

3D-TULOSTUSLAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO JA HUOLTO

Kvist Matti Esko

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Matti Esko Kvist	Vuosi	2017
Ohjaaja	DI Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Lapin Ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	3D-Tulostuslaitteiston Käyttöönotto ja Huolto		
Sivu- ja liitesivumäärä	85 + 15		

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin tekniikan yksikölle. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää koulun 3D-tulostusympäristöä tekemällä huoltosuunnitelma ja huolto-ohjeet koululle hankituille 3D-tulostuslaitteille, perehtyä niiden turvalliseen käyttöön, niiden käyttämään FDM-tekniikkaan ja yleisellä tasolla myös muihin lisäävän valmistuksen tekniikoihin sekä aiheeseen yleisesti.

Teoria-aineistona käytettiin paljon alan verkkolähteitä, alan standardeja, 3D-tulostuspalveluiden tarjoamia materiaaleja ja julkaisuja sekä muutamaa kirjallisuutta ja tutkimusta. Tärkeimmät aineistot olivat Ian Gibsonin, David Rosenin ja Brent Stuckerin kirjoittama kirja Additive Manufacturing Technologies, 3D-tulostuspalveluiden 3D Hubs ja Sculpteo ylläpitämät blogit ja oppimismateriaalit sekä tietenkin laitteiden valmistaja MiniFactoryn verkkosivuilta löytyvä materiaali. Huolto-ohjeiden laatiminen perustui suurimmilta osin käytännön kokemukseen laitteiden käytöstä, ja sitä tukemaan on opinnäytetyön teoriaosuuteen kerätty tietoa laitteen komponenteista ja niiden yleisestä huollosta.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin huoltopäiväkirja ja huolto-ohjeet käsitellylle laitteistolle. Opinnäytetyön edetessä todettiin, että työstä tulee liian pitkä, jos ohjeet tehdään yksityiskohtaisesti kaikille laitteille. Päädyttiinkin tekemään huolto-ohjeet vain eniten käytetyille laitemallille, sillä kaikki laitteen ovat samalta valmistajalta, niiden tekniikka on lähes samanlaista ja toiselle mallille oli jo laitevalmistajan puolesta olemassa kohtuullisen hyvät video-ohjeet. Tulokseksi muodostui myös osataan myös tämä raportti, jota voidaan käyttää materiaalina tulevilla opintojaksoilla, joissa käsitellään lisäävää valmistusta.

Avainsanat 3D-tulostus, materiaalia lisäävä valmistus, pikavalmistus, huolto

Technology, Communication and
Transport
Mechanical and Production Engi-
neering
Bachelor of Engineering

Author	Matti Esko Kvist	Year	2017
Supervisor	Ari Pikkarainen (M.Sc)		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Commissioning and Maintenance of 3D Printers		
Number of pages	85 + 15		

This thesis was made for the Kemi Technology Department of Lapland University of Applied Sciences. The goal of the thesis was to improve the school's 3D printing environment by creating a maintenance plan and maintenance guide for its 3D printers, familiarize with safe usage of them, familiarize with the FDM technology they use and on a fundamental level also study other additive manufacturing technologies and the subject altogether.

The basis for theory contained a lot of online sources about the subject, additive manufacturing standards, publications of 3D printing service providers, some books and some researches about the subject. The most important sources were a book called "Additive Manufacturing Technologies" by Ian Gibson, David Rosen & Brent Stucker, blogs and materials of 3D printing service providers 3D Hubs and Sculpteo and of course the 3D printer manufacturer MiniFactory's webpages. The maintenance instructions are mainly based on practical experience of using and maintaining the 3D printers, but also on theory of the machine's components and their maintenance, gathered in the theory section.

The results of the thesis consist of the maintenance diary and maintenance instructions for the 3D printers dealt with in this thesis. As the thesis progressed, it was clear that the thesis will become too long if the maintenance instructions were made for all the 3D printers. The solution was to focus the instructions on the more used model, as all the 3D printers are from the same manufacturer, their technology is nearly identical and the other model already had decent video instructions. This report also serves as a result, since it can be used as a material on future courses about additive manufacturing.

Key words 3D-printing, additive manufacturing, maintenance, rapid prototyping

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
1.1	Rajaukset.....	8
1.2	Tavoitteet	9
2	MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS.....	10
2.1	Lisäävän valmistuksen historia	11
2.2	Lisäävän valmistuksen yleistetty prosessi.....	14
2.3	Lisäävän valmistuksen käyttösovelluksia.....	16
2.4	DFAM - Design for Additive Manufacturing.....	19
3	LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TEKNIIKAT	21
3.1	Valokovetus altaassa	21
3.2	Jauhepetitekniikka	23
3.3	Pursotus.....	26
3.4	Materiaalin suihkutetus	27
3.5	Sideaineen suihkutetus.....	29
3.6	Kerroslaminointi	29
3.7	Suorakerrostus	31
4	FDM-TEKNIikka.....	33
4.1	Tulostusprosessin peruseriaatteet	33
4.2	Kuularuuvit ja johteet	37
4.3	Syöttölaite.....	39
4.4	Askelmoottori ja servomoottori.....	40
5	TEKNIIKAN YKSIKÖN 3D-TULOSTUSYMPÄRISTÖ	42
5.1	Laitteet, niiden käyttö ja toiminta.....	42
5.2	Laitteiden turvallisuus	43
5.3	Tulostettavat materiaalit.....	44
5.4	CASE-esimerkit	47
5.4.1	Pesukoneen etupaneeli.....	47
5.4.2	Kynäteline	51
5.4.3	Raivaussahan tankin suojakuori.....	55
6	LAITTEIDEN HUOLTO	59

6.1	MiniFactory Innovator	59
6.1.1	Irtoroskien puhdistus	59
6.1.2	Voitelu	61
6.1.3	Ruuvien ja osien kiristys.....	64
6.1.4	Liiman vaihto ja lämmityslevyn tarkistus.....	68
6.1.5	Letkujen puhdistus	71
6.1.6	Suodattimien tarkistus	72
6.1.7	Suutinten puhdistus ja vaihto	72
6.1.8	Kalibrointi	74
6.2	MiniFactory Education 3	78
6.3	Huoltosuunnitelma	78
7	POHDINTA.....	80
7.1	Jatkokehitys	80
	LÄHTEET.....	81
	LIITTEET	85

ALKUSANAT

Haluan kiittää Lapin Ammattikorkeakoulua, sekä työn ohjaajaa DI Ari Pikkaraista erittäin mielenkiintoisesta työstä, jota teki mielellään vapaa-ajallakin. Opinnäytetyössä koin saavani kohtuullisen vapaat kädet niin laitteiden käyttöön kuin työn toteutukseen, mikä tuki hyvin mielenkiintoa aihetta kohtaan.

Kemissä 22.11.2017

Matti Esko Kvist

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AM	Additive Manufacturing
BJ	Binder Jetting
CAD	Computer Aided Design
CDLP	Continuous Digital Light Processing
DFAM	Design for Additive Manufacturing
DFM	Design for Manufacture and Assembly
DLP	Digital Light Processing
DMLS	Directed Metal Laser Sintering
DOD	Drop on Demand
EBAM	Electron Beam Additive Manufacturing
EBM	Electron Beam Melting
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
FGF	Fused Granular Fabrication
LENS	Laser Engineered Net Shape
LOM	Laminated Object Manufacturing
ME	Material Extrusion
MJ	Material Jetting
MJF	Multi Jet Fusion
NPJ	Nano Particle Jetting
PBF	Powder Bed Fusion
SLA	Stereolithography (lisäävän valmistuksen tekniikka)
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Stereolithography (tiedostomuoto)
UAM	Ultrasonic Additive Manufacturing
UC	Ultrasonic Consolidation

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Lapin Ammattikorkeakoulun Teollisuuden ja Luonnonvarojen osaamisalan Kemin kampuksen 3D-tulostusympäristöön ja laitteistoon perehtyminen, laitteiden käyttö, huolto ja jatkokehitys. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Lapin Ammattikorkeakoulun konetekniikan koulutus ja opinnäytetyön ohjaajana toimii konetekniikan lehtori DI Ari Pikkarainen. Laitteiden käytöstä ja huollosta tulee tehdä hallittua, järjestelmällistä ja turvallista. Lisäksi aiheena on perehtyä FDM-tulostustekniikkaan ja sillä tulostettaviin materiaaleihin.

Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin kampuksen 3D-tulostimien käyttö on tähän asti ollut hyvin epävirallista ja kokeellista. Laitteita on huollettu epäsäännöllisesti ja tarpeen mukaan, joten laitteita käytettäessä on hyvin vaikea arvioida niiden tilaa ja kuntoa. Tämän opinnäytetyön tärkein tavoite onkin tehdä laitteiden huollosta järjestelmällistä ja huollon seurannasta mahdollista, jotta taataan laitteiden pitkä elinikä sekä käyttäjille varmuus laitteiden kunnosta.

1.1 Rajaukset

Opinnäytetyössä käsiteltävä laitteisto rajautuu koululta löytyviin MiniFactory-merkkisiin 3D-tulostimiin sekä niiden koneenelimiin ja komponentteihin. Käsiteltävät tulostusmateriaalit rajautuvat myös koululta opinnäytetyön tekoajankohtana löytyviin tulostusmateriaaleihin, joita ovat: PLA (polylaktidi), ABS (akryyliniiriilibtadieenistyreeni), Nylon (synteettinen polymeeri), PC (polykarbonaatti), PolyWood PLA (PLA joka tulostettuna rakenteellaan muistuttaa puuta) sekä PolySupport (PLA:lle suunniteltu tukimateriaali).

Teoriaosuus käsittelee pintapuolisesti seuraavat asiat: standardoidut lisäävän valmistuksen tekniikat, lisäävän valmistuksen historian, lisäävän valmistuksen yleistetyn prosessin, lisäävän valmistuksen käyttösovelluksia sekä lisäävän valmistuksen suunnittelun periaatteen. Lisäksi käsitellään tarkemmin koulun laitteiden käyttämän FDM-tekniikan prosessia ja koneenelimiä.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön pääpaino on laitteiden, etenkin MiniFactory Innovator-mallin, huollolla ja huoltosuunnitelmalla. Huollosta tehdään tulostettavat ohjeet tai ohjelaput sekä huoltopäiväkirjat, jotka tulevat löytymään koulun 3D-tulostusympäristöstä. Opinnäytetyössä esitellään myös muutama opinnäytetyön tekijän 3D-tulostusprojekti prosesseineen, virheineen ja onnistumisineen. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on toimia tietopakettina yleisistä lisäävän valmistuksen aiheista aihetta aloitteleville ja laitteita käyttäville opiskelijoille.

Henkilökohtaisena tavoitteena on esitellä mahdollisimman paljon lisäävän valmistuksen hyödyllisiä käyttökohteita ja seikkoja. Erityisesti lisäävän valmistuksen käyttö prototyypisuunnittelussa kiinnosta. Esiteltävät projektit ovatkin enemmän tai vähemmän prototyyppisiä. Lisäksi henkilökohtaisena tavoitteena on oppia lisää lisäävästä valmistuksesta, käyttää laitteita mahdollisimman paljon ja monipuolisesti sekä tutkia lisäävän valmistuksen ominaisuuksia ja mahdollisuuksia.

2 MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS

Lisäävä valmistus, puhekielessä 3D-tulostus, englanniksi additive manufacturing (AM), on valmistusmenetelmä, jossa materiaalia lisätään itsensä päälle ohuina kerroksina, joista muodostuu 3-ulotteinen kiinteä objekti. Valmistusta ohjaa tietokoneella tehty malli objektista, joka on käsitelty käytettävän laitteen ymmärtämään muotoon. Yleensä tämä käsittely tarkoittaa mallin muuttamista pinta-alamalliksi ja sen siivuttamista yhden tulostetun kerroksen paksuisiin siivuihin, jotka muutetaan laitteen ymmärtämäksi koodiksi. Tästä lisää kohdassa 2.2. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 1-2; 3D Hubs 2017d.)

Yksi lisäävän valmistuksen suurimmista eduista on nopeus. Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta ainoastaan fyysistä valmistusnopeutta, vaan koko prosessin nopeutta ideasta valmiiksi tuotteeksi tai prototyyppiä. Koko prosessin nopeuteen vaikuttaa lisäksi esivalmistelujen ja valmistavan laitteiston asetuksiin ja säätöihin kuluva aika, jälkikäsitteilyyn ja halutun tarkkuuden saavuttamiseen kuluva aika sekä valmistettavan kappaleen monimutkaisuus. Fyysisessä valmistusnopeudessa esimerkiksi CNC-menetelmät ovat paljon nopeampia kuin AM-menetelmät, mutta taas kappaleen monimutkaisuus ei AM-menetelmillä juuri vaikuta koko prosessin aikaan. Monimutkaisten kappaleiden valmistuskyky onkin AM-menetelmien suurin etu, mitä monimutkaisempi geometria, sitä hyödyllisempää on käyttää AM-menetelmää sen valmistukseen. Toinen etu on materiaalin säästö, koska lisäävässä valmistuksessa ei synny juuri hukkamateriaalia, toisin kuin perinteisissä valmistusmenetelmissä, joissa materiaali aihion on oltava vähintään yhtä iso kuin lopputuotteen. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 10-12; 3D Hubs 2017c; 3D Hubs 2017m.)

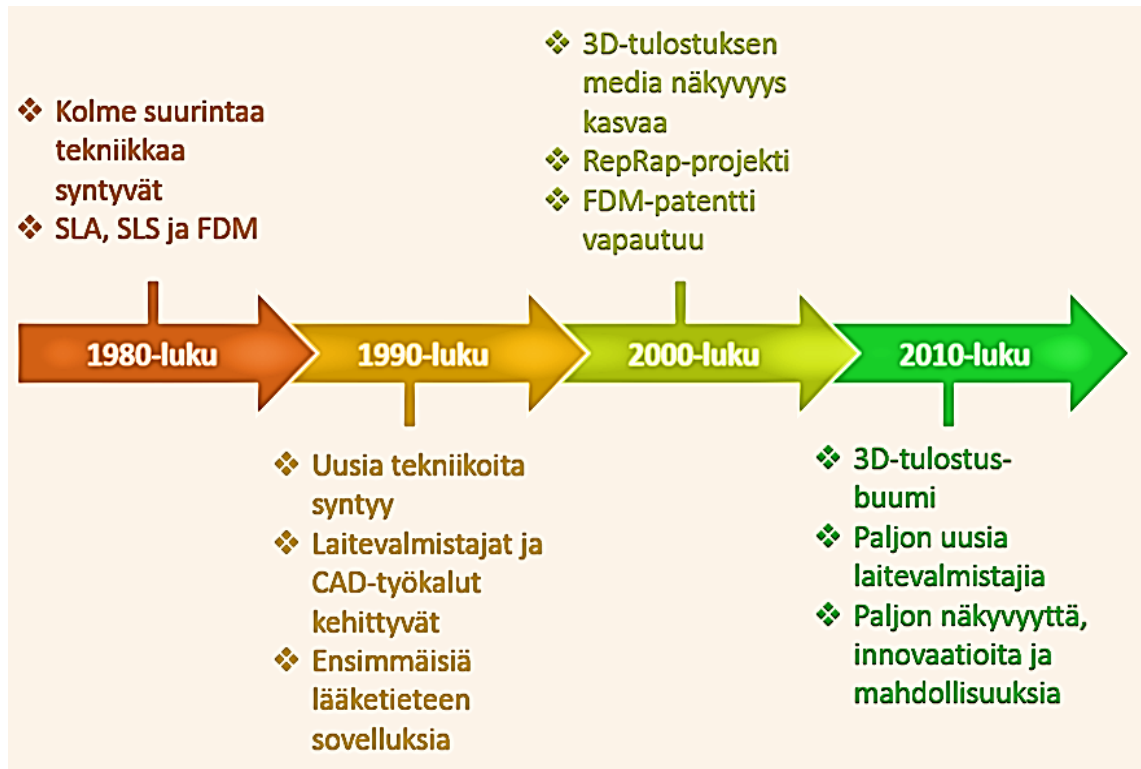
Nimensä mukaisesti, lisäävä valmistus eroaa perinteisistä valmistustekniikoista siinä, että lisäävässä valmistuksessa materiaalia lisätään valmiiksi oikeaan muotoon ja hyvin harvoin poistetaan tai muovataan (jälkikäsitteilyt), kun taas perinteisissä valmistustekniikoissa päinvastaisesti, materiaali lähes poikkeuksetta poistetaan tai muovataan. (3D Hubs 2017c.)

Lisäävä valmistus ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista kuin monesti luullaan. Ennen valmistusta täytyy objektin malli hankkia tai mallintaa. Mallin mallintaminen

itse vaatii tietyn tietopohjan siitä, mitä ja miten milläkin laitteella ja tekniikalla voi tulostaa. Eri tekniikoita käsitellään tarkemmin luvussa 2.2. Täytyy tietää, minkälaisia geometrioita on mahdollista tulostaa, sillä vaikka lisäävä valmistus poistaa-kin suurimman osan geometrisista esteistä valmistukselta, on silläkin rajoituksia. Syy näihin rajoituksiin kulminoituu yhteen lauseeseen: tyhjän päälle ei voi tulostaa. Tulostuksen jälkeen objektia täytyy lähes aina myös jälkikäsitellä, sillä hyvin harvoin saadaan kerralla tulostettua laadullisesti ja toiminnallisesti valmista objektia. Tulostettua objektia joutuu usein esimerkiksi hiomaan, poistamaan tukimateriaaleja, pintakäsittelyä, liittämään muihin tulostettuihin tai tarkentamaan piirteitä kuten poraamaan reikiä tarkemmaksi. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 2; 3D Hubs 2017j; 3D Hubs 2017k; 3D Hubs 2017l.)

2.1 Lisäävän valmistuksen historia

Lisäävää valmistusta hidasti kauan muu siihen liittyvä tekniikka. Tietokoneiden, datan tallennuksen ja sen käsittelytehon, CAD-ohjelmistojen, 3D-grafiikkojen ja elektronisten komponenttien kehittyessä lisäävä valmistus sai pikkuhiljaa tarvitsemaansa teknologista pohjaa kasvulle. Lisäävään valmistukseen liittyvää teknologiaa, ajatuksia ja kokeita on kuitenkin pohjustettu ja kehitetty jo 1800-luvun puolesta välistä eteenpäin. Ensimmäiset ja samalla kolme suurinta 3D-tulostustekniikka kuitenkin syntyivät vasta 1980-luvulla. Kuviossa 1 on esitetty vuosikymmenten tärkeimmät asiat lisäävän valmistuksen historiassa. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 19-26; Bensoussan 2016; Lonjon 2017.)



Kuvio 1. Lisäävän valmistuksen historia (Bensoussan 2016)

Kolme suurinta lisäävän valmistuksen tekniikkaa, stereolitografia, lasersintraus ja materiaalin pursotus saivat alkunsa 1980-luvulla. Ensimmäinen konkreettinen virstanpylväs lisäävän valmistuksen saralla on 1980-luvun alussa, kun Nagoyan Teollisen Tutkimusinstituutin tohtori Hideo Kodama julkaisi ensimmäisen valopolymerisaatiota hyödyntävän lisäävän valmistussysteemin. Kodaman systeemiä pidetään SLA-, eli stereolitografia-tulostuksen esi-isänä, mutta Kodama ei kuitenkaan hakenut tälle patenttia. (Bensoussan 2016; Lonjon 2017.)

1980-luvun puolivälissä ranskalainen insinööri työsti SLA-tekniikkaa, mutta lopetti työnsä liiketoiminnallisen näkemyksen puutteesta johtuen (Bensoussan 2016). Samaan aikaan Charles Hull oli kiinnostunut SLA-tekniikasta ja vuonna 1984 hän haki ja sai patentin stereolitografiaa hyödyntävälle laitteelleen. Vuonna 1986 Hull perusti 3D Systems -yhtiön, maailman ensimmäisen 3D-tulostusyhtiön. Vuotta myöhemmin 3D Systems julkaisi ensimmäisen kaupallisen SLA-tulostimensa nimeltä SLA-1. (Bensoussan 2016; 3D Systems 2017; Lonjon 2017.)

1980-luvun loppupuolella, Texasin Yliopiston opiskelija Carl Deckard kehitti toisen lisäävän valmistuksen kolmesta suuresta tekniikasta. Kyseessä oli SLS (Selective Laser Sintering), eli lasersintraukseen perustuva tekniikka, jossa jauhattua

materiaalia sulatetaan yhtenäiseksi objektiksi lasersäteellä. Deckard haki patenttia tekniikalle vuonna 1988. (University of Texas at Austin 2012; Bensoussan 2016; Lonjon 2017.)

Vuonna 1988 nuori insinööri Scott Crump, yksi Stratasys Incorporationin perustajista, keksi FDM-tekniikan (Fused Deposition Modeling), jossa materiaali pakotetaan kuumennetun suuttimen läpi jolloin se sulaa. Sula materiaali pursotetaan ohuena nauhana haluttuun muotoon kerros kerrokselta. Scott vaimonsa Lisan kanssa patentoi FDM-tekniikan vuonna 1989. FDM-tekniikka on nykyään suosituin kaupallinen 3D-tulostustekniikka (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 147; Bensoussan 2016; Lonjon 2017; Stratasys 2017)

1990-luvulla niin lisäävän valmistuksen tekniikat ja laitteet, kuin CAD-ohjelmistot, alkoivat kehittyä. Erityisesti lisäävän valmistuksen CAD-tekniikka kehittyi ja tuli yhä useamman toimijan ulottuville. 1990-luvulla ryhdyttiin myös hyödyntämään ja tutkimaan lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia lääketieteessä. (Bensoussan 2016)

2000-luvulla lisäävä valmistus alkoi saada medianäkyvyyttä. Suurimpina syinä tähän ovat monet alan lääketieteelliset läpimurrot, RepRap-projekti ja FDM-patenttien muuttuminen julkisiksi vuonna 2009. (Bensoussan 2016.)

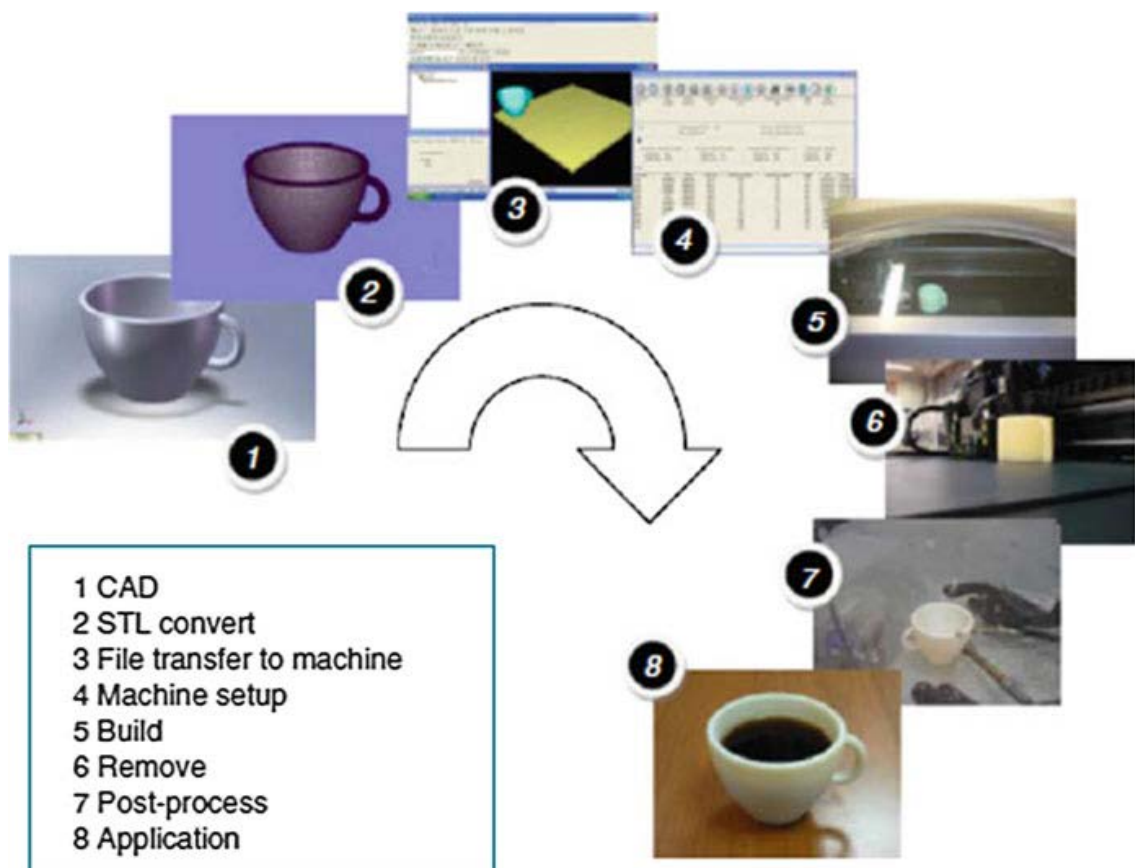
Vuonna 2000 onnistuttiin 3D-tulostamaan ensimmäinen toimiva munuainen. Kei-notekoisia munuaisia on yritetty vaihtelevalla menestyksellä valmistaa jo vuosia, mutta suurin ongelma on ollut munuaisen sisäinen 3-ulotteinen rakenne, joka on välttämätön munuaisen toiminnan kannalta. Ensimmäinen 3D-tulostettu proteesi, joka sisälsi valmiiksi kaikki tarvittavat osat eikä vaatinut potilaaseen asennuksen jälkeen muita jatkotoimenpiteitä, valmistettiin vuonna 2008. (Bensoussan 2016)

Vuonna 2004 keksittiin niin sanottu RepRap-projekti (replicating rapid prototyper), joka aloitettiin 2005. Kyseessä on 3D-tulostin, joka kykenee valmistamaan itse suurimman osan osistaan. Projekti on avoin kaikille, eli niin sanotusti open source ja kuka tahansa voi suunnitella tulostimeen päivityksiä ja jakaa niitä muille harrastajille. Projektin tarkoitus on tällä tavalla kehittyä ja lopulta saavuttaa tilanne, jossa 100% tulostimen osista voidaan valmistaa tulostimella itsellään. (RepRap 2017.)

2010-luku on ollut 3D-tulostuksen ja –tulostimien buumi aikaa. Pöytämallin tulostimet, varsinkin FDM-tekniikan, ovat valloittaneet markkinoita todella nopeasti. 2010-luku on ollut myös lisäävän valmistuksen uusien innovaatioiden kulta-aikaa. joista esimerkkiaiheina 3D-tulostettu auto, ruuan 3D-tulostus, 3D-tulostus avaruudessa ja geneettisten algoritmien yhdistäminen 3D-tulostukseen. (Bensoussan 2016; Dormehl 2016.)

2.2 Lisäävän valmistuksen yleistetty prosessi

Näkökulmasta riippuen lisäävän valmistuksen prosessi voidaan jakaa hieman eri tavalla, mutta seuraavat askeleet sisältyvät suuremmalta tai vähemmältä osin prosessiin: 3-ulotteisen CAD-mallin luominen tai hankinta, CAD-mallin muuttaminen käytettävän laitteen ymmärtämään muotoon, laitteen esivalmistelut, valmistus, kappaleen tai kappaleiden poisto laitteesta ja kappaleen tai kappaleiden jälkikäsittely. (3D Hubs 2017d.) Kuvassa 1 on myös esimerkki, jossa prosessi on paloiteltu kahdeksaan osaan.



Kuva 1. Lisäävän valmistuksen prosessi (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 5)

Ensin tarvitaan tietenkin idea tai tarve. Tämän jälkeen täytyy hankkia 3-ulotteinen CAD-mallin valmistettavasta kappaleesta tai kappaleista. CAD-mallin voi joko mallintaa itse, hankkia valmiina tai luoda 3D-skannaamalla. Tässä vaiheessa täytyy ottaa huomioon myös, mihin käytettävä laite kykenee. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 44-45; 3D Hubs 2017d.)

Seuraavaksi 3-ulotteinen malli täytyy muuttaa muotoon, jota käytettävä laite ymmärtää. Yleisin muoto jota lähes kaikki AM-tekniikat käyttävät, on STL-tiedosto. STL on 3-ulotteisen mallin pinta-ala malli, eli siinä on mukana vain mallin pinnat. Pinnat koostuvat pienistä kolmioista, joista jokainen voidaan esittää kolmen pisteen ja suuntavektorin avulla. Suuntavektori tarvitaan osoittamaan, kumpi puoli kolmiosta osoittaa kappaleen sisään ja kumpi ulospäin. Tässä vaiheessa STL-tiedostoa voi vielä joutua korjailemaan tai muokkaamaan. STL-tiedostojen korjaamista ja muokkaamista varten on kehitetty erilaisia ulkoisia ohjelmia. Monet 3D-tulostimet eivät kuitenkaan pysty valmistamaan kappaletta STL-tiedoston avulla, vaan se pitää muuttaa G-koodiksi. G-koodi on numeerinen ohjauskieli, jolla ohjataan useimpia automaattisia CNC-koneita ja 3D-tulostimia. Monella laitevalmistajalla on oma ohjelmistonsa, jolla STL-tiedosto muutetaan G-koodiksi. Muutoksen yhteydessä voidaan useasti määritellä tulostusparametreja kuten automaattiset tukimateriaalit, täytöt, tulostuskerroksen paksuus, tulostusnopeudet, kappaleen sijainti ja asento. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 45-47; 3D Hubs 2017d.)

Itse valmistus on yleensä automaattinen prosessi eikä vaadi valvontaa. Ennen valmistusta käytettävälle laitteelle on kuitenkin lähes aina tehtävä joitakin esivalmisteluja. Näitä voivat olla esimerkiksi esilämmitys, laitteen toiminnan varmistus, laitteen puhdistus ja materiaalin vaihto. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 47-48; 3D Hubs 2017d.)

