessa tieteellisesti puhutaan polymeereistä ja yleisesti puhuttaessa muoveista. Polymeerit ovat yhdisteitä ja suurimmaksi osaksi synteettisiä. Luonnollisiakin polymeerejä on, kuten kumi ja selluloosa. (Bruder 2014, 5–8.)

Kestomuovien yhteinen ominaisuus on sulaminen lämmitettäessä. Lasitransitiotilassa tai sulamispisteen lähellä pystytään muovia muokkaamaan helpommin haluttuun muotoon. Jäähdyessään sen rakennemuoto palautuu takaisin. Kestomuovien ominaisuuksiin vaikuttaa lämpötila ja sen aiheuttamat epämuodostumat rakenteessa. Sulamislämpötilat riippuvat aineyhdisteistä. Osa materiaaleista voidaan sulattaa ja käyttää uudestaan.

Useampaan kertaan muokattu materiaali heikentyy rakenteellisesti ja tapahtuu niin sanottua lämpövanhenemistä. (Kalpakjian & Schmid 2008, 594.)

Oikein käytettynä kierrätysmateriaalin osuus tulostettavasta materiaalista on korkeintaan 30 %. Syynä tähän on aineen mekaanisten ominaisuuksien säilyminen. Jos käytetty materiaali halutaan hävittää ekologisesti kierrättämisen sijasta, silloin se kannattaa hävittää polttamalla. Polttaminen vaihtoehtona on kallis menetelmä, koska se vaatii erityisolosuhteita sekä -toimenpiteitä. (Kalpakjian & Schmid 2008, 594.)

### **3.3.1 PLA (Polylactic acid)**

Polylaktidi on yksi yleisimmistä tulostusmateriaaleista FDM-menetelmässä. PLA on biologisesti hajoava materiaali, jonka pohjana toimivat tärkkelyspohjaiset ainesosat. Siinä voidaan käyttää esimerkiksi sokeriruokoa tai maissia. Sen sulamispiste liikkuu 180 - 220 °C:een välillä, riippuen sen seosaineista. (Bruder 2014, 44.)

PLA on kova ja jäykkä materiaali, joka kannattaa jäähdyttää pikaisesti tulostamisen jälkeen. Jäähdyttämistä pystytään parantamaan avoimen kotelon avulla, jolloin tulostusympäristössä pyöriä ilmavirta saadaan hyödynnettyä. PLA on plastinen materiaali, joka pitää kohtalaisen hyvin muotonsa jäähdyessään. (Budmen & Rotolo 2013, 31.)

Suunniteltaessa tulostettavaa kappaletta kannattaa huomioida materiaalin ominaisuudet. PLA on joustamaton, hauras materiaali, joka on heikko ulkoisille voimille. Mallinnettaessa tulostettavaa kappaletta, siihen kannattaa muodostaa mahdollisimman paljon teräviä



kulmia. Tällä tavalla pystytään karsimaan osa materiaalin heikkouksista. (Budmen & Rotolo 2013, 31.)

Materiaalina PLA on helppokäyttöinen ja monipuolinen. Siksi se sopiikin hyvin 3D-tulostukseen tutustuville, esimerkiksi kouluihin. Materiaaliominaisuuksiensa puolesta sillä saadaan tulostettua yksityiskohtaisempia kappaleita kuin esimerkiksi ABS-materiaalilla (Kuva 8). PLA ei kuitenkaan kestä suuria lämpötiloja. Se alkaa jo alle 60 °C menettää ominaisuuksiaan. Hyvä ominaisuus on vedenkestävyys, jolloin siitä valmistettuja tuotteita voidaan käyttää arkisissakin toiminnoissa. (Bruder 2014, 44.)



KUVA 8. Käsittelemättömien tulostuskappaleiden eroavaisuus. Vasemman puoleisen kappaleen materiaali on PLA ja oikeanpuoleisen ABS. (Lievendag 2014.)

### 3.3.2 ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)

ABS on öljypohjainen materiaali ja se on PLA:n ohella eniten käytettyjä materiaaleja muovien pursotuksessa. ABS:llä on hivenen korkeampi sulamislämpötila kuin PLA:lla. Se alkaa sulamaan noin 210 °C:ssa.

ABS on herkkä vioittumiselle tulostusvaiheessa. Kappale vääntyy helposti, jos se jäähtyy nopeasti tai kappaleen eri kohtiin vaikuttaa erilaiset lämpötilat. Hyvään lopputulokseen vaaditaan kontrolloitu ympäristö. Pursotuspäistä tuleva materiaali on hyvä antaa jäähtyä tasaisesti ja rauhassa. Suurta lämpötilaeroa pursotuspäissä olevien lämmittimien ja tulosalustan välillä pienennetään lämmitettävällä alustalla, jota pidetään noin 80 - 110 °C:een välillä. Jäähtymistä voidaan hidastaa käyttämällä suljettua koteloa tulostimen ympärillä. (Budmen & Rotolo 2013, 30–31.)

ABS on joustavampaa, vääntöä sekä iskuja kestävämpää materiaalia kuin PLA. Sitä käytetään erilaisissa leluissa, esimerkiksi legojen valmistusmateriaalina. Kotitaloustuotteet on suosittu käyttökohde, varsinkin hyvin kuumien nesteiden astioina. Yksi käyttötapa ABS:llä on muottiin pursotus. Sillä on tapana kutistua hieman jäähtyessään, jolloin se on helppo irrottaa muotista. (Budmen & Rotolo 2013, 30–31.)

Vaikka ABS-materiaalilla saadaan tulostettua pinnanlaadullisesti heikkoja kappaleita, sitä voidaan ehostaa asetonilla. Se tasoittaa karheaksi jäänyttä pintaa ja tekee siitä kiiltävämmän (Kuva 9). (Lievendag 2014.)



KUVA 9. ABS – materiaalista tulostettujen kappaleiden eroavaisuus. Asetoni-käsittely on suoritettu vasemmanpuoleiselle kappaleelle. Oikeanpuoleinen kappale on käsittelemätön. (Lievendag 2014.)

### 3.3.3 Nylon (Polyamide)

Nylonin, jota kutsutaan myös polyamidiksi, tulostuslämpötila alkaa 240 °C:sta. Nylon käyttäytyy tulostusvaiheessa kuten ABS eli se on herkkä tulostusympäristön vaikutuksille. Suljettu ympäristö ja lämmitettävä tulostusalusta parantavat tulostuslaatua. Tulostusalustan suositeltava lämpötila vaihtelee 0 - 50 °C:een välillä. Ylimääräisen kosteuden poistamiseksi kappaleesta, se kannattaa kuivata uunissa 80 - 90 °C:ssa noin 6-8 tunnin ajan. (MatterHackers 2014.)

Nylon on hygroσκοoppinen materiaali eli äärimmäisen herkkä kosteudelle. Kosteudelle altistuneeseen materiaaliin saattaa tulostusvaiheessa ilmaantua ilmakuplia. Ne saattavat luoda pinnanlaadullisia heikkouksia sekä rakenteellisia virheitä. Tulostettu kappale kannattaa säilyttää ilmatiiviissä tilassa, koska nylon imee kosteutta itseensä jopa 10 % oman

painonsa verran yhden vuorokauden aikana. Kosteuden imeytyminen voi muuttaa mekaanisia ominaisuuksia sekä luoda mittavirheitä. (Bruder 2014, 19–20.)

Nylonia käytetään paljon mekaanisten osien valmistuksessa. Korkeissa lämpötiloissa sillä on hyvät jäykkyysominaisuudet. Nylon kestää hyvin jatkuvaa 120 °C lämpötilaa ja pieninä annoksina aina 180 °C menettämättä ominaisuuksiaan. Nylon on hauras toimiessaan matalissa lämpötiloissa. Seosaineita käyttämällä nylonia voidaan käyttää ruoan kanssa kosketuksissa olevissa tuotteissa. Sen omien lämpöä kestävien ominaisuuksien vuoksi, sitä voidaan käyttää myös lämpösuojana tai eristeenä. Tulostetun kappaleen pinta ei yleensä tarvitse jälkikäsitelyä, vaan sille saadaan oikeilla tulostusarvoilla pehmeä ja kiiltävä lopputulos. (Bruder 2014, 19–20.)

### 3.3.4 PC (Polycarbonate)

Polykarbonaatti on amorfinen iskunkestävä materiaali, joka sulaa noin 260 °C:ssa. Kyseinen lämpötila on useammalle pöytätulostimelle liian korkea, joten materiaali on tarkoitettu ammattimaisempiin tulostuksiin. (Bruder 2014, 25–26.)

Polykarbonaattia käytetään runsaasti muiden muoviaineiden seoksissa (10-15 % kaikesta PC-materiaalista). Seosaineena Polykarbonaatti parantaa tuotteen ominaisuuksia ja laskee hintaa. Yleisesti sitä käytetään esimerkiksi CD-, DVD- ja BD-levyissä. (Budmen & Rotolo 2013, 33.)

kristallinkirkkaan PC:n valon läpäiseväisyys voi olla 89 %. Hyvänä ominaisuutena on korkea iskunkestävyys alhaisissa lämpötiloissa (aina -40 °C asti). Sillä kyetään toimimaan korkeissakin lämpötiloissa, normaalisti 120 °C asti ja jopa 145 °C lyhyinä piikkeinä. Materiaali säilyttää muotonsa hyvin eikä juurikaan ime kosteutta. Se sopii hyvin muottien materiaaliksi. Sitä käytetään paljon elektronisissa laitteissa sekä astioissa. (Budmen & Rotolo 2013, 33.)

Polykarbonaatti on herkkä jännitysmomenteille ja voi alkaa halkeilla. Halkeilua tapahtuu myös jos se joutuu tekemisiin erilaisten liuottimien kanssa. Se alkaa hajoamaan yli 60 °C vedessä, mutta on kuitenkin konepestävää. PC lukeutuu uusiokäytettäviin materiaaleihin, jota voidaan polttaa. (Bruder 2014, 25–26.)

### 3.3.5 PPSU (Polyphenylsulfone)

Polyfeenisulfonia käytetään korkeissa lämpötiloissa. Se sietää 190 °C toimintalämpötilaa. Käyttö kohdistuu enimmäkseen terveydenhoidon ja lääketieteen tuotteisiin, koska PPSU:n seoksia voidaan höyrysteriloida jopa 1500 kertaa. Toimien hyvin vaihtoehtona kalliille ja kertakäyttöisille tuotteille. (Bruder 2014, 40.)

