

Markus Koutonen

3D-TULOSTUS JA 3D-TULOSTIMEN KÄYTTÖOHJEET

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Toukokuu 2015**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika Toukokuu 2015	Tekijä Markus Koutonen
Koulutusohjelma Tuotantotalouden koulutusohjelma		
Työn nimi 3D-tulostus ja 3D-tulostimen käyttöohjeet		
Työn ohjaaja Sakari Pieskä	Sivumäärä 31 + 16	
Työelämäohjaaja Jani Rättyä		
<p>Opinnäytetyössä perehdyttiin eri materiaalia lisääviin valmistusmenetelmiin sekä yksikössä yleisimmin käytettäviin eri tulostusmateriaaleihin.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kirjoittaa Centrian Ylivieskan yksikön miniFactory 1.0 -tulostimelle käyttöohjeet ja etsiä oikeat tulostusasetukset modifioidulle suuttimelle. Työn tuloksena Centrian 3D-tulostimelle saatiin vaatimukset täyttävät käyttöohjeet suomen- ja englanninkielisinä.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin myös 3D-tulostamisen mahdollisuuksia julkisissa tiloissa.</p>		

Asiasanat 3D-tulostaminen, Materiaalia lisäävä valmistus, 3D-tulostusmateriaalit, 3D-tulostustekniikat
--

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences Ylivieska Unit	Date May 2015	Author Markus Koutonen
Degree programme Industrial management		
Name of thesis 3D printing and user manual for 3D printer		
Instructor Sakari Pieskä	Pages 31 + 16	
Supervisor Jani Rättyä		
<p>In this Bachelor thesis different additive manufacturing processes, and commonly used printing materials were studied.</p> <p>The aim of the Bachelor thesis was to write user's manual to the miniFactory 1.0 – printer, which is located in Centria Ylivieska unit, find the correct print settings for a modified print extruder.</p> <p>Thesis also aims to study the possibilities of 3D-printing in public spaces.</p>		
Key words 3D printing, Additive manufacturing, 3D printing materials, 3D printing techniques		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS
KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

1 JOHDANTO	1
2 3D-TULOSTAMINEN	3
2.1 Materiaalia lisäävät valmistustekniikat	3
2.1.1 FDM Fused deposition modeling	5
2.1.2 MJM MultiJet-Modeling	6
2.1.3 Stereolitografia (SLS)	6
2.1.4 LOM Laminated object manufacturing	7
2.1.5 SLS Lasersintraus	8
2.1.6 3DP-tekniikka Drop-on powder	9
2.1.7 EBM Electron Beam Melting	10
2.1.8 CLIP Continuous Liquid Interface Production	12
2.2 3D-tulostimet	13
2.2.1 Centrian 3D-tulostin ja sen ohjelmistot	13
2.2.2 MiniFactory 1.0-tulostimen suutinasetukset	16
2.3 Centrian Ylivieskan yksikössä yleisimmin käytettävät tulostusmateriaalit	19
3 3D-TULOSTAMINEN JULKISSA TILOISSA	21
4 3D-TULOSTIMEN KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN	23
5 POHDINTA	25
5.1 Opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamisen arviointi	26
5.2 Oman toiminnan arviointi	27
LÄHTEET	29
LIITTEET	

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

CNC = Tietokoneistettu numeerinen ohjaus

CAD = Tietokoneavusteinen suunnittelu

3D = Kolmiulotteinen

STL = Stereolithography. Pikamallinnuksessa käytetty tiedostomuoto

Filamentti = Yleisnimitys 3D-tulostamiseen käytettävälle materiaalille

1 JOHDANTO

Centrian ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikköön on opetuskäyttöön hankittu miniFactory 1.0 3D-tulostin. Tulostin valmistaa kappaleita FDM-menetelmällä, missä kappale valmistetaan materiaalia lisäävällä menetelmällä, ilman lastuavaa työstöä. Valmistettavan kappaleen tiedot syötetään 3D-tulostimelle STL-tiedostona, mikä on 3D Systemsin kehittämä 3D CAD-mallin esittävä tiedostomuoto.

Tulostimen suutinta on jouduttu poraamaan avarammaksi, koska tulostusta on haluttu testata normaalia paksummilla tulostusmateriaaleilla. Poraamisen johdosta tulostimen profiilin oletusasetukset eivät enää käy, ja jokaiselle eri tulostusnauhalle täytyy löytää sopivat tulostusnopeus-, ja lämpötila-asetukset.

Tutkin myös useamman tulostusmateriaalien ominaisuuksia eri tulostuskappaleiden avulla sekä löytämään oikeat tulostusasetukset kunkin materiaalin tulostusprofiilille parhaan mahdollisen laadun saamiseksi.

Työn tavoitteena oli myös kirjoittaa pikakäyttöohjeet tulostimelle, missä käyn läpi laitteen ja ohjelmiston käyttövalmistelun sekä perus-, että erikoistoiminnot. Pikakäyttöohje täytyy olla sekä suomen-, että englanninkielisenä, koska myös vaihto-oppilaat käyttävät tulostinta opiskelujensa aikana. Tutkin lisäksi työssä materiaalia lisäävän valmistuksen eri mahdollisuuksia julkisissa tiloissa kuten museot, kirjastot ja tietomaat.

Lähdekirjallisuutena jouduin käyttämään suurimmaksi osaksi internetin 3D-tulostamiseen keskittyneitä keskustelufoorumeita ja 3D-tulostimia myyvien yritysten

kotisivuilla tarjottua materiaalia. Nopeasti kehittyvästä ja laajenevasta tekniikasta ei ole vielä saatavilla kovin paljoa tietokirjallisuutta.

2 3D-TULOSTAMINEN

2.1 Materiaalia lisäävät valmistustekniikat

Materiaalia lisäävällä valmistuksella tarkoitetaan eri tekniikoita, joissa kerros kerrokselta tulostetaan kappaletta fyysiseksi, kiinteäksi esineeksi sähköisestä tietokoneella suunnitellusta ja mallinnetusta 3D-mallista. Menetelmä mahdollistaa sen, että tulostettava kappale voi olla geometrialtaan melkein millainen tahansa. (Additive manufacturing 2015.)

3D-tulostaminen on useimmiten prototyyppien, valmiiden tuotteiden, prototyyppien sekä varaosien materiaalia lisäävä valmistustekniikka, missä kiinteä esine valmistetaan 3D CAD-tiedostosta erillisellä lisäävän valmistamisen tulostinyksiköllä. 3D-tulostaminen on nopeaa, halpaa ja yksinkertaista tuotteiden valmistamista muihin valmistusmenetelmiin verrattuna. (Efunda 2015.)

Suunniteltu kappale mallinnetaan 3D-ohjelmistolla STL-tiedostomuotoon. Malli ajetaan tulostusohjelmalle, mikä pilkkoo mallin tulostusviipaleisiin. Jokainen viipale tulostetaan kerros kerrokselta. Viipaleen paksuus määräytyy aina tulostustekniikan mahdollistaman tulostuskerroksen paksuuden mukaan. (Repetier 2015.)

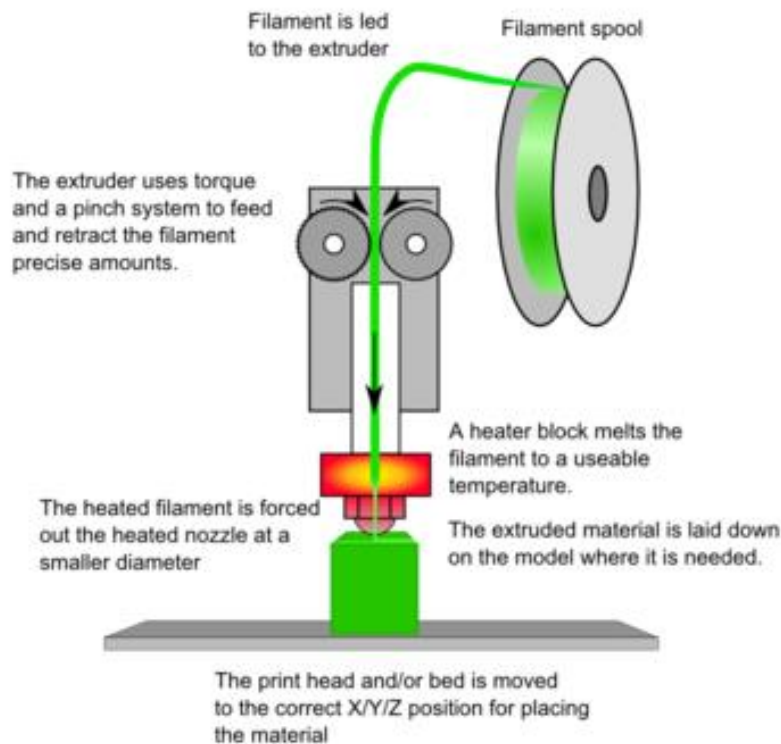
Joissakin tulostustekniikoissa monimutkaisempiin tai herkempiin geometrioihin täytyy tulostaa myös tukimateriaali, jotta kappale tulostuu ilman ongelmia. Joissain tulostustekniikoissa tukimateriaali on normaalisti tulostettavan kappaleen ympärillä, eikä tukikappaleita tarvita. Ohjelma myös tarkistaa tulostuskappaleen geometrian mahdollisten tulostusongelmien varalta. Pikavalmistaminen mahdollistaa

kappaleiden tulostamisen, joiden valmistus aiemmin esimerkiksi ongelmallisen geometrian takia on ollut joko mahdotonta tai hyvin monimutkaista. (Repetier 2015.)

Pikavalmistus käy hyvin vaikeasti löydettävien ja yksilöllisyyttä tarvitsevien käyttöesineiden tulostamiseen, samalla pitäen yksittäiskappaleen hinnan alhaisena. Tekniikka on ollut käytössä jo 1980-luvulla eri teollisuuden aloilla, mutta vasta viime vuosina kotitulostamisen kehittymisen, laitteiden sekä tulostusmateriaalien halpenemisen ja median uutisointi aiheesta on nostanut tekniikan suomat mahdollisuudet ihmisten tietoisuuteen. (3D Printing Industry 2014.)

2.1.1 FDM Fused deposition modeling

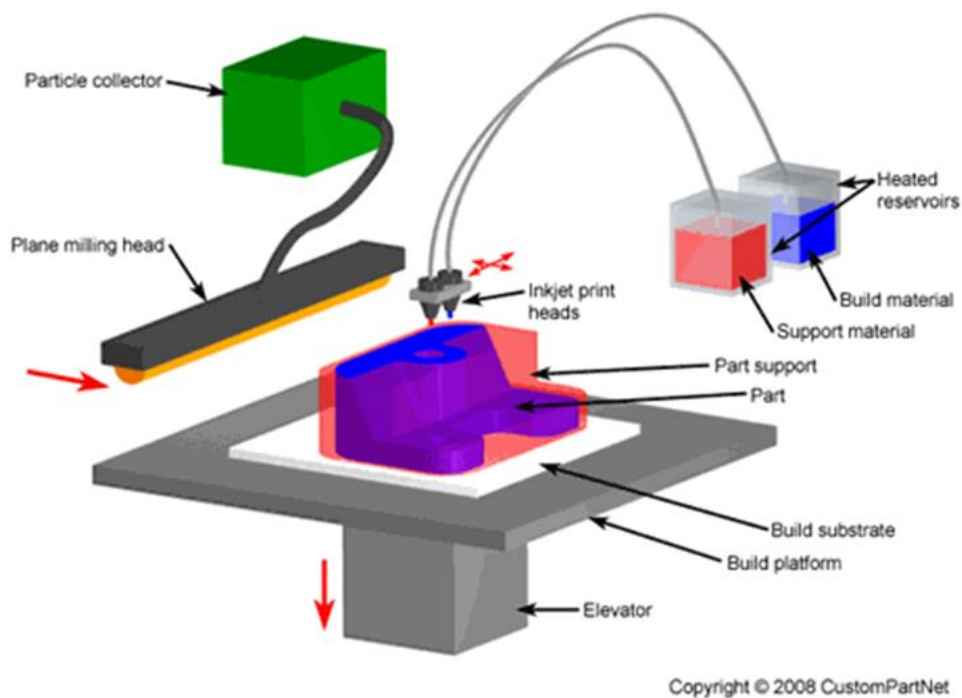
Tulostuksessa käytetään lämpömuovattavaa materiaalia kuten muovia tai vahaa joka tulostuspäässä kuumennetaan sulaksi ja tulostettua viilentyy jälleen kiinteäksi. X-, Y-, ja Z-akselilla liikkuva kärki toimii ekstruusiolla, eli suulakepuristuksella, ja tulostaa materiaalia tulostusalustalle. Tulostusalusta laskeutuu valmiin kerroksen jälkeen yhden kerroksen verran alaspäin, tai vaihtoehtoisesti suutin nousee kerroksen. Jokaisen kerroksen täytyy jäähtyä tarpeeksi kiinteäksi, jotta seuraava kerros voidaan tulostaa sen päälle. Prosessi toistetaan kunnes kappale on valmis. (Additive manufacturing 2015.)