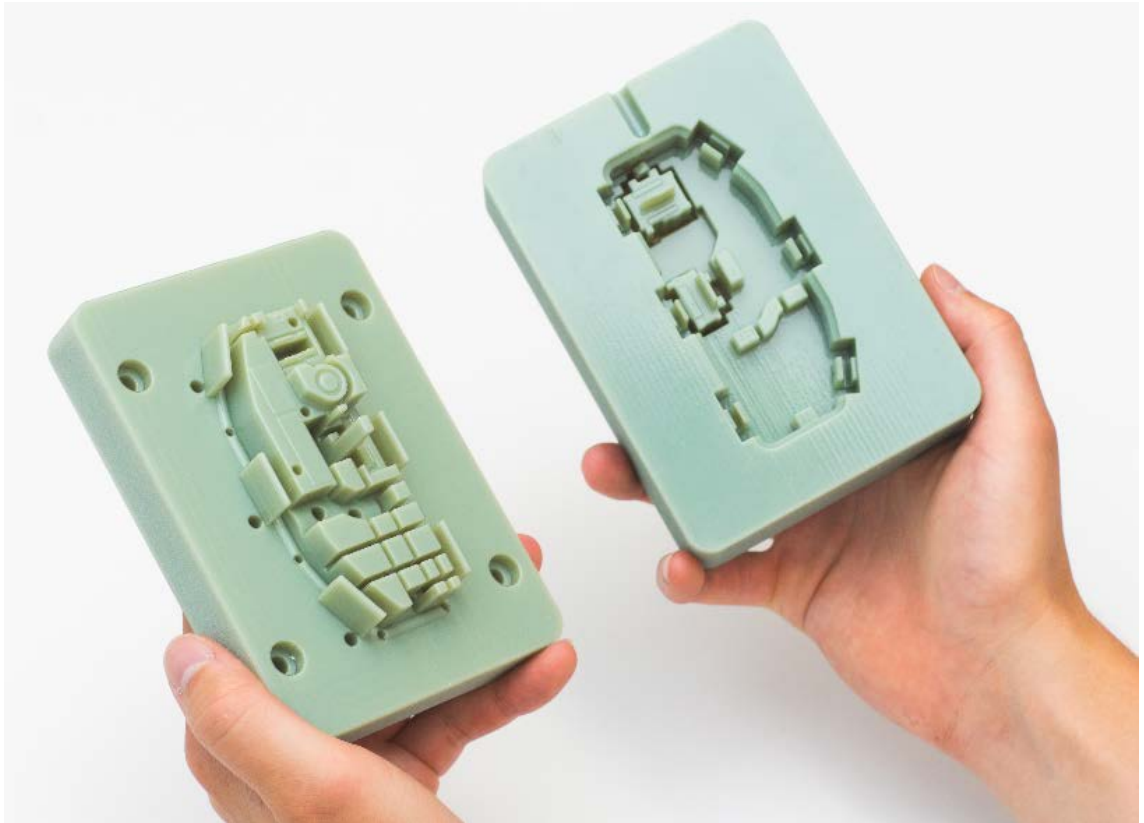
Kappaleet täytyy valmistuksen jälkeen poistaa laitteesta. Kappaleet ovat tekniikasta riippumatta aina kiinni valmistustasossa. Kappaleiden irrotukseen tarvitaan yleensä jokin työkalu, kuten lasta, sekä oikea tekniikka ettei kappale tai laite vaurioidu. Lisäksi joskus käytetään tukimateriaaleja joko mahdollistamaan tiettyjen

piirteiden tulostus, tai estämään rakennetta muuttamasta muotoaan. Tukimateriaalit täytyy myös poistaa joko mekaanisesti tai liuottamalla, riippuen käytetystä materiaalista. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 48-49; 3D Hubs 2017d.)

Tulostettuna valmiiseen tuotteeseen on toki hyvä pyrkiä, mutta yleensä valmistusta ja tulosteen poistamista laitteesta seuraa jälkikäsittelyvaihe, jolla saadaan aikaan esimerkiksi haluttu pinnan laatu, paremmat mekaaniset ominaisuudet tai yhdistetään tuotteeseen muita osia. Jälkikäsittely voi koostua esimerkiksi hiomisesta, pintakäsittelystä, kemikaali käsittelystä, lämpökäsittelystä, kierre- ja muiden upotusten asentamisesta paikalleen tai piirteiden tarkentamisesta esimerkiksi poraamalla. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 49; 3D Hubs 2017d; 3D Hubs 2017j; 3D Hubs 2017k; 3D Hubs 2017l.)

2.3 Lisäävän valmistuksen käyttösovelluksia

3D-tulostamalla voi toki valmistaa kaikenlaisia tarve- ja koriste-esineitä, leluja, apuvälineitä ja mitä ikinä vain mieleen juolahtaa, mutta vaikka prosessina ideasta valmiiksi tuotteeksi 3D-tulostus onkin nopea, on itse kappaleen fyysinen valmistus monesti hidasta verraten esimerkiksi modernein CNC-valmistusmenetelmin. Tästä syystä 3D-tulostus ei ole, ainakaan vielä, kovin kilpailukykyinen tuotteiden suhteen, joita voidaan myös perinteisin menetelmin valmistaa. 3D-tulostuksen todellinen hyöty löytyykin muualta, lähinnä tuotekehityksen saralta sekä siitä, että melkein minkälainen geometria tahansa on mahdollista valmistaa. 3D-tulostusta kutsutaankin joskus nopeaksi prototyyppien valmistukseksi sekä nopeaksi työvälineiden valmistukseksi. Fyysinen prototyyppi kertoo kehitteillä olevasta tuotteesta paljon enemmän kuin pelkät piirustukset. Esimerkiksi jos prototyyppi voidaan tulostaa oikeassa koossa, kertoo se heti miltä tuote tuntuu ja näyttää käyttäjälle ja miten se fyysisesti, tilallisesti ja toleransseiltaan sopii käyttötarkoitukseensa. Joskus voidaan prototyypistä siirtyä suoraan valmiiseen, lisäävän valmistuksen keinoin kokonaan, osittain tai sen perusteella valmistettuun tuotteeseen. Hyvä esimerkki työkalujen valmistuksesta on 3D-tulostetut valumuotit (Kuva 2), joilla voidaan ennen varsinaisen, erittäin kalliin, teollisen muotin valmistusta varmistua muotin toiminnasta. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 3-4, 8-11, 439-443; 3D Hubs 2017b.)



Kuva 2. 3D-tulostettu ruiskuvalumuotti (3D Hubs 2017b)

Moni suuri teollisuudenala hyödyntää lisäävää valmistusta. Esimerkiksi ilmailuteollisuudessa osien paino on kriittinen tekijä. Lisäävällä valmistuksella monia osien piirteitä, joita perinteisillä valmistusmenetelmillä on käytettävä, voidaan poistaa tai muuttaa ja osia voidaan geometrisen vapauden ansiosta optimoida paremmin esimerkiksi ilmanvastuksen, keveyden ja lämmönjohtavuuden suhteen. (LaMonica 2013; Gibson, Rosen & Stucker 2015, 468-472). Toinen suuri teollisuudenala on lääketieteellisyys. Proteeseja, implantteja ja jopa keinoelimiä voidaan valmistaa lisäävän valmistuksen keinoin yksilöllisesti potilaalle räätälöitynä. Räätälöinti perustuu monesti potilaasta röntgen-, laser- tai magneettiskannauksella saatuun kolmiulotteiseen dataan. Kehonosien lisäksi lääketiede käyttää lisäävää valmistusta niin-ikään työkalujen kuten kirurgisten terien, ohjainten ja porien kehitykseen. Kuvassa 3 on esimerkki potilaan hampaiden mukaan tulostetusta muotista, jolla pora kohdistetaan juuri oikeaan kohtaan. (3D Hubs 2017i.)



Kuva 3. 3D-tulostettu työkalun ohjain hampaan poraukseen (3D Hubs 2017i)

2.4 DFAM - Design for Additive Manufacturing

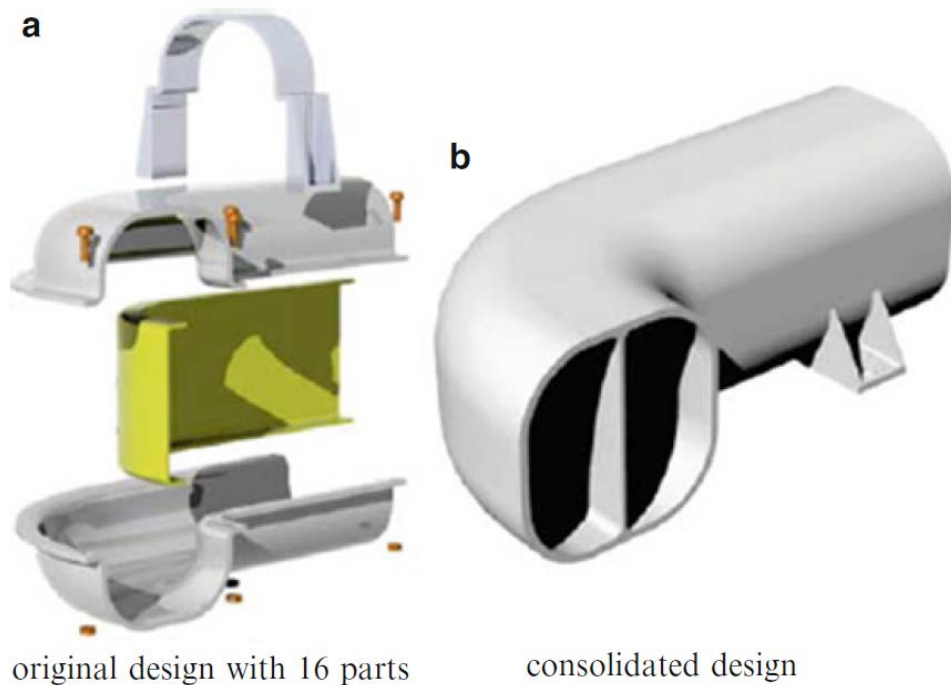
Tässä osassa vertaillaan lyhyesti perinteisiä ja lisääviä valmistusmenetelmiä, mutta ennen tätä on listattu asioista, joita lisäävän valmistuksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon:

- valmistuksen mahdollistavat tukimateriaalit (ja niiden poisto!)
- muodonmuutokset ja niiden esto
- tarkkuus
- täytöt ja kappaleen sisäinen rakenne
- seinämänpaksuudet
- piirteet: viisteet, sillat, pyöristykset, reiät
- kokoonpanon yksinkertaistus tai osien vähentäminen
- jälkikäsittelyt
- muodon vapaus tekniikkakohtaisin rajoituksin
- rakenteiden optimointi
- tyhjän päälle ei voi tulostaa. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 399-428; 3D Hubs 2017a.)

Perinteisiä valmistusmenetelmiä käytettäessä suunnittelija tulee miettiä, millä työkaluilla, monestako osasta, miten ja missä järjestyksessä tuote voidaan valmistaa. Valmistuksen lisäksi suunnittelija joutuu ottamaan huomioon mahdollisen kokoonpanon ja asennuksen mahdollisuudet, siihen tarvittavat työkalut ja menetelmät. Vielä näidenkin lisäksi, suunnittelija joutuu usein puntaroimaan kaikkia mahdollisuuksia taloudellisessa mielessä. Tätä ajattelumallia nimitetään usein termillä: Design for Manufacturing and Assembly (DFM). (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 399-404.)

Lisäävässä valmistuksessa sovelletaan erilaista ajattelumallia, josta käytetään termiä Design for Additive Manufacturing (DFAM). Lisäävässä valmistuksessa ei ole läheskään yhtä paljon valmistusta rajoittavia seikkoja kuin perinteisissä valmistusmenetelmissä. Lisäävässä valmistuksessa ei esimerkiksi tarvitse miettiä,

millä työkaluilla tuote voidaan valmistaa, sillä työkaluja on yleensä vain yksi: 3D-tulostin. Lisävä valmistus voi myös usein poistaa tai yksinkertaistaa kokoonpanoa vähentämällä osien määrää. Esimerkkinä kuvassa 4 oleva lentokoneen elektroniikkayksikön tuuletuskanava, joka on vasemmalla (a) valmistettu perinteisin menetelmin useista osista ja oikealla (b) lisävin valmistusmenetelmin yhdestä osasta. Lisävässä valmistuksessa turhaa materiaali, jota perinteisissä valmistusmenetelmissä joudutaan usein jättämään valmistusteknisistä syistä, ei ole ja materiaalia voidaan laittaa vain sinne missä sitä tarvitaan esimerkiksi ristikkorakenteena onton rakenteen sisään. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 399-413.)



Kuva 4. Kokoonpanon yksinkertaistus lisäväällä valmistuksella (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 404)

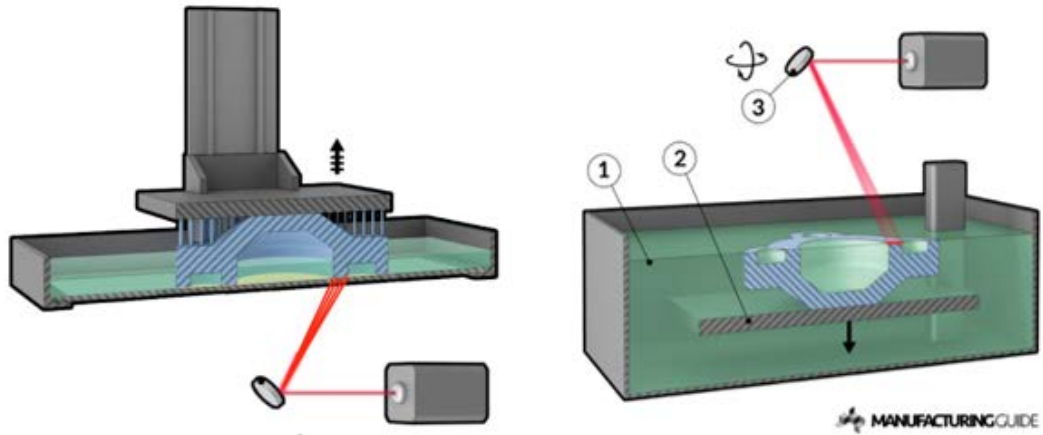
3 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TEKNIIKAT

Lisäävän valmistuksen tekniikoiden kirjo on laaja. Puhtaasti muovisten tuotteiden ohella metallien, erilaisten komposiittimateriaalien ja materiaaliyhdistelmien sekä muiden erikoisten materiaalien tulostus on mahdollistunut tekniikoiden kehittyessä. Erikoisemmista materiaaleista mainittakoon esimerkkinä betonielementtien 3D-tulostus (Fimatec 2017). Lisäävän valmistuksen tekniikat voidaan jakaa seitsemään pääryhmään, joista osa jakautuu vielä tarkempiin tekniikan haaroihin. Pääryhmät ovat valokovetus altaassa jauhepetisulatus, pursotus, materiaalin suihkutusta, sideaineen suihkutusta, kerroslaminointi ja suorakerrostus. Pääryhmistä on kattava lista 3D Hubs -sivuston laatimassa kuviossa. Tekniikkojen jako on myös standardisoitu. (SFS-EN ISO 17296-2 2016; 3D Hubs 2017e.)

3.1 Valokovetus altaassa

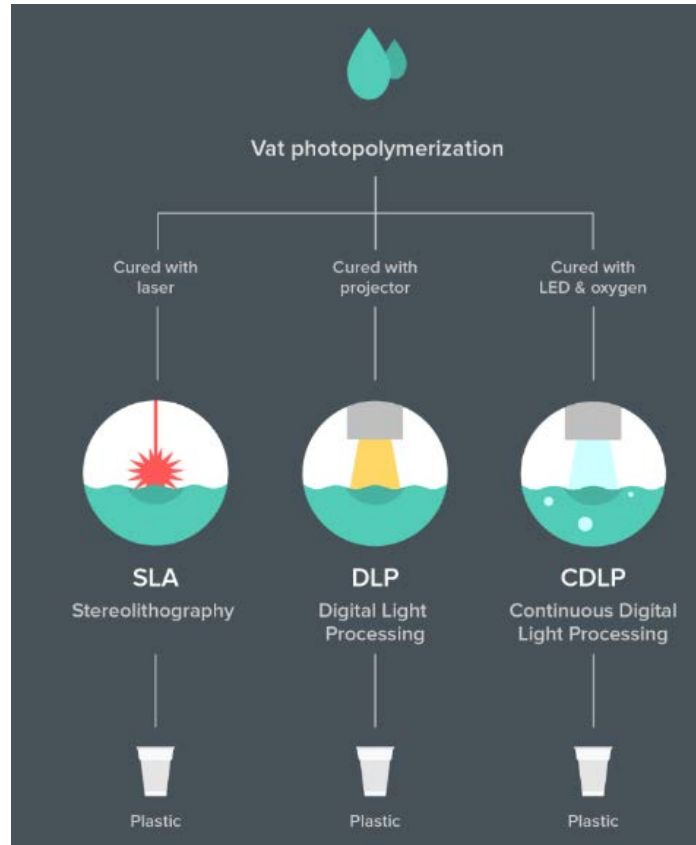
Allasvalokovetuksessa altaassa olevaa nestemäistä valopolymeerihartsia kovetetaan kerros kerrokselta säteilyn avulla. Yleisimmät kovetukseen käytetyt säteilyn tyypit ovat UV-säteily ja elektronisäteet, mutta jotkut valopolymeerit reagoivat myös gammasäteilyyn, röntgensäteilyyn sekä näkyvään valoon.

Kuvassa 5 on kuvattu stereolitografia-tekniikkaa sekä nousevalla että laskevalla tasolla, joka pätee lähes täysin muihinkin allasvalokovetus-tekniikkoihin. Valopolymeerihartsiin (1) upotettuun valmistusalustaan (2) pyyhkäistään valolla (3) haluttu kuvio, jolloin hartsi kovettuu tähän kuvioon. Tämän jälkeen valmistusalusta nousee tai laskee (riippuu laitteesta) määrätyn kerrospaksuuden verran ja äsken kovetetun hartsin pintaan voidaan heijastaa uusi kuvio. Tällä tavalla kappale muodostuu kerros kerrokselta. Yleensä tällä tekniikalla valmistetut kappaleet täytyy tulostuksen jälkeen käsitellä ultraviolettivalolla, jotta saavutetaan paremmat mekaaniset ominaisuudet. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 63-67; Manufacturing Guide 2015d; 3D Hubs 2017e.)



Kuva 5. Valokovetus altaassa (Manufacturing Guide 2015d)

Allasvalopolymerisaatio jakaantuu kolmeen alakategoriaan: Stereolitography (SLA), Digital light processing (DLP) ja Continuous digital light processing (CDLP) (Kuvio 2). Tekniikoiden erona on se, että SLA-tekniikassa valopolymerin kovettaa yksittäinen valonsäde, kun taas DLP-tekniikassa digitaalinen projektori kovettaa koko kerroksen samanaikaisesti. CDLP- ja DLP-tekniikoiden erona on se, että CDLP-tekniikassa valmistusalusta liikkuu jatkuvasti, yleensä lyhentäen tulostusaikaa. (3D Hubs 2017e.)



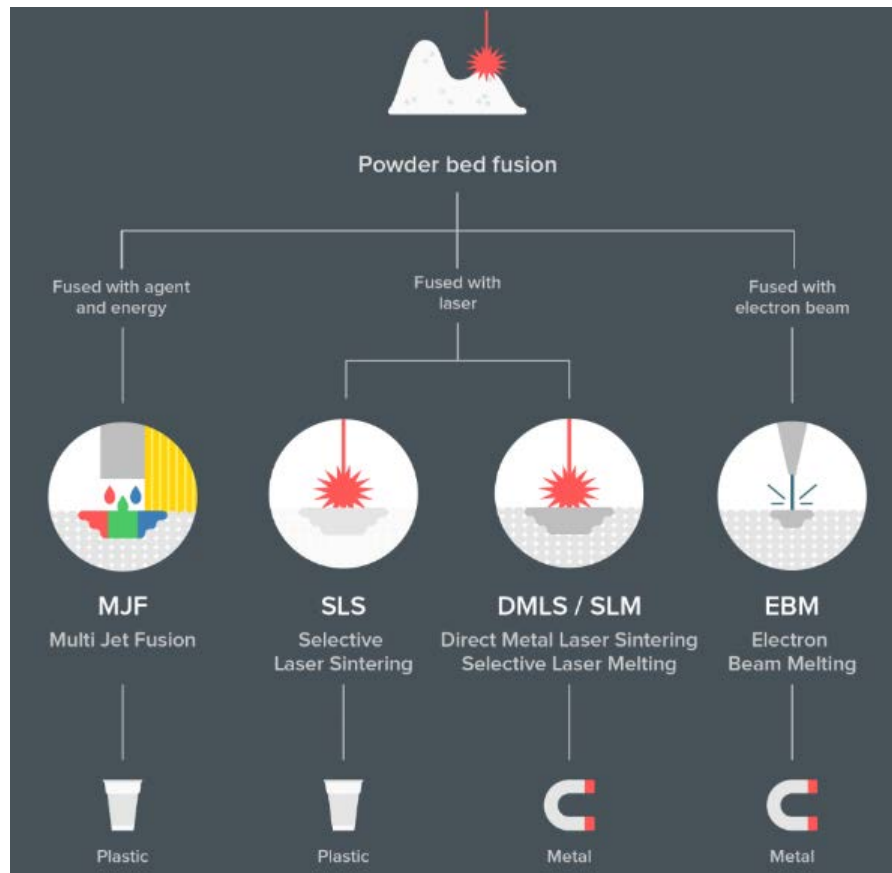
Kuvio 2. Allasvalopolymerisaatio ja alakategoriat (3D Hubs 2017e)

Materiaalit joita valokovetus tekniikoissa käytetään, ovat akrylaatti ja epoksi pohjaiset polymeerihartsit. Puhtaasti akrylaattipohjaiset polymeerit kutistuvat kovettuessaan paljon enemmän kuin epoksipohjaiset. Epoksipohjaiset polymeerit mahdollistavat tarkat ja kestävät, mutta hauraat, hitaammin kovettuvat ja kosteudelle herkät tulosteet. Kummankin tyypin huonoja ominaisuuksia saadaan parannettua yhdistämällä polymeerit. Suurin osa kaupallisista tämän tarkoituksen valopolymerihartseista ovatkin epoksipohjaisia, joihin on lisätty akrylaatti pohjaista polymeerihartsia. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 63-67; 3D Hubs 2017e.)

3.2 Jauhepetitekniikka

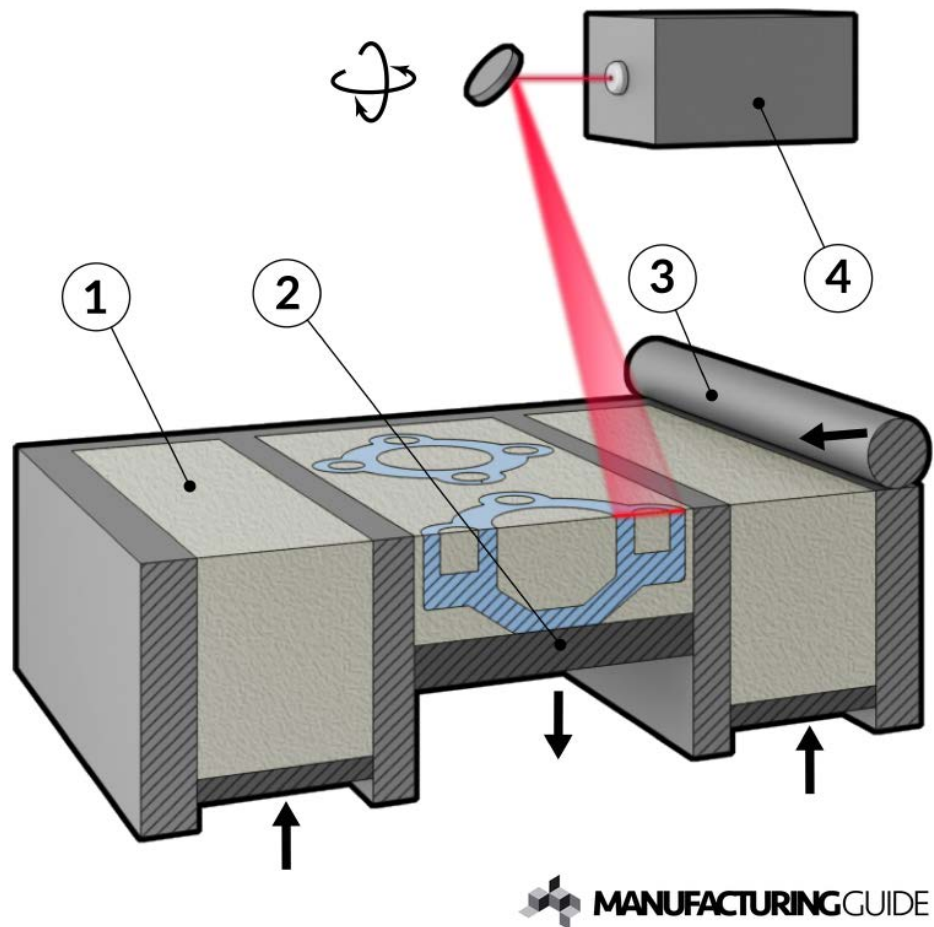
Jauhepetitekniikka (SFS-EN ISO/ASTM 52900:2017 mukaan ”jauhepetisulatus”) on tekniikkaa, jossa jauhettu materiaali levitetään ohuina kerroksina valmistus- alustalle ja jokaisesta kerroksesta sulatetaan tai sintrataan lasersäteellä tai elektronisuihkulla haluttu muoto kiinteäksi. Jauhepetitekniikka jakaantuu neljään al- kategoriaan energian lähteen sekä materiaalin perusteella seuraavasti: Selective laser sintering (SLS), Selective laser melting (SLM), Direct metal laser sintering

(DMLS), Electron beam melting (EBM) ja Multi jet fusion (MJF) (Kuvio 3). (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 107-112; 3D Hubs 2017e.)



Kuvio 3. Jauhepetiteknikka ja sen alakategoriat (3D Hubs 2017e)

Kuvassa 6 on kuvattu SLS-tekniikka, mutta perusperiaate on sama kaikille jauhepetiteknikoille. Jauhettua materiaalia (1) työnnetään tietty määrä tulostustason (2) yläpuolelle, jonka jokin levitysmekanismi, tässä tapauksessa rulla (3), levittää tasaiseksi kerrokseksi valmistusalustalle. Energianlähde, tässä tapauksessa laser (4), sulattaa tai sintraa jauheen kiinteäksi halutuista kohdista. Lopuksi tulostustaso laskeutuu yhden kerrospaksuuden verran ja prosessi toistuu. (Manufacturing Guide 2015c.)



Kuva 6. SLS-tekniikka (Manufacturing Guide 2015c)

SLS-, SLM -ja DMLS-tekniikat ovat peruseriaatteeltaan lähes samanlaisia. SLS-tekniikka on suunniteltu muovien 3D-tulostamiseen, kun taas SLM- ja DMLS-tekniikat metallien 3D-tulostamiseen. EBM-tekniikka sulattaa materiaalin elektroni-suihkulla laserin sijaan ja on myös metallien 3D-tulostamiseen suunniteltu. MJF-tekniikka on muiden jauhepetiteknikoiden kaltainen, mutta lisää niihin ekstra askeleen. Jauhekerroksiin suihkutetaan sidosaine kohtiin, joiden halutaan sulavan/sintrautuvan. Lisäksi suihkutetaan tarkentava sidosaine, jolla voidaan sulauttaa tiettyjä kohtia paremmin tai huonommin yhteen, saaden aikaan esimerkiksi tarkempia yksityiskohtia. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 107-112; 3D Hubs 2017e.)

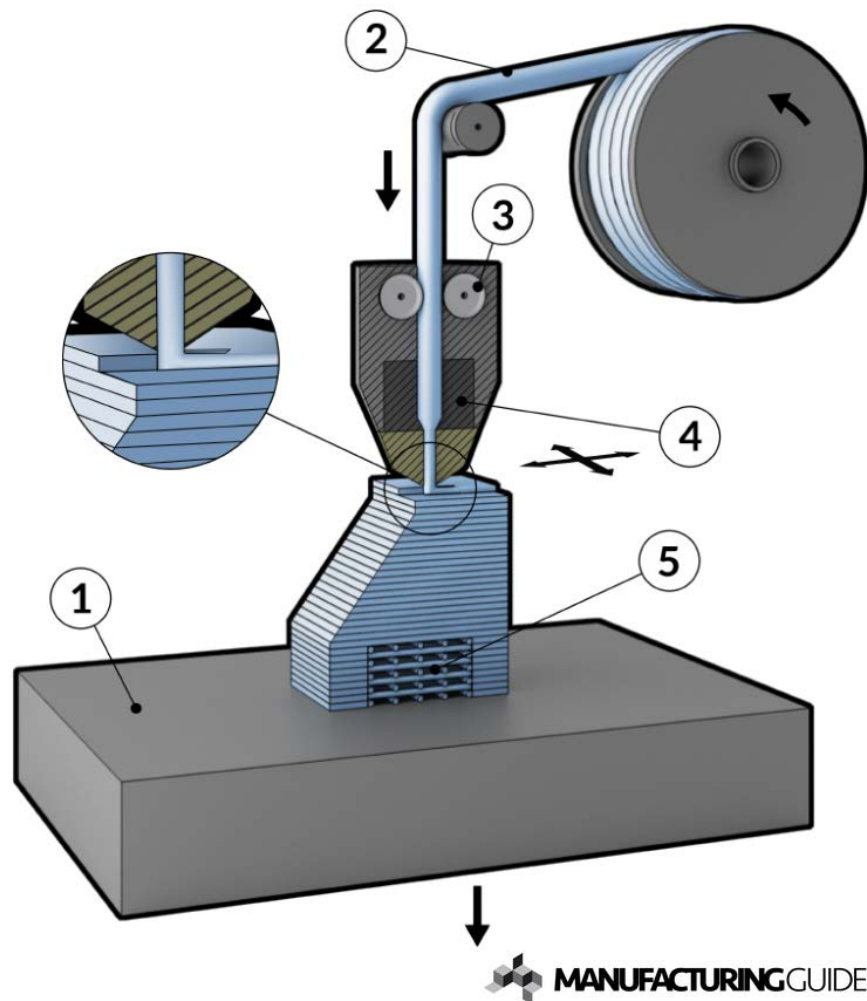
Tulosteen ympäröivän jauheen ansiosta jauhepetiteknikoilla ei juurikaan tarvita tukirakenteita. Poikkeuksia ovat SLM- ja EBM-tekniikka, jotka nimensä mukaisesti sulattavat jauheen kokonaan, mikä tarkoittaa korkeampia lämpötiloja ja suurempia lämpölaajenemisia ja –kutistumisia. Tästä johtuen tarvitaan usein tukirakenteita estämään lämpölaajenemisista ja -kutistumista johtuvia muodonmuutoksia. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 107-112; 3D Hubs 2017e.)

3.3 Pursotus

Materiaalin pursotus on yleisin kaupallinen 3D-tulostustekniikka yksinkertaisen ja halvan tekniikkansa takia. Pursotustekniikassa materiaalia pursotetaan suuttimen läpi ohuena nauhana ennalta määrättyä reittiä pitkin kerros kerrokselta. Materiaali tarttuu alempaan kerrokseen joko materiaalin sulatuksen seurauksena, kemiallisesti kovettamalla tai kuivamalla. Tekniikan englanninkielinen nimi on Material Extrusion (ME). Stratasys-yhtiö on lanseerannut termin Fused Deposition Modeling (FDM), jolla se tarkoittaa nimenomaan muovifilamenttia raaka-aineena käytävää 3D-tulostustekniikkaa, jossa raaka-aine sulatetaan. (Stratasys 2017b). Sanana FDM kuitenkin tarkoittaa kaikkia sulattavia ("fused") pursotustekniikoita. Joskus puhutaan myös termistä Fused Filament Fabrication, mikä tarkoittaa yksinomaan tekniikka, jossa raaka-aine syötetään filamenttina ja sulatetaan. Materiaali voidaan myös syöttää jauhattuna, jolloin käytetään termiä Fused Granular Fabrication (FGF). Termi FDM on kuitenkin puhekielessä ja markkinoinnissa yleistynyt synonyymiksi termille FFF. Termit voivat olla hyvin hämmentäviä ja niitä käytettäessä tulee muistaa, että ainoastaan ME on standardoitu termi (SFS-EN ISO/ASTM 52900 2017). Onkin suositeltavaa, että FDM-termiä käytettäessä selvennetään lisäksi, tarkoitetaanko FFF- vai FGF-tekniikkaa. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 147-148; Bolz 2016; 3D Hubs 2017e; 3D Printer Power 2017c.)

Kuvassa 7 on esimerkkinä FFF-tekniikan periaate. Materiaali tulee laitteelle nauhana, syöttörullien (3) vetämänä kelalta (2). Syöttörullat puskevat nauhan lämmitetyn suuttimen (4) läpi, jossa materiaali sulaa ja ohenee. Suuttimesta sula materiaali päätyy valmistusalustalle (1) tai jo tulostetun kerroksen päälle, määrättyä reittiä seuraten. Kun kerros on tulostettu, alusta ja suutin (kumpi liikkuu, riippuu laitteesta) liikkuvat pois päin toisistaan yhden kerrospaksuuden verran. Materiaalin säästämiseksi FDM-tekniikassa käytetään usein jonkinlaista ristikkokuvioista

täyttöä (5) kappaleen sisällä, joka toimii samalla alustana tuleville kerroksille. (Manufacturing Guide 2015a.)