PPSU on läpäissyt Yhdysvaltain ilmailuhallinnon (FAA) vaatimukset ja sitä käytetään paljon ilmailu ja avaruusteknologioissa, kuten lentokoneiden sisätilojen sisustuksissa. Syynä tähän on materiaalin erittäin korkea tulenkestävyys.

Materiaalin iskunkestävyys on myös suuri. Iskunkestävyys materiaalissa ei heikkene lämpövanhenemisen myötä. Lämpövanheneminen on kemiallinen prosessi, missä pitkäkestoinen lämpö aiheuttaa materiaalissa tietynlaista ikääntymistä. Materiaali sopii ympäristöihin, jotka saattavat aiheuttaa jännityskorroosiota ja sillä onkin hyvä vastustuskyky jännityshalkeamille. Tällaisia ympäristöjä ovat esimerkiksi putkien liitokset, sähköiset ja elektroniset komponentit. (Bruder 2014, 40.)

### 3.3.6 PEI (Polyetherimide)

Polyeetteriimidi kuuluu amorfisiin lämpömuoveihin, mitä käytetään vaativissa olosuhteissa. Yleinen käyttökohde on ilma-, meri- ja maaliikennöinti. Sitä käytetään suojakotelmateriaalina, ilmastointikanavissa, sähköliitoksissa ja valojen heijastepinnoissa. Tällaisissa olosuhteissa materiaalin pitää kestää lämpörasitusta, vastustaa kemiallisten aineiden aiheuttamaa rasitusta ja jopa hidastaa palon etenemistä. (FDM Material Guide.)

Kuljetusalan koneiden ohella PEItä käytetään lääketieteen erilaisissa työvälineissä ja laitteissa. PEI ei juurikaan lämpölaajene ja siksi se pitää hyvin mittatarkkuutensa. Kertakäyttöisten tuotteiden korvaajana PEI sopii hyvin tilanteisiin, joissa tarvitsee steriloida tuotteita uusiokäyttöä varten. Se on kevyt materiaali, jolla on korkea mekaanisten rasitusten vastustusominaisuus. Sitä käytetäänkin paljon tuotantolaitteiden osien materiaalina, esimerkiksi elintarviketeollisuudessa (FDM Material Guide.)

Materiaalina PEI on helppo työstettävä. Sitä voidaan pursotustekniikan ohella käyttää esimerkiksi ruiskutusmenetelmässä sekä paine- tai puristinmuokkauksessa (Bruder 2014, 38–39).

### **3.3.7 PET (Polyethylene terephthalate)**

Polyetylenitereflaatin sulamislämpötila liikkuu 210 - 255 °C riippuen materiaaliin lisätyistä seosaineista. Se on omiaan toimimaan korkeissa lämpötiloissa. Jatkuvaluontoisessa toimintaympäristössä saa olla 180 °C ja lyhyinä toimintasykäyksinä 200 °C. Korkeat lämpötilat antavat hyvät jäykkyysominaisuudet, varsinkin kun sitä on vahvistettu lasikuidulla.

PET on vettä hylkivä materiaali. Tämä ominaisuus vaikuttaa moneen sen käyttötarkoitukseen, koska sen mittapysyvyys on hyvä kosteuden pysyessä samana. Sitä käytetään myös paljon elektroniikkaan liittyvissä tuotteissa. (Bruder 2014, 23–24.)

Materiaalista saadaan vastustuskykyinen sääolosuhteille ultraviolettikäsittelyn avulla.. Sitä voidaan muokata myös paloa hidastavaksi. PET voidaan ehostaa metallisoimalla ja maalaamalla. Jälkikäsitellyn jälkeen pinnasta saadaan hyvin kiiltävä.

PET on tosin hydrolyysinen materiaali eli se hajoaa omaksi lähtöaineekseen kun sitä liotetaan yli 80 °C:ssa vedessä. Se ei myöskään siedä kemiallisia aineita, kuten vahvoja happoja tai emäksiä, hapettimia tai alkoholeja. (Bruder 2014, 23–24.)

### **3.3.8 PE (Polyethylene)**

Polyeteeni materiaalina ei ole suuressa käytössä 3D-tulostuksen materiaalina. Siitä on muokattu useita erilaisia seosaineita kuten CPE, FPE tai TPE. Nämä ovat myös jaoteltu tiheyden mukaan, kuten korkean ja alhaisen tiheyden materiaaleiksi. PE kuuluu alhaisen tiheyden materiaaleihin. (Bruder 2014, 9–10.)

PE on kosteutta hylkivä materiaali. Siksi se sopii hyvin mittatarkkoihin tulostuskappaleisiin. Sen sietokyky palautua omaan muotoonsa on hyvä aina -50 °C asti eli materiaali

toimii hyvin matalissa ja äärimmäisen kylmissä olosuhteissa. Vastaavasti sitä ei voi käsitellä yli 80 °C lämpötiloissa. Vaikka aineen elastisuus on hyvä, se ei siedä suuria mekaanisia rasitteita. (Bruder 2014, 9–10.)

PE voi olla myös elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa. Esikäsittelyvaiheessa PE on suhteellisen helppo värjätä. Jälkikäsittelyvaiheessa materiaalin maalausta varten tarvitaan erityisiä toimenpiteitä paremman lopputuloksen saamiseksi. (Bruder 2014, 9–10.)

### 3.3.9 WoodFill

Luonnonmukaisia tulostusaineita on kehitelty viime aikoina runsaasti. Hyvänä esimerkkinä toimivat puukuituiset materiaalit, joissa on yleensä 30 – 40 % puukuitua ja 60 – 70 % polymeeriseosta (usein PLA). Puukuituseoksen avulla tuloste saadaan näyttämään ja tuoksumaan puulle. Aikaisemmat puuta jäljittelevät materiaalit olivat muokattu sahanpurusta ja se sai materiaalin näyttämään pahviselta. Muita luonnollisia materiaaleja muistuttavia seoksia ovat bambu, korkki, pronssi, messinki ja kupari. (3D with Us 2015.)

Suurin osa puumateriaaleista voidaan tulostaa 170 - 250 °C lämpötilassa. Lämpötilaa säättämällä saadaan vaihdeltua puun värin tummuutta. Materiaalin muoto ei vääristy tulostettaessa. Se ei välttämättä tarvitse lämmitysalustaa tulostustueksi. Jos haluaa käyttää alustaa, niin lämmitysalue on 50 - 60 °C välillä. Valmistettua tulostettua tuotetta voidaan käsitellä normaalin puumateriaalin tapaan, kuten hiomalla, sahaamalla tai maalamalla. Materiaali kuivuu hyvin nopeasti (Kuva 10). (3D with Us 2015.)



KUVA 10. Puukuituisesta tulostusmateriaalista tulostettu kappale. (3D with Us 2015.)

### 3.4 Tukimateriaalit

Tukimateriaalit toimivat tulostuslaitteissa, missä on vähintään kaksi pursotuspäätä. Tukimateriaalin tarkoituksena on avustaa varsinaisesta tulostusmateriaalista tehtävän tuotteen valmistumista tulostusvaiheessa. Tukimateriaalin avulla kyetään tulostamaan huomattavasti monimutkaisempia tuotteita verrattuna siihen, jos tulostuskäytössä olisi pelkkä kappalemateriaali.

Erilaiset ilmaa tuottavat muodot, kuten esimerkiksi reiät, kolot tai viistomuodot täytetään tukimateriaalilla. Tuki- ja kappalemateriaalia voidaan tulostaa vapaasti toistensa päälle. Tukea antava materiaali kovettuu samalla tapaa kuin kappalemateriaali. Tulostamisen jälkeen yhtenä tuotteen jälkikäsittelevä vaiheena on tukimateriaalin poisto, mikä tyyppillisesti tapahtuu liuottamalla.

#### 3.4.1 PVA (Polyvinyl alcohol)

Polyvinyylialkoholia käytetään yleisesti erilaisissa liimoissa ja sideaineissa. Tulostusmateriaalina se sopii hyvin tukimateriaaliksi, koska sen saa liuotettua helposti pois varsinaisen tulostusmateriaalin ympäriltä. PVA liukenee veteen hyvin. Kiehuvaa vettä kannattaa tosin välttää. PVA sekoituksista suurin osa on myrkyttömiä ja biohajoavia. (3D Printing from Scratch 2015.)

Ominaisuuksiltaan PVA on joustava materiaali, mutta altis ympäristön vaikutuksille. Lämpötilaerojen muutokset ja kosteus saattavat luoda muutoksia materiaaliominaisuuksiin ja kappalemuotoihin. PVA:n tulostuslämpötila-alue liikkuu 190 - 210 °C välillä ja lämmitettävän tulostusalustan lämpötila kannattaa pitää 55 - 60 °C tienoilla. (3D Printing from Scratch 2015.)

#### 3.4.2 HIPS (High Impact Polystyrene)

Polystyreeni (PS) on termoplastisista muoveista maailmanlaajuisesti eniten käytetty ominaisuuksiensa puolesta. Sillä on hyvä lämmönsietokyky, aineena se on luja ja sitä voidaan käyttää hygieniää tarvitsevilla olosuhteilla. Käyttökohteina ovat esimerkiksi muoviset ruokailusarjat sekä CD- ja DVD-kotelot. (3D Printing from Scratch 2015.)

HIPS on Polystyreenistä muokattu materiaali, joka on hyvin samankaltainen ABS-materiaalin kanssa. Erot ABS:ään korostuu tulostuksen jälkeisissä tapahtumissa. HIPS ei väännä tulostettaessa niin paljoa kuin ABS. (3D Printing from Scratch 2015.)

HIPS on nesteellä liuotettavissa. Tämän vuoksi sitä käytetään enemmän tulostuksessa tukimateriaalina. Liuotusaineena käytetään Limoneenia, mitä ilmenee useiden kasvien eteerisissä öljyissä. HIPS:in tulostuslämpötila liikkuu 210 – 230 °C välillä ja suositeltu tulosalustan lämpötila on 70 – 80 °C. (3D Printing from Scratch 2015.)



## 4 3D - TULOSTUSJÄRJESTELMÄN HANKINTAPROSESSI

Sastamalan koulutuskuntayhtymä (SASKY) toimii Pirkanmaalla 3D Invest- ja 3D Boost-nimisissä yhteistyöprojekteissa Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) sekä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kanssa. Projektien avulla luodaan kattavaa 3D-tekniikkaan liittyvää osaamiskeskittymää Pirkanmaalle. Samalla tarkoituksena on rakentaa yhteistyöverkostoa aiheesta kiinnostuneiden yritysten kanssa. (EAKR, 3D Invest; EAKR, 3D Boost.)

