



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JOONAS KORTELAINEN

Opas 3D-tulostuksen yleisimpiin tekniikoihin ja niiden haasteiden ratkaisemiseen

AUTOMAATIOTEKNOLOGIAN KOULUTUSOHJELMA

2019

Tekijä(t) Kortelainen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä Joulukuu 2019
	Sivumäärä 91	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Opas 3D-tulostuksen yleisimpiin tekniikoihin ja niiden haasteiden ratkaisemiseen		
Tutkinto-ohjelma Automaatioteknologian koulutusohjelma		
<p>Tässä opinnäytetyössä tuotettiin opas 3D-tulostuksen yleisimpiin ongelmatilanteisiin ja niiden ratkaisemiseen. Käsiteltäviksi 3D-tulostusteknologioiksi valittiin FDM- ja MSLA-teknologiat niiden yleisyyden vuoksi.</p> <p>Tämä tutkimus toteutettiin konkreettisin menetelmin, kokeilemalla ja tuottamalla ongelmatapauksia tarkoituksella, sekä ratkaisemalla niitä saatavilla olevin keinoin sekä kokemuksen tuoman ratkaisukeskeisen toimintatavan avulla.</p> <p>Tuloksena on tämä opinnäytetyön muotoon kirjoitettu opas valittujen 3D-tulostustekniikoiden yleisimpiin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Ratkaisut näihin ongelmiin on tuotu esille ytimekkäästi sekä konkreettisin askelein.</p> <p>Lopuksi oli hyvä huomata, kuinka paljon ongelmia 3D-tulostamisessa näillä valituilla teknologioilla oikeastaan on. Käsitellyt ongelmat ovat yleisimpiä näillä tulostustekniikoilla esille tulevia ongelmia, mutta muitakin ongelmia saattaa esiintyä.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> 3D-tulostus, ongelmanratkaisu, 3D-tulostimet</p>		

Author(s) Kortelainen, Joonas	Type of Publication Master's thesis	Date December 2019
	Number of pages 91	Language of publication: Finnish
Title of publication Guide to most common 3D-printing technologies and solving their challenges		
Degree programme Automation technology		
<p>The purpose of this thesis was to create a guide to most common problems when 3D-printing. The technologies chosen for this was FDM and MSLA printing technologies, because of their commonness.</p> <p>This study was conducted in concrete way, experimenting and producing problems intentionally, then solving them with solutions and techniques which are common and gained through experience.</p> <p>As a result, this thesis was written as a guide to the most common problems with these chosen technologies. Solutions to the problems were showcased in simple and effective steps.</p> <p>In the end, it was interesting to notice, how many problems do exist when 3D-printing. The problems faced and tangled in this thesis were the most common ones but there can exist other problems too.</p>		
<u>Key words</u> 3D-printing, problem solving, 3D-printers		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	7
3	3D-TULOSTUKSEN HISTORIA	9
4	3D-TULOSTUSMENETELMIEN ESITTELY	13
4.1	FDM - Muovipursotus	14
4.1.1	FDM-tulostimen toimintaperiaate	14
4.1.2	FDM-tulostimen osat.....	18
4.1.3	FDM-tulostimen materiaalit	27
4.1.4	FDM-tulostimia	30
4.2	SLA/MSLA.....	31
4.2.1	SLA/MSLA -tulostimen toimintaperiaate	31
4.2.2	SLA/MSLA-tulostimien osat.....	34
4.2.3	SLA/MSLA-tulostimien materiaalit	34
4.2.4	SLA/MSLA-tulostimia	35
5	3D-TULOSTUSOHJELMISTOT	37
5.1	Mallinnusohjelmat 3D-tulostusta varten.....	37
5.1.1	Tinkercad	37
5.1.2	Fusion 360	38
5.1.3	OpenSCAD	39
5.1.4	Blender	40
5.1.5	Solidworks	40
5.2	Viipalointiohjelmistot FDM-tulostimelle	41
5.2.1	Cura	42
5.2.2	Slic3r	43
5.2.3	PrusaSlicer	44
5.2.4	Simplify3D	44
5.3	FDM-tulostimen viipalointiohjelmiston asetuksien vaikutus tulosteeseen..	45
5.3.1	Suuttimen ja tulostuspedin lämpötila	45
5.3.2	Kerrosvahvuus	46
5.3.3	Seinä vahvuus	46
5.3.4	Täyttömäärä ja täyttökuvio.....	47
5.3.5	Takaisinvento	48
5.3.6	Tuet	49
5.3.7	Kiinnittyvyys tulostuspetiin.....	50
5.4	Viipalointiohjelmistot MSLA-laitteille.....	53

5.4.1	ChituBox	54
5.4.2	PrusaSlicer	55
5.5	MSLA-tulostimen tulostusohjelmiston asetukset	55
5.5.1	Laiteasetukset	56
5.5.2	Tulostuasetukset	56
6	FDM-TULOSTIMIEN HAASTEET JA ONGELMAT SEKÄ NIIDEN RATKAISUT	59
6.1	Case 1: Tulosteen tarttuvuus tulostuspetiin	59
6.2	Case 2: Tuloste on noussut yhdestä nurkasta.....	68
6.3	Case 3: Tulosteessa on reikiä ja selkeästi puuttuu osia, syöttö on epätasaista	69
6.4	Case 4: Tulosteen ulkomitat eivät pidä paikkaansa	72
6.5	Case 5: Tulostimen tulostuspää on tukossa	76
6.6	Case 6: tulostimen tulostuspään päällä on materiaalia ja sitä vuotaa tulosteeseen.....	77
6.7	Case 7: Tuloste aloittaa uuden kerroksen hieman sivusta	78
7	MSLA-TULOSTIMEN ONGELMIA JA NIIDEN RATKAISUJA	81
7.1	Case 8: Tuloste ei pysy tulostuspedissä kiinni.....	81
7.2	Case 9: FEP-filmissä on vikaa	87
7.3	Case 10: LCD-näyttö tai UV-valo on rikki.....	87
7.4	Case 11: Tulosteen pohja pysyy tulostusalustassa kiinni, mutta tukien varassa oleva kappale irtoaa	88
8	TULEVAISUUS	89
	LÄHTEET	90

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää 3D-tulostukseen opas, jossa esitellään yleisimpiä 3D-tulostusmenetelmiä, käydään läpi niiden hyötyjä omissa kohteissaan, sekä pohditaan eri tekniikoiden etuja ja haittoja konkreettisten esimerkkien kautta. Useimmista perinteisistä, jopa kuluttajille saatavilla olevista latteista käydään läpi käytännönläheisiä esimerkkejä omakohtaisten kokeilujen ja testien perusteella. Tässä opinnäytetyössä paneudutaan myös tarkemmin siihen, miten yleisimpien 3D-tulostusmenetelmien tyypillisimmät ongelmat voidaan ratkaista.

Yksi merkittävä syy tällaisen oppaan tekemiseen oli se, että tällaista ei ole tehty vielä suomenkielellä. Muilla kielillä, varsinkin englanninkielellä, opasmaista materiaalia on saatavilla. Yritysten kanssa tehdyn melko laajankin 3D-tulostukseen liittyvän yhteistyön perusteella koettiin tärkeäksi, että omalla kielellä löytyisi jokin opas, jota apuna käyttäen voitaisiin ratkaista monia tulostukseen liittyviä ongelmia.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän kehittämistyön tekeminen on luonteeltaan konstruktiiivista. Kaiken tutkimuksen ja kehittämisen taustalla on siis konstruktiiivinen tutkimusote. Konstruktiiivisella tutkimusotteella tavoitellaan todellisten ongelmien ja kehittämistarpeiden ratkaisemista. Tämän tutkimusotteen taustalla on selkeä pyrkimys tuottaa kokeiluihin ja testaukseen perustuvaa, mutta samalla teoreettiseen tietämykseen pohjautuvaa uutta tietoa. Erityistä huomiota kiinnitetään konstruktivismiin mukaisesti empiiristen löydösten sitomiseen ja selittämiseen teorian näkökulmasta. Tämän kehittämistyön tarkoituksena on tehdä kokeellisia 3D-tulostustestejä sekä tarkastella niissä syntyviä mahdollisia ongelmia. Tämän kautta jalostetaan parempia 3D-tulostukseen käytäntöjä konstruktiiivisen tutkimusotteen mukaisesti. (Lukka 2001.)

Varsinainen kehittämistyön tutkimusvaihe toteutetaan case-tutkimuksen menetelmin, koska erilliset kokeelliset 3D-tulostustestit toteutetaan case-tutkimuksen vaiheita seuraten. Case-tutkimus on tähän kehittämistyöhön hyvä kokeellinen menetelmä, koska tutkittavat tapaukset ovat hyvin yksilöllisiä ja niistä jokaista tutkitaan omasta erityisestä näkökulmastaan. Osassa tapauksista kuitenkin yhdistyy useampia syy-seuraussuhteita. Case-tutkimusmenetelmän mukaisesti tämän kehittämistyön tapaukset kytkeytyvät tiiviisti tunnettuihin teorioihin ja niiden kautta muodostetaan analyysseja ja johtopäätöksiä. Tämä kehittämistyö on case-tutkimusmenetelmän mukaista siitäkin näkökulmasta, että tiedonjalostaminen perustuu pitkälti tapausten perusteella tehtyihin havaintoihin. Kehittämistyön tapaukset on valittu hyvin tarkoituksenmukaisesti, eikä mitään satunnaisotantaa hyödynnetä. Tässä tapauksessa valinta on tehty tapausten yleisyyden perusteella. Tälle kehittämistyölle on asetettu tavoitteet ja niiden perusteella on tehty suunnitelma, mutta Case-tutkimusmenetelmän mukaisesti suunnitelmaa voidaan muuttaa, jos tapaukset niin vaativat. Näin tutkimussuunnitelma muotoutuu lopulliseen muotoonsa kehitystyötä tehtäessä. (Aaltio-Marjosola 1999; Tilastokeskus www-sivut n.d.)

Konstruktiiivisen tutkimusotteen ja case-tutkimusmenetelmän mukaisesti tämän kehittämistyön suunnitelma on seuraavanlainen:

1. Valitaan käsiteltävät 3D-tulostusmenetelmät

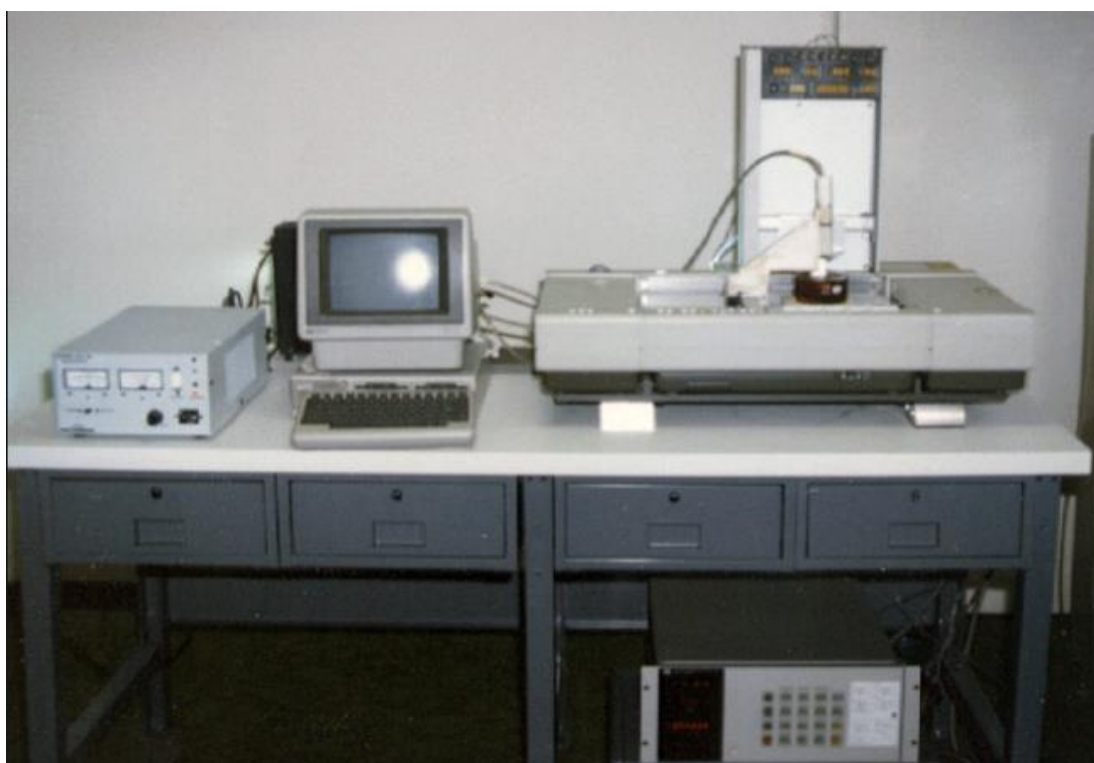
2. Tutustutaan valittujen 3D-tulostumenetelmien teoriaan
3. Valitaan tutkittavat 3D-tulostustapaukset
4. Tutkitaan ja analysoidaan tapaukset
5. Reflektoidaan tapauksia ja niiden tuloksia teoriaan
6. Tehdään johtopäätökset

Kehittämistyön suunnitelman taustalla on tutkimuskysymys, jonka tavoitteena on selvittää valittujen 3D-tulostusmenetelmien ongelmia sekä niiden ratkaisuja.

Tässä opinnäytetyössä case-tutkimuksen caseja ovat FDM- ja MSLA-tulostuksen yleisimmät ongelmat. Ongelmia käsitellään konkreettisina caseina ja niihin haetaan vastauksia teoriapohjalta mutta erityisesti konkreettisten kokeilujen ja analyysien avulla. Casejen lopputulokset esitetään case-kohtaisina ratkaisuina, jotka kirjoitetaan konkreettisten ohjeiden muotoon. Näin teoriaan pohjautuvaa tietoa jalostetaan helpommin hyödynnettävään muotoon.

3 3D-TULOSTUKSEN HISTORIA

Vaikka ei heti uskoisi, niin 3D-tulostaminen on päässyt iältään jo keski-ikään. Teknologia on kehitelty alun perin vuonna 1980, jolloin Hideo Kodama haki patenttia laitteelle, jolla voitiin tehdä prototyyppkejä nopeasti. Kodama ei kuitenkaan onnistunut täydentämään hakemustaan vuodessa, joten hän ei saanut patenttia. Muutaman vuoden päästä, amerikkalainen Charles Hull kuitenkin kehitti laitteen, joka käytti laseria kovettaakseen hartsia. Tästä tuli ensimmäinen stereolitografiaan perustuva tulostin. Kolme vuotta myöhemmin Charles Hull haki patenttia laitteelleen ja perusti 3D Systems Corporationin, joka tunnetaan yhtenä isoimmista 3D-tulostinvalmistajista nykypäivänä. 3D Systemsin ensimmäinen tulostin esiteltiin markkinoille vuonna 1988. Se kantoi nimeä SLA-1 (Kuva 1). Samana vuonna 3D Systems kehitti myös STL-tiedostoformaatin juuri SLA-1 -tulostinta varten. Tämä tiedostoformaatti on vieläkin käytössä nykypäivänä suurimmassa osassa 3D-tulostimia ja muitakin 3D-mallinnusohjelmistoja. (Greguric 2018; Gaget 2019.)



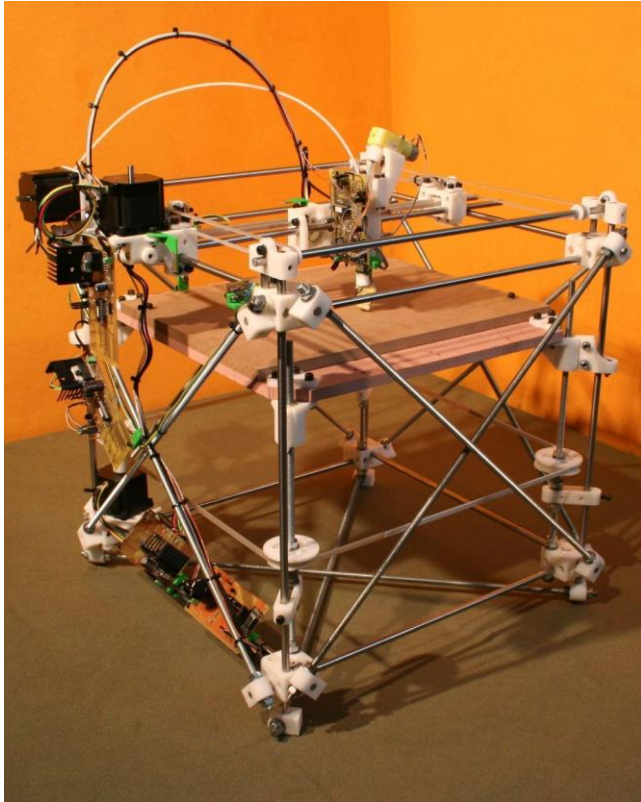
Kuva 1. SLA-1 tulostin, ensimmäinen markkinoille tuotu 3D-tulostin (Greguric 2018)

1980-luku ei jäänyt ilman toistakin merkittävää kehitysaskelta koskien 3D-tulostuksen maailmaa, sillä vuonna 1987 Carl Deckard kehitti tulostinta, joka hyödynsi laseria ja

muovijauhetta. Se sai nimekseen SLS (Selective Laser Sintering). Carl haki keksinnölleen patenttia ja sai sen vuonna 1989. Vuonna 1988 Scott Crump kehitti laitteen, jolla voitiin muodostaa kappaleita pursottamalla materiaali. Hän perusti myöhemmin Stratasys Inc: in. 1980-luku oli siis mullistava 3D-tulostukselle. Silloin kaikki alkoi tällä ihmeellisellä ja mullistavalla alalla, joka muokkaa meidän maailmaamme vielä tänäkin päivänä. (Greguric 2018; Gaget 2019.)

1990-luvulla keskityttiin enemmän laitteiden kehitykseen ja patenteihin. Staratasys sai patentin materiaalia pursottavalle tulostimelle vuonna 1992. Myös useampi muu teknologia kehittyi. Näitä olivat mm. SGC- (Solid Ground Curing), LOM- (Laminated Object Manufacturing) ja FDM-teknologiat (Fused Deposition Modeling). (Segura 2017.)

Vuonna 2001 tuli ensimmäinen helposti pöydälle mahtuva 3D-tulostin markkinoille Soliddimensionilta. EOS kehitti ensimmäisen metalli-3D-tulostimen vuonna 2003. Vuoteen 2007 mennessä kuitenkin kaikki 3D-tulostimet olivat hinnoiltaan yli 10 000 \$, eivätkä olleet millään tavalla saatavilla kuin isoimmille yrityksille ja yliopistoille tai tutkimuslaitoksille. Tähän Dr. Adrian Bowyerin halusi toteuttaa RepRap-projektin tuomaan muutosta. Hän aloitti projektinsa vuonna 2004. RepRap-projektin taustalla oli idea, että voitiin luoda laite, joka voi sitten luoda osia, että saadaan tehtyä toinen samanlainen laite. Nimi RepRap tarkoittaa ”Replicating Rapid prototyper”. Vuonna 2007 projekti julkaisi ensimmäisen laitteen nimeltään ”Darwin” (Kuva 2). Tästä lähti liikkeelle muutos maailmalla. Useampi asiasta kiinnostunut alkoi etsiä osia laitteita varten ja näin näillä laitteilla tulostettiin uusia osia seuraaville laitteille. (Greguric 2018; Gaget 2019; All3dp-sivusto 2016.)



Kuva 2. RepRap Darwin 3D-tulostin (Bowyer 2007)

Vuonna 2009 laitteesta tuli toinen versio nimeltään ”Mendel” (Kuva 3). Se oli muodoltaan hieman erilainen, mutta paranteli vikoja, joita Darwinissa oli ilmennyt. Mendel oli hivenen helpompi rakentaa, vaati vähemmän osia ja vei pienemmän tilan pöydältä. (All3dp-sivusto 2016.)



Kuva 3. RepRap Mendel 3D-tulostin (Bowyer 2009)

Tästä seurasi useiden muidenkin asiantuntijoiden osallistuminen projektiin ja Mendelin kehittämiseen vielä eteenpäin. Kuitenkin vuonna 2009 tärkeä FDM-patentti raukesi ja siitä seurasi useiden eri nykypäivänä tunnettujen 3D-tulostusvalmistajien kilpajuoksu siitä, kuka saa nopeimmin tuotteensa kuluttajille. Tällaisia valmistajia ovat MakerBot, Prusa Research, Ultimaker, Lulzbot sekä useat muut. Useita patenteja raukesi myös vuosina 2013-2014 mahdollistaen uusien yritysten syntymisen SLA- ja SLS-tulostusteknologioiden ympärille. (All3dp-sivusto 2016.)

4 3D-TULOSTUSMENETELMIEN ESITTELY

Tässä kappaleessa käydään läpi kehittämistyöhön valittujen 3D-tulostusmenetelmien teoriaa. Tähän kehittämistyöhön valitut 3D-tulostusmenetelmät ovat muovipursotustulostus (FDM), stereolitografia (SLA) sekä sen erityismuoto maskattu stereolitografia (MSLA). Nämä kolme menetelmää valittiin kehittämistyön aiheiksi, koska ne ovat suurimman käyttäjäkunnan saavuttaneet 3D-tulostusmenetelmät. Niiden suosio perustuu pitkälti laitteiden edulliseen hintaan, helppokäyttöisyyteen sekä laajaan saatavuuteen.

3D-tulostus on materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä, joka koostuu muutamasta eri vaiheesta: ideasta/tarpeesta, 3d-mallinnuksesta, tiedostonluonnista, viipaloinnista sekä itse tulostusprosessista.

Kun tarve jollekin tietylle kappaleelle on olemassa tai syntyy idea jostain, mikä olisi hyvä toteuttaa, alkaa prosessi, joka koostuu useista vaiheista. Ensin ideaa tai aihetta pyöritellään päässä sen jalostamiseksi tai tarkentamiseksi. Tämän jälkeen käynnistetään 3D-mallinnusohjelmisto (Solidworks, Fusion360, OpenScad, Sketchup tai Tinkercad) ja mallinnetaan haluttu kappale mahdollisimman tarkkaan mittojen mukaisesti. Mallintamisessa tulee myös ottaa huomioon 3D-tulostamisessa esiintyvät rajoitteet eli mitä voidaan tehdä milläkin teknologialla niin, että kappaleesta tulee tarkoitustaan vastaava. 3D-tulostusteknologia tarjoaa ratkaisun moneen asiaan, mutta kaikkeen ei välttämättä voida tarjota ratkaisua, koska jokainen tulostusteknologia poikkeaa toisesta. (Additive Manufacturing 2018.)

Kun malli saadaan luotua halutulla ohjelmistolla, se tulee tallentaa muodossa, jossa viipalointiohjelmat sen ymmärtävät. Yleisin tiedostomuoto on STL. STL-tiedosto koostuu pienistä kolmioista, jotka muodostavat itse kappaleen. Tuettuja tiedostomuotoja ovat myös .OBJ ja .3MF, mutta ne eivät ole läheskään yhtä yleisesti käytettyjä. 3MF-tiedostosta pyritään kuitenkin luomaan alan uusi standardi sen mahdollistamien ominaisuuksien vuoksi. (Koci 2019; 3DHubs 2019.)

Mallinnusohjelmasta ladattu STL-tiedosto tuodaan viipalointiohjelmaan, jonne valitaan asetuksista haluttu tarkkuus, tulostusvahvuus, tulostusnopeus sekä materiaaliasetukset. Tämän jälkeen ajetaan viipalointiprosessi, joka tekee 3D-mallista kerrosmallin. Sitten viipalointiohjelmisto käy tämän syntyneen kerrosmallin läpi ja rakentaa työkaluradat tulostimelle G-code -tiedostoon. (3DHubs 2019.)

G-code -tiedosto tallennetaan USB-tikulle tai muistikortille, joka viedään 3D-tulostimeen. 3D-tulostimella valikosta valitaan tallennettu tiedosto ja painetaan tulostin päälle. Näin 3D-tulostin aloittaa tulostusprosessin. Prosessin valmistuttua tulostin ajaa itsensä kotiin ja jäähdyttää tulostuspedin, jotta kappale saadaan otettua alustasta irti. Näin on syntynyt ideasta malli, mallista kolmiomalli, kolmiomallista viipalemalli, viipalemallista työkalunajorata ja työkalunajoradasta lopullinen käytettävä kappale. (3DHubs 2019.)

Seuraavissa kappaleissa kuvataan tarkemmin tähän kehittämistyöhön valitut tulostustekniikat sekä niiden mukaisia laitteita.

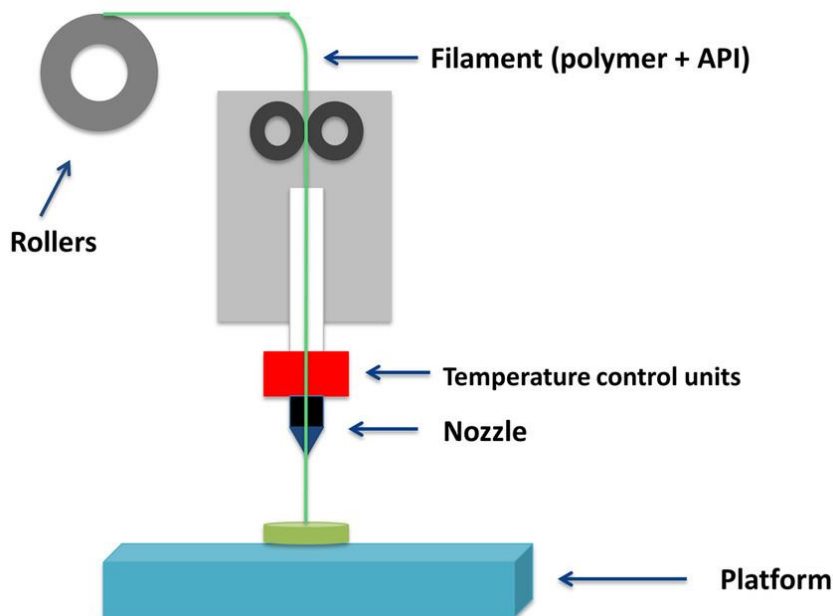
4.1 FDM - Muovipursotus

Materiaalin pursotus on maailmalle laajimmin levinnyt tapa 3D-tulostaa esineitä eli luoda tyhjästä jotain olemassa olevaa. FDM-teknologia kehittyi vuoden 2009 patenttien raukeamisen jälkeen räjähdysmäisesti, sillä laitevalmistajia alkoi ilmestyä useista eri maista. Innovaatiot näiden 3D-tulostimien ympärillä ovat tällä hetkellä hieman pysähtyneet. Ainoa edistys näiden ympärillä tapahtuu tarkkuuden, nopeuden sekä materiaalivalikoiman osalta. Nämä kaikki kolme ominaisuutta ovat jatkuvasti kehittyviä, mutta mitään muuta poikkeavaa tai mullistavaa ei näytä olevan tulossa. (3DHubs 2019; Štríteský 2019.)

4.1.1 FDM-tulostimen toimintaperiaate

FDM-tulostusteknologia perustuu siihen, että tulostuspedin päällä liikkuu suutin X- ja Y-suuntaan (Kuva 4). Materiaalia ajetaan suuttimeen hammasrattaiden avulla. Läm-

mitettyyn suuttimeen päästyään materiaali pursottuu suuttimen kärjessä olevasta huomattavasti pienemmästä reiästä kuumalle tulostuspedille. Tämän aikana tulostuspää liikkuu jatkuvasti eri suuntiin tulostuspedillä, jotta kappaleen haluttu muoto saavutetaan suunnitellulla kerrosvahvuudella. Kun kyseisen kerrosvahvuuden viemä tila on täytetty, tulostin laskee tai nostaa tulostuspetiään, riippuen tulostimen kinematiikasta. (3DHubs 2019; Štríteský 2019.)



Kuva 4. FDM-tulostimen toimintaperiaate (Konta, Serrano & Garcia 2017)

FDM-tulostintyyppäjä on useita erilaisia. Myös niiden muovinpursotustavat ovat hi-venen erilaisia. FDM-teknologiassa on käytössä niin sanottua suorasyöttöä (Direct) ja etäsyöttöä (Bowden).

Suorasyöttö

Suorasyöttötulostimessa materiaalin pursotus tapahtuu niin, että tulostin kuljettaa koko moottorikoneistoa ja syötinmekaniikkaa tulostuspään mukana, mikä tuo paljon liikuttavaa lisämassaa. Tämä materiaalin pursotustapa mahdollistaa paremman syötön materiaalille johtuen siitä, että materiaalin kulkema matka syötinkoneistolta suuttimeen on niin pieni. Tämän etu on myös se, ettei välttämättä tarvita niin tehokasta moottoria, kun ei tarvitse työntää muovilankaa niin pitkää matkaa. Merkityksellisin

hyöty suorasyöttökoneistossa on kuitenkin se, että sillä voidaan tulostaa laajempi valikoima materiaaleja. Esimerkiksi joustavat materiaalit toimivat huomattavasti paremmin, kun käytössä on suorasyöttö. (Mensley 2019.)

Etäsyöttö

Etäsyöttö- eli Bowden-tyyppisissä tulostimissa syötinkoneisto on sijoitettuna itse laitteen runkoon, jolloin tulostuspään mukana oleva massa pienenee heti moottorin ja koneiston verran. Vähenevä massa voi olla jopa 300 g. Tällä on suuri vaikutus siihen, kuinka nopeasti ja millaisilla kiihtyvyyksillä 3D-tulostin voi liikkua. Tämän ansiosta myös virheet, jotka tulevat massan liian nopeasta liikuttamisesta, vähenevät. Ei tämään tyyppi silti ole ongelmaton. Bowden-tyyppisessä tulostimessa tarvitaan nimittäin vahvempi syötinkoneisto ja/tai moottori sekä pitkä syöttöputki. Syöttöputki on tietenkin aina materiaalin paksuutta hieman isompi, jolloin materiaalille jää hieman liikuma varaa. Tämä voi aiheuttaa epätasaista materiaalin syöttöä. (Mensley 2019.)