KUVIO 1. FDM-toimintaperiaate. (RepRap 2014.)

2.1.2 MJM MultiJet-Modeling

Useat tulostuspäät suihkuttavat lämpömuovattavaa UV-valosta kovettuvaa polymeeriä tulostusalustalle. MJM tekniikassa käytetään tulostettavan kappaleen tukiaineena vahaa, jolla on tulostettavaa kappaletta alhaisempi sulamislämpötila. Tekniikkaa voidaan käyttää prototyyppien sarjamaiseen valmistamiseen. (3dlabs 2015.)

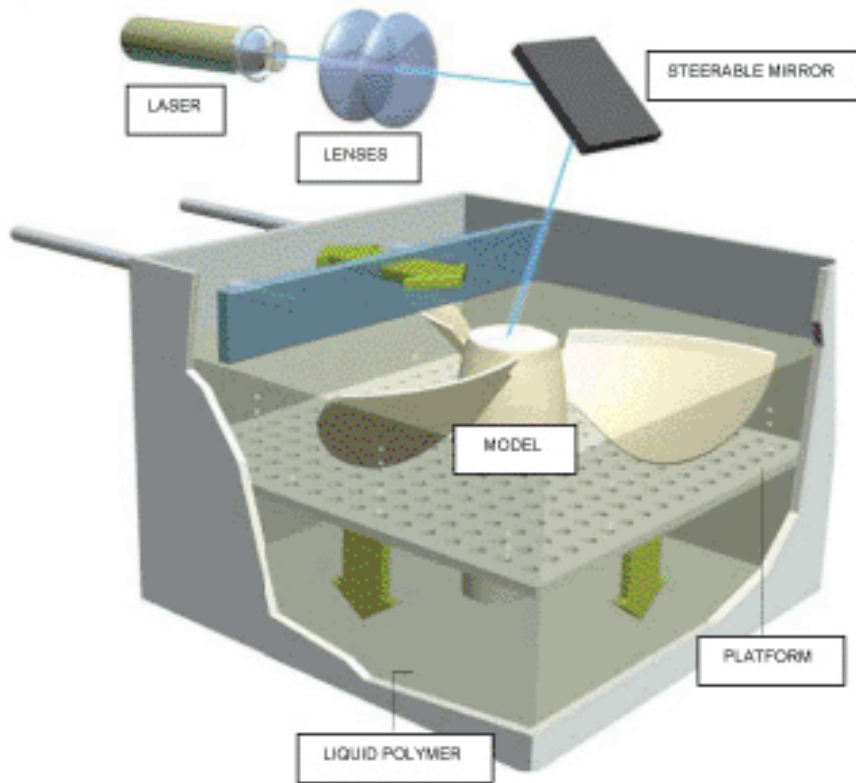


KUVIO 2. MJM-toimintaperiaate. (El blog del Plástico 2012.)

2.1.3 Stereolitografia (SLA)

Altaassa olevaan valokovetteiseen epoksihytyelöön pyyhkäistään lasersäteellä. Säde kovettaa hytyelöä kerroksittain noin 0,05 – 0,15 mm. Tämän jälkeen tulostusalusta laskeutuu valmistuneen kerroksen paksuuden verran. Prosessia toistetaan kunnes

kappale on valmis. Valmis kappale nostetaan altaasta ja jälkikivetetaan UV-valolla varustetussa uunissa. (Livescience 2013.)

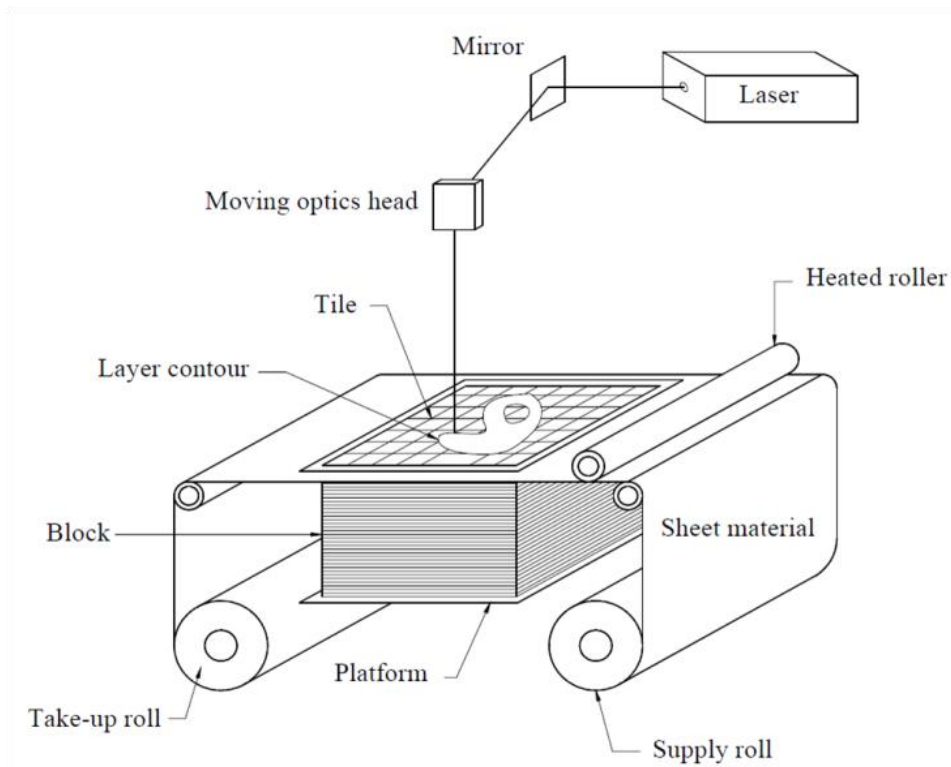


KUVIO 3. SLA-toimintaperiaate. (Intech 2012.)

2.1.4 LOM Laminated object manufacturing

Lom-valmistustekniikassa valmistettava kappale valmistetaan kerroksiin laminoitavasta paperi – tai muoviarkeista joista leikataan ääri viivoja myöten joko laserilla tai leikkuuterällä. Valmiin kerroksen jälkeen kappaleen päälle rullataan kuumalla telalla uusi kerros, joka liimautuu tiiviisti kappaleen pintaan. LOM-

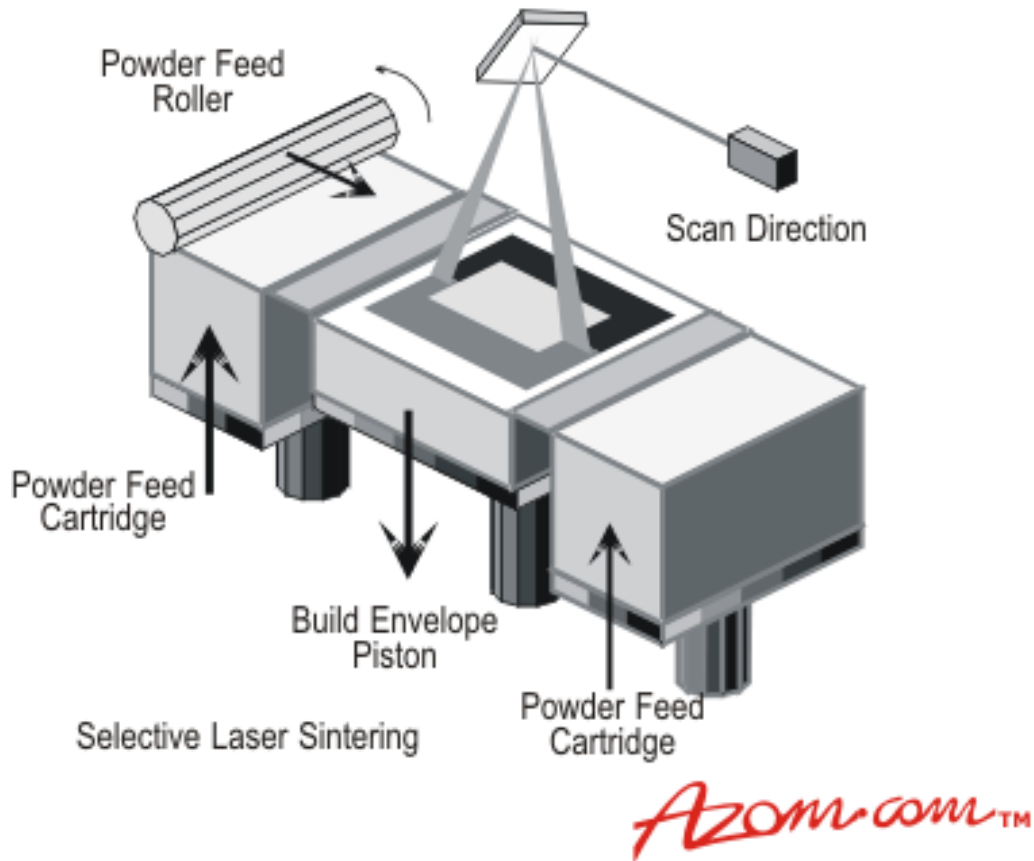
valmistustekniikka ei ole tarkka, joten tulostustekniikka sopii parhaiten prototyyppien, sekä isompien tuotteitten valmistukseen. (Blog.nus 2015)



KUVIO 4. LOM-toimintaperiaate. (Blog.nus 2015.)

2.1.5 SLS Lasersintraus

Tekniikassa lämpömuovattavia jauheita kuten muovi, metalli tai keraami joko sintraushehkutetaan tai sulatetaan laserilla tulostusalustalle levitettyä hienoa kerrosta pulveriseosta. Seos levitetään alustalle rullalla. Jauhetta kovetetaan laserilla aina kerroksittain, jonka jälkeen alusta laskeutuu yhden kerroksen paksuuden verran. Sen jälkeen levitetään uusi kerros jauhetta. Tulostettavaan kappaleeseen ei tarvi valmistaa tukimateriaaleja, koska sitä ympäröivä jauhe tukee sitä. (Additive manufacturing 2015.)

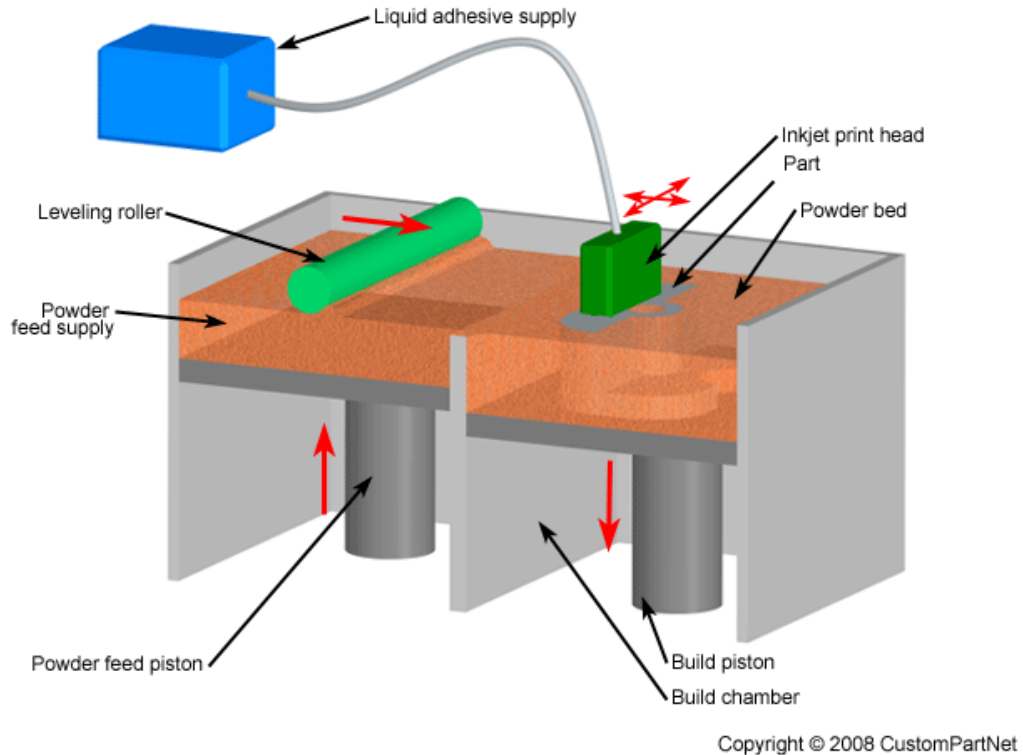


KUVIO 5. SLS-toimintaperiaate (AZO materials 2002.)