Projektiosapuolet mahdollistavat laajan ja korkean osaamistason sekä tuottavat parhaita käytänteitä keskittymällä 3D-tekniikan eri osa-alueisiin. Projektien tutkimus ja kehityskohteina toimivat: perustutkimus, kehittäminen, integrointi, testaus, soveltaminen sekä koulutus. Näiden tukemiseksi hankitaan erilaisia 3D- toimintaympäristöjä, jolloin kateetaan laajempi tulostusmenetelmävalikoima ja tutkimaan niiden soveltuvuuksia erilaisiin tilanteisiin ja käyttökohteisiin. (EAKR, 3D Invest.)

Projektien kautta tarkoituksena on auttaa yrityksiä tutustumaan 3D-teknologiamenetelmiin. Varsinkin sellaisia, joilla ei ole resursseja itse kokeilla. Innostaa heitä uusiin innovaatioihin ja luoda työpaikkoja kilpailukyvyyn lisääntyessä. Projekteissa tapahtuvan yritysyhteistyön kautta saavutetut tulokset pyritään jalkauttamaan edelleen koulutuksiin ja siihen, että 3D-tekniikan käyttöönotto nopeutuisi teollisuudessa luoden kilpailukykyisemmän valmistusteknisen toiminnan. (EAKR, 3D Boost.)

### 4.1 Hankinnan kohde

Sastamalan koulutuskuntayhtymän tehtävänä projekteissa on rakentaa pursotustekniikkaan liittyvä oppimisympäristö eri opetusalojen käyttöön. Tekniikan ja liikenteen koulutusalojen lisäksi opetusympäristöä hyödynnetään ainakin tietotekniikan koulutuksessa, sekä muotoiluun ja mallinnukseen liittyvillä aloilla. Oppimisympäristöä rakennetaan ja muokataan yhteistyössä yritysten kanssa, jotka ovat tehneet 3D Boost- hankkeen aikana kehittämissuunnitelman 3D-teknologian hyödyntämiseksi oman yrityksensä osalta. Yhteistyötoiminnan perustana on opetussuunnitelmallinen opiskelijoiden tutkintoon johtava koulutus, mistä yritykset hyötyvät sekä osaavien tulevien työntekijöiden että tietoteknillisen materiaalin muodossa. (EAKR, 3D Invest.)

Saskyn tutkimuskohteeksi valittiin muovien pursotus. Monista erilaisista muovien ainetta lisäävän valmistuksen menetelmistä valittiin FDM-menetelmä, jota tässä työssä on jo käsitelty (3 FDM-menetelmä). Syynä valintaan on menetelmän yksinkertaisuus sekä monikäyttöisyys eri aloilla.

Hankintasisällön halutaan kattavan 3D-tulostimen ja mahdollisen jälkikäsitteilylaitteiston käyttöominaisuuksien osalta mittatarkka kappale laaditusta mallinnuksesta. Hankintavaatimus käsittää laitteistojen lisäksi myös niiden asennukset, käyttöohjeistukset ja ohjelmistot. Kaikkien edellä mainittujen oheistuotteiden lisäksi myös käyttöönotto- ja huoltokoulutus pääkäyttäjille sekä kouluttajan matka- ja majoituskustannukset sisällytetään hankintaan. Laitteiston koekäyttö sen vastaanottohetkellä mahdollistetaan sekä takuuajalle huollot ja varaosat kustannetaan laitteistotoimittajan puolelta. (EAKR, 3D Boost.)

## **4.2 Hankintamenettely**

Sastamalan koulutuskuntayhtymä on julkisen hallinnon alainen koulutusorganisaatio, jolloin se noudattaa julkiseen hankintaan liittyviä säädöksiä. Tämä tarkoittaa sitä, että hankintoja suoritettaessa käytetään avointa menettelyä EU:n rajojen sisällä. Hankintarajojen menettelytapoja käsitellään myöhemmin (4.2.1 Kynnysarvot).

### **4.2.1 Kynnysarvot**

Hankintalainsäädännössä ilmoitetaan erilaisten kynnysarvojen menettelytavat. Laajoissa hankinnoissa kansainvälisellä tasolla hankintatoimet suoritetaan Euroopan Unionin kynnysarvojen mukaisesti. Varsinkin silloin, kun tavaroiden ja palvelujen hankintaraja ylittää 209 000 € (Hankinnat.)

Kansallisen hankinnan rajoissa suoritettu hankintamenetelmä on samanlainen toimenpide kuin kansainvälisessäkin. Erona näillä on hankintarajan suuruus, joka on kansallisessa

hankinnassa 30 000€ Kansallisen hankintarajan alapuolelle sijoittuvat hankinnat käsitellään hankkivan yksikön omien ohjeistuksien mukaisesti. (Hankinnat.)

Saskyn hankintamenetelmä rajoittuu kansalliseen hankinnan sisään, mutta ylittää kansallisen hankintarajan kynnsarvon. Sasky toimii hankintaprosessissaan julkisien hankintojen avoimen menettelyn mukaisesti. (Hankinnat.)

#### **4.2.2 Avoin menettely**

Avoin menettely tarkoittaa julkisen tarjouspyynnön rakentamista kaikkien nähtäville. Sillä luodaan avoin, tehokas, tasapuolinen ja ketään syrjimätön kilpailutustapahtuma kaikille, jotka haluavat tarjouspyyntöön vastata. Hankintamenettelyllä turvataan hankintojen vapaa liikkuvuus, jotka ilmenevät Euroopan Unionin perustamissopimuksen peruspauksissa. (Hilma.)

Suomessa kansallisen kynnsarvon ylittäessä avoin hankintamenettely suoritetaan sähköisen kanavan kautta. Hilma-verkkosivut ([www.hankintailmoitukset.fi](http://www.hankintailmoitukset.fi)) on tarkoitettu julkisten hankintayksiköiden käyttöön (valtio, kunnat, kuntayhtymät, valtion liikelaitokset, ym.), jotka suorittavat palvelu-, tavara- tai rakennusurakkahankintoja oman organisaationsa ulkopuolelta. Verkkosivuston kautta tarjouksien pyytäjä ilmoittaa vaadittavat ja halutut kriteerit hankinnan ominaisuuksien osalta. Tarjouspyyntöön vastaavilla on oikeus pyytää lisätietoja tarjouspyynnön sisällöstä tai pyytää hankintaan liittyviä asiakirjoja myös postitse. Pyyntö täytyy suorittaa hankintaa suorittavan tahon tekemän aikataulun puitteissa. Hankintalaissa ei ole määriteltä tarjouskilpailun kestoajkoja, vaan hankintaa suorittava taho saa itse määritellä aikataulun. Lisätietojen pyynti tulee suorittaa tarjouskilpailun sisällä.

Lähetetyt tarjoukset eivät velvoita hankintaa suorittavaa tahoä hyväksymään tarjouksia. Tarjouskilpailun päätyttyä se voi laittaa ilmoituksen tiedostusvälineisiin tai omille verkkosivuilleen sopivan hankinnan edistämiseksi. Hankinnan suorittaja voi myös ottaa yhteyttä suoraan ja pyytää tarjouksia palvelun tai tuotteen mahdollisilta toimittajilta. (Hilma.)

### **4.3 Tarjouspyyntö ja aikataulu**

Sasky julkisti tarkoituksenmukaisen tarjouspyynnön 3D-tulostuslaitteiston hankinnasta Hilma – verkkosivulla perjantaina 18.9.2015. Tarjouksen jättämiseen annettiin aikaa neljä viikkoa. Tarjouksen piti olla jätettynä perjantaina 16.10.2015 klo 12.00 mennessä.

### **4.4 Tulostuslaitteiston valinta**

Hilmassa teetetyhän hankintakilpailutuksen päätyttyä viisi yritystä oli jättänyt tarjousehdotuksensa. He olivat jättäneet yhteensä yhdeksän tarjousta, joista jokainen eteni tarjousten avaustilaisuuden soveltuvuuden tarkistukseen. Tässä vaiheessa riitti, että tarjous oli jätetty määräaikaan mennessä. Kaikkien hankintakilpailutuksessa ilmoitettujen kriteerien läpikäynnin jälkeen todettiin kuuden eri tarjouksen olevan vaadittujen soveltuvuuksien mukaisia. Nämä etenivät painoarvovertailuun (4.4.1 Tarjouspyyntöjen vertailu).

#### **4.4.1 Tarjouspyyntöjen vertailu**

Painoarvovertailussa käytettiin samoja soveltuvuuskohtia kuin hankintakilpailutusvaiheessa. Näille soveltuvuuksien vertailuperusteille määriteltiin pistearvot, joiden yhteenlaskettu arvo oli 100. Vertailussa käytettyjen painoarvojen rakenne näkyi seuraavasti:

Suurin painoarvo valintaperusteille annettiin tuotteiden hinnalle. Laitteiston edullisuus oli vaikuttavin osatekijä 3D-tulostuslaitteistoa valittaessa. Alhaisin hinta sai 40 pistettä ja siitä seuraavat laitteistot alennettuja pistemääriä täydestä pistemäärästä.

Tulostinlaitteiston käyttöominaisuudet, niiden helppous sekä laitteiston yleinen soveltuvuus opetuskäyttöön antoivat maksimissaan 30 pistettä. Pistemäärään vaikutti tarjouksen sisällössä olevien tulostuskappaleiden jälkikäsitteilylaitteistot tai -menetelmät. Eri tilanteisiin soveltuvat käyttöohjeistukset, tulostusmateriaalien monipuolisuus ja ohjelmistojen lisensoinnit.

Kolmantena osa-alueena pisteytysvertailussa oli tulostuskappaleiden fyysisiin ominaisuuksiin liittyvät asiat. Tulostuskappaleiden mahdollisimman suuri tulostuskoko, sen

tarkkuus ja pinnanlaatu antoivat 30 pistettä parhaalle referenssien täyttävälle laitteistokonaisuudelle. Näistä ominaisuuksista tulostustarkkuus ja pinnanlaatu olivat pääosassa pisteytyksiä vertaillessa. Hankinnan suorittaja halusi tarjoajilta konkreettista näyttöä tulostinten laadullisuudesta demokappaleen muodossa.

Tarjouspyynnössä haluttiin tarjoajien lähettävän valinnaisesta demokappaleesta STL-formaatissa oleva tiedosto sekä JPEG-kuva kappaleesta. Pisteytyksessä huomioitiin myös demokappaleiden saapuminen arvioitavaksi. Varsinainen tulostuskappale tuli tulostaa ABS-muovista ja lähettää se käsittelemättömänä hankintapyynnön tekijöille. Demokappaleen muotoilussa haluttiin muotoja mitä ei täydellisesti kyetä tulostamaan, esimerkiksi ohenevia piikkejä.

