

3D-tulostusohjelmien vertailu

Matias Kivimäki

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Marraskuu 2019	Tekijä/tekijät Matias Kivimäki
Koulutusohjelma Tietotekniikka		
Työn nimi 3D-tulostusohjelmien vertailu		
Työn ohjaaja Sakari Männistö		Sivumäärä 30 + 23
Työelämäohjaaja Tero Köyhäjoki		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, kuinka 3D-tulostusohjelma vaikuttaa tulostukseen, sekä arvioida kyseisen ohjelman tuottamien tulosteiden laatua. Työn tarkoituksena on antaa lukijalle laaja yleiskäsitys 3D-tulostamisesta, sekä siitä, millaista on työskennellä 3D-tulostimen kanssa.</p> <p>Työn aineistona käytetään internetistä löytyvää materiaalia muun muassa artikkeleista, blogeista sekä foorumeilta löytyvistä tiedosta. Opinnäytetyössä esitetään 3D-tulostimen käyttöä ja eri asetusten vaikutusta ja arvioidaan eri tulostusohjelmien vaikutusta. Arvioinnin jälkeen tulosteita vertaillaan toisiinsa.</p>		

Asiasanat

3D-tulostus, Slicer-sovellus, 3D-tulostusohjelma

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date November 2019	Author Matias Kivimäki
Degree programme Information Technology		
Name of thesis Comparison of the Slicer programs		
Instructor Tero Köyhäjoki		Pages 30 + 23
Supervisor Sakari Männistö		
<p>The aim of this thesis was to find out how different slicer programs affect the outcome of a 3D printed object. The thesis was done by evaluating the quality of the printers produced output. The aim of this thesis was to give basic understanding about 3D printing and to give a mental image what is it like to work with a 3D printer and the Slicer software.</p> <p>Most of the material used in this thesis was found from the Internet. The used material consisted of blog posts, researches, articles and forums. In this thesis usage of 3D printing software was shown and the effects of different settings inside the program. The produced prints were evaluated and also the user interface of the programs was shown and evaluated. The software were compared against each other and the positives and negatives were written down.</p>		
Key words 3D Printing, Slicer Program		

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 3D-tulostaminen.....	3
2.1 3D-tulostuksen historiaa 1980-luvulta 1990-luvulle.....	3
2.2 3D-tulostus 2000-luvulta nykyhetkeen.....	4
2.3 3D-tulostusohjelma.....	6
2.3.1 Yleiset asetukset.....	7
2.3.2 Tulosteen tukirakenteet.....	8
2.3.3 Täyttöasetukset.....	8
2.3.4 Nopeusasetukset.....	9
2.4 Tulostaminen ja eri tulostustekniikat.....	10
2.4.1 FDM Fused deposition modeling.....	10
2.4.2 Stereolitografia (SLA).....	11
2.4.3 Digital light processing (DLP).....	12
2.4.4 DP-tekniikka Drop-on powder deposition.....	13
2.4.5 Electron Beam Melting (EBM).....	14
2.4.6 Multi-Jet Modeling (MJM).....	15
2.4.7 Laminated object manufacturing.....	15
2.5 Tulostuksessa käytössä olevat materiaalit.....	16
2.5.1 Käytössäni oleva 3D-tulostin.....	17
2.6 FDM-tulostimet.....	18
3 Vertailussa olevat slicer-ohjelmat.....	19
3.1 Slic3r.....	19
3.2 Cura.....	21
3.3 Simplify 3D.....	23
3.4 CraftWare.....	25
3.5 ideaMaker.....	26
4 Testitulosteet.....	27
5 Yhteenveto.....	28
LÄHTEET.....	30

LIIKTEET.....

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AM Additive Manufacturing, materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä

RP Rapid Prototyping, pikavalmistus

FDM Fused Deposition Modeling, termoplastinen muovi valmistus

CNC Computer Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus

DMD deformable mirror device, muotoutuva peili

SLS Selective Laser Sintering, valikoiva lasersintraus

SLA Stereolithography, stereolitografia

3D Kolmiulotteinen

STL Stereolithography. Pikamallinnuksessa käytetty tiedostomuoto

Filamentti Yleisnimitys 3D-tulostamiseen käytettävälle materiaalille

DLP Digital light processing, digitaalinen valonmallennus

EBM Electron Beam Melting, elektronisuihku menetelmä

MJM Multi-Jet Modeling, polyjet

Heatbed Tulostusalusta

JOHDANTO

3D-tulostus on pitkään kiinnostanut minua, ja olen aktiivisesti harrastanut 3D-tulostimen käyttöä siitä lähtien, kun olen oman tulostimen rakentanut. 3D-tulostus on pitkään ollut kasvussa, sillä se on myös helposti kuluttajan hyödynnettävissä. Sitä on esillä myös teollisuudessa, sillä 3D-tulostetut vaihtokappaleet ja muut teollisuuden tarvitsemat osat ovat lisääntyneet. Olen valinnut opinnäytetyön aiheen oman kiinnostukseni 3D-tulostukseen pohjalta. Tavoitteena on selvittää, kuinka eri tulostusohjelmat vaikuttavat 3D-tulostuksen laatuun ja millaisia eri ominaisuuksia ja eroavaisuuksia niistä voi löytää.

Opinnäytetyössä esitellään testaamieni 3D-tulostusohjelmien vahvuuksia ja heikkouksia, kuten latausaikoja, hintaa, muistikäyttöä sekä monipuolisuutta. Sovelluksia on runsaasti, ja monessa on hyviä ja huonojakin puolia, ja haluan kertoa kuluttajalle tai vasta-alkajalle, mihin olisi hyvä sijoittaa tai mistä ohjelmasta olisi hyvä aloittaa. Työn tarkoituksena on antaa lukijalle yleiskäsitys 3D-tulostamisesta sekä antaa tietoa siitä, millaista on työskennellä 3D-tulostimen kanssa. Työn aineistona käytetään internetistä löytyvää materiaalia muun muassa artikkeleista, blogeista sekä foorumeilta löytyvistä tiedoista. Tavoitteena on hankkia ohjelmat ja vertailla tarjontaa ja eroavuuksia sekä pitää silmällä hinta-laatu-suhdetta. Tässä työssä ei vertailla eri 3D-tulostimien vaikutusta tulosteiden laatuun, vaan käytössä on erillaisia 3D-tulostusohjelmia. Testitulosteissa käytössäni on myös vain PLA-muovi filamenttia eli kaikki tulosteet tuotetaan samalla materiaalilla.

1. 3D-tulostaminen

3D-tulostimet voidaan luokitella CNC-laitteiksi, sillä ne hyödyntävät numeeristen työstökoneiden tapaan G-kieltä toiminnassaan, sillä ne ovat tietokoneohjattuja laitteita. Tapaa, jolla 3D-tulostimet valmistavat kappaleet, kutsutaan materiaalia lisääväksi valmistukseksi. Toisin kuin perinteiset CNC-laitteet, jotka poraamalla tai leikkaamalla luovat kappaleita yhdestä palasta, 3D-tulostimet lisäävät materiaalia kerros kerrallaan valmistaen kappaleen.

Verrattuna muihin CNC-laitteisiin 3D-tulostimet valmistavat kappaleita hitaasti. Usein ne käyttävät tunteja valmistaakseen kappaleita, jotka ruiskuvalukone voisi valmistaa minuuteissa. Erilaisilla 3D-tulostimilla on omat heikkoudet ja vahvuudet, mutta yleisesti niiden valmistamat kappaleet ovat verrattain heikkoja.

3D-tulostus on kuitenkin helppo ja halpa keino valmistaa yksittäisiä kappaleita. Se mahdollistaa nopeiden prototyyppien tekemisen. 3D-tulostimet voivat valmistaa monimutkaisiakin muotoja. (3DHubs 2019.)

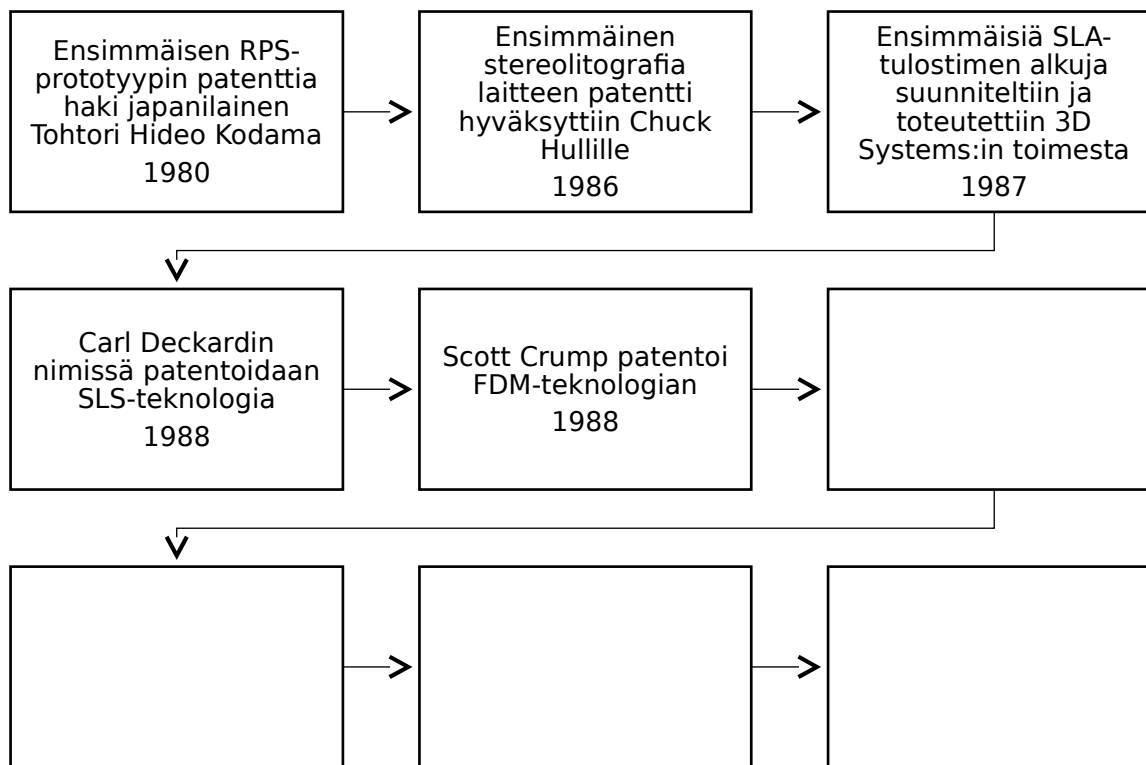
1.1 3D-tulostuksen historiaa 1980-luvulta 1990-luvulle

Ensimmäiset viitteet 3D-tulostusteknologian syntyisestä olivat havaittavissa 1980-luvun loppupuolella. Sen ajan teknologiasta käytettiin nimitystä Rapid Prototyping (RP). Japanilainen tohtori Kodama haki ensimmäistä patenttia keksimäänsä RP-teknologiaan. Kodama ei saanut kuitenkaan hakemaansa patenttia läpi. Ensimmäinen stereolitografia-teknologiaa (SLA) käyttävä RP-laite keksittiin vuonna 1983. (Sculpteo 2017.)

Keksijä Charles Hull patentoi kehittämänsä laitteen ja sen käyttämän teknologian vuonna 1986. Hull on yksi 3D Systems Corporationin perustajista. 3D Systems on nyt yksi nykypäivän suurimmista 3D-tulostinyrityksistä. (Sculpteo 2017.)

Ensimmäinen kaupallinen RP-laite SLA-1 esiteltiin vuonna 1987 ja ensimmäinen laite myytiin vuonna 1988. Laitteen kehittäjä ja myyjä oli 3D Systems. Vuonna 1988 Carl Deckard kehitti toisenlaista RP-teknologiaa. Samana vuonna Deckard haki patenttia Selective Laser Sintering-teknologialle (SLS). Patentti hyväksyttiin vuonna 1989 ja se lisensoitiin DTM Inc yritykselle. Vuosi 1989 oli merkittävä läpimurto nykyisille kuluttajille suunnatuille 3D-tulostimille, sillä Scott Crump haki patenttia Fused Deposition Modeling-teknologialle (FDM). Patentti alkuperäiseen teknologiaan on edelleen Scott Crumpin perustaman Stratasys Incin hallussa, mutta sitä käyttävät monet kuluttajille tarkoitetut 3D-

tulostimet. Uusia teknologioita esiteltiin 1990-luvun aikana aina 2000-luvun alkupuolelle, mutta suurin osa oli kuitenkin suunnattu vain teollisuuden käyttöön. (Sculpteo 2017.)



Kuvio 1. 3D-tulostuksen historiaa vuosilta 1980–1999 (mukaillen Sculpteo 2017.)

1.2 3D-tulostus 2000-luvulta nykyhetkeen

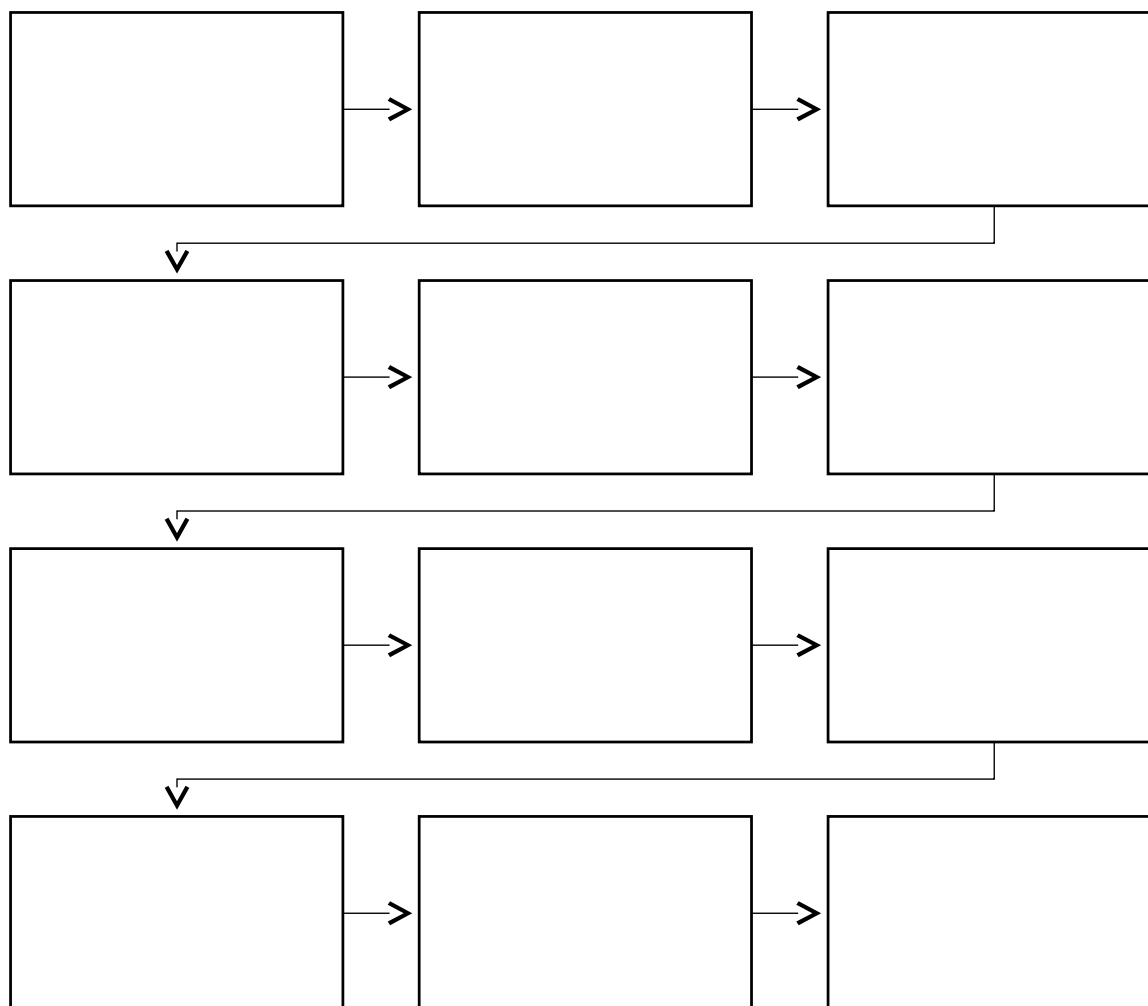
2000-luvun alussa perustettiin lisää onnistuneita yrityksiä, ja vuonna 2000 MCP Technologies esitteli ensimmäisen SLM-teknologiaa käyttävän 3D-printterin. Kaikki vuosituhaten vaihtuessa perustetut yritykset edesauttoivat länsimaisten yritysten menestystä maailmanlaajuisilla markkinoilla. Siihen aikaan kaikkia 3D-tulostusprosesseja yhdistäväksi termiksi hyväksyttiin Additive Manufacturing (AM) eli materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä. (Goldberg, D. Autodesk 2018)

Puolivälissä 2000-lukua 3D-tulostusala alkoi näyttää merkkejä suuntautumisesta kahdelle eri alueelle. Sama suuntautuminen on nykyään näkyvissä hyvin selkeästi. Ensimmäinen suunta oli edelleen kohti korkean tason 3D-tulostusta, jonka tarkoitus on tuottaa pitkälle suunniteltuja, korkealaatuisia ja monimutkaisia osia. Se oli ollut tavoitteena jo pitkään, mutta tulokset alkoivat näkyä

eri aloilla vasta nyt. Monet alat, kuten autoteollisuus, ilmailuteollisuus ja lääketiede, alkoivat hyötyä vuosien kehitys- ja tutkimustyöstä. Suuri osa näihin tarkoituksiin kehitetyistä teknologioista on edelleen salassapitosopimusten takana.