Kuva 7. FFF-tekniikka (Manufacturing Guide 2015a)

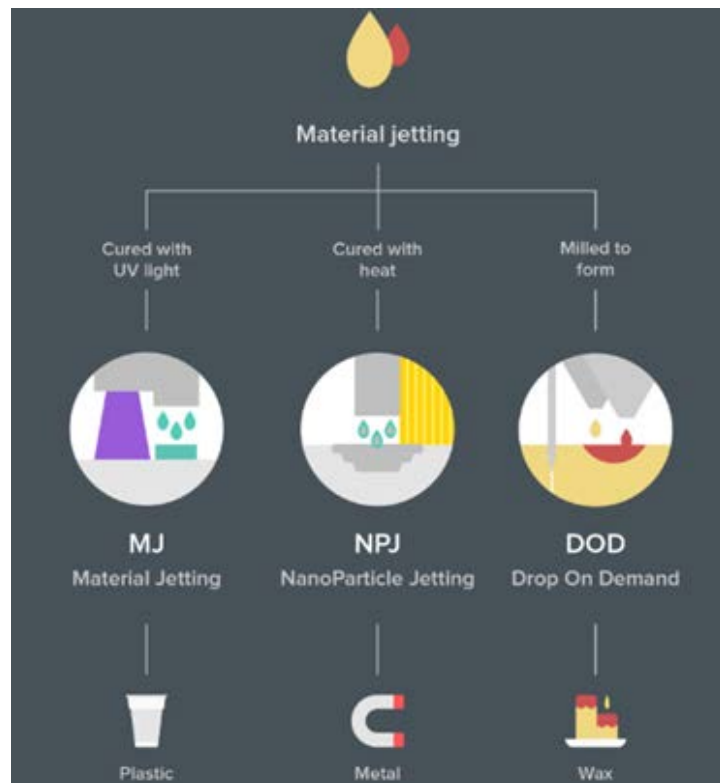
Materiaalit joita voidaan 3D-tulostaa pursottamalla, ovat joko sulavia ja jäähtyessään nopeasti kovettuvia, kuten muovit, tai valmiiksi tahnamaisia kemiallisesti tai kuivaessaan kovettuvia kuten betoni. Materiaalin sisään voidaan myös pursottaa tai asentaa vahvike materiaaleja kuten hiilikuitua (Composites World 2017). (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 147-148; 3D Hubs 2017e.)

3.4 Materiaalin suihkutus

Materiaalin suihkutus perustuu nestemäisen tai nesteen ja partikkelien sekoituksen suoraan suihkutukseen valmistusalustalle. Periaate on hyvin samanlainen

kuin 2D -mustesuihkutulostimissa, mutta yhden kerroksen sijaan tulostetaan useampi kerros päällekkäin. Materiaalin suihkutusta sallii usein useamman tulostusmateriaalin yhtäaikaisen käytön, mikä helpottaa esimerkiksi irrotettavien tukirakenteiden tulostusta. (3D Hubs 2017e.)

Materiaalin suihkutusta jaetaan kolmeen alakategoriaan: Material jetting (MJ), Nano particle jetting (NPJ) ja Drop on demand (DOD) (Kuvio 4). MJ-tekniikka käyttää samanlaisia valopolymeerihartseja, jotka kovetetaan valolla. NPJ-tekniikassa ruiskutettavaan nesteeseen on sekoitettu metallin tai tukirakennemateriaalin nanopartikkeleita. Tulostustila on NPJ-tekniikassa normaalia kuumempi, jolloin neste haihtuu ja jättää jälkeensä pelkän tulostusmateriaalin. DOD-tekniikassa materiaali suihkutetaan pisaroina valmistusalustalle yleensä kahta suihkuinta käyttäen, toinen tulostusmateriaalille ja toinen tukimateriaalille. (3D Hubs 2017e.)



Kuvio 4. Materiaalin suihkutusta ja sen alakategoriat (3D Hubs 2017e)

3.5 Sideaineen suihkutus

Sideaineen suihkutus (Binder Jetting, BJ) on hyvin samanlaista kuin jauhepetiteknikat (kohta 3.2). Laserin sijasta kerros kerrokselta levitetty jauhettu tulostusmateriaali liimataan halutuista kohdista yhteen suihkutetulla sideaineella. Tulostusmateriaalista ja sideaineesta riippuen, sideaine voi pelkästään liimata jauheen yhtenäiseksi tai reagoida jauheen kanssa kemiallisesti. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 205-210; 3D Hubs 2017e.)

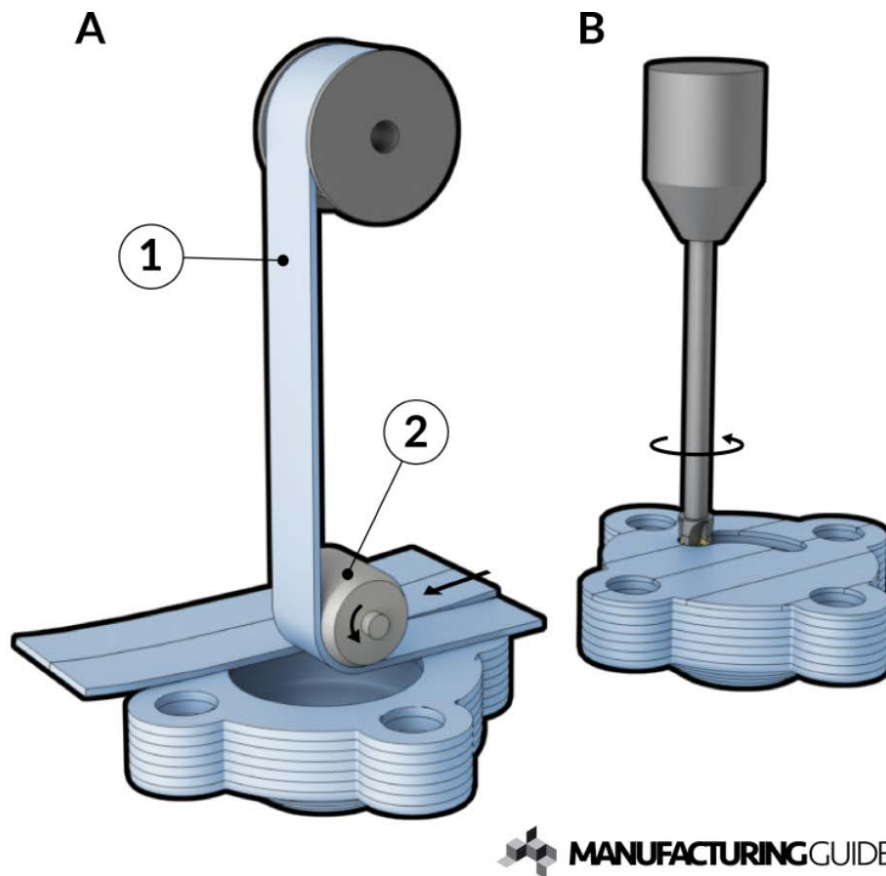
3.6 Kerroslaminointi

Kerroslaminointi on tekniikka, jossa ohuita materiaali levyjä, paksuudeltaan 0.07-0.2mm, kiinnitetään toisiinsa päällekkäin. Levyt voidaan kiinnittää toisiinsa ennen niiden leikkaamista laserilla tai mekaanisella leikkurilla oikeaan poikkileikkauksen muotoon, jolloin puhutaan niin sanotusta Bond-Then-Form-tekniikasta, tai levyt voidaan ensin leikata oikeaan muotoon ja kiinnittää sen jälkeen, jolloin kyseessä on Form-Then-Bond-tekniikka. Kiinnitykseen voidaan käyttää liimaa, lämpöä, puristamista tai ultraäänihitsausta. Ultraäänihitsausta käytettäessä puhutaan tekniikan alakategoriasta Ultrasonic additive manufacturing (UAM, joskus Ultrasonic Consolidation, UC) ja muulloin kyseessä on alakategoria Laminated object manufacturing (LOM). (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 219-222)

Materiaaliksi kerroslaminointiin kelpaa mikä vain materiaali, jota saa vaaditun paksuisena levynä. Yleisin ja ensimmäinen tällä tekniikalla tulostettu materiaali on paperi. Esimerkiksi paperi jonka toinen puoli on käsitelty termoplastisella polymeerillä joka lämmitessään liimaa kerroksen yhteen, on yksi ensimmäisistä käytetyistä materiaaleista. Myös metalleja pystytään tulostamaan tällä tekniikalla, mutta vahvan liitoksen aikaansaamiseksi täytyy käyttää juottamista, hitsausta tai muun muassa diffuusiota hyödyntävää ultraäänihitsausta. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 224-225)

Manufacturing Guide-verkkosivusto tarjoaa havainnollistavat kuvat yleisimmistä LOM- ja UAM-tekniikoista. Kuvassa 8 on UAM-tekniikka, jossa materiaali levitetään kapeana nauhana (1) ja ultraääni hitsataan alempaan nauhaan. Ultraäänihitsaus tapahtuu pyörivän rullan (2) (englanniksi "sonotrode") avulla, joka painaa

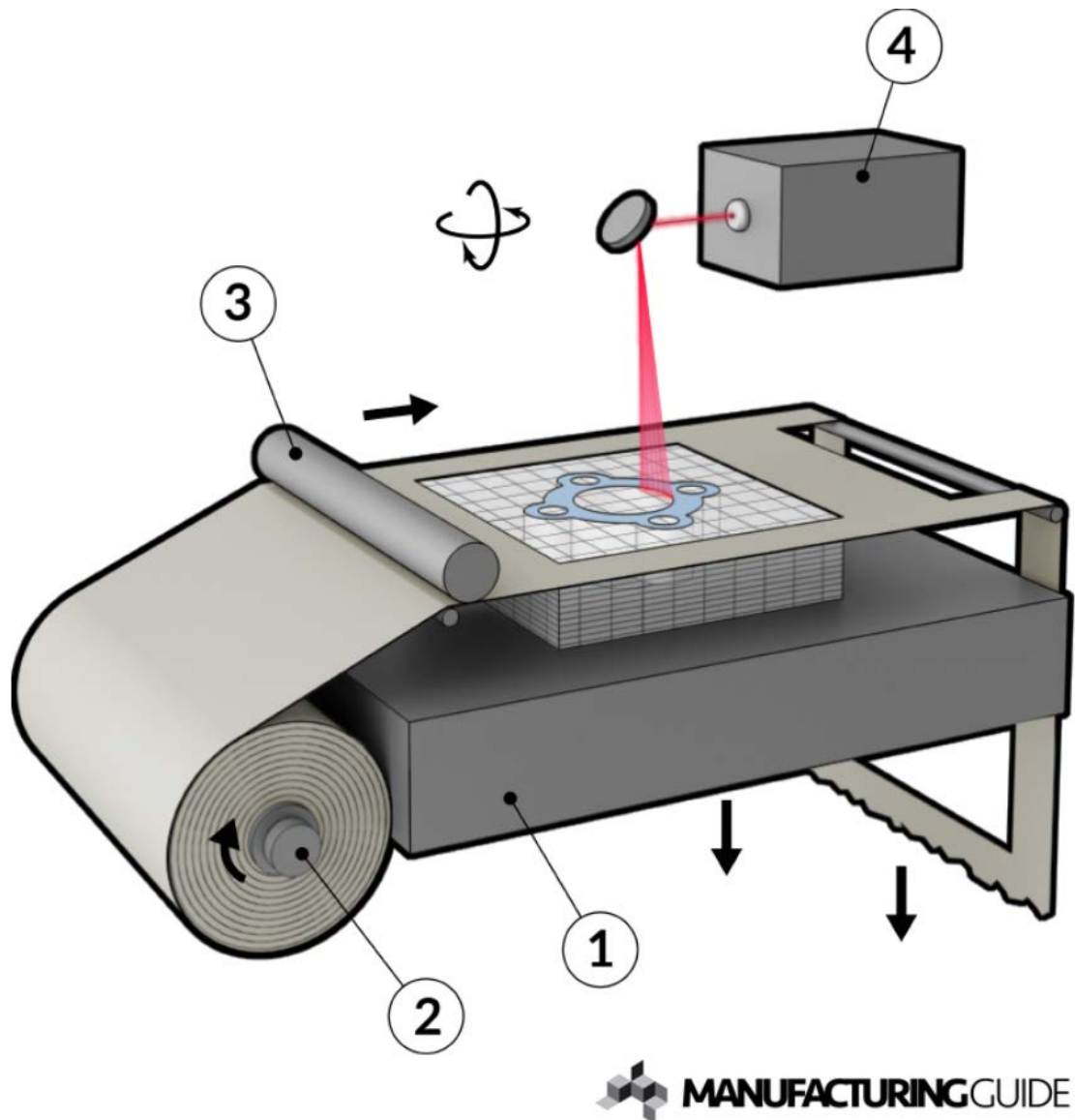
nauhaa alaspäin ja värisee 20kHz taajuudella. UAM-tekniikassa kerrosten liittyminen toisiinsa tapahtuu joko muotosulkeisena, pintojen sulamisena yhteen, diffuusio liitoksena tai atomitason liitoksena paljaiden metallipintojen kostettaessa toisiaan, eli kiinteän tilan metallurgisena liitoksena joka vaatii erittäin puhtaat liitospinnat. Ultraäänihitsauksessa levyjen välinen liitos tapahtuu lähes poikkeuksetta atomitason liitoksena, mutta esimerkiksi tulosteen sisäiset eri materiaalista koostuvat vahvike rakenteet liittyvät usein muotosulkeisesti. Ultraäänihitsauksen jälkeen jokainen kerros, tai joskus useampi kerros kerrallaan CNC-koneistetaan haluttuun muotoon, joten kyseessä on siis Bond-Then-Form-tekniikka. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 228-233; Manufacturing Guide 2015e.)



Kuva 8. Ultraäänihitsaukseen perustuva kerroslaminointi (Manufacturing Guide 2015e)

Kuvassa 9 taas on eräs LOM-tekniikan toteutusmalli, jossa rullalta (2) syötetään materiaali kerros kerrokselta nousevaa rullamekanismia (3) myöten valmistusalustalle (1). Alustalla laser (4) leikkaa materiaaliin halutun kuvion ja joko ennen tai jälkeen leikkauksen, jokin muu mekanismi kiinnittää materiaalilevyn alempaan

levyyn jollakin ylempänä mainituista kiinnitystavoista. (Manufacturing Guide 2015b.)



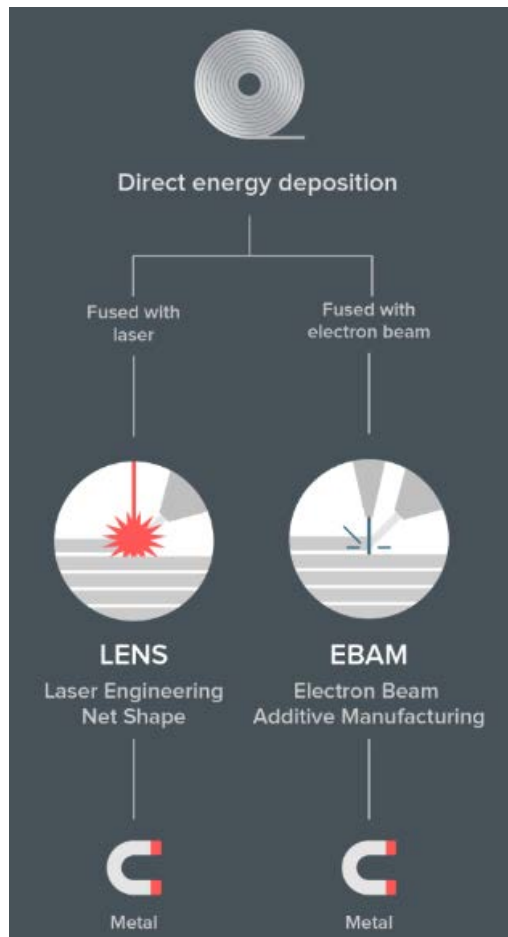
Kuva 9. LOM-tekniikka (Manufacturing Guide 2015b)

3.7 Suorakerrostus

Suorakerrostustekniikat muistuttavat paljon perinteisiä hitsausmenetelmiä. Jauheen tai langan muodossa syötetty tulostusmateriaali tulostetaan ja sulatetaan yhtäaikaaisesti ohueksi nauhaksi, joka muodostaa kappaleen kerros kerrokselta. Suorakerrostusmenetelmät käyttävätkin lähes yksinomaan metalleja tulostusmateriaalina. Suorakerrostustulostimien tulostinpää koostuu yleensä materiaalin

syöttölaitteesta, sulatuslaitteesta (laser- tai elektronisuihku) sekä suojakaasu laitteistosta. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 245-247; 3D Hubs 2017e.)

Suorakerrostustekniikat jakautuvat sulatustavan perusteella kahteen alakategoriaan: Laser engineered net shape (LENS) ja Electron beam additive manufacture (EBAM) (Kuvio 5). Nimiensä mukaisesti, LENS-tekniikka sulattaa materiaalin laserilla ja EBAM elektronisuihkulla. EBAM-tekniikka voi suojakaasun sijasta hyödyntää tyhjiötä, jolloin tekniikka toimiikin tehokkaammin. EBAM-tekniikka on alunperun suunniteltu käytettäväksi avaruudessa. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 245-257; 3D Hubs 2017e.)



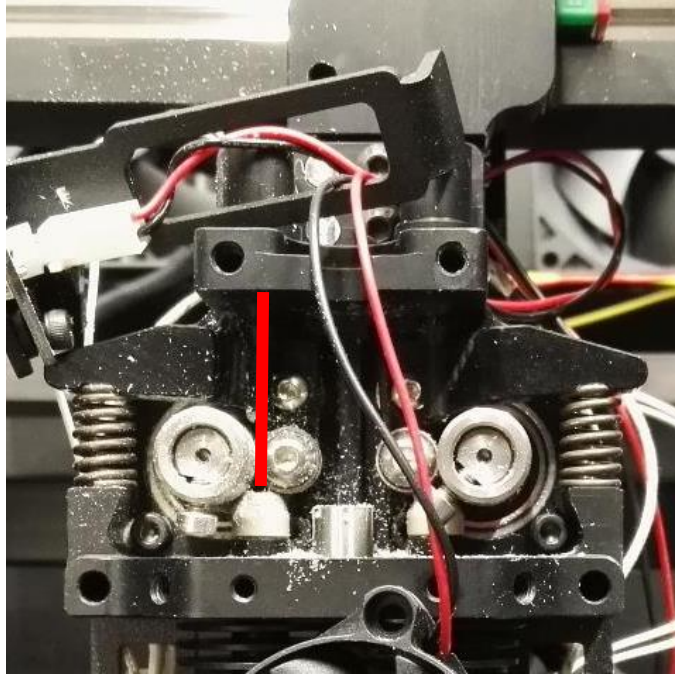
Kuvio 5. Suorakerrostus ja sen alakategoriat (3D Hubs 2017e)

4 FDM-TEKNIikka

Tämä osio käsittelee tekniikkaa, jota Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin tekniikan yksikön 3D-tulostimet käyttävät. Vaikka FDM tarkoittaakin kaikkia pursotusmenetelmiä, tarkoitetaan sillä tässä osiossa nimenomaan filamenttia pursottavaa tekniikkaa, sillä kauppanimikkeenä ja puhekielessä termi FDM on yleistynyt tarkoittamaan juuri tätä. FDM-tekniikan periaatteen kuvaus löytyy kohdasta 3.3, joten tässä kohdassa kerrotaan tarkemmin tekniikan peruseriaatteista, fyysisestä tekniikasta, komponenteista ja koneenelimitystä.

4.1 Tulostusprosessin peruseriaatteet

FDM-prosessi alkaa materiaalin syötöllä. Kelalle kelattu raaka-aine filamentti on yleensä säilötty laitteen ulkopuoliselle akselille. Joissakin malleissa kela voidaan myös pitää suljetussa tilassa laitteen sisässä. Tulostinpään yhteydessä sijaitseva syöttölaite vetää filamenttia kelalta ja puskee sitä lämmitetylle suuttimelle luoden samalla suutinkammioon paineen. Syöttölaite säätelee tätä painetta, jonka tulee olla tasainen, jotta saadaan aikaan tasainen materiaalin pursotus. Syöttölaite on yleensä toteutettu kahdella pyörivällä kartiomaisella osalla, joiden välissä filamentti on puristuksissa. Kuvassa 10 on esimerkki koulun Innovator-laitteen syöttölaitteesta, jossa punainen viiva kuvaa filamenttia. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 149-150.)

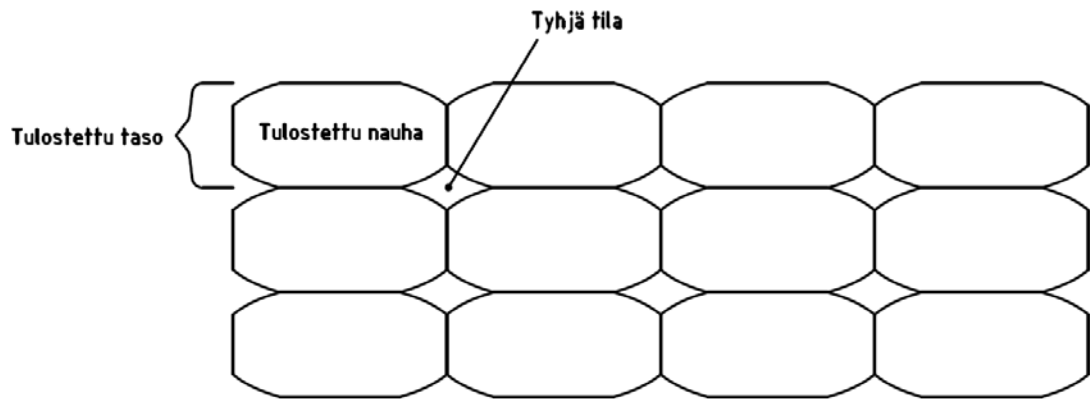


Kuva 10. Filamentin syöttölaite

Suuttimessa raaka-aine sulaa nestemäiseen muotoon. Suuttimen lämpötilan tulee pysyä riittävän korkeana raaka-aineen sulana pitämiseen, muttei kuitenkaan liikaa tämän pisteen yli, sillä muoveilla on taipumus alkaa hajota tai palaa nopeasti liian korkeissa lämpötiloissa. Tästä puolestaan voi seurata muovin tai palaneen muovin tukkeutuminen suuttimeen. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 149-150.)

Suuttimesta tulee ulos ohut pyöreä nauha sulaa raaka-ainetta, joka tarttuu joko alla olevaan valmistustasoon, tai alapuolella sekä sivuilla oleviin edellisiin tulostettuihin nauhoihin. Jotta nauha tarttuu jo tulostettuihin nauhoihin, on tulostettavan nauhan lämpötilan oltava juuri oikea. Lämpötilan on kyettävä sulattamaan edellinen nauha, muttei kuitenkaan sulattamaan sitä niin paljoa, että se lähtee valumaan. Lämpötila ei myöskään saa olla liian alhainen, koska tällöin nauhat eivät tartu toisiinsa riittävän hyvin. Suutin painaa nauhaa alla olevaan tasoon, jolloin nauhasta tulee ovaalin muotoinen. Pyöreästä muodosta johtuen, FDM-tekniikalla ei voi valmistaa täysin kiinteitä objekteja. Tästä muodosta johtuen myöskään objektin pinta ei voi koskaan olla täysin sileä. Kuvassa 11 nähdään, kuinka nauhojen väliin jää pakostakin aina jonkin verran tyhjää tilaa. Tämä tyhjä tila heikentää rakennetta. Lisäksi nauhojen liitoskohdat ovat yleensä hieman heikompiä itse materiaaliin verrattuna. Sekä nauhojen liitoskohdat että tyhjät tilat

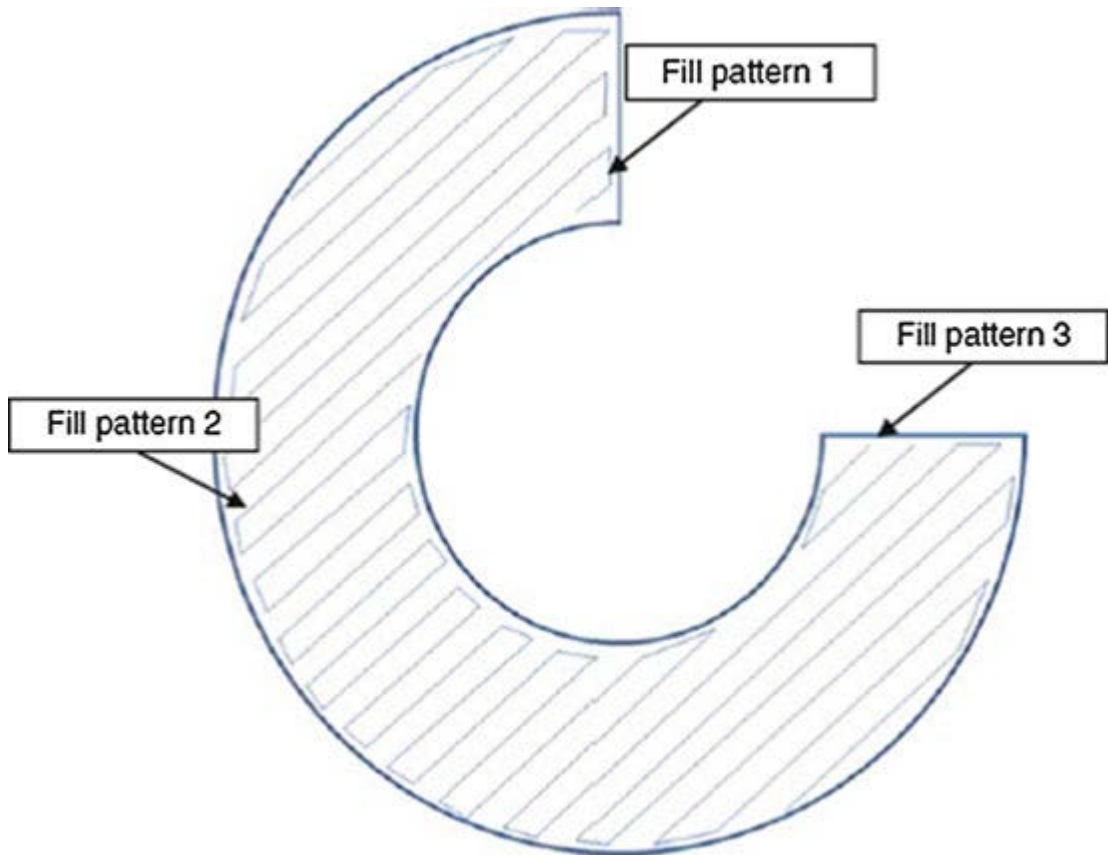
ovat samassa tasossa keskenään tulostustason suunnassa, eli vaakatasossa. Tästä johtuen FDM-tekniikalla valmistetut objektit kestävät yleensä huomattavasti vähemmän tulostustasoon nähden kohtisuoria voimia kuin vaakasuoria ja varsinkin nauhojen suuntaisia voimia. Suunnitteluvaiheessa onkin hyvä pyrkiä suunnittelemaan objektin asento ja muodot siten, että kriittisimmissä kohdissa voimat suuntautuvat tulostettujen nauhojen suuntaisiksi. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 149-150; 3D Hubs 2017h.)



Kuva 11. Tyhjä tila tulostettujen nauhojen välissä

Yleensä 3D-tulostus ohjautuu kolmen koordinaattiakselin, X (sivuttaissuunta), Y (syvyysuunta) ja Z (pystysuunta) perusteella. Akselien suunnat on standardoitu standardissa SFS-EN ISO 52900 ja pätevät ellei laitevalmistaja muuta mainitse. Akselien suuntaisen liikkeen toteuttaa yleensä askelmoottori ja kuularuuvi tai hammashihna, joita ohjaa objektin CAD-mallin perusteella tehty G-koodi. G-koodi muodostaa polun, jota tulostinpää seuraa. Kuvassa 12 nähdään, kuinka yleensä polku muodostaa erilliset suorat ulkoreunat (3) ja eri tavalla levitetyn kappaleen sisäosan (2, 3). Itse liikkuvina komponentteina voi toimia joko tulostinpää tai valmistusalusta. Yleensä tämä toteutettu siten, että tulostinpää liikkuu X- ja Y-akselien suunnassa ja valmistustaso Z-akselin suunnassa. Toinen yleinen tapa on päinvastainen, jossa valmistustaso liikkuu X- ja Y-akselien suunnassa ja tulostinpää Z-akselin suunnassa. Liikkuvilla komponenteilla on massa ja näin ollen niiden liike edellyttää kiihdytystä. Liikkeen suunnan muutos edellyttää hidastusta ja sen jälkeistä kiihdytystä. Raaka-aineen syöttömekanismin on toimittava yhteistyössä liikkuvien komponenttien kanssa siten, että tulostettu materiaali pysyy

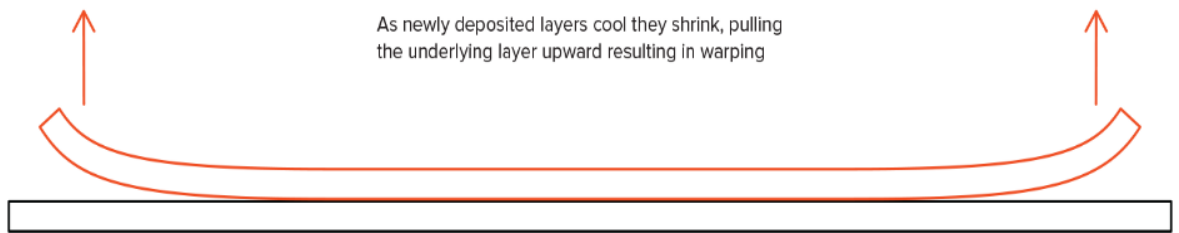
aina tasapaksuisena ja -laatusena. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 154-156; 3D Hubs 2017h.)



Kuva 12. G-koodin ohjaamat pursotus "polut". (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 155.)

Pursotuksen jälkeen materiaali jäähtyy ja kovettuu. Jäähtymistä voidaan nopeuttaa ja kontrolloida tuulettimien avulla. Jäähtyminen ei aina kuitenkaan ole tasaista, vaan siihen voivat vaikuttaa esimerkiksi ulkopuoliset ilmavirtaukset ja tulostinpään liike jäähtyvän kohdan yli. Epätasaisella jäähtymisellä on yleensä materiaalista riippuvia negatiivisia vaikutuksia. Jäähtyessään kaikki materiaalit myös kutistuvat. PLA-materiaaleilla tämä ei yleensä ole ongelma, mutta esimerkiksi ABS-muovi kutistuu huomattavasti enemmän ja aiheuttaa erilaisia ongelmia. Yksi ongelmista on irtoaminen valmistusalustasta, eli niin sanottu "warppaus". Kuvassa 13, pitkä yhtenäinen kappale pyrkii jäähtyessään kutistumaan huomattavasti pituussuunnassa. Kappale on kuitenkin kiinni valmistusalustassa, eikä pääse kutistumaan, joten kappaleeseen syntyy jännitystä. Joskus jännitys jää liian pieneksi aiheuttaakseen ongelmia, kun taas joskus jännitys on liian korkea

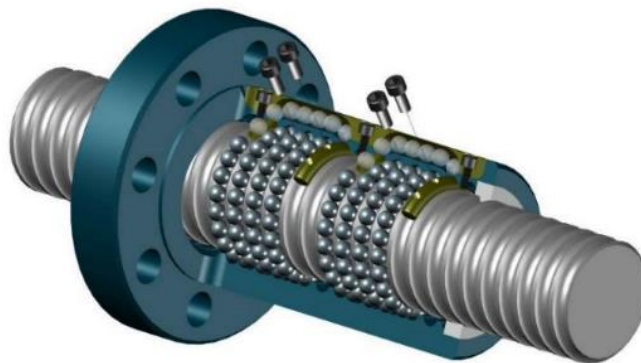
ja kappaleen reunat irtoavat valmistusalustasta. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, 153-154; 3D Hubs 2017h.)