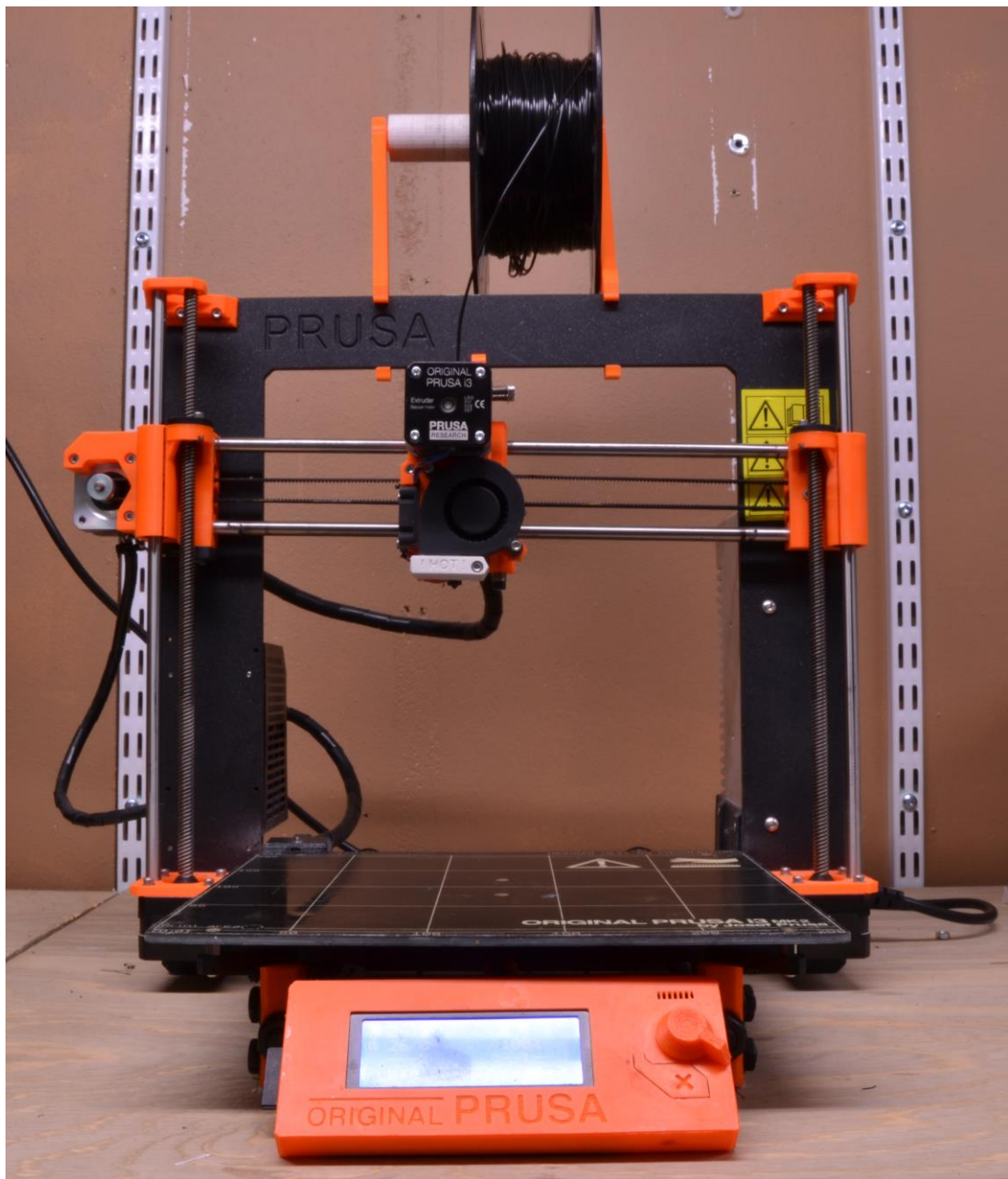
Yksi 3D-tulostinten ominaisuus on se, että kun tulostin saa kerroksen tehtyä ja sen on tarkoitus siirtyä paikasta A paikkaan B jatkamaan tulostusta, se vetää materiaalia hieman takaisin päin kuumasta suutinpäästä, jotta materiaalin erityys loppuisi. Jos materiaalin ”takaisinvetoa” ei tehtäisi, materiaalia jäisi kuumaan tulostuspäähän ja sitä tippuisi joko tulosteeseen tai tulostuspedille. Tämä vaikuttaisi loppukappaleeseen esteettisesti. Tämän estämiseksi tulostimet käyttävät takaisinvetoa. Bowden-ratkaisussa tämä on hieman hankalampaa juuri sen pitkän PTFE-putken takia. (Mensley 2019.)

Kinematiikka

FDM-tulostimien kinematiikat vaihtelevat hieman. On olemassa kaksi päätyyppiä, joita on maailmalla laajasti käytössä työpöytäkokoisissa 3D-tulostimissa. Nämä kaksi kinematiikkaa tai tulostinmallia ovat cartesian ja delta. (Mensley 2019.)

Cartesian-tyyppinen 3D-tulostin (Kuva 5) perustuu siihen, että siinä on X-, Y- sekä Z-akselit. Nimi Cartesian johtaakin juuri koordinaattijärjestelmästä. Cartesian-tyylisessä 3D-tulostimessa kaikki akselit liikkuvat lineaarisesti omiin osoitettuihin suuntiinsa, eikä taustalle vaadita monimutkaista matematiikkaa prosessoimaan vaadittua kinematiikkaa. Myös näissä tulostimissa peti liikkuu joko Z- tai Y-akselin suuntaisesti. Näi-

den haittana on se, että jos tulostimen koko kasvaa ja peti liikkuu Y-akselin suuntaisesti, niin jälleen kerran liikkuvat massat voiva aiheuttaa mahdollisia heijastuskuvioita kappaleen pintaan, ellei näitä asioita oteta huomioon tulostimen laiteohjelmistossa. Cartesian-tulostimia on pariakin eri tyyppiä. On tulostimia, joissa peti liikkuu Y-suuntaan sekä niitä, joissa suutinpää on X-akselissa kiinni. (Mensley 2019.)



Kuva 5. Cartesian-tyylinen 3D-tulostin, tunnetuin niistä, Prusa i3 MK2

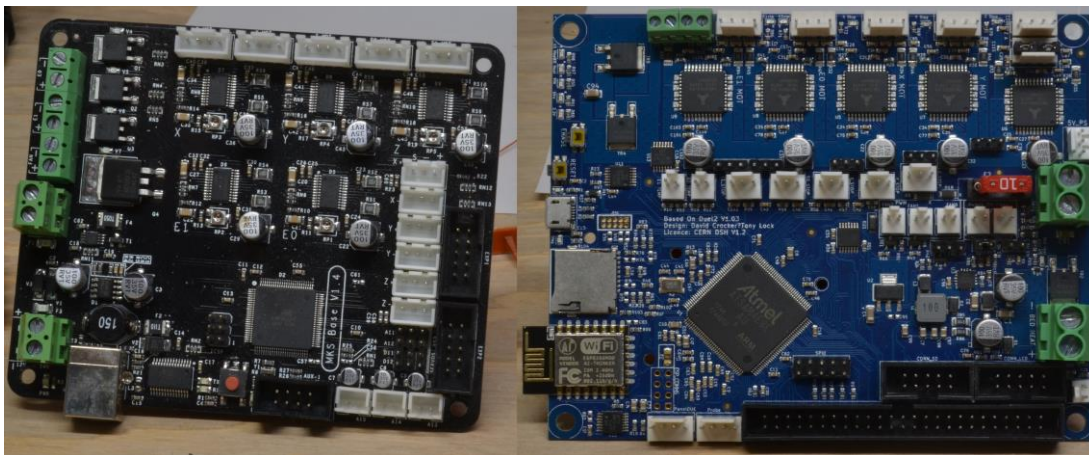
Delta-tyyppiset 3D-tulostimet poikkeavat Cartesian-tyylisistä siten, että niiden tulosuspäätä liikutetaan kolmiopohjaisen särmäkartioiden muotoisen mekaniikan avulla. Jokainen särmäkartioiden särmä on yksi tanko, joka toimii akselina. Näin liikutettavan tulosuspään alla on peti, johon tulostetaan. Delta-tulostin on tyypillisesti paljon nopeampi kuin Cartesian-tyylinen tulostin. Niiden haittapuolena on kuitenkin se, että niiden rakentaminen, konfigurointi ja kalibrointi on vaikeampaa kuin perinteisen Cartesian-tyyppisen 3D-tulostimen. Tähänkin on kuitenkin lähiaikoina tullut hieman muutoksia, kun laiteohjelmistot ovat kehittyneet. (Mensley 2019.)

4.1.2 FDM-tulostimen osat

Materiaalia pursottava 3D-tulostin koostuu useasta eri osasta. Onneksi nämä osat ovat kaikki sellaisia, että niiden rikkoutuessa ne voidaan vaihtaa uusiin ja 3D-tulostin voi jatkaa toimintaansa. Kaikki tulostimen osat ovat periaatteessa sellaisia, että ne tai niissä olevat pienet osat voidaan koska tahansa vaihtaa niin, että tulostin on takaisin tulostamassa jo muutaman minuutin päästä osan vaihdoksen jälkeen. Melkein kaikki komponentit ovat kuluvia osia lukuun ottamatta runkoa, joka ei tietenkään kulu. Ainoastaan rungossa olevat ruuvit saattavat löystyä ajan kanssa, koska tulostin kuitenkin hieman tärisee.

Ohjauslevy

Ohjauslevy, eli 3D-tulostimen ohjain, tai tarkemmin sanottuna sen aivot pitää sisällään koko 3D-tulostimen toiminnallisuuden. Se vastaa siitä, että tulostinpää ja peti lämmitetään sekä seuraa niiden lämpötilojen pysymistä oikeissa lukemissa käyttäen esimerkiksi PID-säätöä. Ohjauslevy määrää ja ohjaa sekä kuuntelee kaiken, mitä 3D-tulostin tekee. Se on tärkeimpiä osia, mitä 3D-tulostimesta löytyy. Ohjauslevyjä on kehitetty 8-bittisestä jopa 32-bittiseen levyyn (Kuva 6). (Flynt 2018.)

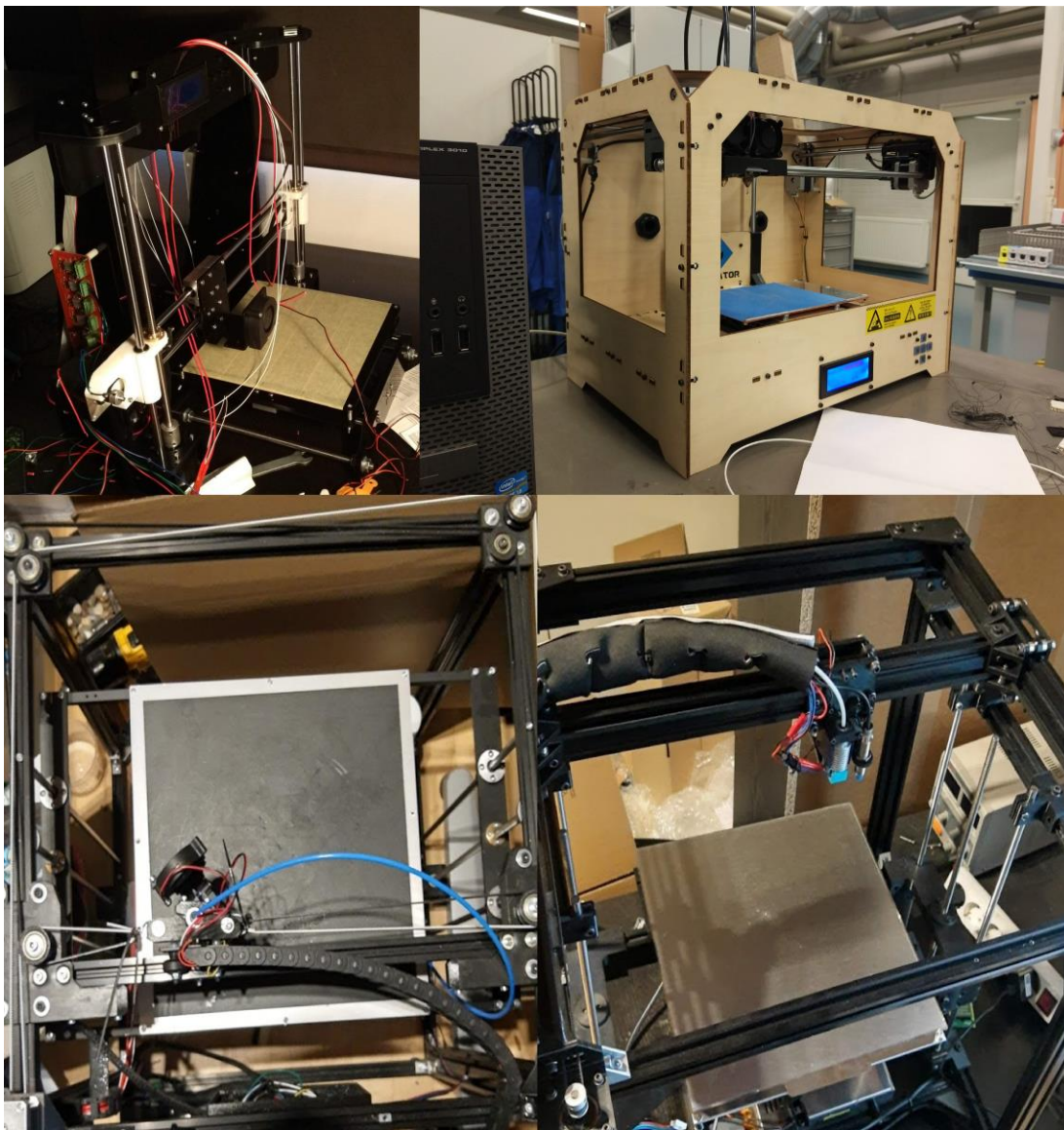


Kuva 6. Vasemmalla 8-bittinen MKS Base 1.4 ohjauslevy, oikealla Duet2 Wifi, 32-bittinen ohjauslevy

Tämä nelinkertaistaa levyn laskennallisen kapasiteetin, mikä on tärkeää etenkin tulostimissa, joiden kinematiikka on vaativaa ja jotka vaativat paljon matematiikkaa, kuten Delta-tyyppinen tulostin. Ohjauslevy sisältää myös askelmoottoriohjaimet, joilla on erittäin tärkeä rooli tulostimen toiminnassa. Askelmoottoriohjaimet voivat olla joko esijuotettuina ohjauslevylle, tai sitten niillä on vain ohjauslevyllä omat paikkansa. Jos niillä on erilliset paikkansa, voidaan rikkoutunut askelmoottoriohjain helposti vaihtaa uuteen ilman, että koko levy täytyy korvata. (Flynt 2018.)

Runko

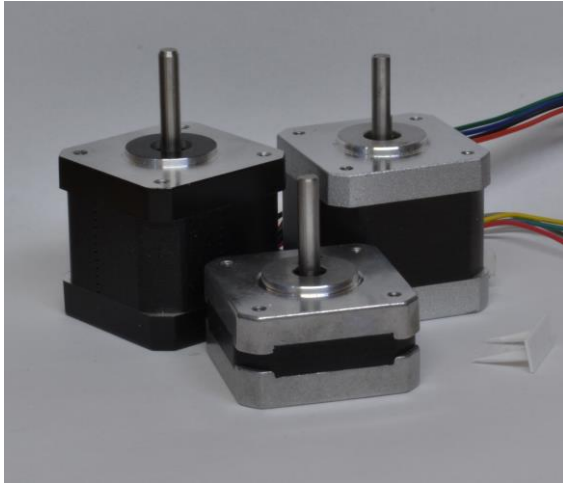
Runko on 3D-tulostimen kehikko, johon kaikki komponentit liitetään ja se vastaa koko tulostimen jäykkyydestä ja kestävydestä. Runkoja on aikojen saatossa tehty monenlaisista materiaaleista. Runko voi olla puuta, akryyliä tai vaikka alumiiniekstruusioista tai teräksestä tehty (Kuva 7). Nykyään itsetehdyissä tulostimissa trendinä on käyttää alumiiniprofiilia sen helpon saatavuuden ja työstettävyyden vuoksi. Mitä jäykemmästä materiaalista runko on tehty, sen tukevampi tulostin on eikä se heilu ja aiheuta poikkeamia itse tulosteeseen. Haittapuolena on tietysti 3D-tulostimen kokonaisuudessa. Joihinkin 3D-tulostinrunkoihin on lisätty akryylilevyt ympärille, jolloin ylimääräinen pöly ja lika saadaan pysymään poissa liikkuvista komponenteista. Akryylilevyillä tulostin saadaan myös ääni- ja lämpöeristettyä. Lämpöeristämällä tulostin saadaan pitämään paremmin suunnitellut tulostuslämpötilansa. (Flynt 2018.)



Kuva 7. Erityyppisiä runkoja, akryylista, puusta, sekä alumiiniekstruusiosta

Askelmoottorit

Askelmoottorit ovat tärkeitä 3D-tulostimen komponentteja (Kuva 8). Niiden avulla tulostin liikuttaa osiaan. Jokaiseen akseliin on liitetty ainakin yksi askelmoottori. Z-akseliin voi olla liitettynä jopa neljä askelmoottoria mutta yleensä silti kaksi. Askelmoottorit liikuttavat hihnojen avulla tulostuspetiä, tulostuspäätä ja kuularuuveja, jotka liikuttavat Z-akselin suuntaisesti tulostuspäätä. Askelmoottoreita on yleensä ottaen 3D-tulostuksessa käytössä kahta eri tyyppiä. Toiset moottorit pyörähtävät 1.8° ja toiset 0.9° joka askeleella. (Flynt 2018.)



Kuva 8. Kolme erikokoista Nema17-askelmoottoria

Hihna

Hihna on komponentti, jota käytetään esimerkiksi Cartesian-tyylisessä tulostimessa. Hihna siirtää inertian moottoreilta tulostuspäälle. Hyvälaatuinen hihna on tärkeä osa tulostinta, jonka halutaan olevan tarkka ja nopeasti tulostava. Hihnoja on kumisista aina metallivahvistettuihin hihnoin asti (Kuva 9). Esimerkiksi GATES tekee luotettavia mutta melko kalliita hihnoja, joita kannattaa asentaa 3D-tulostimeen. Myös hihnojen kireys on tärkeää. Jos hihnat ovat löysiä, voi askelmoottori hypätä yli hammas-hihnan hampaasta, jolloin tulostin ei liikukaan haluttua määrää. Myös liika kireys on haitaksi. Liian kireä hihna voi tuottaa askelmoottorille hankaluuksia liikuttaa akselia. Toinen haittava seikka voi olla se, että kun akselilla oleva kelkka liikkuu, niin liian kireä hihna voi alkaa venymään kiinnityspisteestään ja irrota. Yleisin hihnakoko on GT2-hammastuksella oleva n. 6 mm leveä hihna. (Flynt 2018.)



Kuva 9. Kolme erilaista hihnaa; halvin, peruskumihihna, metallivahvistettu polyuretaanihihna, sekä kuminen lasikuidulla vahvistettu hihna

Kierretanko

Askelmoottorilla pyöritettävää kierretankoa käytetään tulostimen tulostuspedin tai tulostuspään Z-akselin suuntaisessa eli ylös-alaisessa liikkeessä. Kun tulostimen tulostuspään halutaan liikkuvan ylös tai alas, pyörähtää kierretanko pienen määrän nostaen tulostuspäätä. Yleisimmin kierretankona tulostimissa käytetään trapetsikierretankoa (Kuva 10). Kierretankoa voidaan käyttää myös X- ja Y-akselien liikkeissä niiden tarkkuuden vuoksi, mutta se on harvinaisempaa, koska hihnat ovat halvempia, kevyempiä sekä nopeampia. (Flynt 2018.)



Kuva 10. Yleisin käytetty kierretanko eli trapetsiruuvi

Pyörötanko

3D-tulostimen liike tapahtuu kierretankojen ja hihnojen avulla, mutta ne eivät pelkästään riitä, koska ne eivät saa aikaan stabiilia liikettä. Tästä syystä 3D-tulostin tarvitsee myös pyörötangot, jotka ohjaavat esimerkiksi X-akseliin kiinnitettyä tulostuspäätä ja Y-akseliin kiinnitettyä tulostuspetiä. Myös Z-akseliin on yleensä kiinnitetty pyörötangot, jotta se pysyy mahdollisimman suorassa. Pyörötankojen sijasta voidaan käyttää myös lineaarijohteita, tai mahdollisesti delrin-renkaita, jotka menevät alumiiniprofiilin ympärille (Kuva 11). Tällöin tulostimen runko on tehty kokonaan alumiiniprofiilista,

joka on aika yleistä nykypäivänä varsinkin projektiluontoisissa 3D-tulostimissa. (Flynt 2018.)



Kuva 11. Esimerkki delrin-renkaasta sekä lineaarijohteesta, joita voidaan käyttää pyörötankojen sijasta

Rajakytkimet

Jotta 3D-tulostin tietää, että se on saapunut kotiasemaansa, se tarvitsee kotiaseman 0-kohdissa aina jonkinlaiset rajakytkimet, jotka välittävät tiedon ohjauslevylle. Nämä rajakytkimet voivat olla mekaanisia mikrokytkimiä tai optisia antureita. Uudempien askelmoottoriohjaimien ansiosta voidaan käyttää myös rajakytkimetöntä kotiin ajoa. Tässä tapauksessa ohjainlevy seuraa askelmoottoriohjaimen kuluttamaa virtaa. Tällöin tunnistaminen perustuu siihen, että törmäyksessä askelmoottoriohjain vie enemmän virtaa. Kun virrankulutus kasvaa, ohjainlevy päättelee, että nyt ollaan kotiasemassa sen akselin osalta, minkä askelmoottoriohjaimessa virrankulutus kasvoi. (Flynt 2018.)

Virtalähde

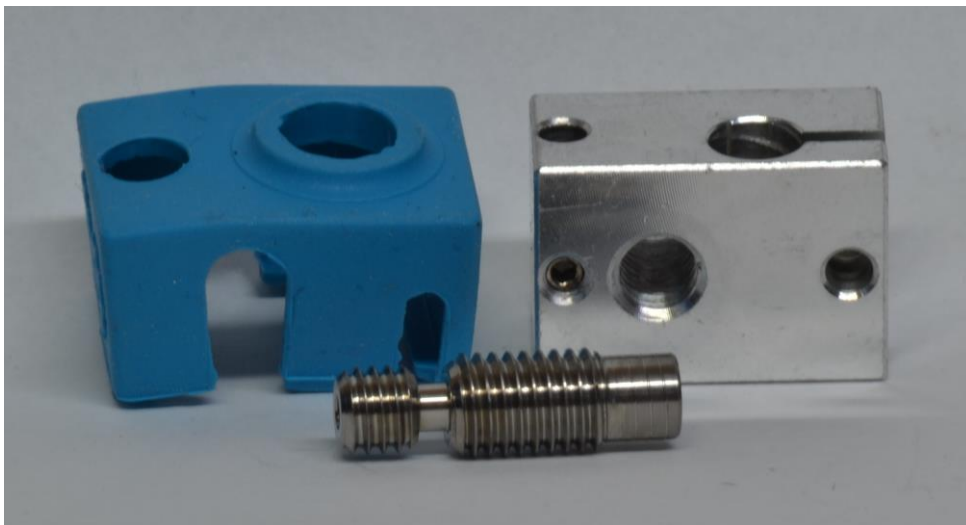
Myös virtalähde on 3D-tulostimen tärkeä osa. Sen tarkalla suunnittelulla varmistetaan, että tulostin toimii luotettavasti ja turvallisesti. 3D-tulostimen virtalähde tulee mitoittaa siten, että nimellisvirran ja maksimivirran erotus on selkeä. 3D-tulostimissa käytetään yleensä joko 12 V:n tai 24 V:n jännitelähteitä. Muut osat tulee mitoittaa valitun jännitetasen mukaan. Useimmat ohjainlevyt tukevat molempia jännitteitä, mutta esimerkiksi tulostuspään lämmittimet ja kaikki tuulettimet tukevat vain yhtä jännitetasoa. (Flynt 2018.)

Tulostuspeti

Tulostuspeti on se osa, johon jokainen FDM-tulostin tulostaa tulostuspäällään. Tulostuspetiä on myös saatavilla kahdella eri jännitetasolla, 12 V ja 24 V. Tulostuspedin jännitetaso ei tarvitse silti olla sama kuin 3D-tulostimen muiden osien, koska koko tulostuspedille voi olla oma virtalähteensä. Tällöin tulostuspedin virtalähdettä ohjataan ohjainkortilta releen kautta. Tulostuspetejä on monenlaisia. Niitä ovat ainakin on suoraan verkkovirralla käytettäviä silikonilämmittimiä sekä PCB-tyylisiä levyjä, joissa on sisällä vastuslangat. Näitä vastuslankoja lämmitetään ja lämpö siirretään tulostuspedin päällimmäiseen osaan. Päällimmäisenä oleva osa voi olla esimerkiksi lasi, peili tai teräslevy. Yleensä teräslevyä ei käytetä pelkästään, vaan sen päällä on vielä joko PEI-tarra tai hieman rouheapintainen muovilevy, jota nimitetään yleensä ensimmäisen valmistajansa mukaan BuildTakiksi. Lasi ja peili eivät tarvitse minkäänlaista päällystystä, ellei haluta varmistaa tulostusta ja käyttää kiinnityssprayta. (Flynt 2018.)

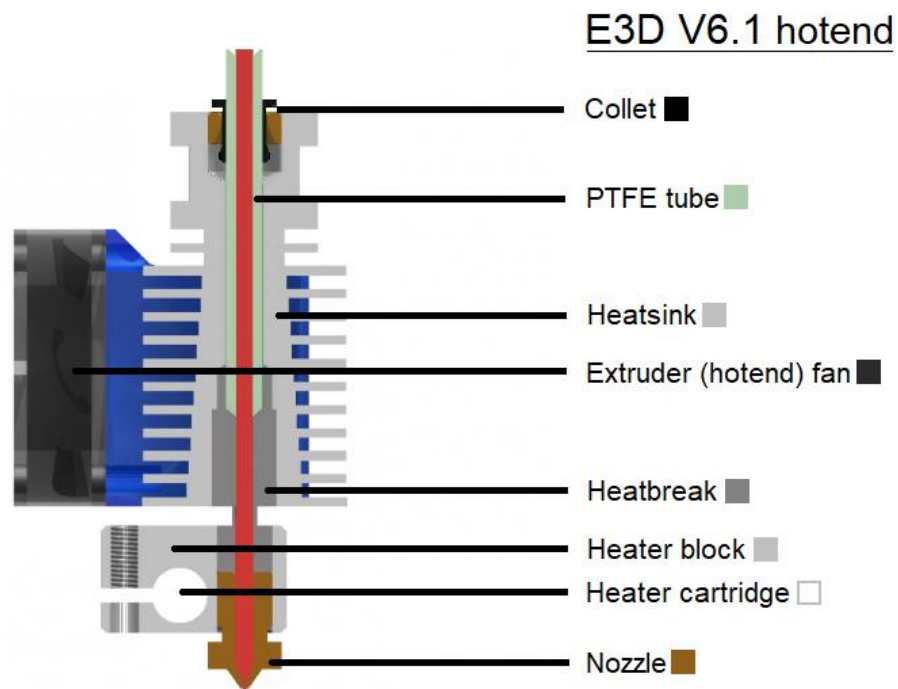
Tulostuspää

Tulostuspää on se osa 3D-tulostinta, joka muuntaa tulostusmateriaalin sellaiseen muotoon, että se saadaan pursotettua tulostukseksi. Tulostuspää koostuu yleensä muutamasta eri osasta, kuten tulostussuuttimesta, lämmityselementistä, heaterblockista (lämpöelementti, joka johtaa lämmön lämmityselementiltä tulostussuuttimelle), lämpötila-anturista sekä heatbreakista (lämpönielu) ja sekä heatsinkistä (jäähdytyselementti) (Kuvat 12 ja 13). (Flynt 2018; Mensley 2019.)



Kuva 12. Heaterblock, heatbreak sekä silikonisukka heaterblockin ympärille pitämään lämpötila stabiilina

Kaikkien näiden komponenttien on tarkoitus toimia yhdessä, niin, että muovilanka menee heatsinkkiin, josta se jatkaa matkaa heatbreakin avulla heaterblockiin, johon on kiinnitetty lämmityselementti. Lämmityselementti lämmittää koko heaterblockin, johon on kiinnitetty tulostussuutin, josta muovi sitten tulee ulos suuttimen koon mukaisena. (Flynt 2018; Mensley 2019.)



Kuva 13. E3D:n suunnittelema tulostuspää (Lexa 2019)

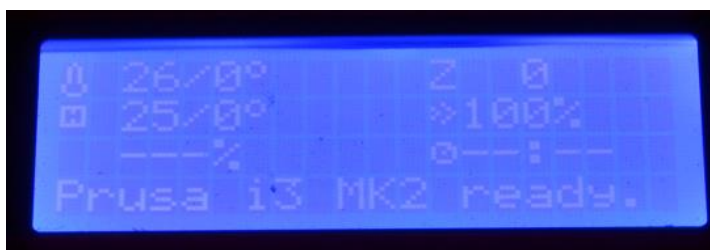
Heatsink on komponentti, jolla pyritään poistamaan lämpö, joka tulee heaterblockista ylöspäin heatbreakin avulla. Tämän vuoksi siihen on kiinnitetty myös tuuletin. Jos tuuletinta ei ole jäähdyttämässä heatsinkia, lämpö nousee heatbreakia pitkin ylöspäin heatsinkkiin ja lämmittää sen. Kun lämpöä alkaa kertymään heatsinkkiin, se alkaa sulattaa muovia, joka sinne tulee, mikä taas aiheuttaa suurella todennäköisyydellä tukoksen. Heatbreak toimii eräänlaisena ohjurina hieman pehmenneelle muoville, jotta se saadaan ohjattua paremmin suoraan suuttimeen. Heaterblock on komponentti, joka on yleisesti tehty alumiinista ja siihen yhdistetään heatbreak, lämmityselementti, lämpötila-anturi sekä itse suutinpää. (Flynt 2018; Mensley 2019.)