2.1.6 3DP-tekniikka Drop-on powder

Tekniikka muistuttaa toimintaperiaatteeltaan lasersintrausta (SLS), mutta laserin sijasta käytetään mustesuihku-tulostinpäätä. Tulostinpää ruiskuttaa nestemäistä kovetetta mikä sitoo tulostusmateriaalina käytettyä jauhetta. Jauhe voi olla metallia tai keraamia. Ylimääräinen jauhe toimii tulostettavan kappaleen tukevana materiaalina. Tämän takia erikoisten muotojen tulostaminen onnistuu helpommin tällä tekniikalla, koska tukielementtejä ei tarvitse erikseen suunnitella tulostuksen ajaksi. Tulostustekniikan etuna on myös tulostusnopeus, sekä edullisuus. Tämän

takia 3DP-tekniikkaa käytetään yleensä protyyppien valmistamiseen. (Custompart.net 2008.)



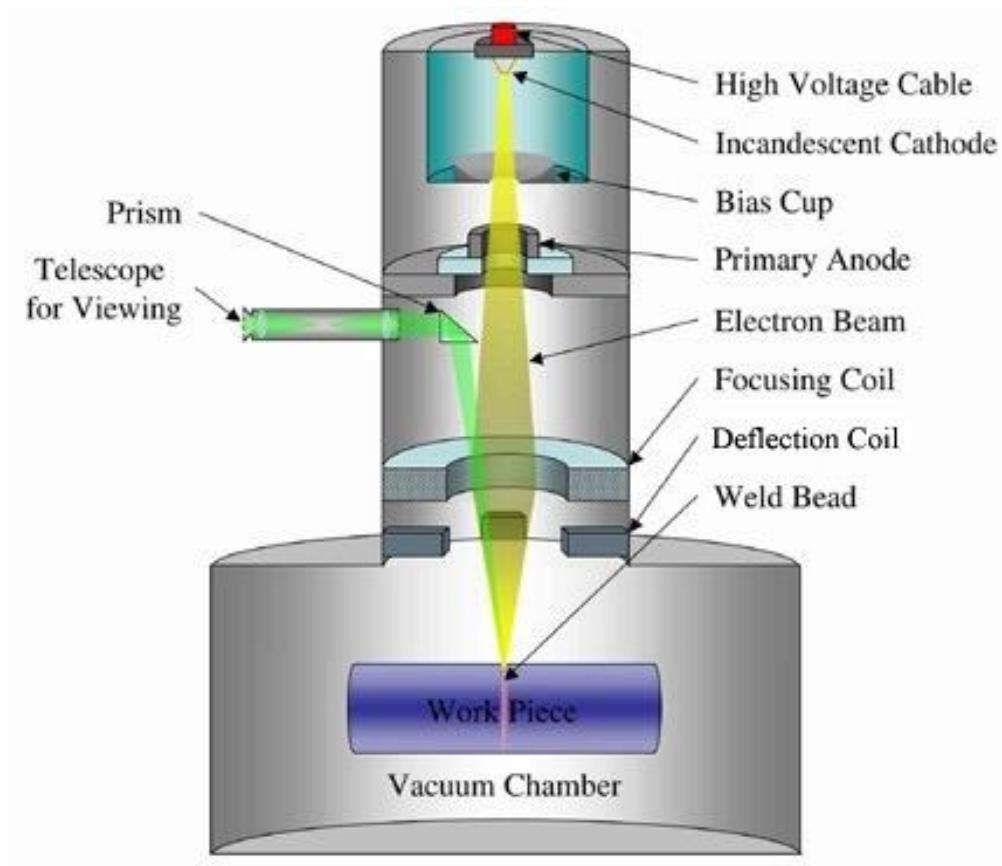
KUVIO 6. 3DP-toimintaperiaate. (Custompart.net 2008.)

2.1.7 EBM Electron Beam Melting

EBM tekniikkaa käytetään metallisten kappaleiden valmistamiseen. Tekniikassa käytetään samanlaista pulveritekniikkaa kuin SLS Lasersintrauksessa. EBM tekniikassa käytetään kuitenkin laserin sijaan elektronisädettä, ja kappaleen varsinainen valmistus tapahtuu tyhjiössä noin 700 – 1000 °C lämpötilassa. EBM-tekniikassa käytettävä tyhjiö estää elektronisäteiden hajautumisen.

Useat elektronisäteet sulattavat metallipulverista ohuen kerroksen valitulta alueelta, jonka jälkeen uusi kerros pulveria ajetaan kappaleen päälle kuten 3DP-tekniikassa.

Kappalettä ympäröivä pulveri toimii jälleen myös kappaletta tukevana tekijänä. EBM tekniikalla valmistetut kappaleet ovat täysin tiiviitä, aukottomia ja vahvoja. (CalRAM 2005.)

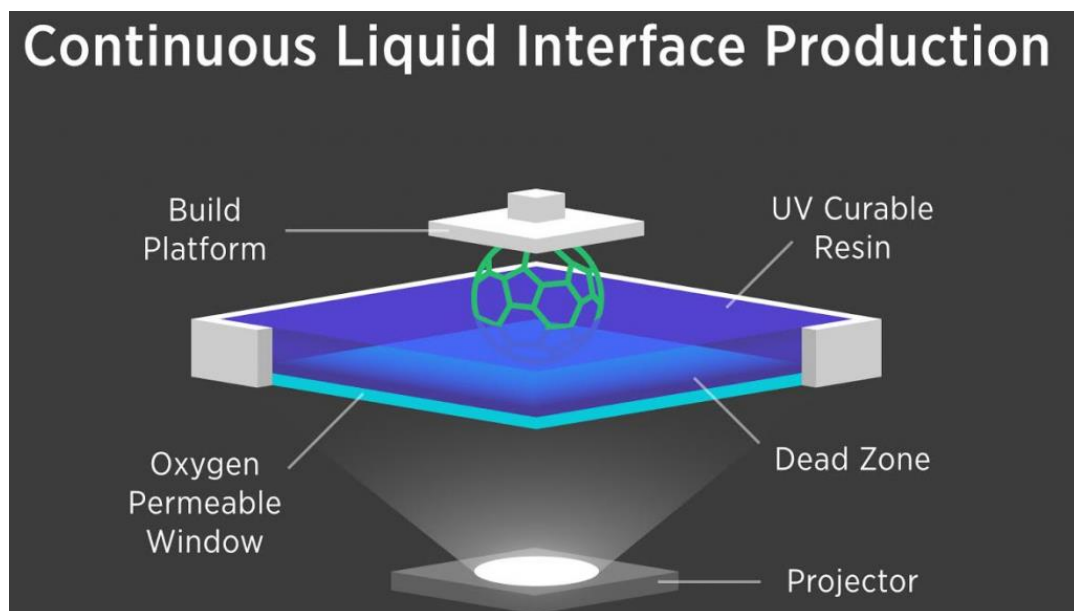


KUVIO 7. EBM-toimintaperiaate (Popular3Dprinters.com 2013.)

2.1.8 CLIP Continuous Liquid Interface Production

CLIP on uusi, 2015 keväällä julkistettu tulostustekniikka, minkä toimintaperiaate ei ole perinteinen kerroksen lisääminen kerroksen päälle, vaan kovettaa hartsia säätelämällä valoa sekä happea.

Tulostusmateriaalina käytetään happeen sekä valoon reagoivaa hartsia. Hartsialtaan alla on piilolinssin tapainen lasi, joka päästää läpi sekä happea että valoa. Tulostin kontrolloi hapen määrää hartsissa, mikä estää hartsia kovettumasta halutuista kohdista. Näitä kymmeniä mikroneja paksuilla ”kuolleilla alueilla” valopolymeerit eivät kovetu. Tämän jälkeen hartsiin ammutaan ristikkäistä ultraviolettivaloa mikä kovettaa halutut alueet hartsista. Kappaletta nostetaan samalla ylös hartsialtaasta samaan tahtiin, kun kappaletta valmistuu. (3dprint 2015.)



KUVIO 8. CLIP-toimintaperiaate (3dprint. CLIP. 2015.)

2.2 3D-tulostimet

3D-tulostimia on useita eri malleja. Tulostimessa voi olla esimerkiksi avoin tai koteloitu runko, lämmitettävä tulostusalusta, LCD-näyttö josta saadaan tietoja esimerkiksi tulostamisen valmistumisesta tai käytetyn tulostusmateriaalin määrä. Runko valmistetaan yleensä puusta, muovista tai metallista. Tärkein eri ominaisuuksien määrittäjä on tulostimen hinta, missä kalliimmat versiot ovat kestävämmistä materiaaleista, runko on valmiiksi koottu ja siinä on enemmän ominaisuuksia, kun taas halvemmat tulostimet voi joutua kokoamaan itse, eikä niissä ole lisäominaisuuksia. (Top Ten Reviews 2015.)

2.2.1 Centrian 3D-tulostin ja sen ohjelmistot

Ylivieskan yksikön tuotantotalouden laboratoriossa on useampia erilaisia 3D-tulostinta, joita kaikkia käytetään eri tarkoituksiin. Pienin, ja yksinkertaisin näistä on miniFactory 1.0, joka on monen opiskelijan ensimmäinen kohtaaminen lisäävän valmistuksen kanssa.

Centrian ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikössä käytettävä tulostin on miniFactoryn versionumero 1.0. Tulostin on kooltaan 42 cm korkea, 33.5 cm leveä ja 33.5 cm syvä. Painoa tulostimella on noin 12 kg. Tulostinalustan koko on 150 mm leveä, 140 mm pitkä ja tulostuskorkeus 140 mm. Tulostattaessa kerrospaksuudet ovat joko 0.1 mm, 0.16 mm, 0.2mm, 0.25mm tai 0.32mm ja nopeus voi olla enimmillään 80 mm sekunnissa. Käytettävän tulostuslangan oletuspaksuus on 1,75 mm. (miniFactory. Käyttöohje V1.0 2013.)