Kuva 13. Kappaleen irtoaminen alustasta. (3D Hubs 2017h.)

4.2 Kuularuuvit ja johteet

Kuularuuvi on koneenelin, joka muuttaa pyörivän liikkeen lineaariseksi liikkeeksi. Kuularuuvi toimii pitkälti kuten tavallinen ruuvi-mutteri-mekanismi. Ruuvi-mutterimekanismissa osat liukuvat toisiaan vasten, kun taas kuularuuvissa liukuvien pintojen välissä on kuulia, jotka muuttavat liukumisen vierimiseksi. Kuularuuvimekanismissa kuulat kiertävät ruuvin uria pitkin tietyn kierrosmäärän, kunnes palaavat mutterissa tai sen ulkopuolella olevaa putkea pitkin aloituspisteeseen. Kuvassa 14 on kuularuuvimekanismin rakenneperiaate, jossa kuulat kiertävät neljä kierrosta ruuvin ympäri ja palaavat mutterin sisäistä putkea pitkin takaisin. Muita rakenneperiaatteita ovat periaate, jossa kuulat palautetaan mutterin ulkopuolista putkea pitkin sekä periaate, jossa kuulat kiertävät vain yhden kierroksen ruuvin ympäri. (Airilia ym. 1987, 304-307.)



Kuva 14. Kuularuuvi (Barnes Industries 2017.)

Johteiden tarkoitus on sallia vain yhden suuntainen liike. Johteet voidaan toteuttaa ruuvimekanismin tapaan joko liukuliikkeenä tai vierintäliikkeenä. Liukuliikkeessä kaksi tai useampi tasopintaparia liukuu toisiaan vasten sallien vain yhden akselin suuntaisen liikkeen. Vierintäliikkeessä näiden pintojen välissä on kuulia tai rullia. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät 3D-tulostimet käyttävät HIWIN-merkkisiä matalaprofiilisia kuulilla toimivia vierintäjohteita, jollainen nähdään kuvassa 15. (Airilia ym. 1987, 286-298.)



Kuva 15. HIWIN EG-mallin matalaprofiilinen kuulilla vierintälaakeroitu lineaarijohde (Hiwin 2017)

Sekä kuularuuveissa että johteissa syntyy käytön aikana liukuvien tai vierivien komponenttien, komponenteista irronneiden hiukkasten sekä muiden mekanismin päässeiden hiukkasten kosketuksia, mikä aiheuttaa kitkaa ja kuluttaa mekanismin osia. Tätä kutsutaan abrasiiviseksi kulumiseksi, mikä on adhesiivisen kulumisen ohella yleisin kulumisen muoto voidelluissa mekanismeissa. Adhesiivisessä kulumisessa materiaalien pinnankarheushuiput liittyvät toisiinsa ja leikkautuvat liittymisen ja ulkoisten voimien seurauksesta muualta, kuin liitoskohdasta. Voitelu on huoltotoimenpide, jolla ylläpidetään öljy- tai rasvakerrosta komponenttien välissä, mikä vähentää näitä kulumisen muotoja ja pidentää mekanismien elinikää. Voitelun muita tärkeitä tarkoituksia on estää korroosiota, kuljettaa epäpuhtaudet pois ja myös estää niiden pääsy mekanismiin. Kuularuuvi- ja johteiden toinen tärkeä huoltotoimenpide on puhtaanapito, sillä lika ja irtoroska voivat jäädä jumiin mekanismiin ja aiheuttaa sille ylimääräisiä rasituksia ja sitä kautta lisätä kuluttavaa kitkaa. Siksi onkin tärkeää, että voitelun yhteydessä tarkistetaan

ja tarvittaessa poistetaan vanha likainen rasva tai öljy. (Antila ym. 2006, 12, 16-19, 114-116; Barnes Industries 2017.)

4.3 Syöttölaite

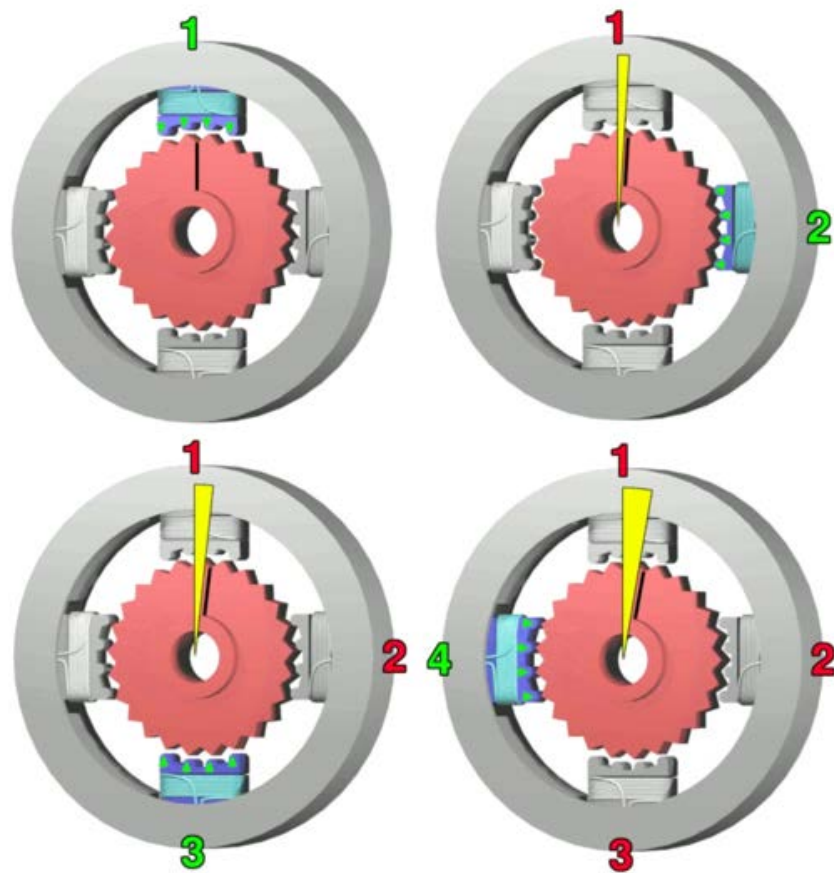
Kuten kohdassa 4.1 todetaan, FDM-tekniikassa filamentin syöttö toteutetaan vetämällä filamenttia kahden rullan välissä. Toinen rullista on yleensä uritettu varmemman syötön aikaan saamiseksi ja toinen rulla on jousikuormitettu rulla joka painaa filamenttia vasten uritettua rullaa. Rullia kutsutaan syöttölaitteen kylmäksi pääksi. Rullat syöttävät filamenttia niin sanottuun syöttölaitteen kuumaan päähän, jossa sijaitsee lämmitetty suutin, joka sulattaa filamentin ja kaventaa sen haluttuun halkaisijaan. Syöttölaitteet jaetaan kahteen kategoriaan sen perusteella, ovatko kuuma ja kylmä pää erillään vai peräjälkeen. Kuvassa 16 on esimerkki syöttölaite jossa kuuma ja kylmä pää ovat peräkkäin, kuuma pää alhaalla ja kylmä pää ylhäällä. Kuuman ja kylmän pään välillä on monesti myös kuvassa näkyvä jäähdytyslementti joka estää lämmön johtumisen kylmään päähän. (3D Printer Power 2017a; 3D Printer Power 2017b.)



Kuva 16. Syöttölaite (3D Printer Power 2017a)

4.4 Askelmoottori ja servomoottori

Askelmoottori on sähkömoottori, joka pyörii tarkasti askelittain haluttuun suuntaan ja asentoon. Moottorin sisällä on rinkiin aseteltuja käämejä jotka tietyssä eri aikaan peräkkäin aktivoituna pyörittävät moottoria. Käämien aktivointia ohjaamalla moottorin liike on hyvin kontrolloitua ja tarkkaa. Kuvassa 17 on poikkileikkaus askelmoottorista, jossa neljä käämiä aktivoituu peräjälkeen ja pyörittää moottoria tietyn astemäärän kerrallaan. Keltainen kolmio kuvaa tapahtuvaa liikettä. (3D Printer Power 2017a; Earl 2015.)

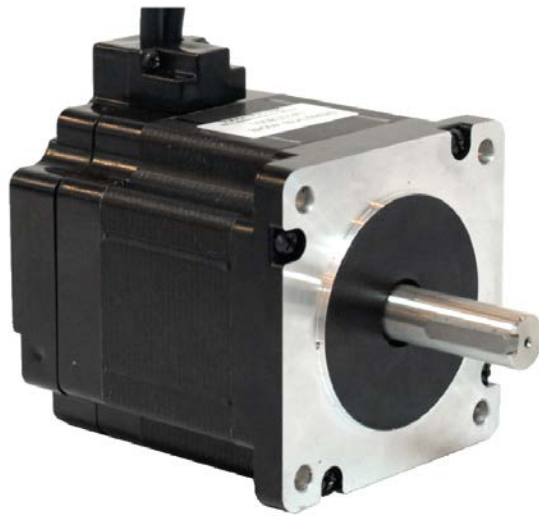


Kuva 17. Askelmoottorin periaate (Earl 2015)

Askelmoottorien isoin ero normaaleihin sähkömoottoreihin nähden on kyky määrätä mihin asentoon moottori pysähtyy. Etuja ovat nopeuden säätö ja erityisesti hyvä vääntömomentti matalilla kierrosnopeuksilla. Korkeilla nopeuksilla vääntömomentti taas on huonompi kuin muilla sähkömoottoreilla. Muita huonoja puolia ovat alhainen hyötysuhde sekä asemoinnin varmistuksen puute. (Earl 2015.)

Servomootorit korjaavat edellisessä kappaleessa mainitun asemoinnin varmistuksen puutteen lisäämällä moottoriin asema-anturin tai muun mekanismin jolla saadaan takaisinkytkentä moottorin ohjauspiiriin. Takaisinkytkennän avulla ohjauspiiri saa tiedon moottorin asennosta ja voi virhetilanteessa korjata aseman. (Hanhisalo 2008.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät laitteet käyttävät X- ja Y-akselien suuntaiseen ohjaukseen Leadshine ES-M32309 servomootoreita (Kuva 18).



Kuva 18. Leadshine ES-M32309 servomoottori (Leadshine 2017)

Z-akselin suuntaista liikettä ohjaa LDO Motors LDO-42STH60-1204A hybridiaskelmoottori (Kuva 19).



Kuva 19. LDO Motors LDO-42STH60-1204A hybridiaskelmoottori (LDO Motors 2017)

5 TEKNIIKAN YKSIKÖN 3D-TULOSTUSYMPÄRISTÖ

Lapin Ammattikorkeakoulun Kemin tekniikan yksikön 3D-tulostusympäristö löytyy tällä hetkellä koulun yläkerran luokasta Beta 2045. Luokasta löytyy tulostinten lisäksi tulostaessa ja jälkikäsitellessä tarvittavia työkaluja, tulostusmateriaaleja, ohjeita, infotauluja ja tämän opinnäytetyön myötä myös huolto-ohjeet ja huolto-suunnitelma.

5.1 Laitteet, niiden käyttö ja toiminta

3D-tulostusympäristöstä löytyvät 3D-tulostimet ovat kaikki MiniFactoryn valmistamia. Laitteita on tällä hetkellä kuvassa 20 näkyvät kuusi kappaletta: kaksi Innovator L -mallia (oikea) ja neljä Education 3 -mallia (vasen). Education 3 -malleista kahdessa on kaksi suutinta ja kahdessa yksi suutin. Innovator-malleissa on kote-loitu tulostustila, mikä takaa tasaisemman tulostuslämpötilan ja kontrolloidut ilmavirrat, mitkä johtavat yleensä laadullisesti parempaan tulostukseen. Innovator -malleissa on lisäksi poistoilman suodatus, mikä tekee myrkkyykaasuja tuottavien materiaalien, kuten ABS-muovin ja Nylonin tulostamisesta turvallisempaa.



Kuva 20. Tulostimet

Toimiakseen Educator 3 -mallit vaativat kiinteän kaapeliyhteyden tietokoneeseen jossa on viipalointiohjelma Repetier Hostin näitä tulostimia varten räätälöity versio. Innovator -mallit puolestaan toimivat joko kaapeliyhteydellä tai USB-tikulle tallennetun G-koodin avulla. Laitteita on myös mahdollista ohjata etähallinnalla,

mutta etähallintasysteemi on ollut vasta kokeiluasteella. Educator 3 -malleja käytetään tietokoneen avulla, kun taas Innovator -mallista löytyy integroitu ohjauspaneeli (Kuva 21). Pyörittämällä ohjausnappia siirrytään näytöllä haluttuun kohtaan ja painamalla ohjausnappia siirrytään valittuun toimintoon ja valikkoon.



Kuva 21. Innovator ohjauspaneeli

Tarkat ohjeet laitteiden ja ohjelmien asennuksista, asetuksista ja käytöstä löytyy MiniFactoryn kampuksen asennuspaketeista, joten tässä opinnäytetyössä ei niitä aleta tarkemmin purkamaan (MiniFactory 2017b).

5.2 Laitteiden turvallisuus

3D-tulostimien turvallisuuteen liittyviä seikkoja ovat laitteiden mekaaninen turvallisuus, sähköturvallisuus, materiaalien haitallisuus sekä palovammat. Mekaaninen turvallisuus on pitkälti kiinni laiteenkäyttäjistä. Laitteissa on liikkuvia toimilaitteita, jotka voivat aiheuttaa litistymiä tai haavoja, jos niitä esimerkiksi käsittelee paljain käsin niiden toimiessa. Esimerkiksi laitteita huoltaessa kannattaa toimilaitteiden liikutus tehdä itse ja pitää kädet pois laitteen sisältä, mikäli mahdollista. Laitteen itsensä turvallisuuden kannalta on tärkeää varoa käytön ja huollon aikana herkkiä komponentteja kuten johtoja, rajakatkaisijoita ja letkuja. Esimerkiksi Innovator-mallissa on erittäin helppo asentaa syöttöletkut väärin, siten että ne

jäävät puristuksiin ja pahimmassa tapauksessa puristavat samalla esimerkiksi rajakatkaisijaa.

Yksi sähköturvallisuuden tae on se, että kaikki sähkökomponentit ovat CE-merkittyjä. Koulun laitteissa kaikki sähkökomponentit ovat CE-merkittyjä. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, herkkiä komponentteja, kuten johtoja tulee varoa. Erityisesti laitteiden pienimmät johdot saa helposti huomaamattaan litistykseen laitteita huoltaessa. Vaikka sähköturvallisuus on päällisin puolin kunnossa, on Innovator-mallilla tapana antaa pieniä sähköiskuja käytön aikana, jos laitteeseen koskee. Sähköiskut ovat vaarattomia käyttäjälle, mutta esimerkkinä tämän opinnäytetyön tekijä on rikkonut laitteen näytön koskiessaan siihen samalla kun sai sähköiskun.

Laitteilla tulostettaessa sulatetaan muovia. Joskus muovi myös palaa suuttimessa. Muovin sulaminen ja palaminen vapauttavat aina ilmaan erinäisiä kaasuja joita pidetään myrkyllisinä. Kaupallisten 3D-tulostimien hiukkaspäästöistä löytyy tutkimus, joka mittaa ja vertailee laitteiden pienhiukkaspäästöjä sisätiloissa toisiinsa sekä muihin sisätiloissa tapahtuviin aktiviteetteihin, joiden tiedetään aiheuttavan hiukkaspäästöjä. Lisäksi Työterveyslaitos on tehnyt tutkimuksen 3D-tulostuslaitteiden hiukkaspäästöistä, jossa se toteaa tulostimen koteloinnin ja poistoilman suodatuksen erittäin tehokkaaksi keinoksi hiukkaspäästöjen vähentämiseksi. Koulun laitteita käytettäessä on hyvä pitää periaatteena, että tulostustapahtuman aikana, varsinkin Educator-malleja tai muuta kuin PLA:ta käytettäessä, pyritään olemaan poissa tulostustiloista. (Stephens, Azimi, El Orch, Ramos 2013; Viitanen ym. 2016.)

Laitteiden suutinpäät ovat käytön ja usein huollonkin aikana yli 200°C-asteisia ja aiheuttavat palovammoja jo lyhyestäkin kosketuksesta. Suuttimia tai niiden lähi-alueita käsitellessä täytyy olla varovainen ja käsitellä suuttimia ja vastuskiekkoja aina lähtökohtaisesti pihdeillä.

5.3 Tulostettavat materiaalit

Koulun 3D-tulostusympäristössä ovat käytössä seuraavat tulostusmateriaalit: PLA, ABS, Nylon, PC, Polywood ja Polysupport. Tässä osassa käsitellään yleistä

perustietoa materiaaleista. Liitteessä 1 on koottu yhteenveto näistä materiaaleista, niiden käytöstä ja ominaisuuksista.

PLA, eli polylaktidi, on biohajoava yleensä maissitärkkelyksestä valmistettu muovi. PLA-muovin tulostuslämpötila on alhainen 180-220°C:tta, eikä se juuri kutistu jäähtyessään. Hyvä valmistusalustan lämpötila PLA-muoville on noin 50-70°C:tta, mutta alustaa ei ole välttämätöntä lämmittää. PLA-muovilla on erittäin hyvä kerrosten välinen adheesio, mikä tekee siitä lujan ja isotrooppisemman kuin muut materiaalit, mutta samalla PLA on myös hyvin hauras materiaali eikä kestä juurikaan iskuja. PLA ei myöskään kestä yli 60°C:een lämpötiloja, vaan alkaa tätä korkeammassa lämpötiloissa pehmetä ja muuttaa muotoaan. PLA ei synnytä myrkyllisiä kaasuja tulostettaessa. Yhteenvetona PLA on erittäin helppokäyttöinen ja näyttävä materiaali, mutta sen huono iskunkestävyys ja lämpötilan kestävyys tulee usein käytön esteeksi. (3D Hubs 2017f; 3D Printing 2017, MiniFactory 2017b.)

ABS, eli akryylinitriilibutadienistyreeni, on hyvät iskunkestävyys- ja lämmönkestävyysominaisuudet omaava muovi. ABS tulostetaan 220-250°C:een lämpötilassa 50-110°C:een valmistusalustalle. ABS-muovilla on hieman PLA-muovia heikompi kerrosten välinen adheesio, sekä kutistuu erittäin paljon jäähtyessään. Nämä tekevät ABS-muovin tulostamisesta hieman haastava, sillä ABS-muovilla on kutistumisen seurauksena taipumus irrota valmistusalustasta ja käyristyä. Toisin kuin PLA, ABS ei ole biohajoavaa ja on myös myrkyllistä sekä synnyttää myrkyllisiä kaasuja korkeissa lämpötiloissa. ABS-muovin uniikki ominaisuus on liukoisuus asetoniin. Asetonilla voi käsitellä ABS-tulosteiden pinnasta kiiltävän ja tasaisen. Kohdassa 6.4.2 ja 6.4.4 on esimerkit asetonin käytöstä ABS-muovin kanssa. (3D Hubs 2017f; 3D Printing 2017, MiniFactory 2017b.)

Nylon on sitkeä ja luja muovi joka omaa hyvän kulumisen kestävyuden lisäksi hyvän kemiallisen kestävyuden sekä yleensä alhaisen kitkakertoimen pintojen välissä. Nylon tulostetaan 220-280°C:een lämpötilassa. Nylonia tulostettaessa ei välttämättä tarvitse lämmitettyä valmistusalustaa, mutta joillekin nyloneille suositellaan 30-65°C:een alustan lämpötiloja. Nylon on joustava materiaali, mikä tekee siitä iskunkestävän mutta samalla hankalan tulostaa. Joustavuuden takia suutin-kammion paine voi tulostettaessa purkautua viiveellä ja nylonia voi purkautua

suuttimesta silloinkin, kun niin ei tarvitsisi. Nylon myös kutistuu jäähtyessään jonkin verran ja pyrkii monesti ABS-muovin tapaan irtoamaan alustasta. Nylon myös tarttuu huonosti muihin materiaaleihin, joten nylonia varten kehitetty valmistusalusta helpottaa tulostusta. Nylonin huono puoli on sen herkkyys kosteudelle sekä myrkkukaasut tulostettaessa. Nylon tuleekin kuivattaa ennen käyttöä tai säilöä esimerkiksi kosteuden poisto pussien kanssa. (3D Hubs 2017f; 3D Printing 2017, MiniFactory 2017b.)

PC, eli polykarbonaatti, on ABS-muovin kaltainen mutta lujempi ja korkeampaa lämpötilaa kestävä muovi. PC vaatii korkean 260-300°C:een tulostuslämpötilan sekä noin 90-130°C:een valmistusalustan. PC:llä on ABS-muovin tapaan suu-rehko kutistuminen jäähtyessään, mikä tekee siitä haastavan tulostaa. ABS-muovin ja nylonin tapaan, PC synnyttää myös myrkyllisiä kaasuja tulostettaessa. (3D Hubs 2017f; 3D Printing 2017, MiniFactory 2017b.) Käyttötestien perusteella PC on hieman ABS-muovia helpompi tulostaa. Vaikka PC pyrkii irtoamaan valmistusalustasta lähes aina, toimii levennetty tarttumisalusta (brim) sillä paljon paremmin kuin ABS-muovilla.

PolyWood PLA on Polymaker-yhtiön PLA-filamentti, jossa ei ole synteettisiä tai oikeita puukuituja kuten useissa puuta matkivissa tulostusmateriaaleissa. Kuitujen sijaan PolyWood on vaahtomainen materiaali, joka matkii puuta rakenteellaan ja muistuttaakin tulostettaessa hyvin paljon ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan puuta. PolyWood ei myöskään tuki suutinta yhtä herkästi kuin kuituja sisältävät filamentit. PolyWood-muovin suositeltu tulostuslämpötila on 200-235°C:tta. (Polymaker 2017.) Käyttötestien perusteella PolyWood on lähes samanlaista tulostaa kuin PLA ja saa aikaan kauniin ja tasaisen laadun. Materiaalina, ainakin filamenttina, PolyWood on kuitenkin paljon hauraampaa.

PolySupport on Polymaker-yhtiön tulostusmateriaali, joka on suunniteltu PLA-tulosteiden tukirakenteiden tulostamiseen. PolySupportin käyttöä varten tarvitaan tulostin, jossa on kaksi suutinta. PolySupport tulostetaan 230-235°C:een lämpötilassa 50-60°C:een valmistusalustalle. (MiniFactory 2017b)

5.4 CASE-esimerkit

Tässä osiossa on esitelty opinnäytetyön tekijän 3D-tulostusprojekteja ideasta tai tarpeesta lopulliseen tuotteeseen asti. Projektit on toteutettu koulun MiniFactory Innovator-laitteella.

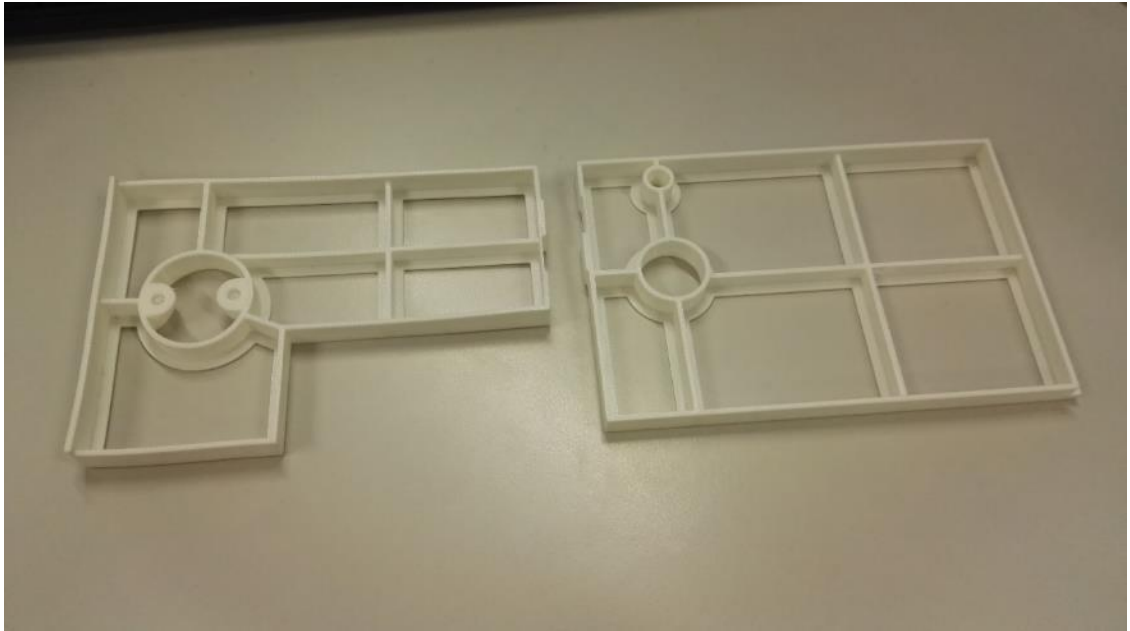
5.4.1 Pesukoneen etupaneeli

Tämä projekti liittyy opintojaksoon 3K7246 Projekti: Koneensuunnittelu 2. Kursilla jokainen oppilas työsti suunnitteluprojektia jollekin asiakkaalle. Isompi projekti saatiin päätökseen ennen opintojakson loppua, joten loppuajaksi tarvittiin jokin lyhyt projekti. Lapin Ammattikorkeakoulun sähkötekniikan yksiköltä saatiin pyyntö suunnitella ja valmistaa lisäävän valmistuksen menetelmin testipesukoneeseen uusi etupaneelin osa rikkoutuneen tilalle. Projekti onnistui hyvin ja kuvassa 22 on valmis tuote paikalleen asennettuna.



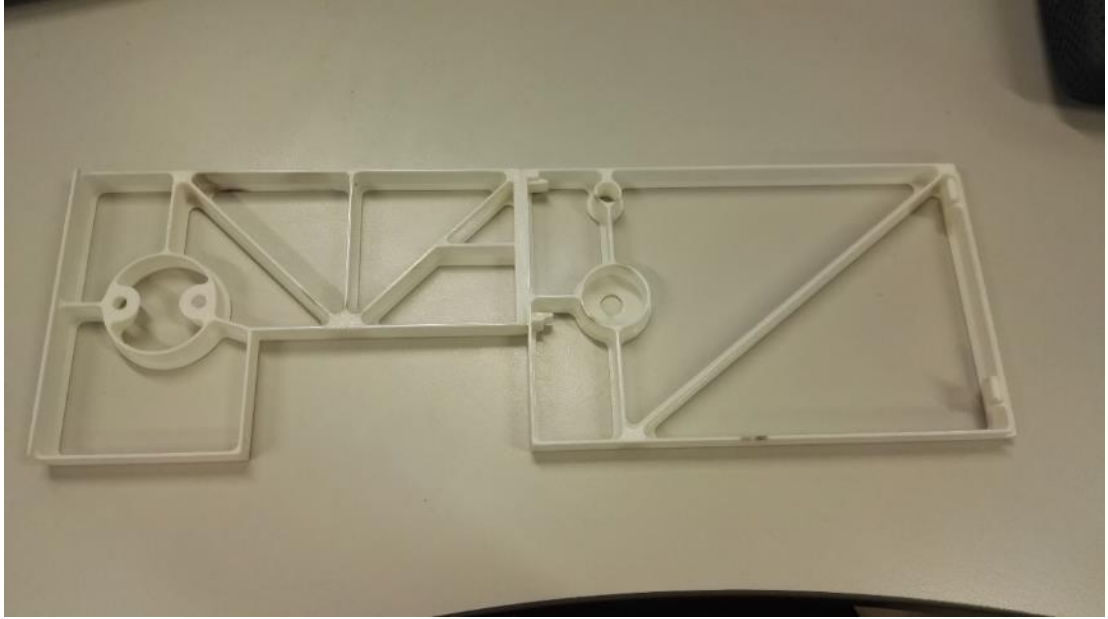
Kuva 22. Pesukoneen etupaneeli

Projekti lähti käyntiin mitoitustyöllä. Ensimmäinen ongelma oli, ettei paneeli tule mahtumaan kokonaisena tulostimeen, joten se täytyi jakaa kahtia. Ensimmäisessä versiossa (Kuva 23) ajatuksena oli kohdistaa kaksi paneelin puoliskoa muotosulkeisesti viisteillä ja liimata puoliskot yhteen. Ajan ja materiaalin säästämiseksi ei tulostettu ollenkaan etupuolen pintaa, vaan pelkästään reunat, tarvittavat reiät ja tukirakenteet näille.



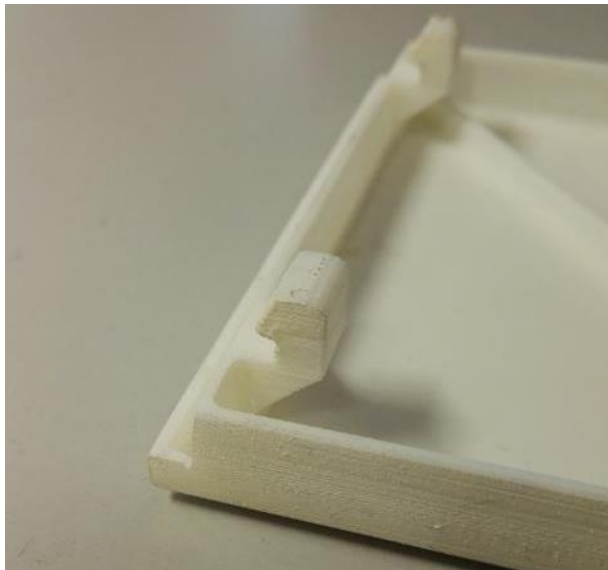
Kuva 23. Versio 1

Ensimmäisessä versiossa käytettiin seinämänpaksuutta 2 mm. Tämä todettiin turhan jäykäksi prototyyppejä varten, joten toista versiota (Kuva 24) varten muutettiin seinämät 1 mm:n paksuisiksi, jolloin tulostusaika lähes puolittuisi. Reiät ja ääriimitat eivät ensimmäisessä versiossa olleet riittävän tarkasti kohdallaan, joten ne paikoitettiin toiseen versioon paremmin. Muotosulkeinen paikoitus ja liimaus olivat sinänsä toimiva ratkaisu puoliskojen yhteen liittämiseen, mutta päätettiin kuitenkin kokeilla voiko 3D-tulostamalla käyttää muita kiinnitysmenetelmiä. Ruuviliitos kävi ensin mielessä, mutta päädyttiin kuitenkin kokeilemaan kynsiliitosta 3D Hubs sivuston artikkelia aiheesta mukailien (3D Hubs 2017g).