Syötinkoneisto

Syötinkoneisto on osa, joka työntää muovilankaa kohti tulostuspäätä, oli se sitten Bowden-tyylinen tai suorasyöttö. Näitä mekanismeja on useita erilaisia, mutta nykyään melkein alan standardina käytetään syötinmekanismia, jossa muovilangan molemmille puolille tulee hammasrattaat, jotka puristavat lankaa ja työntävät sen voimalla eteenpäin. Myös hammasrattaita pyörittävät koneistot ovat hammasrattaisteittuja, jotta moottorin välittämää voimaa saadaan vielä kasvatettua. Tällöin ei välttämättä tarvita täysikokoista Nema17-moottoria, vaan siihen käy pienempikin kuten pannukakkuver-sio kyseistä moottorista. (Flynt 2018; Mensley 2019.)

Käyttöliittymä

Viimeisenä esiteltävän 3D-tulostimen komponenttina on käyttöliittymä. Yleisimpänä käyttöliittymänä on käytetty 20 x 4 LCD-näyttöä (Kuva 14), sillä käyttöliittymästä ei tarvitse kovin monimutkaisia asioita tehdä. Siitä ohjataan vain tulostettavan objektin valintaa tai säädetään hieman tulostimen lämpötiloja. Nykyään käytetään kuitenkin usein jo LCD-näyttöjä, joihin on tuotu kosketusnäyttöominaisuudet. Näitä ovat OLED-näytöt sekä muut värilliset näytöt. Nämä tuovat joihinkin asioihin lisäarvoa, mutta eivät silti niinkään paranna perustoimintoja. LCD-näytön mukana tulee yleisesti myös SD-korttipaikka, johon syötetään SD-kortilla tulostettavat G-koodit. Jos korttipaikkaa ei löydy, voidaan käyttää ohjainlevyltä löytyvää USB-porttia ja yhdistää se tietokoneeseen. Joissakin ohjainlevyissä on myös verkkoyhteysmahdollisuudet. Ne luovat oman web-käyttöliittymän, jolloin tiedosto voidaan siirtää suoraan verkon yli tulostimelle. (Flynt 2018.)



Kuva 14. Käyttöliittymän LCD

4.1.3 FDM-tulostimen materiaalit

FDM-tulostimen materiaalit ovat kaikki muovilankoja, jotka ovat halkaisijaltaan joko 1,75 mm tai 2,85 mm. Näitä muovilankojen tyyppejä tai muovityyppejä sekä niiden sekoituksia on useita kymmeniä. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi muutamia yleisimpiä ja pari erikoisuutta, sekä niiden heikkouksia ja vahvuuksia. Jokaista muovilankaa pyritään valmistamaan mahdollisimman tarkkoilla toleransseilla. Nykyään toleranssilupaukset menevät jo +/-0,02 mm tarkkuuksiin, silti yleisimmillään ne ovat +/-0,05 mm luokkaa. Tällä on vaikutusta siihen, miten tuloste tulostuu. Mitä tasaisempi laatu materiaalissa on, sen tasaisempilaatuista on tulostusjälki. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi yleisimmin käytetyt FDM-tulostimen materiaalit.

PLA

PLA, eli polyaktidi on yleisimpiä muovityyppejä, mitä 3D-tulostuksessa käytetään. PLA valmistetaan maissitärkkelyksestä sekä sokerijuurikkaasta. Sitä käytetään myös ihan teollisessa tarkoituksessa ruiskuvaluissa, kun tehdään erilaisia pakkauksia ja kuppeja. Vaikka PLA valmistetaan kasviperäisistä aineista, ainakaan 3D-tulostuksessa se ei silti häviä paljoa kestävyydeltään ja käytettävyydeltään verrattuna muihin muovityyppeihin. PLA-muovi on yleisin 3D-tulostuksessa käytetty muovi, koska sen tulostaminen on kaikkein helpointa. Voidaan sanoa, että mikä tahansa 3D-tulostin, mitä markkinoilta löytyy, pystyy tulostamaan PLA-muovia. Tämä johtuu siitä, että se vaatii suuttimen lämpötilaksi vain n. 185 °C – 210 °C, kun muut muovit vaativat enemmän. PLA-muovi ei myöskään vaadi lämmitettävää tulostuspetiä, eli sitä voidaan tulostaa kylmälle tulostuspedille. PLA ei eritä minkäänlaista hengitykselle vaarallista myrkyä, ainoastaan mikrohiukkasia, niin kuin kaikki muovit tulostettaessa. (Simplify3D-sivusto n.d.)

PLA-muovin kestävyys ja mekaaniset ominaisuudet ovat keskivertoisia vetolujuudessa, venymättömyydessä sekä taipuisuudessa. Nämä ominaisuudet ovat kohtalaisia verrattuna muihin muoveihin. PLA:n heikkoudet ovat kuitenkin sen lämmönkestävyys sekä iskunkestävyys. PLA alkaa nimittäin pehmenemään jo 60 °C asteessa, jolloin jopa autoon 3D-tulostettu osa voi kuumana kesäpäivänä alkaa sulaa ja epämuodostua. PLA-

muovin heikkous kemiallisesti tulee esiin esimerkiksi trikloorimetaanin eli kloroformin kanssa. Tämä kemikaali alkaa nimittäin sulattaa PLA-muovia. (Simplify3D-sivusto n.d.)

ABS

ABS eli akrylinitriilibutadieenistyreeni on toinen yleinen muovityyppi 3D-tulostuksessa ja ruiskuvaluissa. ABS valmistetaan polymerisoimalla styreeniä, akrylinitriiliä sekä butadieenia vaihtelevilla sekoitusuhteilla. ABS muovi ei siis ole kovinkaan ympäristöystävällinen sen sisältämien aineiden vuoksi, mutta silti se on kierrätettävissä ja todella laajalti käytössä ympäri maailman muussakin kuin 3D-tulostaessa. Tunnetuimpia ABS-muovin käyttäjiä on Lego. ABS-muovi on 3D-tulostaessa erittäin varteentottava materiaali, kun halutaan tuloste, joka kestää mekaanista rasitusta ja kemikaaleja. Lämpöä ABS-materiaali kestää jopa 100 °C:een asti. (Simplify3D-sivusto n.d.)

ABS:n heikkoudet piilevät sen tulostettavuudessa. ABS vaatii nimittäin ehdottomasti lämmitetyn alustan, joka lämpenee n. 100 °C:een. Yksi ABS-materiaalin ominaisuus on, että tulostettuna se lähtee kovin helposti irtoamaan tulostuspedistä. Tätä voi estää järjestämällä tulostustila niin, että siellä ei synny ilmavirtoja. Ilmavirrat voivat irrottaa ABS-tulosteen helposti jostain kulmasta, kun sinne saapuukin viileämpää ilmaa pidemmän aikaa yhteen menoon. ABS-muovin kemikaalinen heikkous on asetoni. Jo pelkkä asetonihöyry alkaa sulattaa ABS:ää. Toisaalta tämä ominaisuus on myös hyödyllinen, sillä kun ABS-tuloste käsitellään asetonihöyryssä, niin tulosteen kerrokset saadaan häivytettyä näkymättömiin. ABS-muovi myös erittää tulostettaessa epämiellyttävä hajua sekä myrkyllistä kemikaalia nimeltään styreeni. ABS:llä tulostettaessa on siis tärkeää huolehtia, että tila on hyvin ilmastoitu, vaikka se saattaakin aiheuttaa riskiä tulosteen irtoamiseen tulostuspedistä. (Simplify3D-sivusto n.d.)

PETG

PETG-muovi on polyeteenitereftalaattia (PET), johon on lisätty glykolia. Kolmas yleisesti käytetty materiaali, PETG, on myös maailmalla hyvin paljolti käytössä oleva materiaali. Sen tavallisempi muoto, PET, on tunnetumpaa, sillä kaikki muoviset juomapullot ovat valmistettu PET:stä. Ominaisuuksiltaan PETG on lähellä ABS-muovia, mutta se ei tulostaessa vapauta myrkkyä kuten ABS. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Tulostettavuudeltaan PETG lähentelee ABS:n tasoa, mutta on silti hieman helpompaa käyttää, koska tulostuspedin lämpötilan ei tarvitse olla ihan yhtä korkeissa lukemissa, vaan n. 70-90 °C: kin riittää. PETG ei irtoa niin helposti tulostuspedistä kesken tulostuksen. PETG:llä tulostaessa pitää olla tarkkana sen suhteen, että tulostuspää tulostaa ensimmäisen kerroksen hieman ylemmäs kuin muilla muoveilla. Jos nimittäin tulostetaan liian lähellä petiä, materiaali lähtee irtoamaan. PETG voi myös vaurioittaa tulostuspetiä, kun se tarrautuu kovasti kiinni, jos tulostetaan liian lähellä tulostuspedin pintaa. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Nylon

Nylon-pohjaiset muovit ovat myös 3D-tulostuksessa käytettyjä, kun halutaan todella kestäviä osia esimerkiksi teollisuuskäyttöön. Nylonilla tehdyt tulosteet kestävät hyvin rasitusta sekä suuria voimia. Nylon-pohjaisia materiaaleja on todella paljon erilaisia. Esimerkiksi nylon-pohjainen muovi, johon on lisätty hiilikuitua, tuottaa todella vahvan kappaleen, joka kestää isompiakin voimia verrattuna PLA- tai ABS-kappaleisiin. Nylonin kemikaalikestävyys on myös hyvää verrattuna moneen muuhun. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Nylonin tulostaminen on hyvin hankalaa, sillä sen kiinnittyminen tulostuspetiin on melkein ABS-muovin luokkaa, eli voi olla hyvin hankalaa saada tuloste kiinnittymään tulostuspetiin. Nylon-materiaalien kosteudenkestävyys tai oikeammin kosteudenkestävyyden puutos on tulostettaessa merkittävä huono puoli. Jo yhden tulostuskerran aikana, voi materiaali mennä ns. pilalle, kun se on imenyt ympäristöstä kosteutta itseensä. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Tukimateriaalit

Tukimateriaalilla tarkoitetaan tulostuksen apuna olevaa materiaalia, joka toimii siltaan, kun tulostetaan tyhjän päälle tai suuressa kulmassa suhteessa edelliseen tulostuspintaan. Tukimateriaali on yleensä käytössä vain kaksi- tai useampisuuttimisissa 3D-tulostimissa. Laajalti käytetty tukimateriaali on PVA eli Polyvinyylialkoholi. Tässä PVA:n tärkein ominaisuus on se, että se liukenee lämpimässä vedessä pois tulosteesta. PVA:n käyttö tukimuovina on järkevää vain, kun päämuovina käytetään esimerkiksi PLA-muovia. Muiden muovien kanssa PVA ei yleensä tartu riittävän hyvin varsinaiseen tulostusmuoviin. PVA:n heikkous on sama kuin nylonilla eli, jos se saa itseensä

kosteutta, se menee pilalle. Tästä syystä jo yhden tulostuksen jälkeen, kokonainen rulla PVA:ta voi olla käyttökelvotonta, ellei sitä pidetä ilmatiiviissä laatikossa, jonne on sijoitettu kosteudenpoistajia. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Toinen tukimateriaali, jota käytetään yleensä ABS- tai PETG-muovien kanssa, on HIPS (High impact polystyrene). Sitä voidaan käyttää myös pelkästään tulostettavan kappaleen muovina, koska sen ominaisuudet lähentelevät PLA:n ominaisuuksia. HIPS on tarkoitettu liotettavaksi pois kappaleen valmistuttua. Poiketen PVA:sta HIPS liukee limoneeniin. HIPS:n kanssa ei yleensä ole kosteusongelmaa, mutta sen tulostettavuus on hyvin vaihtelevaa. (Simplify3D-sivusto n.d.)

Kolmas tukimateriaali on Breakaway. Sillä ei varsinaisesti ole kemiallista lyhennettä, vaan sille lanseerattu nimi, jota jokainen valmistaja on tavalla tai toisella alkanut käyttää. Breakaway soveltuu tukimateriaaliksi kaikille materiaalityypeille. Sen poistoon ei vaadita minkäänlaisia kemikaaleja, vaan poisto on mekaanista. Silti materiaalin poiston jälkeen, tuettu pinta jää hyvinkin sileäksi, verrattuna siihen, jos käytettäisiin päätulostusmateriaalia myös tukena. (Ultimaker n.d.)

Joustavat materiaalit

Joustavat materiaalit ovat oma kategoriansa FDM-tulostimien materiaaleissa. Niitä on esimerkiksi TPU (Thermoplastic Polyurethane) ja TPE (Thermoplastic Elastomer), sekä niiden johdannaisia. Näiden materiaalien joustavuusluokitus vaihtelee aina kumilenkin venyvyydestä ostoskärryn renkaaseen. Materiaalivalikoima tälle kategorialle on hyvinkin laaja. Joustavien materiaalien yhteinen tekijä on se, että ne vaativat tulostimelta mielellään suorasyöttömekanismin, koska Bowden-tulostimella on hieman hankalampi tulostaa joustavia materiaaleja. (Simplify3D-sivusto n.d.)

4.1.4 FDM-tulostimia

FDM-tulostimia on viime vuosina julkaistu ihan kotikäyttöönkin tarkoitettuna. Ensimmäiset FDM-tulostimet maksoivat useita tuhansia euroja, kun tällä hetkellä niiden hinnat lähtevät 160 eurosta ylöspäin aina satoihintuhansiin riippuen laitteen ominaisuuksista. Mitä isompi tulostusalue, sitä enemmän tulostin yleensä maksaa. Tähän kaavaan

on kuitenkin useita poikkeuksia, sillä monet vetoavat helppokäyttöisyyteen ja perustelevat sillä useidenkin tuhansien hinnan. Sen sijaan alle tuhannella eurolla saa laitteen, joka tuottaa samanlaista jälkeä laadullisesti kuin noin 4 000 euroa maksava laite. Molempien tulostintyyppien kanssa kuitenkin käyttäjän osaamisella on tärkeä merkitys. Tulostimia pitää osata käyttää oikein sekä huoltaa ja säätää niiden ohjelmistojen asetuksia, jotta saadaan hyvä lopputulos. Vaikka tulostin maksaisi kymmeniä tuhansia, ei sillä välttämättä saada yhtään parempaa lopputulosta aikaseksi kuin parinsadan euron tulostimella, jonka asetukset on hiottu hyväksi.

Tietenkin kalliimmat 3D-tulostimet tuovat mukanaan ominaisuuksia, joita halvemmissä tulostimissa ei ole. Tällaisia ovat esimerkiksi lämmitettävät tulostuskammiot, korkeampaan lämpötilaan lämpenevät tulostuspedit, isommat tulostusalat, kaksoisuuttimet ja ilmansuodattimet tulostuskammion mukana. Samoin myös kalliissa tulostimissa käytettävät materiaalit voivat olla teollista tasoa, jolloin niiden käyttökestävyys ja lujuus ovat paremmat.

4.2 SLA/MSLA

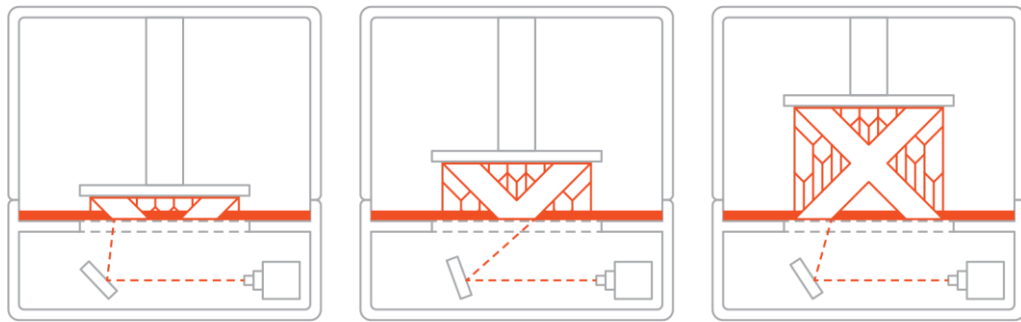
Vaikka SLA-teknologia olikin yksi ensimmäisistä 3D-tulostusteknologioista, ei se silti saavuttanut kaikkein suosituimman tulostusteknologian arvoa. Viimeisen viiden vuoden aikana SLA-teknologia on kehittynyt materiaalien ja tulostustapojen osalta kovasti. Eniten näitä laitteita on käytössä aloilla ja asiantuntijoilla, jotka vaativat todella tarkkoja tulosteita kuten hammaslääketiede, korusepät, arkkitehdit, figuurien tekijät, insinöörit ja taiteilijat.

4.2.1 SLA/MSLA -tulostimen toimintaperiaate

SLA-tulostin

SLA-tulostimen toimintaperiaate perustuu nestemäisen hartsin kovettamiseen UV-laserilla. Laitteen pohjalla on yleensä laser, joka on paikallaan, mutta laserin eteen on sijoitettu kaksi galvanometriä, joihin on kiinnitetty peili. Peilien avulla galvanometrit voivat liikuttaa laserin kohdistettua pistettä laskettua tulostuspetiä pitkin (Kuva 15).

Tulostin laskee tulostuspedin valottamattoman hartsin tasolle, minkä jälkeen laser alkaa piirtää halutun objektin ensimmäistä kerrosta. Ensimmäisen kerroksen piirrettyään, tulostuspeti nousee hieman ja laskee takaisin. Tämä tehdään, jotta voidaan varmistaa, että tuloste ei jää kiinni nestetankin pohjaan, ja että seuraavaa kerrosta varten tulostuspedin ja tankin välissä on kovettumatonta hartsiä. (Varotsis b. 2019.)

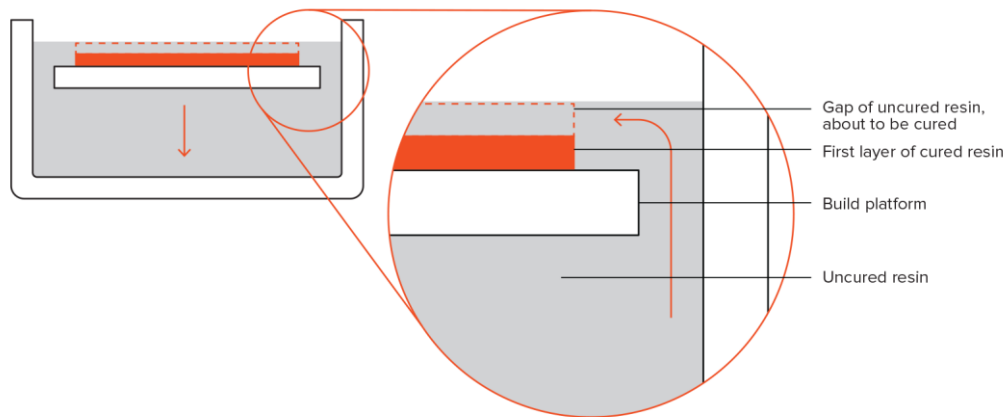


Kuva 15. SLA-tulostimen toimintaperiaate (Varotsis b. 2019)

SLA-tulostimessa on vai muutamia liikkuvia osia. Niitä ovat Z-akseli, joka liikkuu ylös ja alas sekä kaksi galvanometriä, jotka liikuttavat pieniä peilejä, joiden avulla laserpiste saadaan osumaan haluttuun kohtaan tulostuspetiä. (Varotsis b. 2019.)

SLA-tulostimia on bottom-up -malleja, jotka ovat yleisimpiä työpöytäversioina, sekä top-down -versioita, jotka ovat käytössä enemmän teollisuudessa. Nämä poikkeavat toisistaan siinä, miten päin laser ja tulostuspeti sekä hartsitankki ovat. Bottom-up -mallissa, tilanne on kuvan 16 mukainen, kun taas top-down -tyylissä tilanne on kuvan 16 mukainen. Top-down -mallissa tulostuspeti laskeutuu hartsiin, mikä taas aiheuttaa tarpeen isommalle hartsitankille. Silloin käyttökustannukset tietysti kasvavat ja materiaalin vaihto on isompi operaatio verrattuna bottom-up -malliin. Isommat hartsitankit

voivat olla useita kymmeniä litroja riippuen taas SLA-tulostimen koosta. Perinteisen työpöytämällin hartsitankkiin menee vajaat 200 ml hartsia. (Varotsis b. 2019.)



Kuva 16. Top-down -SLA-tulostin (Varotsis b. 2019)

MSLA-tulostin

MSLA-tulostin eroaa SLA-tulostimesta erityisesti siinä, että MSLA-tulostimessa nestemäisen hartsin kovettamiseen käytetään UV-lediä. Näiden kahden teknologian toimintaperiaate poikkeaa hieman toisistaan, mutta esimerkiksi runko voi olla molemmissa samankaltainen. MSLA:ssa on vain yksi liikkuva osa, ja se on Z-akseli ja sen mukana kulkeva tulostuspeti. MSLA-teknologiaan perustuvassa tulostimessakin on hartsitankki, mutta kovettamiseen käytettävän laserin sijasta siinä käytetään, hartsitankin alla LCD-näyttöä. LCD-näytön alla on sitten vielä UV-ledi tai UV-ledimatriisi. Kun MSLA-tulostin tulostaa, se valottaa koko kerroksen kerrallaan, eikä käy eri kohtia erikseen läpi, niin kuin SLA-tulostin. Tällöin, jos tulostuspeti on täynnä tulostettavaa, eli tulostetaan iso tuloste tai useita pieniä, MSLA-tulostin on tulostaessaan nopeampi kuin SLA-tulostin. (Varotsis b. 2019; Stríteský 2019, 16-17.)

Bottom-up -tyyppisten SLA- ja MSLA-tulostimien heikkoutena on, että ne joutuvat ”repimään” tulosteen irti hartsitankin pohjasta. Mitä isompaa tai isommalle alueelle tulostettua kappaletta tulostin joutuu kerralla repimään, sitä suurempi riski on sille, että tuloste irtoaa tulostuspedistä ja koko tulostus epäonnistuu. (Varotsis b. 2019.)

SLA- ja MSLA-tulostimilla on silti samanlainen jälkiprosessointivaihe. Molemmat vaativat isopropyylialkoholikylvyn tulostetuille osille, jotta ylimääräinen hartsi lähtee

tulosteiden päältä pois. Kylvetyksen jälkeen tulosteet on hyvä valottaa vielä UV-valolla muutaman minuutin tai jopa puolen tunnin ajan. (Varotsis b. 2019.)

4.2.2 SLA/MSLA-tulostimien osat

SLA- tai MSLA-tulostimet ovat melkein samanlaisia runkorakenteeltaan, mutta toisessa on LCD-näyttö, ja UV-ledi sen alla, kun toisessa on laser ja galvanometrit. Molemmat tulostimet koostuvat siis Z-akselin suuntaan liikuttavasta moottorista, joka on kiinnitetty trapetsiruuviin, joka taas on kiinni joko pyörötankojen varassa olevassa kelkassa, tai lineaarjohtimessa olevassa kelkassa. Linearjohtimet ja niiden kelkat ovat huomattavasti jäykemmät kuin pyörötangot ja täten parempi vaihtoehto Z-akseliksi. SLA- ja MSLA-tulostimissa käytettävät osat eivät eroa mekaniikan osalta harrastelijatason laitteissa juurikaan FDM-tulostimissa käytettävistä osista. (Stríteský, 2019, 18-19.)

4.2.3 SLA/MSLA-tulostimien materiaalit

SLA/MSLA-tulostimet käyttävät tulostaessaan nestemäistä hartsia, joka on uv-valolle herkkää. Materiaali alkaa kovettua jo hetkellisellä altistumisella uv-valolle. SLA- ja MSLA-tulostimien materiaalit poikkeavat toisistaan siinä suhteessa, että niiden uv-valon taajuusalueet ovat erilaiset. Esimerkiksi MSLA-tulostimiin suunnitellut hartsit kovettuvat n. 405 nm:n aallonpituudella säteilevässä valossa. Tätä aallonpituutta ja eri valotusaikaa käyttäen kovettuvat siis MSLA-tulostimille tarkoitetut hartsit. (Stríteský 2019, 51.)

Fotopolymeeri-hartseja on kehitetty jatkuvasti vuosien aikana, ja niitä tulee markkinoille koko ajan lisää. Kun ensimmäiset SLA-tulostimet tulivat kuluttajien saataville, tulostimien materiaalit olivat hyvin herkkiä hajoamiselle. Ne olivat sen verran ”kovia”, mutta hauraita, että pienikin isku saattoi hajottaa tulosteen. Tästä tilanteesta on kuitenkin nykyään päästy eroon, sillä materiaalit ovat kehittyneet hyvin ja ne eivät enää mene pienestä käsittelystä rikki. (Stríteský 2019, 51.)

Materiaaleja on myös kehitetty siihen suuntaan, että niitä voidaan käyttää esimerkiksi koruvaluissa, hammasproteesien valmistuksessa ja muina käyttöön tarkoitettuna, kulutusta kestävinä osina. Kun valmistajia on useita, tuottaa jokainen valmistaja omaa hartsiaan. Tästä johtuen jokaista materiaalia pitää käsitellä uniikkina, eikä millään materiaalilla ole samoja tulostusasetuksia toisin kuten esimerkiksi FDM-tulostimilla, joilla voidaan hyvinkin käyttää samoja asetuksia eri valmistajien muovien kanssa. (Střiteský 2019, 51.)

4.2.4 SLA/MSLA-tulostimia

Kun SLA- ja MSLA-tulostimien patentit raukesivat, alkoi näitä tulostimia ilmestyä lisää markkinoille. Ensimmäinen isomman suosion saanut tulostin oli Formlabsin Form1, jota seurasi muutaman vuoden jälkeen Formlabs Form1+, jossa oli hieman parannuksia edeltäjäänsä verrattuna. Formlabs julkaisi tuotteensa alun perin Kickstarteerina, josta se lähti sitten kokonaan isoksi SLA-tulostusalan kalliimpien kuluttajaluokan laitteiden pioneeriksi. Hieman Formlabsin jälkeen tuli markkinoille myös kiinalaislähtöinen kickstarterin kautta suosion saavuttanut Pepopoly ja heidän tulostimensa Moai. Tämä oli samankaltainen kuin Formlabsin Form1. MSLA-tulostimia ei ollut tässä vaiheessa vielä oikein tullut markkinoille, vaan ensimmäiset tulostimet olivat juuri SLA- ja DLP-tulostimia (Digital Light Processing). Vuosien saatossa kuitenkin DLP-tulostimien suosio hiipui.

Ensimmäinen suuremman suosion saavuttanut kuluttajille suunnattu edullisempi MSLA-tulostin oli Wanhao Duplicator 7, joka perustui siihen, että tietokone piti olla kytkettynä tulostimeen tulostuksen ajan. Jos kone meni nukkumaan tai näyttö pimeni, meni myös tulostus pieleen. Aluksi Duplicator 7:ssä oli hieman ongelmia toiminnallisuuden kanssa, joten ei kestänyt kauaakaan, kun uudempi versio kyseisestä laitteesta ilmestyi. Kun D7 oli saavuttanut muutaman iteraation, niin Anycubic julkaisi oman tuotteensa tälle markkinalle. Tämä tuote oli Anycubic Photon, joka vielä tänäkin päivänä on ehdottomasti parhaimmista kuluttajaluokan MSLA-tulostimissa. Nykyään valinnanvaraa löytyy verrattuna vuosien takaiseen tilanteeseen. Kuluttajaluokan laitteet, joita kannattaa harkita, ovat Anycubic Photon, Elegoo Mars, sekä Epax K1. Myös Prusa Research on julkaissut oman MSLA-tulostimensa, nimeltään Prusa SL-1. Tämä

on hieman kalliimpi tulostin kuin aiemmat, mutta sisältää ominaisuuksia, joita muissa tulostimissa ei ole. Laitetta myydään myös kittäinä eli rakennussarjana. Myös Peopoly siirtyi laseriin perustuvasta SLA-tulostimesta MSLA-tulostimiin heidän uusimman Phenominsa myötä.

On myös hyvä huomata, että useampi isompi tulostinvalmistaja on siirtynyt kehittämään ja myymään MSLA-tulostimia. Näitä ovat esimerkiksi Photocentric, 3D Systems, Zortrax. Kiinnostavaa on myös se, että suurin osa näistä nykyajan MSLA-tulostusvalmistajista, jotka eivät ole kiinalaisperäisiä, on lähtöisin Kickstarterista.

5 3D-TULOSTUSOHJELMISTOT

3D-tulostettaessa voidaan joutua käyttämään useampaakin eri ohjelmistoa ennen kuin saadaan lopulta itse valmis kappale 3D-tulostimesta. Tulostusohjelmistot ja muutenkin tulostimien ohjelmistovalikoima on nykyään laaja. Alun perin ei ollut juurikaan vaihtoehtoja, joten piti edetä sillä, mitä oli. Tässä kappaleessa perehdytään hieman eri tulostusohjelmistoihin (software, tarkemmin sanottuna viipalointiohjelmiin), muuttamaan mallinnusohjelmaan ja itse laiteohjelmistoihin (firmware). (Střiteský 2019, 24.)

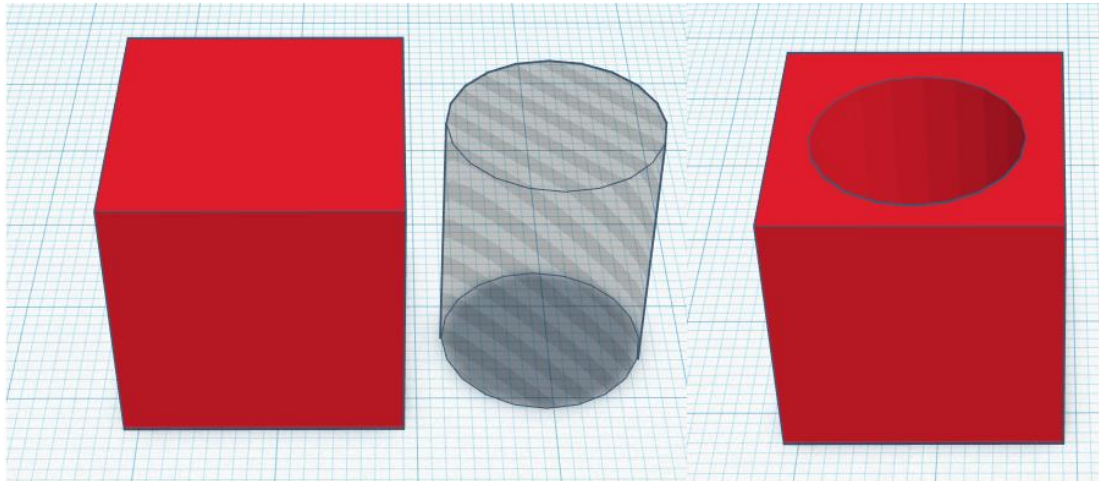
5.1 Mallinnusohjelmat 3D-tulostusta varten

Kun aloitellaan 3D-tulostamista ja pitäisi saada jokin kappale tulostettua olemassa olevan mallin mukaisesti tai toisaalta jokin osa, mitä ei ole edes olemassa, saattaa hyvinkin yksinkertainen mallinnusohjelma olla juuri oikea tapa tuottaa tulostettava 3D-malli. Toisaalta kokenut käyttäjä voi vaatia mallinnusohjelmalta selvästi enemmän, Pelkkä mallien raahaaminen ja yksinkertainen muokkaaminen eivät silloin riitä. Tässä kappaleessa käydään läpi muutama eritasoinen mallinnusohjelma, alkaen aloittelijalle soveltuvasta ja lopettaen ammattitason ohjelmistoon. Tässä ei kuitenkaan käydä läpi orgaanisia mallinnusohjelmia, koska niistä ei ole tämän työn tekijällä tarpeeksi käytännön kokemusta. Orgaanisella mallintamisella tarkoitetaan vapaata muotoilua digitaalisessa muodossa. Samankaltaisesti kuin käsin savesta voidaan muotoilla, voidaan myös muotoilla digitaalisesti. (Střiteský 2019, 24; Tyson 2019, 30.)