Toinen suunta oli tehdä 3D-tulostimia kehittämistä ja prototyyppien valmistusta varten. Ne on suunniteltu kustannustehokkaiksi, helppokäyttöisiksi ja sopivan kokoisiksi toimistoympäristöön. Nämä laitteet olivat nykyisten kotikäyttöön suunnattujen 3D-tulostimien edeltäjiä, mutta kuitenkin tarkoitettu teollisuuden aloille. (Goldberg, D. Autodesk 2018.) Sen ajan halvemmat mallit olivat todella kilpailullisia toistensa kanssa ja syntyi hintasota, joka toi mukanaan parannuksia tulostuksen nopeuteen ja laatuun. Myös useita uusia materiaaleja ilmestyi saataville. 3D Systems toi markkinoille ensimmäisen alle 10 000 dollarin 3D-tulostimen vuonna 2007, mutta se ei saavuttanut odotettua myyntiä. Tuolloin 5 000 dollarin hintaa pidettiin kuluttajalle sopivana rajana. (Goldberg, D. Autodesk 2018.) Vuosi 2007 olikin läpimurto yleiskäyttöön tarkoitetuille 3D-tulostimille, sillä tohtori Bowyerin vuonna 2004 esittelemä avoimen lähdekoodin ja itseään ”monistavan” tulostimen kehitystyö alkoi tuottaa tulosta ja RepRap-ilmio alkoi kerätä runsaasti huomiota. Ensimmäinen RepRap-konseptiin perustuva 3D-tulostin tuli markkinoille tammikuussa 2009. Se kantoi nimeä BfB RapMan 3D-tulostin, ja se oli saatavilla rakennussarjana. Saman vuoden huhtikuussa Makerbot Industries julkaisi oman 3D-tulostimensa. Vuodesta 2009 asti uusia RepRap-konseptiin perustuvia 3D-tulostimia on ilmestynyt markkinoille tuoden mukanaan merkittäviä ominaisuuksia. (Sculpteo 2017.)

Vuosi 2012 toi harrastajatason markkinoille vaihtoehtoja 3D-tulostusprosessiin. DLP-teknologiaa käyttävä B9Creator tuli markkinoille heinäkuussa ja stereolitografiaa hyödyntävä Form 1 lokakuussa. Kumpikin laite julkaistiin Kickstarter-joukkorahoituspalvelustalla, ja ne olivatkin kuluttajien suuressa suosiossa. Vuonna 2012 monet suuret mediat huomioivat 3D-tulostuksen. Vuonna 2013 alalla tapahtui suurta kasvua ja suuria edistyksiä. Yksi suurimmista tapahtumista oli Makerbotin myyminen Stratasykselle. (Goldberg, D. Autodesk 2018.)

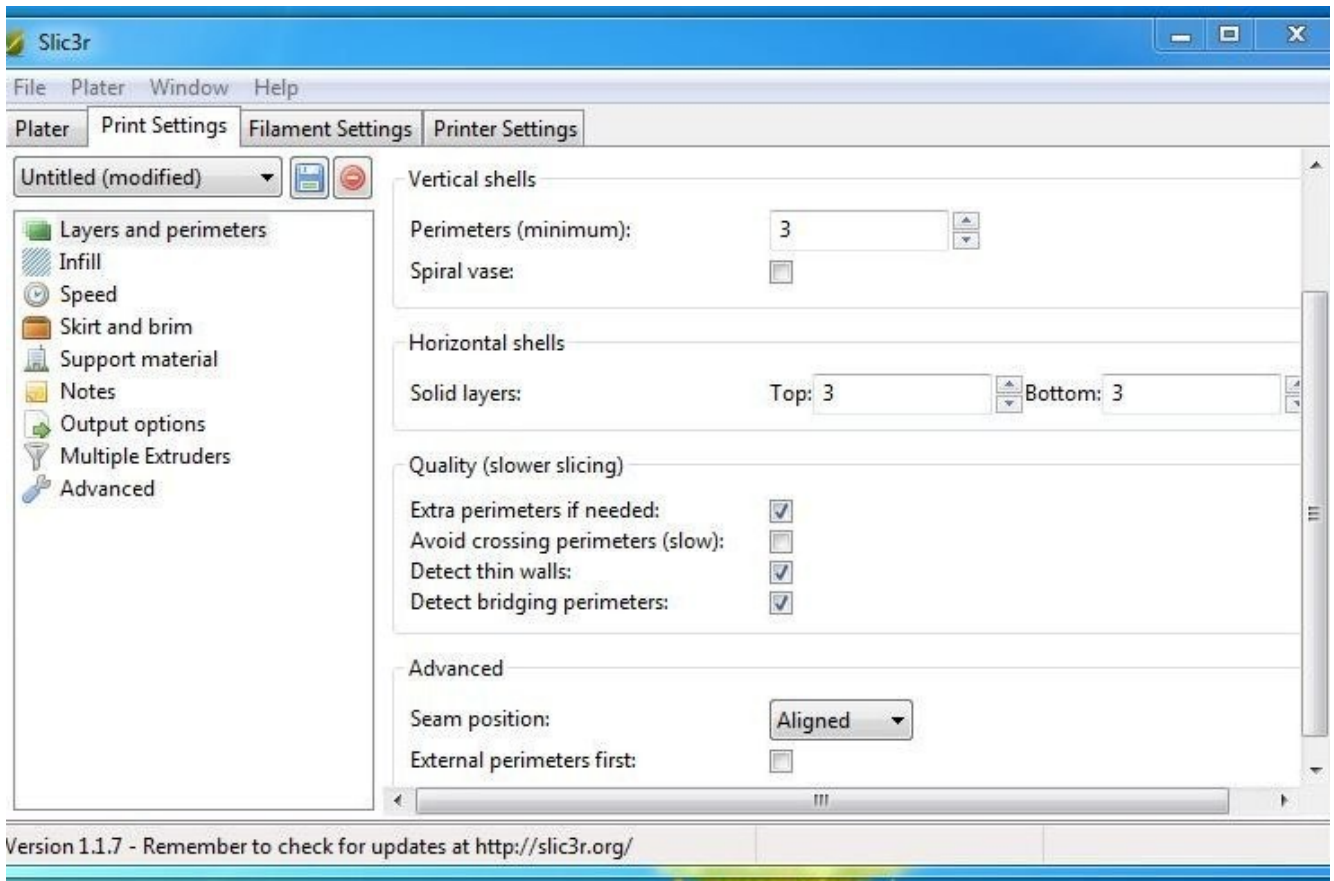


Kuvio 2. 3D-tulostuksen historiaa 2000-luvulta nykyhetkeen (mukaillen Sculpteo 2017.)

1.3 Slicer 3D-tulostusohjelma

Slicer on 3D-tulostusohjelmisto, joka muuttaa digitaalisen 3D-mallin tulostusohjeiksi, joita 3D-tulostin ymmärtää. Käyttäjän valitsemien asetusten perusteella Slicer leikkaa 3D-mallin vaakasuoriksi kerroksiksi. Kaikki tulostimen tarvitsemat tiedot pakataan Gcode-tiedostoksi, jonka Slicer-ohjelmisto lähettää tulostimelle. On tärkeää tietää, miten jokainen asetusta vaikuttaa tulosteeseen, sillä jokaisella asetuksella on suuri vaikutus tulosteen lopulliseen laatuun ja siihen, pystyykö tulostin valmistamaan tulosteen ollenkaan.

Alla olevassa kuvassa on Slic3r -nimisen ohjelman asetusvalikko (Kuvio 3). Tästä valikosta löytyvät kaikki perusasetukset, joilla on eniten vaikutusta tulosteiden laatuun. Lisäksi kokenut käyttäjä voi avata kokeneenkäyttäjän valikoiman, josta avautuu käyttäjälle vielä enemmän asetuksia, joilla voi tulostetta muokata. (Instructables 2016.)



Kuvio 1. Slic3r-ohjelman perusasetusvalikko

1.3.1 Yleiset asetukset

Yleisasetuksiin kuuluvat kiinteät kerrokset, kerroskorkeus ja ulkoreunat. Kerroskorkeus on kuin tulosteen resoluutio. Tämä asetus määrää kuinka korkea jokainen tulostettu kerron on. Yleisesti kerrosten korkeus vaihtelee 0,06:n ja 0,3 millimetrin välillä. Pienellä kerroskorkeudella tulostetuissa kappaleissa voi nähdä enemmän yksityiskohtia, niiden pinta on sileä ja erilliset kerrokset eivät ole helposti havaittavissa. Huono puoli tulostukseen pienellä kerroskorkeudella on ajallinen kesto. Mitä pienempi kerroskorkeus on sitä kauemmin tulostuksessa kestää, sillä kerroksia on enemmän. Pienet yksityiskohdat eivät näy tarkasti, kun tulostetaan suurella kerroskorkeudella, mutta ne tulostuvat nopeasti. Tulostukseen kuluva aika on lähes suoraan verrannollinen kerroksien paksuuteen. Kerroksien paksuuden kaksinkertaistuessaa aika ja kerroksien määrä puolittuvat pienemmiksi. Ulkoreunojen määrä vaikuttaa tulosteen kestävytyteen, se tarkoittaa kuinka monesti tulosteen ulkoreunaa kierretään kiinteällä materiaalilla ennen kuin kappaleen sisäosien tulostus aloitetaan. Normaalisti tulosteessa esiintyy ulkoisia kerroksia kahden ja viiden välillä. Kiinteillä kerroksilla tarkoitetaan kerroksien määrää tulosteen pohjassa ja yläpinnalla. (Instructables 2016.)

1.3.2 Tulosteen tukirakenteet

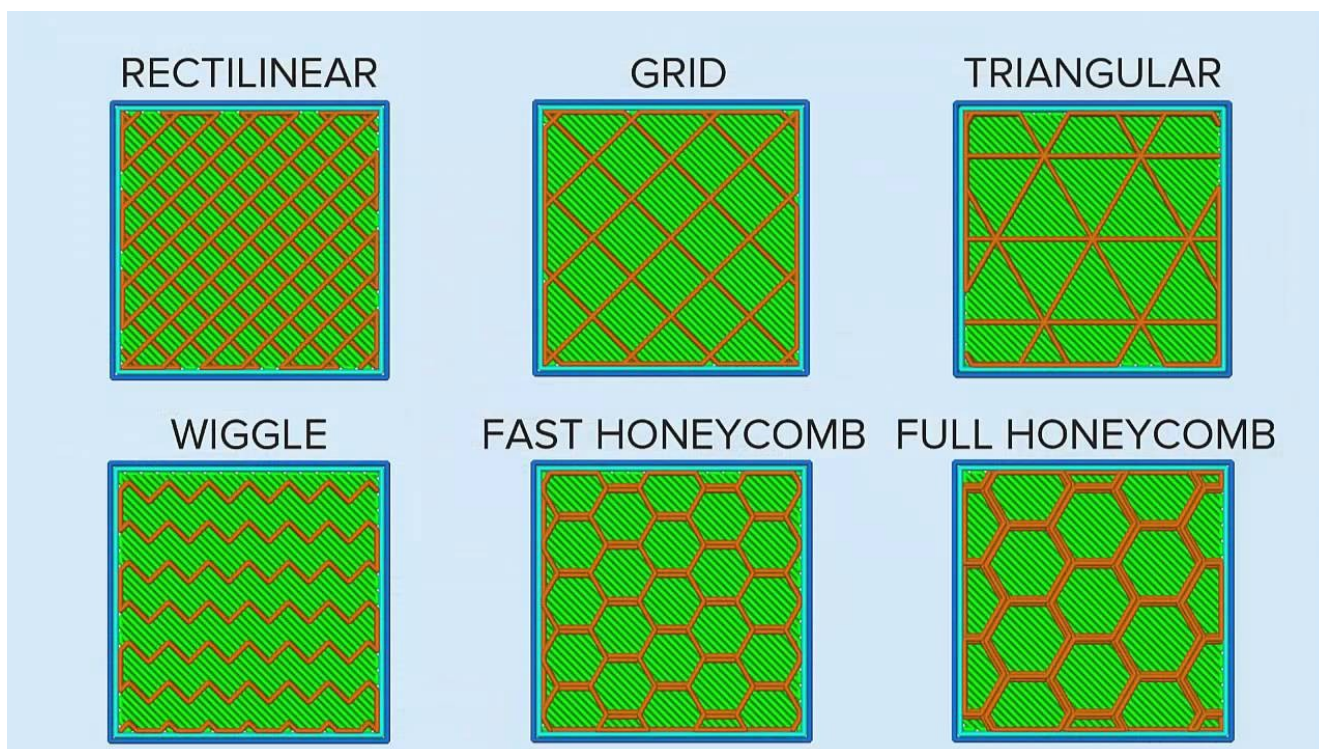
Usein tulosteissa ilmenee kohtia, joissa täytyy tulostaa vaikeaan kulmaan tai täysin vaakatasoon. Tulosteet luodaan kerros kerrokselta, ja täten yli 45 asteen kulmaan tulostettavat ovat hyvin hankalia, sillä niiden kohtien alle ei jää tarpeeksi materiaalia, jotta ne onnistuisivat ilman tukirakenteita. Pitkiä siltatukirakenteita on mahdollista valmistaa, mutta ne vaativat tulostimen ja asetusten tarkkaa säätämistä, jotta ne onnistuisivat.

Joe Larsonin YHT-sääntö antaa kuvan, millaisissa tilanteissa tukirakenteita tulee käyttää.

- ”Y”-muotoiset tulosteet voi tulostaa ilman tukirakenteita, koska niissä ei esiinny 45 asteen ylittäviä kulmia.
- ”H”-muotoisissa tulosteissa kahden pilarin väliin ilmaan tulostuvia kohtia kutsutaan silloiksi. Kaikki sillat hyötyvät tukirakenteista, mutta jos tulostusasetukset ovat kohdallaan, eivät lyhyet sillat tarvitse tukirakenteita.
- ”T”-muotoiset tulosteet tarvitsevat tukirakenteita, sillä vaakatasossa olevan kohdan toinen pää ei kiinnity mihinkään. (Instructables 2016.)

1.3.3 Täyttöasetukset

Täyttöasetus määrittelee, miten tulosteen sisäosa tulostetaan. Täyttöaste tarkoittaa sitä, kuinka paljon tulostettavan kappaleen sisäosasta täytetään kiinteällä materiaalilla, ja se ilmoitetaan slicer-ohjelmistossa prosentteina. Jos tulostettavan kappaleen täyttöaste on 100 prosenttia, on täten sen sisältö kokonaan kiinteä. Tulostettavasta kappaleesta tuleekin sitä kestävämpi ja raskaampi mitä korkeampi täyttöaste on, mutta tulostaminen kestää kauemmin ja materiaalia kuluu enemmän. 10–20 prosentin täyttöaste on tarpeeksi, jos tulosteen ei tarvitse kestää mekaanista rasitusta. Jos taas kappale joutuu kovaan rasitukseen, on 75–100 prosentin täyttöaste suositeltavampi. Täytekuviolla päätetään, millainen kappaleen sisustan täyte tulee olemaan (Kuva 2). Ruudukko on yleisin käytetty täyttökuvio. Muita vähemmän käytettyjä täyttökuvioita ovat esimerkiksi spiraali, hunajakkeno ja kolmio. (Instructables 2016.)



Kuvio 2. Erillaisia täyttöasetuksia kappaleelle 3D-tulostusohjelmassa

1.3.4 Nopeusasetukset

Tulostusnopeudella tarkoitetaan sitä, kuinka nopeasti tulostimen tulostuspää liikkuu tulostaessaan suunniteltua kappaletta. Monet eri tekijät vaikuttavat sopivan nopeuden löytämiseen, kuten esimerkiksi tulostusmateriaali, käytössä oleva kerroskorkeus ja käytössä oleva tulostin. Liian korkea tulostusnopeus takaa sotkuisen lopputuloksen. Normaalisti tulostusnopeus FDM-tulostimilla on 50 mm/s – 150 mm/s, mutta se vaihtelee tulostimesta riippuen.

Tulostukseen kuluva aika voi laskea asettamalla eri tulostettaville osille erilaiset tulostusnopeudet. Esimerkiksi tulosteen ulkolaidan nopeus olisi hyvä pitää hitaalla, jotta ulkopinta olisi mahdollisimman tasainen ja parantaisi näin kappaleen lujuutta ja ulkonäköä. Tulosteen täytemateriaali-kohdat eli sisäkohdat voi suorittaa korkeammalla nopeudella, sillä ne eivät tule näkymään valmiissa tulosteessa. Tulosteissa on myös tapana esiintyä kohtia, joissa tulostuspää joutuu liikkumaan uuteen kohtaan, eikä tämän aikana lisätä materiaalia. Näiden kohtien nopeuden voi nostattaa huomattavasti tulostusnopeutta korkeammaksi, sillä nämä kohdat eivät vaadi tarkkuutta. (Instructables 2016.)