#### **4.4.2 Valittu laitteisto**

Suurimman pistemäärän vertailussa sai AIPworks:in tarjous, joka sai vertailussa pisteitä 88 / 100. Tarjous sisälsi Stratasysin kehittämän Fortus 250mc 3D-tulostuslaitteiston (Kuva 11) sekä SCA-1200HT pesulaitteiston. Laitteistojen lisäksi mukana tuli laajalla lisenssi-käytöllä toimiva Insight-ohjelma. Laitteistoa käytetään ABS-muovin tulostamiseen erilaisten värien muodossa. Erikoisfilamentit vaatisivat uusia komponentteja ja pieniä toimintaympäristömuutoksia. ABS-muovin tukena käytetään SR-30 tukimateriaalia.

##### **Stratasys Fortus 250mc**

- Tulostimella kyetään tulostamaan 254 x 254 x 305 (mm) kokoisia kappaleita.
- Ulkoiset mitat ovat 838 x 737 x 1143 (mm) ja laite painaa 148 kg.
- Tulostinmateriaaliominaisuuksien vuoksi runko on koteloitu kauttaaltaan ja siinä on lämmitettävä tulostusalusta.
- Tarkkuudeltaan se pystyy tulostamaan 0,178 mm, 0,254 mm tai 0,330 mm paksuisia kerroksia.
- Tulostuksen saavutettava tarkkuus on  $\pm 0,241$  mm, riippuen tulostettavasta muodosta.
- Vaatimuna laitetta ympäröivälle lämpötilalle on +30 °C ja kosteusprosentti välillä 30 – 70 %.
- Laitteessa on kaksi pursotuspäätä, yksi varsinaiselle tulostusmateriaalille (ABS) ja yksi tukimateriaalille (SR-30).

- CE hyväksytty laitteisto. (Stratasys, Fortus 250mc)



KUVA 11. Stratasys Fortus 250mc-tulostin. (AIPworks, Fortus 250mc)

### **Ohjelmisto**

Ohjelmistona tulostimella toimii Insight. Se valmistelee automaattisesti CAD-ohjelmilla tuotetut STL-tiedostot siivuttamalla mallinnukset kerroksittain ja luo tarvittaessa molemmille materiaaleille pursotusreitit. Käyttäjällä on mahdollisuus parannella tulostusjälkeä muokkaamalla tulostettavaan kappaleeseen halutut tarkkuudet ja vahvuudet sekä antamalla pursotuspäille liike- ja pursotusnopeudet.

### **Pesulaite**

Lisälaitteistona tulostimen mukana pesulaite SCA-1200HT. Se on tulostimesta erillään toimiva tukimateriaalia poistava toimilaite, jossa liuotusaineena käytetään natriumhydroksidin ja veden liuosta. Se on emäs-pohjainen liuos, mikä myös tunnetaan lipeänä. Sen tunnetuimpia käyttökohteita ovat esimerkiksi putkistojen avaamiset. Natriumhydroksidipohjainen vesiliuos lisätään pesulaitteeseen aina erikseen ja sitä voidaan käyttää useammin kuin kerran, kunnes liuotustoimenpide menettää tehoansa. Laitteen sisusta on rakennettu ruostumattomasta teräksestä, koska liuotusaine syövyttää useimpia metallimateriaaleja (Kuva 12).



KUVA 12. SCA-1200HT – pesulaite. (Support Removal)

- Laitteiston mitat: 660 x 445 x 520 (mm)
- Irrotettavan pesukorin mitat: 250 x 250 x 300 (mm)
- Pesulaitteen käyttölämpötilaa voi säätää 50 - 85 °C välillä.
- Käyttöä voidaan säätää ajastimen avulla.
- Automatisoitu laitteiston pysäytys varoitusilmoituksen ilmaantuessa.
- Varoitusominaisuudet nesteen lämpötilan liialliselle nousulle ja nesteen pinnan-tason kohoamiselle.
- CE hyväksytty laitteisto. (AIPworks, tukimateriaalin poisto)

## **5 TULOSTINJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ KAUPALLISESSA TUOTANNOSSA**

Aikaisempia tutkimuksia, mitkä liittyvät 3D-tekniikkaan ja sen käyttöön, on suoritettu. Näitä kyselyjä on kohdennettu esimerkiksi laitteistojen käyttäville yrityksille, jotka ovat hankkineet johonkin lisäävän valmistusmenetelmään pohjautuvan tulostusjärjestelmän. Näiden kyselyjen tarkoituksena on ollut käytön kartoitus ja samalla herätellä yrityksiä uuden valmistusprosessin tiimoilta. Kyselyt ovat kuitenkin olleet arapeliä käytön ja tarpeen suhteen.

### **5.1 Tutkimuksen tarve ja rajaus**

3D Boost- ja 3D Invest- hankkeiden pohjalta luodaan erilaisia toimintaympäristöjä 3D-tekniikan ympärille. Saskyn toimintaympäristömallista on tarkoitus muodostaa mahdollisimman kattava opetusympäristö eri koulutusalojen suhteen. Projekteissa ollaan jo läheisessä yhteistyössä teollisuudessa toimivien yritysten kanssa ja tämän kyselyn kautta olisi tarkoitus saada lisäperspektiiviä yritysmaailman toiminnasta.

Tutkimuskysely suunnataan 3D-laitteistojen toimittajille sekä tulostuspalveluja tuottaville yrityksille. Kohdeyrityksiä ovat maahantuojat tai jälleenmyyjät. Unohtamatta suomalaiset 3D-tekniikan kehittäjät, jotka myyvät itse kehittämiään tuotteita. Tulostuspalveluja tuottavilla yrityksillä saattaa olla useampi menetelmä käytössään tai voivat keskittyä tiettyyn menetelmään. Tutkimus perustuukin ongelmaan, jossa ei tiedetä 3D-tulostinten tarkkoja sovelluskäyttö-, laitteisto- sekä materiaalitrendejä nykyhetkellä.

Tutkimus keskittyy suurelta osin FDM – menetelmään, mutta ei sulje pois muita menetelmiä.

### **5.2 Tutkimusmenetelmä**

Tutkimusmenetelmänä käytetään empiiriseen tutkimusmenetelmään pohjautuvia kyselytutkimuksia, joiden tarkoituksena on kartoittaa 3D-tekniikkaan liittyvien laitteistovalmistajien, laitteistotoimittajien sekä tulostuspalveluja tuottavien yritysten näkökantoja kau-



pallisen tuotannon tarpeista lisäävän valmistuksen osalta. Tutkimus on laajuudeltaan kokonaistutkimus, koska kysely suunnataan pienelle perusjoukkomäärälle. Kyselyyn vastaavien perusjoukkojen vähyden vuoksi käsitellään tutkimuksessa saatuja tuloksia laajasti ja pintapuolisesti. Tutkimuksen ekstensiivisyyden kautta halutaan selvittää olemassa olevaa tilannetta tuotehankintojen suhteen. Erilaiset syy-yhteydet tuotehankintoihin jätetään analysoimatta tässä tilanteessa. (Heikkilä 2008, 50–52.)

Tutkimustulokset perustuvat kvantitatiivisen tutkimuksen tilastollisuuteen. Tavoitteena on saada kerättyä yksinkertaisten kysymysmuotojen ja valmiiden vastausvaihtoehtojen kautta numeerisesti mahdollisimman suuri otos, josta saadaan muodostettua mahdollisia perspektiivejä 3D-tekniikan kouluttamiseen. Kyselyn rakennetta vahvistetaan suljetun kysymysmenetelmän lisäksi dikotomisilla kysymyksillä, joiden tarkoitus on jäsenellä kyselyä. (Heikkilä 2008, 50–52.)

Haastateltavilta ei kerätä tarkkaa numerotietoa, vaan kysymysmuotojen kautta he vastaavat arviovaraisiin tosiasiakysymyksiin. Halutaan selvittää tuotteiden verrannollisuutta toisiinsa nähden ja sitä kautta selvittämään, mitkä ovat tämän hetkisen kaupallisen tuotannon trendit 3D-tulostuksen saralla. Vastaukset perustuvat vastaajilla retrospektiiviseen tiedonkeruuseen.

Kyselyjä alustetaan selvittämällä potentiaalisilta kyselyyn vastaavilta yrityksiltä mahdollisen asiantuntijahenkilön, jolla olisi selkeä käsitys yrityksensä tuotemyynneistä ja niiden vertailunäkökulmista toisiinsa nähden. Tällöin saataisiin parannettua vastaustietojen oikeellisuutta sekä nopeutettua kyselyn vastausaikaa.

Kysely suoritetaan verkkopohjaisella lomakkeella, mikä lähetään yritysten mahdollisten asiantuntijoiden sähköpostiin. Lomakepohjan laaditaan GoogleDrive -palvelun GoogleForms-editorilla. Kysely rakennetaan siten, että vastaajien varsinainen kirjoittaminen olisi mahdollisimman vähäistä. He valitsevat annetuista vastausvaihtoehdoista oikeat ja merkitsevät ne järjestysnumeroltaan oikeaan kohtaan. Vastausvaihtoehdot pohjautuvat havaintotietoihin, mitkä on selvitetty toimittajayritysten verkkosivuilta. Kysely pyritään pitämään mahdollisimman lyhyenä. Kyselyn lyhyden tarkoituksena on edes auttaa vastaajien nopeaa toimintaa ja mielenkiinnon säilyttämistä.

Vastaajien ei tarvitse vastata kaikkiin kysymyksiin, sillä toimittajayritysten tuotelaajuudet vaihtelevat toisiinsa nähden suuresti ja siksi osalla jää kysymyksiä välistä. Joissakin kysymyksissä vastausvaihtoehtoja saattaa olla reilusti, mikä kasvattaa inhimillisen virheen mahdollisuutta. Kuitenkin vastausvaihtoehtoja ei voinut jättää pois, jotta vastausmahdollisuudet olisivat kaikille objektiiviset.

Tiedot palautetuista vastauksista tallentuvat GoogleDrive-sivustolla ja niiden pääsääntöinen koonti tapahtuu ohjelmallisesti. Näistä tiedot mukautetaan yksinkertaisempiin kaaviomalleihin.