5.1.1 Tinkercad

Tinkercad on 3D-mallinnusohjelma, joka on suunnattu alakouluikäisistä ylöspäin. Se on täysin ilmainen selaimessa pyörivä ohjelmisto. Tinkercadin toimintaperiaate perustuu siihen, että raahataan kappale listalta ja yhdistetään se muiden kappaleiden kanssa (Kuva 17). Vaikka Tinkercad on suunnattu nuoremmille ja aloittelijoille, ei kannata ajatella sen olevan turha tai liian lapsellinen. Tinkercadilla voidaan tehdä monia samanlaisia asioita, joita muillakin ohjelmistoilla tehdään. Kuva 17 nähdään miten Tinkercadilla on luoto neliö, johon on muodostettu reikä. Ensin työalustalle on tuotu kaksi

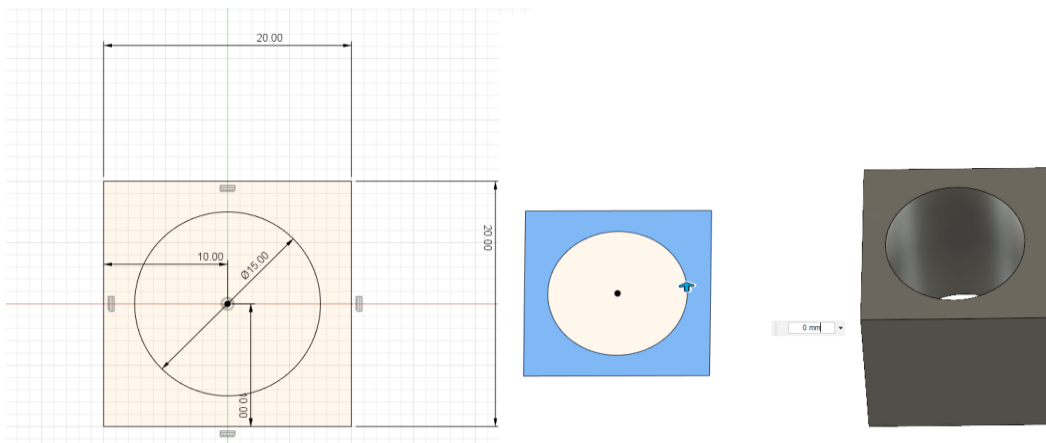
eri geometriaa ja sitten ne on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Tinkercadia voidaan käyttää hyvinkin monenlaiseseen epäorgaaniseen mallinnukseen eli mallinnukseen, joka perustuu eri muotojen käyttämiseen ja yhdistämiseen. Orgaanisen mallinnukseen Tinkercad ei sovellu. (Stříteský 2019, 24; Tyson 2019, 30-31.)



Kuva 17. Yksinkertaisen muodon tekeminen Tinkercadilla

5.1.2 Fusion 360

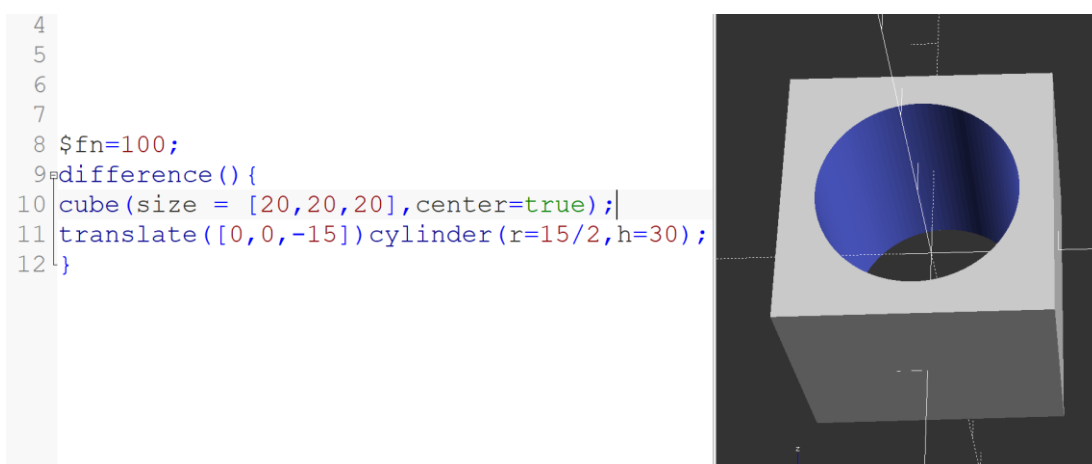
Autodesk Fusion 360 on hyvä vaihtoehto, kun halutaan lähestyä jo ammattimaista ohjelmistoa, mutta ei haluta vielä maksaa siitä. Fusion 360 on ilmainen opiskelijoille, harrastelijoille sekä yrittäjille, joiden liikevaihto on alle 100 000 \$. Fusionia voidaan suositella niille, jotka haluavat jo alkaa tehdä mallinnuksia, joihin pitää tehdä parametrisia mittoja. Parametrisia mittoja voidaan muuttaa jälkikäteen ja niiden avulla voidaan skaalata haluttua osaa. Fusionilla voidaan tehdä myös mallinnuksen lisäksi erilaista simulaatiota mallinnetun kappaleen kestävydestä ja lämmönkestävyydestä. Siellä voidaan myös ajaa kappaleen muodon optimointia. Fusionissa tehdyt asiat voidaan siten vielä renderöidä näyttäväksi kuviksi tai animaatioiksi, vaikka jostain osakokoonpanosta. Sillä voidaan myös tehdä erilaisia kokoonpanoja eri osista, eli kyseessä on jo huomattavasti monimutkaisempi ja monipuolisempi ohjelma. Kuva 18 nähdään miten Fusion 360:lla muodostuu samanmuotoinen kappale kuin Tinkercadin esimerkissä. Ensin tehdään piirros, eli sketch, johon sijoitetaan halutut mitat. Sen jälkeen pursotetaan, eli extrude-työkalua käyttämällä tehdään kappaleen 2D-piirroksesta 3D-malli. (Stříteský 2019, 27; Tyson 2019, 31-32.)



Kuva 18. Yksinkertaisen muodon tekeminen Fusion 360 -ohjelmalla

5.1.3 OpenSCAD

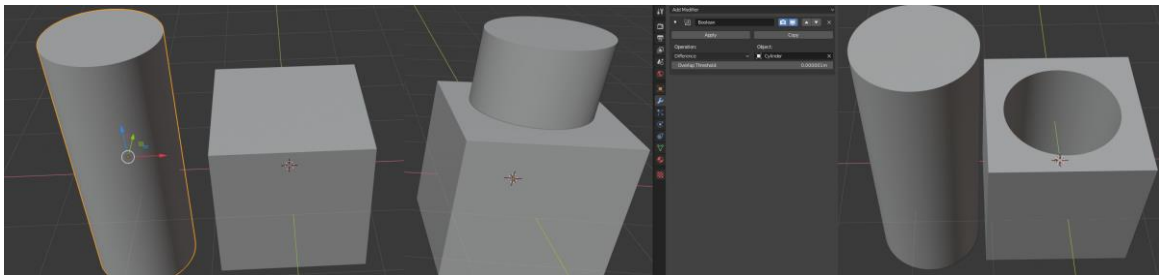
OpenSCAD on puhtaasti ohjelmoijille tarkoitettu 3D-mallinnusympäristö. OpenSCAD on ilmainen, vapaan lisenssin alla toteutettu ohjelmisto. Kaikki, mitä siellä tehdään, tapahtuu kirjoittamalla ja käyttämällä matemaattisia funktioita. Kaikki, mitä tekstipuolelle kirjoitetaan, tapahtuu graafisella puolella, kun ajetaan kirjoitettu ”koodi” läpi. Mikään ei estä tekemästä OpenSCAD:illa monimutkaisiakin muotoja, koska kaikki on täysin koodattavissa malliin sisään ja laskettavissa matematiikalla. Kuva 19 näkyy OpenSCADilla tehty edellisten esimerkkien kanssa samanmuotoinen yksinkertainen kappale. (Stríteský 2019, 29.)



Kuva 19. OpenSCADilla tehty yksinkertainen muoto

5.1.4 Blender

Blender on ilmainen ohjelmisto, joka taipuu moneen. Se ei ole täysin suunnattu ammattitason mallintamiseen parametreilla, vaan se on enemmänkin taitelijoiden, animaattoreiden, visuaalisten tehostajien sekä orgaanista mallintamista tekevien työkalu. Blenderillä on tehty jopa muutama animaatioelokuva. Blenderin käyttöliittymä on aluksi ehkä hieman hankala. Työkalujen löytäminen voi olla haastavaa ja eri toimintojen opettelu vaatii aikaa ja kärsivällisyyttä. Onneksi uudesta versiosta (2.8) lähtien, Blenderistä on löytynyt orgaanisten mallien sculptaaminen, eli voidaan luoda asioita samalla tavalla kuin käsin tekemällä savesta. Kuva 20 näkyy miten Blenderillä luodaan yksinkertainen muoto. (Stríteský 2019, 28; Tyson 2019, 32.)



Kuva 20. Blenderillä luotu yksinkertainen muoto

5.1.5 Solidworks

Solidworks on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin Fusion 360, mutta sitä pidetään silti insinöörien ja alan ammattilaisten parhaana työkaluna. SolidWorksistä ei ole saatavilla ilmaista versiota, mutta kokeiluversioita löytyy. Opiskelijoille saatetaan tarjota esimerkiksi koulun sopimuksen puitteissa SolidWorks-lisenssi kotikoneelle. (SolidWorks n.d.)

5.2 Viipalointiohjelmistot FDM-tulostimelle

Viipalointiohjelmisto on ohjelmisto, joka luo aiemmin tehdystä 3D-mallista viipaloidun mallin, jonka se sitten kääntää G-koodiksi 3D-tulostimelle. Ilman viipalointiohjelmistoa ei 3D-tulostin edes toimi. 3D-tulostimet ymmärtävät siis G-koodia, joka on käytössä myös isoimmissa teollisissa CNC-koneissa. Niiden toimintaperiaate on sama. Molemmissa on tiedosto, jossa on useita tuhansia tai jopa satoja tuhansia rivejä tekstiä, joka määrittää 3D-tulostimen tai CNC-jyrsimen seuraavan pisteen, johon sen kuuluu ajaa. (Střiteský 2019, 35.)

Viipalointiohjelmistossa määritellään käytetty 3D-tulostin. Moniin mainituista ohjelmistoista on esiasennettu useiden tulostimien profiilit, jotka voidaan helposti tuoda käyttöön. Kun tulostin on valittu ohjelmistosta, pitää tarkistaa pitävätkö asetukset paikkansa. Esimerkiksi tulostimen suutinpää on voinut vaihtua. Ohjelmistojen asetuksista tämäkin päästään määrittelemään niin, että ohjelmisto luo liikeradat, jotka vastaavat suutinpään kokoa. Jos tulostimessa on eri suutin kuin, mitä ohjelmistossa on asetettu, tulosteeseen voi tulla liikaa tai liian vähän materiaalia riippuen siitä, onko suutinpää isompi vai pienempi kuin ohjelmistossa on asetettu. Osa asetuksista määrittyy automaattisesti sen mukaan, minkä kokoinen suutin on käytössä. (Střiteský 2019, 35.)

Viipalointiohjelmistossa määritellään tulosteelle myös sen haluttu kerrosvahvuus, eli kuinka monen sadan mikronin osiin 3D-malli halutaan pilkkoa. Mitä isommat kerrosvahvuudet, sen kestävämpi osan pitäisi olla, mutta mitä isommat kerrosvahvuudet, sen epätarkempi tuloste saadaan. Esimerkiksi tilanteissa, jossa jokin osa menee tyhjän päälle yli 45° kulmassa, pienemmällä kerrosvahvuudella tuloste onnistuu varmemmin hyvälaatuisena siinä kohdassa. (Střiteský 2019, 38.)

Viipalointiohjelmistossa voidaan määritellä myös seinämävahvuudet. Suurempi seinämävahvuus lisää kappaleen kestävyyttä. Seinämävahvuus määritellään tulostettavien seinämien lukumääränä. Oletusarvona on aina kaksi seinämää. Myös tulostettavan kappaleen täyttöä voidaan säädellä viipalointiohjelmassa. Tällä asetuksella voidaan säätää kappaleen kestävyyttä ja painoa. Voidaan siis tulostaa ontto kappale, jolla on paksut seinämät ja monta päällekkäistä yläpintaa, ja se voi silti olla yhtä kestävä

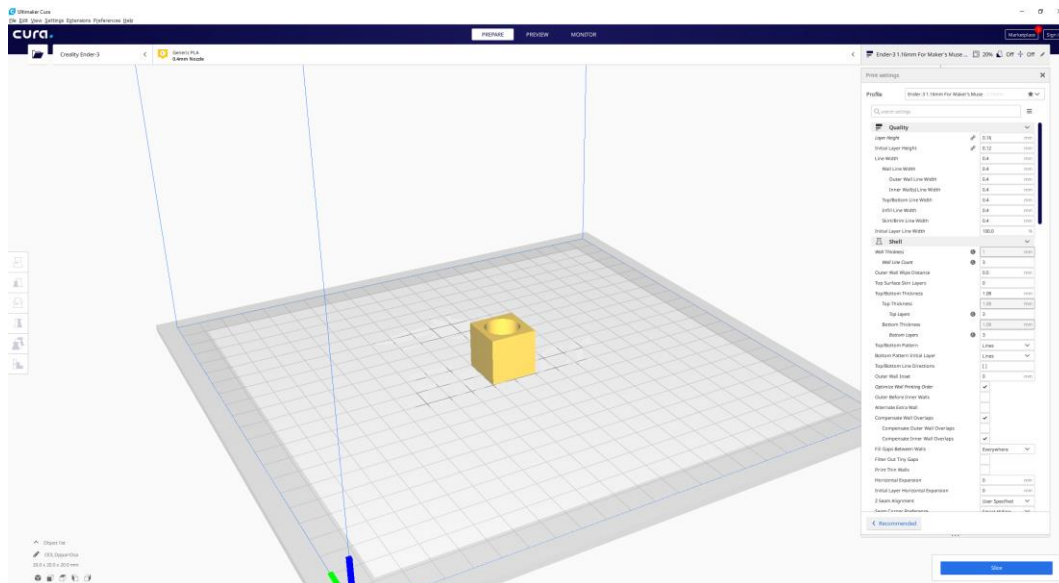
kuin kappale, joka sisältää täyttöä, mutta jolla on vähemmän päällekkäisiä yläpintoja tai seinämiä. (Stríteský 2019, 38.)

Viipalointiohjelmiston yksi tärkeä ominaisuus on tietenkin myös se, että siinä määritellään, mihin kohtaa tulostuspetiä ja mihin asentoon tulosteet tulevat tulostumaan. Kappaleita, joissa on paljon pintoja, eikä yksikään niistä ole tasainen, on hankala sijoittaa tulostuspedille niin, että pinnanlaatu olisi hyvä. Erityisesti tämä koskee niitä kappaleen osia, jotka ovat kosketuksissa petiin. Onkin tärkeää tarkistaa kappaleen orientaatio aina, kun tulostetaan muovipursotustulostimella. (Stríteský 2019, 33.)

Viipalointiohjelmistoja löytyy useita erilaisia. Osa tulostinvalmistajista on alkanut kehittää omia viipalointiohjelmiaan ja osa käyttää jo olemassa olevia yhteisön käyttämiä ohjelmistoja. Muutama maksullinen viipalointiohjelmakin on olemassa, mutta yleensä ne ovat ilmaisia. Seuraavissa kappaleissa esitellään neljä yleisesti käytössä olevaa viipalointiohjelmaa.

5.2.1 Cura

Ultimaker, hollantilainen 3D-tulostinvalmistaja, on kehittänyt oman tulostimensa yhteyteen viipalointiohjelmiston nimeltään Cura. Ultimaker aloitti ohjelmiston kehityksen jo vuonna 2011, ja se on nykyäänkin yksi käytetyimmistä viipalointiohjelmistoista. Curassa on tapahtunut paljon muutoksia. Sen kehitys on nopeutunut ja uusia ohjelmistoversioita tulee suurin piirtein kerran kuukaudessa. Cura tukee useaa eri suutinta, Delta-tulostimia sekä vähän erikoisempiakin tulostimia kuten liukuhihnatulostimia. Cura on erinomainen viipalointiohjelmisto aloittelijalle. Sille löytyy todella laaja valikoima erilaisia profiileja ja sen käyttäminen on suhteellisen yksinkertaista. Käyttöliittymä on selkeä. Yläpalkista valitaan käytettävä tulostin, suutin ja materiaali sekä viimeiseksi laatuprofiili kuten kuvassa 21 näkyy. (Federico 2019)



Kuva 21. Ultimaker Curan käyttöliittymä

Curaan on tehty useita erilaisia plugineja eli liitännäisiä, joilla voidaan parantaa Curan toiminnallisuuksia tai lisätä toimintoja, joita viralliseen versioon ei ole vielä haluttu tuoda. Tällaisia ovat esimerkiksi CAD-ohjelmistojen integraation tuovat pluginit sekä eri asetuksia yksinkertaistavia pluginit. (Jani 2019.)

Curassa voidaan asettaa myös eri tasojä asetuksille. On olemassa aloittelijataso, edistynyt käyttäjä -taso sekä eksperttitaso. Nämä tasot määrittelevät niiden asetusten määrää, mitä käyttäjä voi ohjelmistosta säätää. Perusasetukset riittävät hyvin aloittelijalle, joka käyttää olemassa olevaa tai joltain saatua profiilia. Ultimakerin omat tulostimet toimivat hyvin ihan aloittelijan asetuksilla, kunhan käytetään Ultimakerin omia materiaalejakin. (Striteský 2019, 37; Tyson 2019, 41.)

5.2.2 Slic3r

Slic3r on alun perin vuonna 2011 aloitettu OpenSource -projekti, jota alkoi tehdä Alessandro Ranellucci. Parin kuukauden kuluttua kehityksen aloittamisesta, hän oli luonut ohjelmiston, joka tarjosi parempia tuloksia sen ajan 3D-tulostimilla kuin muut siihen aikaan saatavilla olevat ohjelmistot, esim. Skeinforge. (Ranellucci n. d.)

Ajan saatossa Slic3riin tuli ominaisuuksia aikaisemmin kuin mihinkään muuhun ohjelmistoon. Nämä ominaisuudet sitten muodostuivat viipalointiohjelmistojen perusominaisuuksiksi. (Ranellucci n. d.)

5.2.3 PrusaSlicer

PrusaSlicer on Prusa3D:n kehittämä ohjelmisto, joka pohjautuu Slic3riin. Ohjelmistoa kehittää jatkuvasti kahdeksan hengen tiimi parantaen 3D-tulostuskokemusta Prusa i3 MK2/MK3 -tulostimilla. Ohjelmisto on optimoitu ja kehitetty näille tulostimille, mutta PrusaSliceriin on mahdollista lisätä muitakin tulostimia. (Strřiteský 2019, 36; Tyson 2019, 41.)

Ohjelmistoon on luotu paljon uusia ominaisuuksia, joita muissa ohjelmistoissa ei vielä ole, ja niitä kehitellään koko ajan. Kehittäjätiimillä, kuten myös Curan kehittäjätiimillä on se etuasema, että molemmat tiimit tietävät tarkkaan, miten heidän tulostimensa toimivat, koska myös tulostimien ohjainkorttien firmware on kehitetty saman yhtiön toimesta. (Strřiteský 2019, 36; Tyson 2019, 41.)

5.2.4 Simplify3D

Simplify3D on viipalointiohjelmisto, joka julkaisuvaiheessaan oli ylivoimainen. Se sisälsi ominaisuuksia, joita missään muussa viipalointiohjelmistossa ei ollut. Se sisälsi prosesseja, joilla voitiin säätää jokaisen tulostettavan kappaleen ominaisuuksia. Sillä voitiin samalla kertaa siis tulostaa sama kappale useilla eri asetuksilla. Tällainen ei ollut mahdollista aiemmin, eikä suuremmin vielä nykyäänkään muilla ohjelmistoilla. Muutama viipalointiohjelmisto on tuonut tällaisen ominaisuuden omaan ohjelmistoonsa. Ohjelmisto tarjoaa myös tuen useammalle suuttimelle, sekä monelle eri tulostinprofiilille. Simplify3D oli myös ensimmäinen ohjelmisto, joka tarjosi vaihtelevan kerrosvahvuuden. Ainoat ohjelmiston heikkoudet ovat sen kallis hinta, n. 150 €, sekä harvakseltaan ilmestyvät päivitykset. (Strřiteský 2019, 37; Tyson 2019, 42.)

5.3 FDM-tulostimen viipalointiohjelmiston asetusten vaikutus tulosteeseen

Tässä kappaleessa käydään hieman läpi viipalointiohjelman eri asetuksia sekä niiden vaikutuksia itse tulostukseen ja tulosteeseen. Osalla näistä asetuksista voidaan säästää aikaa, osalla voidaan tehdä itse tulosteesta vahvempi ja osalla taas voidaan parantaa tulosteen ulkonäköä. Tulostettaessa voidaan usein käyttää peruskappaleilla ihan oletusasetuksia, jotka ovat valmiina viipalointiohjelmistossa. Välillä kappaleelta kuitenkin vaaditaan jotain, mitä perusasetukset eivät välttämättä tarjoa, tai kun käyttäjä kehittyi, ja hän tietää tarkemmin, mitä hän haluaa tulostimelta.

5.3.1 Suuttimen ja tulostuspedin lämpötila

Suuttimen lämpötila on hyvä asettaa materiaalinvalmistajan antamalle lämpötilavälille. Jos tulostusta aloittaessa tulostuspää on liian kylmä, syöttökoneisto ei jaksaa työntää materiaali läpi tulostuspäästä. Tällöin syöttökoneisto menee jumiin ja hammasratat alkavat työstää tulostuslankaa. Kun tulostuslankaa on työstetty, siihen muodostuu lovia, jotka aiheuttavat ehdottomasti sen, etteivät hammasratat enää saa kiinni muovista ja siten pysty enää työntämään materiaali tulostuspään läpi, vaikka tulostuspään lämpötila olisi jo saavuttanut tarvittavan lämpötilan. Samoin, jos tulostuspää on liian kylmä, tulostuslaatu voi jäädä hyvin epätasaiseksi. On hyvä siis tarkistaa aina materiaali, jota käytetään ja sille ehdotettu lämpötila ja, että tulostin on saavuttanut tämän lämpötilan ensimmäisellä tulostuskerroksellaan.

Jos suuttimen lämpötila on liian suuri, muovi menee liian löysäksi ja sillä ei voida tehdä enää kovin monimutkaisia muotoja ilman, että tulostusjälki kärsii. Monesti tällainen käyttö johtaa vielä siihen, että tulosteeseen tulee ylimääräistä muovia ja se voi johtaa tulosteen irtoamiseen ja koko tulostuksen epäonnistumiseen.

Yleensä, kun otetaan käyttöön materiaali, jota ei ole aiemmin tulostettu, on hyvä ajaa sille erinäisiä testejä. Yksi näistä testeistä on nimeltään lämpötilatorni (temperature tower). Lämpötilatornilla haetaan optimaalisin lämpötila tulostimella sillä hetkellä käytössä olevaan muoviin, sillä jokainen tulostin ja jokainen materiaali on uniikki.

Katso tarkempi selitys aiheesta kohdasta 6.1 Case 3: Tulosteessa on reikiä ja selkeästi puuttuu osia, syöttö on epätasaista, sieltä kohta 4.

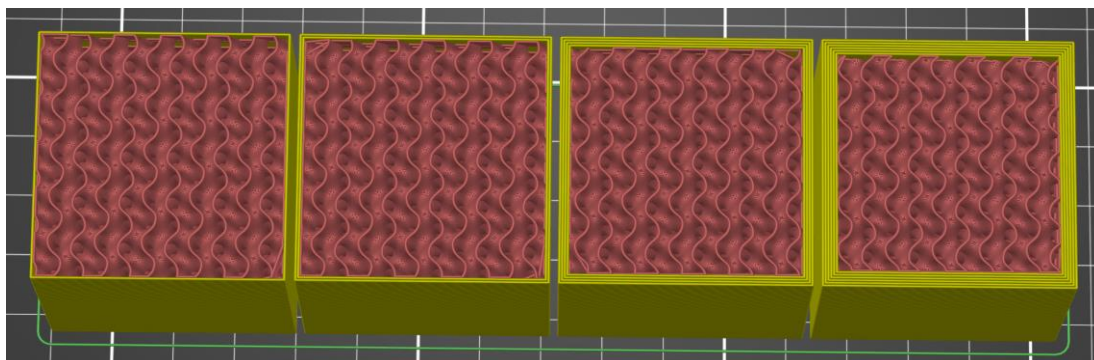
Tulostuspedin lämpötila on myös tärkeä säätää käytössä olevalle materiaalille optimaaliseksi. Jokainen materiaali vaatii eri lämpöisen tulostuspedin. PLA vaatii 20 °C - 60 °C, ABS vaatii 80 °C – 95 °C, PETG vaatii 85 °C – 90 °C. Jos taas tulostuspedin lämpötila on liian alhainen, tuloste irtoaa tulostuspedistä. Jos lämpötila on liian korkea, voi tapahtua niin, että tulosteen muoto alkaa kärsiä. Esim. PLA:ta tulostettaessa tulostuspedin lämpötilan nosto yli 70 °C voi aiheuttaa sen, että tulosteessa alkaa esiintyä epämuodostumia.

5.3.2 Kerrosvahvuus

Kerrosvahvuus määrittää tulosteen tarkkuuden ja ulkonäön varsinkin, jos tuloste sisältää kohoumia tai yksityiskohtia Z-akselin suuntaisesti. Kerrosvahvuus vaikuttaa myös tulostusaikaan ja jossain määrin tulosteen vahvuuteen. Mitä pienempi kerrosvahvuus, sen pehmeämpi pinta esimerkiksi pallossa.

5.3.3 Seinämävahvuus

Seinämävahvuus ja seinämien lukumäärä vaikuttavat kappaleen ulkoisten pintojen määrään (Kuva 22). Seinämien lukumäärä on hyvä asettaa normaalia suuremmaksi, jos tuloste sisältää esimerkiksi reikiä X- tai Y-akselin suuntaisesti, tai jos se halutaan kestäväksi kauttaaltaan.



Kuva 22. Esimerkki seinämävahvuudesta koskien seinämälukumäärää, vasemmalta aloittaen; 1 seinämä, 2 seinämää, 4 seinämää ja 6 seinämää

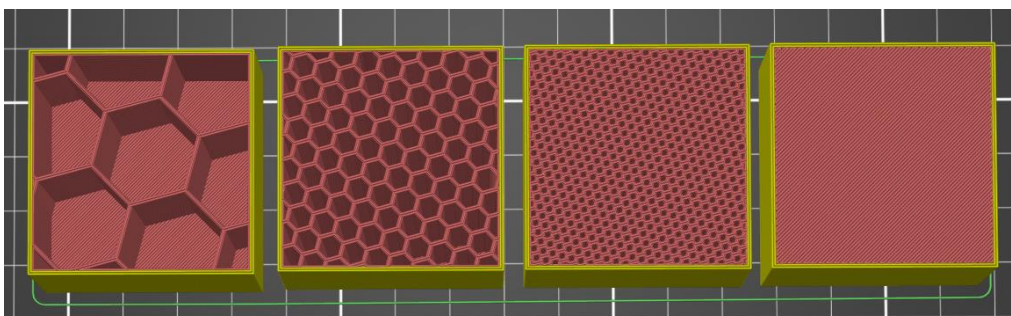
Tulostuspään suuttimen koko vaikuttaa myös seinämävahvuuteen, sillä yleensä yksi seinämän leveys on tulostimen suuttimen kokoinen. On erilaisia asetuksia, joilla sitä saadaan kasvatettua tai pienennettyä. Yleensä seinämän leveys pyritään pitämään suuttimen kokoisena. Jos halutaan saada kestävämpi kappale ja halutaan varmistaa seinämien kiinnittyvyys tuottamalla lisämateriaalia seinämien väleihin, voi seinämän leveyttä suurentaa.

Eri viipalointiohjelmistot määrittävät seinämävahvuuden erillä tavoin. Esim. Curassa voidaan määrittää seinämävahvuus joko millimetreissä tai seinämien lukumääränä. Slic3rissa ja muissa ohjelmistoissa taas määritetään seinämävahvuus lukumääränä pelkästään. Itse seinämävahvuus tulee sitten suoraan suuttimen koon asetuksista.