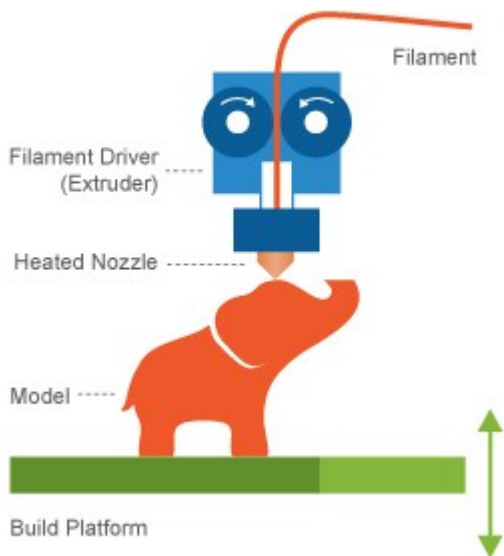
1.4 Tulostaminen ja eri tulostustekniikat

Kaikki 3D-tulostimet toimivat samalla periaatteella, mutta niissä esiintyy erilaisia teknologioita. Aivan kaikki tulostimet muokkaavat annetusta digitaalisesta mallista fyysisen objektin tulostamalla annetun objektin kerros kerrokselta. Suunniteltu kappale mallinnetaan ohjelmistolla STL-tiedostomuotoon ja tulostetaan tulostusohjelmalla. Pintakäsittely tulostusmenetelmä mahdollistaa tulostettavan kappaleen geometristen muotojen rajattomuuden. (All3DP 2019.)

1.4.1 FDM Fused deposition modeling

FDM eli Fused Deposition Modeling -tulostuksessa tulostimen kuumasta tulostuspäästä syötetään ulos muovilankaa, ja tulostuspää levittää sulaneen muovin tulostusalustalle eli heatbedille kerros kerrokselta. Levitetty muovi jäähtyy ja kovettuu myöhemmin paikoilleen. Kun edellinen kerros on jäähtynyt paikoilleen, aloitetaan uusi kerros, kunnes koko tuloste on valmis (Kuva 3). Suurimmissa osissa tulostimista tulostuspään yhteydessä tuuletin, joka puhaltaa suoraan tulostinpään alapuolelle nopeuttaen muovin jäähtymisaikaa ja täten kovettumista. Tukimateriaalia on myös tulosteissa, ja se on melkein aina samaa sulatettua muovia kuin itse tuloste. On olemassa myös erilaisia FDM-tulostimia, joissa on useampia tulostinpäitä, ja tukirakenteita voi esiintyä monilla eri materiaaleilla ja väreillä. Erilainen materiaali voi helpottaa hahmottamaan tukirakenteet, ja jos ne eivät kuulu lopulliseen tulosteeseen, on ne helpompi myös poistattaa. Lähes kaikki kuluttajille kotikäyttöön tarkoitetut tulostimet ovat FDM-tulostimia. (All3DP 2019.)

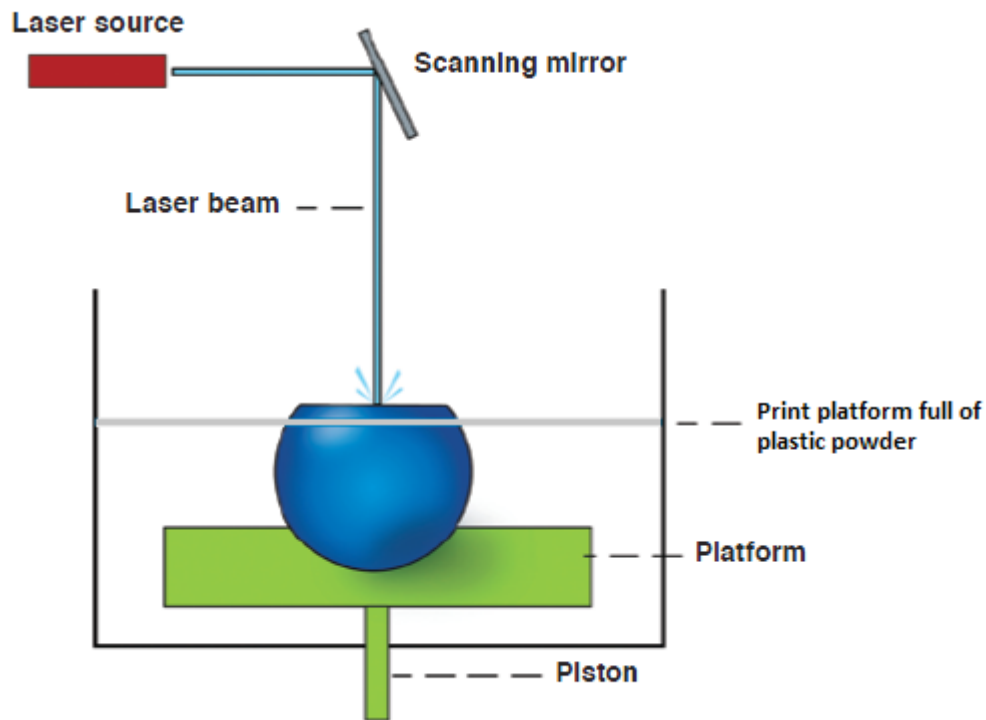
Fused Deposition Modeling (FDM)



Kuvio 3. FDM-tulostuksen periaate (PrintSpace3D 2019.)

1.4.2 Stereolitografia (SLA)

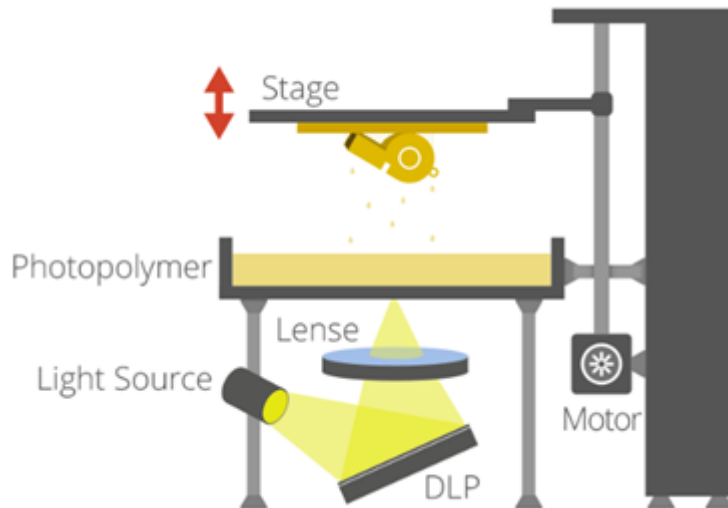
SLA eli stereolitografiatulostus perustuu nestemäisen hartsipohjaisen fotopolymeerin kovettumiseen UV-laservalon avulla. Ensimmäisen kerroksen tulostamisen aikana on koko tulostusalue hartsin pinnan alapuolella. Etäisyyttä pintaan määritetään tulosteen kerroksien paksuudella. XY-tasojen välillä kulkeva UV-laservalo piirtää ensimmäisen kerroksen hartsiin ja kovettaa sen tulostusalueen päälle (Kuva 4). Niissä pisteissä, joiden yli laser liikkuu, muuttuu nestemäinen hartsi kiinteäksi. Ensimmäisen kerroksen jälkeen koko tulostusalue siirtyy alaspäin ja laserpiirto tapahtuu uudelleen. Tämä sama toistuu, kunnes koko tuloste on valmis. Juuri valmistuneet osat nostetaan koneista ulos ja ylimääräiset hartsit liuotetaan pois. SLA-tulosteet ovat erittäin tunnettuja tarkkuudesta, sillä ei ole muuta tulostintekniikka, joka pystyisi yhtä tarkkaan työnjälkeen. Ainoana haittapuolena on, että tulosteiden jälkikäsittely on erittäin aikaa vievää eikä SLA-tulosteiden vahvuus ole yhtä pysyvä kuin muiden tulostetekniikoiden. Vuosien päästä monet tulosteet muuttuvat hauraiksi. Historiallisesti SLA-tekniikkaa käyttävä 3D-tulostin oli ensimmäinen teolliselle markkinoille saapunut tulostin vuonna 1988. (SolidFill 2019.)



Kuvio4. SLA-tulostuksen periaate (Mukaillen Researchgate 2017.)

1.4.3 Digital light processing (DLP)

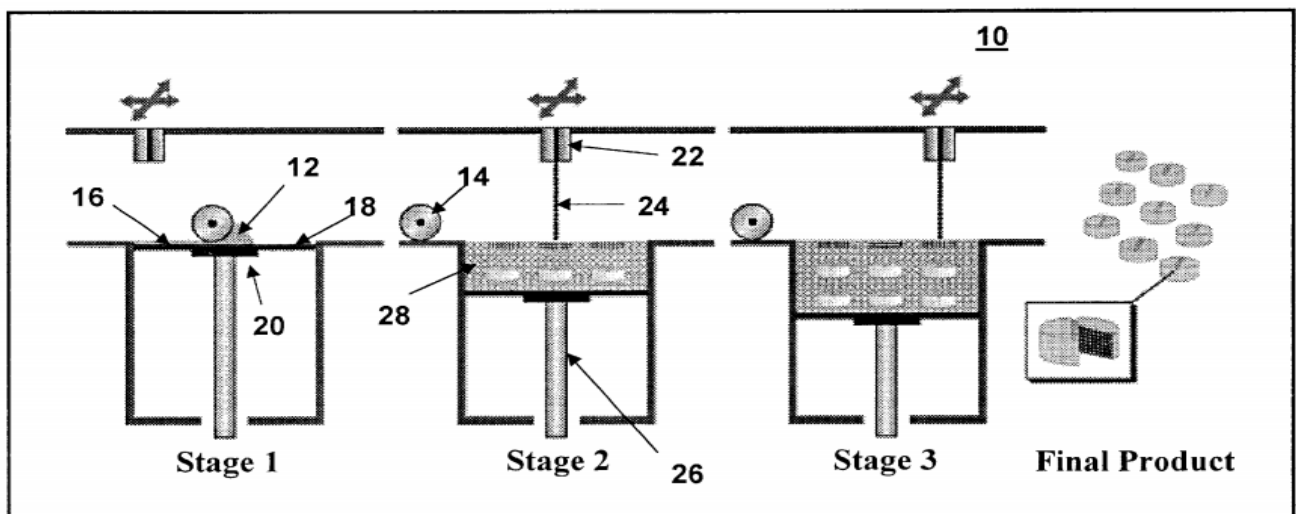
DLP 3D-tulostus on lähes samanlainen kuin SLA-tulostus. Ainoa ero näiden kahden tulostusmenetelmän välillä on eroavaisuus valonlähteessä, jolla kovetetaan nestemäinen tulostusmateriaali. DLP-tulostuksessa valonlähde on yleensä perinteisempi kuin SLA-tulostuksessa. DLP-tulostuksessa käytetään yleisesti kaarilamppua valonlähteena, kun taas SLA:ssa on UV-laser. DLP-tulostuksessa kaarilampun valo heijastetaan muotoutuvan peilin (DMD) kautta linssin läpi nestemäiseen hartsiiin (Kuva 5). (FormLabs 2017.)



Kuvio 5. DLP-tulostuksen periaate (Think3D 2019.)

1.4.4 DP-tekniikka Drop-on powder deposition

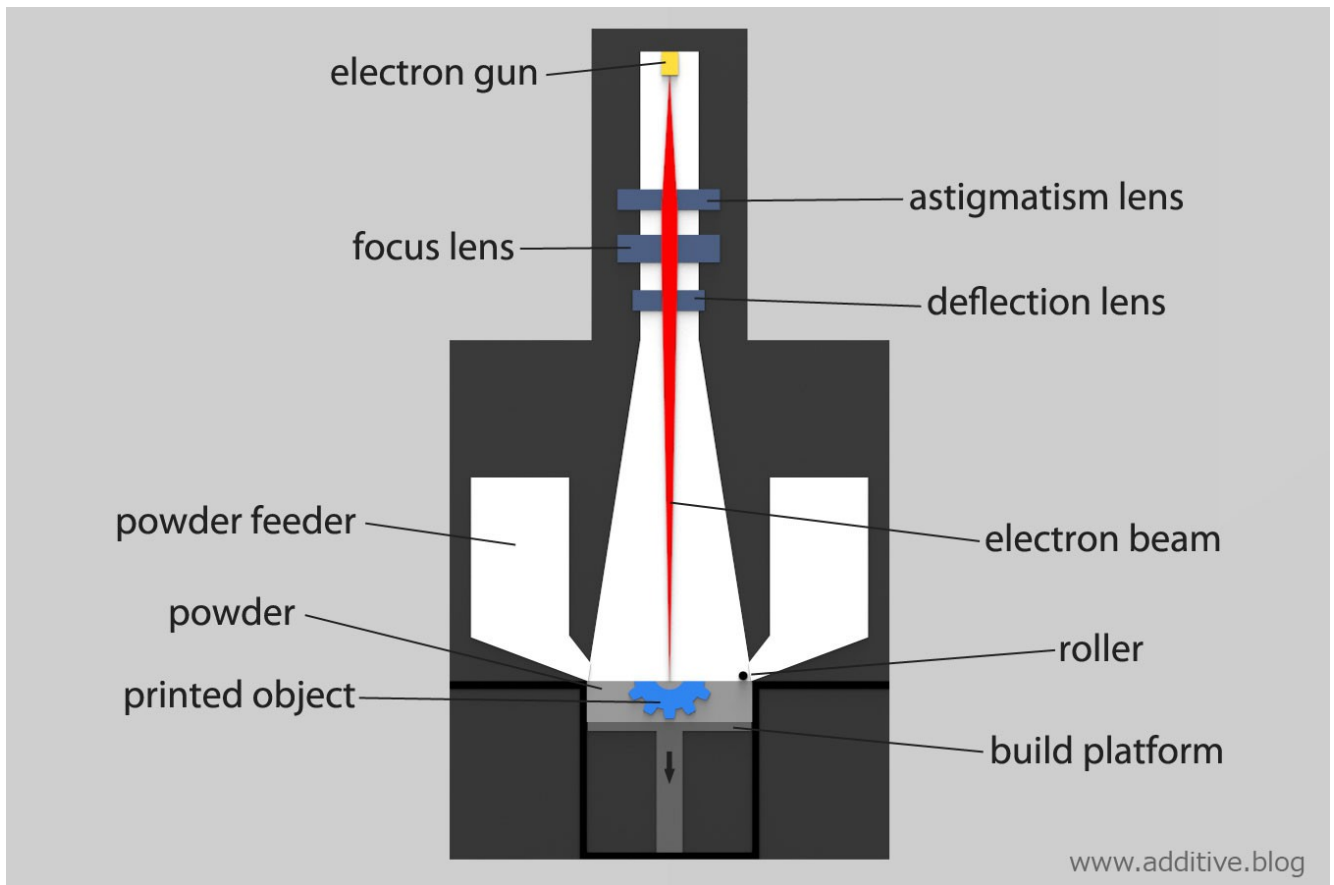
Drop-on powder -tekniikka muistuttaa toimintavallaan lasersintrausta (SLS), mutta laserin sijaan käytössä on mustesuihku-tulostuspää. Tulostinpää ruiskuttaa nestemäistä kovetetta, joka sitoo tulostusmateriaalina käytettävää jauhetta (Kuva 6). Jauhe voi olla keraamia tai metallia, ja ylimääräinen jauhe toimii tulostettavan kappaleen tukimateriaalina. Tämän takia erikoisten muotojen tulostaminen onnistuu helpommin tällä tekniikalla. Tukelementtejä ei tarvitse erikseen suunnitella, kun käyttää tätä tekniikkaa. Tämän tekniikan etuja ovat myös nopea tulostusnopeus sekä edullisuus. Näiden etujen takia tämä teknologia on yleensä käytössä prototyyppien valmistuksessa. (Fabbers 2000.)