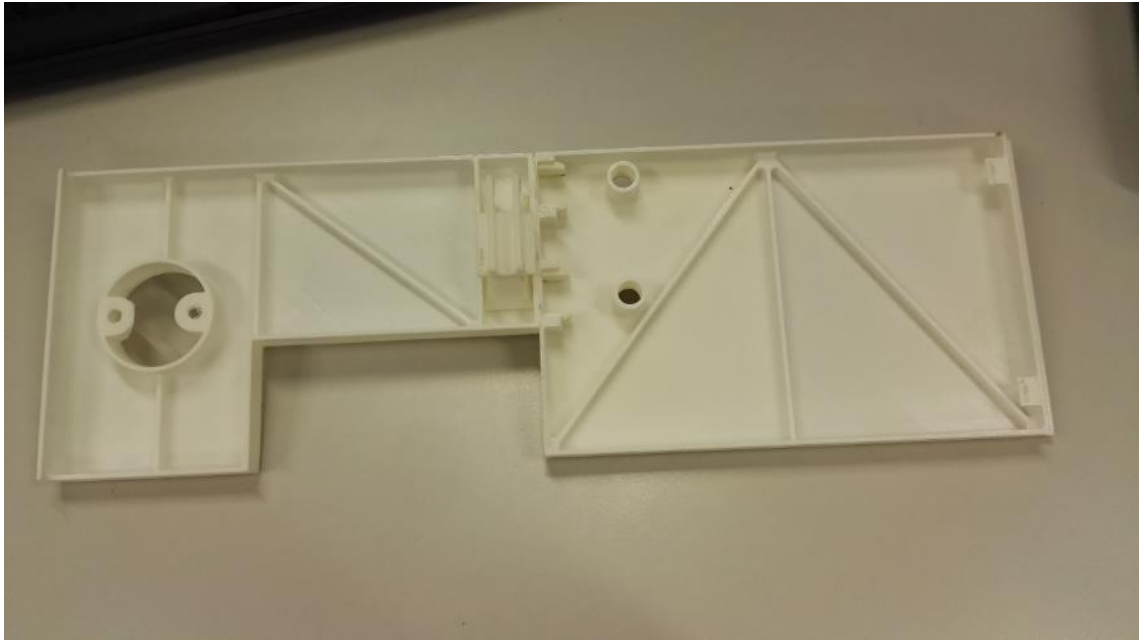
Kuva 24. Versio 2

Toiseen versioon suunniteltiin myös kaksi koukkuja (Kuva 25), jotka tarttuvat ole-massa olevaan muovirunkoon pesukoneessa.



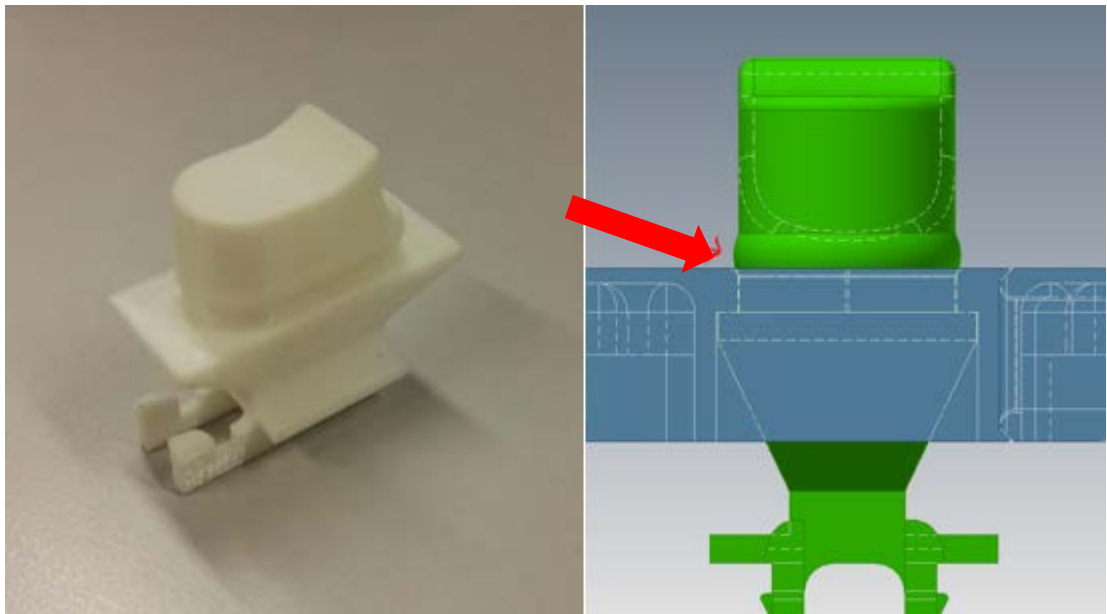
Kuva 25. Kiinnityskoukut

Kolmanteen versioon (Kuva 26) lisättiin liitoskohtaan kaksi kynsiliitosta vahvista-maan liitosta. Paneeli alkoi olla jo niin lähellä sopivaa versiota, että kolmanteen versioon tulostettiin mukaan etupuolen pinta. Lisäksi suunniteltiin mukaan avaus-painike ja sen kiinnittymismekanismi.



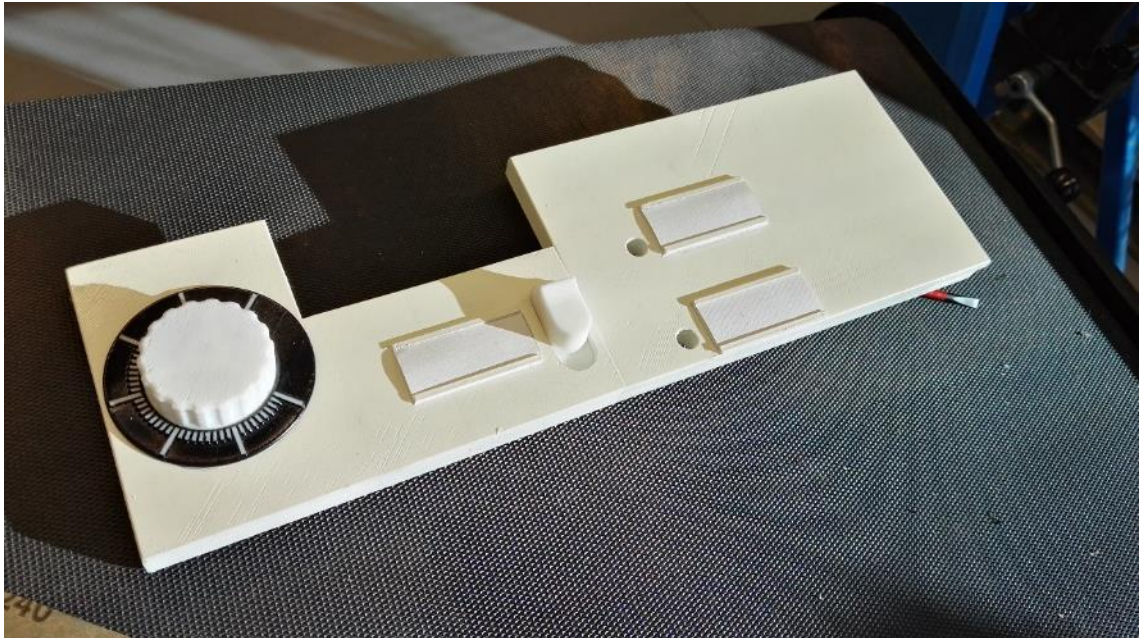
Kuva 26. Versio 3

Avauspainike vaati kolme prototyyppiä ennen toimivaa versiota. Tämä johtui lähinnä tavasta, jolla painike kiinnittyy pesukoneen avausmekanismiin ja siitä, että myös avauspainike kiinnittyy eräänlaisella kynsiliitoksella paneeliin. Kuvassa 27 on vasemmalla viimeisin versio avauspainikkeesta ja oikealla CAD-mallista otettu kuva jossa osoitettuna rengas painikkeen ympärillä, joka pitää painikkeen paikallaan, mutta sallii yhdensuuntaisen liikkeen.



Kuva 27. Avauspainike (vasen) ja avauspainikkeen kynsiliitos (oikea)

Kuvan 28 viimeiseen versioon tulostettiin lisänä termostaatin säätönuppi, termostaatin mitta-asteikko ja nimikyltit napeille sekä valoille. Viimeinen versio on myös pintakäsitelty spraymaaleilla ja -lakalla.



Kuva 28. Valmis pesukoneen etupaneeli

5.4.2 Kynäteline

Tämä projekti liittyy niin ikään opintojaksoon. 3D-CAD Jatko 2-opintojaksolla piti suunnitella jokin FDM-tekniikalla valmistettava tarve-esine omaan käyttöön, DFAM periaatteita mukaillen. Aiheeksi valittiin kynäteline, koska sellaiselle oli tarvetta. Kuvassa 29 on valmis projekti.



Kuva 29. 3D-tulostettu kynäteline

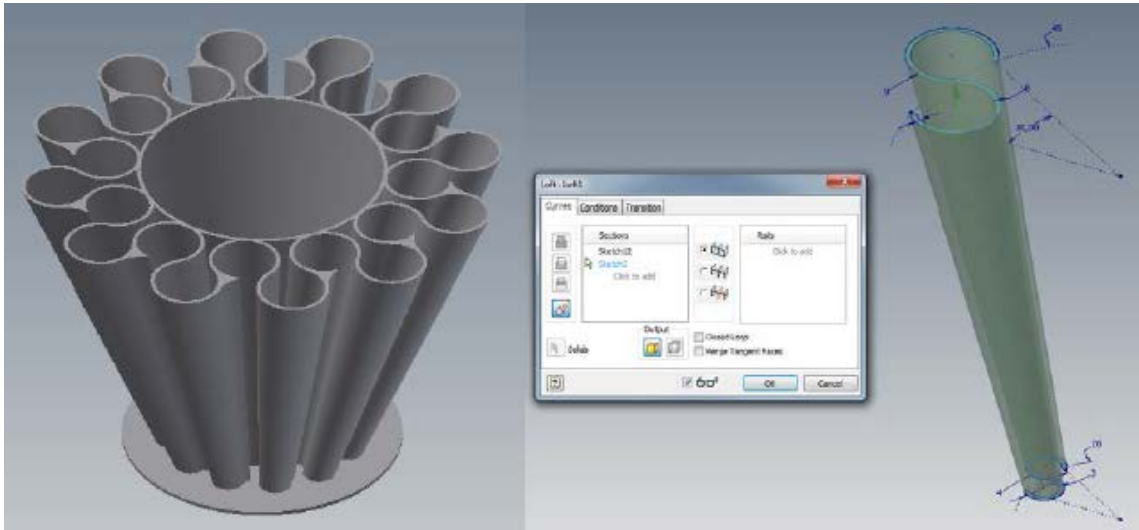
Ajatuksena oli kuvan 30 mukaisesti tehdä muoto, jossa on ikään kuin levy taivuttuna aaltomaisesti lieriön ympäri. Lisäksi ajatuksena oli kokeilla ABS-muovin tulostamista ja sen jälkikäsittelyä asetonilla.



Kuva 30. Kynätelineen sketsi

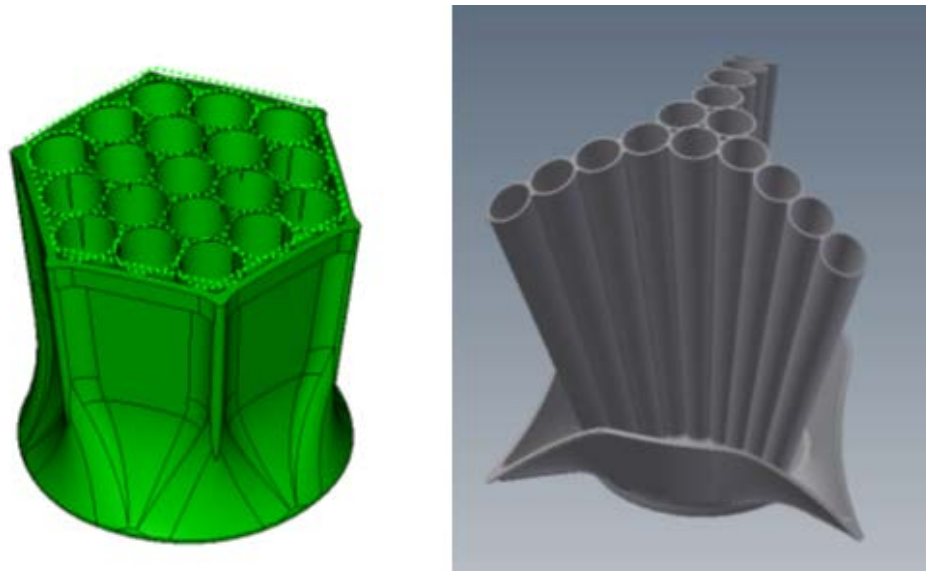
Kuvassa 31, vasemmalla, on ensimmäinen malli, joka mallinnettiin Inventorilla käyttämällä Loft-työkalua kahden S-mallisen profiilin välillä. Mallinnettaessa pyrittiin pitämään mielessä, että seinien kulmat pysyisivät aina yli 40° tulostustasosta, joka on todettu toimivaksi minimikulmaksi koulun tulostimilla. Syntyvä malli

monistettiin mallin keskiakselin ympäri, jolloin syntyi vasemman puolen mukainen aaltomainen perusmuoto, joka alun perin haluttiin.



Kuva 31. Ensimmäinen malli

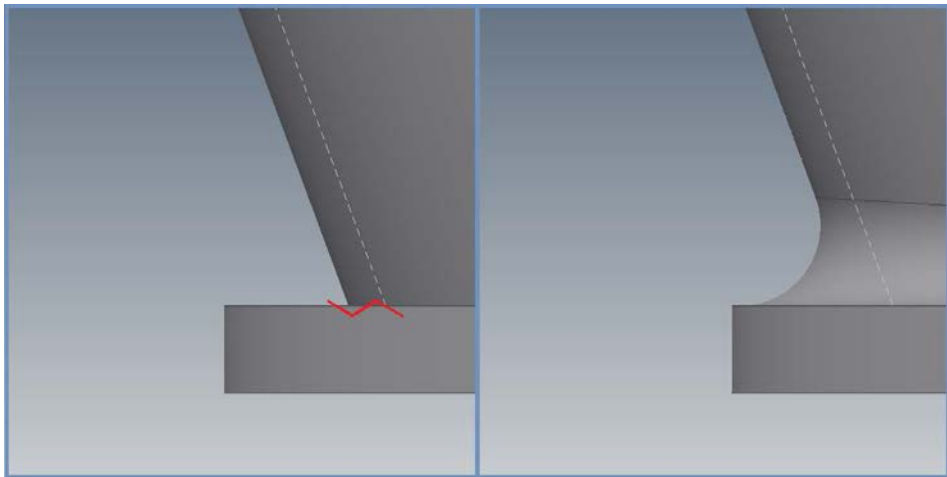
Vaikka ensimmäinen malli olikin jo hyvä, kokeiltiin vielä erilaisia muotoja ja mallinnusohjelmia. Kuvassa 32 on vasemmalla Microstationilla mallinnettu versio ja oikealla kartioista muodostuva versio. Lopulta päädyttiin kuitenkin viimeistelemään ensimmäisen malli ja käyttämään sitä.



Kuva 32. Eri versioita kynätelineestä

Tulostaessa törmättiin useisiin ongelmiin ja lopullinen versio vaatikin kolme tulosta ennen kuin päästiin kaikista ongelmista eroon. Esimerkiksi tuloste tarttui

epätasaiseen tulostustason liimapintaan niin hyvin, että seinämät repesivät irti pohjasta. Kuvassa 33 nähdään repeämiskohta ja repeämisen todennäköinen syy (huonon valmistusalustan lisäksi). Vasemmalla ohut seinä liittyy suoraan pohjaan, jolloin liitospinta-alaa ei ole paljoa. Oikealla on korjattu versio, johon lisättiin pyöritys vahvistamaan liitosta. Haastava seikka oli myös saada ABS-muovi tarttumaan valmistusalustaan. ABS kutistuu jäähtyessään enemmän kuin PLA ja pyrkii irtoamaan valmistusalustasta.



Kuva 33. Liitoskohta ennen ja jälkeen, punainen on repeämiskohta

Kuvassa 34 verrataan vasemmanpuoleisen CAD-mallin ja juuri tulostetun oikeanpuoleisen kynätelineen pinnanlaatua. Juuri FDM-tekniikan epätasaisen pinnanlaadun takia haluttiin kokeilla ABS-muovia, jonka pinnanlaatua voi tasoittaa asetonilla.



Kuva 34. Pinnanlaatu CAD-mallissa (vasen) ja tulostetussa (oikea) kynätelineessä

Asetonikäsitteily voi suorittaa joko upottamalla kappaleen asetoniin, valelemalla kappaletta asetonilla tai asetonihöyrykäsitteilyllä. Tässä työssä levitettiin asetonin kynätelineen pintaan pensselillä mahdollisimman nopeasti ja tasaisesti. Ennen levitystä hiottiin kynäteline ISO 6344 mukaisilla P240- ja P320-karheuksien vesihiomapapereilla. Hionta- ja asetonikäsitteily toistettiin kolme kertaa, jolloin pinnanlaadusta tuli riittävän tasainen. Kuvassa 35 on oikealla kerran käsitelty pinta, keskellä kahdesti käsitelty pinta ja vasemmalla kolmesti käsitelty pinta.



Kuva 35. Hionta-asetoni käsitteilyjen määrän vertailu

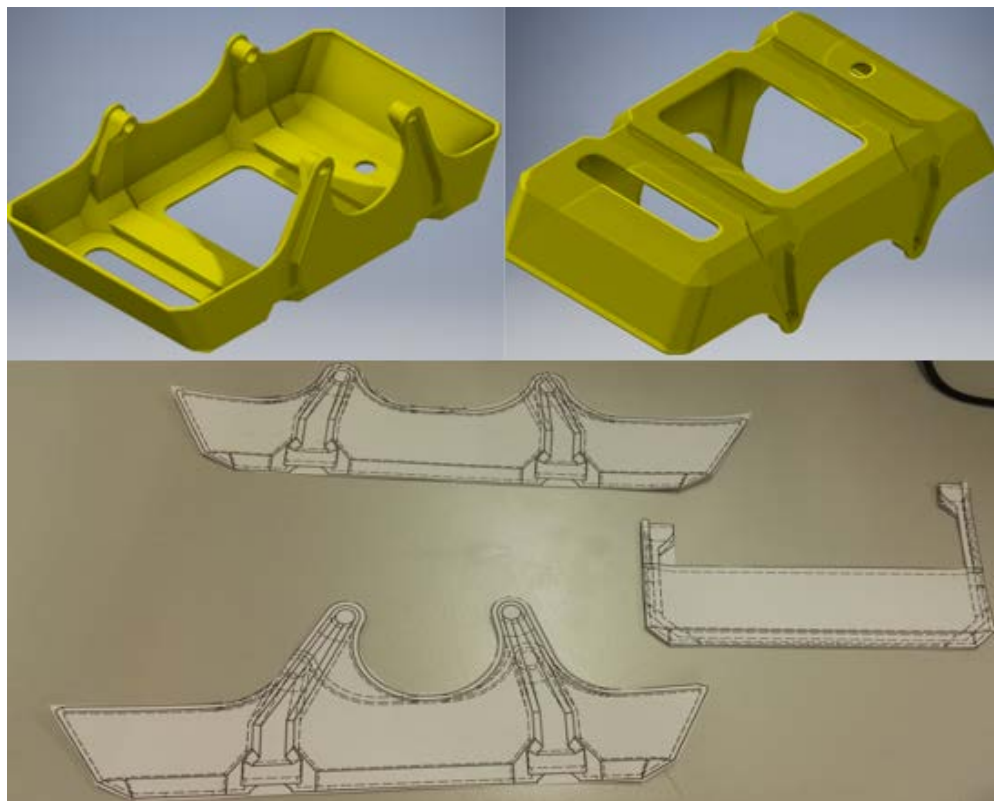
5.4.3 Raivaussahan tankin suojakuori

Mag Pro-merkkiseen raivaussahaan tarvittiin suojakuori bensatankille estämään tankin vaurioituminen sen osuessa esimerkiksi puuhun sekä pitämään tankki paikallaan. Kuvassa 36 on raivaussaha ennen suojakuorta. Tankkia pitää paikallaan muovinen kaksihaarainen pidätin, joka päätettiin korvata koko tankin suojaavalla pidättimen ja kuoren yhdistelmällä.



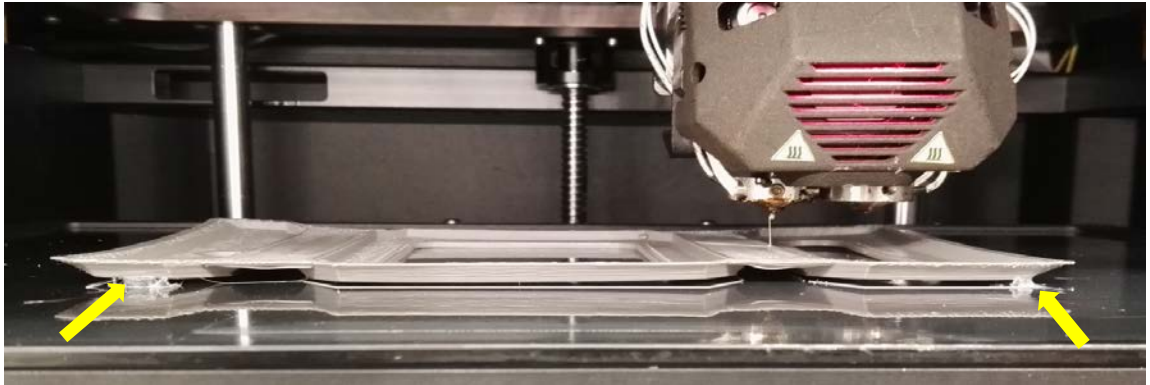
Kuva 36. Mag Pro-raivaussahan tankki

Raivaussaha sijaitsi eri paikkakunnalla kuin missä suojakuori tulostetaan, eikä raivaussahaa saanut sillä hetkellä mukaan. Tämän takia suojakuori mallinnettiin paikan päällä ja siitä tulostettiin projektioita paperille, joilla muodot ja reikien paikat kohdistettiin mahdollisimman hyvin kohdalleen. Kuvassa 37 on mallinnettu kuori (yllä) sekä paperimallit mitoitusta varten.



Kuva 37. Malli ja projektioita paperilla

Suojakuori tulostettiin ABS-muovista sen iskunkestävyyssominaisuuksien takia. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui ABS-muovin yleisin ongelma, eli osan käyristyminen ja irtoaminen alustasta. Suojakuoren ulkonäöllä ei ollut kovin suurta merkitystä, joten se vain liimattiin takaisin valmistusalustaan aina kun se irtosi siitä (Kuva 38).



Kuva 38. Suojakuori liimattuna takaisin valmistusalustaan sen revettyä irti nurkista

Käyristyminen loppui usean uudelleen liimauksen myötä noin 2 cm:n tulostuskorkeudessa ja lopputuloksena saatiin onnistunut, joskin huonon pinnanlaadun omaava tuloste (Kuva 39). Tulosteeseen jäi myös ilmeisesti todella suuria sisäisiä jännityksiä, sillä se halkesi itsekseen reunasta. Halkeaman ja pinnanlaadun sai kuitenkin korjattua usealla asetonikäsitteilyllä ja paksulla maalikerroksella.



Kuva 39. Juuri tulostettu suojakuori

Käyristymisestä huolimatta suojakuori sopi heti paikalleen (Kuva 40), mikä ei yleensä tapahdu ensimmäisen prototyypin kohdalla. Suojakuori tuntui riittävän tukevalta ja kestävältä, joten projektia ei jatketa, ellei suojakuorta todeta käytössä liian heikoksi tai muutoin ei-toimivaksi.



Kuva 40. Lopputulos

6 LAITTEIDEN HUOLTO

3D-tulostimet vaativat säännöllistä huoltoa mahdollisimman pitkän käyttöiän, mutta ennen kaikkea hyvän tulostuslaadun ylläpitämiseksi. Säännöllisellä ja oikeanlaisella voitelulla, laitteen puhtaana pidolla, komponenttien silmämääräisellä tarkistuksella sekä valmistusalustan hyvänä pitämisellä 3D-tulostimen käyttöikä pitenee jo huomattavasti. Aika ajoin on kuitenkin syytä tehdä laitteelle kattava huolto, jossa laite puretaan osittain, puhdistetaan ja tarkistetaan perinpohjaisesti. Seuraavissa osioissa käydään läpi kattava huolto laitekohtaisesti, perustuen käytännön huoltokokemukseen sekä valmistajan ohjeisiin.

6.1 MiniFactory Innovator

MiniFactory Innovator-mallin tulostimelle ei löydy kattavaa valmistajan huolto-ohjetta, mutta vanhempiin ei-koteloituihin MiniFactoryn pöytämalleihin löytyy videoitiedut ohjeet (MiniFactory 2017b). Tämä osio perustuukin soveltaen näihin video-ohjeisiin, sekä omaan huoltokokemukseen. Seuraavaksi käydään läpi tarpeellisia huoltotoimenpiteitä ja miksi sekä miten ne suoritetaan. Huoltotoimenpiteistä tehdään myös tulostettavat A3-kokoiset ohjeet tulostusympäristön seinille (Liite 3).

6.1.1 Irtoreskien puhdistus

Laitteen sisälle kertyy paljon jäämiä tulostusmateriaalista ja tulostuksesta syntyvistä savukaasuista (Kuva 41). Irtoreska voi päätyä tuulettimiin, johteisiin ja kuu-laruuveihin ja tukkia näitä.



Kuva 41. Irtoroskaa 3D-tulostimessa

Suurin osa kaasuista päätyy suodatinlevyihin, mutta sitä näyttää myös kertyvän laitteen pintoihin jotka eivät ole kovia, kuten esimerkiksi kuvan 42 kumiseen osaan laitteen sisällä.

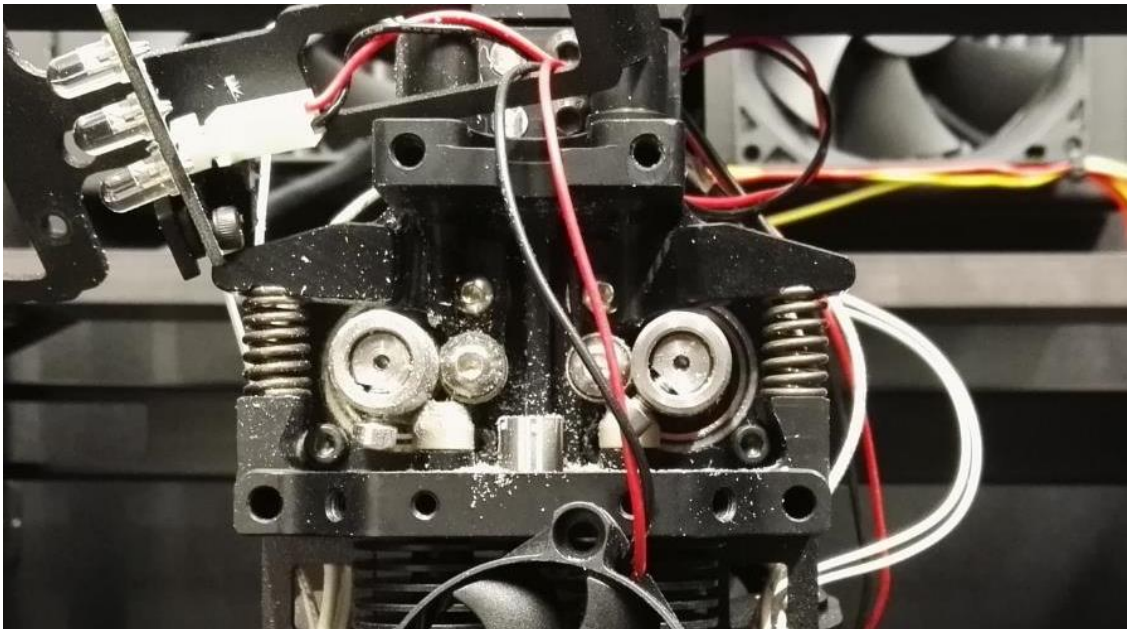


Kuva 42. Tulostuksessa syntyvät savukaasut kertyvät kumiosiin

Irtoroskan poistoon voi käyttää kosteaa pyyhettä, harjaa ja/tai imuria. Puhtaalla pensselillä on myös helppo puhdistaa esimerkiksi tulostuspään sisäpuolta. Imuria käytettäessä tulee käyttää joko pienitehoista imuria, esimerkiksi rikkaimuria, tai olla erityisen varovainen, ettei aiheuta laitteen ohuille sähköjohdoille tai muille osille vahinkoa. Pyyhkeenä voi käyttää normaalia käsipaperia, mutta valmistus- alustaa pyyhittäessä kannattaa käyttää mikrokuituliinaa, sillä normaali käsipaperi

sisältää usein rasvajäämiä, jotka voivat tarttua valmistusalustaan silmin huomattomaksi kerrokseksi ja heikentää tulevien tulosteiden tartuntaa alustaan. Mikroituiliinasta lähtee lisäksi irti paljon vähemmän nukkaa ja irtopalasia kuin käsipaperista. Paineilman käyttöä tulee välttää laitteen sisäpuolen puhdistuksessa, ettei irtoroskat ja –pöly päädy kiinni voideltuihin johteisiin ja kuularuuveihin.

Filamentin kulkiessa syöttölaitteiston läpi ja varsinkin sen jäädessä jumiin, irtoaa filamentista jauhautunutta muovia. Suurimman osan jauheesta saa pois irrottamalla tulostuspään kuoren ja puhdistamalla ne esimerkiksi pensselillä. Jos syöttörullien uriin on jäänyt muovia, saa ne pois esimerkiksi messinkiharjalla. Kuvassa 43 on tulostuspään alue purettuna, pitkän käyttöjakson jälkeen.



Kuva 43. Jauhautunutta muovia tulostinpään sisällä

Irtoroskien puhdistus ei vie paljoa aikaa ja se kannattaa ainakin suurpiirteisesti suorittaa joka käytön yhteydessä. Roskat voivat tukkia laitteen tuulettimet tai päätyä johteisiin ja kuularuuveihin, pahimmillaan jumittaen nämä. Irtoroskien puhdistus onkin yksi helpoimmista mutta tärkeimmistä huoltotoimenpiteistä.

6.1.2 Voitelu

Voitelu on laitteen eliniän kannalta tärkein huoltotoimenpide. Laitteen voideltavat kohteet ovat kuularuuvit, liukujohteet ja laakerit. Kuularuuveja on kolme, yksi jo-

kaiselle koordinaatti akselille. Y- ja X-akselien liukujohteisiin pääsee käsiksi poistamalla laitteen kannen. Z-akselin liukujohteet ovat laitteen sisäpuolen takaseinän vieressä.

Ennen voitelua, poistetaan vanhat rasvat liukujohteista ja kuularuuveista käsipaperilla tai mikrokuituliinalla pyyhkimällä. Kuularuuvien vanha rasva on usein tiukassa kierteiden pohjalla. Urat saa puhtaiksi painamalla puhdistusliinaa tai -paperia esimerkiksi kynnellä tai jäätelötikulla uran pohjaan ja pyörittämällä ruuvia toisella kädellä. Varmistetaan myös, ettei voiteluun käytettävissä välineissä ole irtoroskaa tai muuta likaa, joka voi päätyä kohteisiin.