5.3.4 Täyttömäärä ja täyttökuvio

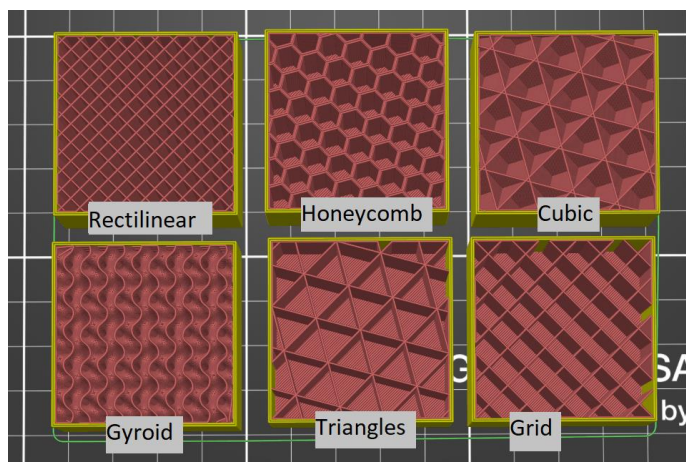
Täyttömäärä ja täyttökuvio vaikuttavat kappaleen painoon sekä joiltain osin myös kestävyteen. Täyttömäärä vaikuttaa myös yläpintojen muodostukseen. Jos täyttömäärä on liian pieni, yläpinnan muodostus kärsii ja siitä voi tulla rakoileva. Tämä johtuu siitä, että yläpinnan alapuolella ei ole riittävästi tukea, jonka päälle yläpinta muodostuisi täysin tasaisesti. Tätä voidaan joissain tapauksissa kompensoida kasvattamalla yläpintojen määrää.

Täyttömäärä vaikuttaa myös paljon tulosteen painoon ja tulostusaikaan. Kuva 23 nähdään erilaisia täyttömääriä. Riippuen täyttökuvioista, kappaletta ei voida edes viipaloida 100 %:n täytöllä. Tällöin tulee vaihtaa täyttökuvioita, jos halutaan umpinainen kappale.



Kuva 23. Esimerkki täyttömääristä, vasemmalta lähtien 5%, 20%, 50% ja 90%

Täyttökuviot vaikuttavat myös tulostusaikaan, painoon sekä kestävyuteen. Yleisimpiä täyttökuvioita on pelkät kolmiot tai neliöt, jotka muodostuvat tulosteen sisälle. Tämä johtuu siitä, että se on nopea menetelmä täyttää. Kuva 24 näkyy yleisimmät täyttökuviot sekä muutama edistyneempi täyttökuvio, jotka ovat myös yleistyneet ajan saatossa. Yksi kestävimmistä täyttökuvioista on hunajakennorakenne. Sen tulostaminen vie hieman enemmän aikaa, mutta se on hieman kestävämpi kuin suorat viivat. Myös erilaiset täyttökuviot, jotka sisältävät kolmiulotteista täyttöä, ovat hyvinkin kestäviä verrattuna perustäyttökuvioon.

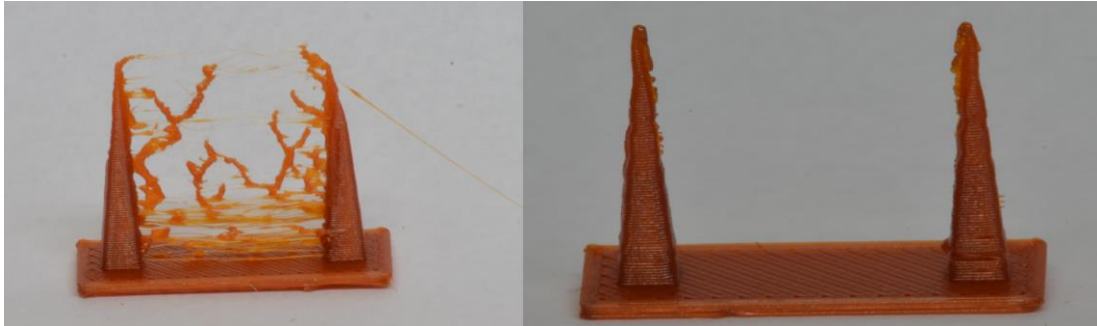


Kuva 24. Esimerkkejä täyttökuvioista

5.3.5 Takaisinvento

Takaisinvento, eli englanniksi retraction, vaikuttaa siihen, kuinka paljon tulostin vetää materiaalia takaisin, kun se vaihtaa esimerkiksi kerrosta, tai liikkuu ilman että sen on tarkoitus pursottaa materiaalia. Takaisinvedossa on kaksikin asetusta, joita säädetään. Toinen on takaisinvetomatka ja toinen on takaisinvetonopeus.

Takaisinvedon tuoma hyöty on tulosteen siistiydessä. Jos takaisinvetoa ei ole päällä, tapahtuu suuttimesta ns. vuotoa, joka aiheuttaa tulostimen pinnalla epäsiisteyksiä, kuten pieniä nauhamaisia osia eri pintojen välillä (Kuva 25).



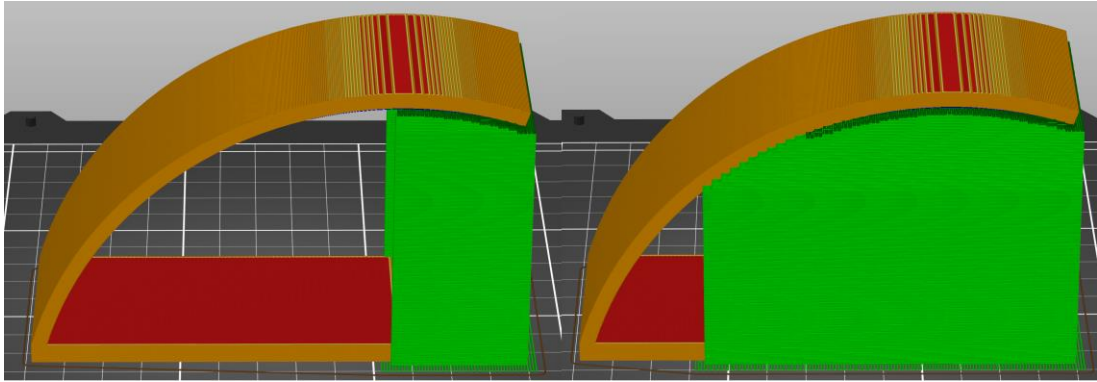
Kuva 25. Vasemmanpuoleisessa tulosteessa takaisin veto on pois päältä, oikeanpuoleisessa taas päällä

5.3.6 Tuet

Tuet ovat ohjelmiston asetus, jolla päätetään, sijoitetaanko tulosteeseen tukimateriaalia. Tuilla tuetaan pintoja, jotka ovat tyhjän päällä, tai ylittävät asetetun ulkoneman kulman. Tukimateriaali voi olla samasta materiaalista kuin itse tulostekin, tai se voi olla jotain toista materiaalia, esimerkiksi PVA, HIPS tai Breakaway. Toisen tukimateriaalin käyttö edellyttää sitä, että tulostimessa on kaksi tai useampia tulostuspäitä.

Käytettäessä toista materiaalia tukena, saadaan tuetusta alapinnasta paljon tasaisempi, kuin käyttäen samaa materiaalia myös tukena. Toista materiaalina tukena käytettäessä saadaan tukien poistoprosessista paljon helpompi. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi PVA:n kanssa vettä, HIPS:in kanssa limoneenia ja Breakaway:n kanssa voidaan käyttää perinteisiä mekaanisia menetelmiä.

Tukia asetettaessa, asetuksista voidaan valita, tuleeko tukia tulosteen joka kohtaan, vai tuleeko tuki vain tukemaan osia, jotka koskettavat tulostuspäitä (Kuva 26). Tukia voidaan myös sijoittaa nykyisin niin, että käyttäjä päättää minne tuet sijoitetaan, eli voidaan pakottaa ohjelmisto luomaan tai poistamaan tuet sieltä, mistä käyttäjä haluaa.



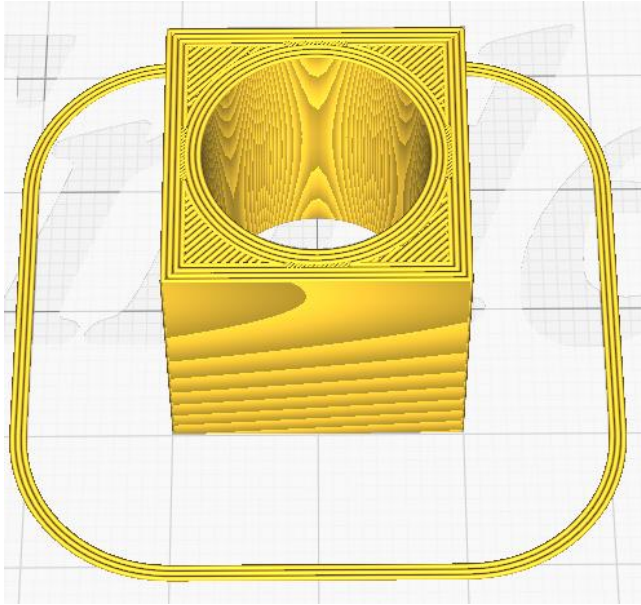
Kuva 26. Esimerkki tukirakenteista, vasemmalla tukia pelkästään tulostuspedillä, oikealla kaikkialla

5.3.7 Kiinnittyvyys tulostuspetiin

Viipalointiohjelmistossa voidaan säätää erilaisia apuasetuksia, jos tulosteella on hankaluuksia pysyä kiinni tulostuspedissä. Nämä ovat varsin hyödyllisiä, kun tulostetaan jotain osaa, josta osuu vain pieni osa tulostuspetiin. Ne ovat hyödyllisiä myös silloin, kun tulostetaan esimerkiksi ABS-muovista, koska sillä on taipumusta nousta tulostuspedistä kesken tulostuksen.

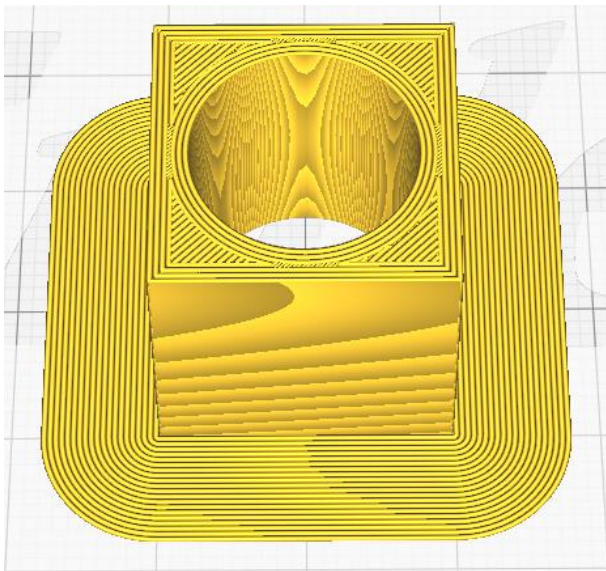
Asetuksessa on tyypillisesti kolme eri valintaa; Skirt, Brim ja Raft. Osassa viipalointiohjelmistoja ei ole lainkaan valittavissa tätä asetusta, vaan Skirt on oletusarvoisesti päällä, eikä sitä voida laittaa pois päältä.

Skirt-asetuksella tulostin tekee ensin kappaleen ääriviivojen ympärille viivan (Kuva 27). Tällä varmistetaan se, että käyttäjä ehtii ensimmäisen kerroksen aikana huomata mahdolliset tulostuspedin kallistumat, jotka voivat aiheuttaa tulosteen epäonnistumisen. Tällöin ensimmäisen kerroksen aikana on vielä aikaa korjata tulostuspedin kaltevuutta säätämällä petiä.



Kuva 27. Esimerkki Skirt-asetuksesta

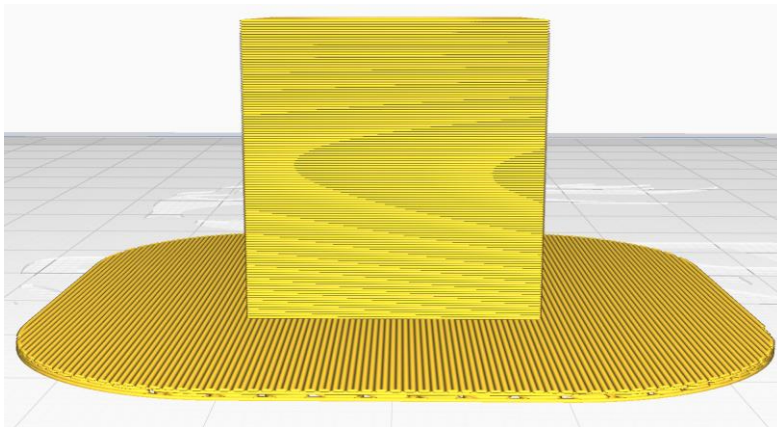
Brim -asetus muodostaa kappaleen ympärille reuna-alueen, joka kattaa asetuksen osoittaman pituuden (Kuva 28). Tällä asetuksella saadaan lisää pitävyyttä kappaleen ja tulostuspedin välille sekä saadaan tarkastettua sama tulostuspedin kaltevuus kuin Skirtin kanssa. Brim on erittäin hyödyllinen silloin, kun tulosteen tarttuvuudessa on ongelmia. Tällaisia tilanteita tulee esim. tulostettaessa ABS-muovia tai jos tulosteessa on vain pieni ala, joka koskettaa tulostuspetiä.



Kuva 28. Esimerkki Brim-asetuksesta

Raft-asetuksella ohjelmisto muodostaa tulosteen alle ”lautan”, jonka päälle tuloste tuostuu (Kuva 29). Se muodostaa siis millin tai kahden paksuisen lautan, jonka päälle

itse tuloste sitten tulostuu. Tällä voidaan kompensoida tulostuspedin epätasaisuutta, tekemällä tasainen pinta, jota vasten tuloste tulostuu. Tätä asetusta käytettiin aluksi paljon, kun ei ollut muuta vaihtoehtoa paremmalle pitävyydelle tulostuspedissä. Yhäkin muutama tulostinvalmistaja ei anna ohjelmistossaan vaihtoehtoa tulostaa ilman Raftia.



Kuva 29. Esimerkki Raft-asetuksesta

5.4 Viipalointiohjelmistot MSLA-laitteille

MSLA-tulostimilla viipalointiohjelmistojen toimintaperiaate on melko samankaltainen kuin FDM-tulostimilla, mutta ne eivät luo G-kooditiedostoja, vaan jokaiselle tulostimelle omanlaista tiedostoformaattia, jota tulostin sitten osaa tulkata. Yleensä nämä tiedostot pitävät sisällään kuvia sekä tietoa siitä, kuinka monta sekuntia pitää minkäkin tulostusprosessin vaiheen kestää.

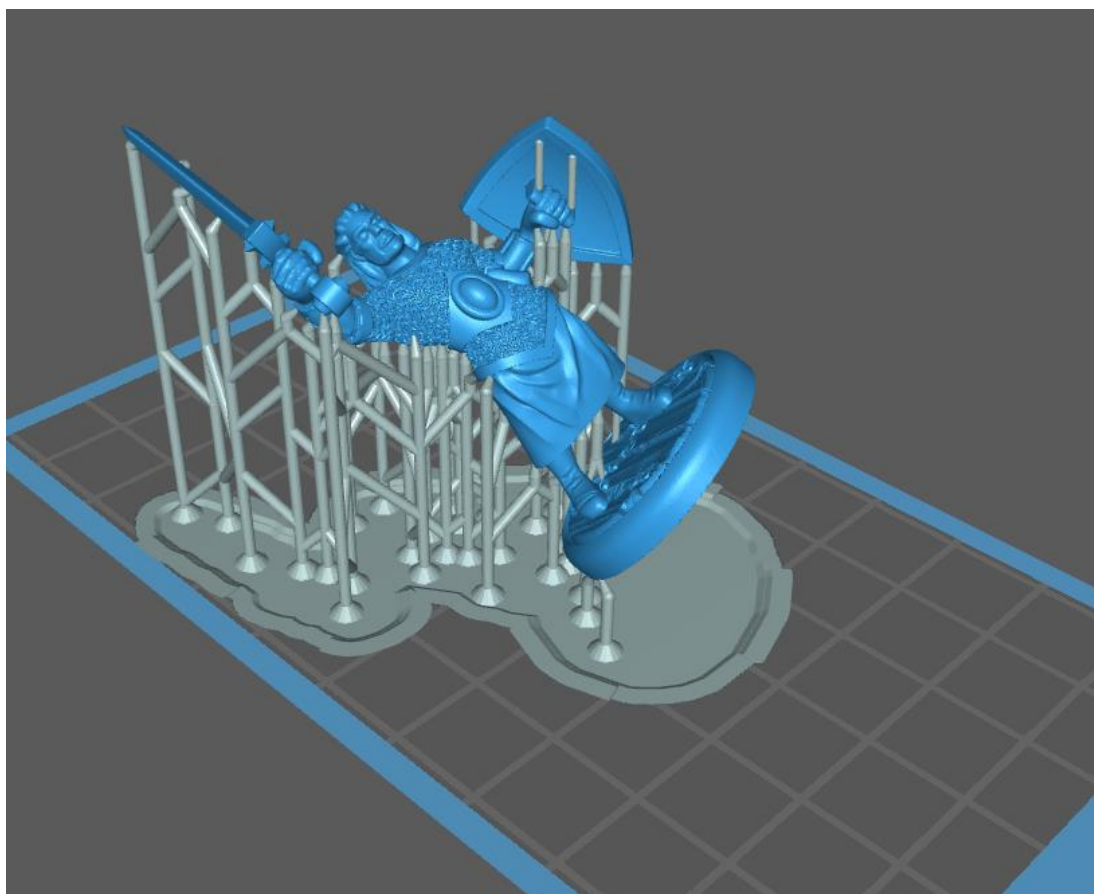
Viipalointiohjelmistossa tehdään tulostettavien kappaleiden orientaatiomuutokset sekä tukien luonti tulosteelle. MSLA-tulostimilla on pakko käyttää aina tukia, ellei tulostettava kappale ole hyvin tasainen, jolloin se voidaan asettaa tasainen puoli tulostusalustaa päin. Muussa tapauksessa kappale tulee orientoida MSLA-tulostimelle sopivaksi. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi pienten figuurien tai joidenkin sellaista kappaleiden tulostaminen, jotka sisältävät hiemankin tasosta ulospäin olevia geometrisia muotoja. Orientoinnin jälkeen on kappaleelle pakko luoda tukia, jotta se pysyy tulostusalustassa kiinni. Osa ohjelmistoista sisältää automaattisen tukien luonnin, mutta niiden algoritmit eivät välttämättä ole parhaimmasta päästä, joten joskus on hyvä vielä lisätä tukia manuaalisesti. Toisaalta voi tulla myös tilanteita, jolloin tukienasettelualgoritmi luo tukia liiankin tiheään, jolloin niitä on manuaalisesti hyvä myös poistaa. Nyökkisääntönä MSLA- ja SLA-tulostimilla tulostettaessa voidaan pitää sitä, että tyhjän päälle ei voida tulostaa. Ei myöskään kannata tulostaa niin, että tuloste olisi pitemmältä matkalta kohtisuorassa tulostusalustaa kohti.

Viipalointiohjelmistoon määritellään käytettävän tulostimen tiedot, tai jos käytetään jonkin tietyn tulostimen ohjelmistoa, nämä tiedot löytyvät tietenkin jo valmiina. Esimerkkitapaukseksi tähän otetaan viipalointiohjelmisto nimeltään ChituBox, joka on suunniteltu käytettäväksi usean eri MSLA-tulostimen kanssa. Suurimmalle osalle tällä hetkellä markkinoilla olevista MSLA-tulostimista löytyy tuki tästä ohjelmistosta, joten ohjelmisto on suosittu MSLA-tulostajien keskuudessa. Tässä kappaleessa keskitytään kahteen viipalointiohjelmistoon, jotka ovat tulleet tämän kehittämistyöprosessin aikana hyvin tutuksi niistä löytyvien työkalujen vuoksi.

5.4.1 ChituBox

ChituBox on erittäin käyttökelpoinen viipalointiohjelmisto MSLA-tulostimilla. Sen käyttö on hyvin yksiselitteistä ja helppoa. ChituBoxin käyttöä suositellaan varsinkin Anycubic Photon -tulostimen kanssa sekä Elegoo Marsin kanssa. Photonin oma viipalointiohjelmisto ei ole kovinkaan hyvä ja helppokäyttöinen, kun taas Marsilla ei ole edes omaa ohjelmistoa, vaan se käyttää ChituBoxia.

ChituBoxissa tiedosto, joka halutaan tulostaa, asetetaan haluttuun kulmaan tulostusalustalle ja siihen muodostetaan sitten tuet kappaleelle (Kuva 30). Tämän jälkeen tuloste viipaloidaan.



Kuva 30. ChituBoxin käyttöliittymä. Malli on Thingiversestä, Valandras-käyttäjän tuotos.

5.4.2 PrusaSlicer

Sen jälkeen, kun Prusa julkaisi oman MSLA-tulostimensa, PrusaSliceriin on myös tullut ominaisuuksia, joiden avulla voidaan käsitellä tiedostoja MSLA-tulostusta varten (Kuva 31). Tässä ohjelmistossa on erittäin hyvä automaattinen orientaation optimointi-algoritmi, joka optimoi tulostusasennon automaattisesti vasta-alkajalle. Tätä ominaisuutta kannattaa käyttää, kunnes oppii itse huomaamaan, miten kappale on paras orientoida. Ohjelmistosta löytyy myös automaattinen ja manuaalinen tukien sijoitus. Tällä ominaisuudella saadaan hyvin tehtyä tuet sinne, minne tarvitsee ja voidaan säätää tukien minimietäisyyttä toisistaan.



Kuva 31. PrusaSlicerin perusnäkyvä, kun käytetään MSLA-tulostimen puolta. Malli on Thingiversestä, Valandras-käyttäjän tuotos

5.5 MSLA-tulostimen tulostusohjelmiston asetukset

Tässä kappaleessa paneudutaan enemmän ChituBoxiin, koska se on ohjelmisto, joka hoitaa suurimman osan esivalmisteluista MSLA-tulostusta varten. Ohjelmiston käy-

tettävyys on suhteellisen helppoa. On myös hyvä huomata, että tätä ohjelmistoa päivitetään tasaisin väliajoin. Jokaisen päivityksen yhteydessä tulee jotain pientä uudistusta ja ohjelmistoa hyödyntävien tulostimien lukumäärä kasvaa jatkuvasti.

5.5.1 Laiteasetukset

Kun tulostin otetaan käyttöön ChituBoxissa, sille tulee määrittää tulostimen resoluutiota ja tulostusalaan koskevat asetukset (Kuva 32). Nämä tiedot ovat saatavilla ohjelmiston sisältä, valmiista profiileista. Jos tulostin ei löydy profiililistauksesta, tulee nämä tiedot lisätä käsin. Tulostimia löytyy vasemmassa reunassa olevalla ”Add new Printer”-painikkeella.

The screenshot shows the 'Settings' window for a printer profile. The profile is named 'AnyCubic Photon'. The settings are organized into tabs: 'Machine', 'Resin', 'Print', 'Infill', and 'Advanced'. The 'Machine' tab is currently selected. The settings include:

- Name:** AnyCubic Photon
- Machine Type:** AnyCubic Photon
- Resolution:** X: 1440 px, Y: 2560 px
- Mirror:** LCD_mirror (dropdown menu)
- Lock Ratio:**
- Size:** X: 68.04 mm, Y: 120.96 mm, Z: 150 mm

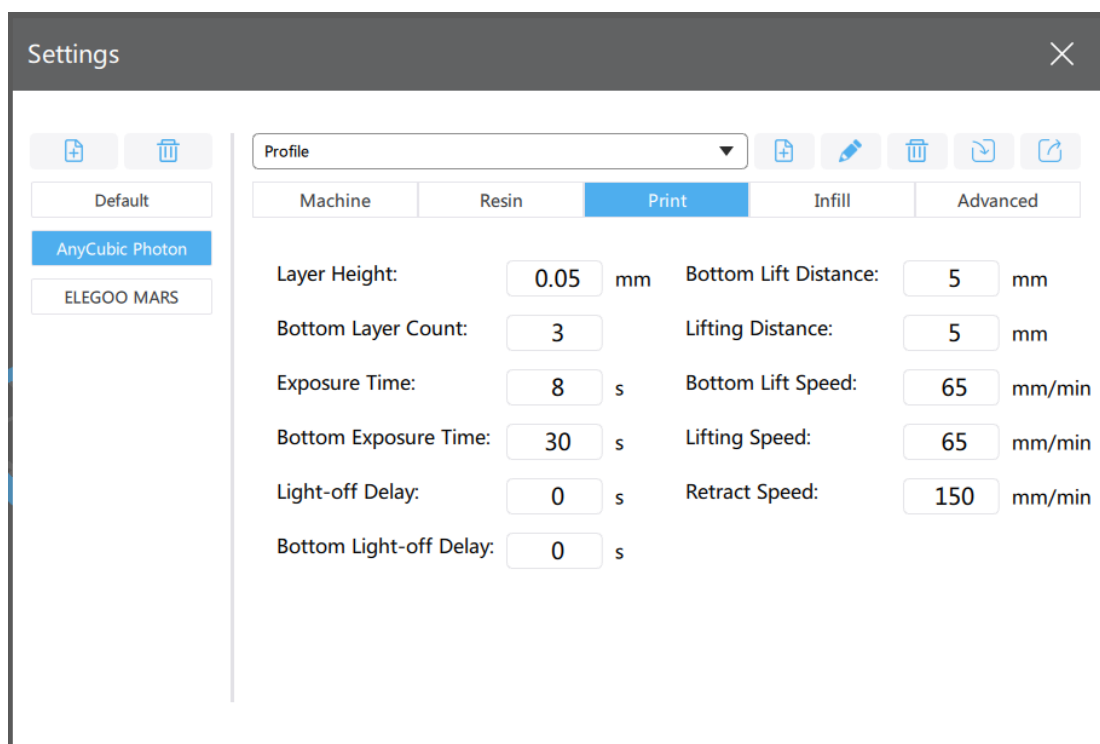
Kuva 32. ChituBoxin laiteasetusikkuna

5.5.2 Tulostusasetukset

Seuraavassa käydään ytimekkäästi läpi tärkeimmät MSLA-tulostusasetukset, joihin kannattaa kiinnittää huomiota.

Kerrosvahvuus

ChituBoxin asetusten Print -välilehdeltä löytyy tulostusprosessia koskevat asetukset (Kuva 33). Asetuksissa määritellään ensimmäisenä tulostuksen kerrosvahvuus, eli Layer Height. Yleisin asetus on 0,05 mm, mutta tähän voidaan sijoittaa aina 0,02 mm – 0,1 mm väliltä jokin arvo. Tämä asetus siis säätelee sen, kuinka korkea jokaisesta kerroksesta tulee, ja samalla määrittelee kappaleen Z-akselin resoluution. Mitä pienempi resoluutio, sen paremmalta tuloste näyttää, eikä kerroksia paljaalla ihmissilmällä välttämättä edes huomaa. Tällä asetuksella on tietysti vaikutusta myös tulostusaikaan. Mitä pienempi kerrosvahvuus, sitä pidempi tulostusaika.

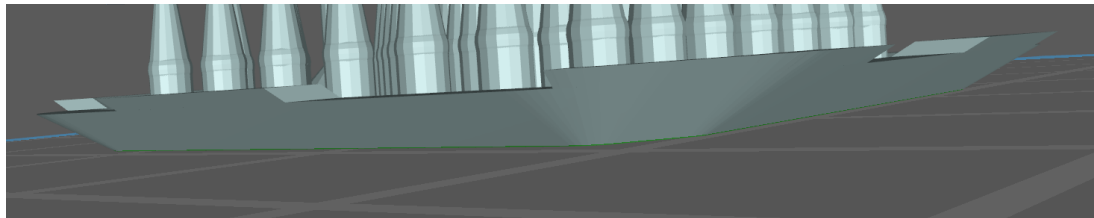


Kuva 33. Tulostusasetusikkuna

Pohjakerroksien määrä

Pohjakerroksien määrällä varmistetaan, että tuloste tarttuu riittävästi kiinni tulostusalustaan. Jos tämä jätetään vain muutamaan kerrokseen, voi olla varma, että tuloste ei pysy kiinni tulostusalustassa. Pohjakerrokset muutenkin ovat yleensä osa ”laattaa”, jonka päälle tuloste tulee tukien avulla (Kuva 34). Tämä voi olla joko suorakulmio, johon tuet kytkettyvät, tai hieman kappaleen muotoa mukaileva laatta tai sitten Kuva 34 mukainen ”slate”, eli reunat ovat hieman koholla. Tämä helpottaa tulosteen irrotta-

mista tulostuspedistä todella paljon. Työkalu, jolla tulosteita irrotetaan, saadaan reunan alle paljon helpommin, kuin jos nousevaa reunaa ei olisi. Kiinnittyvyydessä näiden eri vaihtoehtojen välillä ei ole huomattu eroa.



Kuva 34. Slate, jonka tulostusohjelmisto tekee, jotta tuloste pysyy kiinni alustassa

Valotusaika

Valotusaika määrittää sen, kuinka paljon tulostetta valotetaan eli hartsia kovetetaan jokaisella kerroksella. Tämä on kriittinen osa MSLA-tulostimilla tulostusta. Valotusaika pitää olla mahdollisimman hyvin kalibroitu aina jokaiselle hartsille ja jokaiselle kerrosvahvuudelle. Eri kerrosvahvuuksilla on eri valotusajat. Jos valotusaika on liian suuri, tuloste ylivalottuu osittain, jolloin sen tarkkuus kärsii. Jos taas tuloste alivalottuu, siitä ei tule riittävän vahva ja myös sen tarkkuus kärsii. Tämän vuoksi optimaalinen valotusaika on löydettävä. Tarkempaa tietoa siitä, miten tämä tehdään, löytyy kappaleesta 7.1 ja sieltä tarkemmin ongelmakohta numero 2 ja sen ratkaisu.

Pohjan valotusaika

MSLA-tulostuksessa pohjalle on hyvä käyttää eri valotusaikaa kuin normaaleille kerroksille, koska pohjan on tarkoitus tarttua mahdollisimman hyvin tulostuspetiin kiinni. Tämän vuoksi pohjan valotusaika on monesti jopa kymmenkertainen.

Valikon muut asetukset

Loput asetukset tässä valikossa käsittelevät sitä, miten tulostusalusta liikkuu kerrosten välissä. Näihin on hyvä käyttää muiden testaamia arvoja, tai sitten vakioarvoja, jotka ovat jo paikallaan.