### **5.3 Tutkimuksen eteenpäin vieminen ja aikataulu**

Kyselylomakkeiden valmistumisen jälkeen keskityttiin yrityskontaktien saamiseen, johon käytettiin kaksi arkipäivää. Kaikkiin yrityksiin ei saatu kontaktia puhelimitse. Vastaamattomista yrityksistä kuitenkin suurin osa sai osakseen kyselylomakkeen, koska heillä oli yhteystiedot selkeästi saatavilla.

Sovittujen henkilöiden löytymisen jälkeen lähetettiin molempien tutkimuskohderyhmien kontakteille omat kyselylomakkeensa. Kyselylomakkeeseen liitettiin lisäksi vielä saatekirjelmä, jossa käytiin kyselyn tarkoitusperiä läpi, joita oli jo kontaktien etsimisen aikana kerrottu. Itse kyselyn vastaamiseen annettiin kohdehenkilöille aikaa vastata hieman yli viikon.

## 6 TUTKIMUSTULOKSIEN KÄSITTELY

Internetin kautta tutkittiin potentiaalisia yrityksiä, esimerkiksi hakusanoilla ”3D-tulostimet”, ”3D-laitteistot”, ”3D-tulostus” ja ”tulostusfilamentit”. Lopullisen kyselyn vastaajien yritysmäärä oli yhteensä 17 yritystä, joista kahdeksan oli laitteistotoimittajia ja yhdeksän tulostuspalveluja tuottavaa yritystä. Laitteistotoimittajien osalta lukumäärä saattoi jäädä pieneksi, koska niitä ei hakusanojen tai muiden menetelmien kautta löytynyt. Tulostuspalveluja tuottavia yrityksiä oli runsaammin saatavilla, mutta jäivät pois kyselystä. Heillä ei ollut yhteystietoja esillä tai muuta vastaavaa nopeaa yhteydenottoväylää käytettävissä.

Kyselyihin tuli vastauksia laitteistotoimittajien puolelta neljä kappaletta eli lähetetyistä lomakkeista palautui 50 %. Tulostuspalveluja tuottavista yrityksistä vain yksi vastasi kyselyyn, joka on 11 % lähetetyistä lomakekyselyistä. Kokonaisvastausprosentiksi jäi 29,4 % (Kuvio 3). Otos jäi siis varsin pieneksi. Suunnitelmissa oli suorittaa molemmista kyselyistä erilliset analyysit. Vastauksien vähyyden vuoksi päätettiin jättää tulostuspalveluja tuottavan yrityksen vastaukset vähemmälle analysoinnille.



KUVIO 3. Vastaajien määrä.

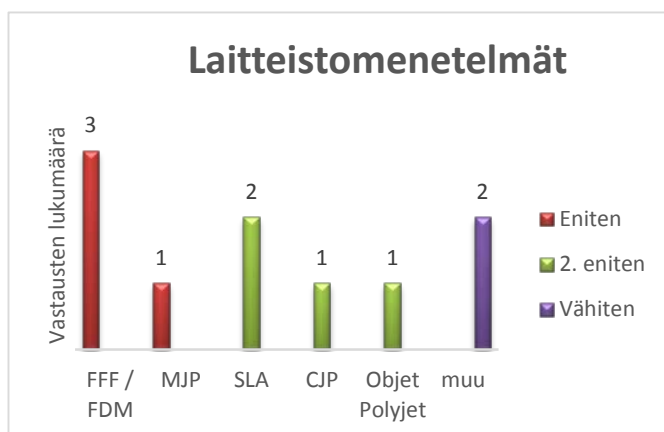
Kyselyn vastaukset saapuivat GoogleDrive-sivustolle anonymieinä. Ei siis tiedetä mikä yritys vastasi tai jätti vastaamatta kyselyyn. Samalla periaatteella tietynlainen tietosuojakäsite luonnistuu helposti, joka olikin ajatuksena analyysiä suoritettaessa.

Analysointi tapahtuu hyvin yleissilmäyksellisesti. Mitään syväluotaavia pohdintoja ei suoriteta lomakkeiden vastauksista, vaan niistä luodaan yleisperspektiivinen näkemys.

## 6.1 Hankitut 3D-tulostusmenetelmät

Yksi tutkimuksen tärkeimmistä kysymyksistä kohdistuu menetelmien hankintoihin. Vastauksien mukaan viittä erilaista muovien tulostamiseen keskittyvää menetelmää on otettu käyttöön. Näistä FFF / FDM – menetelmä tuntuu olevan suosituin 75 % enemmistöllä ensisijaisesti myydyistä tuotteista. MJP – menetelmä oli toinen ensisijaiseksi valittu tulostusprosessimuoto. MJP – menetelmän jälkeen SLA:n painotus on puolet menetelmistä, joita myydään keskinertaisesti. SLA:n jälkeen CJP – ja Objet Polyjet menetelmiä toimitetaan jonkin verran.

Vähiten on toimitettu kohdan ”muu”-tuotteita. Kyselytutkimuksen kohdan 9 (Liite 1) vastauksista ei selkeästi selviä mitä nämä muut ovat. Vastauksiin (Liite 2) viitaten oletus on, että toinen tuntematon kohde olisi 3D-tulostuskynä (Kuvio 4).



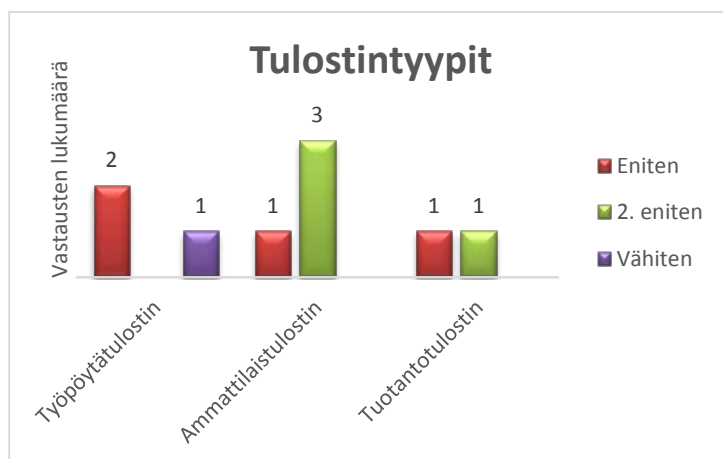
KUVIO 4. Toimitettujen laitteistojen suuntauksia.

Kysymysmuotojen pohjalta ei voida päätellä loppujen lopuksi missä järjestyksessä tuotemääräisesti tuotteita eri yritykset hankkisivat. Esimerkiksi, vaikka MJP – menetelmä on ensisijaisten hankintojen lokerossa. Se ei tarkoita sitä, etteikö esimerkiksi SLA – menetelmää joku toinen laitteistotoimittaja myisi enemmän MJP – menetelmään nähden. Koska vastaukset ovat yrityskohtaisia ja painotukset sitä kautta erilaiset.

Tulostuspalveluja tuottaville suunnattiin samantyylinen kysymys, siitä mitä tulostusmenetelmiä he eniten käyttävät asiakastilausten valmistukseen. Kyselyyn vastannut yritys ilmoitti SLS - menetelmä olevan heillä suurimmassa käytössä (Liite 4).

Kaikilla vastanneilla ei ole kahta menetelmää enempää myynnissä tai niitä ei ole hankittu heiltä.

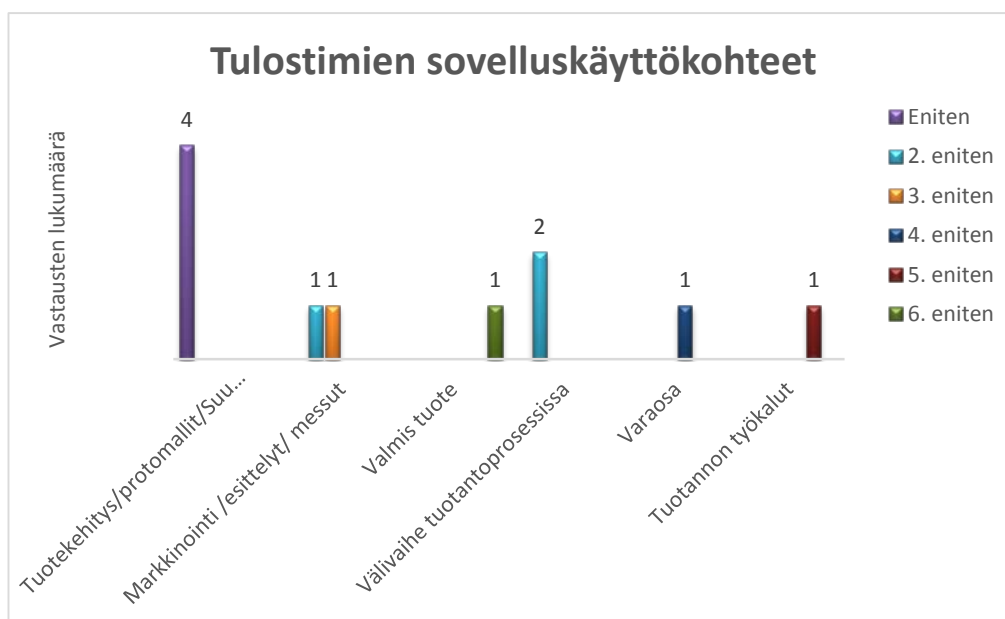
Tulostintyytit eroavat toisistaan kokoluokaltaan ja tarkkuudeltaan. Näistä kolmesta pienikokoisin ja yleensä tarkkuudeltaan heikotasoisin työpöytätulostin näyttää olevan hiivenen isommassa suosiossa. Ammattilaistulostimet ovat tuotantotulostimia hieman edellä (Kuvio 5).



KUVIO 5. Tulostuslaitetyyppien hankintavertailua.