Johteisiin levitetään pensselillä ohut kerros koulun 3D-tulostustiloista löytyvää Mobil Vactra Oil No. 2, tai vastaava johdevoiteluöljyä (Kuva 44). Johteiden voitelun yhteydessä on hyvä tarkistaa johteiden kiinnitysruuvien kireys. Voiteluaineet eivät välttämättä ole virallisissa säilytysastioissaan, joten on luotettava astioiden päälle liimattuihin mustavalkoisiin etiketteihin.



Kuva 44. Johdevoiteluöljy

Kuularuuveihin levitetään Mobilgrease XHP 222 korkeapainerasvaa, tai muuta vastaavaa. Levitys onnistuu helposti esimerkiksi jäätelötikulla. Kuvassa 45 malliesimerkki rasvan määrästä ja levityksestä, sekä koulun 3D-tulostustiloista löytyvä kyseisen rasvan säilytysastia.



Kuva 45. Kuularuuvien voitelu

Laakerien voiteluun riittää pisara matalaviskositeettistä koneiden tai laakereiden voiteluun tarkoitettua öljyä, esimerkiksi ompelukoneöljyä. Koulun 3D-tulostustiloista löytyy HanseLine mekaniikkaöljyä (Kuva 46) tätä tarkoitusta varten.

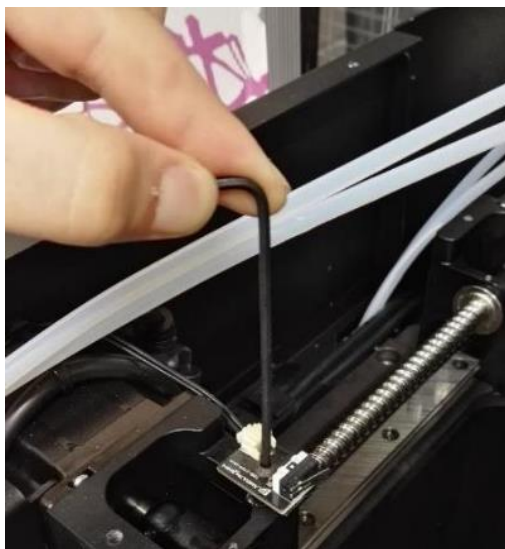


Kuva 46. HanseLine mekaniikkaöljy

6.1.3 Ruuvien ja osien kiristys

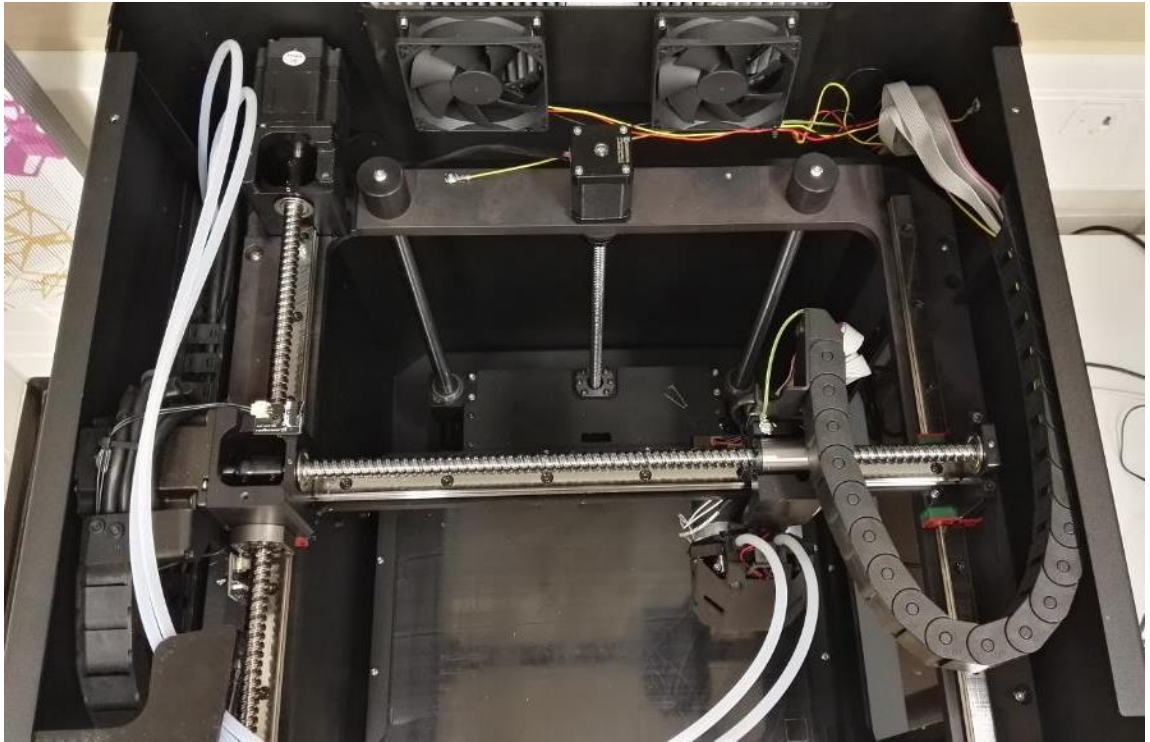
Laite tärisee paljon johtuen tulostinpään tarpeesta kiihdyttää, hidastaa ja vaihtaa suuntaa nopeasti. Tärinällä puolestaan on taipumus löystyttää ruuviliitoksia. Ruuvien löystyessä tarpeeksi ne voivat irrota ja laite voi rikkoutua. Odotettavampi ongelma on kuitenkin kriittisten osien kuten suuttimien, rajakatkaisimien tai laakerien säätö- ja kiinnitysruuvien löystyminen, joka vaikuttavat suoraan tulostuksen laatuun. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön yhteydessä tehdyssä huollossa selvisi, että X-akselin kuularuuvien oikeanpuoleisen laakerin kiristysruuvi oli kadonnut, todennäköisesti tippunut tärinän vaikutuksesta ja lisäksi suurin osa laitteen muista ruuveista oli löystynyt jonkin verran. Laite piti ennen huoltoa poikkeavaa ääntä aina Y-akselin suuntaisilla liikkeillä. Ääni katosi ruuvien kiristyksen ja puuttuvien ruuvien lisäämisen jälkeen.

Kaikki laitteen ruuvit on hyvä tarkastaa löystymisen varalta ja kaikki ruuvit ovat kuusiokoloruuveja kooltaan 1,5 – 3 mm. Ruuveja kiristäessä tulee huomioida kuinka kireälle ruuvit kiristää. Hyvänä perussääntönä voi pitää, että jos kuusiokolon koko on 2 mm tai pienempi, ruuvi liittyy muoviosaan tai ruuvi on suuttimen kiristysruuvi, tulee ruuvi kiristää erittäin kevyesti. Muutoin ruuvit voi kiristää kohtuullista voimaa käyttäen. Liiallista kiristämistä voi vaikeuttaa esimerkiksi kiristämällä ruuvit kuvan 47 osoittamalla tavalla, pitämällä kiristettäessä kuusiokoloavainta lyhyemmästä päästä vain kahdella sormella.



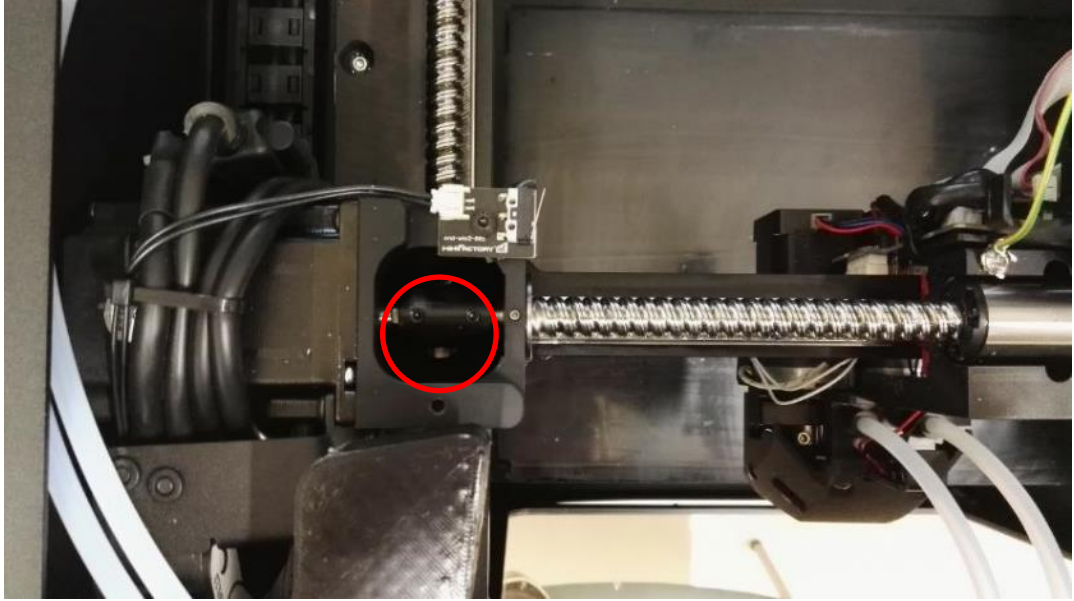
Kuva 47. Ote kuusiokoloavaimesta, jolla vaikeuttaa liiallista kiristämistä

Laitteen sisällä oleviin ruuveihin pääsee käsiksi helpoiten poistamalla laitteen kannen. Kannen poiston jälkeen näkymä on kuvan 48 mukainen. Kriittisimmät ruuvit löystymisen kannalta ovat kuularuuvien ja laakereiden kiristysruuvit, johteiden, tulostinpään kuoren, filamentin syöttömekanismin ruuvit, laitteen ulkopuolen levyosien ruuvit sekä rajakatkaisijoiden kiinnitysruuvit.



Kuva 48. Näkymä laitteen sisään, kannen poistamisen jälkeen

Kuularuuvien kiristysruuveja on 4 kappaletta jokaista kuularuuvia kohden, eli yhteensä 12 ja kuusiokolon koko on 2mm. Ruuvit löytyvät kuularuuvien moottorien puoleisista päistä (Kuva 49). Ruuvit saa esiin kääntämällä kuularuuvia, joko muuttamalla kyseistä kuularuuvia risteävän akselin koordinaattia laitteen ohjauspaneelista, tai kääntämällä kuularuuvia manuaalisesti. Manuaalisesti kääntäessä, varmista kuitenkin, ettei käsistä jää kuularuuviin mitään roskaa.



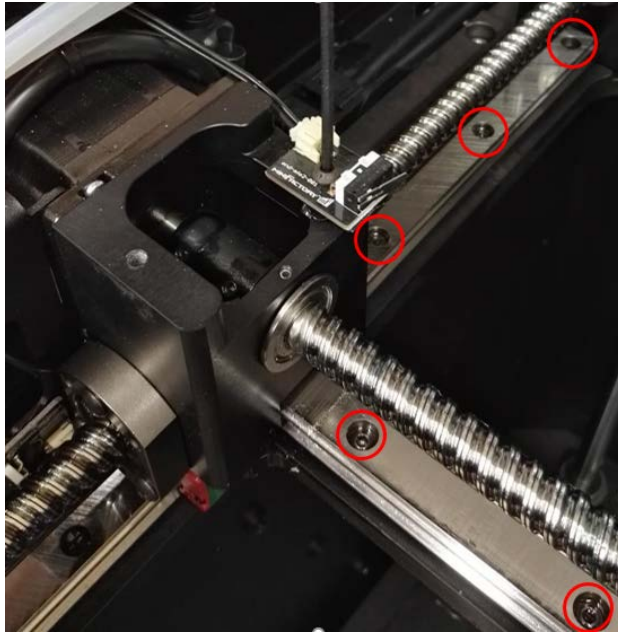
Kuva 49. Kuularuuvien kiristysruuvit

Laakereiden kiristysruuveja on 6 kappaletta, kuularuuvien kummassakin päässä (Kuva 50). Ruuvien kuusiokolon koko on 1,5mm ja ne tulee kiristää kevyesti, sillä jo pienen koon takia ruuvit ovat herkempiä luistamaan ja rikkoutumaan.



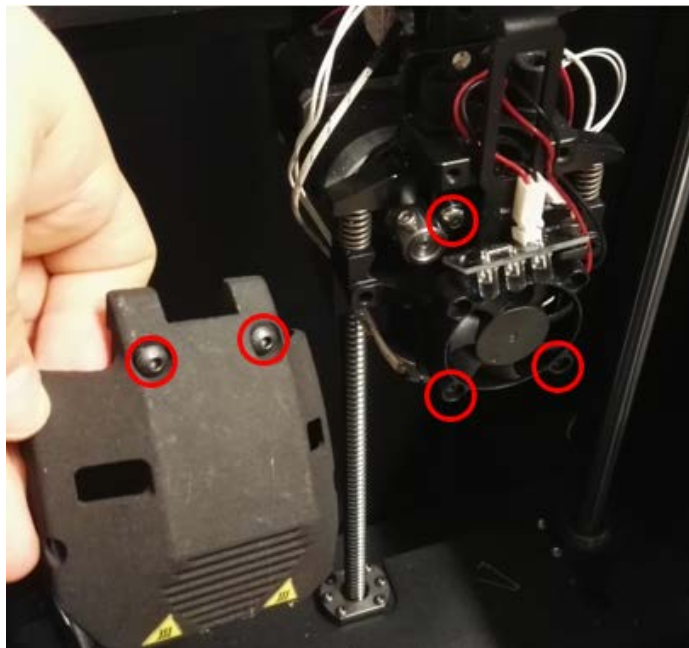
Kuva 50. Laakerien kiristysruuvit

Johteiden kiinnitysruuveissa (Kuva 51) ei ole todettu suurta löystymistä, mutta ne ovat kohtuullisen helppo tarkistaa, esimerkiksi voitelun yhteydessä. Johteiden kiinnitysruuvien kuusiokolon koko on 2,5mm.



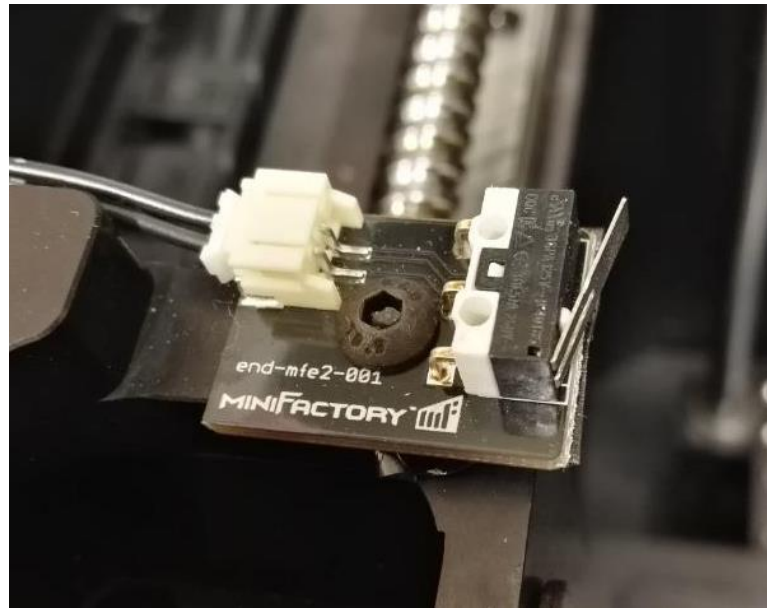
Kuva 51. Johteiden kiinnitysruuvit

Tulostinpään suojakuoren ruuvit löystyvät helposti ja ne on syytä tarkistaa ajo-ajoin, esimerkiksi filamentin vaihtojen yhteydessä. Syöttömekanismin ruuvit löytyvät suojakuoren alta. Näihin pääsee käsiksi irrottamalla tuulettimen ja käyttämällä laitteen filamentin syöttöä ilman filamenttia, kunnes ruuvi on hyvässä asennossa kiristämiseen. Kuvassa 52 on ympyröity tulostinpään ruuvit, joissa on todettu löystymistä.



Kuva 52. Tulostinpään ruuvit

Jokaisella koordinaattiakselilla on rajakatkaisija, jolla laite nolaa kyseisen koordinaatin. Rajakatkaisijat on kiinnitetty piirilevyyn, jotka on ruuvattu yhdellä 2,5 mm:n kuusiokoloruuvilla kiinni (Kuva 53). Kaikki kolme rajakatkaisijaa löytyvät kuularuuvien läheisyydestä. Z-akselin rajakatkaisijan kiristyksen jälkeen on syytä kalibroida kyseinen akseli (katso kohta 6.1.8), sillä rajakatkaisija voi liikahtaa ylös tai alaspäin ja tulostustaso voi tämän jälkeen törmätä suuttimiin tai jättää suuttimen ja tason väliin liian suuren tilan.



Kuva 53. Rajakatkaisija

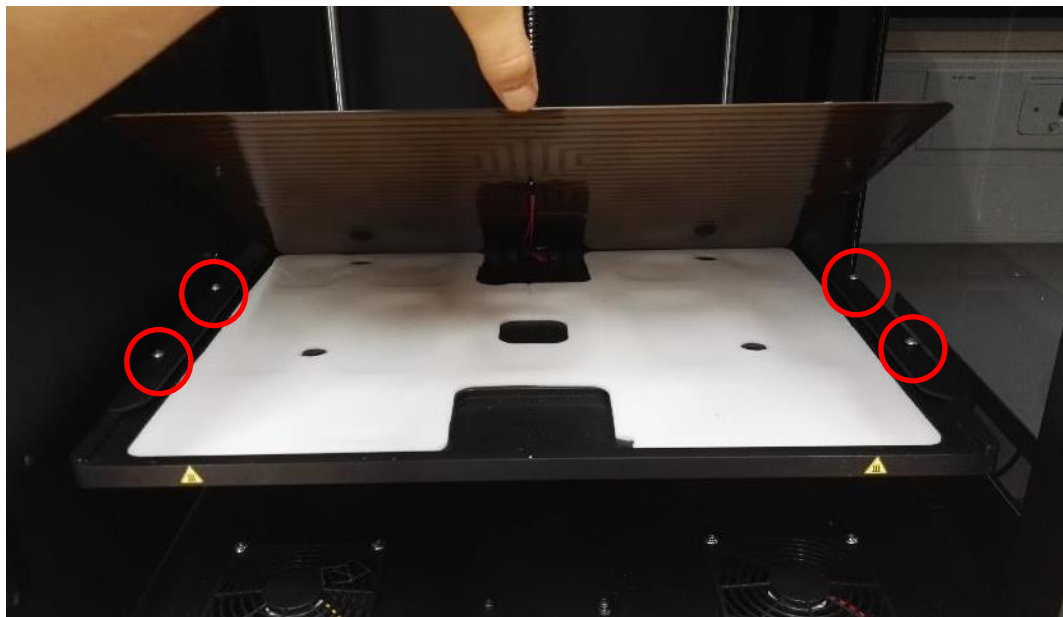
6.1.4 Liiman vaihto ja lämmityslevyn tarkistus

Tulosteiden valmistusalustaan tartunnan parantamiseksi valmistusalusta pinnoitetaan yleensä liimalla. Koulun 3D-tulostustiloista löytyy MiniFactoryn omaa tartuntaliimaa sekä kuminen levityslasta (Kuva 54).



Kuva 54. MiniFactoryn tartuntaliima ja levityslasta

Ennen uuden liiman levitystä täytyy vanha liima poistaa. Lasin, jolle liima levitetään, saa irti löysäämällä lasin ympärillä olevia 2,5 mm kuusiokoloruuveja. Lasin irrotuksen yhteydessä on hyvä tarkistaa lasin alla olevan lämmityslevyn kunto. Lämmityslevyä voi nostaa kuvan 55 osoittamalla tavalla etureunasta ja tarkistaa näyttääkö alapuoli yhtenäiseltä ja ehjältä ja ovatko takareunan johdot ehjät. Kuvassa 55 on myös ympyröity lasin kiristysruuveja, joita löysäämällä lasin saa irti.



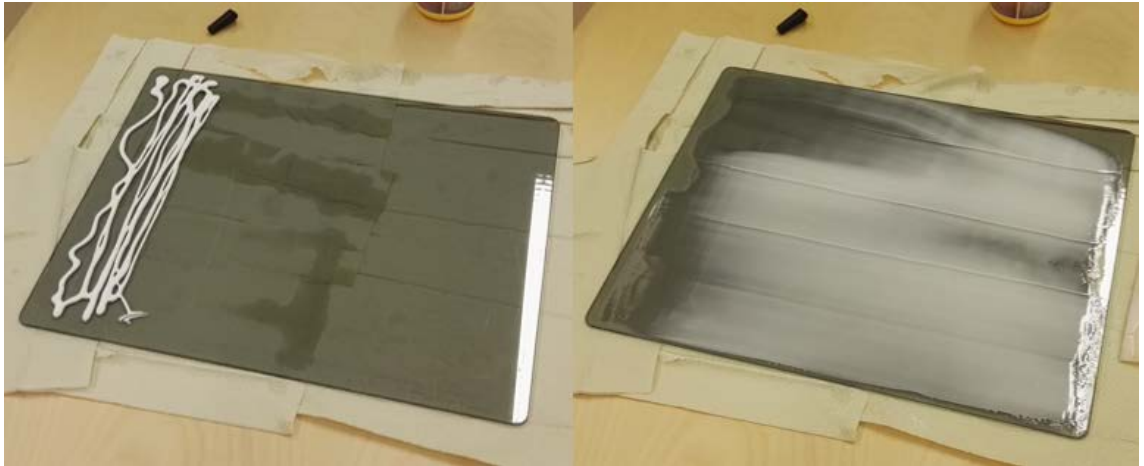
Kuva 55. Lämmityslevyn pohja ja lasin kiristysruuvit

Ennen uutta liimaa täytyy vanha liima poistaa. Liima on vesiliukoista, joten sen saa pois lämpimällä vedellä, astianpesuaineella ja harjalla. Nopeaksi keinoksi on kuitenkin havaittu kuvan 56 mukaisesti lämpimän veden valutus lasin yli, jonka aikana liima kaavitaan pois metallilastalla. Tässäkin on hyvä kuitenkin lopuksi käyttää astianpesuainetta mahdollisten rasvajäämien poistamiseksi.



Kuva 56. Vanhan liiman poisto

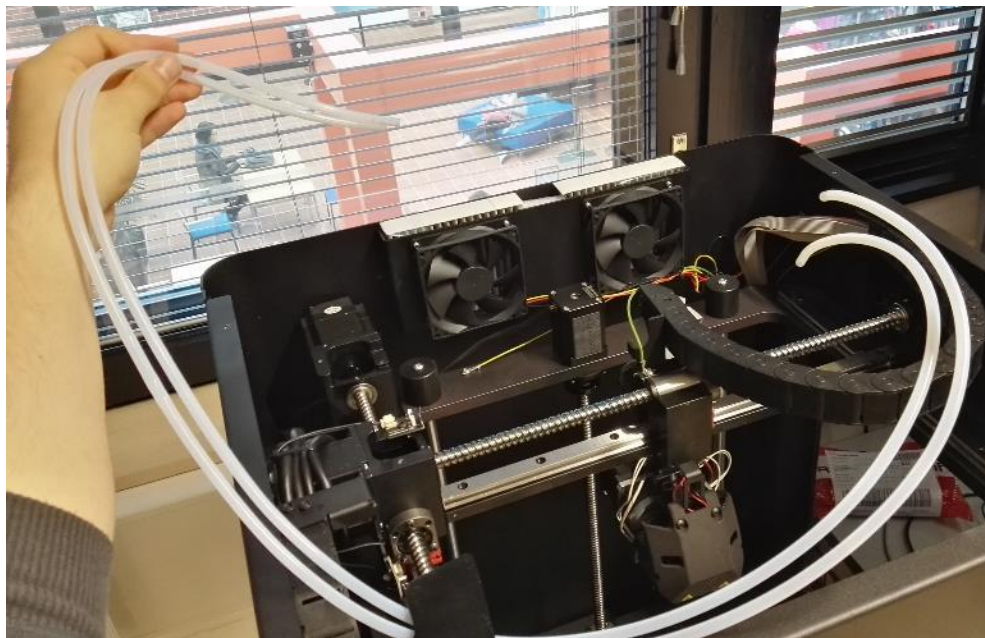
Ennen uuden liiman levitystä lasi kuivataan ja alusta jolla uuden liiman levitys tapahtuu, suojataan esimerkiksi käsipaperilla. Liiman pinta jähmettyy todella nopeasti, joten levityksen on oltava nopea. Levityksen tulisi myös olla mahdollisimman tasainen, jotta tulosteiden pohjasta tulee tasainen, mutta ennen kaikkea siksi, ettei Z-akselin kalibrointi (kohta 6.1.8) vääristy liikaa. Kuvassa 57 on opinäytetyön tekijän hyväksi havaitsema levitysmenetelmä. Liimaa levitetään reilusti toiseen päähän lasia, jonka jälkeen muutamien kymmenien sekuntien aikana lasia vedetään lasin päästä päähän tasaisesti noin kymmenen kertaa, kunnes liima on levittynyt tasaisesti. Tulostin ei pysty hyödyntämään noin 3 senttimetrin aluetta lasin reunoista, joten liiman ei välttämättä tarvitse levittyä reunoille asti.



Kuva 57. Liiman levitys esimerkin alkutilanne (vasen) ja lopputilanne (oikea)

6.1.5 Letkujen puhdistus

Syöttöletkuihin voi pikkuhiljaa kertyä pölyä, likaa tai filamentin pätkiä jotka on syytä poistaa. Syöttöletkut ovat kummastakin päästä kiinni ahdistusliitoksella ja lähtevät irti vetämällä. Letkuihin pääsee helpoiten käsiksi poistamalla tulostimen kannen (Kuva 58). Putket saa puhtaaksi esimerkiksi heiluttamalla putkia, kunnes irtoroskat lentävät ulos, tai käyttämällä paineilmaa, mikäli sellaista on käytössä.

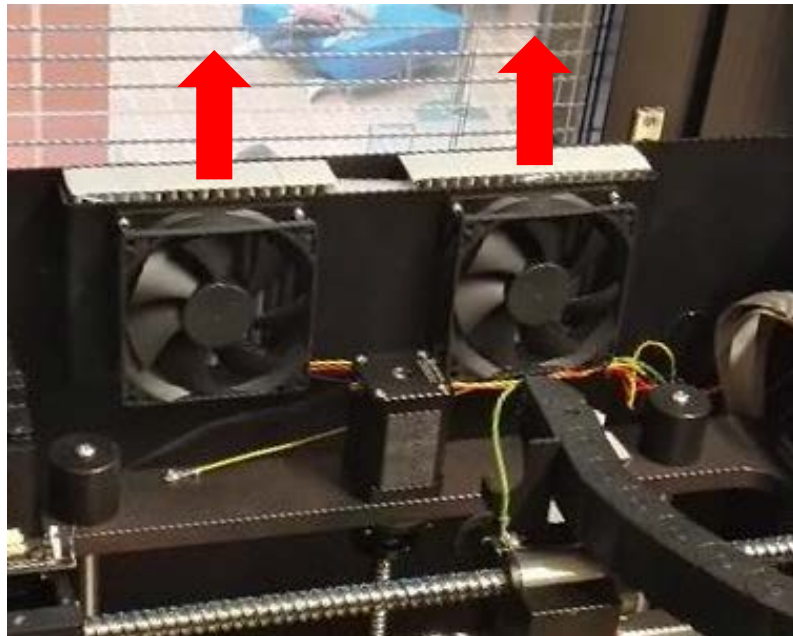


Kuva 58. Filamentin syöttöletkut

Putkia takaisin asennuksessa täytyy varmistaa, että putket eivät voi jäädä litistykseen minkään akselin liikkeessa ja että putket seuraavat tulostinpäätä sulavasti sitä liikutellessa.

6.1.6 Suodattimien tarkistus

Poistoilman aktiivihilisuodattimet suodattavat laitteen sisältä poistuvasta ilmasta savukaasuja. Suodattimet sijaitsevat laitteen ylempien tuulettimien takana ja ovat patruunamallisia. Ne saa laitteen kannen irrottamisen jälkeen vetämällä ylös (Kuva 59). Mikäli patruunat ovat selvästi likaiset tai tukossa, on ne syytä vaihtaa uusiin.



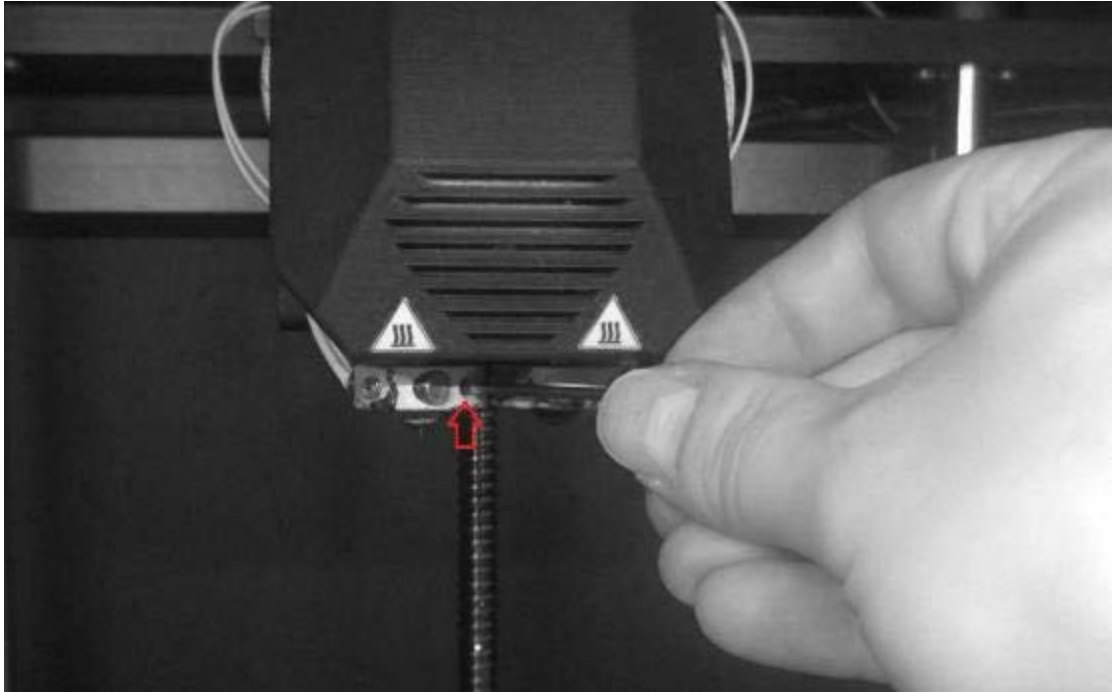
Kuva 59. Poistoilman suodattimet

6.1.7 Suutinten puhdistus ja vaihto

Suutinten vaihto tai puhdistus on tarpeen, kun pursotuksessa on havaittavissa epätasaisuutta tai se ei toimi ollenkaan ja kun on varmistettu, ettei vika johdu syöttölaitteesta. Suuttimia irrottaessa täytyy olla varovainen, sillä suuttimet täytyy kuumentaa, jotta suuttimiin tai vastuskiekkoon mahdollisesti jäänyt muovi ei pidä niitä paikallaan.

Lämmitetty vastuskieppo on kiinni suuttimessa kuvan 60 osoittamalla 2mm kuu-siokoloruuvilla. Ruuvi on yhden suuntainen lämmityselementin ja lämpöanturin

kanssa ja on syvällä reiässä vastuskiekon sivulla. Vastuskiekkoa voi joutua pyörittämään, jotta reiän saa esiin. Pyörittäminen tapahtuu poistamalla tulostinpään suoja-kuoren ja löysäämällä suutinpakettien pidätinruuveja.