6 FDM-TULOSTIMIEN HAASTEET JA ONGELMAT SEKÄ NIIDEN RATKAISUT

Tässä kappaleessa tarkastellaan lähemmin eri FDM-menetelmien haasteita ja mahdollisia yleisesti esiintyviä ongelmia tai vikatilanteita. Ongelmat ja vikatilanteet on käsitelty erillisinä caseina ja niiden yhteyteen on koostettu ratkaisuja ko. ongelmiin ja vikatilanteisiin.

FDM-tulostimen ongelmat voidaan jakaa neljään kategoriaan; käyttäjän tekemät virheet, laitteen virheet, materiaalivirheet ja viipalointiohjelmiston virheet. Toisaalta viipalointiohjelman virhe on käyttäjän tekemä virhe, joten voisi varmaan sanoa, että virhekatilanteita on kolme.

Yleisimmiltä ongelmilta voidaan välttyä, kun tulostimesta pidetään hyvää huolta. 3D-tulostimelle on aika ajoin hyvä tehdä tarkastustoimenpiteitä liittyen erityisesti mekaniikkaan. On tärkeää tarkastaa laakereiden liikkuvuus, hihnojen kireys ja liikkuvuus, trapetsiruuvien puhtaus sekä muu yleinen siisteys. Tulostin on myös hyvä pitää perussiistissä ympäristössä, eli tilassa, jossa ei ole liiammin sahanpurua, metallipölyä tai vastaavaa, joka voisi aiheuttaa ongelmia tulostimen mekaniikkaan.

6.1 Case 1: Tulosteen tarttuvuus tulostuspetiin

Tärkein asia 3D-tulostettaessa on tulostettavan kappaleen tarttuvuus tai tarrautuvuus tulostuspetiin. Ensimmäisen tulostuskerroksen tarttuvuus tulostuspetiin on tietenkin tärkein. Jo ensimmäisestä kerroksesta voi huomata sen, tuleeko tuloste onnistumaan vai epäonnistuuko se muutaman kerroksen jälkeen.

Useat epäonnistuneet tulosteet voivat pohjautua juuri huonoon ensimmäiseen kerrokseen, josta on lähtenyt niin sanottu lumipalloefekti, joka sitten on tulosteen viimevaiheilla irrottanut tulosteen tulostuspedistä. Pahimmillaan huono tarrautuvuus kappaleessa voi johtaa siihen, että tuloste irtoaa tulostuspedistä hieman, ja tulostin jatkaa tulostustaan niin, että muovi tarrautuu itse suutinpäähän (Kuva 35).

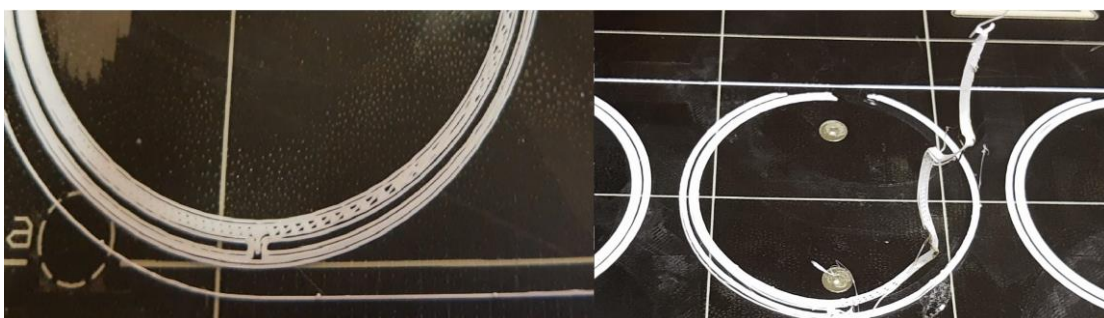


Kuva 35. Tulostimen suutinpäähän tarrautunut yli puolet tulosteen muovista tulostuspedistä irronneen tulosteen vuoksi

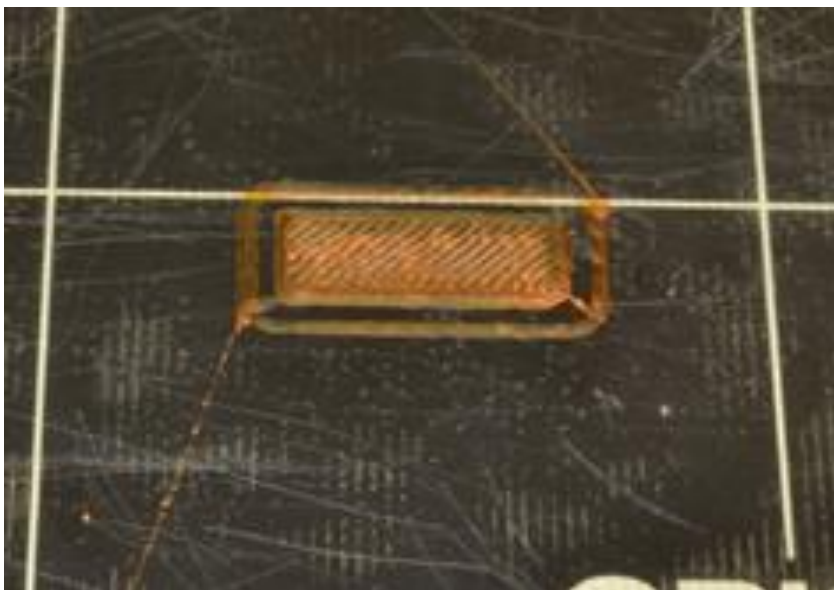
Syitä sille, että tuloste irtoaa tulostuspedistä voi olla useita tai syy voi olla usean eri syyn summa. Seuraavassa on käyty läpi yleisimpiä syitä ja niiden ratkaisuja:

1. Suuttimella väärä etäisyys tulostuspedistä

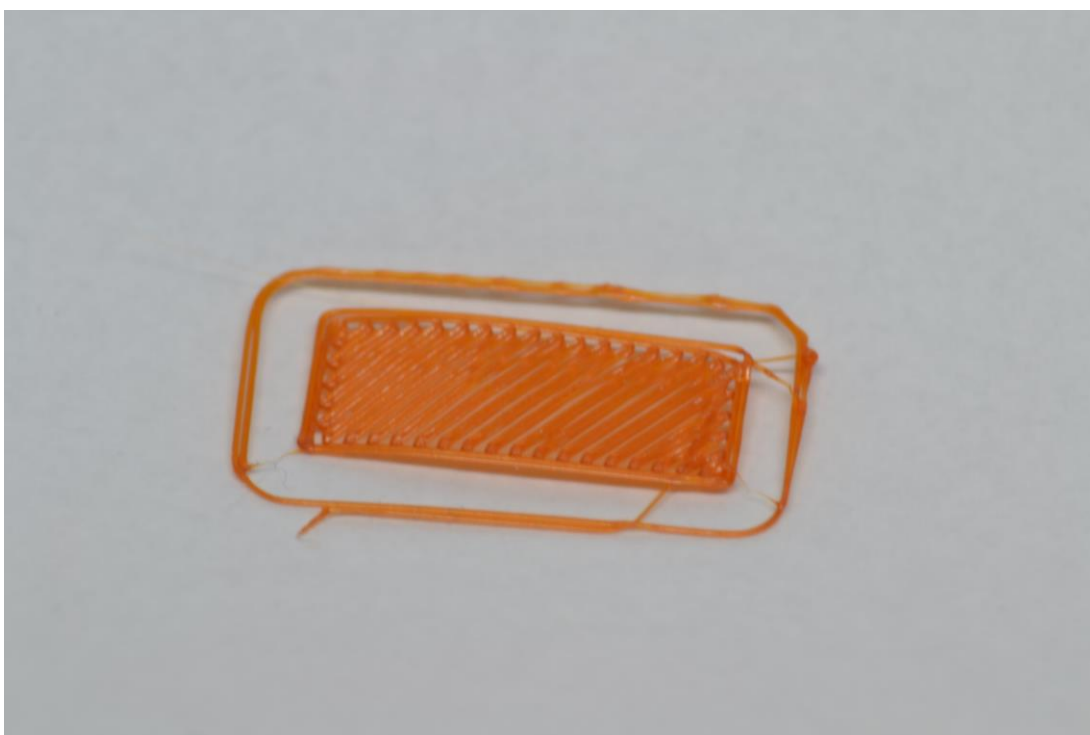
Suuttimen väärän etäisyyden tulostuspedistä voi huomata siitä, että tulostimen pursottama muovijana on hyvin pyöreä, ja jos sitä koskettaa sormella, se lähtee heti irti tulostuspedistä (Kuvat 36 ja 38). Optimaalisin korkeus suuttimen kärjelle tulostuspedistä olisi silloin, kun muovi litistyy hieman mutta ei kuitenkaan liikaa, koska tällöin tulostusjälki alkaa kärsiä (Kuva 37). Jos taas muovi ei litistyy tarpeeksi, tulosteen kiinnipysyvyys kärsii ja kerrosten liitokset kärsivät, jolloin tulosteen kestävyys voi muodostua heikoksi (Kuvat 36 ja 38).



Kuva 36. Vasemmalla tulosteen ensimmäinen kerros, kun tulostuspää on hieman kaukana tulostuspedistä ja oikealla siitä johtuva irtoaminen



Kuva 37. Tulostuspää on liian lähellä tulostuspetiä, jolloin muovi litistyy liikaa



Kuva 38. Tulosteessa suutin on ollut liian korkealla tulostuspedistä, jolloin osa viivoista ei ole edes yhdistynyt

Ratkaisu: Tehdään tulostimen suuttimen uudelleenkalibrointi tulostuspedin suhteen. Tämä voidaan tehdä joko tulostimen asetuksista, käyttäen Live Adjust-, Babystep Z- tai Z-Offset-toimintoa, jos sellainen löytyy tulostimen käyttöpaneelista. Toinen tapa on siirtää tulostimen Z-akselin rajakytkintä lähemmäs tulostuspetiä, tai sitten laskea tai nostaa tulostuspetiä säätöruuveilla tarpeen mukaan.

2. Tulostuspeti ei ole tasossa

Jos tulostuspeti ei ole tasossa, voidaan se huomata siitä, että tulostuksen ensimmäisen kerroksen aikana, varsinkin isoimmissa tulosteissa, toinen reuna on enemmän litteä kuin toinen, tai toinen reuna on ylempänä kuin toinen reuna.

Ratkaisu: Säädetään tulostinpeti tulostuspedin asetusruuveista suoraksi. Tämä onnistuu helpoiten niin, että ensin haetaan A4-kokoinen pala normaalia paperia, ajetaan tulostin kotiasemaan ja kytketään tulostimesta virta pois. Seuraavaksi kuljetetaan tulostimen suutinta kädellä tulostuspedin eri kulmiin, samalla liikuttaen myös paperia vastaaviin kulmiin. Käydään tulostuspeti kulma kerrallaan läpi niin, että aloitetaan lähimmästä kulmasta, säädetään tulostuspedin ruuveja sen verran, että tulostimen suutin raahaa hieman paperia. Suuttimen ja tulostuspedin välisen raon pitäisi olla sellainen, että suutin selvästi osuu paperiin, mutta paperi kuitenkin liikkuu suuttimen ja tulostuspedin välisessä raossa. Kun kulma on asetettu oikein selityksen mukaiseksi, siirrytään seuraavaan kulmaan. Kaikkien kulmien jälkeen, tarkistetaan kulmat vielä uudelleen ja tarkistetaan myös tulostuspedin keskeltä, että paperissa tuntuu hieman vastusta.

Jos 3D-tulostimessa ei ole säätöruuveja (esim. Prusa i3 MK2/MK3S), täytyy muokkaukset tehdä ohjelmallisesti. Se tapahtuu 3D-tulostimen käyttöpaneelista, Calibration-valikon alta. Tällä voidaan säätää eri reunojen virtuaalista pinnansäätöä.

3. Liian suuri tulostusnopeus ensimmäisessä kerroksessa

Jos ensimmäisen kerroksen tulostusnopeus on liian suuri, huomataan se siitä, että tuloste ei meinaa pysyä tulostuspedissä kiinni ensimmäisen kerroksen aikana, vaikka tulostuskorkeus on säädetty optimaaliseksi. Tämä johtuu siitä, että tulostimen syötin ei pysy tulostimen suutinkärjen nopeuden mukana. Tällöin tulostin ei pysty samanaikaisesti pursottamaan niin paljon materiaalia, että se työntyisi tasaisesti suutinkärjen ja tulostuspedin välissä ja tarrautuisi petiin.

Ratkaisu: Tulostusnopeutta tulee laskea ensimmäiselle kerrokselle niin, että se on korkeintaan puolet tulostimen perustulostusnopeudesta. Tämä asetus löytyy viipalointiohjelmasta nimellä ”Initial Layer Speed”, tai vastaava. Asetuksen nopeusarvoksi on hyvä aluksi sijoittaa 30 mm/s. Tätä arvoa voi muuttaa ja kokeilla, milloin tuloste ei

enää pysy kiinni tulostuspedissä. Myös tulostuslämpötilan kasvattamista kannattaa kokeilla, sillä korkeammalla lämpötilalla syötinkoneisto tekee vähemmän työtä materiaalin pursottamisessa, jolloin se ongelma, ettei materiaalia tule tarpeeksi, pitäisi kadota. Parempi vaihtoehto on kuitenkin laskea ensimmäisen kerroksen tulostusnopeutta.

4. Lämpötila-asetukset

Kun tulostimen nopeudet ja korkeus on optimoitu, mutta tuloste ei silti pysy kiinni tulostuspedissä, täytyy miettiä muita vaihtoehtoja. Tulosteen tarrautuvuus on todella monimutkainen seikka, eikä sen ratkaisuun löydy välttämättä ihan heti vastausta. Jos kuitenkin ajatellaan, että tulostusnopeus ja etäisyys suuttimen kärjestä tulostuspetiin ovat hyviä, voi yhtenä syynä olla väärä tulostuslämpötila.

Liian alhainen tulostuslämpötila vaikeuttaa syötinkoneiston työtä ja voi aiheuttaa sen, että tulostettava materiaali ei tarraudu petiin. Tietyt materiaalit taas vaativat hyvin tarkkaan määrättyjen rajojen sisällä olevan lämpötilan, jotta ne tarrautuvat petiin. Tässä on tärkeää myös muistaa se, että jokaisella materiaalivalmistajalla sekä eri materiaaleilla on spesifit tulostuslämpötilat.

Ratkaisu: Tarkistetaan muovilankarullan laatikosta tai valmistajan sivuilta valmistajan suosittelemat tulostuslämpötilat. Sijoitetaan ne viipalointiohjelmistoon materiaali-asetusten kohdalle. Jos käytössä on jo valmistajan antamat arvot, kokeillaan kasvattaa ainakin tulostuslämpötilaa suuttimen osalta vielä +10 °C. Ensimmäisen kerroksen tulostuslämpötila olisi hyvä olla n. +10 °C suurempi kuin sitä seuraavien kerrosten lämpötila. Väin varmistetaan tulosteen kiinni pysymistä. Jos halutaan edetä varovaisemmin, voidaan kokeilla kasvattaa tulostuspedin lämpötilaa hieman maltillisemmalla +5 °C:lla.

Erittäin hyvä keino selvittää tulostimen optimaalisia tulostuslämpötiloja juuri tietyllä materiaalilla, on tulostaa ”Temperature Tower” (Kuva 39). Temperature Tower on tuloste, johon on tulostettu samaa muotoa eri lämpötiloilla päällekkäin.



Kuva 39. Esimerkki smart temperature towerista

Temperature Towerilla saadaan selville optimaalisin lämpötila käytettävälle kerros-
vahvuudelle ja materiaalille. Helpoin tapa suorittaa tämä kalibrointi on käyttää tiedos-
toa tältä sivustolta <https://www.thingiverse.com/thing:2729076> sekä oheista taulukkoa
(Taulukko 1), mistä löytyy lämpötilanmuutuskoodi eri kerrosvahvuuksille. Tästä tau-
lukosta kopioidaan käyttöön siis se sarake, joka vastaa käytettävää kerrosvahvuutta.

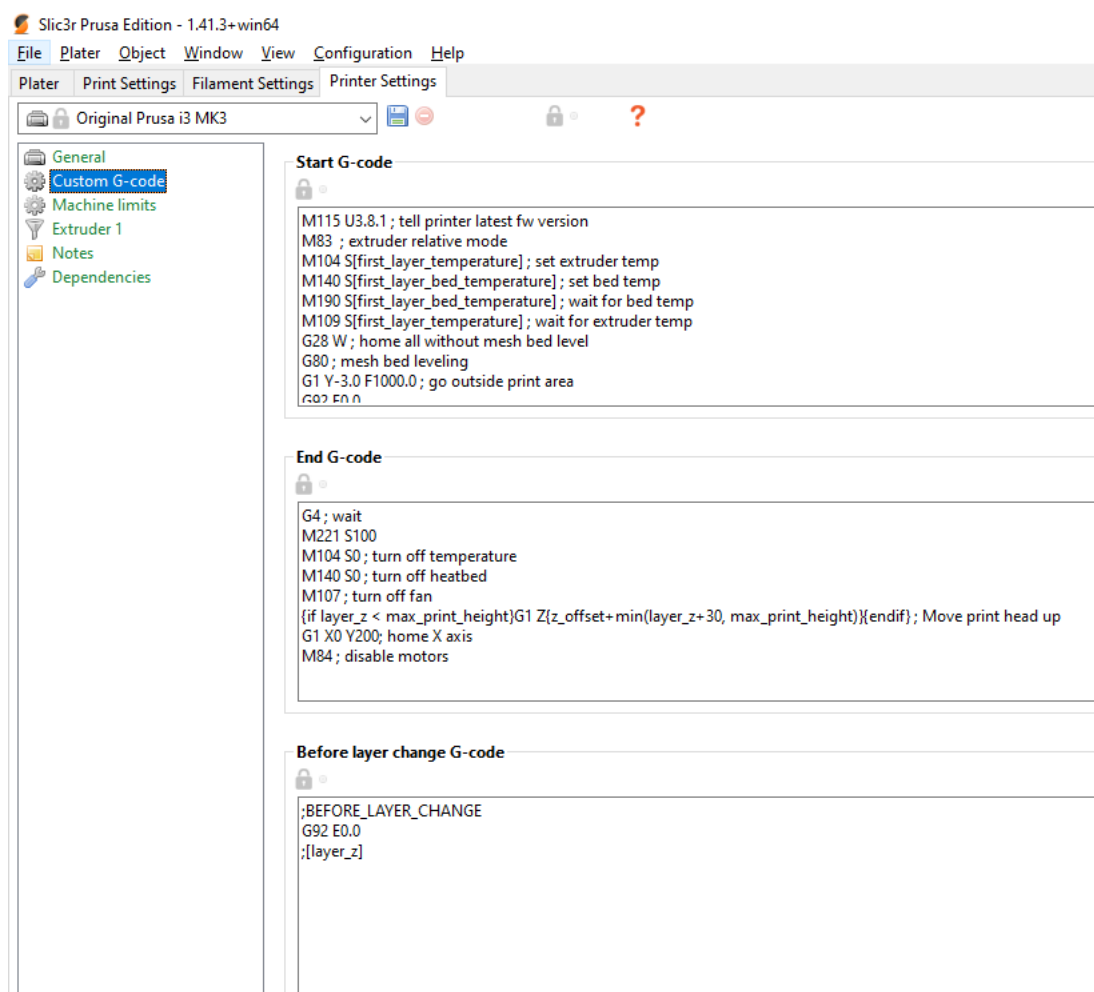
Taulukko 1. Temperature Towerin lämpötilanmuutuskoodi eri kerrosvahvuuksille

0.1 mm	0.15 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.35 mm	0.4 mm
{if layer_z==1.6}	{if layer_z==1.65}	{if layer_z==1.6}	{if layer_z==1.5}	{if layer_z==1.4}	{if layer_z==1.6}
; T tower floor 1	; T tower floor 1	; T tower floor 1	; T tower floor 1	; T tower floor 1	; T tower floor 1
M104 S235	M104 S235	M104 S235	M104 S235	M104 S235	M104 S235
{elsif layer_z==11. 6}	{elsif layer_z==11.7}	{elsif layer_z==11. 6}	{elsif layer_z==11. 4}	{elsif layer_z==11.5 5}	{elsif layer_z==11. 6}
; T tower floor 2	; T tower floor 2	; T tower floor 2	; T tower floor 2	; T tower floor 2	; T tower floor 2
M104 S230	M104 S230	M104 S230	M104 S230	M104 S230	M104 S230
{elsif layer_z==21. 6}	{elsif layer_z==21.6}	{elsif layer_z==21. 6}	{elsif layer_z==21. 6}	{elsif layer_z==21.7}	{elsif layer_z==21. 6}

; T tower floor 3	; T tower floor 3	; T tower floor 3	; T tower floor 3	; T tower floor 3	; T tower floor 3
M104 S225	M104 S225	M104 S225	M104 S225	M104 S225	M104 S225
{elsif layer_z==31. 6}	{elsif layer_z==31.6 5}	{elsif layer_z==31. 6}	{elsif layer_z==31. 5}	{elsif layer_z==31.5}	{elsif layer_z==31. 6}
; T tower floor 4	; T tower floor 4	; T tower floor 4	; T tower floor 4	; T tower floor 4	; T tower floor 4
M104 S220	M104 S220	M104 S220	M104 S220	M104 S220	M104 S220
{elsif layer_z==41. 6}	{elsif layer_z==41.5 5}	{elsif layer_z==41. 6}	{elsif layer_z==41. 4}	{elsif layer_z==41.6 5}	{elsif layer_z==41. 6}
; T tower floor 5	; T tower floor 5	; T tower floor 5	; T tower floor 5	; T tower floor 5	; T tower floor 5
M104 S215	M104 S215	M104 S215	M104 S215	M104 S215	M104 S215
{elsif layer_z==51. 6}	{elsif layer_z==51.6}	{elsif layer_z==51. 6}	{elsif layer_z==51. 6}	{elsif layer_z==51.4 5}	{elsif layer_z==51. 6}
; T tower floor 6	; T tower floor 6	; T tower floor 6	; T tower floor 6	; T tower floor 6	; T tower floor 6
M104 S210	M104 S210	M104 S210	M104 S210	M104 S210	M104 S210
{elsif layer_z==61. 6}	{elsif layer_z==61.6 5}	{elsif layer_z==61. 6}	{elsif layer_z==61. 5}	{elsif layer_z==61.6}	{elsif layer_z==61. 6}
; T tower floor 7	; T tower floor 7	; T tower floor 7	; T tower floor 7	; T tower floor 7	; T tower floor 7
M104 S205	M104 S205	M104 S205	M104 S205	M104 S205	M104 S205
{elsif layer_z==71. 6}	{elsif layer_z==71.5 5}	{elsif layer_z==71. 6}	{elsif layer_z==71. 4}	{elsif layer_z==71.4}	{elsif layer_z==71. 6}
; T tower floor 8	; T tower floor 8	; T tower floor 8	; T tower floor 8	; T tower floor 8	; T tower floor 8
M104 S200	M104 S200	M104 S200	M104 S200	M104 S200	M104 S200
{elsif layer_z==81. 6}	{elsif layer_z==81.6}	{elsif layer_z==81. 6}	{elsif layer_z==81. 6}	{elsif layer_z==81.5 5}	{elsif layer_z==81. 6}
; T tower floor 9	; T tower floor 9	; T tower floor 9	; T tower floor 9	; T tower floor 9	; T tower floor 9
M104 S195	M104 S195	M104 S195	M104 S195	M104 S195	M104 S195
{endif}	{endif}	{endif}	{endif}	{endif}	{endif}

Sijoittamalla taulukosta kerrosvahvuutta vastaava lämpötilanmuutuskoodi esimerkiksi Slic3r tai PrusaSlicer -viipalointiohjelmiston ”Before Layer Change”-g-koodin kohtaan (Kuva 40), saadaan tulostettua käytettävän materiaalin ja kerrosvahvuuden mukainen Temperature Tower ja tehtyä toimiva lämpötilakalibrointi. Koodi tekee sen,

että jokaisen uuden 3D-mallin mukaisen tason alussa, tulostin laskee tulostuslämpötilaa määrättyllä astemäärällä tässä tapauksessa 5 °C. Kun tuloste on valmis, katsotaan silmämääräisesti parhaalta vaikuttava taso ja kokeillaan vääntää tulostetta. Näin tarkastetaan, irtoavatko kerrokset toisistaan helposti. Jos tuloste ei hajoa pienessä käsittelyssä, on oikea tulostuslämpötila löytynyt.



Kuva 40. Before layer change - koodin sijoituspaikka

5. Likainen tulostuspeti

Vaikka kaikki aiemmin mainitut asiat olisivat kunnossa, mutta tuloste ei siltikään tartu, voi tämä johtua pelkästään siitä, että tulostuspeti on likainen. Tulostuspeti on hyvä välillä aina puhdistaa, jotta esimerkiksi pinnan rasvaisuus häviäisi. Tulostuspedin mahdollinen rasvaisuus vaikuttaa tulosteiden tarrautuvuuteen suuresti. Tämä on parhaiten huomattavissa lasi- ja peili-tulostuspedeissä.

Ratkaisu: Puhdistetaan tulostuspeti erilaisilla aineilla. Esimerkiksi lasi- ja peili-tulostusalusta on hyvä puhdistaa Fairy-astianpesuaineella aika ajoin, jos tarttuvuudessa on ongelmia. Tämä onnistuu helpoiten niin, että irrotetaan tulostusalusta tulostimesta ja viedään se keittiöön. Tiputetaan tulostusalustalle runsas tippa fairya ja käytetään tiskiharjaa sen levittämiseen, kuten astioita tiskatessa. Tulostusalusta on tärkeä myös huuhdella ja kuivata paperiptyyhkeellä hyvin pesun jälkeen kuitenkin välttäen, ettei kovasti koske tulostusalustaan. Jos tulostuspeti on esimerkiksi PEI:tä (Polyethylenimine) tai muuta vastaavaa, on se hyvä puhdistaa isopropyylialkoholilla ja paperilla.

6. Tulostus on liian lujasti tulostuspedissä kiinni

Joskus tulosteen kanssa käy niin, että tuloste ei lähdekään tulostimesta irti, vaan se tarrautuu kiinni tulostuspetiin liian kovasti. Tällöin tulostetta poistettaessa voi käydä niin, että joudutaan turvautumaan mekaanisiin apuvälineisiin, joilla napautetaan tuloste irti. Tällöin voi käydä niin, että tuloste irrottaa palan tulostuspetiä mukanaan. Tämä voi johtua muutamastakin eri syystä; tulostussuutin voi olla liian lähellä tulostuspetiä, tulostuspedin lämpötila on liian korkea tai tulostusohjelmistosta asetettu tulostuskerroin on liian korkea, eli syötinkoneisto työntää liikaa materiaalia tulostettaessa. Myös jotkut materiaalit tarttuvat vaihtelevasti tulostuspetiin liian hyvin. Näitä ovat esimerkiksi PETG ja erilaiset joustavat tulostusmateriaalit.

Ratkaisu: Tarkastetaan ensin tulostuspään korkeus tulostettaessa, ettei se tulosta liian lähellä tulostuspetiä. Tämän ratkaisun voi tarkistaa käyttämällä aiempaan mainittua ratkaisua kohdasta 1.

Jos tulostimessa käytetään muita materiaaleja kuin PLA, esimerkiksi PETG tai joustavia materiaaleja, on hyvä muuttaa tulostuskärjen etäisyyttä tulostuspedistä hieman normaalia korkeammalle, koska nämä materiaalit vaativat hieman erilaisen puristuksen kärjen ja tulostuspedin väliin.

Tässä tilanteessa on myös hyvä tarkastaa tulostusohjelmistosta käytettävä materiaalin pursotuskerroin. Voi olla, että materiaalia pursottuu liikaa tulosteeseen ja se voi aiheuttaa tarttuvuusongelman, mutta se voi aiheuttaa myös tulosteen ulkomittojen heittoa. Ks. tarkempi ohje tähän tulosteen ulkomittojen heitto -tapauksesta.

6.2 Case 2: Tuloste on noussut yhdestä nurkasta

Muutamit eri seikat voivat vaikuttaa niin, että tuloste alkaa kesken tulostuksen nousta yhdestä nurkasta ylöspäin ja lähtee vääntymään. Vääntymistä esiintyy eniten isoilla kappaleilla sekä varsinkin, kun tulostetaan esimerkiksi ABS-muovilla. Tämä johtuu siitä, että tulosteen, ympäröivän huoneen ja tulostuspedin lämpötilaerot ovat liian suuret. Tulostettaessa muovi hieman laajenee, mutta alkaa supistua jäähtyessään. Jos lämpötilaero on liian suuri, ja jäähtyminen on liian pikaista, voi tapahtua tätä irtoamista. Toiset materiaalit ovat enemmän alttiita tällaiselle irtoamiselle kuin toiset. Herkimpiä ovat esim. ABS ja PC (Polycarbonate).

Ratkaisu: Tarkastetaan ensin kappaleen 6.1 mukaiset asiat, minkä jälkeen tarkastetaan huoneen lämpötila ja erityisesti ABS:ää tulostettaessa varmistetaan, että tilassa, jossa tulostetaan, ei ole kovinkaan suuria ilmavirtoja, jotka voisivat aiheuttaa tällaisen nousemisen. Myös tulostuspedin lämpötila kannattaa tarkastaa. Sen on hyvä olla ABS-muovilla n. +90 - +95 °C. Vastaavasti huoneen kovin alhainen lämpötila aiheuttaa tällaista, joten kokeile lämmittää tilaa tai kammiota, jossa tulostin sijaitsee.

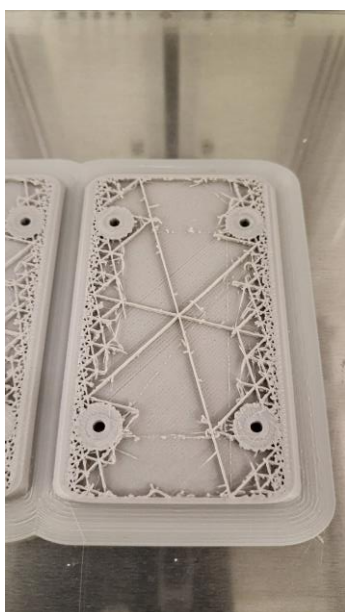
Toinen tärkeä tarkastettava asia on tulostimen tuottama kappaleen jäähdytys. Tarkoitus on, että tulostimen tuottama jäähdytys kappaleelle alkaa vasta useiden kerrosten tulostamisen jälkeen. Muilla kuin PLA-muovilla jäädytystä ei kannata edes käyttää täydellä teholla.