## 6.2 Sovelluskäyttökohteet

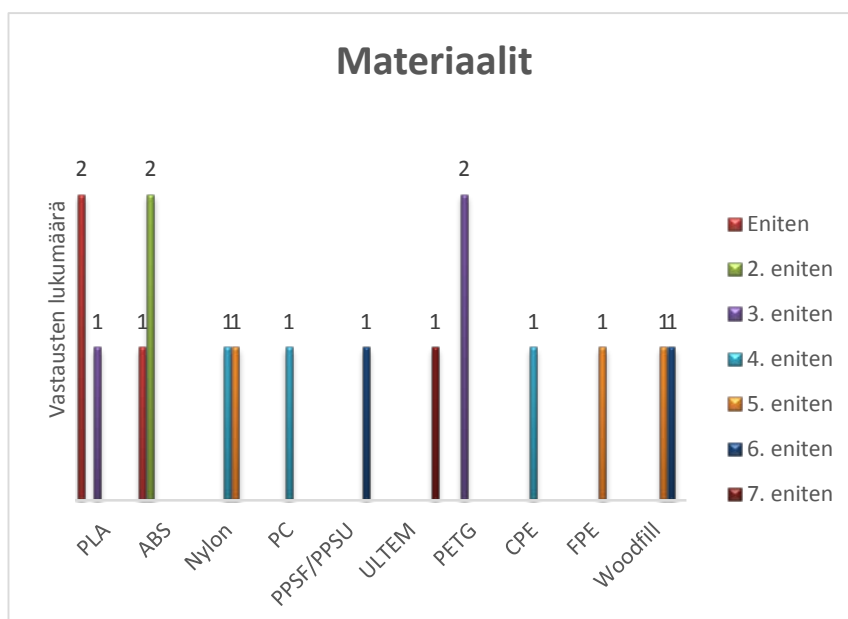
Toinen tärkeä kysymys keskittyi mahdollisiin käyttötarkoituksiin. Ylivoimaisesti eniten tulostinten käyttö suunnataan tuotekehityksen- ja suunnittelun tueksi sekä protomallien rakentamiseen. Kaikki laitetoimittajat merkitsivät kyseisen vaihtoehdon ensimmäiseksi. Seuraavaksi vahvimpina vaihtoehtoina olivat ”välivaihe tuotantoprosessissa” sekä ”markkinointi”. ”Valmiit tuotteet”, ”varaosavalmistus” ja ”tuotannon työkalut” tulivat seuraavina vaihtoehtoina tasaisesti muiden perässä (Kuvio 6). Tulostuspalveluja tuottava taho ilmoitti ”messujen”, ”tuotekehityksen”, ”tuotantokappaleiden” ja ”varaosien” olevan samalla viivalla ensisijaisena tulostuskohteena (Liite 4).



KUVIO 6. Tulostimien sovelluskäyttökohteet.

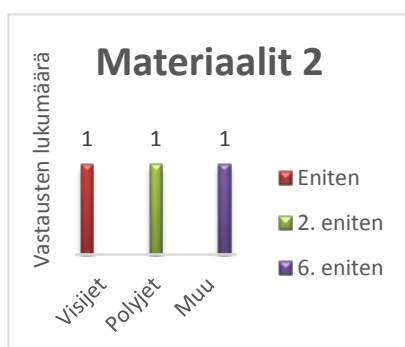
### 6.3 Rakennus- ja tukimateriaalit

Perinteisimpiä muovimateriaaleja on myynyt kolme toimittajaa neljästä. Näissä PLA-, ABS- ja PETG-materiaalit olivat muita edellä. Kaikkia muita vastauslomakkeella olleita materiaalejakin on mennyt tasaisesti (Kuvio 7). Tulostukseen keskittyvä yritys palvelee asiakkaitaan FDM-tulostimella Nylon-materiaalin muodossa. SLS-menetelmään liittyvistä materiaaleista he tulostavat enimmäkseen PA2200:lla, sitten PA3200GF:llä ja vähiten Alimidellä (Liite 4).



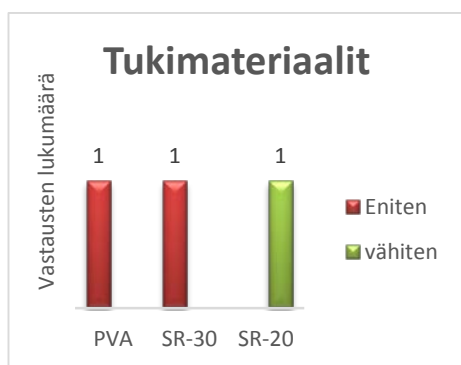
KUVIO 7. FDM- ja muiden samankaltaisten menetelmien käyttämät materiaalit.

Yksi yritys toimittaa muista poikkeavia materiaaleja. Näistä Visijet-materiaalit ovat kärkisijalla ja Polyjet-materiaalit seuraavat. Vastauslistan ulkopuolisiakin materiaaleja on hankittu, johon viittaa (Kuvio 8) ”muu”-materiaali. Vastauslomakkeelta (Liite 1) ei selvinnyt kyseisen materiaalin tarkkaa selitystä.



KUVIO 8. Muita materiaaleja.

Muovien rakennusmateriaaleja tukemaan tarkoitetuille tukimateriaaleille oli oma kysymyskohta. Vastausvaihtoehtoja oli lomakkeella neljä, PVA-, HIPS-, SR-30- sekä ”muu”-materiaali. Näistä HIPS-materiaalia ei kukaan toimittaja yritys ollut myynyt tai kukaan ei ollut sitä heiltä hankkinut. Se jätettiin pois tukimateriaalit-kaaviosta selkeytyksen vuoksi (Kuvio 9). ”Muu”-materiaali ilmeni olevan SR-20 (Liite 2), joten se sisällytettiin suoraan samaiseen kaavioon.



KUVIO 9. Hankitut tukimateriaalit.

#### 6.4 Tulostusta tukevat oheislaitteet

Oheislaitteenhankintoja tiedustelevalla kysymyskohdalla pyrittiin yksinkertaistamaan ja nopeuttamaan vastaajien prosessia, jos he eivät ole välittäneet apulaitteistoja. Tämän perusteella näyttäisi olevan kuitenkin niin, että tulostuksen tueksi hankitaan usein jokin apulaite. Tulostusta tukevia laitteistoja oli myynyt suurin osa yrityksistä (Kuvio 10).

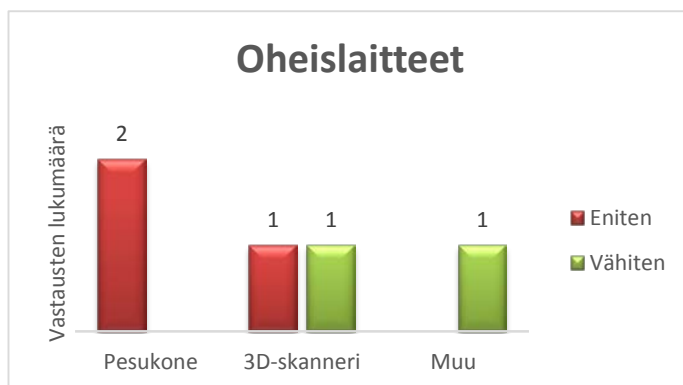


KUVIO 10. Tulostusta tukevien laitteistoja myyviä yrityksiä.

3D-tulostuksen jälkeen tukimateriaalin poistoon käytettävä pesukone, jolla liuotetaan tukimateriaali pois varsinaisen rakennusmateriaalin ympäriltä, tuntuu olevan suosituin lisälaite. 3D-skanneri, jolla voidaan jo olemassa oleva 3D-muoto skannata tietokoneelle ja sitä kautta tulostaa, oli pesukoneen jälkeen seuraavaksi suosituin myyntiartikkeli. Vastauksia tulkittaessa voidaan päätellä, että ”muu”- oheislaitte olisi XTC-3D jälkikäsittelyaine (Liite 2), jolla saadaan muovimateriaalin pinta tasaisemmaksi ja kiiltävämmäksi



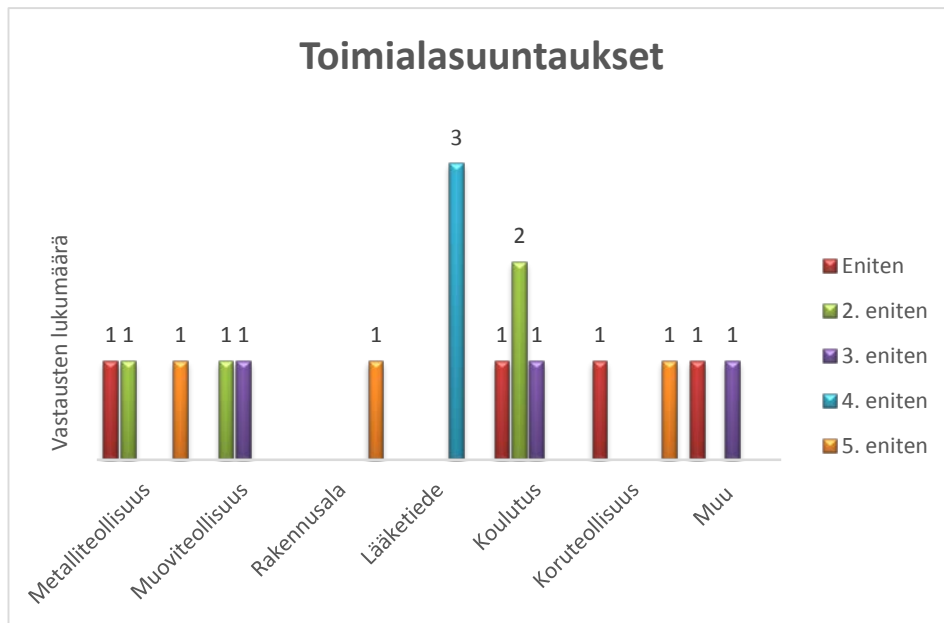
(Kuvio 11). Myös tulostusyritys käyttää pesukonetta töidensä liuottamiseen. Pesukoneen ohella he ovat merkanneet ”muu”-kohdan, mutta eivät ole kertoneet tarkemmin mikä tämän kyseinen tuote on. He ovat myös käyttäneet hieman 3D-skanneria ja teettäneet mallinnuskuvia 3D-ohjelmistoilla (Liite 4).



KUVIO 11. Oheislaitteiden suuntauksia.

## 6.5 Tulostimia käyttävät toimialat

Toimialasuuntauksissa voidaan todeta laitteistotoimittajien kohdalla, että tulostusprosessien käyttö on levittäytynyt kohtalaisen tasaisesti useammalle toimialalle. Pääsuuntaus laitehankinnoissa on kohdistunut metalliteollisuuden sekä koulutuksen suuntaan (Kuvio 12). Tulostinpalveluja tuottavan yrityksen suuntaus tulosteiden teettämisessä suuntautuu pääosin tuntemattomalle toimialalle (Liite 4). Vastauksissa annettiin myös muutama vastaus ”muu”-sarakkeeseen. Toinen näistä oli sijoitettu eniten laitteita tilaavaksi ja toinen keskivaiheille. Nämä vaihtoehdot olivat elektroniikka ja teknologiateollisuus. Se kumpi näistä sijoittuu korkeammalle sijalle, ei selviä vastauksista.



KUVIO 12. Tulostuslaitteistojen toimialasuuntauksia.