Kuva 60. Vastuskiekon pidätinruuvi (MiniFactory 2017b)

Kun vastuskiekot on saatu löysättyä, poistetaan ne vetämällä niitä alaspäin ja tarvittaessa pyörittämällä pihdeillä. Vastuskiekkojen jälkeen irrotetaan suuttimet pyörittämällä niitä pihdeillä suuttimen paksummasta kohdasta (Kuva 61). Suuttimista ei saa ottaa kiinni niiden pitkästä, ohuemmasta osasta, sillä ne ovat tästä kohtaa erittäin ohuita ja heikkoja.



Kuva 61. Suuttimen paksu kohta (MiniFactory 2017b)

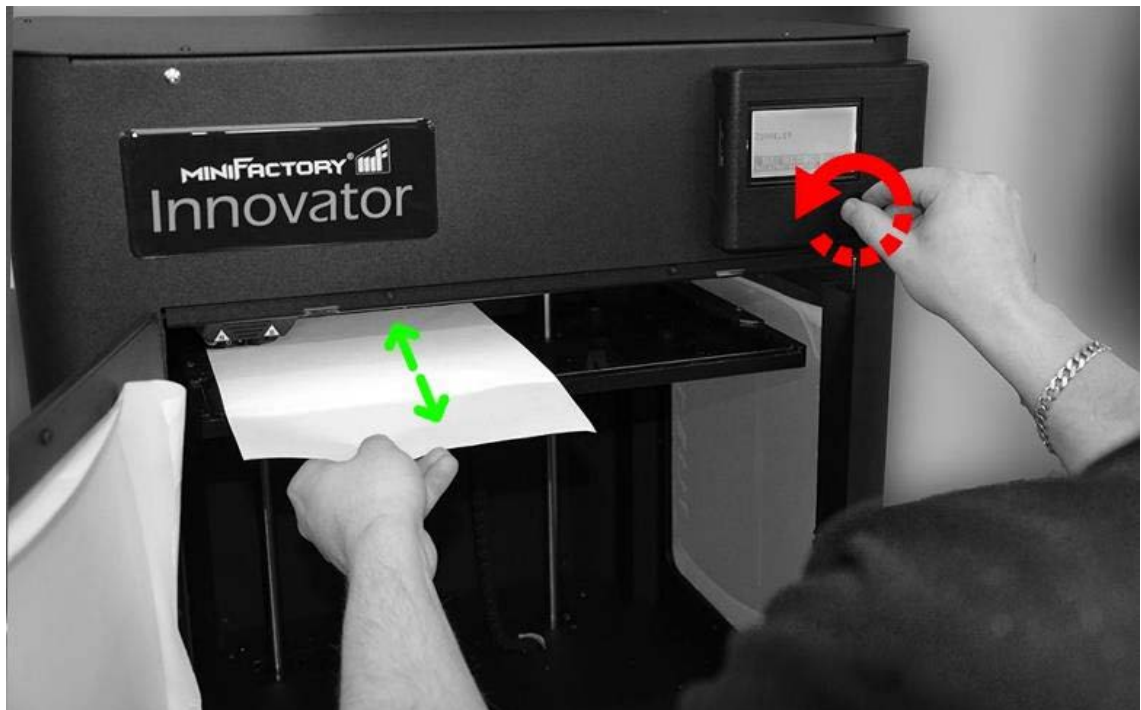
Suuttimia voi koittaa liottaa asetonissa ja harjata messinkiharjalla. Tukoksia voi myös koittaa avata neulalla, joka on ohuempi kuin suuttimen reikä. Suuttimia voi myös yrittää porata auki, mikäli käytössä on tarpeeksi pienet poranterät ja tarkka pora. Myös vastuskiekot voi irrottaa ja pestä, mutta niiden toiminnan kannalta on oleellista vain se, että suuttimet saa laitettua niiden sisään ja että niiden alapinta on puhdas ja tasainen. Kiristäessä suuttimia ja vastuskiekoja takaisin täytyy välttää liikaa voimaa, etteivät suuttimet litisty.

6.1.8 Kalibrointi

Laitteiden akselit ja suuttimet täytyy kalibroida säännöllisesti tulostuslaadun ylläpitämiseksi. Kalibroinnilla estetään myös laitteen vaurioituminen tilanteessa, jossa laitteen liikkeistä vastaaville komponenteille on tehty toimenpiteitä. Laitteen kalibrointi jakaantuu kolmeen osaan: suutinten korkeuskalibrointi, suutinten keskinäinen kohdistus ja suutinten tasokalibrointi.

Suutinten korkeuskalibrointi tapahtuu A4-paperiarkin ja kalibrointitoiminnon avulla. Kalibrointitoiminto löytyy ohjauspaneelistä seuraavalla polulla: Aloitusnäyttö -> Menu -> Calibration. Toiminto ajaa tulostinpään yhdeksään eri kohtaan,

lähelle valmistusalustaa. Jokaisessa kohdassa liikutellaan paperiarkkia suuttimen ja valmistusalustan välissä ja nostetaan valmistusalustaa pykälä pykälältä pyörittämällä ohjausnappia, kunnes paperiarkki ei liiku tai liikkuu nihkeästi (Kuva 62). Korkeus on ideaalinen, kun paperiarkki liikkuu vielä, mutta suuttimien kosketus tuntuu paperia liikuttaessa. Jos paperi ei liiku ollenkaan tai on todella nihkeä, lasketaan valmistustasoa yksi pykälä. Varmista myös, että paperiarkki on kumman suuttimen alla suunnilleen yhtä tiukassa. Mikäli näin ei ole ja tarvitaan kumpaakin suutinta, täytyy ennen korkeuskalibrointia suorittaa suutinten tasokalibrointi. Kun oikea korkeus on löytynyt, painetaan ohjausnappia korkeuden hyväksymiseksi. Sama prosessi toistetaan jokaisessa yhdeksässä kohdassa.

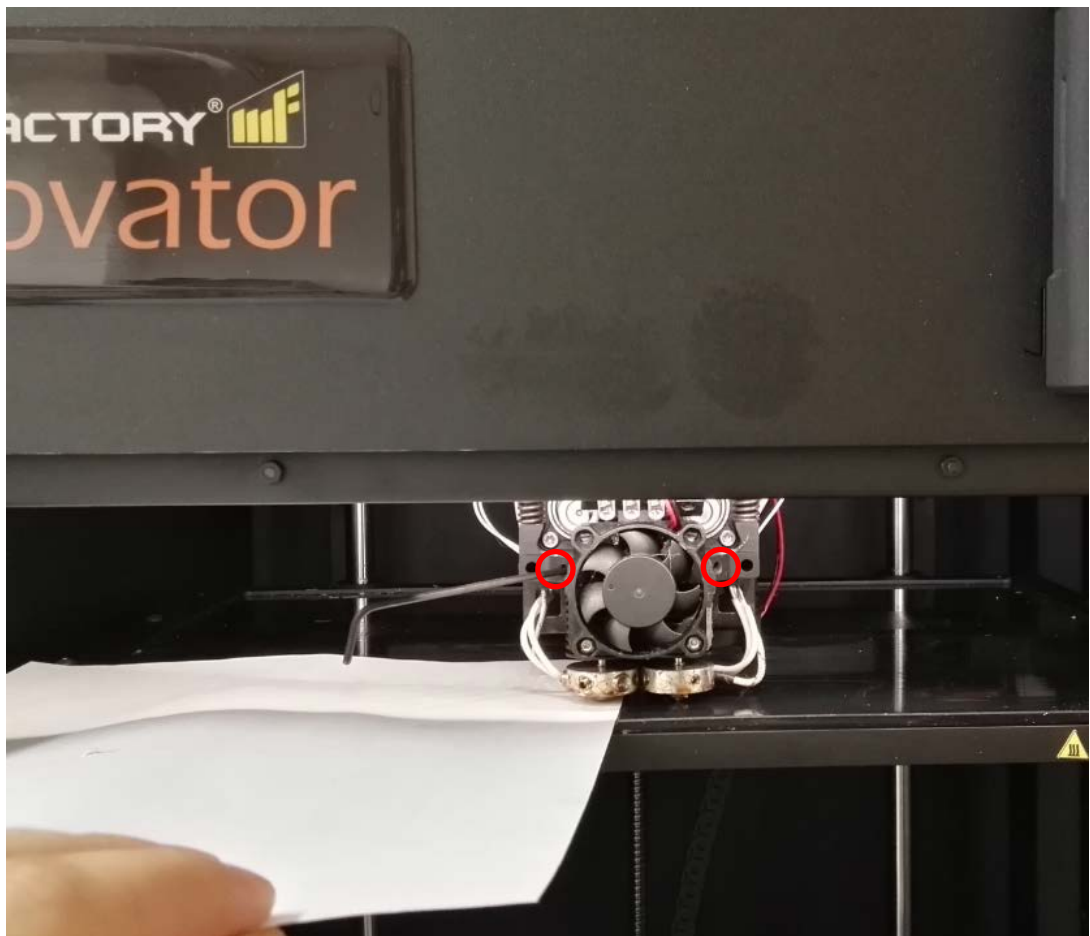


Kuva 62. Suutinten korkeuskalibrointi (MiniFactory 2017b)

Suutinten tasokalibrointi tarkoittaa suuttimien päiden kalibrointia samaan tasoon keskenään. Suutinpaketteihin pääsee käsiksi poistamalla tulostinpään kuoren. Ennen kalibrointia täytyy varmistaa, ettei filamentti ole paikallaan eikä suuttimien kärjissä tai sisällä ole kovettunutta muovia. Muovin saa pois lämmittämällä suuttimet viimeisen käytetyn materiaalin tulostuslämpötilaan ja odottamalla että suuttimiin mahdollisesti jäänyt materiaali työntyy ulos, sekä poistamalla ulkopuolen muovit metalli lastalla. Kun muovit on poistettu ja suuttimien pään puhtaus

varmistettu, on suuttimien syytä antaa jäähtyä turvallisuussyistä ennen kalibrointia.

Suuttimien tasokalibrointi aloitetaan menemällä ohjauspaneelissa seuraavaan polkuun: Aloitusnäyttö -> Menu -> Adjust Nozzles. Löysää kuvassa 63 punaisella ympyröidyt suutinpakettien 2 mm:n kuusiokolopidätinruuvit. Varmista että kumpikin suutinpaketti liikkuu vapaasti pystysuunnassa. Nosta valmistustasoa ohjausnappia pyörittämällä niin ylös kuin mahdollista suuttimien vielä liikkussa pystysuunnassa. Aseta vasemman suuttimen ja valmistustason väliin paperiarkki ja liikuta vasenta suutinta, kunnes se hipoo paperia. Paina mieleen kuinka paljon suutin hipoo paperia. Kiristä vasen suutin kiinni. Pidä valmistustason korkeus samana, aseta paperiarkki oikean suuttimen ja valmistustason väliin ja liikuttele suutinta ja paperia kunnes suutin hipoo paperia suunnilleen yhtä paljon kuin vasen suutin. Kiristä oikea suutin. Varmista vielä lopuksi, että kumpikin suutin hipoo paperia yhtä paljon. Suutinten tasokalibroinnin jälkeen täytyy aina myös suorittaa suutinten korkeuskalibrointi.



Kuva 63. Suutinten tasokalibrointi

Suuttimien keskinäinen kohdistus on tärkeää, kun tulostetaan kummallakin suuttimella samanaikaisesti. Tukimateriaalia tulostettaessa kohdistus ei ole niin tarkkaa, mutta kun tulostetaan kahta eri väriä tai materiaalia jotka kumpikin kuuluvat lopulliseen tulosteeseen, on tärkeää, että laite tietää suuttimien sijainnit toisiinsa nähden. Keskinäisen kohdistuksen valikkoon pääset seuraavasta polusta: Aloitusnäyttö -> Menu -> Extruder Offset. Valikko on kuvan 64 mukainen.



Kuva 64. Suutinten keskinäinen kohdistus-valikko (MiniFactory 2017b)

Vasen suutin on kiintopiste. Valikossa arvo X tarkoittaa oikean suuttimen etäisyyttä vasemmasta suuttimesta sivuttaissuunnassa (vasemmalta oikealle) ja arvo Y tarkoittaa oikean suuttimen etäisyyttä vasemmasta suuttimesta syvyys-suunnassa (edestä taakse). Suuttimien kohdistus tapahtuu esimerkiksi tulostamalla kaksi ohutta saman muotoista ristiä päällekkäin, toinen vasemmalla ja toinen oikealla suuttimella. Päällekkäin tulostetuista risteistä näkee mihin suuntaan suuttimia pitää liikuttaa. Esimerkiksi kuvassa 65 on vasemmalla suuttimella tulostettu valkoinen ja oikealla keltainen risti. Kuvasta nähdään, että oikeanpuoleisella suuttimella tulostettua ristiä pitää siirtää vasemmalle ja kohti takaseinää, eli sekä Y- että X-arvoa pitää pienentää.



Kuva 65. Suutinten keskinäinen kohdistus

6.2 MiniFactory Education 3

MiniFactory Education 3 3D-tulostin on tekniikaltaan lähes samanlainen Innovator-mallin kanssa, joten niiden huoltoon käytetään soveltaen Innovator-mallin huolto-ohjeita (kohta 6.1). MiniFactoryn kampus-sivustolta löytyy myös videoidut huolto-ohjeet tälle mallille (MiniFactory 2017b). Aihealueet joissa Education 3-malli poikkeaa oleellisesti Innovator-mallin huollosta, ovat säilytys ja kalibrointi. Education 3-malli ei ole koteloitu 3D-tulostin kuten Innovator-malli, joten se kerää pölyä. Education 3-mallit tulee suojata esimerkiksi koulun 3D-tulostusympäristöstä löytyvillä pahvilaatikoilla, kun niitä ei käytetä. Education 3-mallin kalibrointi tapahtuu Repetier Host-ohjelman kautta Z-Calibration-välilehdellä. Liitteessä 2 on otteet mallin ohjekirjan kalibrointi osasta.

6.3 Huoltosuunnitelma

Vastaavanlaisten laitteiden huoltosuunnitelmaa ei löytynyt malliksi, joten huoltosuunnitelma perustuu omiin kokemuksiin laitteista. Voitelu ja ruuvien kiristys ovat huoltotoimenpiteistä tärkeimmät, joten huoltosuunnitelma on jaksotettu niiden perusteella. Omien kokemusten pohjalta ruuveissa esiintyy löystymistä arviolta noin neljän kuukauden tai noin 120 käyttötunnin jälkeen. Lisäksi laitteiden lineaarijoh-teiden valmistaja suosittelee voitelun tarkistusväliksi sataa kilometriä tai 3-6 kuu-kautta (Hiwin 2017). Näiden tietojen perusteella suunnitellaan laitteille perusteel-

lisempi huolto 4-6 kuukauden välein riippuen arvioidusta käytön määrästä. Käytön määrää arvioidaan laite kohtaisella viholla, johon merkitään käyttäjän nimi ja tulostusaika, kun laitetta käytetään.

Laitteille tehdään liitteen 3 mukaiset tulostettavat huoltopäiväkirjat, joiden yhteydessä on lyhyt ohje laitteiden huollon tiheydestä ja päiväkirjan käytöstä. Laitteita saa huoltaa samat henkilöt jotka saavat käyttää laitteita, kunhan ovat perehtyneet laitteiden huolto-ohjeisiin.

Lapin Ammattikorkeakoulun 3D-tulostusympäristöstä vastaavalle henkilökunnalle (jota edustaa tällä hetkellä Ari Pikkarainen) on toimitettu muokattavat versiot huoltopäiväkirjasta (Liite 3), materiaalitulukosta (Liite 1) ja huolto-ohjeista (Liite 4) ja he saavat muokata niitä koulun omaan käyttöön, mikäli kokevat sen tarpeelliseksi.

7 POHDINTA

Opinnäytetyö onnistui kaiken kaikkiaan hyvin, joskin sen kirjallinen osuus venyi hieman pitkäksi lähinnä teoriaosuuden takia. Tästä syystä kirjallista osuutta voidaan pitää osana opinnäytetyön tuloksia, sillä sitä tai sen osia voidaan käyttää esimerkiksi opetus- tai esitysmateriaalina aiheeseen liittyvillä opintojaksoilla. Opinnäytetyöhön olisi voinut lisätä vielä monia pieniä asioita kuten eri materiaalien ja materiaaliyhdistelmien perinpohjaisempaa testaamista, loput opinnäytetyön tekijän CASE-esimerkit, materiaalien tartuntaratkaisujen testausta sekä alun perin suunnitellut oppimistehtävät. Opinnäytetyön koon sekä ajanpuutteen takia nämä kuitenkin jätettiin lisäämättä. Opinnäytetyöstä olisi myös voinut opinnäytetyön tekijän mielestä hieman tiivistää eri tekniikoiden sekä historian osuutta ja panostaa enemmän huollon teoriaan. Opinnäytetyö kuitenkin täyttää sille asetetut tavoitteet hyvin, joten jääköön se tällaiseksi.

7.1 Jatkokehitys

Jatkokehitysideoita, joita opinnäytetyön tekemisen aikana on tullut mieleen, on esimerkiksi tärinän vaikutuksen tulostuslaatuun tutkiminen. Tulostimien alla olevat pöydät voisi vaihtaa tukevampiin ja vertailla vaikuttaako se tulostuslaatuun.

Toinen idea on tehdä joillakin muilla opintojaksoilla hyödynnettäviä 3D-tulosteita, kuten rakenteiden ja palkkien malleja lujuusopin ja statiikan opintojaksoille, joilla voisi fyysisesti todentaa, tutkia ja esittää miten esimerkiksi palkki taipuu eri tilanteissa tai esittää tehtävän jossa kysytään milloin ja mistä jokin rakenne pettää ja sitten todistaa sen 3D-tulostetulla mallilla.

Tulostettavien materiaalien mekaanisista ominaisuuksista, erilaisten rakennerratkaisuiden vaikutuksesta ja toimivuudesta voisi myös tehdä jonkinlaisia kokeita, selvityksiä ja esitteitä tulostusympäristön seinälle, tai miksei vaikka erikoistyön tai opinnäytetyön aiheesta.

LÄHTEET

3D Hubs 2017a. 3D Printing geometry restrictions. Viitattu 2.11.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-geometry-restrictions>

3D Hubs 2017b. 3D Printing Low-Run Injection Molds. Viitattu 27.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-low-run-injection-molds>

3D Hubs 2017c. 3D printing vs. CNC machining. Viitattu 14.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining>

3D Hubs 2017d. Additive Manufacturing Process. Viitattu 28.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-process>

3D Hubs 2017e. Additive Manufacturing Technologies: An Overview. Viitattu 28.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>

3D Hubs 2017f. FDM 3D Printing Materials Compared. Viitattu 11.10.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared>

3D Hubs 2017g. How to design snap-fit joints for 3D Printing. Viitattu 29.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-snap-fit-joints-3d-printing>

3D Hubs 2017h. Introduction to FDM 3D Printing. Viitattu 10.10.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>

3D Hubs 2017i. Medical 3D Printing Applications. Viitattu 27.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/medical-3d-printing-applications>

3D Hubs 2017j. Post-Processing for 3D printing. Viitattu 14.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-sls-printed-parts>

3D Hubs 2017k. Post-Processing for 3D printing. Viitattu 14.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-sla-printed-parts>

3D Hubs 2017l. Post-Processing for 3D printing. Viitattu 14.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/post-processing-fdm-printed-parts>

3D Hubs 2017m. The Advantages of 3D Printing. Viitattu 14.9.2017
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/advantages-3d-printing>

3D Printer Power 2017a. 3D Printer Anatomy. Viitattu 13.10.2017 <http://3dprinterpower.com/index.php/3d-printer-anatomy/>

3D Printer Power 2017b Bowden Extruder Vs Direct Extruder Showdown. Viitattu 13.10.2017 <http://3dprinterpower.com/index.php/bowden-extruder-vs-direct-extruder-showdown/>

3D Printer Power 2017c. FFF vs FDM. Viitattu 13.10.2017 <http://3dprinterpower.com/index.php/fff-vs-fdm/>

3D Printing 2017. What 3D Printing Materials Can And Should You Use? Viitattu 11.10.2017 <https://3dprinting.com/materials>

3D Systems 2017. Laitevalmistaja. Viitattu 12.9.2017 <https://www.3dsystems.com>

Airila, M., Jantunen, E., Kivioja, S., Laihotie, E., Nurmi, Laihotie, E., Pora, M., Ranta, A. 1987. Koneenosat. Porvoo, Helsinki: WSOY.

Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Viher-salo, J., Virtanen, I. & Vuolle, P. 2006. Teollisuusvoiteltu. 15. Helsinki: KP-media.

Barnes Industries 2017. Maintaining And Increasing The Life Of A Ball Screw. Viitattu 20.4.2017 <http://www.barnesballscrew.com/maintaining-and-increasing-the-life-of-a-ball-screw/>

Bensoussan, H. 2016. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. Viitattu 14.9.2017 <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>

Bolz, E. 2016. FFF vs FDM – What is the Difference? Viitattu 13.10.2017 https://www.youtube.com/watch?v=tG8xZMaIC_I

Stephens, B., Azimi, P., El Orch, Z. & Ramos, T. 2013. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. Viitattu 19.10.2017 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.050>

Composites World 2017. Stratasys launches carbon fiber--filled nylon 3D printing material. Viitattu 25.9.2017 <http://www.compositesworld.com/news/stratasys-launches-carbon-fiberfilled-nylon-3d-printing-material->

Dormehl, L. 2016. Genetic algorithms and 3d printing. Viitattu 10.5.2017 <https://www.eos.info/en> <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/genetic-algorithm-rio-table-chairs/>

Earl, B. 2015. What is a Stepper Motor?. Viitattu 5.10.2017 <https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/what-is-a-stepper-motor>

Fimatec 2017. Betonielementtejä 3D-tulostava yritys. Viitattu 22.9.2017 <http://fimatec.fi/>

Firpa 2017. Sanasto. Viitattu 25.9.2017 http://www.firpa.fi/html/sanasto_html.html

Gibson, I., Rosen, D. & Stucker, B. 2015. Additive Manufacturing Technologies. toinen painos. New York: Springer.

Hanhisalo, H. 2008. Servomoottorin ohjaus. Viitattu 5.10.2017 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004126355>

- Hiwin 2017. Lineaarijohteiden esite. Viitattu 6.10.2017 http://www.hiwin.com/pdf/linear_guideways.pdf
- Cummins, K. 2010. The rise of additive manufacturing. Viitattu 10.5.2017 <https://www.theengineer.co.uk/issues/24-may-2010/the-rise-of-additive-manufacturing/>
- LDO Motors 2017. Laitevalmistaja. Viitattu 2.11.2017 <http://ldomotors.com/products/show/42mm-hybrid-stepper-series>
- Leadshine 2017. Laitevalmistaja, liikkeenohjausjärjestelmät. Viitattu 5.10.2017 <http://www.leadshine.com/>
- Lonjon, C. 2017. The history of 3d printer: from rapid prototyping to additive fabrication. Viitattu 14.9.2017 <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>
- LaMonica, M. 2013. Additive Manufacturing: General Electric, the world's largest manufacturer, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts. Viitattu 10.5.2017 <https://www.technologyreview.com/s/513716/additive-manufacturing>
- Manufacturing Guide 2015a. Fused Deposition Modeling. Viitattu 2.11.2017 <https://www.manufacturingguide.com/en/fused-deposition-modeling-fdm>
- Manufacturing Guide 2015b. Laminated Object Manufacturing. Viitattu 2.11.2017 <https://www.manufacturingguide.com/en/laminated-object-manufacturing-lom>
- Manufacturing Guide 2015c. Selective Laser Sintering. Viitattu 2.11.2017 <https://www.manufacturingguide.com/en/selective-laser-sintering-sls>
- Manufacturing Guide 2015d. Stereolithography. Viitattu 2.11.2017 <https://www.manufacturingguide.com/en/stereolithography-sla>
- Manufacturing Guide 2015e. Ultrasonic Consolidation. Viitattu 2.11.2017 <https://www.manufacturingguide.com/en/ultrasonic-consolidation-uc>
- MiniFactory 2017a. Laitevalmistaja, 3D-tulostus. Viitattu 27.4.2017 <http://www.minifactory.fi/>
- MiniFactory 2017b. Laitevalmistajan huolto, asennus ja käyttöohjeet. Viitattu 20.9.2017 <http://www.minifactory.fi/kampus>
- MiniFactory 2017c. PolySupport-filamentti. Viitattu 11.10.2017 <http://www.minifactory.fi/verkkokauppa/polysupport/>
- Polymaker 2017. PolyWood-filamentti. Viitattu 11.10.2017 <http://www.polymaker.com/shop/polywood/>
- RepRap 2017. Open-Source 3D-tulostin Projekti. Viitattu 12.9.2017 <http://reprap.org/>

Sculpteo 2017. Digitaalisen valmistuksen palveluita, 3D-tulostus blogeja. Viitattu 12.9.2017 <https://www.sculpteo.com/en/>

SFS-EN ISO/ASTM 52900. 2017. Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. Helsinki: SFS.

SFS-EN ISO 17296-2. 2016. Additive manufacturing. General principles. Part 2: Overview of process categories and feedstock. Helsinki: SFS.

Stratasys 2017a. Laitevalmistaja. Viitattu 1.5.2017 <http://www.stratasys.com/>

Stratasys 2017b. The invention of FDM Technology. Viitattu 11.10.2017 <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>

University of Texas at Austin 2016. Selective Laser Sintering, From a Texas Idea to a Global Industry. Viitattu 12.9.2017 <https://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-from-a-texas-idea-to-a-global-industry>

Viitanen, A., Kangas, A., Huhtiniemi, M., Kanerva, T., Stockmann-Juvala, H., Säämänen, A., Kukko, K., Tuomi, J., Partanen, J., Kallonen, K. & Hämeri, K. 2016. Materiaalia lisäävän valmistuksen (3D-tulostus) kaas- ja hiukkaspäästöt eri työvaiheissa. Helsinki: Unigrafia

LIITTEET

- Liite 1. Materiaalitaulukko
- Liite 2. MiniFactory Education 3 kalibrointi
- Liite 3. Huoltopäiväkirja
- Liite 4. Huolto-ohjeet

Materiaali	Tulostus lämpötila	Alustan lämpötila	Alusta/Pinnoite (Hyväle tartunnalle)	Käytettävyys	Lujuus, joustavuus, kovuus	Kemiallinen, lämmön- ja kulutuksen kesto	Kosteusherkkyyys	Myrkyllisyys	Muuta
PLA	180-220°C	0-70°C	MiniFactory tartuntaliima	Helppokäyttöinen	Luja ja kova mutta hauras	Pehmenee yli 60°C lämpötilassa	Ei kovin herkkä	Myrkytön ja biohajoava	
ABS	220-250°C	50-110°C	Wolfbite Mega-tartuntaliima	Haastava, kutistuu	Hieman joustava, iskunkestävä	Hyvä lämmön kesto	Herkkä	Myrkylliset tulostus kaasut ja materiaali	Liukenee asetoniin
Nylon	220-280°C	0-65°C	Wolfbite Nitro-tartuntaliima tai Nylon-alusta	Haastava, ei tartu, kutistuu	Joustava, sitkas, luja, iskunkestävä	Hyvä kemiallinen ja kulutuksen kesto	Erittäin herkkä	Myrkylliset tulostus kaasut	
PC (Polycarbonate)	260-300°C	90-130°C	Wolfbite Mega-tartuntaliima tai BuildTak-alustat	Hieman haastava, ei tartu, kutistuu	Erittäin luja, hieman joustava	Erittäin hyvä lämmönkesto	Erittäin herkkä	Myrkylliset tulostus kaasut	Liukenee dikloorimetaniin
PolyWood (Polymaker)	200-235°C	0-70°C	Kaikki käy	Helppokäyttöinen	Kuin PLA, mutta hauraampi	Pehmenee yli 60°C lämpötilassa	Ei kovin herkkä		
PolySupport (MiniFactory)	230-235°C	50-60°C	Kaikki käy	Helppokäyttöinen			Ei kovin herkkä		Varmista suuttimien

VAIHE 3: SUUTTIMIEN KALIBROINTI

HUOMII! Ensimmäisellä kerralla tehdään ainoastaan Z-kalibrointi.

XY-kalibrointi on melko hyvin kohdallaan Printer settings:iin syötetyillä arvoilla. Joissain tapauksissa tulostettaessa kahdella suuttimella tämä voi tarvita hienosäätöä. Ei siis tarvitse/kannata ensimmäisellä kerralla perehtyä liikaa.

Z – akselin kalibrointi vaikuttaa siihen, että suuttimet ovat samassa tasossa korkeuden suhteen. Mikäli toinen suutin on alempana kuin toinen, voi tämä suutin törmätä jo tulostettuun kappaleeseen.

XY –akseleiden kalibrointi suoritetaan, että suuttimilla on sama "0-piste". Mikäli suuttimet eivät tiedä toistensa sijaintia tarkasti, niin esim. tukimateriaali ei tule oikeaan kohtaan tai kaksiväriset kappaleet eivät kohdistu oikein.

Suuttimien kalibrointi Z-suunnassa

- Z – akselin kalibrointi vaikuttaa siihen, että suuttimet ovat samassa tasossa korkeuden suhteen. Mikäli toinen suutin on alempana kuin toinen, voi tämä suutin törmätä jo tulostettuun kappaleeseen.
- X ja Y –akseleiden kalibrointi suoritetaan, että suuttimilla on sama "0-piste". Mikäli suuttimet eivät tiedä toistensa sijaintia tarkasti, niin esim. tukimateriaali ei tule oikeaan kohtaan tai kaksiväriset kappaleet eivät kohdistu oikein.
- Tarkista, että alusta on tyhjä ja suuttimien kärjessä ei ole kovettunutta muovia. Mikäli muovia kuitenkin on, aseta Manual Control – välilehdeltä suuttimien lämmöt päälle. Näin ollen kovettunut muovi ei väärennä kalibrointiarvoja.

Siirry Repetier host- ohjelmassa Z-Calibration välilehdelle, jossa on Z-akselin kalibrointiohjelma.

1. Aseta A4 paperi tulostusalustan päälle – Toimii mittatyökaluna
2. Paina Start Calibration – Z-akseli laskeutuu lähelle lasialustaa.
3. Näppäile nuolinäppäimellä suutinta alaspäin, niin että paperi liikkuu nihkeästi toisen suuttimen ja alustan välissä. Korkeus on nyt optimaalinen.
4. Varmista samalla, että suuttimet ovat suunnilleen samalla korkeudella ja siten paperi liikkuu samalla lailla molempien suuttimien alla. Jos näin on paina READY. Jos EI -> Siirry seuraavalle sivulle.



Suuttimien korkeuden mekaaninen asennus (Tarvittaessa)

Mikäli suuttimet ovat samassa tasossa, EI tätä tarvitse suorittaa.

Suuttimien korkeuden kalibrointivaiheessa EI saa olla tulostusnauhaa suuttimissa!
Mikäli nauhaa on, niin lämmitä suuttimet 200 asteeseen ja poista nauha.



Poista laitteen kansi avaamalla 2 sormiruuvia ja nostamalla kansi pois paikoiltaan.



Poista tuuletin löysäämällä sen alareunassa olevat 2 ruuvia.



Löysää molemmat runkopalkin sisällä olevat pidätinruuvit, että suutinpaketti liikkuu urassaan vapaasti. "Kangota" avaimella molempia suuttimia jäähdytinvivasta alaspäin, että ovat paperia vasten samassa tasossa.

Kiristä pidätinruuvit huolellisesti.

Paperin pitäisi nyt hangata molempiin suuttimiin tasaisesti.