Kolmantena tulosteen nousemisongelmaan vaikuttaa se, että laitetaan viipalointiohjelmistosta tarrautuvuuteen avustavia asetuksia päälle. Tässä tapauksessa ”Brim”-asetus olisi hyvä kytkeä päälle. Brim-asetuksen leveyttä kannattaa vielä laajentaa, niin tulosteen tarrautuvuus petiin paranee, eikä kulmat enää mahdollisesti nouse.

Neljäntenä nousuongelman parannusvaihtoehtona on erilaisten kiinnittävyysapuvälineiden käyttö. Tällaisia ovat esimerkiksi hiuslakka, ABS-litku, erilaiset 3D-tulostusta varten kehitetyt kiinnikesprayt (Dimafix, 3Dlac, Printafix) ja ihan tavallinen askarteluliima. Näitä kaikkia kannattaa käyttää varovaisesti ja vain silloin, kun tulostuspeti ei ole lämmin. Liimapuikon levittyvyys kyllä paranee, kun tulostuspeti on lämmin, joten sitä voi hyvin levittää tulostuspetiin sen ollessa lämpimänä.

6.3 Case 3: Tulosteessa on reikiä ja selkeästi puuttuu osia, syöttö on epätasaista

Joskus tulosteessa on havaittavissa erinäisiä pieniä aukkoja, tai seinämiä, joissa rakenne on melkein kuin reikäseinää. Tällöin myös tulosteen kestävyys on heikko, vaikka materiaaliksi olisi valittu mikä tahansa kovempikin materiaali. Jos tulostetta vääntää tai repii, se hajoaa tulosteen kerrosten väliltä. Tämä johtuu monesti siitä, että kerrosten välinen kiinnittyvyys on liian heikko, seinämien kiinnittyvyys on heikko, tai tulosteesta yksinkertaisesti puuttuu materiaalia. Kuva 41 nähdään, minkälainen tilanne on, kun sisäinen täyttö on puutteellinen.



Kuva 41. Tulosteesta puuttuu sisäistä täyttöä

Syitä tämänlaiseen tulosteeseen voivat olla:

1. Tulostimen suutin voi olla tukossa

Tulostimen suutin voi olla tukossa, tai siellä voi olla pieni tukkeuma. Tarkempi selitys ja ratkaisu löytyvät kappaleesta 6.5 Case 5: Tulostimen tulostuspää on tukossa.

2. Tulostusnopeus on liian suuri

Tulostimen tulostusnopeus on liian suuri, eikä tulostimen tulostuspää pysy tulostimen nopeuden vaatiman pursotusnopeuden mukana. Tarkempi selitys ja ratkaisu tähän löytyy kohdasta 6.1 Case 1: Tulosteen tarttuvuus tulostuspetiin ja sieltä syy numero 3.

Aiemmasta ratkaisusta poiketen, voidaan tulostimen tulostusnopeutta pienentää käyttöliittymästä, tai muuttaa se jo viipalointiohjelmistossa.

3. Bowden-tyylisissä tulostimissa bowdenputki voi olla kulunut

Jos tulostin käyttää Bowden-tyylistä syöttökoneistoa, kannattaa tarkistaa, ettei bowden-putkessa ole mitään, mikä sen tukkisi tai jumiuttaisi muovia minkäänlaisena kiihana bowden-putken seinämää vasten.

Ratkaisu: Tarkistetaan Bowden-putki ottamalla se vaikka irti tulostimesta ja kokeillaan liikutella tulostusmateriaalia käsin sen läpi. Jos materiaali liikkuu helposti, syy ei ole putkessa. Jos materiaalia on kovinkin hankala liikuttaa putkessa, varmistetaan asia vielä toisella palalla materiaalia. Monissa tapauksissa, joissa syytä ei ole löytynyt, ratkaisu on löytynyt siitä, että tulostimen bowden-putki on vaihdettu uuteen. Sekin on kulutusosa.

4. Tulostuslämpötila voi olla liian alhainen

Tulostimen suuttimen lämpötila voi joskus myös olla jotain muuta kuin mitä sen väitetään olevan. Tulostuspään lämpötila voi käyttöliittymän mukaan olla 210-asteinen, mutta materiaalia ei vain tule suuttimesta läpi. Tähän voi olla muutamakin eri syy. Joko lämmönjohtavuus on tulostuspäässä hyvin heikko, tulostimen laiteohjelmistossa, eli firmwaressa on asetettu väärä termistorityyppi tai käytetty materiaali ei ole sitä, mitä sen kuvitellaan olevan.

Ratkaisu: Jos tulostin on tullut sellaisenaan laitevalmistajalta, ei termistorintyyppi varmastikaan ole väärä. Jos laite kuitenkin on itse rakennettu, voi tässä olla virhe, eli lämpötila-asetus voi näyttää useitakin kymmeniä asteita väärin. Tällöin kannattaa tarkastaa käytössä oleva termistori ja firmwaressa asetettu termistorityyppi. Toinen lämmönjohtumisongelman syy voi olla se, että lämmönjohtavuus tulostuspäässä on heikko. Tässä tapauksessa käytössä voi olla esimerkiksi ruostumattomasta tai kovetusta teräksestä valmistettu suutinpää. Ne vaativat hieman korkeamman lämpötilan kuin mitä yleisimmin käytettävät messinkiset suutinpäät. Tällöin ratkaisuna on tulostuslämpötilan nostaminen pienin askelin. Kannattaa aloittaa viiden asteen nostolla. Myös jonkin tyylinen silikonisukka on hyvä laittaa lämmönjohtimen ympärille, jolloin lämpö pysyy stabiilimpana eikä karkaa.

Kolmantena syynä voi sitten olla se, että käytössä oleva materiaali voi olla jotain muuta kuin, mitä sen luullaan olevan. Jos esimerkiksi ajatellaan tulostettavan PLA:ta kun käytössä oikeasti onkin ABS:ää, tulee varmasti ongelmia. Tässä kohdassa ensimmäinen asia on tietysti tarkastaa, mitä materiaalia oikeasti on käytössä. Jos ajatellaan, että käytössä on PLA-muovi, otetaan pieni määrä asetonia ja upotetaan muovinauhan pätkä asetoniin. Jos muovi alkaa sulaa hetken kuluttua, on se silloin ABS:ää. Muilla materiaaleilla kannattaa kokeilla materiaalin rakennetta tai koittaa selvittää materiaalia Internetin kautta mahdollisten paketista löytyvien koodien avulla.

5. Tulostimen syötinkoneistossa on likaa

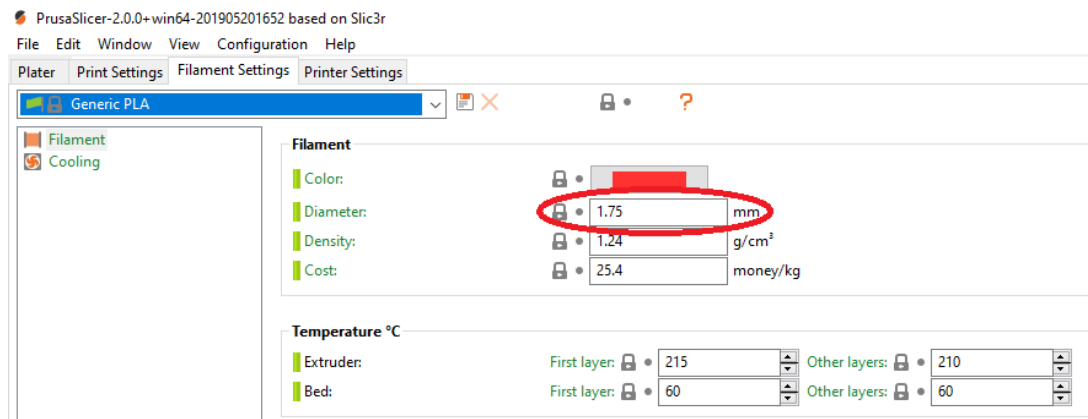
Jossain vaiheessa tulostuksia, voi käydä niin, että tulostimella on hieman vaikeuksia syöttää materiaalia, joko liian nopeuden tai alhaisen lämpötilan vuoksi. Tällöin syötinkoneiston hammasrattaat purevat materiaaliin kiinni. Tällöin hammasrattaiden loviin jää pölyä tai materiaalia.

Ratkaisu: Tarkastetaan syötinkoneiston hammasrattaat. Jos ne ovat likaiset tai täynnä materiaalia, yritetään puhdistaa ne. Parhaiten tämä onnistuu vaikka vanhalla hammas-harjalla.

6. Tulostusmateriaalin halkaisija ei ole tasainen

Jotkut tulostusmateriaalivalmistajat eivät välttämättä anna niin tarkkoja toleranssiarvoja kuin muut, joten voi joskus käydä myös niin, että tulostusmateriaali on syypää moniin tulostettaessa esiintyviin ongelmiin. Jos tulostusmateriaalin halkaisija vaihtelee kovasti pienellä matkalla, aiheuttaa se epätasaisuutta materiaalin syötössä, koska syötettävä volyyymi vaihtelee.

Ratkaisu: Tarkistetaan materiaalin halkaisija useamman metrin matkalta ottaen vähäpuolen metrin välein mittausarvoja halkaisijasta. Viipalointiohjelmistoissa on kohta (Kuva 42), jossa voidaan määrittää käytettävän materiaalin halkaisija. Sijoitetaan mitattujen arvojen keskiarvo siihen. Tällöin viipalointiohjelmisto ottaa materiaalin halkaisijan huomioon viipaloidessaan ja luodessaan G-koodia.



Kuva 42. Tulostusmateriaalin halkaisijan asetusikkuna

7. Tulostusmateriaalin kela ei pyöri vapaasti

Yksi ongelma syntyy, kun tulostimelle syötettävä tulostusmateriaali ei pääse pyörimään vapaasti tai, kun materiaalikelaan on tullut solmu. Tällöin materiaali ei liiku, koska syötinkoneisto ei pysty sitä vetämään.

Ratkaisu: Tarkastetaan kelan pidin. Onko siellä jotain estettä, joka estää kelaa pyörimästä? Yleensä tangot, joiden päällä kela makaa keskiympyrästään, ovat varsin toimivia muovikelan pidikkeitä. Tarkastetaan myös tulostuskela. Onko siellä minkäänlaista solmua? Kannattaa kokeilla syöttää materiaalia käsin kelasta eteenpäin. Jos kelassa on solmu, helpoin ratkaisu on vain katkaista tulostimelle menevä materiaali juuresta tulostuspään puolesta ja avata solmu.

Isompien valmistajien materiaalien valmistuksessa kiinnitetään enemmän huomiota siihen, että langat tulevat kelalle hyvinkin järjestelmällisesti. Monesti näissä solmutapauksissa on myös taustalla se, että käyttäjällä on vahingossa päässyt kelalta tuleva muovi hieman vapaaksi, jolloin se on mennyt solmun. Aina muovikelaa käsiteltäessä kannattaa pitää muovilanka pingottuneena, ettei se pääse vapaaksi. Sillä on nimittäin taipumus mennä heti solmuun, jos näin käy.

6.4 Case 4: Tulosteen ulkomitat eivät pidä paikkaansa

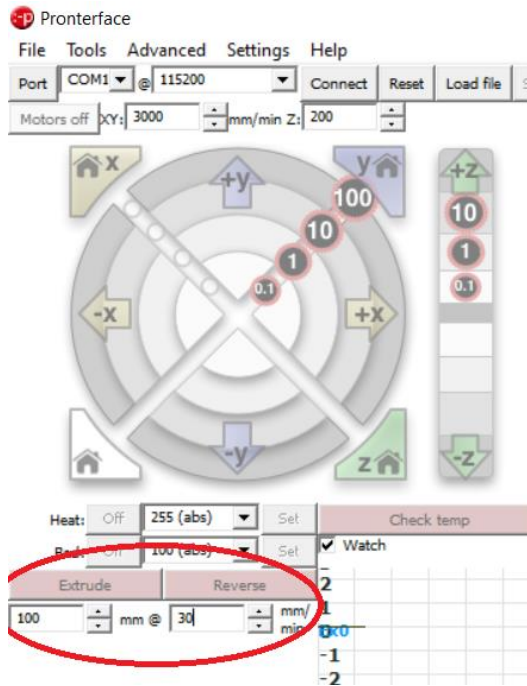
Kun tuloste on saatu valmiiksi, kokeillaan sen sopivuutta johonkin toiseen osaan esimerkiksi osana jotain kokoonpanoa. Joskus käy niin, että osa ei mahdukaan paikalleen. Vastaavasti voi käydä silloin kun tulostetaan esimerkiksi kuutio ja kuution koko ei

sitten olekaan haluttu vaan hieman sen alle tai yli. Tulosteen ulkomittoja on hankala saada täysin paikkansa pitäviksi, mutta ainakin melko lähelle on mahdollista päästä.

Kappaleen ulkomittojen heittämiseen voi olla useampikin eri syy. Jos tulostin on itse kasattu, jolloin firmware on myös itse asennettu, voi olla, että esimerkiksi konfiguroinnissa asetetut askeleet per mm eivät pidä täysin paikkaansa. Toinen syy ulkomittojen heittämiseen on se, että materiaalin syöttö on jäänyt kalibroimatta.

Ratkaisu: Tarkastetaan firmwaren konfiguroinnista käytetyt askeleet per mm. Varsinkin X-, Y-, sekä Z-akseleille nämä ovat sellaiset arvot, jotka voidaan hakea eri laskureiden avulla. Erinomainen laskuri tällaiseen löytyy osoitteesta <https://blog.prusaprinters.org/calculator/>. Tällä laskurilla voidaan laskea askeleiden määrän, jos käytetään hihnavetoa X- tai Y-akselille, sekä Z-akselin kierretangon vaatimat askeleet per mm. Seuraavaan vaiheeseen tarvitaan USB-johdin tulostimen ja tietokoneen välille. Jos taas täytyy kalibroida syötinkoneiston askeleet, eli ”E-stepit”, tehdään seuraavasti:

1. Kiinnitetään USB-johdin tietokoneen ja tulostimen välille.
2. Avataan tietokoneelta ohjelmisto, jolla voidaan ohjata tulostinta. Hyvä ohjelmisto tähän on Pronterface. Kun käynnistetään ohjelma, painetaan Connect vasemmasta yläkulmasta. Tämän jälkeen näkyville tulee useita rivejä tekstiä oikeassa reunassa olevassa teksti-ikkunassa. Siellä löytyy myös kohta, missä lukee ”Steps per unit M92” jne. Tässä kohtaa kerrotaan tulostimeen aiemmin asetetut arvot. Poimitaan nämä E-stepeille tarkoitetut arvot talteen.
3. Lämmitetään suutinta PLA:n lämpötilaan, 210 °C.
4. Syötetään muovilankaa tulostimeen ihan normaalisti.
5. Mitataan 120 mm matka ennen syötinkoneistoa olevasta nauhasta, ja merkitään se tussilla.
6. Klikataan Pronterface-ohjelmistosta, tai muusta ohjelmasta, painiketta, jonka avulla tulostin syöttää muovilankaa 100 mm (Kuva 43).



Kuva 43. Pronterface-ohjelmiston käyttöliittymä

7. Kun tulostin on ajanut muovinauhaa 100 mm, mitataan jäljelle jäänyt etäisyys syötinkoneiston ja merkatun kohdan välillä.
8. Jos mitattu arvo on tasan 20 mm, syötinkoneisto on kalibroitu. Jos se on alle 20 mm, syöttää koneisto liikaa materiaalia. Jos taas mitta on yli 20 mm, koneisto ei syötä tarpeeksi materiaalia.
9. Lasketaan seuraavaksi tarvittavat E-askleet. Sijoitetaan saatu tulos eli 120 mm miinus jäljelle jäänyt materiaali ja firmwaresta tai aiemmin mainitusta M92-komennon jälkeisestä datasta etsitty arvo seuraavaan kaavaan:

Uusi arvo = vanhat E-askleet x (100/Saatu tulos)

Käytetään tässä esimerkkinä vanhoista E-askeleista arvoa 95 ja mitattuna matkana 101 mm eli tilannetta, jossa muovinauhasta on jäljelle jäänyt 19 mm.

Tällöin uusi arvo lasketaan seuraavasti:

$95 \text{ askelta per mm} \times (100 \text{ mm} / 101 \text{ mm}) = 94,05 \text{ askelta per mm.}$

10. Sijoitetaan saatu uusi arvo firmwareen joko käyttämällä EEPROMia tai päivittämällä laitteen firmware.
11. Firmwareen sijoitus tapahtuu avaamalla rakennettuun tulostimeen asennettu firmware, ja muokkaamalla configuration.h -tiedostoon arvoja samaan paikkaan, mistä alkuperäinen tieto löytyi.

12. Toinen tapa on sijoittaa saatu tieto EEPROMiin, jolloin siirrytään takaisin Pronterfaceen.
13. Kirjoitetaan Pronterfacen oikeassa alanurkassa olevaan sijoituskenttään M92 EXXX,X X:n tilalle laskettu uusi arvo ja painetaan Enter. Tämä komento muuttaa asetetun E-stepin arvoa.
14. Sen jälkeen heti perään kirjoitetaan M500 ja painetaan Enter. Tämä tallentaa tiedon EEPROMiin.
15. Voit kirjoittaa vielä perään M501 ja painaa Enter, niin näet, että uusi tieto on varmasti mennyt perille.

Syöttökoneiston E-askeleiden kalibrointi vaatii siis näiden muutaman kohdan suorittamista. Nämä on hyvä tehdä ainakin silloin, kun tulostinta kasaa, ja silloin jos vaihtaa käytettävää syötinkoneistoa. Mutta tämä tosiaan tarvitsee tehdä vain silloin, jos tulostin on itse rakennettu ja ohjainlevyä asennettaessa pitää tehdä kalibrointi.

Toinen ratkaisu tulosteen ulkomittojen paikkansa pitämiseksi on se, että viipalointiohjelmistossa käytettävä ekstruusiokerroin kalibroidaan. Tämä on hyvä tarkistaa aina, kun käytetään eri valmistajan muovilankaa. Tämän kalibrointi onnistuu suhteellisen yksinkertaisesti:

1. Avataan viipalointiohjelmisto
2. Ladataan ohjelmistoon yksinkertainen kuutio esim. 20 mm x 20 mm x 20 mm. Kuution löytää esimerkiksi thingiversestä, tai sen voi piirtää mallinnusohjelmistolla.
3. Asetetaan tulostusasetukset niin, että tulosteeseen ei tule yhtään yläkerrosta ja ainoastaan kaksi seinämää. Vaihdetaan myös täyttömäärä 0 %:iin. Tarkistetaan, että ”Extrusion multiplier” on arvoltaan 1,0. Tarkistetaan myös, mikä arvo ”Extrusion Widthiin” eli pursotuksen leveyteen on asetettuna.
4. Vapaaehtoinen askel: Tarkistetaan muovilangan halkaisija mittaamalla se työntömitalla muutaman kerran eri kohdista n. 1 metrin matkalta ja sijoittamalla siten saatu keskiarvo viipalointiohjelmistossa kohtaan, jossa kysytään tulostinlangan halkaisijaa.
5. Kun asetukset ja tarkastukset on tehty, viipaloidaan tiedosto ja tulostetaan se.

6. Tulostuksen päätteeksi mitataan kappaleen sivujen paksuus. Jos sivujen paksuudet ovat kaksi kertaa määritellyn tulostuspään koon mukaiset, ovat asetukset ovat kunnossa. Jos heittoa on enemmän kuin 0,05 mm, kannattaa kokeilla laskea ”Extrusion Multiplier” arvoa vaikkapa 0,03:lla, jos materiaalia liikaa tai nostaa sitä, jos materiaalia on liian vähän ja toistaa sen jälkeen tulostus ja tarkastusmittaus.
7. Toistetaan askelta 6 niin kauan, kunnes saavutetaan haluttu tarkkuus.

Yksi vaihtoehto tälle on toleranssivirheen huomioiminen kappaleen mallintamisessa. Yleensä toleranssia on hyvä jättää 0,1 – 0,2 mm eri muotojen välille, kun halutaan liittää jotain yhteen.

6.5 Case 5: Tulostimen tulostuspää on tukossa

Kun tulostus on kestänyt useita tunteja ja tuloste alkaa olla kohta valmis, huomataankin, että tulostin liikkuu kyllä, mutta sen suutinpää on useita senttejä ilmassa edellisestä pinnasta, eikä materiaalia tule ulos suutinpäästä. Tällöin suutin on mennyt tukkoon, tai syötössä on jotain ongelmaa. Tämän syyt ja ratkaisut ovat hivenen samankaltaisia kuin kappaleessa 6.3. Tämän tapauksen kanssa voi joutua menemään niinkin pitkälle, että koko syötinpää pitää purkaa. Riippuen tilanteesta, ei sitä välttämättä kannata kuitenkaan lähteä ensimmäisenä tekemään. Seuraavassa on taas kuvattu erilaisia tulostuspään tukkeutumiseen liittyviä ongelmatapauksia sekä niiden ratkaisuja.

1. Syötinkoneiston ongelmia

Jos tulostettaessa syötinkoneisto tikittää ja moottori pyörii hieman myötäpäivään ja pyörähtää pikaisesti takaisin vastapäivään, tarkoittaa tämä sitä, että syötinkoneisto ei jaksakaan työntää materiaalia tulostuspäähän. Tämä voi johtua tulostusmateriaalin liian kiireestä puristuksesta syötinkoneistossa, suutinpään liian alhaisesta lämpötilasta, liian kuumasta syötinkoneiston moottorista tai tukoksesta suutinpäässä. Muita syitä voi myös olla se, että syötinkoneiston hammasrattaat ovat täynnä muovipölyä, eivätkä ne enää ota materiaalista kunnolla kiinni.

Ratkaisu: Tarkistetaan syötinkoneiston jousen kireys. Jos se tuntuu liian kireältä, löysätään sitä hieman. Seuraavaksi keskeytetään tulostus. Ajetaan tulostin hieman ylös kotiasemasta, ja lämmitetään suutin. Kokeillaan ajaa tulostusmateriaalia hieman käyttöliittymän kautta syötinkoneiston läpi. Jos materiaali ei kulje, niin kokeillaan kasvattaa lämpötilaa jopa 20 °C:lla, ja kokeillaan uudelleen ajaa materiaalia läpi. Tällöin, jos suutinpään puolella on pieni tukos, sen pitäisi aueta. Tämä johtuu siitä, että lämpö on pehmentänyt materiaalia pidemmältä matkalta ja näin syötinkoneiston tarvitsee tehdä vähemmän työtä. Toisaalta myös tulostuslämpötila on korkeampi, jolloin muovikin on pehmeämpää.

2. Tulostustila on liian kuuma

Tila, jossa tulostin sijaitse on liian kuuma, jos ympäröivän tilan lämpötila ylittää 30 °C tai 40 °C. Tällöin voi hyvinkin olla, että moottorit ylikuumentuvat tai muovi alkaa olla sen verran pehmeää, että se tukkii helposti suuttimen.

Ratkaisu: Yritetään jäähdyttää tila, jossa tulostetaan tai asennetaan tuulettimia niin, että ne jäähdyttävät 3D-tulostimen elektroniikkaa. Tarkistetaan myös, onko heatsinkille puhaltava tuuletin ehjä. Tämä voi joskus aiheuttaa myös tukoksia, kun lämpö pääsee menemään ylöspäin heatsinkkiin ja pehmentämään muovia liian ylhäällä.

6.6 Case 6: tulostimen tulostuspään päällä on materiaalia ja sitä vuotaa tulosteeseen

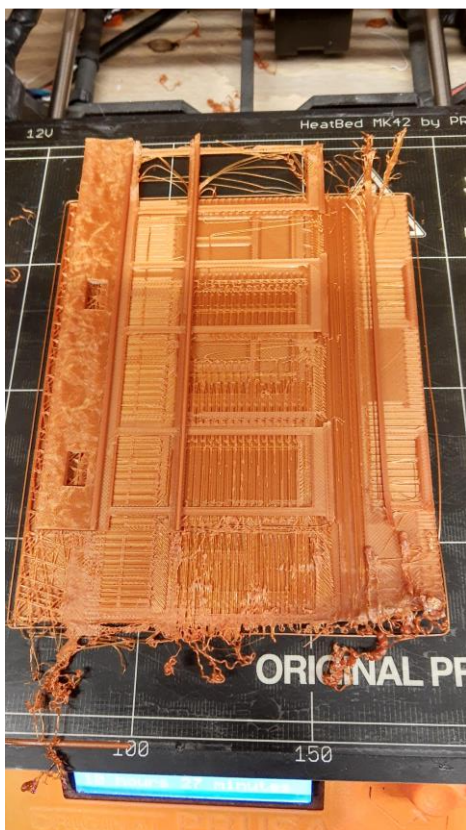
Materiaalin vuotaminen tulostimen tulostuspään päälle voi aiheuttaa sen, että materiaalia valuu tulostuksen aikana suuremmatkin määrät yli ja se menee tulosteeseen. Tämä voi aiheuttaa joko pintaan tai tulosteen sisään erilaisia epämuodostumia. Pahimmillaan tämä kuitenkin aiheuttaen sen, että koko tuloste epäonnistuu. Syynä materiaalin vuotamiselle tulostuspään yläosasta, tai heatblockin päältä on, että tulostuspään kaasuvaiheessa on jälkikiristys jäänyt tekemättä, joten sinne on jäänyt pieni kolo mistä materiaali vuotaa läpi.

Ratkaisu: Ruuvataan tulostussuutinta hieman auki, jotta sitä on helpompi käsitellä. Tämän jälkeen lämmitetään tulostuspää yli 100-asteiseksi ja kiristetään tulostussuutin uudelleen. Tällä tavoin varmistetaan, että suutin kiristyy täysin heatblockiin ja sinne

ei jää minkäänlaista koloa, mistä tulostusmateriaali voisi vuotaa ulos. Muutenkin on hyvä tarkistaa tulostuspään valmistajan ohje tulostuspään asennuksesta.

6.7 Case 7: Tuloste aloittaa uuden kerroksen hieman sivusta

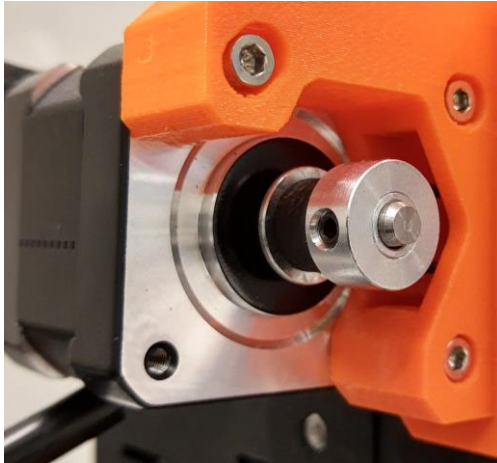
Tuloste voi aloittaa uuden kerroksen tekemisen hieman sivusta verrattuna edelliseen kerrokseen (Kuva 44), vaikka tulostettavassa mallissa tällaista ei ole määritetty. Tätä sanotaan layer shift:ksi. Se voi johtua muutamastakin eri syystä.



Kuva 44. Esimerkki layer shiftistä

1. X- tai Y-akselissa oleva ”pulley” on löysästi kiinnitetty

Kyseisessä tapauksessa X- tai Y-akselin moottoreihin kiinnitetty ”pulley” (Kuva 45), eli eräänlainen hammasratas on päässyt löystymään moottorin akselista. Tällöin, kun moottori pyörii, hammasratas ei pyöri enää moottorin akselin mukana, vaan se pyörii niin sanotusti tyhjä. Näin pyöriminen ei millään tavalla liikuta hihnaa, joka liikuttaisi akselilla olevaa joko tulostuspäätä, tai tulostuspetiä.



Kuva 45. Moottorin akselissa kiinni oleva pulley

Ratkaisu: Monesti useiden satojen tai tuhannen tunnin jälkeen alkaa eri ruuvit tulostimessa jo hieman löystymään, joten aina välillä on hyvä tarkistaa näiden ruuvien kireys. Ei siitä haittakaan ole, jos niitä hieman kiristää parin kuukauden välein.

2. Tulostimen hihnat ovat löysät tai liian kireät

Yksi yleinen syy sille, miksi tulostin lähtee hyppimään sivuille, voi olla hyvinkin tulostimen akseleilta löytyvä hihna. Jos hihna on liian löysä, ei hammasratas ota siihen välttämättä ollenkaan kiinni, jolloin mikään ei sitten liikukaan. Toinen tilanne on se, jos hihna on liian kireä. Silloin moottorin pitää tehdä liikaa työtä ja askelmoottoriohjain antaa periksi, kun virta ei riitä liikuttamaan moottoria.

Ratkaisu: Jos akselilta löytyy kiristin, kiristetään hihnaa niin, että siitä tulee kitaramainen ääni. Jos hihna taas on liian kireä, niin löysätään hihnaa hieman. Tällöin hihna ei enää pompi hammasratiaan yli eikä moottori joudu tekemään niin paljoa työtä.

3. Askelmoottoriohjain ylikuumenee tai ei saa tarpeeksi virtaa

Joskus voi käydä myös niin, että askelmoottoriohjain aiheuttaa ongelmia. Tällöin kannattaa tarkistaa, johtuuko ongelmat liiasta lämmöstä vai siitä, että askelmoottoriohjaimelle annetaan liian vähän virtaa. Jos ohjaimelle annetaan enemmän virtaa, tarkoittaa se moottorien lämpenemistä. Tämä voi aiheuttaa sitten omat ongelmansa. Tärkeää on siis löytää sopiva virtamäärä askelmoottoriohjeimelle.