Kuvio 6. DP-tulostuksen periaate (Dario, I. Drop on Powder)

1.4.5 Electron Beam Melting (EBM)

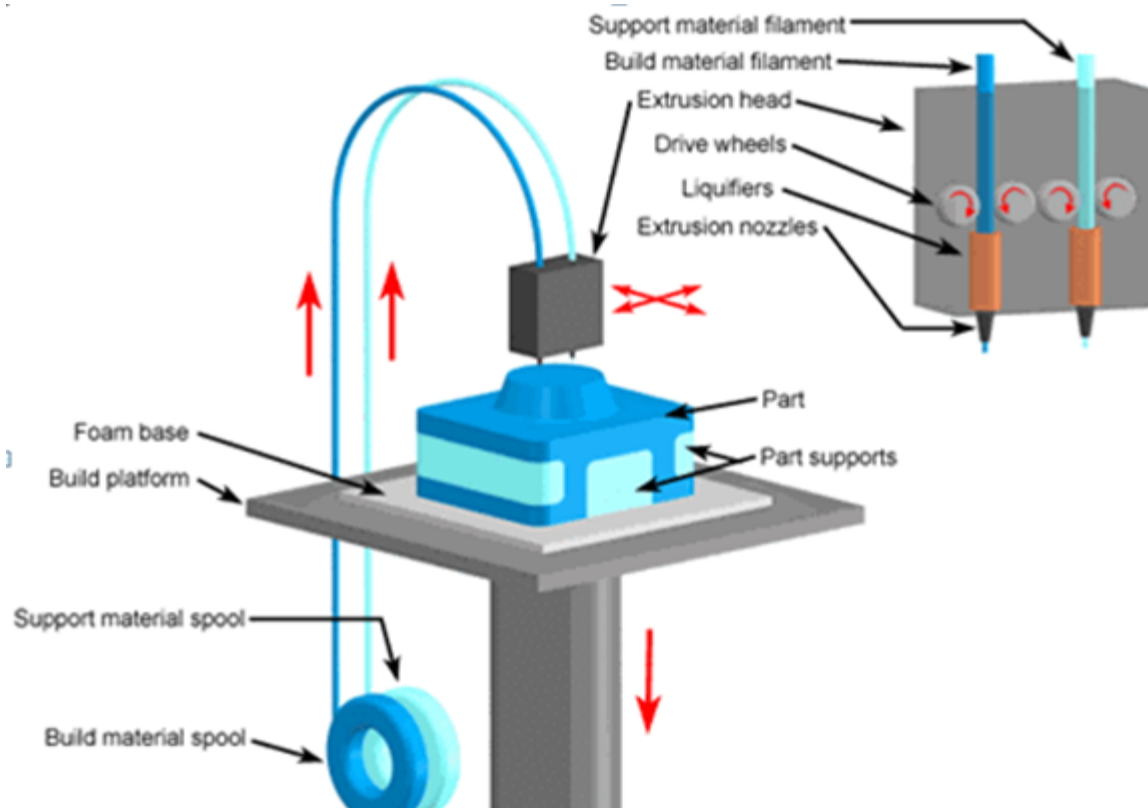
EBM-tekniikkaa käytetään metallisten kappalaiden valmistukseen. Tekniikka muistuttaa SLS Lasersintrauksen käyttämää pulveritekniikkaa, mutta EBM-tekniikassa käytetään laserin sijaan elektronisädettä. Kappale valmistetaan tyhjiössä, jossa lämpötila on 600 – 1000 °C. Tyhjiötä tarvitaan, sillä se estää elektronisäteiden hajautumisen. Elektronisäteet sulattavat metallipulverista ohuen kerroksen, minkä jälkeen uusi kerros pulveria sijoitetaan kappaleen päälle (Kuva 7). Tukirakenteena tulostettavalle kappaleelle toimii ympäröivä pulveri. EBM-tekniikalla valmistetut kappaleet ovat todella vahvaa tekoa, täysin tiiviitä ja aukottomia. (All3DP 2019.)



Kuvio 7. EBM-tulostuksen toiminta (additive.blog 2019.)

1.4.6 Multi-Jet Modeling (MJM)

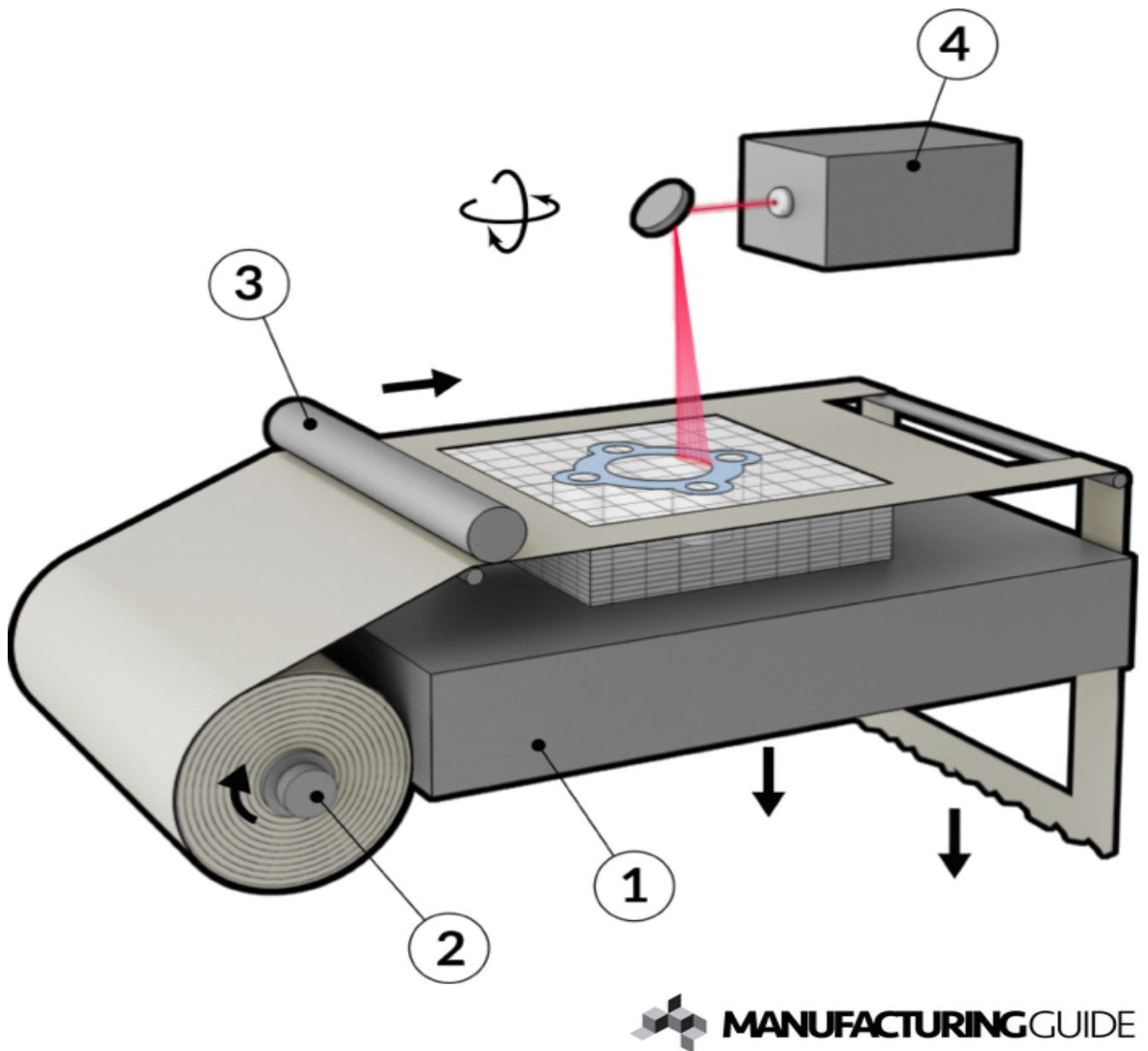
MJM-teknologia perustuu usean tulostuspään suihkuttamaan polymeerin kovettamiseen UV-valolla (Kuva 8). Tässä tekniikassa käytetään tulostettavan kappaleen tukiaineena vahaa, jolla on tulostettavaa kappaletta alhaisempi sulamislämpötila. Tämä tekniikka on yleensä käytössä prototyyppien valmistuksessa, kun halutaan sarjamainen tuotanto. (Waynesworld 2017.)



Kuvio 8. MJM-tulostimen toiminta (Waynesworld 2017.)

1.4.7 Laminated object manufacturing

Lom-tekniikka on käytössä isojen prototyyppien valmistuksessa, sillä tekniikka ei ole tarpeeksi tarkka, että sillä voisi massatuotantoa tehdä. Lom-tekniikka perustuu kerroksittain asetettavista muovi- tai paperiarkeista, joita leikataan ääriviivoja myöten terällä tai laserilla (Kuva 9). Uusi kerros rullataan edellisen päälle kuumalla telalla, jotta kerrokset liimautuvat tiiviisti toisiinsa kappale kappaleelta. (Manufacturingguide 2019.)



Kuvio 9. Lom-tekniikan tulostin(ManufacturingGuide 2019.)

1.5 Tulostuksessa käytössä olevat materiaalit

FDM-tulostimien materiaalina käytetään yleensä rullalla säilytettävää muovilankaa. Rullissa säilytettävä kerä vaihtelee 200:n ja 1000 gramman välillä. Yksi yleisimmistä materiaaleista on PLA (Polylactic Acid). PLA on valmistettu kasvipohjaisista materiaaleista, kuten maissitärkkelyksestä, ja se on biohajoavaa. PLA ei tarvitse lämmitettävää tulostusalustaa eikä se väänny tulostaessa. PLA on kovaa, kestävä ja hajutonta, mutta ilman tukitulosteita se voi olla haurasta. Hyviä käyttökohteita PLA-materiaalille ovat pienet osat, lelut ja nopeat prototyypit jostakin kappaleesta. Käytössäni on PLA 1.75

mm harmaa 1 kg kerä, pursotuslämpötila on noin 180 - 200°C ja tulostusalustan lämpötilaksi suositellaan 40 – 50 °C. (Filamentti 2019.)

ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) on toinen todella yleinen käytössä oleva 3D-tulostusmateriaali. ABS:llä ei ole todellista sulamispistettä, ja se on valmistettu öljypohjaisesta kestopuovista. Mitä korkeammaksi lämpötila nousee, sitä pehmeämmäksi ABS muuttuu. ABS kestää hyvin lämpöä ja on kestävämpää kuin PLA, joten sitä käytetään usein tulosteissa, jotka joutuvat kestämaan isoja lämpötilan vaihteluita. ABS-muovia on laajasti eri tuotteissa, kuten tunnetuissa Lego-palikoissa, pienissä keittiöesineissä, näppäimistön näppäimissä, autojen puskureissa, soittimissa sekä monessa muussa ruiskuvalu valmistus kappaleissa. ABS on myrkyllistä nieltynä, ja tulostaminen ABS:llä täytyykin tapahtua hyvin ilmastoidussa ympäristössä. ABS-muovi vaatii korkeamman ruiskutuslämpötilan kuin PLA, noin 235 – 256 °C. Tulostusalustan lämpötilan pitäisi olla noin 80 – 110 °C. (Suomen3D2019.)

ABS ja PLA ovat eniten käytössä olevat materiaalit 3D-tulostuksessa, mutta saatavilla on myös useita erilaisia eri ominaisuuksilla olevia tulostusmateriaaleja, esimerkiksi nylonilla tai kuidulla vahvistettuja materiaaleja. Nämä materiaalit ovat erittäin kestäviä ja kiinteitä. Muita erikoismateriaaleja ovat läpikuultavat, läpinäkyvät, pehmeät, joustavat, metallivahvisteiset ja tukirakennemateriaalit. (Filamentti 2019.)

PETG eli amorfinen polyesteri on lasinkirkas kestopuovi, jonka parhaita ominaisuuksia ovat iskunkestävyys ja alhaisten lämpötilojen kesto. Materiaalin lämpömuovaus- ja työstöominaisuudet ovat hyvät, mikä tekee siitä erittäin suosittu tyhjiömuovausmateriaalin. PETG on saatavana myös bioyhteensopivana, eli se soveltuu elintarvikkeiden kanssa. Lämpötila-alue PETG:llä on 220 - 250°C. PETG:tä käyttäessäni huomasin myös, että se on todella kestävä ja helpompikäyttöistä kuin ABS ja kaikenlisäksi myös hajuton.

(Filamentti 2019.)

1.6 Käytössäni oleva 3D-tulostin

Käytössäni on Original Prusa i3 MK2 –tulostin. Se on kooltaan 41.9 cm korkea, 38.1 cm leveä ja 41.9 cm syvä ja se painaa 6.35 kg. Kyseinen tulostin on suunnattu aloittelijoille sekä kokeneemmalle käyttäjälle, ja se on erittäin suosittu 3D-tulostin harrastajien yhteisössä. Tulostusalustan koko on 250 mm leveä, 210 mm pitkä ja tulostuskorkeus on 200 mm. Tulostaessa kerrospaksuudet ovat joko 0.1

mm, 0.16 mm, 0.2 mm, 0.25 mm tai 0.32 mm ja nopeus voi olla korkeintaan 50 mm sekunnissa. Käytettävän filamentin oletuspaksuus on 1,75 mm. Suuttimen reikäkoko on 0,4 mm, ja käyttölämpötila on PLA-muoville 180-210 °C. Tulostusalustan käyttölämpötila on 50–120 °C. (Original Prusa I3 käyttöohje.)

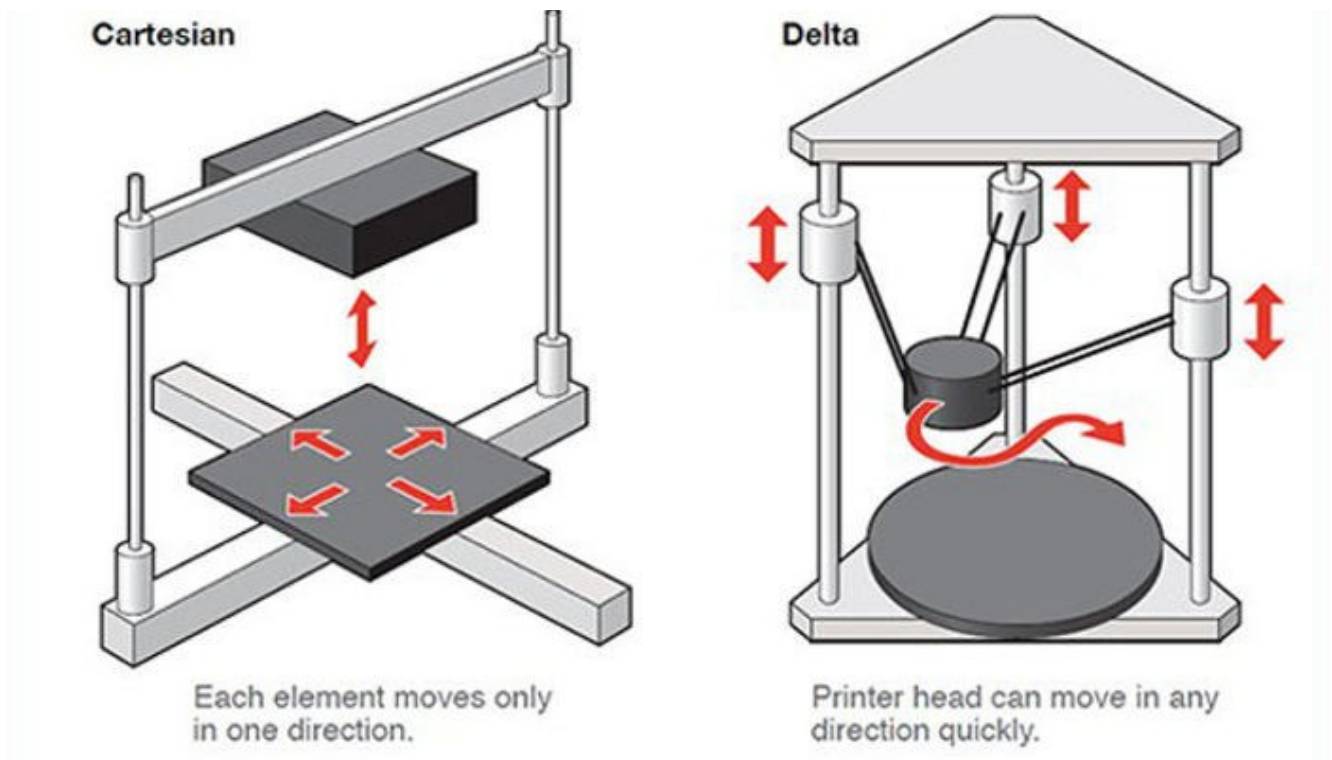
1.7 FDM-tulostimet

FDM-tulostintyyppinä on yhteensä neljä, ja ne ovat karteesian-, Delta-, Polar 3D-tulostimet sekä robottikäädellä tehdyt tulosteet, mistä jälkimmäistä harvemmin käytetään yksityiskäytössä, mutta esiintyy useimmin teollisuuden käytössä, kuten massateollisuudessa liukuhihnalla käytössä olevat robottikädet. Kaikki nämä tulostavat materiaalia samalla tavalla ja ainoa eroavaisuus ilmenee tavassa, jolla tulostinpää liikkuu ja kuinka se paikannetaan 3D-avaruudessa. (3DNatives 2017)

Kaikista yleisin FDM-tulostin on karteesian tulostin. Karteesian tulostimen nimi perustuu sen käytössä olevaan karteesian koordinaatistoon eli XYZ-koordinaatistoon. Näissä tulostimissa on kolme kiskoa, joista kukin vastaa yhtä XYZ-koordinaatiston akselia (Kuva 10). Jokainen kisko pystyy liikkumaan tai siinä on kierretanko, joka liikuttaa tulostuspäätä eri akselille. Cartesian-tulostimet ovat suosittuja FDM-tulostimia, sillä ne ovat yksinkertaisia ja ohjelmoitavuus helppoa. (3DNatives 2017)

Delta-tulostin käyttää ihan erilaista lähestymistapaa tulostuspään liikuttamiseen. Näissä tulostimissa käytetään trigonometrisiä funktioita kappaleen tulostuksessa toisin kuin karteesian tulostimen XYZ-koordinaatistoa. Siinä on kolme pystysuoraa tankoa, joihin tulostinpää on kiinnitetty kolmella kiskolla (Kuva 10). Nämä kiskot liikkuvat ylös ja alas liikuttaen tulostuspäätä. Delta-tyylisen tulostimen käyttö onkin huomattavasti monimutkaisempaa kuin karteesian tulostimen. (3DNatives 2017) On vielä muitakin tulostimia, jotka ovat Corexy, H-bot ja Scara, joista Scara on todella harvinainen. Corexy ja H-bot liikuttavat puhtaasti tulostuspäätä, jolloin saavutetaan suurempia nopeuksia, eikä laatu kärsi. Corexy tulostimessa esiintyy Z-akselilla liikkuva heatbed ja X- ja Y-akselilla liikkuva tulostinkärki. Se erottuu samankaltaisesta H-botista sen isommista printterihihnoista ja vetorullasta. Ne ovat useimmiten kuution muotoisia, ja kalliimmissa versioissa ne ovat suljettavia yksiköitä. Vaikka H-bot ja Corexy nostattavat tulostusnopeuksia, esiintyy niissä muutamia ongelmia. Ensinnäkin printterinhihnat ovat todella tärkeitä, tulostus kärsii, jos niitä ei ole asetettu linjaan tai ne ovat liian löysät tai kireät. (Doublejumper 2019)

H-bot saa nimensä sen muodostamasta H:n muotoisesta kehyksestä. Tässäkin tulostimessa on 2 moottoria, vetorulla ja 2 printterihihnaa. Tämä 2D-robotti on tasomainen mekanismi, joka sijoittaa esineen XY-avaruuteen, on käytössä myös teollisuuden sovelluksissa, kuten lajittelussa, liimauksessa tai tarkistusjärjestelmissä. Dynaamisesta yksinkertaisuudestaan huolimatta kitka ja vastavirta ovat esteitä H-botin käytössä. (Craig, K. 2011. electronics-blogs.)