Asenna tuuletin takaisin paikoilleen ja kiristä ruuvit.

Aseta laitteen kansi takaisin paikoilleen ja kiristä ruuvit.

Paina Z-Calibration välilehdellä Ready – näppäintä.

Kalibrointi kannattaa suorittaa uudelleen, mikäli ei aktiivinen suutin repii tulostusnauhaa alustasta. Kätevä ratkaisu onkin lämmittää aina molemmat suuttimet, vaikka tulostaisi vaan yhdellä suuttimella. Näin ollen suuttimen kärjessä oleva kova muovi ei aiheuta samaa ongelmaa.

Suuttimien kalibrointi XY-suunnassa – (Tarvittaessa)

Arvot ovat syötetty PRINTER SETTING- valikossa ja ovat hyvin lähellä oikeaa. Suorita tämä kohta vasta, kun olet tulostanut kahdella suuttimella ja todennut että suuttimien sijainnit ovat pielessä.

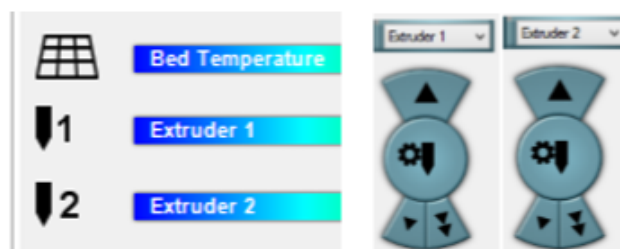
1. Lisää kappaleet lataamasi asennuspaketin **xycalib** kansioista kappaleet ohjelmaan **Obect placement** – välilehdellä. (CALI-A ja CALI-B)
2. Mallit asettuvat aluksi vierekkäin, keskitä molemmat kappaleet **CENTER OBJECT** painikkeella.
3. Lopuksi vielä valitse, että toinen objekteista tehdään nro. 2 suuttimella. Valinta tehdään objektin viereisestä valikosta.



4. Seuraavaksi kappaleesta luodaan G-koodi – Tarkista, että Slicer välilehdellä on valittu oikeat profiilit (**Print Configuration mF3-Dual-v001**)(Aloituspaketissa 2 x **PLA**) ja molemmille suuttimille on valittu oikean materiaalin profiili. Paina **Slice with CuraEngine**-näppäintä. Toiminto valittaa, että toinen kappaleista on ulkona alueelta, sillä objektit ovat "päällekkäin". Klikkaa **E1**, jolloin Slicingia jatketaan normaalisti.
5. Kun "slaissaus" valmistuu(osat ovat päällekkäin, sekä siinä näkyy kahta eri väriä) voidaan jatkaa. Huom! Jos olet varma, että asetukset ovat oikein, mutta silti kahta eri väriä ei näy niin tarkista, että Repetier-host -> Printer Settings -> Extruder välilehdellä Extruder 1 ja Extruder 2 Color asetukset ovat laitettu eri väreillä.



7. Siirry **Manual Control** välilehdelle ja aseta molempien suuttimien lämmöt päälle. Odota, että lämmöt ovat -> 180. Valitse pudotusvalikosta ensin **Extruder 1** ja syötä muovinauha. (Kampuksen Ensimmäinen 3D-tulostus vaiheesta löydät opetusvideon nauhan syötöstä) Valitse pudotusvalikosta seuraavaksi **Extruder 2**, syötä muovinauha suuttimeen ja aja sitä suuttimeen ohjainnapilla alaspäin 10mm kerrallaan, kunnes se tulee suuttimesta läpi.
8. Poista suuttimen päästä ylimääräinen nauha. **VARO KUUMA SUUTINI**
9. Tulosta nyt kappale – paina **START PRINT**



Suuttimien kalibrointi XY-suunnassa – Kappaleen tulkinta ja muutokset (TARVITTAESSA)



Tulostetun kappaleen tulisi näyttää tältä.

Kappaleen alemmassa osassa on kerrottu, X ja Y-akseleiden suunnat ja tieto, että mihin suuntaan **Extruder 2:n** OFFSET-arvoa tulee muokata. Eli tuleeko arvoa pienentää vai kasvattaa.

Ylempi osa on kalibroinnin toinen osuus ja yleensä ensimmäisellä kerralla renkaat eivät jokaiselta osuudelta kohtaa.

+ ja - arvo kertoo, että kumpaan suuntaan X tai Y -lukuarvoa tulee muokata.

ELI, kun mustaa kehää halutaan siirtää sisältä ulospäin. Sisäkehältä nähdään kumpi akseli on kyseessä ja ulkokehän +/- kertoo, että kumpaan suuntaan arvoa tulee muokata.

Alla olevassa kuvassa musta rengas on Y-akselin suuntaisesti kohdikkain, mutta X-akselin suunnassa rengas jää MIINUS - puolelta vajaaksi, eli renkaiden ulkopinnat eivät kosketa.

Kehää halutaan siirtää siis MIINUS -suunnassa ulospäin. Eli nyt EXTRUDER 2:n X-OFFSET arvoa miinustetaan. Vakio-arvosta (Cura 47.9) vähennetään esim. 0.4mm ja arvot tallennetaan. Tämän jälkeen uusi tulostus ja verrataan tuloksia. Tätä toistetaan kunnes ollaan tyytyväisiä.



Seuraava kalibrointiajo

Osat tulee keskittää uudelleen Repetier-Hostissa ja G-koodi tulee luoda uudelleen arvojen muokkaamisen jälkeen, ennen tulostuksen aloittamista.

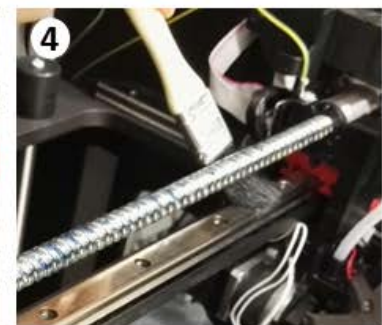
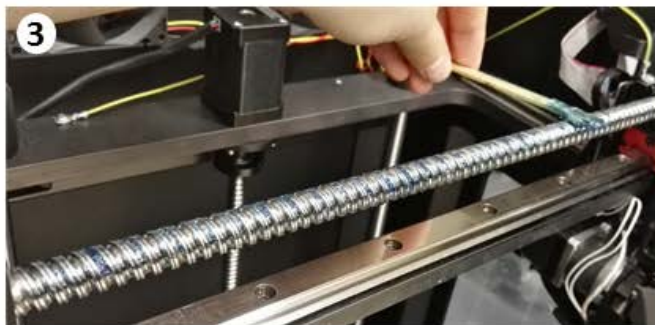
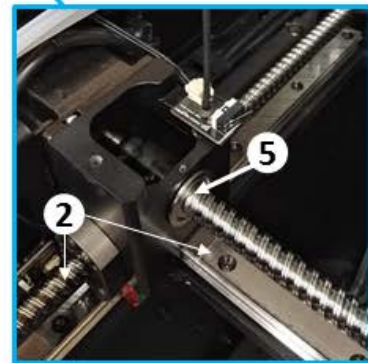
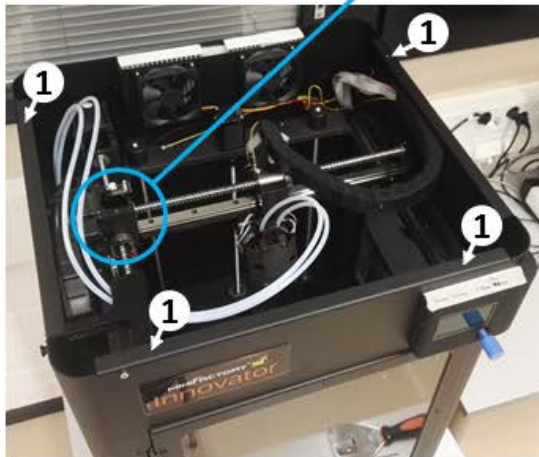
1. Muokkaa Printer settings -> Extruder -> Extruder 2 OFFSET arvot Repetier-Hostissa
2. Siirry Object Placement -> Keskitä molemmat objektit uudelleen
3. Luo G-koodi uudelleen
4. Tee uusi tulostus.

Extruder 2			
Name:	<input type="text"/>		
Diameter:	<input type="text" value="0.4"/> [mm]	Temperature Offset:	<input type="text" value="0"/> [°C]
Color:	<input type="color" value="#FF8C00"/>		
Offset X:	<input type="text" value="-0.4"/>	Offset Y:	<input type="text" value="0.1"/> [mm]

VOITELU

VAIHEET

- 1) Irrota laitteen kansi kuusiokoloavaimella
- 2) Poista kuularuuveista ja johteista vanha rasva ja roskat
- 3) Levitä kuularuuveihin koko pituudelta ohut kerros korkeapainerasvaa
- 4) Levitä liukujohteisiin ohut kerros johdevoiteluöljyä pensselillä
- 5) Laita laakereihin kuularuuvien kummissakin päissä (6 kpl) tippa ompelukoneöljyä
- 6) Liikuta kuulamuttereita päästä päähän muutaman kerran joko käsin tai ohjauspaneelistapoluta: Aloitusvalikko -> Menu -> Manual Move



TARVIKKEET

- ❖ Johdevoiteluöljy (Mobil Vactra Oil No. 2)
- ❖ Korkeapainerasva (Mobilgrease XHP 222)
- ❖ Ompelukone-/mekaniikkaöljy (HanseLine Feinöl)
- ❖ Puhdistusliina
- ❖ Pensseli
- ❖ Jäätelötikku
- ❖ Kuusiokoloavain, 2mm

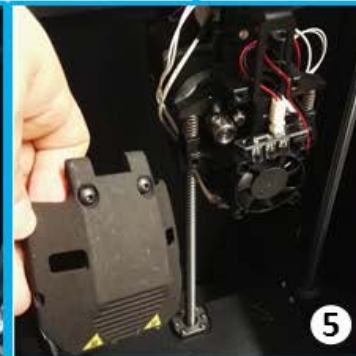
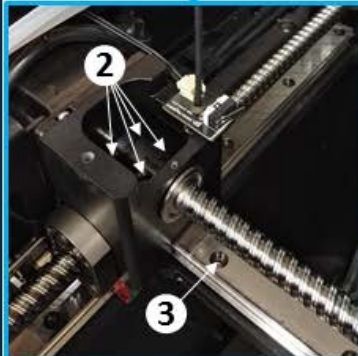
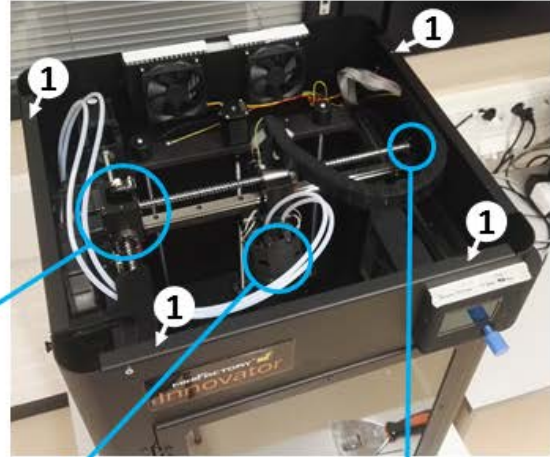
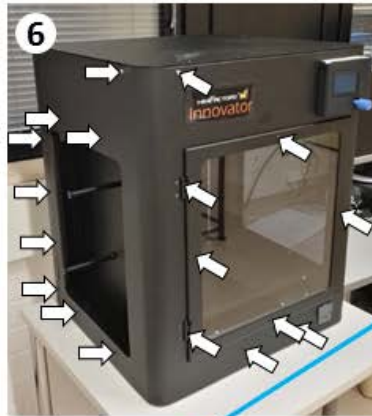
HUOMIOT

- ❖ Kuularuuvien urista saa vanhan rasvan pois painamalla liinaa niihin jäätelötikulla
- ❖ Muista myös pystysuuntaiset johteet ja kuularuuvit!

RUUVIEN JA OSIEN KIRISTYS

VAIHEET

- 1) Irrota laitteen kansi kuusiokoloavaimella
- 2) Tarkista ja tarvittaessa kiristä kuularuuvien kiristysruuvit, 4 kappaletta jokaisen kuularuuvin toisessa päässä
- 3) Tarkista ja tarvittaessa kiristä liukujohteiden kiinnitysruuvit
- 4) Tarkista ja tarvittaessa kiristä erittäin kevyesti laakerien pidätinruuvit kuularuuvien kummassakin päässä
- 5) Tarkista ja tarvittaessa kiristä kaikki tulostinpään ruuvit
- 6) Tarkista ja tarvittaessa kiristä laitteen ulkopuoliset ruuvit
- 7) Kiinnitä laitteen kansi takaisin paikalleen



TARVIKKEET

- ❖ Kuusiokoloavaimia: 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm

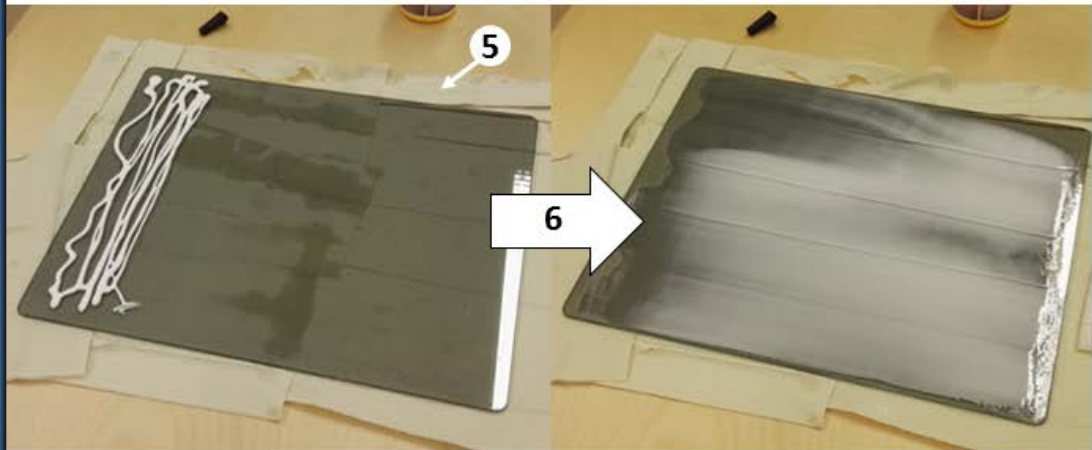
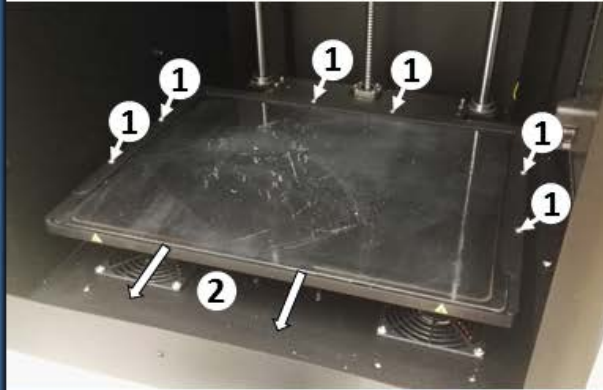
HUOMIOT

- ❖ Jos kuusiokolon koko on 2mm tai pienempi tai ruuvi liittyy muovi osaan, tulee ruuvi kiristää erittäin kevyesti
- ❖ Voit myös tarkistaa kaikki muut ruuvit. Tässä ohjeessa on mainittu ruuvit joissa on havaittu löystymistä.

LIIMAN VAIHTO

VAIHEET

- 1) Löysää valmistusalustan pidätinruuvit kuusiokoloavaimella
- 2) Poista valmistusalusta laitteesta
- 3) Tarkista samalla alustan alla olevan lämmityslevyn ja sen johtojen kunto
- 4) Pese vanha liima pois lämpimällä vedellä, harjalla, lastalla ja tarvittaessa astianpesuaineella
- 5) Kuivaa valmistusalusta ja vuoraa käsipaperilla taso, jossa levität liiman
- 6) Levitä liima lasille mahdollisimman tasaisesti. Yksi tapa on levittää paljon liimaa toiseen päähän alustaa, ja pyyhkiä se levityslastalla nopeasti alustan yli
- 7) Anna liiman kuivua ja asenna alusta takaisin laitteeseen



TARVIKKEET

- ❖ Kuusiokoloavain 2.5mm
- ❖ Harja
- ❖ Teräslasta
- ❖ Astianpesuaine
- ❖ MiniFactory-tartuntaliima (tai muu liimajota käytetään)
- ❖ Liiman levityslasta
- ❖ Käsipaperia

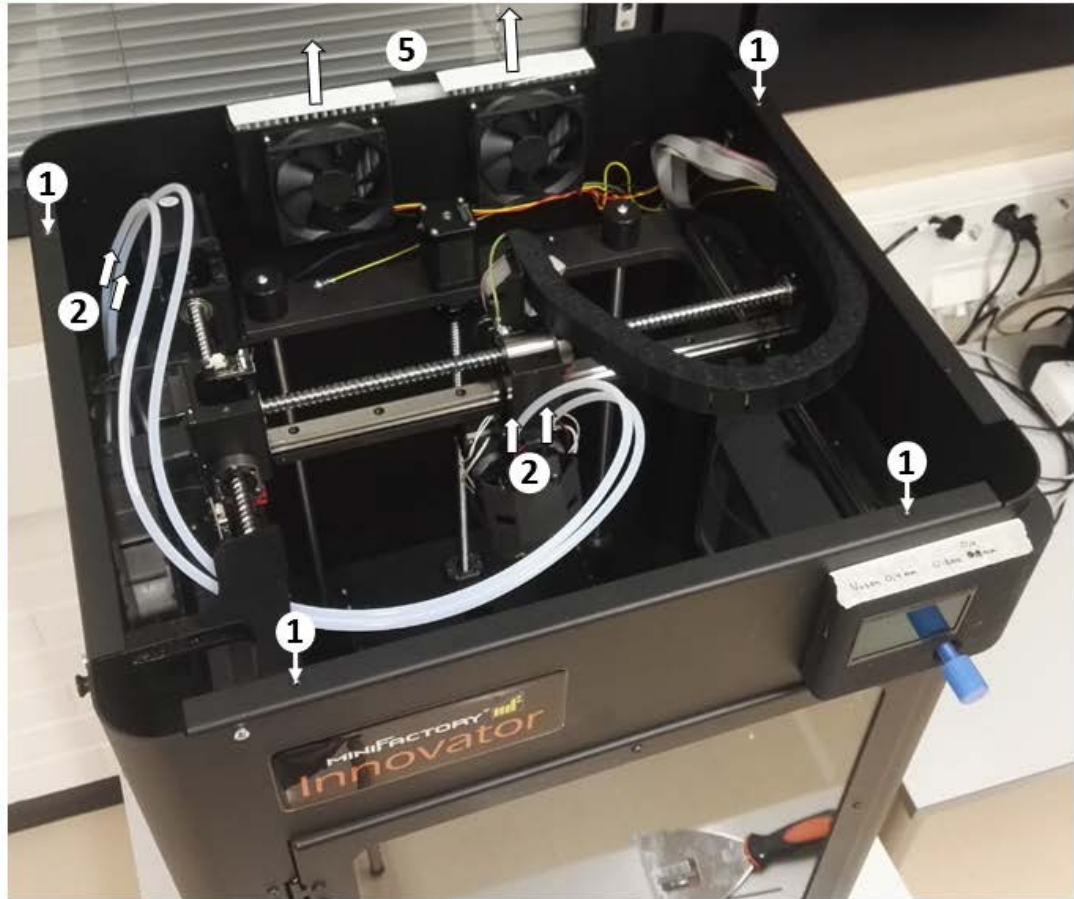
HUOMIOT

- ❖ Liima jähmettyy erittäin nopeasti, joten levityksen on oltava nopea
- ❖ Liiman voi levittää myös vaahtomuovilla töpöttelemällä, mutta lastalla saa paremman lopputuloksen
- ❖ Liiman ei tarvitse olla tasainen noin 2cm etäisyydeltä reunoista

LETKUJEN JA SUODATTIMIEN TARKISTUS

VAIHEET

- 1) Irrota laitteen kansi kuusiokoloavaimella
- 2) Jos letkuissa on irtokappaleita tai likaa, irrota ne kummastakin päästä vetämällä niitä
- 3) Puhdista letkut paineilmalla tai heiluttelemalla
- 4) Laita letkut takaisin kuvan osoittamaan asentoon ja varmista etteivät ne voi liittyä toimilaitteiden liikkeessä
- 5) Nosta suodattimet ylös vetämällä ja tarkista että ne ovat puhtaat ja ehjät
- 6) Laita suodattimet takaisin ja kiinnitä laitteen kansi takaisin



TARVIKKEET

- ❖ Kuusiokoloavain 2mm

HUOMIOT

- ❖ Letkut jäävät helposti huonoon asentoon. Varmista kannen kiinnityksen jälkeen, että letkut eivät tulostimen liikkeessä ääri-asennosta toiseen, pääse liitistymään

SUUTINTEN PUHDISTUS JA VAIHTO

VAIHEET

- 1) Lämmitä suuttimet noin 220°C lämpötilaan
- 2) Avaa vastuskiekon/suuttimen pidätinruuvi kuusiokoloavaimella
- 3) Vedä vastuskiekkö (alas päin) pihdeillä pois suuttimen ympäriltä
- 4) Ota pihdeillä kiinni suuttimen paksusta kohdasta ja pyöritä se irti
- 5) Vaihda tai pese suutin asetoni kylvyssä ja/tai messinkiharjalla ja pyöritä suutin takaisin paikalleen
- 6) Laita vastuskiekkö takaisin paikalleen ja kiristä kevyesti



VARO KUUMAA SUUTINTA



TARVIKKEET

- ❖ Kuusiokoloavain 2mm
- ❖ Asetonia, astia ja ilmastointi
- ❖ Messinki harja

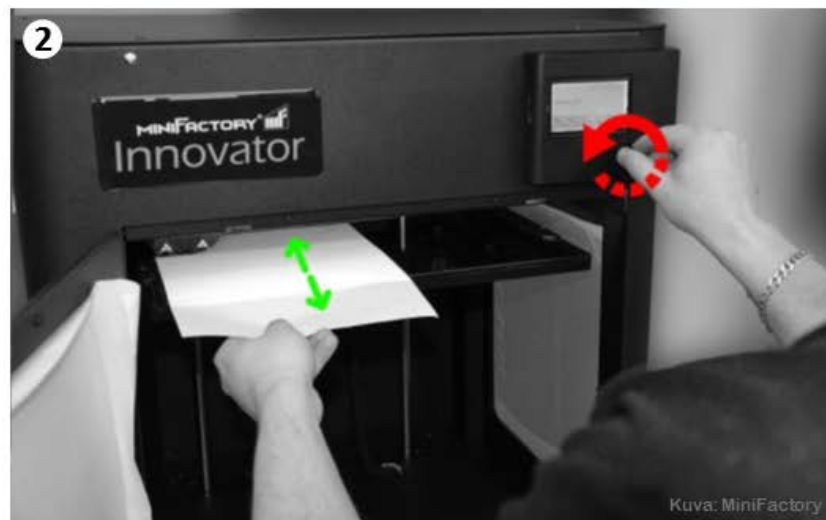
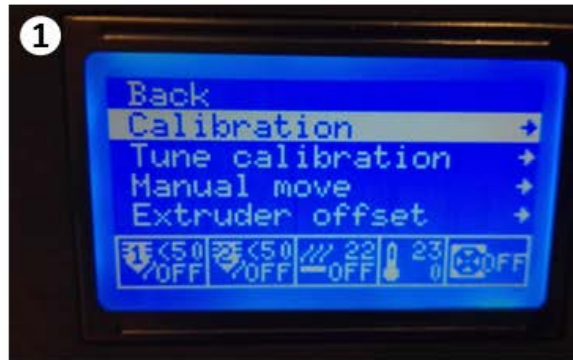
HUOMIOT

- ❖ VARO KUUMAA SUUTINTA!
- ❖ Kiristä suutin ja pidätin ruuvi kevyesti ja oikeasta kohdasta
- ❖ Jos käytät asetoni kylpyä, varmista ilmastointi, suorita se ulkotiloissa tai käytä suljettua astiaa
- ❖ Muovi lähtee messinkiharjalla parhaiten, kun osat on lämmitetty

SUUTINTEN KORKEUSKALIBROINTI

VAIHEET

- 1) Aloita tasokalibrointi polusta: Aloitusnäyttö -> Menu -> Calibration
- 2) Liikuta paperiarkkia suuttimien ja valmistusalustan välissä ja nosta alustaa ohjauspaneelin nappia pyörittämällä, kunnes tunnet suuttimen hankaavan paperiarkkia kevyesti. Mikäli paperi ei liiku tai liikuu todella nihkeästi, laske alustaa yksi pykälä.
- 3) Paina ohjauspaneelin nappia hyväksyäksesi kalibroinnin.
- 4) Toista kohdat 1-3 kaikissa yhdeksässä kohdassa, joihin tulostin ajaa tulostinpään.



Kuva: MiniFactory

TARVIKKEET

- ❖ Paperiarkki

HUOMIOT

- ❖ Jos käytät yhtä suutinta, varmista että toinen suutin on ylempänä tai samalla tasolla kuin käytettävä suutin. Jos käytät kahta suutinta, varmista että suuttimet on tasokalibroitu.

SUUTINTEN TASOKALIBROINTI

VAIHEET

- 1) Poista filamentit ja ylimääräiset muovit suutinten kärjistä teräslastalla, tarvittaessa lämmittämällä suuttimet
- 2) Käynnistä tasokalibrointi polusta: Aloitusnäyttö -> Menu -> Adjust Nozzles
- 3) Poista tulostinpään kuori ja löysää suutinpaketit
- 4) Nosta valmistustaso lähes niin ylös kuin mahdollista (esim. 0.2mm), siten että suuttimet liikkuvat vielä jonkin verran pystysuunnassa
- 5) Aseta vasemman suuttimen alle paperiarikki ja liikuttele suutinta ja paperia kunnes paperi liikkuu nihkeästi
- 6) Kiristä vasen suutin ja toista kohta 5 oikealle suuttimelle
- 7) Varmista lopuksi että paperi liikkuu yhtä nihkeästi kummankin suuttimen alla ja suorita lopuksi suutinten korkeuskalibrointi!



TARVIKKEET

- ❖ Kuusiokoloavaimia: 2mm, 2.5mm
- ❖ Paperiarikki
- ❖ Teräslasta

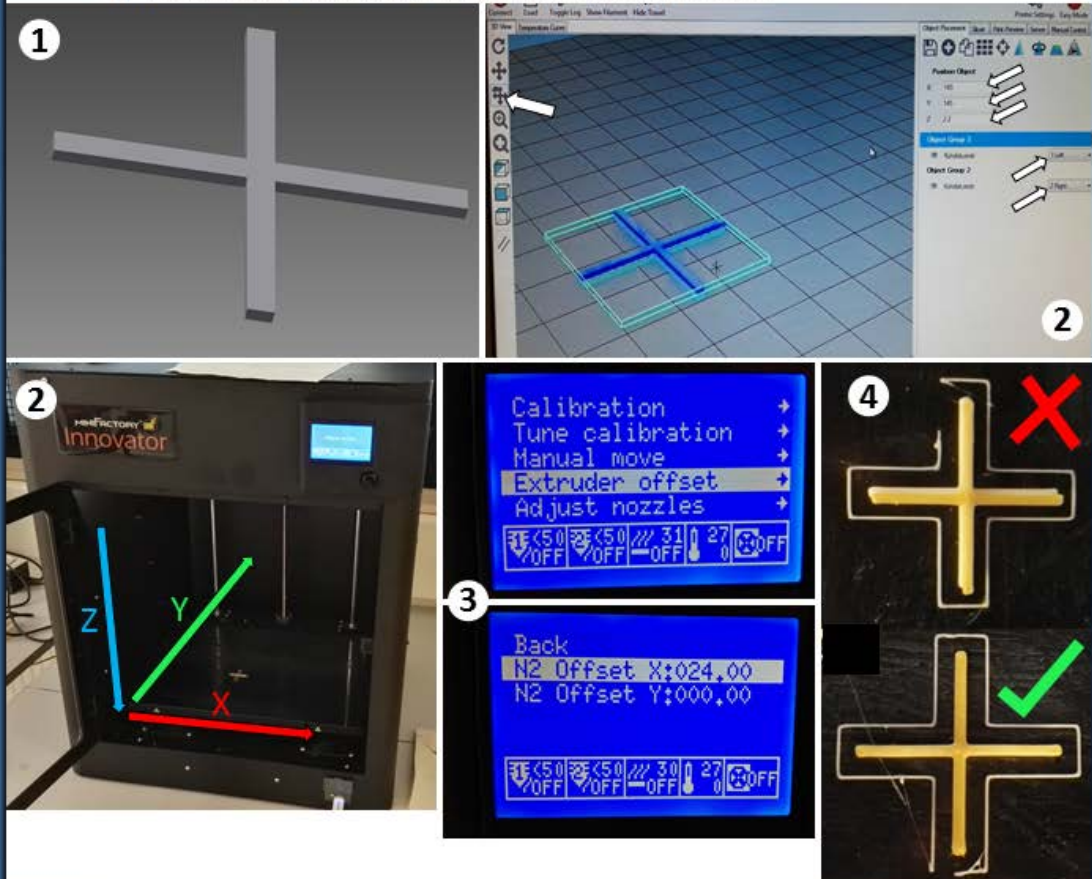
HUOMIOT

- ❖ Valmistustaso voi olla vino, joten varmista että suuttimien eivät missään tilanteessa tai kohdassa voi törmätä siihen
- ❖ Jos lämmität suuttimia, vältä palovammat antamalla suuttimien jäähtyä, tai käyttämällä pihtejä
- ❖ Tasaiset suuttimien päät voi valmistaa lämmittämällä suuttimet, ja painamalla niitä tasaisesti teräslastalla kunnes ne ovat jäähtyneet

SUUTINTEN KESKINÄINEN KOHDISTUS

VAIHEET

- 1) Mallinna lättänä 2-3mm paksu kohdistusristi
- 2) Tulosta ristiä kaksi kappaletta päällekkäin, alempi vasemmalla ja ylempi oikealla suuttimella. Varmista viipalointiohjelmassa, että ristien X- ja Y-koordinaatit ovat tarkasti kohdakkain ja että ristit ovat päällekkäin
- 3) Navigoi laitteen näytöllä polkuun: Aloitusvalikko -> Menu -> Extruder Offset. Näytöllä näet nyt oikean puoleisen suuttimen etäisyyden vasemmasta, X- ja Y-akselien suunnassa
- 4) Tutki tulosteesta, mihin suuntaan ylemmää ristiä pitää siirtää, jotta se on samalla kohdalla alemman kanssa
- 5) Jos ylemmää ristiä pitää siirtää vasemmalle, X-arvoa pienennetään. Jos oikealle, X-arvoa suurennetaan.
- 6) Jos ylemmää ristiä pitää siirtää kohti takaseinää, Y-arvoa suurennetaan. Jos tulostajaa kohti, Y-arvoa pienennetään.
- 7) Tulosta uudestaan ja toista arvojen säätö kunnes ristit tulostuvat kohdakkain



TARVIKKEET

- ❖ Kaksi filamenttia, mieluiten PLA
- ❖ Kohdistusristin malli ja Repetier Host-ohjelma tai valmis kohdistus G-koodi

HUOMIOT

- ❖ Kohdistusristiin voi mallintaa myös esimerkiksi nuolet osoittamaan koordinaattien suuntia, jotta ristit voi irrottaa ja tarkastella niitä lähempää