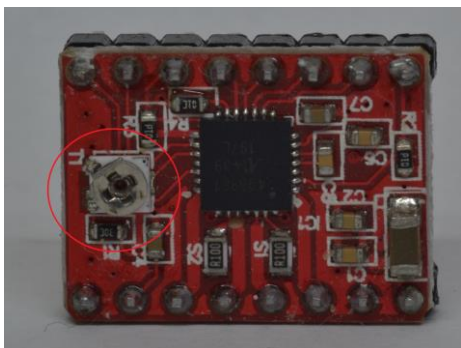
Ratkaisu: Kokeillaan jäähdyttää tilaa, jossa tulostetaan tai asennetaan väliaikaisesti tuuletin puhaltamaan ohjainlevyyn, varsinkin askelmoottoriohjaimiin, jotta saadaan

selville, onko vika niissä. Jos tämä ei auta ja tuntuu siltä, että tulostinmoottorit eivät vain jaksa, tarvitsevat ne lisää virtaa. Seuraavan askeleen kanssa tulee olla hyvin varovainen, virheliike voi nimittäin rikkoa ohjainlevyn. Aloitetaan mittaamalla ensin askelmoottoriohjaimen senhetkinen Vref-arvo. Vref on askelmoottoriohjaimen regulaatiojännite askelmoottorille. Tämä arvo on jokaiselle ohjaimelle uniikki. Sen säätämiseen kannattaa käyttää seuraavaa laskukaavaa:

$$V_{ref} = \text{Askelmoottorin maksimivirta} \times 8 \times R_{cs}$$

Askelmoottorin maksimivirta saadaan selville askelmoottorin datalehdessä. R_{cs} on askelmoottoriohjaimen virtaa rajoittava vastus. Senkin arvo on paras katsoa datalehdessä. Kuva 46 näkyy kaksi vastusta S1 ja S2, jotka määrittävät R_{cs} -arvon. Kuvan esimerkin mukaan ja olettaen, että käytössä on perus Nema17-moottori, kaava olisi $V_{ref} = 2 \times 8 \times 0,1$. Tämä tarkoittaa sitä, että jotta moottori saa käyttöönsä 2 A, tulee Vref-arvon olla 1,6 kuvassa olevalla askelmoottoriohjaimella. Arvoa ei koskaan kannata laittaa maksimiin, vaan kannattaa jättää varaa, joten 10 % vähemmän lasketusta arvosta on hyvä vaihtoehto. Myöskään moottorille ei välttämättä tarvitse antaa täyttä 2 A:n virtaa.

Vref-arvo mitataan niin, että yleismittari kytketään jännitepuolelle. Sen maa sijoitetaan ohjainlevyn USB-portin päälle ja mittapää koskettaa Kuva 46 mukaiseen potentiometriin. Tällöin yleismittarin näytölle pitäisi ilmestyä lukema, joka on Vref-arvo. Kääntämällä potentiometriä, saat vaihdettua Vref-arvoa, joka muuttaa sitten askelmoottoriohjaimen antamaa virtaa.



Kuva 46. Askelmoottoriohjain A4988, ympyröitynä potentiometri, jolla säädetään Vref-arvo

7 MSLA-TULOSTIMEN ONGELMIA JA NIIDEN RATKAISUJA

MSLA-tulostimien ongelmat ovat aika lailla erilaisia kuin FDM-tulostimien, koska MSLA-tulostimissa ei ole niin montaa liikkuvaa osaa. Yleensä syyt mihin tahansa ongelmaan pyörii kahden tai kolmen seikan ympärillä. MSLA-tulostimissa ei kuitenkaan ole niin helppo korjata näitä ongelmia ilman, että se maksaisi käyttäjälle. Kaikki MSLA-tulostimien osat ovat melko kalliita verrattuna FDM-tulostimen osiin. MSLA-tulostimien yleisimmät kuluvat osat ovat FEP-filmi (Fluorinated ethylene propylene) sekä LCD-näyttö (Liquid-Crystal Display, eli nestekidenäyttö). FEP-filmin vaihto tulisi suorittaa sen jälkeen, kun sen pinta alkaa olla kovin kulunut. Toinen vaihdettava osa on LCD-näyttö, joka kuumentumisen takia vaurioituu. Tälle vaihtohetkelle ei ole eksaktia arvoa, koska LCD-näytöt voivat kestää hyvinkin eri ajan. Vaihtotarpeen huomaa sitten tulostettaessa.

7.1 Case 8: Tuloste ei pysy tulostuspedissä kiinni

Joskus käy niin, että tuloste valmistuu tulostimella ja kun tulostusalusta nousee ylös, siellä ei ole mitään mukana. Koko tulostus on siis tapahtunut hartsitankkiin, eikä mitään ole tarttunut tulostuspetiin. Tässä tapauksessa on hyvä tyhjentää hartsitankki automaalaamosta saadun suodattimen kautta hartsipulloon. Suodattimella varmistetaan, ettei pulloon mene kovettunutta hartsia. Kun hartsitankki on tyhjennetty kokonaan hartsista, on se syytä puhdistaa. Tähän voidaan käyttää joko paperipyyhettä tai vanulappuja. Vanulapuilla varmistetaan, että mikään ei naarmuunnu, koska paperipyyhe voi hieman naarmuttaa pintaa. Vanulapun apuna voi käyttää isopropyylialkoholia (IPA), jotta hartsi saadaan paremmin pois. Kannattaa kuitenkin muistaa puhdistuksen jälkeen heittää vanulaput suoraan roskeen. Koko operaation ajan suositellaan käytettävän kumihanskoja tai erityisiä nitrilihanskoja.

Tulosteen jääminen hartsitankkiin johtuu siitä, että ensimmäinenkään kerros ei ole tarttunut ollenkaan tulostusalustaan. Seuraavaksi käydään läpi tapaukset, jotka aiheuttavat tulostuksen jäämistä hartsitankkiin sekä tulkitaan näille ratkaisuja.

1. Tulostusalusta ei ole tasainen LCD:tä vasten

Jos tulostimen tulostusalusta ei laskeudu tarpeeksi alas, kiinni FEP-filmiin, voi se aiheuttaa hyvinkin sen, että tuloste ei ikinä edes kosketa tulostusalustaa, eikä tulostus voi onnistua. Z-akselin kalibrointi on hyvä tehdä aina, jos jotain muutoksia on tapahtunut tai epäilee, että tulostusalusta on jollain tavalla mennyt vahingossa vinoon.

Ratkaisu: Aina, kun tulostin otetaan käyttöön, se tulee kalibroida Z-suunnan mukaan. Sama koskee tietenkin MSLA-tulostimia. Myös, jos tulosteiden tarrautuvuuden kanssa tuntuu olevan ongelmia, kannattaa aloittaa tästä askeleesta, eli kalibroida tulostuspeti.

Yleisimmissä malleissa kalibrointi toteutetaan seuraavasti:

1. Puhdistetaan tulostusalusta, ettei siinä ole ylimääräistä hartsia. Parasta on ottaa alusta pois tulostimesta ja puhdistaa se IPA:lla (Isopropylalcohol).
2. Otetaan hartsitankki pois tulostimesta ja sijoitetaan se paperipyyhkeen päälle.
3. Haetaan A4-paperinpala, ja sijoitetaan se LCD-näytön päälle. Paperin tulee olla yksinkerroin näytön päällä.
4. Löysennetään ruuvit tulostusalustasta niin, että tulostusalusta liikkuu vapaasti. On tärkeää huomata, ettei kuitenkaan löysennetä sitä ruuvia, joka pitää koko tulostusalustan kiinni Z-akselissa, vaan löysennetään vaan ne ruuvit, jotka pitävät tulostusalustan suorassa. Anycubic Photon:issa on yksi iso kuusiokoloruuvi, joka pitää alustan paikoillaan, kun taas Elegoo Mars -tulostimessa ne ovat kaksi isompaa kuusiokoloruuvia, sekä yksi pienempi sivussa.
5. Valitaan käyttöliittymästä Tools/Settings ja sieltä haetaan Home Z-painike.
6. Painetaan painiketta ja odotetaan tulostimen ajavan kotiasemaan.
7. Kun tulostin on päässyt kotiasemaansa, seuraavat askeleet poikkeavat hieman tulostinkohtaisesti toisistaan. Jos käytetään Elegoo Marsia, seurataan askeleita 9-11. Jos taas käytetään Anycubic Photonia, seurataan askeleita 12-18.
8. Kokeillaan liikuttaa paperin palaa tulostusalustan alla. Liikkuuko se helposti vai ei?
9. Elegoo Mars-tulostimella: käännetään tulostusalustaa niin, että se on LCD-näytön kanssa kohtisuorassa. Tulostusalustaa ei tarvitse painaa näyttöä vasten, koska tulostusalustan oma jousi tekee tämän työn.
10. Kiristetään ruuvit, kun LCD-näyttö ja tulostusalusta on saatu kohtisuoraan toisiaan vastaan.

11. Ajetaan tulostusalusta nyt ylöspäin kotiasemasta, jotta voidaan sijoittaa hartsitankki takaisin paikalleen. Ennen tankin laittoa poistetaan tietenkin paperi. Näin tulostimen Z-akseli on kalibroitu.
12. Anycubic Photon-tulostimessa operaatio on hieman erilainen: Aloitetaan ajamalla tulostin kotiasemaan ja avaamalla Anycubicin valikko Z-akselin liikuttelulle.
13. Valitaan valikosta 0,1 mm:n liikuttelu ja ajetaan akselia lähemmäs näyttöä, jos paperi liikkuu liian helposti tulostusalustan ja näytön välissä.
14. Toistetaan edellistä kohtaa, kunnes paperi liikkuu vielä, mutta selkeästi LCD näyttö ja alusta ottavat siitä jo kiinni. Se ei saa kuitenkaan olla liian tiukka.
15. Painetaan toisella kädellä hieman tulostusalustaa LCD:tä vasten ja kiristetään ruuvi tulostusalustasta. Tässä kannattaa huomata, että alustan pitää olla kohtisuorassa LCD-näytön kanssa.
16. Poistutaan valikosta ja painetaan ”Set Z = 0” -painiketta.
17. Avautuvasta ikkunasta, joka pyytää varmistamaan, painetaan vielä ”Yes”.
18. Tämän jälkeen mennään takaisin Move Z -valikkoon ja nostetaan tulostusalustaa reilusti ylös, jotta voidaan sijoittaa hartsitankki takaisin tulostimeen.

Tämän jälkeen on hyvä kokeilla tulostaa jokin testi, jotta selviää, onko tulostusalusta nyt tasainen ja oikein kohdistettu ennen kuin tulostetaan mitään isompaa. Jos kokeillaan tulostaa koko alustan kokoista tulostetta, tai tulosteita, jotka peittävät koko alustan, ja tulostuksen lopuksi toinen puoli alustasta on tyhjä, ja toisella on tulosteita, voidaan päätellä, että alusta on vielä hieman vino. Tässä tapauksessa toistetaan tuo tulostusalustan kalibrointi.

2. Tulostusasetuksia ei ole optimoitu hartsia varten

Joskus, kun otetaan uusi hartsi käyttöön, ei välttämättä ole tiedossa, mikä valotusaika on sille kaikkein sopivin. Tulostettaessa materiaali ei ehkä ehdi kovettua asetetussa ajassa, tai se valottuu jopa liikaa, jolloin yksityiskohdat katoavat. Jokainen laite on yksilö, joten välttämättä kaikki hartsivalmistajan antamat asetukset eivät päde.

Ratkaisu: Selvitetään kyseisen hartsin optimaalisin valotusaika. Molemmille laitteille on omat ohjeistuksensa eri hartsien kanssa käytettävistä asetuksista. Tämän vuoksi 3D-tulostusyhteisö on tärkeä apu. Varsinkin näillä halvemmilla laitteilla yhteisön merkitys on suuri. Yhteisöllä on jaossa esimerkiksi kaksi erilaista Excel-taulukkoa, joihin on listattu kokeilujen perusteella määritellyt viitearvot kullekin hartsille. Molemmat taulukot ovat vapaasti jaossa ja kaikkien käytettävissä. Taulukoihin pääsee seuraavien linkkien kautta:

Anycubic Photon:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1crvzMnt_8NJXAsABinoIh-cOjE813h7s0L82Zlh1vKL8/edit#gid=0

Elegoo Mars:

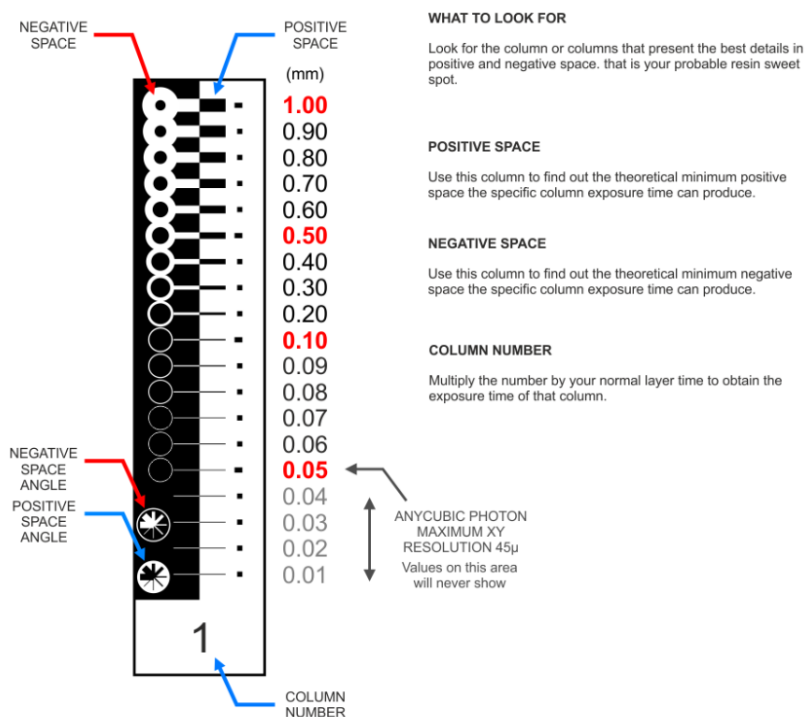
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dV-mvE8IojXSNiUHf8fHf_eHJGAQzbe-FEalcP4bdnsg/htmlview#

Taulukoita päivitetään jatkuvasti, ja niiden käyttöä suositellaan ainoastaan viitearvoina, ei absoluuttisina totuuksina. Tähän on syynä juuri se, että jokainen laite on uniikki.

Anycubic Photonille on olemassa myös oma testituloste, jolla voidaan selvittää hartsin valotusaika viidessä minuutissa vielä tarkemmin kuin mitä tuolta taulukosta saadaan poimittua. Testitulosteessa tulostetaan Kuva 47 mukainen kuvio tulostusalustalle. Kuvioita tulee siis tulostusalustalle 10 kappaletta. Jos testi halutaan ajaa tulostimella, tulee tiedostot ladata tältä sivustolta: <https://github.com/altLab/photon-resin-calibration>. Tältä sivustolta pitää painaa ”Clone or Download”-painiketta. Ladatut tiedostot pitää purkaa johonkin kansioon. Tämän jälkeen tehdä seuraavat toimenpiteet:

1. Sekoitetaan ensin hartsia ja kaadetaan sitä hartsitankkiin normaalin täyttörajaan asti.

2. Haetaan tietokoneella aiemmin linkatusta paikasta tiedostot ja tallennetaan ne tulostimen USB-tikulle.
3. Valitaan tulostimelta Print, ja sieltä tiedosto, jossa lukee ”test-mode.gcode”. Tämä asettaa tulostimen testaus-tilaan.
4. Valitaan uudelleen Print ja sieltä esimerkiksi resin-test-50u.B100.2-20.photon. Tällä testillä saadaan testattua, miten valittu hartsi tulostuu 50 µm:n tarkkuudella, 2-20 sekunnin valotuksella.
5. Tulostuksen valmistuttua, irrotetaan tuloste ja tarkastellaan sitä
6. Paras tulos saadaan, kun tuloste puhdistetaan irrottamisen jälkeen vielä isopropyylialkoholilla.
7. Kun tarkastelu on tehty, puhdistetaan tulostusalusta, kaadetaan hartsitankissa oleva hartsi takaisin hartsipulloon filterin kautta, ettei mukaan joudu kovettunut hartsia.
8. Puhdistetaan hartsitankki huolellisesti FEP-filmiin kovettuneesta hartsista ja muusta.
9. Kaadetaan hartsi pullosta takaisin tankkiin
10. Valitaan Print-valikko ja sieltä ”print-mode.gcode”, jotta voidaan taas tulostaa normaalisti.



Kuva 47. Anycubic Photonin testituloste valotusajan testaamiseen (<https://github.com/altLab/photon-resin-calibration>)

Kun yläpuolella olevia kuvioita (Kuva 47) tulostetaan kymmenen vierekkäin niin, että jokaisessa kuviossa on käytetty eri valotusaikaa, voidaan vertailla valotusajan merkitystä tulosteen onnistumisen näkökulmasta. Kuvion alaosassa oleva numero on valotusajan kerroin. Tässä tapauksessa, kun käytetään edellä esitettyä tiedostoa, on valotusajan vakio kaksi sekuntia, eli numero yksi tarkoittaa, että valotusaika on ollut kaksi sekuntia ja vastaavasti numero kaksi tarkoittaa, että valotusaika on ollut neljä sekuntia. Heti ensi vaiheessa on huomattavissa valotusaika, jolla kannattaa tulostaa, koska sitä vastaava kuvio näyttää parhaalta. Tarkemman tiedon saa, kun irrottaa tulosteen tulostusalustasta ja puhdistaa sitä hieman isopropyylialkoholilla. Tämän jälkeen kannattaa katsoa tarkemmin lampun alla, jotta tulosteen yksityiskohdat erottuvat tulosteesta. Mitä enemmän yksityiskohtia näkyy kuviossa, sen parempi tulos on, ja sen kuvion mukainen valotusaika tulee valita.

3. Hartsitankin tai tulostusalustan ruuveja ei ole kunnolla kiristetty

Joskus sattuu inhimillisiä erehdyksiä, ja esim. hartsitankki ei olekaan kunnolla paikallaan niin kuin sen pitäisi. Myös tulostusalustan puutteellinen kiristäminen voi olla täysin inhimillinen virhe. Sen vuoksi olisi hyvä tehdä itselleen lista asioista, jotka kannattaa tarkastaa aina ennen tulostuksen aloitusta. Muutaman tulostuskerran ja tehtyjen virheiden jälkeen, näistä asioista tulee sitten rutiini.

Mikäli hartsitankin ruuvit unohtuvat kiristää, voi hartsitankin etäisyys ja sijoitus olla sille kalibroidusta tilasta hieman poikkeava. Tällöin asetusarvot poikkeavat asetetuista optimeista eikä tuloste välttämättä onnistu. Tämä sama pätee myös tulostusalustan ruuvien kireyteen. Jos ruuvi unohdetaan kiristää samaan tiukkuuteen kuin kalibroitaessa, jää tulostusalusta eri etäisyydelle hartsitankista kuin kalibroitaessa, jolloin tulosteet eivät mahdollisesti tartu ollenkaan tulostusalustaan.

Ratkaisu: Hyvä ratkaisu tällaiseen ongelmaan olisi asialistan teko tulostuksen aloittamista varten. Muutaman kerran asialistaa seuraten tulostuksen aloittamisesti ja siihen liittyvistä asioista tulee rutiini, eikä tällaisia unohduksia tule enää. Toinen hyvä idea on merkata tussilla kohdat mihin ruuveja on kääntänyt, jolloin ne tulee käännettyä aina samalle tasolle.

7.2 Case 9: FEP-filmissä on vikaa

Monesti, kun hartsitankin puhdistaa ja katselee sen jälkeen sen pohjaa, eli FEP-filmiä, saattaa FEP-filmi näyttää hyvinkin vaurioituneen näköiseltä. Siinä voi olla painaumia tai vastaavia melkein naarmun oloisia jälkiä. Toinen asia, mitä kannattaa myös tarkistaa, on FEP-filmin kimmoisuus. Onko se kimmoisa vai löysempi?

Ratkaisu: Jos FEP-filmissä on vikaa, tulee hartsitankin FEP-filmi vaihtaa. Tähän tarvitaan yleisesti kuusiokoloavain, teräväkärkiset pinsetit tai veitsi, mattopuukko sekä kumihanskat ja välineet hartsitankin puhdistukseen. Tämä onnistuu helpoiten puhdistamalla ensin hartsitankki aikaisempien ohjeiden mukaisesti ja irrottamalla alustan pohjan ruuvit yksi kerrallaan. Tämän jälkeen irrotetaan FEP-filmi, ja sijoitetaan tasoon uusi. Tässä on hyvä seurata valmistajan antamia ohjeita, jotta prosessi onnistuu oikein, sillä filmillä pitää olla tietty kireys, jotta tulosteet onnistuvat. Hyvänä apuna uutta filmiä asentaessa on esimerkiksi noin 2 cm paksuinen suorakulmiomainen kappale. Se kannattaa asettaa filmin alle, kun filmiä asennetaan paikalleen. Tällöin voidaan varmistaa, että filmiin tulee jännitettä.

7.3 Case 10: LCD-näyttö tai UV-valo on rikki

Puhdistettaessa epäonnistuneen tulosteen jäljeltä hartsitankkia, voidaan huomata, ettei hartsitankissa ollut mitään pohjalla. Tällöin joko LCD-näyttö on mennyt rikki, tai UV-valo ei enää toimi. UV-valon ja LCD:n toiminnan voi varmistaa menemällä tulostimen valikossa Options / Settings / Tool -kohtaan ja valitsemalla näytön testaus. Jos näytölle piirtyy suorakulmio, jonka sisus on tyhjä, on LCD ehjä. Jos kuviota ei ilmesty, mutta UV-valo näkyy, on LCD rikki. Jos mitään ei näy, on UV-valo rikki.

Ratkaisu: Aluksi kannattaa aina tarkastaa LCD:n kohdalla, ettei kyse ole pelkästä liittimen irtoamisesta. Tämä tapahtuu avaamalla tulostin käyttöohjeiden mukaisesti ja tarkastamalla kytkentä ohjainlevyltä. Jos kytkentä näyttää olevan kunnossa, on LCD luultavasti rikki. Ainoa ratkaisu tähän on vaihtaa koko LCD uuteen. LCD kannattaa vaihtaa sellaiseen, jossa tulee mukana näytönsuojalasi. Ne ovat muutaman euron kalliimpia, mutta suojaavat LCD-näyttöä naarmuilta.

Jos UV-valo on rikki, ei siihenkään oikein auta muu, kuin hankkia uusi UV-valo ja vaihtaa se vanhan tilalle. UV-valon vaihdossa pitää olla tarkkana. Se voi olla hieman hankalaa, mutta ei missään nimessä mahdotonta.

7.4 Case 11: Tulosteen pohja pysyy tulostusalustassa kiinni, mutta tukien varassa oleva kappale irtoaa

Kun MSLA-tulostin vaihtaa tulostettavaa kerrosta, joutuu se tavallaan repimään tulosteen irti FEP-filmistä, jolloin voima voi olla ison kappaleen kohdalla suurikin. Tämän vuoksi on hyvä tulostaa aina niin, että kappale on hieman vinossa, eikä isoja laajoja koko tulostusalan kattavia alueita tulisi. Joskus tätä ei voi tietenkään estää. Tukia käytettäessä nekin voivat joskus pettää, kun niitä ei ole tarpeeksi pitämään tiettyä voimaa yllä tulostetta revittäessä filmistä irti.

Ratkaisu: Lisää tukien määrää viipalointiohjelmistossa tai kasvata tukien paksuutta. Toinen vaihtoehto on tehdä mallista ontto, mikä vähentää tulostettavan massan määrää ja vähentää siten rasiitusta. Se taas estää tulosteen irtoamista tuista. Malli voidaan tehdä ontoksi jo suunnitteluvaiheessa tai sitten viipalointiohjelmassa. ChituBoxissa löytyy erillinen painike, jolla saadaan malli ontoksi tietyin vahvuisilla seinillä. Jos malli tehdään ontoksi, on hyvä muistaa tehdä malliin myös reiät. Jos reikiä ei tee, jää tulosteen sisälle nestemäistä hartsia, joka ei välttämättä koskaan kovetu.

8 TULEVAISUUS

3D-tulostamisen tulevaisuuden näkymät ovat oikein positiiviset. Tulostusteknologia on kehittymässä koko ajan, ja koska kaikki eri teknologioiden patentit ovat raukeamassa, tai jo rauenneet, mahdollistaa se pienempienkin tahojen kokeilumieltä tällä alalla. Vielä muutama vuosi sitten ei ollut mahdollista edes ajatella, että saisi kotiin 3D-tulostimen alle 500 €:lla, mutta nykyään sellaisen saa jo alle 200 €:lla. Puhumatkaakaan (M)SLA-tulostimista, jotka olivat hankintahinnaltaan useiden tuhansien arvoisia muutama vuosi takaperin ja nykyään niitäkin saa jo alle 500 €:lla.

Nyt kun on koittanut aika myös sille, että metallien 3D-tulostusmenetelmien patentit ovat rauenneet, alkaa niitäkin ilmestyä kasvavassa määrin markkinoille jopa sellaiseen hintaan, että pienemmätkin konepajat voisivat niitä harkita.

Elämme tällä hetkellä sitä aikaa, kun 3D-tulostus on nousemassa aallonharjalle. Sen yleistyminen ei tule tästä hidastumaan vaan päinvastoin. Sitä aletaan tuoda enemmän perusopetukseen ja eri työpaikoille, joilla sitä ei heti ajattelisi hyödynnettävän. Ehkä silti suurin murros on vielä tapahtumatta koko 3D-tulostuksen aikakaudella. Se suurin murros tulee tapahtumaan vasta sitten, kun koko teknologiasta saadaan niin helppokäyttöistä, ettei tarvitse tehdä mitään muuta, kuin kirjoittaa muutamalla sanalla, mitä halutaan tulostaa. Loput hoitaakin sitten ohjelmisto tietokoneella ja tulostin itse.

Tässä opinnäytetyössä kehitettyä opasta tullaan jatkossakin jollain tavalla täydentämään. Käytännön tarve määrittelee sen, mistä aiheista jatketaan, mitä uusia menetelmiä käsitellään ja millaisia ongelmia ratkotaan. Tuloksia tullaan joka tapauksessa käsittelemään jo tässä muodossa Satakunnan ammattikorkeakoulun 3D-tulostukseen opintojaksolla.

Tämän opinnäytetyön kirjoittaminen auttoi jäsentämään omaa osaamista sekä tuottamaan se muitakin hyödyttävään muotoon. Samalla omakin osaaminen jalostui erilaisen erityistapausten kautta. Työ antoi taas lisää motivaatiota aiheiden jatkotutkimukselle.

LÄHTEET

- 3DHubs 2019. What is 3D Printing? 3DHubs-sivusto. Viitattu 15.11.2019. <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>
- Aaltio-Marjosola I. 1999. Casetutkimus metodisena lähestymistapana. Metodix-sivusto. Viitattu 10.11.2019. <https://metodix.fi/2014/05/19/aaltio-marjosola-casetutkimus/>
- Additive Manufacturing 2018. What is Additive Manufacturing? Additivemanufacturing-sivusto. Viitattu 20.11.2019. <http://additivemanufacturing.com/basics/>
- All3dp 2016. The Official History of the RepRap project. All3dp-sivusto. Viitattu 22.11.2019. <https://all3dp.com/history-of-the-reprap-project/>
- Bowyer A. 2007 'Darwin 3D-printer'. Reprap-sivusto. Viitattu 20.11.2019. <https://reprap.org/wiki/RepRapOneDarwin>
- Bowyer A. 2009. 'Mendel 3D-printer'. Reprap-sivusto. Viitattu 20.11.2019. <https://reprap.org/wiki/Mendel>
- Dormehl L. 2019. The brief but building history of 3D printing. Digitaltrends-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-3d-printing-milestones/>
- Federico D. 2019. Cura Versions: Most Important Editions and Versions. all3dp-sivusto. Viitattu 24.11.2019. <https://all3dp.com/2/cura-versions-overview-editions-versions/>
- Flynt J. 2018. Parts of a 3D Printer. 3dinsider-sivusto. Viitattu 22.11.2019 <https://3dinsider.com/3d-printer-parts/>
- Gaget L. 2019. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. Sculpteo-sivusto. Viitattu 20.11.2019 <https://www.sculpteo.com/blog/2019/10/01/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>
- Greguric L. 2018. History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented? All3d-sivusto. Viitattu 21.11.2019. <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>
- Jani M. 2019. Accelerate 3D printing productivity with the Ultimaker Marketplace. Viitattu 23.11.2019. <https://ultimaker.com/learn/accelerate-3d-printing-productivity-with-the-ultimaker-marketplace>
- Kočí, J. 2019. 3MF File format and why it's great. PrusaPrinters-sivusto. Viitattu 22.11.2019. <https://blog.prusaprinters.org/3mf-file-format-and-why-its-great/>

- Konta A., Garcia M. Serrano D. 2017. Personalised 3D Printed Medicines: Which Techniques and Polymers Are More Successful? Viitattu 20.11.2019. https://www.researchgate.net/publication/319987351_Personalised_3D_Printed_Medicines_Which_Techniques_and_Polymers_Are_More_Successful
- Lexa M. 2019. Extrusion stopped mid-print. Prusa3d-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://help.prusa3d.com/article/cto24vjaps-heatcreep>
- Lukka K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Metodix-sivusto. Viitattu 10.11.2019 <https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>
- Mensley M. 2019. 2019 3D Printer Extruder Guide.All3dp-sivusto. Viitattu 22.11.2019. <https://all3dp.com/1/3d-printer-extruder-nozzle-guide/>
- Ranellucci A. n.d. About Slic3r. Slic3r-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://slic3r.org/about/>
- Segura D. 2017. History of 3D Printing – Who invented what? Viitattu 21.11.2019. 3Dprinterchat-sivusto. <https://3dprinterchat.com/3d-printing-history/>
- Simplify3D n.d. Ultimate 3D Printing Materials Guide. Simplify3D-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>
- SolidWorks n.d. SolidWorks for Students. Solidworks-sivusto. Viitattu 24.11.2019. <https://www.solidworks.com/solution/job-functions/students>
- Štríteský O. 2019. Basics of 3D Printing with Josef Prusa. Viitattu 22.11.2019
- Tyson E. 2019. The Ultimate Beginners Guide to 3D Printing. Viitattu 23.11.2019
- Tilastokeskus n.d. Tutkimus- ja kehittämistoiminta. Tilastokeskus-sivusto. Viitattu 10.11.2019. https://www.stat.fi/meta/kas/t_ktoiminta.html
- Ultimaker n.d. Ultimaker Breakaway. Ultiaker-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://ultimaker.com/materials/breakaway>
- Varotsis, A. a. 2019. Introduction to FDM 3D printing. Viitattu 20.11.2019 <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>
- Varotsis A. b. 2019. Introduction to SLA 3D Printing. 3DHubs-sivusto. Viitattu 23.11.2019. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>