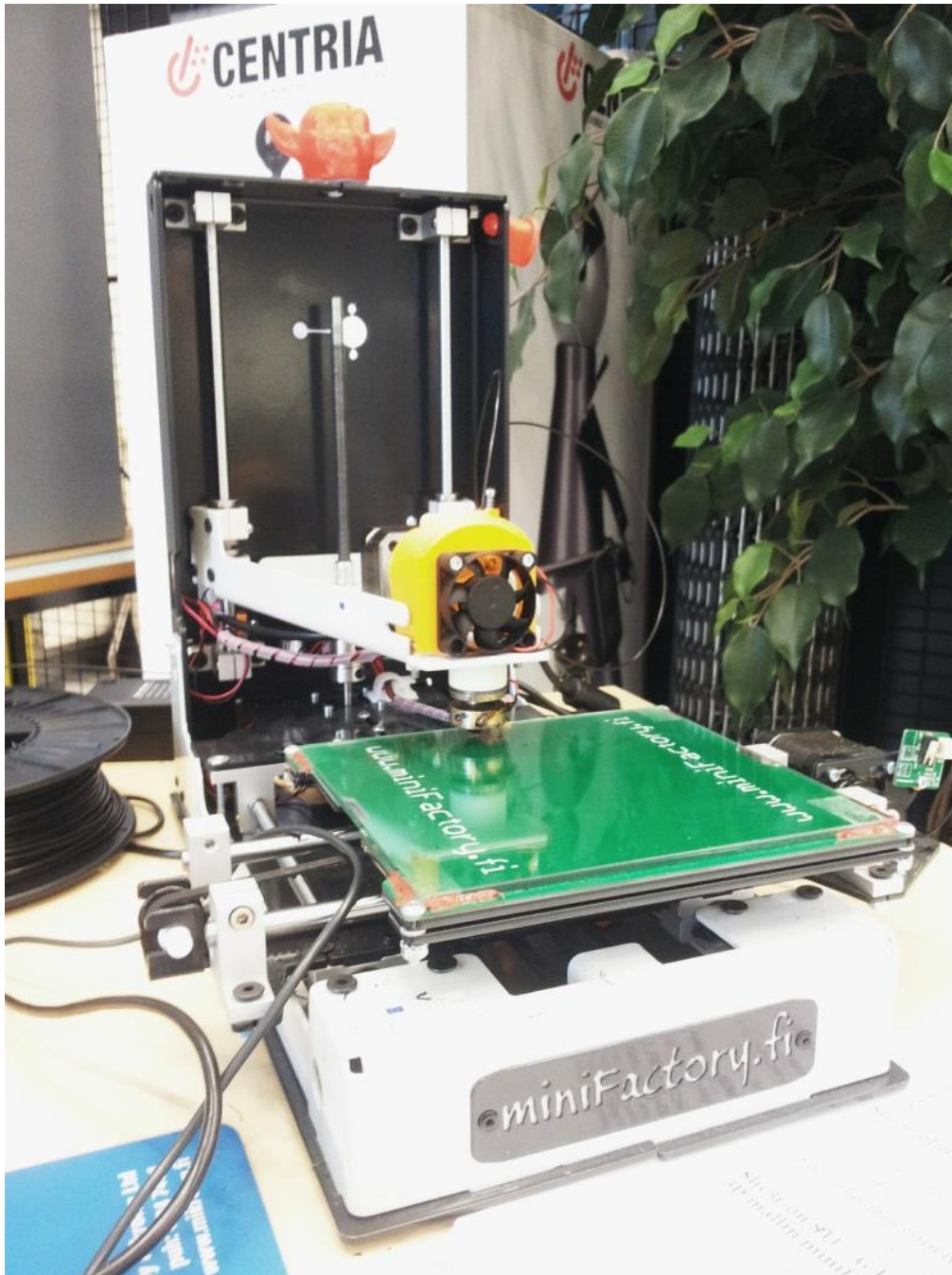
Suuttimen alkuperäinen reikäkoko on 0.35 mm, ja käyttölämpötila on PLA-muoville 190-260 °C. Tulostusalustan käyttölämpötilat on 50-90 °C. Suutinta on kuitenkin avarrettu poraamalla, jotta siinä voidaan käyttää myös paksumpia tulostuslankoja. Poraamisen johdosta materiaalien käyttäytyminen käyttäen niiden oletusasetuksia tulostamisen aikana on muuttunut.

Tulostin käyttää ohjelmistoina tulostukseen RepetierHost-ohjelmaa, ja digitaalisen 3D-mallin G-koodiksi muuntamiseen Slic3r-ohjelmaa. RepetierHost on ns. isäntä-ohjelmisto joka ohjaa tulostinta. Ohjelmisto tukee muun muassa yksittäistä tai useampaa suutinta tulostimessa, joten se käy useammalle eri tulostinmallille, ja firmware-versiolle. Ohjelma automaattisesti työstää siihen lisätyn 3D-mallin G-koodiksi Slic3r-lisäosalla, sekä tarkistaa koodin mahdollisten virheiden tai ongelmien varalta. Ohjelma tukee Slic3rin lisäksi useampia slicing-lisäosaa. RepetierHost-ohjelmaa voidaan myös tarvittaessa räätälöidä laitekohtaiseksi, jos laitteen valmistaja näin haluaa. (RepetierHost 2015.)

Slic3r kääntää digitaalisen 3D-mallin tulostimen ymmärtämään muotoon. Kolmiulotteinen malli viipaloidaan ohuiksi kerroksiksi. Tulostimelle lasketaan tulostusrata, täyttö-, ja tuki-geometria käytettävät materiaalin määrä, lämpötilat, kerrospaksuus ja takaisinvedot.

Slic3r on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, mikä mahdollistaa lähdekoodiin tutustumisen ja sen muokkaamisen käyttäjän tarpeitten mukaan. Myös muokattua versiota ohjelmistosta saa edelleen levittää vapaasti. (Slic3r 2015.)

Tulostimen ymmärtämä G-koodi on standartisoitu numeerinen komentokieli jota useat CNC-koneet kuten tietokoneella ohjatutu sorvit jyrsimet, leikkurit, hitsausrobotit ja 3D-tulostimet ymmärtävät. (CNCCookbook 2015.)



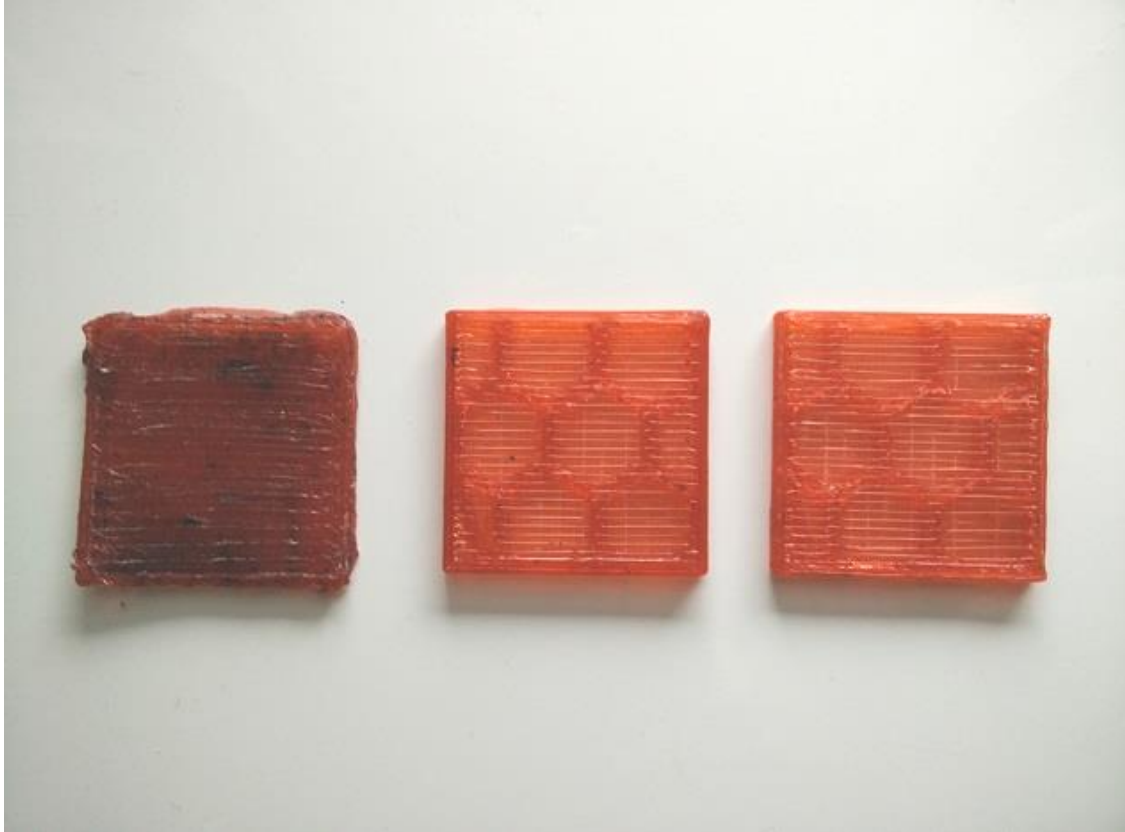
KUVIO 9. Centrian Ylivieskan yksikön miniFactory 3D-tulostin.

2.2.2 MiniFactory 1.0-tulostimen suutinasetukset

Centrian ammattikorkeakoulun Ylivieskan yksikössä käytettävän tulostimen suutinta on jouduttu avartamaan poraamalla, jotta tulostimessa voidaan käyttää paksumpaa tulostusnauhaa, mitä alunperin on tarkoitettu käytettäväksi. Tästä johtuen eri nauhoille käytettävät ohjearvot eivät enää käy, ja tulostettavan kappaleen laatu voi kärsiä.

Yleisimpiä ongelmia ovat ylimääräisen tulostusmateriaalin sotkeutuminen tulostuspäähän missä se lämpenee liikaa, tummuu ja sotkee tulostettavaa kappaletta, tulostusnauhan liiallinen syöttö, tulostusalustan sotkeutuminen ylimääräisestä materiaalista ja tulostettavan kappaleen yleisen laadun kärsiminen.

Suurin ongelma yleisimmin käytetylle 1.75mm paksulle polylaktidi PLA filamentille oli liian nopea suuttimen x-akselilla liikkuminen pursotusnopeuteen nähden. Kappaleen pinnan piti olla yhtenäinen taso, mutta se jäi verkkomaiseksi, koska nauha jäi liian ohueksi pintaan (KUVIO 10). Kuviosta myös huomaa miten ensimmäinen kappale vasemmalla sotkeentui täysin vanhasta, suuttimeen jääneestä ja tummuneesta tulostusfilamentista.



KUVIO 10. Tulokset eri tulostusasetuksia käyttämällä.

Samaa kappaletta tulostaessa käyttäen puun ja muovin sekoitteesta valmistettavaa Laywood D-3-tulostusnauhaa täytyi suuttimen liikumisnopeutta laskea vielä hitaammaksi. Jos tulostusnopeus on liian hidas, tai – lämpötila liian korkea, voi tulostusnauha ruveta hiiltymään. Haluttaessaan tätä materiaalin ominaisuutta voi käyttää valmiissa kappaleessa hyväksi, ja lievä hiiltyminen voi olla jopa haluttu ominaisuus valmiissa kappaleessa. Korkeassa lämpötilassa tulostettu kappale tummuu hieman pinnasta sekä tuoksuu voimakkaammin puulle.

Tulostimessa käytettiin yleistä oletusprofiilia jokaiselle tulostukselle, mutta se ei käynyt enää, koska tulostuspään avartamisen jälkeen materiaalit käyttäytyivät kaikki eri tavoin tulostattessa. Loin RepetierHost-ohjelmaan jokaiselle yleisimmin koululla käytetyllä tulostusmateriaalille oman tulostusprofiilin ohjelmaan. Profiiliin valittiin

halutut asetukset, kuten filamentin syöttönopeus, suuttimen sekä tulostusalustan lämpötila ja tulostuspään liikenopeus.

Eri tulostusprofiilien avulla tulostaessa arvoja ei tarvitse joka kerta syöttää ohjelmaan. Käyttäjä vain valitsee käytettävän tulostusmateriaalin mukaan oikean tulostusprofiilin ennen tulostamista ohjelman alaspudotusvalikosta. Tarvittaessa suuttimen ja tulostusalustan lämpötiloja pystyy säätämään vielä tulostuksenkin aikana suoraan ohjelmasta, jos jostain syystä profiili ei sovikaan käytettävälle filamentille suoraan.

2.3 Centrian Ylivieskan yksikössä yleisimmin käytettävät tulostusmateriaalit

PLA 1.75mm tulostusnauha 1kg punainen

PLA (polylaktidi) on kestmuovi, jota valmistetaan orgaanisesta materiaalista kuten maissi, kassava, sokeriruoko, ja sokerijuurikas. Koska filamentti valmistetaan luonnollisesta materiaalista, on se myös biohajoavaa. Näin ympäristöjalanjälki on pienempi kuin normaaleilla fossiilipolttoaineista valmistetuilla kestmuoveilla.

PLA ei tarvitse niin korkeaa tulostuslämpötilaa kuin ABS-muovi. Pursotuslämpötila on noin 180 - 200°C. Tulostusalustan lämpötilaksi suositellaan 40 – 50 °C. (an-cadsolutions 2015.)

ABS

ABS (akryylinitriilibutadieenistyreeni) on kestmuovi, joka on valmistettu fossiilisista polttoaineista. Näin ollen materiaali ei ole biohajoavaa kuten PLA.

ABS-muovi vaatii korkeamman ruiskutuslämpötilan kuin PLA, noin 235 – 256 °C. Tulostusalustan lämpötila pitäisi olla noin 80 – 110 °C. (an-cadsolutions 2015.)