Kuvio 10. Cartesian- ja Delta-tulostin (3DNatives 2017.)

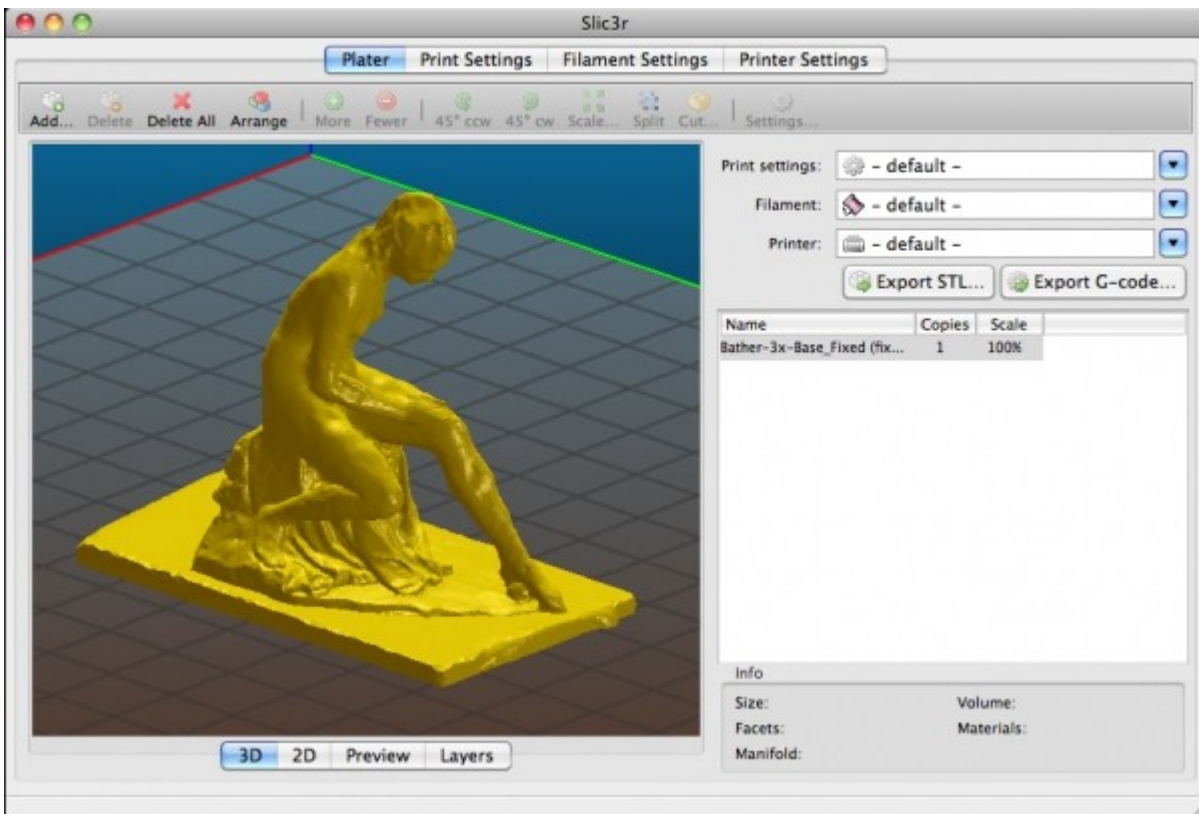
2 Vertailussa olevat slicer-ohjelmat

2.1 Slic3r

Slic3r on ilmainen avoimen lähdekoodin ohjelma, jonka kehittämisen RepRap-yhteisö aloitti vuonna 2011 (Slic3r 2019). Slic3r:in käyttöliittymä on vanhanaikainen, eli se näyttää todelta vanhalta ohjelmalta (Kuva 11). Slic3r on monelle 3D-tulostimen käyttäjälle tuttu, sillä se on monessa laitteessa sisäänrakennettuna mukana. Slic3r-ohjelma sopii aloittelijoille sekä kokeneemmille käyttäjille. Ohjelmassa on monta tarvittavaa asetusta, kuten nopeus-, kerroskorkeus-, lämpötila- ja täyttöasetukset sekä monia muita. Yksi puuttuva asetus Slic3r:ssä on useiden eri kerroskorkeuksien tukeminen. Slic3r:in kehnompia puolia ovat latausajat ja kömpelö käyttöliittymä sekä siltä puuttuvat päivitykset,

verrattuna muihin ohjelmiin, joita päivitetään ahkerammin ja joihin suunnitellaan lisäyksiä jatkuvasti. Slic3r:sta puuttuu myös peruuta edellinen toiminto- ominaisuus (ctrl + z): jos tekee väärän valinnan, pitää odottaa, että uusi lisäys lisätään mallennukseen, ja tämän jälkeen täytyy painaa pois uusi lisätty valinta. Yleensä mallinnuksessa sekä valinnan poistossa molemmissa latausajat olivat melko pitkät. Toinen ominaisuus, joka puuttuu Slic3r:sta, on multi-threading -tuki laitteelle, eli ohjelma ei saa käyttöönsä kaikkea tehoa, jota käytössä olevasta tietokoneesta on.

Prusa on tehnyt oman versionsa Slic3r:sta, ja siinä on monia parannuksia normaaliin Slic3r-ohjelmaan. Slic3r on käytettävissä Windowsilla, Macilla ja Linuxilla. Itse valitsisin Slic3r Prusa Edition:in, sillä sitä on paremmeltu ja todella monta tavallisen Slic3r:in heikkoa kohtaa on korjattu Prusa Editionissa. Prusan versiota päivitetäänkin jatkuvasti. Prusa Edition on myös paljon helpompi käyttää kuin tavallinen versio. Monia etuja Prusa Editionissa ovat muun muassa eroavien kerroskorkeuksien tuki, esikatselu valmiista kappaleesta, tukirakenne mahdollisuus sekä lyhyemmät latausajat. Ohjelman ulkonäkö on vielä kömpelön näköinen. Kuvia testituloksista on liitteessä 1.



Kuvio 11. Slic3r:in tulostusruuu

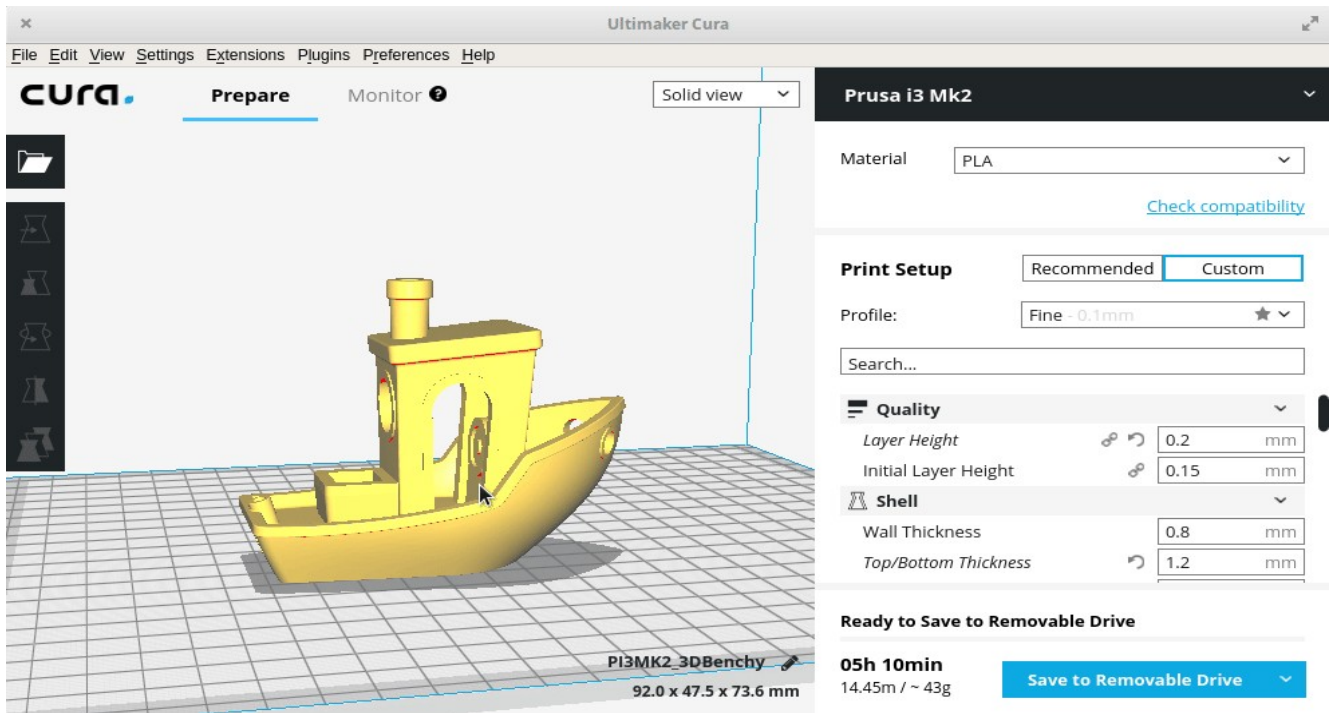
2.2 Cura

Cura on Ultimakerin omistama slicer-ohjelma, jonka suunnittelun aloitti yksin David Braam. Cura on ilmainen avoimen lähdekoodin ohjelma, mutta Ultimaker on palkannut Davidin Braamin työskentelemään sen parissa, jotta Cura saisi päivityksiä ja virhekorjauksia myös jatkossa.

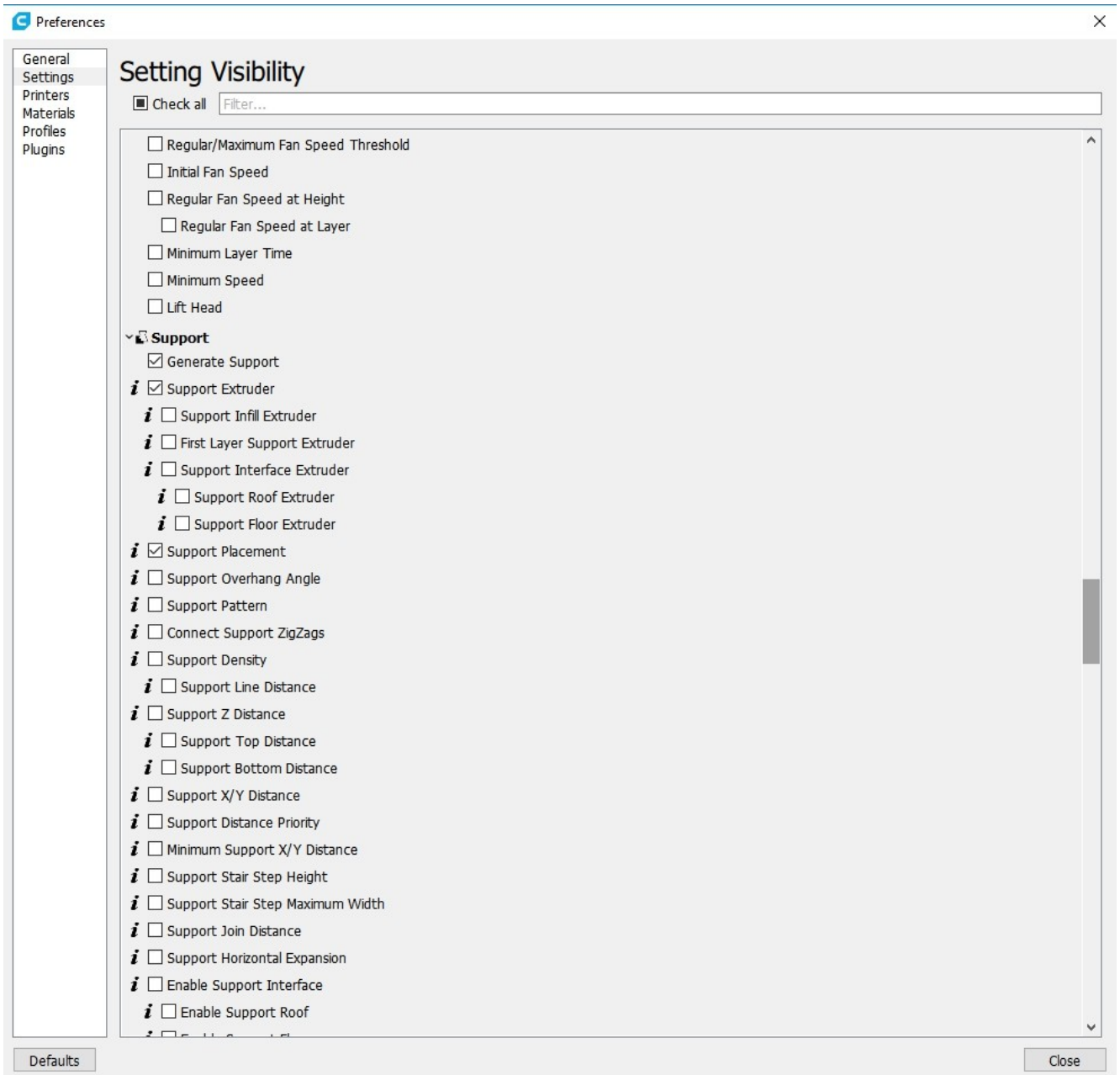
Cura on käytettävissä Windowsilla, Macilla ja Linuxilla ja siitä on monia eri versioita.

Ensi silmäyksellä Cura vaikuttaa hyvin helppokäyttöiseltä ja käyttöliittymältään ajanmukaiselta verrattuna Slic3r:iin (Kuva 12). Curassa on kaksi eri tulostusasetusta: on helppokäyttöinen tapa tulostaa: Valitse vain tulosteen laadun, onko tarvetta tukirakenteille ja tulostuslämpötilat. Toinen tapa on työlämpi: Siinä käydään läpi jokainen pienikin asetus ja asetetaan ne haluamukseen.

Olin lukenut aiemmin foorumeilta, että Cura olisi hidas ja sen latausajat pitkät isommilla tulosteilla, mutta omissa testeissäni se oli todella pikainen eikä läheskään niin hidas kuin Slic3r. Cura on viime päivityksissä ottanut käyttöönsä moniajon, joka mahdollistaa ohjelman käyttävän saatavilla olevan tietokoneen tehoja, toisin kuin Slic3r, josta moniajo puuttuu. Yksi todella hyvä ominaisuus Curassa on automaattisen slicing:n asettaminen off-tilaan, jotta jokainen pienikin muutos kappaleeseen ei vaadi uutta koko kappaleen uutta mallinnusta. Curan pysäytä printti tietyssä korkeudessa tai Z-akselin määrittäminen ovat ihan käyttökelpoisia mutteivat vastaa Slic3rin tai Simplify3D:n ominaisuuksia samoissa asetuksissa. Curan ja Slic3rin eri valikoimat ovat helppokäyttöisiä, mutta kun tuo esiin lisäasetusvalikon kokeneemmella käyttäjälle, on Slic3r:in valikko sekava toisin kuin Curan (Kuva 13). Curan lisäasetusvalikko on ”puhdas” eikä se tuo esiin kaikkia pikku asetuksia sekoittamaan tulostajaa. Toki ihan pieniinkin yksityiskohtiin pääsee asetuksista, jos vain tietää, mitä etsii. Huonoja puolia Curassa on se, että se ei ole tuettu ihan kaikilla tulostimilla ja Ultimaker ei luvannut kehittää versiota, joka tukisi kaikkien valmistajien printtereitä. Toinen huono puoli on keho tuki omille mukautetuille tukirakenteille ja huono tuki eroaville kerroskorkeuksille. Vaikka Curassa on mukautu Z-akselia-valikko, ei silläkään saa ihan täydellistä ratkaisua pulmaan. Kokonaisuudessaan Cura on helppokäyttöinen ja modernin näköinen, ja sen helppokäyttöisyyden takia ehdoittaisin sitä mieluummin kuin Slic3r:ia. Myös tietämys siitä, että Ultimaker päivittää Curaa jatkuvasti lisää kuluttajan luottamusta ohjelmaan. Kuvia testituloksista on liitteessä 2.