## 6.6 Lisätietoa

Tutkimuksen kirjalliset osuudet käsitelivät muiden kysymysten sisällön täyttämistä sekä vapaata sanaa. Jos vastausvaihtoehdoista täytettiin kohta ”muu” oli vastaajan tarkoituksena molemmissa kyselylomakkeissa (Liitteet 1 ja 3) täyttää kohtaan ”Lisätietoa” näiden vielä tuntemattomien vastausten tarkemmat kohdennukset. Tässä oli onnistuttu osittain. Vastauksia puuttui tai jos niitä oli, niiden tulkitseminen ja oikeaan sarakkeeseen asettaminen vertailua varten oli hankalaa.

Vapaan sanan kohta ”muuta tietoa” antoi vastaajille mahdollisuuden antaa lisäinformaatiota haluamastaan asiasta. Laitteistotoimittajilla tämä vastaussarake jäi täysin koskemattomaksi, mutta tulostuspalveluja tuottavalta taholta saatiin viesti: ”Älkää unohtako koulutustilaisuuksia järjestäessänne SLS-teknologiaa. Nyt on keskitytty paljon joko metallin tulostamiseen tai FDM-teknologiaan.”

## 6.7 Tutkimuksen analysointi

Laitteistotoimittajille suunnatussa kyselyssä oli kymmenen eri tiedustelukohtaa (Liite 1). Vastaavasti tulostuspalveluja tuottaville kohdennettiin lomake, jossa oli kahdeksan kysymystä (Liite 3). Vastauksien vähyyden vuoksi suuria päätelmiä suuntauksista ei voida rakentaa. Vastaanotetut vastaukset tuntuivat olevan kohtalaisen tasajakoisia vastausvaihtoihin verratessa. Joitakin vastausvaihtoehtoja jäi merkitsemättä, mutta muutoin äänet jakautuivat loppujen kesken tasaisesti.

Pienenä piikkinä voitaisiin mainita FDM-menetelmän käytön yleisyys muihin menetelmiin verrattuna ja sitä kautta myös FDM-menetelmään soveltuvien materiaalien suosio. Samoin voidaan todeta, että tulostimien käyttökohteena suosiollisempina ovat enemmän suunnittelukohtaiset työkuviot. Toimialasuuntauksen tasaisuus ja laajuus vaikuttaa hyvältä siinä mielessä, että joka alalla on huomattu 3D-tulostuksen potentiaali ja sen kehityskelpoisuus.

Kyselyn lopputuloksiin vaikuttanut vastaajakato oli lievä pettymys. Vähäisen vastausmäärän vuoksi tavoiteltua laitteistojen käyttöperspektiiviä ei kyetä samaan, vaan joudutaan pohjaamaan analyysi enemmänkin suuntaa antavaksi. Vaikka tavoiteltiin suurempaa vastaajamäärää soittamalla ja hakemalla yrityksistä potentiaalisia asiantuntijoita.

Ongelmia ilmeni kyselylomakkeen rakenteessa. Kysymysten valmiissa vastauksissa oleva ”muu”-vaihtoehto tuotti harmia sekä vastaajille, että vastausten analysoinnille. Ensimmäinen ongelma ilmeni, kun vastaajan piti ”muu”-kohtaan vastatessaan tarkentaa vastaustaan toisen myöhemmässä kysymyksessä. Useamman vastaajan näin tehdessä, ei analysoidessa voinut päätellä sitä kuinka suuressa prioriteetissa vastausvaihtoehdoissa kukin ”muu” oli. Toinen ongelma ilmeni, kun vastaaja ei ollut ilmoittanut ”muu”-kohdan tarkempaa merkitystä.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen prosessi, jossa pääsi tutustumaan uuteen valmistusteknologiaan. 3D-tulostus oli pintapuolisesti tuttu käsite, mutta syvempi perehtyminen puuttui. Tarkemmat tutkimukset ainetta lisäävän valmistuksen menetelmistä, niiden mahdollisuuksista sekä heikkouksista loivat uusia näkökantoja tulevaisuuden valmistusprosesseihin.

Työn tilaajalle suurin tarkoitusperä oli saada dokumentointi tekemästään hankinnasta ja sen monista edeltävistä vaiheista sekä toimenpiteistä. Dokumentoinnin tarkoitus oli tuottaa tietoa työvaiheista ja säädöksistä, joita tarvitaan kunnallisen yksikön kehityksessä. Se sisälsi määrittelyineen erilaisten toimintamenettelyjen, arvojen, lakisäädösten ja aikataulujen kokoamista, aina laitteistojen kilpailutukseen ja valintaan asti. Tämä työn osa oli mielenkiintoinen. Prosessin aikana sai nähdä eri menettelyvaiheita ja niiden tarkkaan erilaisin laein säädellyt toimet.

Tämän työn ulkopuolella suunnitellaan hankitulle tulostuslaitteistolle toimivaa koulutusympäristöä. Koulutusympäristöä ajatellen tarkoituksena oli selvittää kyselytutkimuksen avulla laitteistotoimittajilta ja tulostuspalveluja tuottavilta yrityksiltä perspektiiviä 3D-tulostinten teollisuuskäytöstä tällä hetkellä.

Kyselytutkimus oli haastava prosessi, varsinkaan näin laajamittaista ja monitahoista ei ole koskaan tullut teetettyä. Tällainen tiedonkeruumalli oli opettavainen, varsinkin sen suhteen kuinka haavoittuvainen se voi olla.

Kyselylomakkeiden vastauksia joutui katsomaan hieman kriittisin silmin. Kaikki vastaajat eivät välttämättä olleet ymmärtäneet kysymyksiä tai niiden vastausmuotojen rakenteellisuutta. Tässä kohtaa voitiin katsoa eduksi se, että vastauksia ei muutenkaan tutkittu syväluotaavasti vaan vain pintapuolisesti. Peruseriaatteet vastauksista saatiin kuitenkin. Vastauksista voitiin myös päätellä, että vaikka kysymysmuotoja ja vastausrakenteita pyöriteltiin ja testattiin useampaan kertaan ennen kuin ne lähetettiin yrityksille, niitä ei saatu tarpeeksi selkeään muotoon.

## LÄHTEET

3D Printing from Scratch. 2015. 3D Printer Filament Types Overview. Luettu 24.2.2016.  
<http://3dprintingfromscratch.com/common/3d-printer-filament-types-overview/>

3D-tulostus.fi. Verkkokauppa. Tulostusmateriaalit. Luettu 24.2.2016.  
[http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/ULT-CPE-RED](http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/ULT-CPE-RED)

3D with Us. 2015. Wood Filament. Luettu 24.2.2016.  
<http://3dwithus.com/3d-printing-materials/wood-filament/>

AIPworks. Stratasys Fortus 250mc 3D-tulostin. Luettu 24.2.2016.  
[http://www.aipworks.fi/fortus\\_250\\_mc](http://www.aipworks.fi/fortus_250_mc)

AIPworks. FDM Tukimateriaalin poisto. Luettu 24.2.2016.  
[http://www.aipworks.fi/fdm\\_tukimateriaalinpoisto](http://www.aipworks.fi/fdm_tukimateriaalinpoisto)

Budmen, I. & Rotolo, A. 2013. The Book on 3D printing. USA.

Bruder, U. 2014. User´s Guide to Plastic. Sweden: Bruder Consulting AB.

Cooper, K.G. 2001. Rapid Prototyping Technology. USA: Marcel Degger AG

Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittaman hankkeen kuvaus. 3D Boost. Luettu 24.2.2016. <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projekтикoodi=A70633>

Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittaman hankkeen kuvaus. 3D Invest. Luettu 24.2.2016. <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projekтикoodi=A70676>

FDM Material Guide. ULTEM 1010 Resin. Luettu 24.2.2016.  
[http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Material\\_Guides/MG\\_FDM\\_UL-TEM1010.pdf?v=635845580919525379](http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Material_Guides/MG_FDM_UL-TEM1010.pdf?v=635845580919525379)

Fortus 250mc. Luettu 24.2.2016.  
<http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/fortus-250mc>

Gibson, I., Rosen, D.W. & Stucker, B. 2010. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. New York: Springer Science + Business Media.

Hankinnat. Kynnysarvot. Luettu 24.2.2016.  
<http://www.hankinnat.fi/fi/julkinen-hankinta/kynnysarvot/Sivut/default.aspx>

Heikkilä, T., 2008. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita.

HILMA. Julkiset hankinnat. Luettu 24.2.2016.  
<http://www.hankintailmoitukset.fi/fi/docs/yleista/>

Kalpakjian, S., Schmid, S.R. 2008. Manufacturing Processes for Engineering Materials. USA: Pearson Education Inc.

Lievendag, N. 2014. The Creative's 3D Printing Filament Guide: ABS vs PLA vs Many New, Innovative Materials. Luettu 24.2.2016. <http://nicklievendag.com/filament-guide/>

Liou, F.W. 2008. Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development. USA: Taylor & Francis Group.

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Binder Jetting. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Direct Energy Deposition. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Material Extrusion. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextusion/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Material Jetting. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialjetting/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Powder Bed Fusion. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Sheet Lamination. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. Vat Polymerisation. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/>

Loughborough University. About Additive Manufacturing. What is Additive Manufacturing?. Luettu 24.2.2016. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/>

MatterHackers. 2014. Printing with Nylon. Luettu 24.2.2016. <https://www.matterhackers.com/articles/printing-with-nylon>

Phil for Humanity. The Pros and Cons of 3D Printing. Luettu 24.2.2016. [http://www.philforhumanity.com/3D\\_Printing.html](http://www.philforhumanity.com/3D_Printing.html)

SME. Additive Manufacturing Glossary. Luettu 24.2.2016. <http://www.sme.org/additive-manufacturing-glossary/>

Fortus 250mc. Luettu 24.2.2016. <http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/fortus-250mc>

SupportRemoval.com. SCA-1200HT: Optimized Performance in a Durable Device.  
Luettu 24.2.2016. <http://www.supportremoval.com/sca1200esht-product-information.html>

## LIITTEET

Liite 1. Laitteistotoimittajille suunnattu kysely.

1(5)

### 3D - tulostimien hankinta

Tutkimuksen tarkoituksena on saada tietoa toimitettujen 3D-tulostimien ja niitä läheisesti koskevien tuotteiden suuntauksista. Osittain kysymykset saattavat koskea FFF/FDM-menetelmää, muutoin ne ovat yleistiedollisia.

Tutkimustuloksissa ei tulla erittelemään yksittäisiä vastauksia, vaan tarkoituksena on tarkastella niitä yleisesti.