LAYWOO-D3

LAYWOO-D3 on materiaalisekoite jossa on 40% kierrätettyä puumassaa. Materiaalia voidaan tulostaa normaalisti ja vaatii saman pursotuslämpötilan kuin PLA: noin 185 – 230 °C ja alustan lämpötila 40 – 50 °C.

Koska materiaali sisältää puuta, voi tulostettua kappaletta käsitellä kuin puuta. Tulostuslämpötilaa säätämällä voi vaikuttaa valmiin kappaleen värisävyyn. Nostamalla lämpötilaa kappaleen pinta tummuu, ja laskemalla vaalenee. Kappaletta voi myös leikata, muokata ja maalata kuten puuta. (an-cadsolutions 2015.)

LAYWOO-D3 materiaalin nauha katkeaa helpommin, kuin kokonaan muoviset nauhat, joten käsittelyssä täytyy olla tarkempi. (an-cadsolutions 2015.)

LAYBRICK

LAYBRICK on sekoite kalkkijauhetta ja polyestereitä. Valmis tuote näyttää hiekkakiveltä eikä tunnu muovilta. Tulostettuja kappaleita voidaan maalata ja muokata jälkeinpäin. Tämän takia filamentti sopii hyvin esimerkiksi arkkitehtuuristen kappaleitten valmistamiseen. Nauhamuodossa LAYBRICK on todella hauras vääntymistä kohden, ja katkeaa helposti. Tulostuslämpötilana suositellaan käytettävän 165 °C jos kappaleesta halutaan sileäpintainen ja 210 °C jos kappaleelle halutaan karheampi pinta. (3ders 2015.)

3 3D-TULOSTAMINEN JULKISISSA TILOISSA

3D-tulostamisen mahdollisuudet julkisissa tiloissa voivat kasvaa eksponentiaalisesti, ja uusia toimintamalleja syntyy kokoajan. Lontoossa on perustettu makersCafe –niminen konsepti, missä kahvilassa voi asiakkaat käyttää 3D-tulostimia, ja laserleikkuukoneita. Hinnat ovat kiinteät ja lajiteltu kappaleen tulostamisen vaatiman ajan, alle puolesta tunnista aina yli kymmeneen tuntiin. Kahvilassa myös pidetään asiakkaille tapahtumia, missä käydään läpi ja opetetaan perusteet kappaleitten 3D-suunnitteluun, 3D-tulostamiseen ja laserleikkaamiseen. Kahvilaan kutsutaan myös alalla vaikuttavia puhuja vieraita. (3dprint. MakersCafé.)

Konseptia voi jatkojalostaa sijoittamalla kahvilan sellaisten opiskelupaikkojen läheisyyteen, missä opiskeltavat alat voivat käyttää hyväksi kahvilassa tarjottavia työstötekniikoita. Esimerkiksi teollinen muotoilu ja suunnittelu, arkkitehtuuri, konesuunnittelu, taide sekä taide-esineet. Jos kävijällä ei ole mitään omaa tulostettavaa, kahvilassa voisi olla oma mallikirjasto missä suunnittelijat ja taitelijat voisivat jakaa luomuksiaan ilmaiseksi tai palkkiosta.

Museoissa, tietomaissa ja taidenäyttelyissä voi olla sellaisia kappaleita, mitä on esillä mutta niihin ei saa koskea. Esimerkiksi vanhoista nuolenpäistä, koruista, luunsiruista on helppo tulostaa kopioita mitä asiakkaat voivat tutkia ja käsitellä vapaasti, kun samalla katselee myös aitoa esinettä. (Cnet 2015.)

Varsinkin nuorille käsin kosketeltavissa oleva kappale on stimuloivampi, kuin pelkästään vitriinissä sijaitseva esine minkä kanssa ei ole mitään interaktiota.

Tulostettavien kappaleiden laatu on nyt jo niin hyvä että esimerkiksi Kalevala Korun tuotteita tarjotaan edullisempaan hintaan tulostettuina versioina. (Savon Sanomat 2015.)

Kirjastoissa uuteen valmistustekniikkaan voi tutustua ilmaiseksi matalalla osallistumiskynnyksellä. Espoon Tapiolan kirjastossa jo 2013 oli useampi miniFactoryn tulostin julkisessa käytössä. Yleisimmät tulostettavat kappaleet olivat pieniä arkipäiväisiä käyttöesineitä, kuten nappeja, kampoja ja pieniä muovisia varaosia hajonneiden kappaleiden tilalle. Näin ihmiset saivat ensimmäisen kosketuksen uuteen valmistustekniikkaan, ja ajatukseen miten massavalmistuksesta voidaan ajan myötä siirtyä vain tarpeeseen valmistamiseen. (Helsingin Uutiset 2013.)

Kirjastoissa voitaisiin myös pitää työpajoja, joissa käytäisiin läpi 3D-suunnittelun ja –tulostamisen perusteita. Nämä työpajat voivat toimia yhteistyössä myös alalla vaikuttavien yritysten ja ammattilaisten kanssa. Näin yritykset voisivat vähällä vaivalla lisätä myyntiään, ja työpajoihin osaa ottavat saisivat arvokasta tietoa tekniikoista.

3D-tulostamisesta on useissa eri medioissa puhuttu seuraavana teollisuuden mullistavana tekniikkana. Näitä eri tulostamisen tekniikoita museot, esittelytilat ja tiedekeskukset voivat esitellä ihmisille, ja näin tuoda tekniikkaa lähemmäksi arkipäivää.

4 3D-TULOSTIMEN KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN

Tulostin on pienikokoinen, ja erittäin yksinkertainen mikä mahdollistaa helpon tutustumisen tekniikkaan. Tulostimeen ei kuitenkaan ollut kunnollisia pikakäyttöohjeita, vaan kaikki tieto tulostamisesta piti joko kysyä opettavalta henkilöltä, tai tutkia tulostimesta käytyjä keskusteluja keskustelufoorumeilta. Internetistä saatu käyttäjien kirjoittama tieto voi kuitenkin olla vanhentunutta tai yksinkertaisesti väärää ja useasti myös englanniksi kirjoitettu. Tämä saattaa aiheuttaa hämmennystä ja hidastelua opiskelussa.

3D-tulostinta käyttävät opiskeluissaan myös vaihto-oppilaat. Tämän takia pikakäyttöohje täytyi kirjoittaa sekä suomeksi että englanniksi.

Tulostimeen löytyi miniFactoryn omalta keskustelupalstalta yksinkertaiset ohjeet tulostimen käyttöön tulostimen julkistamisen alkuajoilta. Tämä ohje oli jo vanhentunutta tietoa, koska tulostimen fyysiset ominaisuudet, sekä tulostamiseen käytettävän ohjelmiston graafinen ilme, että ominaisuudet olivat jo muuttuneet päivitysten ja suuttimen modifioinnin myötä erilaisiksi.

Pyrin kirjoittamaan ohjeen, jonka avulla aloittelijakin voi päästä turvallisesti alkuun 3D-tulostamisessa. Kirjoitin ohjetta samalla, kun tein testikappaleita eri tulostusasetuksilla. Jos tulostukseen tuli jokin ongelma, kirjoitin sen sekä mahdollisen ratkaisun kyseiseen ongelmaan muistiin.

Kirjasin myös yleisiä huomioita laitteen fyysisistä ominaisuuksista, mistä ei mainita missään virallisissa teksteissä, kuten kuinka avarretusta suuttimesta mitä

luultavimmin valuu ylimääräistä tulostusmateriaalia, ja kuinka minusta oli järkevin hankkitua eron siitä materiaalista ilman että tulostettava kappale vaurioituu. Pyrin myös varoittamaan käyttäjiä mahdollisista palovammoista käsitellessään kuumaa, liikkuvaa suutinta.

Kaikki tärkeimmät asiat pyrin myös osoittamaan kuvien avulla, kuten esimerkiksi mistä suuttimen korkeuden hienosäätöön käytettävä pienikokoinen ruuvi löytyy tulostimesta. Kuviin pyrin lisäämään myös hahmottamista helpottavia kuvioita kuten nuolia.

Ohjeessa en käy tarkemmin läpi 3D-mallintamisesta tietokoneella, koska mielestäni aihe on liian laaja ja monimutkainen, jotta sen voisi liittää pikaohjeisiin. Tulostimeen kytketyssä tietokoneessa oli valmiiksi muutama yksinkertainen mallinnettu kappale tallennettuna, mitä voi käyttää tulostamiseen tutustuessa.

Alussa oli vaikeuksia saada tulostin toimimaan, koska työskentelin itsenäisesti. Jos tuli ongelma, pyrin etsimään vastausta keskustelufoorumeilta. Jos vastausta ei löytynyt internetistä, kävin kysymässä asiasta parhaiten tietävältä henkilöltä.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön ensisijaisin, ja tärkein päämäärä oli valmistaa pikakäyttöohje miniFactory 1.0-tulostimelle. Käytettävissä oleva materiaali oli niukkaa, ja suurimmaksi osaksi vanhentunutta koska ohjelmistot päivittyvät useasti. Päivitysten myötä ominaisuudet, ja ohjelmien yleinen ulkoasu voi muuttua huomattavastikin.

En ollut perehtynyt tarkemmin 3D-tulostamiseen ennen opinnäytetyötäni, joten jouduin käymään aiheen läpi aivan alusta alkaen. Suurin ongelma oli itse tulostimen käyttö vajaavaisten ohjeiden ja kirjallisuuden takia. Suurin apu käyttöön löytyikin internetin 3D-tulostamiseen keskittyneiltä keskustelufoorumeilta. Ongelma keskustelufoorumeissa on kuitenkin, että sinne kirjoitettu tieto voi olla myös väärää ja vanhentunutta.

Kesällä 2014 miniFactoryn internetsivuille avattiin myös miniFactory Kampus, missä käydään läpi yrityksen tulostimia käyttäessä vastaan tulevat yleisemmät kysymykset ja ongelmatilanteet noin 1 – 2 minuuttia pitkillä videoilla. Kampusen käyttö kuitenkin vaatii sinne rekisteröitymisen, jonka voi tehdä vain miniFactoryn tulostimen ostaneet. Videot olivat myös suunnattu tulostimien uusimpien mallien käyttöön ja ongelmien ratkaisuun, joten ne kävivät vain osittain ensimmäisen sukupolven tulostimeen.

Pikakäyttöohje on mielestäni riittävän hyvä tulostimen käytön perehdyttämiseen, vaikka käyttäjä ei olisikaan koskaan käyttänyt sitä. En käynyt läpi ohjeessa itse 3D-mallin luomista, koska aihe olisi levinnyt liian laajaksi, vaan keskityin tiukasti itse tulostimeen, sen asetuksiin ja tulostamisen yleisimpiin ongelmatilanteisiin. Pysin

myös kirjaamaan yleisiä vinkkejä, mitä huomasin itse opitellessani tulostimen käyttöä.

Työskentely tulostimen kanssa oli hyvin itsenäistä. Ongelmatilanteessa pyrin löytämään ratkaisun internetistä keskustelupalstoilta, ja jos ne eivät auttaneet, kokeilin omasta mielestäni mahdollista ratkaisua. Viimeisenä mahdollisuutena konsultoin enemmän 3D-tulostimista tietävää henkilöä. Hän kuitenkin oli usein kiireinen, ja muualla kuin toimistossaan.

5.1 Opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamisen arviointi

Opinnäytetyön tärkein tulos oli vaatimukset täyttävien pikakäyttöohjeiden valmistumisen tulostimelle. Ohjeet ovat mielestäni selkeät ja riittävän yksinkertaiset tulostimen käyttöön perehtyvälle opiskelijalle.

Kehitysideoina suosittelin opinnäytetyön tilaajalle 3D-tulostimen ohjelmistojen ajoittaisen päivittämisen. RepetierHost-ohjelmistoon tarjotaan päivityksiä, jotka parantavat ohjelmiston ominaisuuksia ja käytettävyyttä.

Päivitykset voivat tuoda mukanaan jopa aivan uusia ominaisuuksia tulostamisen avuksi. Jos ohjelmistojen ulkonäkö ja täten käytettävyys muuttuu, täytyy päivittää samalla myös pikaohjeet vastaamaan uusinta käytettävää ohjelmiston versiota.