Kuvio 12. Curan tulostusruutu

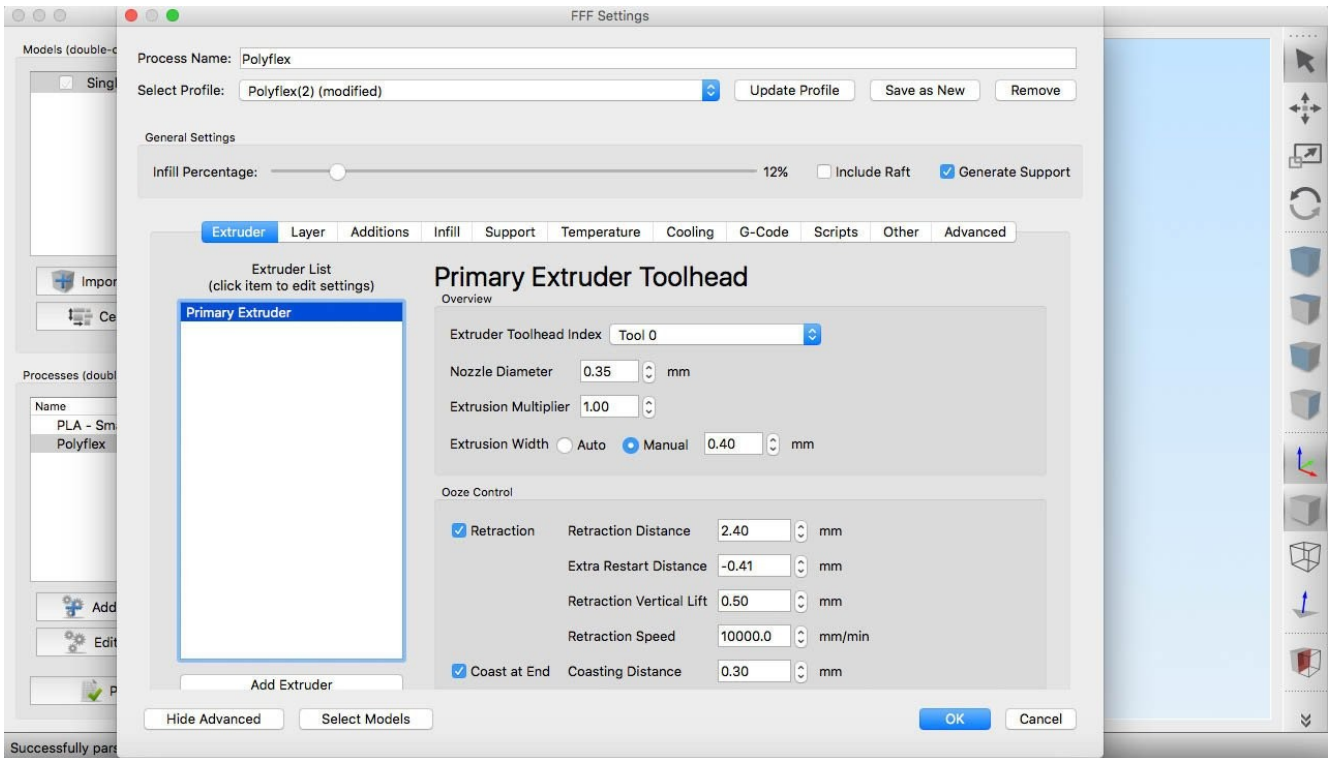


Kuvio 13. Curan lisäasetusvalikko

2.3 Simplify 3D

Simplify 3D on maksullinen ohjelma, jonka ostohinta on 149 dollaria, mikä on enemmän kuin jotkin 3D-printterit. Kyseinen ohjelma ei siis sovi budjetti-3D-printtaukseen. Ohjelman haittapuoli on, ettei siitä ole edes kokeiluversiota, vaan sillä on 2 viikon palautusoikeus oston jälkeen. Toinen kiinnostava seikka on, että Simplify 3D:tä ei edes päivitetä niin tiuhaan tahtiin kuin 149 dollarin hinta antaisi kuvitella. Simplify 3D:n hyviä puolia ovat nopeat latausajat verrattuna ilmaisohjelmiin, jopa isot tulosteet ovat nopeita latautumaan. Simplify 3D lajittelee myös käytössä olevat ja sen tukemat

printteri-asetukset näppärästi, ja sen printtaus-asetus-menu on todella selvä (Kuva 15) ja sillä myös pääsee vaikuttamaan pieniinkin yksityiskohtiin todella helposti (Kuva 14).



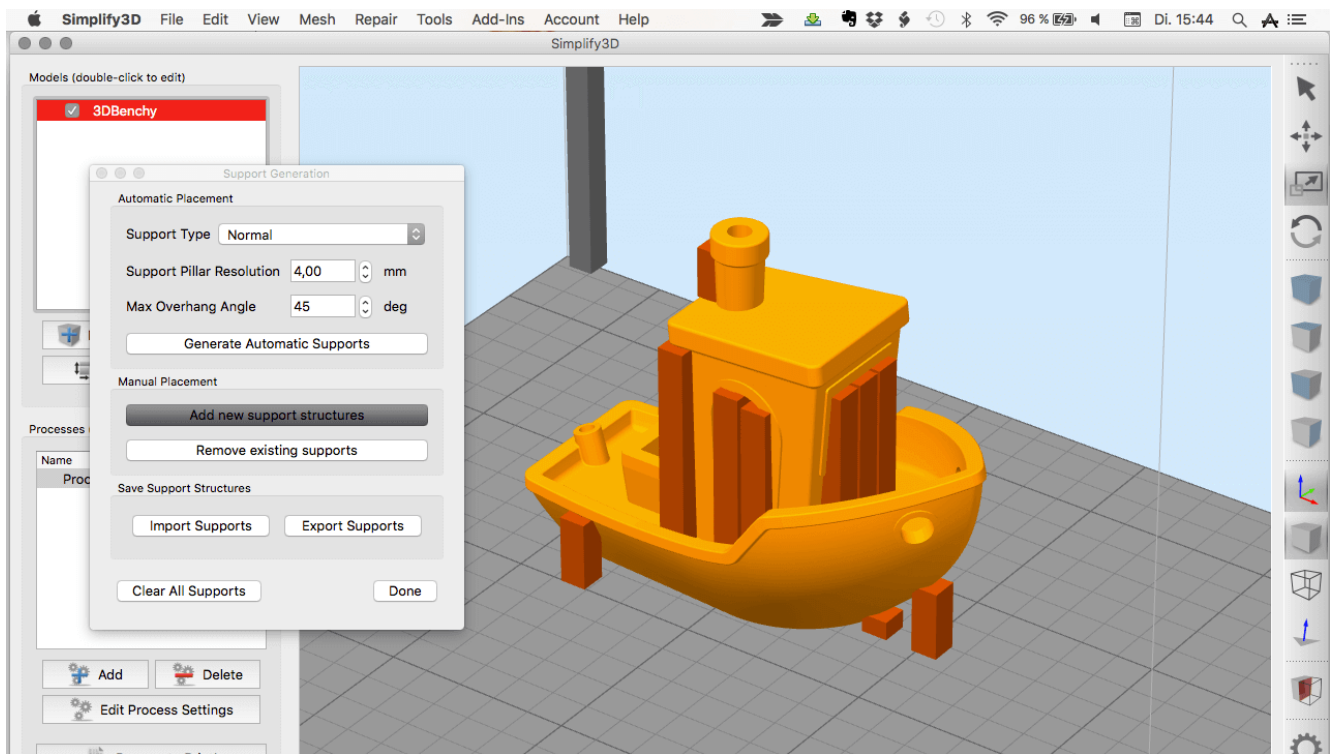
Kuvio 14. Simplify 3D:n asetusalikko

Valmiit asetukset eri filamenteille ja näppärit aloittelijan ja kokeneen käyttäjän profiilit ovat myös käteviä. Missä Simplify 3D on kehittynyt muita sovelluksia edelle, muihin aikaisemmin mainittuihin ohjelmiin verrattuna, on sen kyky mennä yksityiskohtiin printissä. Yksittäisiä kappaleita voi muokata ihan mistä vain kohtaa printtiä tulostustasosta tietyllä kerroskorkeudelle. Kappaleen voi myös asettaa ohjelmassa heatbedin alapuolelle, mikä tarkoittaa, että printtauksen voi aloittaa haluamastaan kerroskorkeudesta. Useasta eri osasta koostuvat kappaleet voi siis helposti tulostaa tällä ohjelmalla. Tukirakenteitakin voi pistää tarkasti ihan mihin kohtaan haluaa, täyttöasetuksetkin menevät niin tarkasti, että käyttäjä voi valita, mikä täyttöaste kappaleeseen tulee.

Simplify 3D:ssä on myös kiinnostava lisäominaisuus nimeltä repair. Sen avulla voi tarkastaa ladatun STL-tiedoston ja Simplify 3D korjaa viat ja huonosti latautuneet kohdat. Simplify 3D tarjoaa paljon erilaisia ominaisuuksia, joita vastaavia ei ole ilmaisissa ohjelmista, kuten tulostuksen simulointi, tukirakenteiden automaattinen optimointi, kerroskohtaiset tulostusasetukset ja suuttimen koko-muutokset; tätä ei ole saatavilla vielä muissa slicer-ohjelmissa.

Kokonaisuudessaan Simplify 3D ei ole aivan täydellinen, eikä siinä ole täysin uniikkeja ominaisuuksia, joita ei löytyisi muistakin ohjelmista. Se ei ole todellakaan halpa, mutta se on erittäin

hyvä työkalu, jos haluaa säästää aikaa tai viedä tulostuksensa seuraavalle tasolle. Varjopuolena on, ettei sitä päivitetä tarpeeksi tiuhaan tahtiin; tosin kertaoston jälkeen saa elinikäisen lisenssin ohjelmaan. Kuvia testituloksista onliitteessä 5.

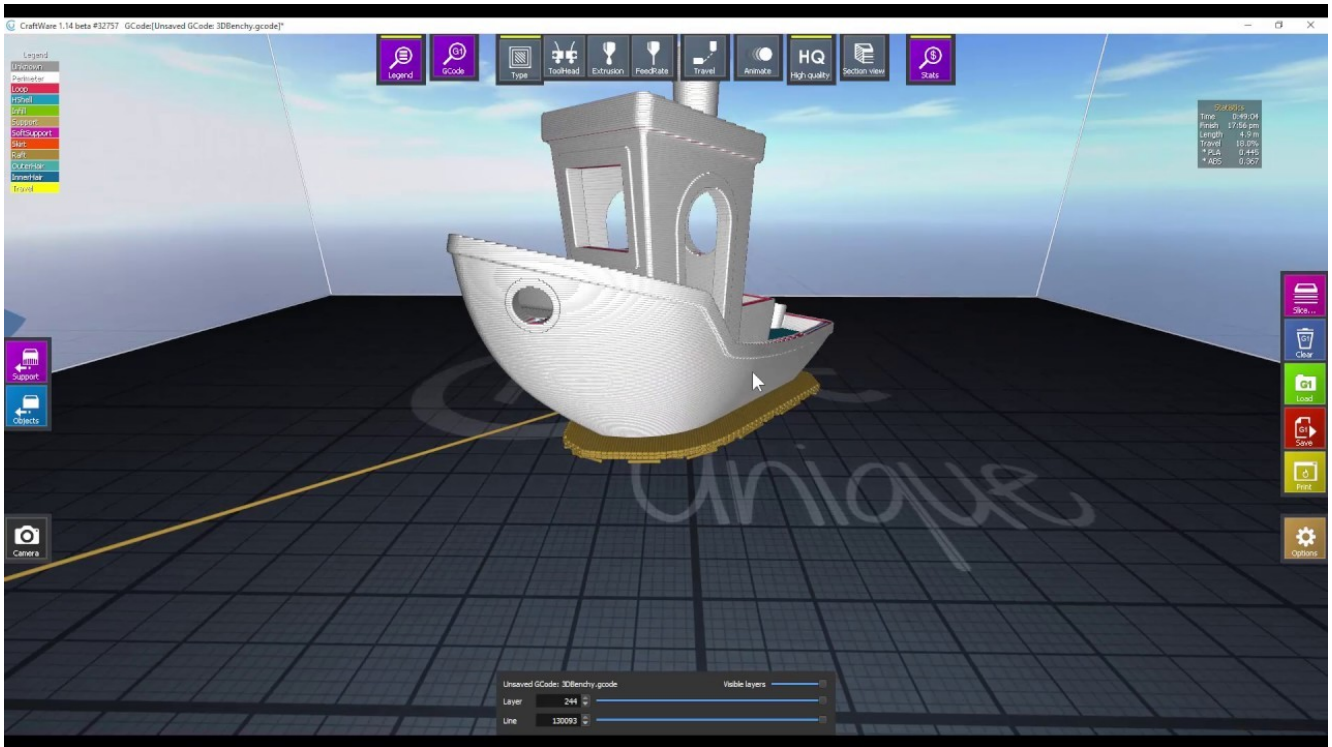


Kuvio 15. Simplify 3D:n tulostusruutu

2.4 CraftWare

CraftWare on ilmainen sovellus, joka on helppokäyttöinen slicer-ohjelma. CraftWare toimii pääasiassa slicer-ohjelmalla, mutta siinä on monia muita erikoisuuksia toisiin tehtäviin. Ensi silmäyksellä ohjelma on laadukkaan näköinen. CraftWarella voi interaktiivisesti suunnitella printtejä. Tällä ominaisuudella voi pienentää tulostusaikoja ja löytää optimit tukirakenteet kappaleelle. Tapa, jolla CraftWare visualisoi annetun gcoden, on myös edistyneempi kuin monissa muissa slicer-ohjelmissa. Sillä voi katsoa kappaletta kerros kerrokselta ja ihan mistä vain kulmasta (Kuva 16). Ohjelmassa on myös ”Expert”-tila, jolla kokeneempi käyttäjä pystyy vaikuttamaan pieniinkin yksityiskohtiin. Kokeneen käyttäjän tila soveltuu myös aloittelijalle, sillä jokaisen asetuksen vieressä on lisäinfo-ominaisuus. Tämä ominaisuus näyttää myös esimerkillä, miten se vaikuttaa tulostukseen. Tämäkin pieni ominaisuus on iso etu CraftWaren käyttäjälle, sillä monesta muusta slicer-ohjelmasta puuttuu samankaltainen ominaisuus.

CraftWarea päivitetään jatkuvasti, joten käyttäjä voi olla varma laadukkaasta ohjelmasta. Kuvia testitulosteesta on liitteessä 3.

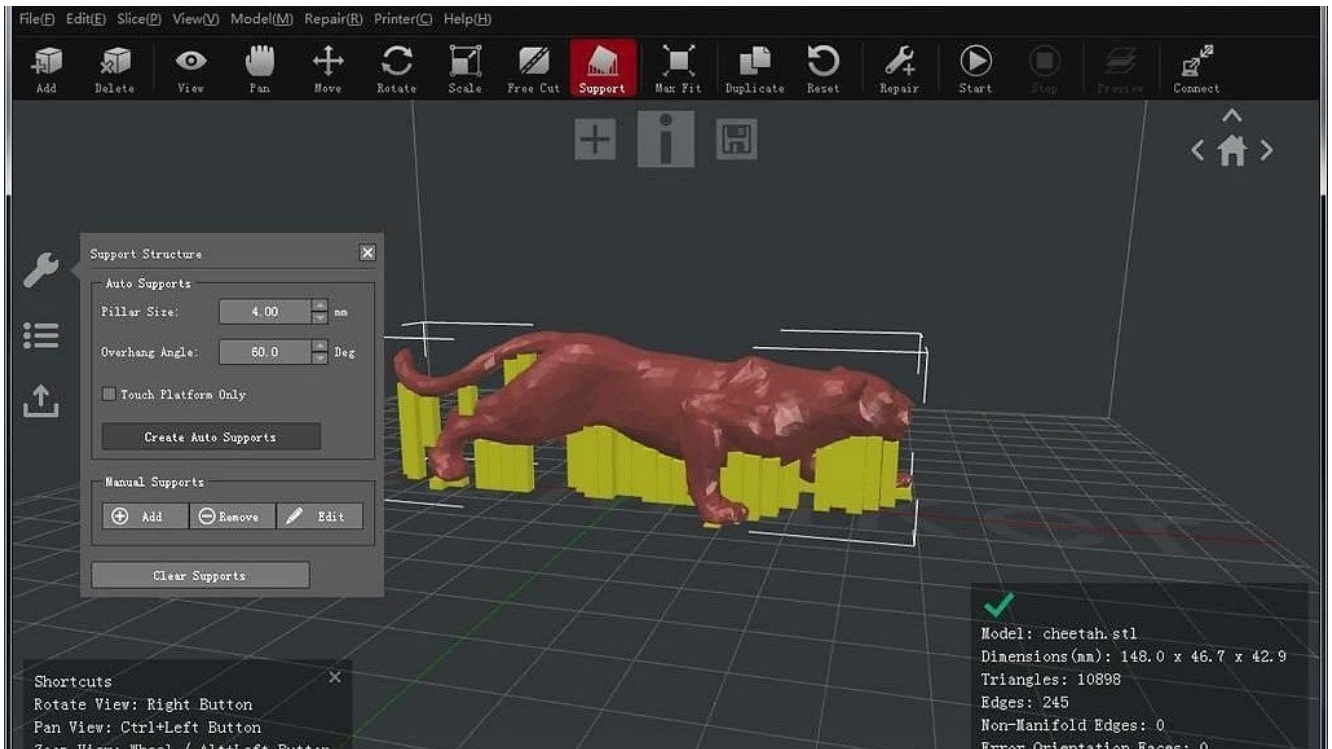


Kuvio 16. CraftWare:n tulostusruutu

2.5 ideaMaker

ideaMaker on ilmainen slicer-ohjelma, jonka on suunnitellut Raise3D inc. Se on alkuperäisesti suunniteltu tukemaan Raise3D:n omia 3D-printtereitä, mutta ohjelma on avoin muille alustoille; täytyy vain tietää oman käytössä olevan printterin mitat ja sen jälkeen asettaa asetuksista ”Import a new printer”. Käyttöliittymä on selkeä, ohjelmasta on myös kappaleen esikatselu-tila, joka on toteutettu selkeästi (Kuva 17). Väittäisin, että CraftWaren ja Simplify3D:n esikatselutilat ovat helpompikäyttöisiä ja selkeästi toteutettuja.