#### 1. KYSYMYS. Minkä menetelmän tulostimia toimitatte?

Valitse numerojärjestyksessä (1 = eniten, 2 = toiseksi eniten, jne.) vastausvaihtoehdoista, minkä menetelmän tulostimia teiltä on hankittu. Jätä vaihtoehto merkitsemättä, jos teillä ei ole myynnissä tai ei ole hankittu kyseisen menetelmän tulostimia.

|               | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| FFF / FDM     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| SLA           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| CJP           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| FTI           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| MJP           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| SLS           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| DMS           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| DMP           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Objet Polyjet | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu menetelmä | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

#### 2. KYSYMYS. Minkä mallin tulostimia toimitatte?

Valitse numerojärjestyksessä (1 = eniten, 2 = toiseksi eniten, jne.) vastausvaihtoehdoista, minkä mallisia tulostimia teiltä on hankittu. Jätä vaihtoehto merkitsemättä, jos teillä ei ole myynnissä tai ei ole hankittu kyseisen mallin tulostimia.

|                     | 1                     | 2                     | 3                     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Työpöytätulostin    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ammattilaistulostin | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tuotantotulostin    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |





|                        | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | 11                    | 12                    | 13                    | 14                    | 15                    | 16                    | 17                    | 18                    | 19                    |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Woodfill               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Bronzefill             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Copperfill             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Bamboofil              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Visijet - materiaalit  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Duraform - materiaalit | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Accura - materiaalit   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Polyjet - materiaalit  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu materiaali         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

### 5. KYSYMYS. Mitä tukimateriaaleja pääsääntöisesti FFF (FDM) -tulostimiin hankitaan?

Valitse numerorjestyksessä (1 = eniten, 2 = toiseksi eniten, jne.) vastausvaihtoehdoista hankitut materiaalit. Jätä vaihtoehto merkitsemättä, jos teillä ei ole myynnissä tai teiltä ei ole hankittu kyseistä tukimateriaalia.

|                    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| PVA                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| SR-30              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| HIPS               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu tukimateriaali | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |



5(5)

**9. Lisätietoa.**

Jos laitoitte merkin kysymyksissä 1, 3, 4, 5, 7 ja 8, kohtiin "muu menetelmä/muu sovelluskäyttö/muu materiaali/muu tukimateriaali/muu lisälaitteisto/muu toimiala". Mitä nämä menetelmät, sovelluskäytöt, materiaalit, lisälaitteistot tai toimialat ovat?

**10. Muuta tietoa.**

Jos teillä on muita mainitsemisen arvoisia asioita liittyen kaupallisen tuotannon 3D-tulostimien käyttöön, niin sana on vapaa. Kaikki tieto pyritään hyödyntämään 3D-tulostuksen koulutusympäristön käytössä.



Liite 2. Laitteistotoimittajilta saadut vastaukset.

1(3)

1. KYSYMYS. Minkä menetelmän tulostimia toimitatte?

| MENETELMÄ     | Eniten | 2. eniten | Vähiten |
|---------------|--------|-----------|---------|
| FFF / FDM     | 3      |           |         |
| MJP           | 1      |           |         |
| SLA           |        | 2         |         |
| CJP           |        | 1         |         |
| Objet Polyjet |        | 1         |         |
| muu           |        |           | 2       |

2. KYSYMYS. Minkä mallin tulostimia toimitatte?

| TULOSTINMALLI       | Eniten | 2. eniten | Vähiten |
|---------------------|--------|-----------|---------|
| Työpöytätulostin    | 2      |           | 1       |
| Ammattilaistulostin | 1      | 3         |         |
| Tuotantotulostin    | 1      | 1         |         |

3. KYSYMYS. Mitkä ovat toimittamienne 3D-tulostimien pääsääntöiset sovelluskohteet?

| TULOSTIMIEN SOVELLUSKOHTEET          | Eniten | 2. eniten | 3. eniten | 4. eniten | 5. eniten | 6. eniten |
|--------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tuotekehitys/protomallit/Suunnittelu | 4      |           |           |           |           |           |
| Markkinointi /esittelyt/ messut      |        | 1         | 1         |           |           |           |
| Valmis tuote                         |        |           |           |           |           | 1         |
| Välivaihe tuotantoprosessissa        |        | 2         |           |           |           |           |
| Varaosa                              |        |           |           | 1         |           |           |
| Tuotannon työkalut                   |        |           |           |           | 1         |           |

4. KYSYMYS. Mitä materiaaleja pääsääntöisesti 3D-tulostimiin hankitaan?

| HANKITUT MATERIAALIT | Eniten | 2. eniten | 3. eniten | 4. eniten | 5. eniten | 6. eniten | 7. eniten |
|----------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PLA                  | 2      |           | 1         |           |           |           |           |
| ABS                  | 1      | 2         |           |           |           |           |           |
| Nylon                |        |           |           | 1         | 1         |           |           |
| PC                   |        |           |           | 1         |           |           |           |
| PPSF/PPSU            |        |           |           |           |           | 1         |           |
| ULTEM                |        |           |           |           |           |           | 1         |
| PETG                 |        |           | 2         |           |           |           |           |
| CPE                  |        |           |           | 1         |           |           |           |
| FPE                  |        |           |           |           | 1         |           |           |
| Woodfill             |        |           |           |           | 1         | 1         |           |

2(3)

| HANKITUT MATERIAALIT | Eniten | 2. eniten |
|----------------------|--------|-----------|
| Visijet              | 1      |           |
| Polyjet              |        | 1         |

5. KYSYMYS. Mitä tukimateriaaleja pääsääntöisesti FFF (FDM) -tulostimiin hankitaan?

| TUKIMATERIAALIT | Eniten | vähiten |
|-----------------|--------|---------|
| PVA             | 1      |         |
| SR-30           | 1      |         |
| SR-20           |        | 1       |

6. KYSYMYS. Onko 3D-tulostimien mukana hankittutulostusta tai tulostusjälkeä auttavia tai parantavia laitteistoja?

|       |   |
|-------|---|
| Kyllä | 3 |
| Ei    | 1 |

7. KYSYMYS. Mitä oheislaitteita on hankittu 3D-tulostamisen tueksi?

| OHEISLAITTEET | Eniten | Vähiten |
|---------------|--------|---------|
| Pesukone      | 2      |         |
| 3D-skanneri   | 1      | 1       |
| Muu           |        | 1       |

8. KYSYMYS. Minkä toimialan yritykset ovat hankkineet 3D-laitteistoja?

| TOIMIALAT         | Eniten | 2. eniten | 3. eniten | 4. eniten | 5. eniten |
|-------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Metalliteollisuus | 1      | 1         |           |           | 1         |
| Muoviteollisuus   |        | 1         | 1         |           |           |
| Rakennusala       |        |           |           |           | 1         |
| Lääketiede        |        |           |           | 3         |           |
| Koulutus          | 1      | 2         | 1         |           |           |
| Koruteollisuus    | 1      |           |           |           | 1         |
| Muu               | 1      |           | 1         |           |           |

3(3)

9. KYSYMYS. Lisätietoa.

Pakkaus, elektroniikka ainakin

5. Tukimateriaalia SR-20, 8. Teknologiateollisuus

3. Tuotannon työkalut, 7. xtc-3d jälkikäsittelyaine, 3d-kynä









4(5)

**5. KYSYMYS. Mitä oheislaitteita käytätte 3D-tulostamisen tueksi?**

Valitse numerojärjestyksessä (1 = eniten, 2 = toiseksi eniten, jne.) vastausvaihtoehdoista käytetyt oheislaitteistot. Jätä vaihtoehto merkitsemättä, jos kyseistä laitteistoa teillä ei ole tai ei ole käytetty.

|                                   | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pesukone (tukimateriaalin poisto) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 3D-skanneri                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 3D-mittavarsi                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 3D-mallinnus (tietokone)          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu oheistuote                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**6. Minkä toimialan yritykset ovat tilanneet 3D-tulosteita?**

Valitse numerojärjestyksessä (1 = eniten, 2 = toiseksi eniten, jne.) vastausvaihtoehdoista tulosteita tilanneet toimialat. Jätä vaihtoehto merkitsemättä, jos kyseiselle toimialalle ette ole toimittaneet 3D-tulosteita.

|                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Metalliteollisuus   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muoviteollisuus     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rakennusala         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Lääketiede          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Koulutus            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Lentokoneteollisuus | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Koruteollisuus      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kotitaloudet        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muu toimiala        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**7. Lisätieto.**

Jos laitteiden merkintäkysymyksissä 1, 2, 3, 4, 5 ja 6, kohtiin "muu menetelmä/muu sovelluskohde/muu materiaali/muu oheistuote/muu toimiala". Mitä nämä menetelmät, sovelluskohteet, materiaalit, oheistuotteet tai toimialat ovat?

5(5)

**8. Muuta tietoa.**

Jos teillä on muita mainitsemisen arvoisia asioita liittyen kaupallisen tuotannon 3D-tulostimien käyttöön, niin sana on vapaa. Kaikki tieto pyritään hyödyntämään 3D-tulostuksen koulutusympäristön käytössä.





2(2)

5. KYSYMYS. Mitä oheislaitteita käytätte 3D-tulostamisen tueksi?

| OHEISLAITTEET | Eniten | 2. eniten | 3. eniten | 4. eniten |
|---------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Pesukone      | 1      |           |           |           |
| 3D-skanneri   |        |           |           | 1         |
| 3D-mallinnus  |        |           |           | 1         |
| Muu           | 1      |           |           |           |

6. KYSYMYS. Minkä toimialan yritykset ovat tilanneet 3D-tulosteita?

| TOIMIALAT            | Eniten | 2. eniten | 3. eniten | 4. eniten | 5. eniten | 6. eniten | 7. eniten | 8. eniten |
|----------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Metalliteollisuus    |        | 1         |           |           |           |           |           |           |
| Muoviteollisuus      |        |           | 1         |           |           |           |           |           |
| Rakennusala          |        |           |           |           | 1         |           |           |           |
| Lentokoneiteollisuus |        |           |           |           |           |           |           | 1         |
| Koruteollisuus       |        |           | 1         |           |           |           |           |           |
| Muu                  | 1      |           |           |           |           |           |           |           |

7. KYSYMYS. Lisätietoa.

Ei vastausta.

8. KYSYMYS. Muuta tietoa.

Älkää unohtako koulutustilaisuuksia järjestäessänne SLS-teknologiaa. Nyt on keskitytty paljon joko metallin tulostamiseen tai FDM-teknol