Ylivieskan yksikölle voitaisiin luoda miniFactoryn Kampukselle omat oppilaitten yleiseen käyttöön tarkoitetut tunnukset. Näin opiskelijat voivat tutustua

opetusvideoihin yleisimmistä ongelmatilanteista ja vinkkeihin tulostuksen laadun parantamisesta miniFactoryn tulostimille.

Julkisiin tiloihin kuten kirjastoihin voitaisiin järjestää yleisölle 3D-suunnittelun ja 3D-tulostamisen kursseja sekä puhujia 3D-tulostamisen alalla vaikuttavista henkilöistä. Tämän avulla ihmiset saisivat kosketuksen materiaalia lisäävän tekniikan suomiin mahdollisuuksiin. Kurssit voivat myös vauhdittaa yritysten tulostimien myyntiä yksityisille näiden innostuttua 3D-tulostamisesta.

Aikataulutukseltaan opinnäytetyö oli todella joustava, eikä 3D-tulostimen pikaohjeilla ollut kiire. Pystyin käyttämään 3D-tulostinta koulun aukioloaikojen mukaan omien tarpeitteni mukaan.

5.2 Oman toiminnan arviointi

En tiennyt juuri mitään 3D-tulostamisesta ennen opinnäytetyön aloittamista, mutta työn valmistumisen jälkeen osaan mielestäni materiaalia lisäävän valmistuksen yleisimmin käytetyt tekniikat. Opinnäytetyön suorittaminen oli hyvin itsenäistä, ja pyrin selvittämään mahdolliset ongelmatilanteet itse. Vain harvoin jouduin kysymään apua tulostimien vastaavalta henkilöltä.

Työskentely keskeytyi talven 2015 aikana, koska keskityin suorittamaan viimeiset puuttuvat pakolliset kurssit. Kun kurssit oli selvitettyinä, jatkoin opinnäytetyön tekoa aina toukokuun 2015 loppupäähän asti. Opinnäytetyön kirjoitusosuuden olisin voinut suorittaa loppuun aikaisemminkin, ja nyt viimeistely jäi hieman viime hetkille.

3D-tulostimen parissa työskentelyn suoritin aiemmin syksyllä 2014 ja opinnäytetyön kirjoittaminen jäi keväälle 2015. Joustava opinnäytetyön aikataulutus onneksi mahdollisti puuttuvien kurssien suorittamisen, eikä minun tarvinut huolestua kummastakaan loppuun suorittamisesta.

LÄHTEET

3ders. Laybrick. 2015. Saatavissa: <http://www.3ders.org/articles/20130527-laybrick-a-new-rough-3d-printer-filament-near-zero-warp.html> Luettu 1.5.2015

3D-Labs. MultiJet-Modeling. 2015. Saatavissa: <http://3d-labs.de/mjm/?lang=en> Luettu 1.5.2015

3dprint. CLIP. 2015. Saatavissa: <http://3dprint.com/51566/carbon3d-clip-3d-printing/> Luettu 1.5.2015

3dprint. MakersCafé. 2015. Saatavissa: <http://3dprint.com/12741/makerscafe-london/> Luettu 1.5.2015

3D Printing Industry. History of 3D Printing. 2014. Saatavissa: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/> Luettu: 1.4.2015

Aalto-yliopisto. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu. Muovitekнологia. 2015. Saatavissa: http://taik.fi/virtu/materiaalit/muovitekнологia/pikamallit/01-20_lasers.html Luettu 1.4.2015

Additive Manufacturing. Basics. 2015. Saatavissa: <http://additivemanufacturing.com/basics/> Luettu 7.5.2015

An-cadsolutions. Tietoa 3D-tulostusmateriaaleista. 2015. Saatavissa: <http://www.an-cadsolutions.fi/fi/3d-tulostusnauha> Luettu 1.4.2015

AZO materials. Rapid prototyping. 2002. Saatavissa: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1648> Luettu: 1.5.2015

Blog.nus. Laminated Object Manufacturing. 2015. Saatavissa : <http://blog.nus.edu.sg/u0804594/common-rp-techniques/laminated-object-manufacturing-lom/> Luettu 7.5.2015

CalRAM. 3D Printing of Metallic Components. 2005. Saatavissa: http://www.calraminc.com/howItWorks/Electron_Beam_Melting.html Luettu 7.5.2015

CNCCookbook. G-Code Tutorial and Course. 2015. Saatavissa: <http://www.cnccookbook.com/CCNCNCCodeCourse.htm> Luettu 10.5.2015

Cnet. Tech Culture. 2015. Saatavissa: <http://www.cnet.com/news/3d-print-your-own-ancient-artefacts-for-a-home-museum/> Luettu 7.5.2015

Custompart.net. 3DP. 2015. Saatavissa: <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing> Luettu 7.5.2015

Efunda. Rapid prototyping. 2015. Saatavissa: http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm

El blog del Plástico. 2012. Saatavissa: <http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2012/10/19/prototipos-avanzados-graduado-en-diseno/> Luettu 19.5.2015

Helsingin Uutiset. 2013. Saatavissa: <http://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/251725-3d-tulostuksesta-tuli-kirjaston-vetonaula> Luettu 1.5.2015

Intech. SLA Machines in rapid prototyping. 2012. Saatavissa: <http://intech-ind.com/sla-machines-in-rapid-prototyping/> Luettu 7.5.2015

Livescience. What is Stereolithography?. 2013. Saatavissa: <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html> Luettu 7.5.2015

Makerscafe. 2015. Saatavissa: <http://www.makerscafe.com/> Luettu 1.5.2015

MiniFactory. Keskustelufoorumi. Slic3r-ohjelman esittely. 2013. Saatavissa: <http://www.minifactory.fi/forum/viewtopic.php?f=2&t=2> Luettu 7.5.2015

MiniFactory. Käyttöohje V1.0. 2013. Saatavissa: www.minifactory.fi/wp-content/.../miniFactory_Käyttöohje_V1.0.pdf Luettu 1.4.2015

Popular3Dprinters.com. Electron beam melting. 2013. Saatavissa: <http://www.popular3dprinters.com/electron-beam-melting-ebm/> Luettu 19.5.2015

Repetier. 2015. Saatavissa: <http://www.repetier.com/> Luettu 7.5.2015

RepRap. Fused filament fabrication. 2014. Saatavissa: http://reprap.org/wiki/Fused_filament_fabrication Luettu 7.5.2015

Savon Sanomat. 2015. Saatavissa: <http://www.savonsanomat.fi/uutiset/talous/klassikkokoruja-saa-myos-3d-tulosteena/1975583> Luettu 1.5.2015

Slic3r. G-code generator for 3D printers. 2015. Saatavissa: <http://slic3r.org/> Luettu 1.4.2015

Top Ten Reviews. 2015. 3D Printer Reviews and Comparisons. Saatavissa: <http://3d-printers.toptenreviews.com/> Luettu 1.4.2015

Käyttöohje MiniFactory 3D-tulostimelle

Varmista että tulostin on yhdistetty tietokoneeseen USB-liittimellä, ja että virtajohto on seinässä.

Jos ohjelma toimii hitaasti, tai ei keskustele tulostimen kanssa, kokeile USB-johdon irrottamista ja liittämistä tietokoneeseen, RepetierHost-ohjelman uudelleenkäynnistämistä, tai tietokoneen uudelleenkäynnistämistä.

Tarkista että anturit eivät ole vääntyneitä.

Älä käytä tulostuksen aikana muita ohjelmia hitaalla tietokoneella, koska tulostusohjelma saattaa lopettaa toimimasta halutulla tavalla, ja tulostus voi epäonnistua.

Pidä tulostusalusta puhtaana. Voit puhdistaa alustan kostealla paperilla. Kuivaa alusta puhdistuksen jälkeen.

Ongelmatilanteessa tulostuksen voi pysäyttää ohjelman oikeasta yläkulmasta löytyvästä Emergency stop-napista. Nappia painaessa myös suuttimen tuuletin pysähtyy. Mikäli suutin on kuuma, pitää tuuletin aktivoida uudelleen Manual control-välilehdeltä Fan-näppäimellä.

1. Tulostusmateriaalin asettaminen ja vaihto

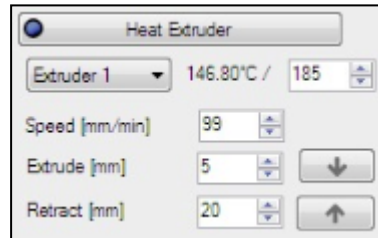
1.1 Valitse tietokoneelta MiniFactory-profiili, ja syötä salasana. Oletuksena salasana on *Mini2013*

1.2 Aukaise *RepetierHost*-ohjelma.

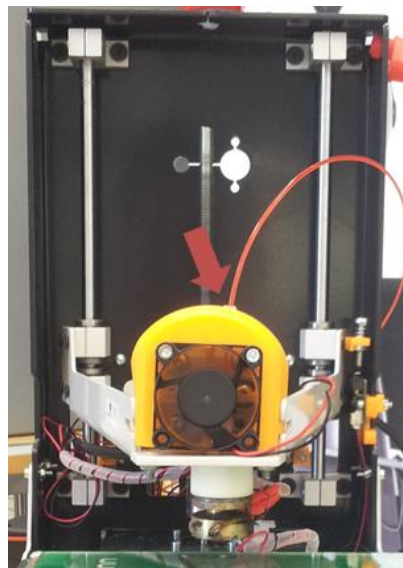
1.3 Ohjelman oikeasta yläkulmasta paina *Connect*-näppäintä. *Manual control*-välilehdeltä näet onko yhdistys onnistunut Connected!-, tai Idle-tekstistä.



- 1.4 Mikäli tulostimessa ei ole tulostusnauha paikallaan, tai haluat vaihtaa sen, aktivoi *Heat extruder*-, ja *Fan*-näppäin. Aseta Fan-liukupalkki 100%. Anna suuttimen lämpötilan nousta 150°C, ennenkuin yrität nauhan asettamista tai vaihtamista. Kun suutin on lämmennyt tarpeeksi, koeta nauhan nostamista kirjoittamalla *Retract*-kohtaan esim. 20, ja paina ylöspäin osoittavaa nuolinäppäintä. Voit avittaa vetämällä nauhaa kädellä. Jos nauha ei irtoa, odota että lämpötila nousee 200°C, ja koeta uudelleen.





- 1.5 Uuden nauhan asennat pujottamalla sen pursottimen päältä olevasta reiästä. Varmista että nauha menee tuulettimen takana sijaitsevien kahden ohjaurattaan välistä.




- 1.6 Kirjoita *Extrude*-kohtaan esim. 5 ja alaspäin osoittavasta nuoli-näppäimestä ajat nauhaa alaspäin, kunnes suuttimen päästä pursuaa materiaalia. Voit poistaa ylimääräisen materiaalin esim. paperilla. Varo kuumaa suutinta.]

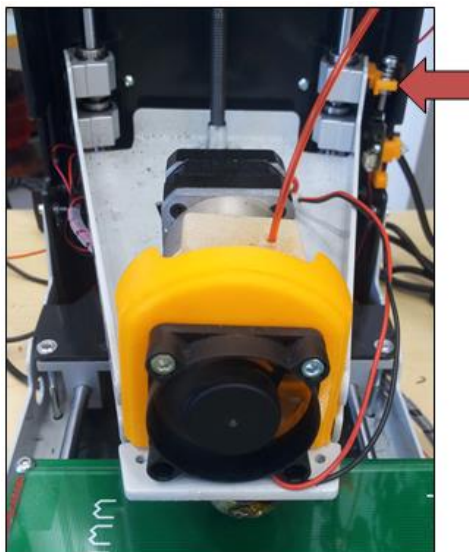
2. Tulostimen X-, Y-, ja Z-akseleiden kalibrointi

2.1 Aja tulostusalusta X-, ja Y-akseleilla nolla-asentoon *Manual control*-välilehdellä

painamalla  ja  -näppäimiä. Tulostuslevy ajaa, kunnes anturit laukeavat. Tämän jälkeen kirjoita *G-Code*-kohtaan G1 X80 Y70 F3000 ja paina *Send*. Tulostusalusta ajaa itsensä keskelle.

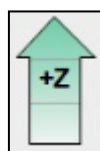
2.2 Aja suutin Z-akselilla nolla-asentoon painamalla  -näppäintä. Suuttimen pitäisi jäädä noin 1mm korkeuteen tulostusalustasta. Sopivan korkeuden voi tarkistaa jos kirjoituspaperin sivu liikkuu suuttimen alla ilman ongelmia.