Isoin syy, miksi ideaMaker on suosittu, on sen kyky lisätä manuaalisesti tukirakenteita kappaleeseen. Ainoastaan Simplify3D:ssä myös pystyy asettamaan tukirakenteita, joten ideaMaker on ainoa ilmainen ohjelma, jossa on tämä ominaisuus. Ohjelman latausajat ovat nopeat, mutta sillä on Raise3D:n omat suosittelemat käytössä olevan tietokoneen tehot. Olen lukenut foorumeilta, että oman tietokoneen prosessorilla on iso merkitys kyseisen ohjelman latausaikoihin, mikä tarkoittaa, että vanhemmilla tietokoneilla ohjelma saattaa olla hitaampi. Kuvia testitulosteesta on liitteessä 4.



Kuvio 17. ideaMaker:n tulostusruutu

3 Testitulosteet

Slicer-ohjelmien testaamiseen käytin testitulosteena sitä varten luotua 3DBenchy-tulostetta. Se on veneen muotoinen testikappale (Kuva 18). Kyseinen kappale on suunniteltu nopeasti tulostettavaksi ja siitä huolimatta sopivaksi tulostimen arviointiin. Kappale sisältää useita eri kohtia, jotka ovat FDM-tulostimelle vaikeita toteuttaa. 3DBenchy:ssä esiintyy paljon jyrkkiä kulmia ja siinä myös tulostetaan tyhjän päälle, nämä kohdat ovat vaikeita tulostaa.



Kuvio 18. 3DBenchy testikappale (3DBenchy 2019)

Tulostuksen asetukset eivät muutu, vaan kaikki printataan samoilla asetuksilla. Tulostuslämpötila on 200 °C, tulostusalustan lämpötila on 60 °C. Täyttöaste on 20 prosenttia, kerrospaksuus on 0,2 mm ja tulostusnopeus on 80 prosenttia, eli noin 60 mm/s. En käyttänyt ensimmäisiin tulosteisiin

tukirakenteita. Toisella tulostuskerralla käytin niitä, sillä halusin testata muutaman slicerin automaattisia tukirakenteita, omia asettamiani tukirakenteita sekä lautta-tukirakennetta eli siis ”raftia”. Lauttatukirakenteesta on kuvia liitteissä 3 ja 5.

Näillä asetuksilla tulostusaika oli noin 100 minuuttia ja laatu ei vaihdellut kovin paljon eri sovelluksilla. IdeaMakerin oma automaattinen tukirakenne tuotti hankaluuksia, sillä se ei onnistunut kovin hyvin. Kaikkia testitulosteita yhdisti muutama seikka: 3DBenchyn pohjassa oleva teksti oli helposti luettavissa ja peräpuolella oleva teksti oli täysin suttuisa eikä siitä saanut selvää. Nämä kohdat ovat printterin omien asetusten syytä eikä itse ohjelmien. Mitä luultavammin tulostuskärki on liian lähellä tulostuspetiä tai 0,2 mm:n kerroskorkeus oli liian suuri. Suurissa kulmissa tulostetut kohdat onnistuivat kutakuinkin hyvin, materiaalia ei jäänyt roikkumaan liikaa. Osissa tulosteista esiintyi pieniä tulosteiden pätkiä, jotka ovat jääneet kiinni, kun tulostuskärki on liikkunut samaan aikaan kun se on tulostanut. Nämä ovat kuitenkin niin ohuita kaistaleita, että ne on helppo putsata pois, eivätkä ne mielestäni johtuneet itse ohjelmista vaan käyttämästäni printteristä. Kuvia testituloksista on liitteissä 1 – 6 ja kaikki tulokset vierekkäin liitteessä 7.

4 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten erilaiset slicer-ohjelmat vaikuttavat tulosteen laatuun. Tämän lisäksi tuli vertailla käytössä olevia slicer-ohjelmia kuluttajan kannalta. Piti löytää ja listata erilaisia ominaisuuksia, joita eri ohjelmista löytyi. Tarkoituksena oli myös tehdä listaa eri vertailuista kuluttajaa varten, tuli löytää hintavertailun voittaja ja helppokäyttöisin sekä tarkkailla, kuinka paljon muistia tai tietokoneen tehoa eri ohjelmat vaativat.

Tässä työssä kaikki käyttämäni ohjelmat olivat ilmaisia paitsi Simplify3D, joka maksoi 149 dollaria, joten kaikki muut ohjelmat ovat hintavertailussa ennen sitä. Ihan jokaisesta käyttämästäni ohjelmasta löytyi niin ikään hyviä ja heikkoja puolia, joita muissa ohjelmista ei esiintynyt. Esimerkiksi oma laatimat tukirakenteet puuttuivat tai eroavat kerroskorkeudet, ideaMaker ja Slicer Prusa Edition tarjoavat ilmaisista ohjelmista näihin erittäin hyvät ratkaisut. Myös hintava Simplify3D tarjoaa tähän pulmaan ratkaisun.

Tulosteiden laatu oli aika pitkälti samanlaatuista kaikilla ohjelmilla, pientä muutosta oli havaittavissa. Mutta eroavaisuudet olivat niin pienet, etten voi suositella suoraan ohjelmaa, joka tulostaisi muita laadukkaammin.

Täten suosittelenkin kuluttajaa testaamaan erilaisia slicer-ohjelmia ja löytämään itselleen sen, joka olisi itselleen kaikista parhain. Suosittelen myös sekakäyttöä slicer-ohjelmilla, esim. jos oma suosikki-slicer-ohjelma ei pysty toteuttamaan omatekoisia tukirakenteita, voi vaihtaa toiseen ohjelmaan ja tehdä tukirakenteet ja tämän jälkeen tallentaa gcoden ja tuoda sen takaisin vakio-ohjelmaansa.

Väittäisin, että helppokäyttöisin kaikista ohjelmista suoraan ilman aikaisempaa kokemusta olisi Cura, sillä se on todella helppo navigoitava ja selkeän näköinen. ideaMaker oli kaikista epäselvin ja hankalakäyttöisin, mutta siinä on paljon asetuksia, jotka paikkaavat hankalaa asetusnavigointia. Slic3r-Prusa-versio on myös todella helppokäyttöinen muttei vedä vertaa Simplify3D:n nopeaprintti-asetukseen. Simplify3D on myös todella selkeä, melkein yhtä helppokäyttöinen kuin Cura. Kyseinen

ohjelma on ainoa vertailemistani ohjelmista, joka on maksullinen. En voi täysin suositella sitä, sillä se on todella hintava. Jos kuluttaja haluaa nopeasti tuloksia ilman aikaisempaa kokemusta, on Simplify3D hyvä vaihtoehto ja varmasti hintansa arvoinen.

LÄHTEET

3DHUBS. How does 3D printing work? 2018. Saatavissa: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/> Viitattu 6.10.2018

3DBenchy. About 3DBenchy. 2018. Saatavissa: <http://www.3dbenchy.com/> Viitattu 2.3.2019

Additive Blog. Electron Beam Melting. 2018. Saatavissa: <https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/laser-sintering-melting-sls-slm-dmls-dmp-ebm-shs/> Viitattu 26.11.2018

All3DP. All 10 types of 3D printing technology. 2018. Saatavissa: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/> Viitattu 3.12.2018

Alex M. 2017. 3DNatives. The 4 types of FDM. Saatavissa: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/> viitattu 10.11.2018

BradsBuilds instructables. Guide to Slic3r. 2018. Saatavissa: <https://www.instructables.com/id/Guide-to-Slic3r/> Viitattu 7.11.2018

Craig, K. So, You want to build an H-bot? 2011. Saatavissa: <https://www.edn.com/electronics-blogs/mechatronics-in-design/4368079/So-you-want-to-build-an-H-bot-> Viitattu 22.9.2019

Dario, I. 2018. Drop on Powder 3DP Technology . Saatavissa: <https://www.sutori.com/story/drop-on-powder-3dp-technology--3J8aAj2EuUBka6LNT95rHRUP> Viitattu 27.11.2019

Fabbers. Drop-on-powder deposition. 2000. Saatavissa: https://www.fabbers.com/How_Fabbers_Work Viitattu 22.11.2018

Formlabs. SLA vs. DLP: Compare Resin 3D printing. 2018. Saatavissa: <https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/> Viitattu 10.11.2018

Goldberg D. Autodesk. History of 3D Printing. 2018. Saatavissa: <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/> Viitattu.7.11.2018

Manufacturingguide. Laminated Object Manufacturing. 2018. Saatavissa:

<https://www.manufacturingguide.com/en/laminated-object-manufacturing-lom> Viitattu 3.12.2018

Original Prusa I3 – User Manual. Prusa Käyttöohje. 2018. Viitattu 2.3.2019

Sculpteo. The history of 3d printer. 2017. Saatavissa:

<https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>

Viitattu 14.10.2018

Slic3r. What is Slic3r? 2018. Saatavissa: <https://slic3r.org/> Viitattu 25.2.2019

SolidFill. Selective Laser Sintering. 2018. Saatavissa:

http://solidfill.com/en/Selective_Laser_Sintering/ Viitattu 26.11.2018

Spadaro J. PrintSpace3D. Cartesian vs. Delta. 2018 Saatavissa:

<https://www.printspace3d.com/cartesian-vs-delta-printers-work/> Viitattu 1.12.2018

Staab W. Waynesworld. Fused Deposition Modeling. 2017. Saatavissa:

<https://hearinghealthmatters.org/waynesworld/2017/3d-printing-pa/> Viitattu 3.12.2018

Suomen3D. ABS. 2018. Saatavissa: <https://www.suomen3d.fi/tietoa-materiaaleista/abs/>

Viitattu 8.12.2018

Tmi. Filamentti. PLA-Filamentti. 2018. Saatavissa: <http://www.filamentti.com/tekniset-tiedotPLA/>

Viitattu 8.12.2018

Turnbull, G. Clarke, J. Picard, F. Shu, W. Researchgate. 3D printing techniques Stereolithography.

Saatavissa: [https://www.researchgate.net/figure/Common-3D-Printing-Techniques-A-](https://www.researchgate.net/figure/Common-3D-Printing-Techniques-A-Stereolithography-B-Fused-deposition-modelling-C_fig3_321464642)

[Stereolithography-B-Fused-deposition-modelling-C_fig3_321464642](https://www.researchgate.net/figure/Common-3D-Printing-Techniques-A-Stereolithography-B-Fused-deposition-modelling-C_fig3_321464642)

Viitattu 2.3.2019

Vasquez, J. The CoreXY. 2016. Saatavissa:

http://www.doublejumpslectric.com/projects/core_xy/2014-07-15-core_xy/ Viitattu 22.9.2019

LIITTEET

Liite 1. Kuvia testitulosteista slic3r-ohjelmalla

Liite 2. Kuvia testitulosteista cura-ohjelmalla

Liite 3. Kuvia testitulosteista craftware-ohjelmalla

Liite 4. Kuvia testitulosteista ideamaker-ohjelmalla

Liite 5. Kuvia testitulosteista simplify3d-ohjelmalla

Liite 6. Kuvia testitulosteista slic3r prusa editionilla

Liite 7. Kuvia testitulosteista järjestyksessä: Slic3r, Cura, Craftware, ideaMaker, Slic3r Prusa ja Simplify3D Vasemmalta oikealle.