Mikäli korkeutta pitää säätää, voit tehdä sen tulostimen oikealta puolelta löytyvästä ruuvista.



2.3 Mikäli suutin jää liian korkealle aja sitä ylöspäin *Manual control*-välilehdellä +Z-näppäimellä ylöspäin. Kierra ruuvia ¼-kierrosta myötäpäivään ja tarkista korkeus ajamalla suutin jälleen kotiasentoon.

Mikäli suutin on liian alhaalla, nosta suutinta, kierrä ruuvia ¼ kierrosta vastapäivään, ja tarkista korkeus. Toista kunnes korkeus on oikein.



3. Tulostettavan kappaleen muuntaminen G-koodiksi ja tulostusprofiilit

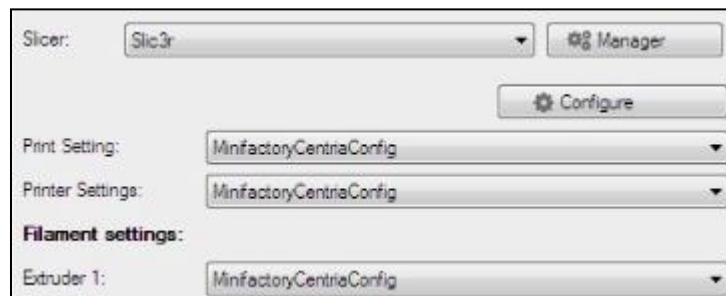
3.1 *Object placement*-välilehdellä *Add object*-näppäimellä haet tulostettavan kappaleen. Tiedosto voi näkyä tietokoneella *.stl*, tai *.ctf*-päätteellä. Kumpikin käy ohjelmalle.



3.2 Voit tutkia 3D-mallia ohjelman vasemmalla puolella. Voit manipuloida kappaleen kokoa (*Scale*) ja asentoa (*Rotation*).

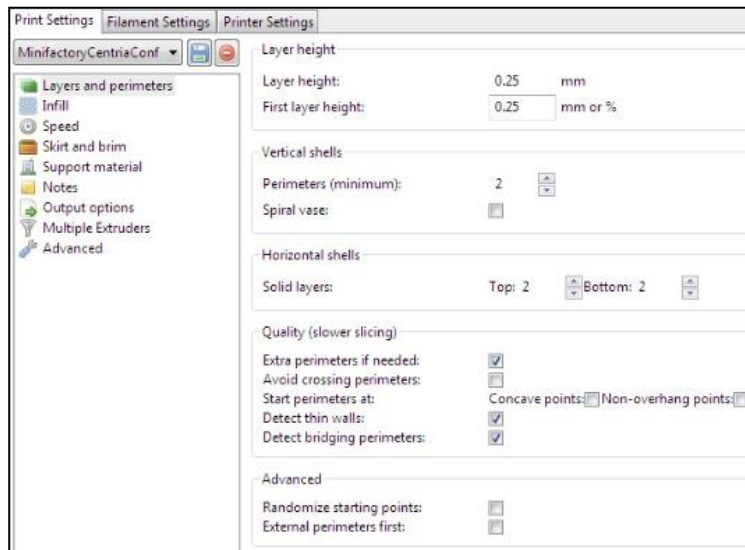


3.3 *Slicer*-välilehdellä tarkista, että valitut asetukset ovat kuvan mukaiset. (*Extruder 2*- ja *Extruder 3*-valinnoilla ei ole väliä, koska tulostimessa on vain yksi suutin).



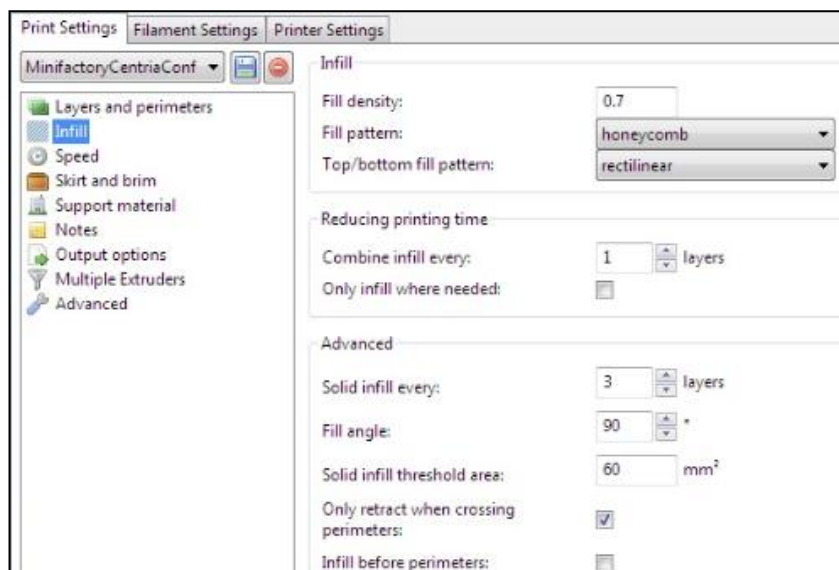
3.4 Tarkista tulostusprofiilin asetukset *Configure*-näppäimestä. Mikäli ikkuna ei aukea, tarkista ettei suuttimen tai tulostusalustan lämmitys ei ole päällä *Manual control*-välilehdeltä.

3.5 *Layers and perimeters* välilehdeltä tärkeimpiä valintoja ovat *First layer height*, mikä on ensimmäisen tulostuskerroksen paksuus millimetreinä ja *Layer height*, mikä on loppujen tulostuskerrosten paksuus millimetreinä.

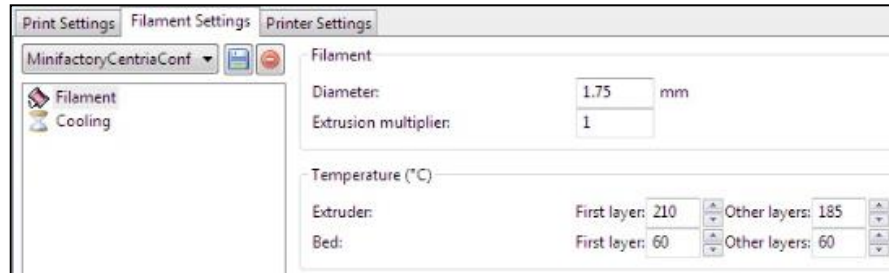


3.6 *Infill*-välilehdellä voit määrittellä kappaleelle täyden tiheyden prosentteina (*infill density*), täyttökuvion (*Fill pattern*) ja alimman sekä päällimmäisen kerroksen täyttökuvion (*Top/bottom fill pattern*).

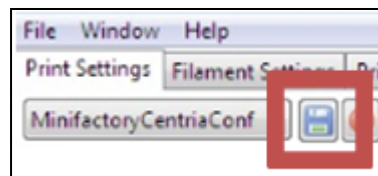
Voit myös määrittellä tulostettavaksi yhteinäisen kerroksen aina halutun kerrosmäärän jälkeen (*Solid infill every*). Tällä voi tarvittaessa vahvistaa kappaleen jäykkyyttä.



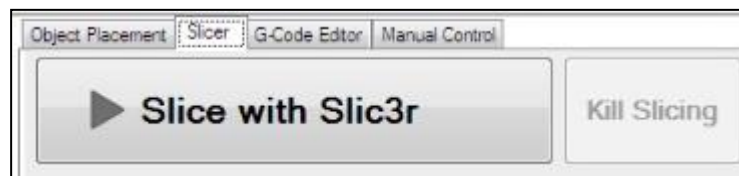
3.7 *Filament Settings*-välilehdellä tarkista että *Diameter*-kohdassa on tulostusnauhan paksuus millimetreinä merkitty oikein. Oletuspaksuus on 1,75 millimetriä, mikä käy ainakin PLA-muoville (punainen nauha). Voit säätää suuttimen ja tulostusalustan lämpötilaa *Temperature (°C)*-kohdasta. Molempien lämpötilan voi säätää ensimmäisen ja sitä seuraavien kerrosten aikana.



3.8 Jos muutat asetuksia, muista tallentaa muutokset levyke-ikonista.



3.9 Paina *Slice with Slic3r*-näppäintä, ja ohjelma muuntaa 3D-mallin tulostimen ymmärtämään muotoon.



Lopetettuaan työskentelyn ohjelma esittää valmiin koodin *G-code Editor*-välilehdellä, ja muita tietoja tulostuksesta kuten käytettävän tulostusmateriaalin määrän millimetreinä.

4. Tulostaminen

4.1 Kun asetukset on tarkistettu ja G-koodi ajettu, voit aloittaa tulostamisen ylärivillä sijaitsevasta *Run Job*-näppäimestä.



4.2 Tulostin sammuttaa tuulettimen ja ajaa suuttimen reunaan. Suuttimen ja alustan lämmitettyä haluttuun lämpötilaan alkaa tulostus. Lämpenemisen aikana suuttimesta voi valua sulaa muovia, jonka voi pyyhkäistä pois esim. paperilla. Varo kuumaa suutinta.

4.3 Tulostamisen valmistuttua tuuletin sammuu, ja sen voi aktivoida jälleen *Manual control*-välilehdeltä.

4.4 Anna alustan viilentyä kunnolla, ennenkuin koetat irroittaa kappaletta. Lämmin kappale saattaa vääntyä, jos yrität irroittaa sitä liian aikaisin.

5. Ongelmatilanteita

Ohjelma ei vastaa tai toimii hitaasti:

Käytä USB-liitin irti tietokoneesta ja liitä uudelleen, uudelleenkäynnistä RepetierHost-ohjelma, uudelleenkäynnistä tietokone. Pyri olemaan käyttämättä muita ohjelmia tulostuksen aikana.

Tulostusalusta ei löydä kotiasentoa:

Tarkista ovatko tulostusalustan raja-anturit vääntyneet. Väännä anturi oikeaan asentoon varovasti.

Kappale ei tartu tulostusalustaan:

Tulostusalusta ei ole tarpeeksi lämmin. Tarkista ja korjaa tulostusprofiilin asetuksista alustan lämpötila.

Lasipinta voi olla likainen. Puhdista kostealla pyyhkeellä ja kuivaa alusta.

Tulostuksen aika ylimääräinen tulostusmateriaali sotkee alustaa:

Pyyhkäise ylimääräinen materiaali varovasti esim. paperilla. Varo kuumaa suutinta. Jos muovi valuu koko tulostuksen ajan, kokeile suuttimen lämpötilan laskemista.

Slic3r-ohjelma ei saa luotua 3D-mallista G-koodia:

Mallin voi tulostaa sulkemalla virheilmoitukset, mutta siinä voi olla muutoksia. Voit tarkistaa ne tutkimalla *Slicer*-välilehdellä olevasta 3D mallista.

Rikkinäisen mallin voi korjata <https://netfabb.azurewebsites.net/> löytyvästä palvelusta. Palvelu vaatii tunnukset, ja hyväksyy vain .stl-tiedostoja.

Haet tiedoston, lisäät sähköpostiosoitteen mihin haluat korjatun tiedoston lähetettävän, ja valitset halutun yksikön (millimetri vai tuuma).

Hyväksy käyttöehdot ja paina *Upload to Cloud*-näppäintä.

Muihin ongelmatilanteisiin voit etsiä vastausta Minifactoryn keskustelusivulta: www.minifactory.fi/forum/

User manual for MiniFactory 3D-printer

Make sure that the printer is plugged in to the computer with USB-connector, and the power cord is connected to power socket.

If the program is working slowly, or it doesn't interact with the printer, try reconnecting the USB-connector, restarting the RepetierHost-program or restarting the computer.

Make sure no sensors are bent.

Don't use other programs while printing on a slow computer. The printing program might slow down, and the print could fail.

Keep the print bed is clean. You can wipe the bed clean with moist paper towel, and dry it with dry one.

In needed, you can stop the printing with the Emergency stop-button, which is located in the top right corner of the software. When pressed the button, the printers fan will stop also. If the printing nozzle is hot, activate fan from the Manual control-tab by activating the fan-button.