SLIC3R



SLIC3R



SLIC3R

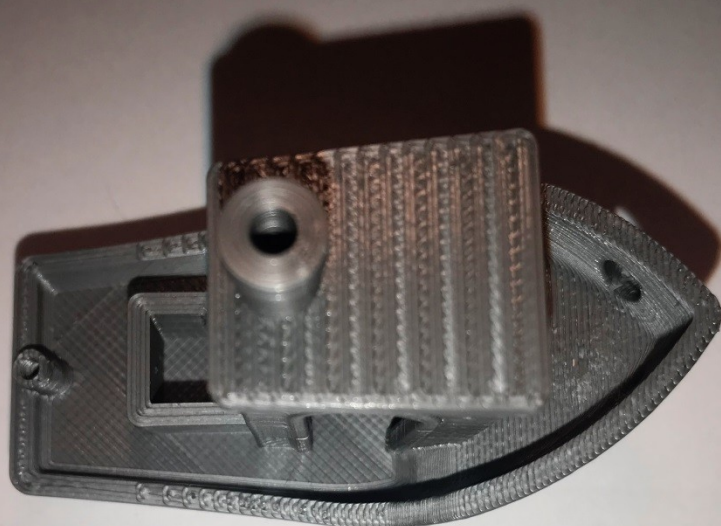
Liite 2/1



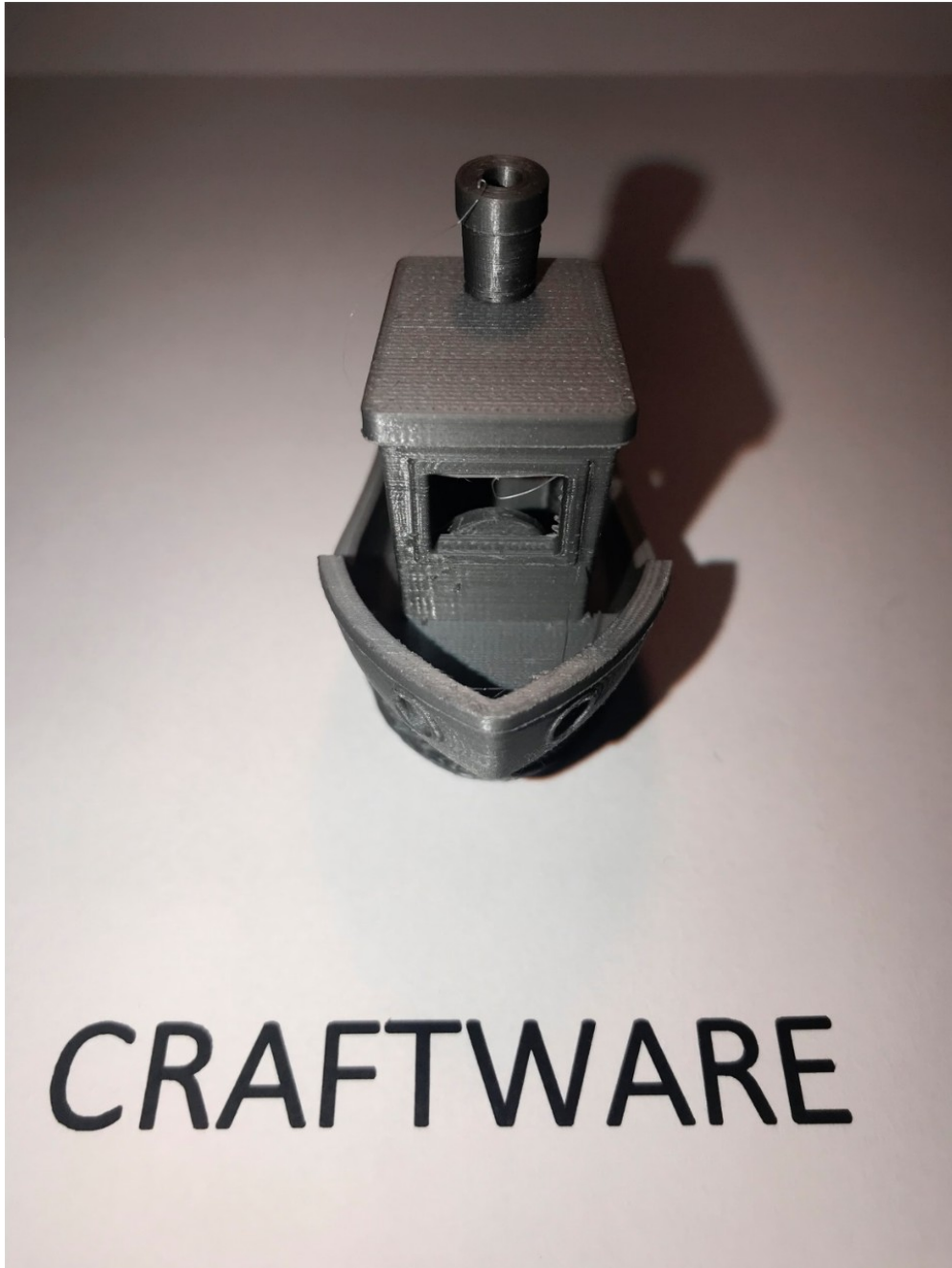
CURA



CURA

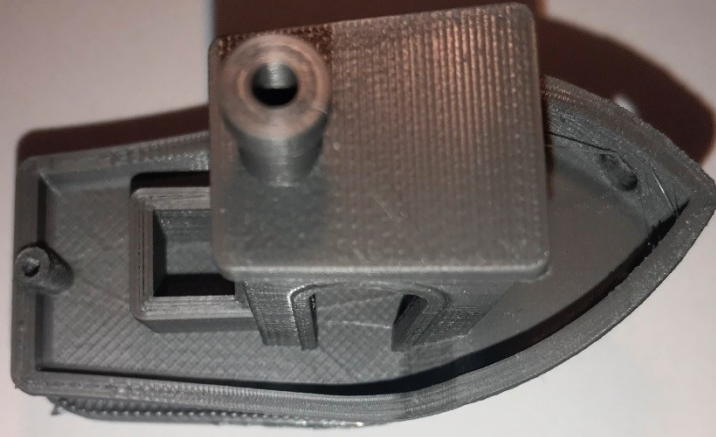


CURA

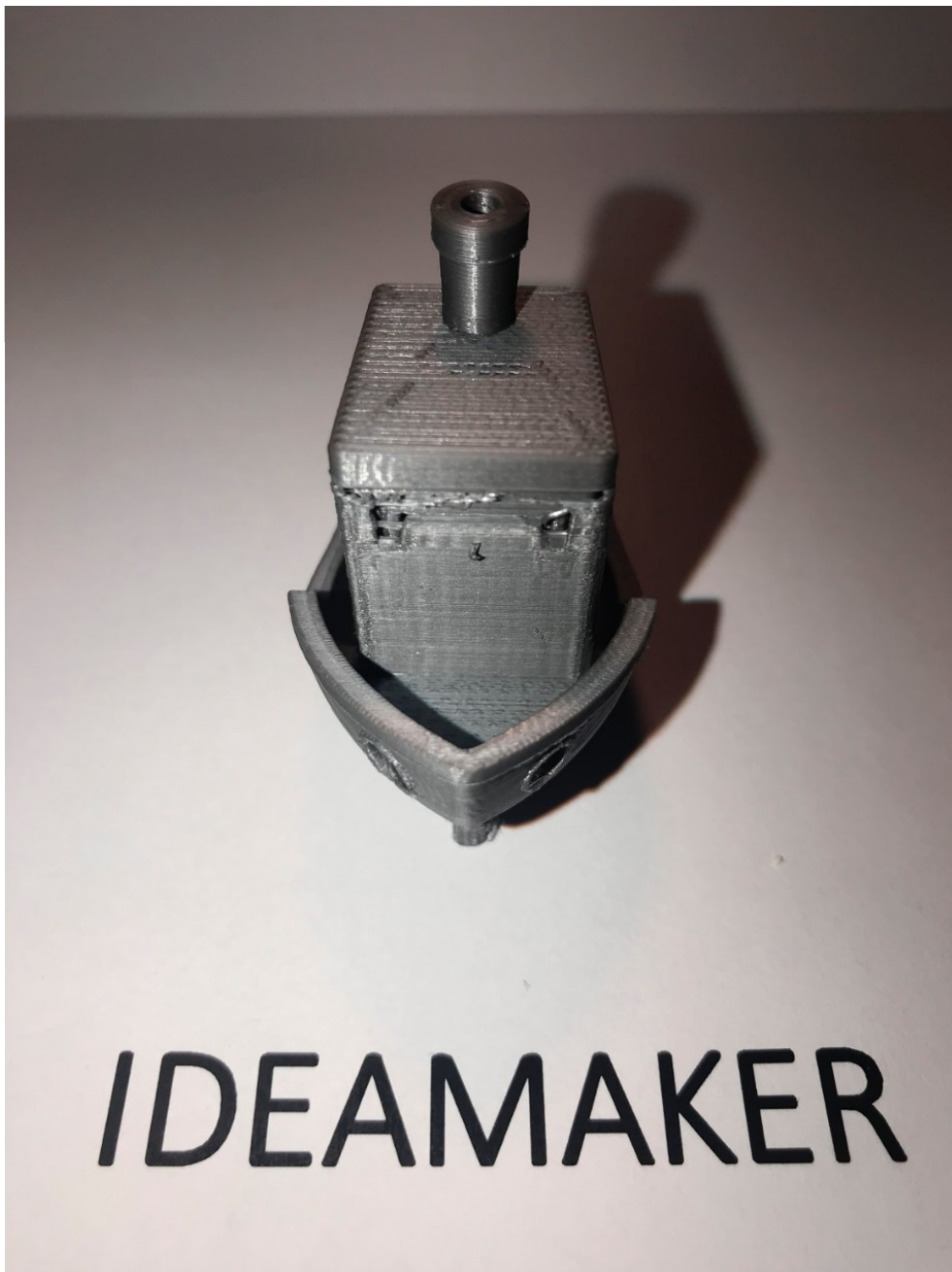




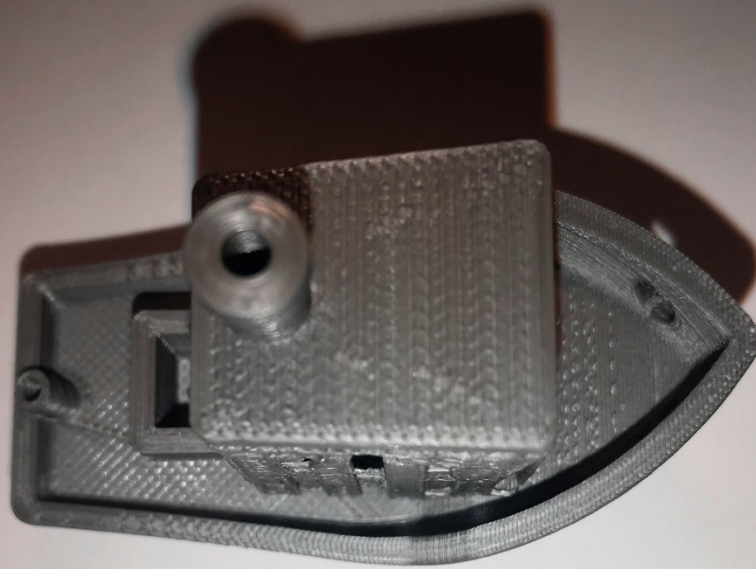
CRAFTWARE



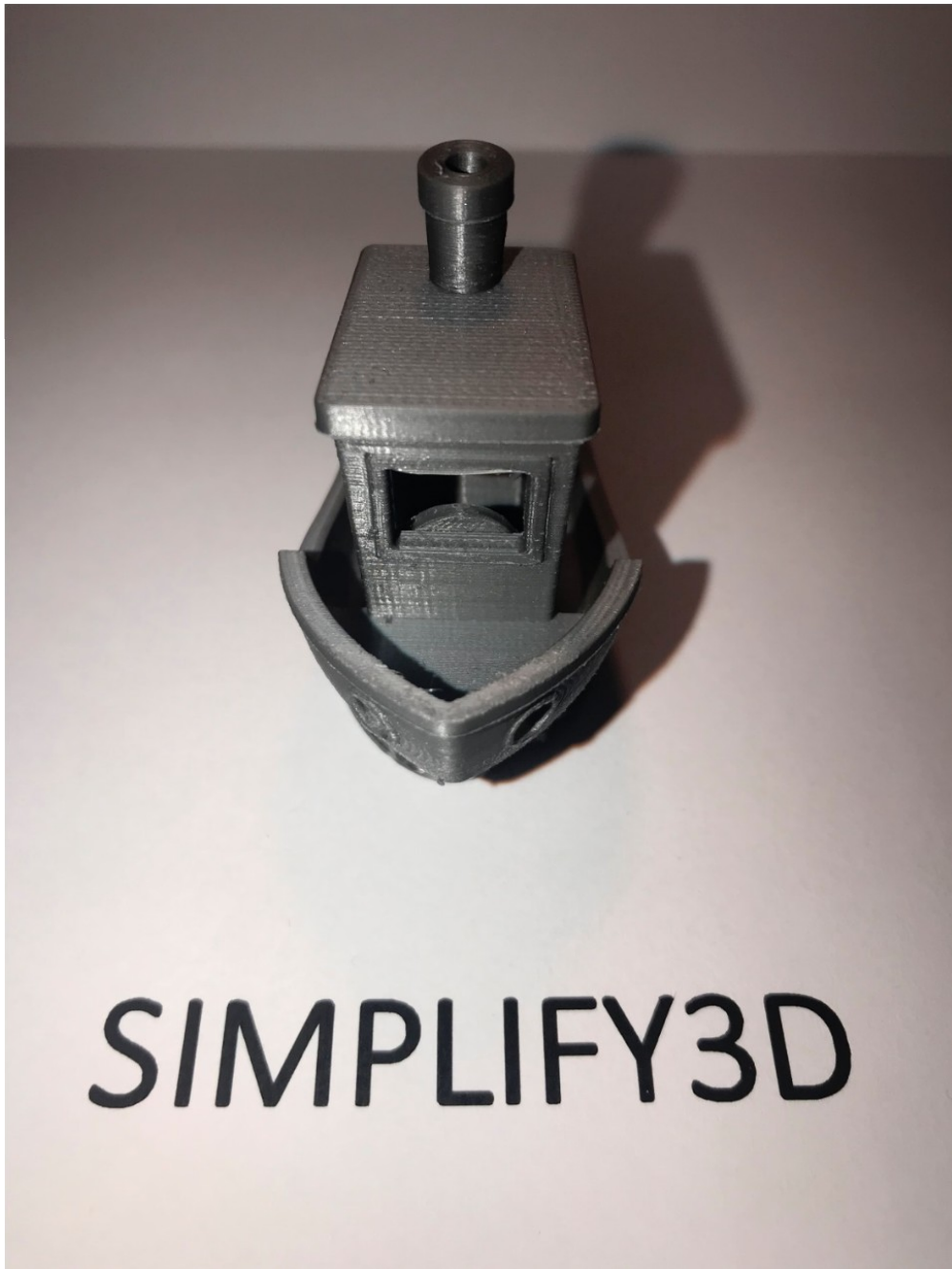
CRAFTWARE

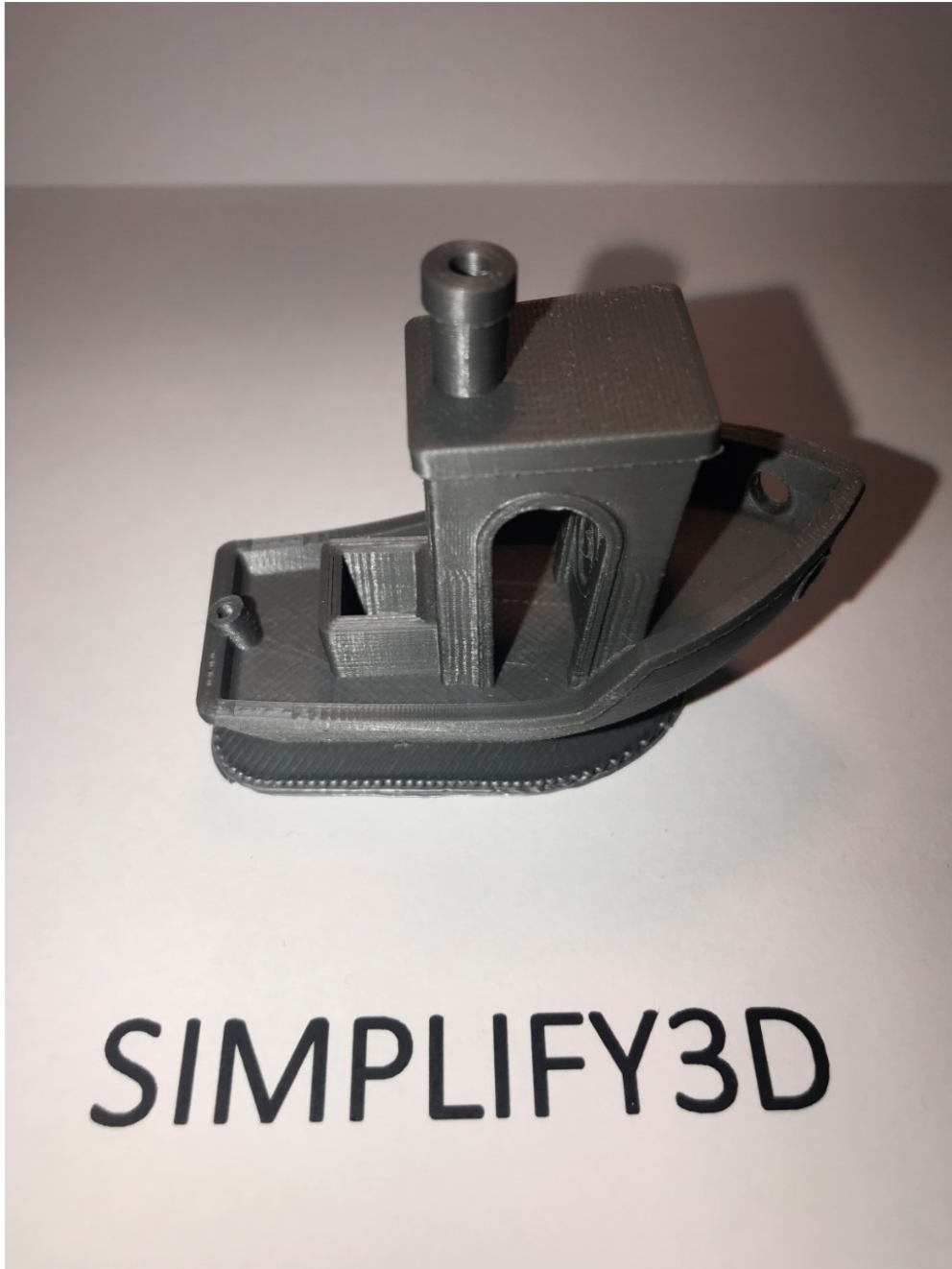


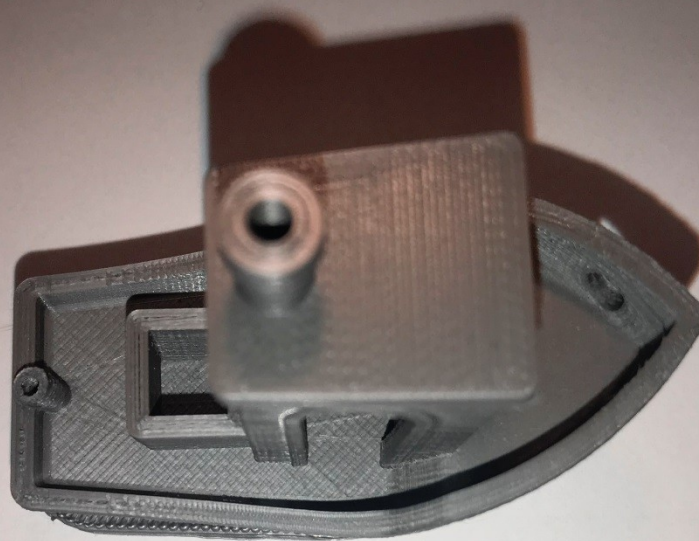




IDEAMAKER





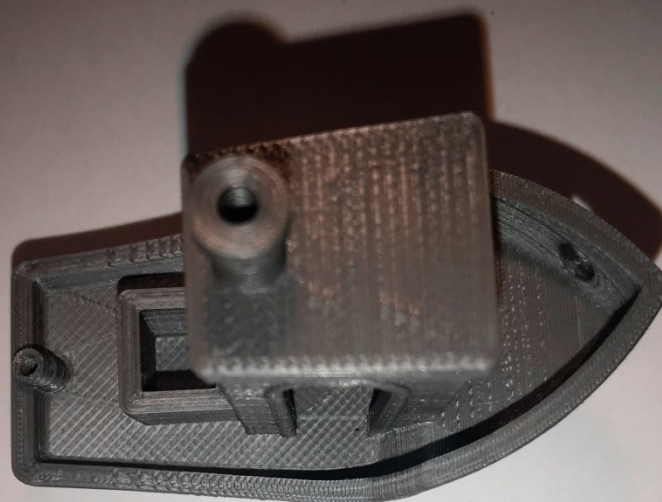


SIMPLIFY3D



SLIC3R PRUSA





SLIC3R PRUSA







SLIC3R



CRAFTWARE



SIMPLIFY3D



IDEAMAKER



CURA



SLIC3R PRUSA