1. Setting up and changing the printing material

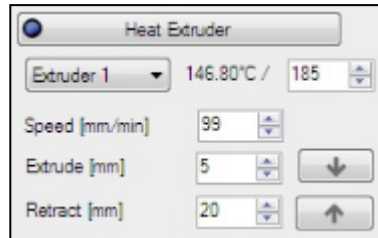
1.1 Choose MiniFactory-profile, and input the password. Default password is Mini2013

1.2 Open the RepetierHost-program

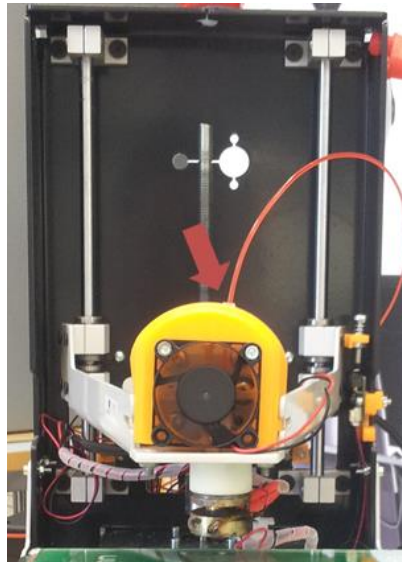
1.3 Press the *Connect*-button from the top left corner. You can see from the *Manual* control-tab if connection is OK. It should say Connected! or Idle.



- 1.4 If the printer doesn't have any printing material, or you want to change it, activate *Heat extruder*-, and *Fan*-buttons. Set the Fan sliding bar to 100%. Let the nozzle heat up to 150 °C before trying to set or change the material. When nozzle has heated up, try removing by inputting 20 into the *Retract*-field and pressing the upward pointing arrow-button. You can help the retracting by pulling the thread. If the thread doesn't come off, wait the nozzle to heat up to 200°C and try again.



- 1.5 Insert new thread into the hole on top of the nozzle. Make sure the thread goes between the two guiding sprockets, which are located behind the fan.



- 1.6 Insert 5 in to the *Extrude*-field press the downward pointing arrow-button to drive the thread through the nozzle. Press until molten material is starting to come from the nozzle. You can remove excess material with a paper. Watch out the hot nozzle.

2. Calibrating the printer's X-,Y-, and Z-axis


2.1 Drive the printing bed in to home position from the *Manual control*-tab by pressing



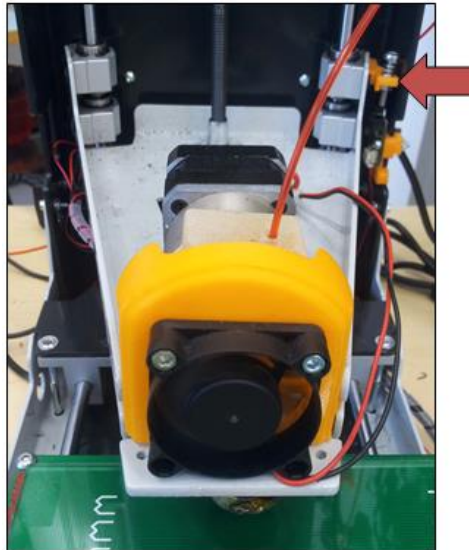
and



-buttons. The bed drives, until sensors launch. Write in to the G-Code-field `G1 X80 Y70 F3000` and press *Send*. The bed should drive itself to center.

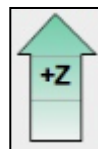
2.2 Drive the nozzle in to home position by pressing -button. The nozzle should stop just before touching the printing bed. You can try for the correct height by moving a piece of a paper under the nozzle. If the paper moves without trouble, height should be fine.

You can adjust the height from a screw which is located in the right side of the printer.



2.3 If the nozzle is too high, drive it upward with the +Z-button, which is located in *Manual control*-tab. Screw the screw for $\frac{3}{4}$ revolutions clockwise, and check the height again by driving the nozzle into home position.

If the nozzle is too low, raise it, screw for $\frac{3}{4}$ revolutions counterclockwise, and check the height. Repeat until right height.



3. Rendering 3D-model into G-code and printing profiles

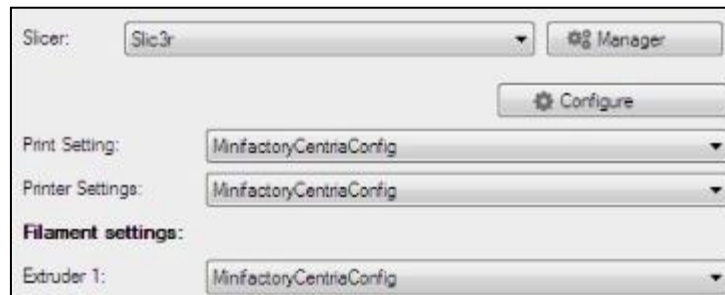
3.1 Add the printable file in *Object placement*-tab with the *Add object*-button. File extension may be *.stl*-, or *.ctl*. The program can use both extensions.



3.2 You can interact with the model, and modify *scale* and *rotation*.

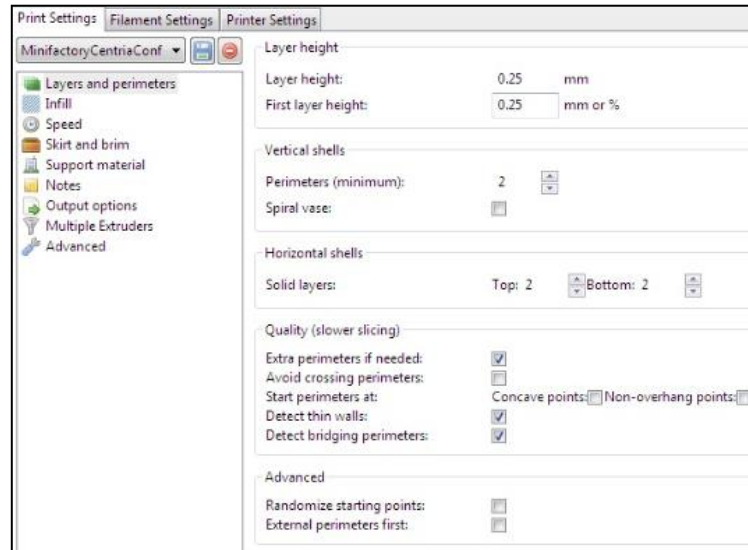


3.3 Make sure from the *Slicer*-tab that settings are like in the picture below. (*Extruder 2*- and *Extruder 3*- choices are not allowed to change, because the printer has only one nozzle).

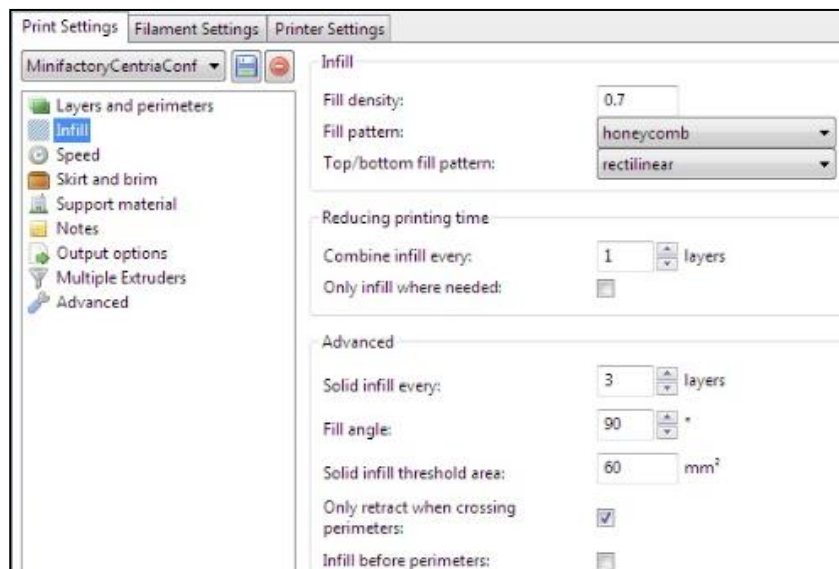


3.4 Check the print profile-settings by pressing the *Configure*-button. If the window doesn't open, make sure you don't have nozzle and printing bed heating on from *Manual control*-tab.

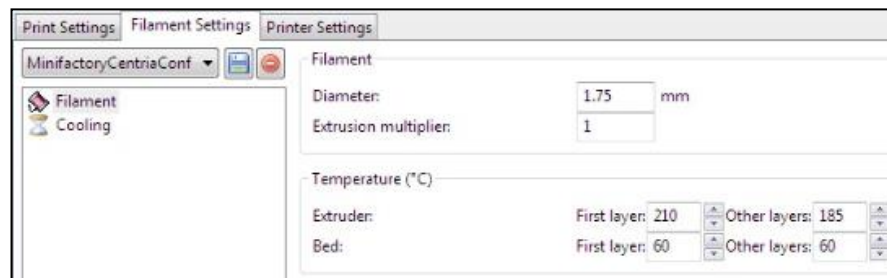
3.5 Mostly used settings from *Layers and perimeters*-tab are *First layer height*, and *Layer height*. Both are presented in millimeters.



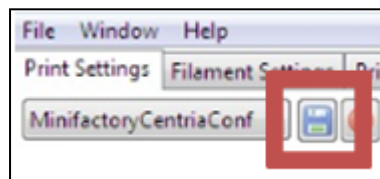
3.6 *Infill*-tab's most used settings are *Infill density* in percent, *Fill pattern* and *Top/bottom fill pattern*. You can try different patterns, if the default pattern doesn't suit the printing. *Solid infill every*-setting makes the printed object sturdier. It prints one solid layer with the *fill pattern* after preset number of layers.



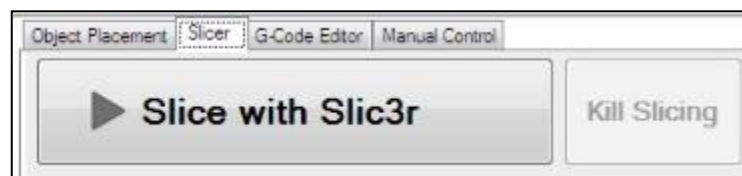
- 3.7 Make sure that in the Filament-tab the Diameter-field has 1,75. This is default width for the PLA-plastic (red thread).
You can change nozzle and printing bed temperature for the first and the rest of layers.



- 3.8 If you change any settings, remember to save.



- 3.9 Press the *Slice with Slic3r*-button, and the program will make the G-code from the object.



The program will show the code in *G-code Editor*-tab and various stats about the printing for example how much printing material will be used in millimeters.

4. Printing

- 4.1 When the settings have been checked, and G-code made, you can start the printing process by pressing the *Run job*-button that is located on the top right.



- 4.2 The printer fan will shut off, and the nozzle will drive to the edge of the print bed. When the nozzle and print bed are as hot as previously set, the printing will commence. While heating up, there may be some melted plastic dripping. You can swipe it off with a piece of a paper. Watch out for the hot nozzle.
- 4.3 When the printing has finished, fan will stop again. Activate it again from the *Manual control*-tab.
- 4.4 Let the printing bed cool off properly, before attempting to remove the printed object. The still warm object could bend, if you try to remove it too soon.

5. Troubleshooting

The program doesn't respond or is slow:

Remove USB-connection, and plug it in again, restart RepetierHost-program, restart computer. Try not to use other programs while printing.

Printing bed cannot find home position:

Check the sensors for bending. If found, bend them carefully back to normal position.

The object doesn't stick to the printing bed:

The printing bed isn't hot enough. Check and correct the temperature from printing profile.

The glass surface could be dirty. Cleanse it with moist paper towel and dry it off.

Excess printing material is messing the printing.

You can try to wipe off the excess material with a piece of a paper. Watch out the hot nozzle. If the plastic continues to pour, try to decrease nozzle temperature.

Slic3r-program can't create G-code from the 3D model:

You can print the model by closing the error messages, but there might be some alterations in the model. You can check them from the 3D model in the *Slicer*-tab.

You can try to fix the broken model by uploading it to <https://netfabb.azurewebsites.net/>

The service requires an account, and can only take .stl-files.

While in the service, find the file, add an email address you'd like the fixed file to be sent, and choose the correct measure unit (millimeter or inches).

Approve the terms of use (käyttöehdot) and press *Upload to Cloud*-button.

For other problems you can search the Minifactory forum: www.minifactory.fi/forum/