



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

3D-tulostus

Case Printrobot

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikka
Tekninen visualisointi
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Lassi Arvekari

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikka

ARVEKARI, LASSI:

3D-tulostus
Case Printrbot

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 40 sivua

Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää 3D-tulostustekniikan perusteita ja 3D-tulostuksen nykytilannetta. 3D-tulostukseen sopivien mallien luomista tutkitaan ja mallin tekemiseen on etsitty toimivia ohjesääntöjä.

Tärkeä osa työtä on tutkia mitä vaiheita 3D-tulostimen hankinnassa kotikäyttöön tulee vastaan. Käytännön kokeita varten opinnäytetyössä on case Printrbot, jossa on tutustuttu edulliseen 3D-tulostuslaitteeseen kokoonpanosta lähtien.

Työn kuluessa selvisi että edulliset 3D-tulostinlaitteet eivät ole aivan yhtä yksinkertaisia rakennettavia kuin mediassa on esitelty. Kalibrointivaiheeseen on tarpeellista varata paljon aikaa. Itse tulostus ja omien 3D-tulosteiden tutkiminen ei mahtunut opinnäytetyön aikatauluun.

3D-tulostus havaittiin kuitenkin erittäin potentiaaliseksi tekniikaksi ja sen yleistymiselle ei näytä olevan suuria esteitä tällä hetkellä. Laitteiden hinnat laskevat ja internetin luomat mahdollisuudet 3D-tulostukseen, kuten 3D-tulostuspalvelut ja -mallikirjastot, monipuolistuvat kiihtyvällä tahdilla.

Asiasanat: 3D-tulostus, pikavalmistus, mallintaminen, 3D-tulostuspalvelut

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Media Technology

ARVEKARI, LASSI:

3D printing
Case Printrbot

Bachelor's Thesis in Visualization Engineering 40 pages

Spring 2013

ABSTRACT

The thesis deals with the basics of 3D printing technology and examines the current state of the 3D printing industry. Creation of 3D models suitable for 3D printing is studied and working guidelines for applicable models are established.

An important part of the thesis is to find out what steps home users are required to take when they purchase a 3D printer. The case part of the thesis, Printrbot, involves experiments with a budget 3D-printer kit, beginning from the assembly phase.

During the work it became clear that budget 3D printing devices are not as straightforward to assemble and calibrate as the media suggests. Users are required to reserve plenty of time for the calibration phase alone. Printing of own 3D models did not fit into the scheduled time for the thesis.

3D printing was found to be a very potential techniq and its expansion to mainstream knowledge does not seem to be hindered by anything at the moment. List prices of the 3D printing devices are on continuous drop and prospects created by innovative internet phenomas such as online 3D printing services and 3D model libraries for 3D printing drive the industry forward at an ever increasing rate.

Key words: 3D printing, rapid prototyping, modeling, 3D printing services

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	3D-TULOSTUSTEKNIIKAT	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Historia	3
2.3	Tulostustekniikat	6
3	3D-TULOSTUS KOTITALOUKSISSA JA ERI INSTITUUTIOISSA	8
3.1	Nykytilanne	8
3.2	Tulevaisuus ja visiot	8
3.3	Uhkakuvat	10
4	3D-MALLIEN VALMISTELU TULOSTUSTA VARTEN	12
4.1	Tulostusta edeltävät toimenpiteet mallinnusohjelmassa	12
4.2	Mallin rakenne 3D-tulostuksessa	13
4.2.1	Tulostukseen soveltuva geometria	13
4.2.2	Tuki- ja täyterakenteet	15
5	OMAN LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO (CASE: PRINTRBOT)	16
5.1	Laite	16
5.1.1	Spesifikaatiot, tilaus ja toimitus	16
5.1.2	Osat ja tarvikkeet	17
5.1.3	Kokoonpanokokemuksia	19
5.2	Ohjelmistot	22
5.2.1	Ohjausohjelmisto	22
5.2.2	Kalibrointi	24
5.2.3	Viipalemallin luominen	26
5.2.4	Mallin lataus tulostimeen	27
5.3	Tulostus	27
5.3.1	Testikappale	27
5.3.2	Tulostuksen laadun parantaminen	28
5.3.3	Materiaalikustannukset	29
6	INTERNETIN TARJOAMAT MAHDOLLISUUDET 3D-TULOSTUKSEEN	31
6.1	Mallikirjasto Thingiverse	31
6.2	Maksulliset tulostuspalvelut	32

6.2.1	Palveluiden perusominaisuudet	32
6.2.2	Shapeways	33
6.2.3	i.materialise	34
6.2.4	Sculpteo	34
6.2.5	Ponoko	35
7	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	38
	KUVALÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään 3D-tulostusta yleisesti, vertaillaan eri tulostustekniikoita ja selvitetään mitä tällä hetkellä on mahdollista tulostaa suoraan kolmiulotteisiksi kappaleiksi. Historiasta käydään läpi merkittäviä käännekohtia 3D-tulostuksen kannalta. Nykytilaa kartoitetaan mediassa ja julkisissa instituutioissa liikkuvien uutisten ja päätösten pohjalta. Tulevaisuudennäkymiin on poimittu asioita jotka voivat vaikuttaa 3D-tulostuksen yleistymiseen merkittävällä tavalla.

3D-mallien käsittelyä ja valmistelua tarkastellaan 3D-tulostusta silmällä pitäen 3ds Maxissa. SolidWorksin toimintaa 3D-tulostuksessa on tarkasteltu lyhyesti. Mallin geometrian ja muotojen vaatimuksista käydään läpi yleisimmät ohjesäännöt, joiden noudattaminen on suositeltavaa. Myös ohjelmistojen luomat muutokset lopputuloksen geometriaan, kuten tuki- ja täyterakenteet, ovat huomioitu.

Casessa tarkoitus on tutustua 3D-tulostimen hankintaan kotikäyttöön ja sen vaatimiin eri työvaiheisiin. Casen käytännön kokeita varten on tilattu edullinen tulostuslaitteen rakennussarja Printrobot. 3D-tulostimen kokoonpano ja käyttöönotto sekä kalibrointi käydään läpi elektroniikasta ja mekaniikasta vain vähän tietävän, 3D-mallinnuksen osajan näkökulmasta. Samalla selviää kuinka käyttövalmista halpa 3D-tulostustekniikka on suuremmalle yleisölle.

3D-tulostimen perusosat ja toimintaperiaatteet selvitetään, jotta voidaan tutkia millä tavoin Printrobotin tekniset ratkaisut poikkeavat muista tulostimista. Tulostuksen materiaalikustannukset muuttuvat jatkuvasti, mutta jotta tulostuksen hinnasta muodostuisi suurpiirteinen kuva, on Printrobot-tulostimen käyttämän materiaalin hankinta- ja käyttökustannuksiin tutustuttu laskelmilla.

Tulostimen ohjelmistoista käydään läpi tulostimen ohjainohjelmistot, kuten Pronteface ja viipalointiohjelma Slic3r. Myös internetin 3D-tulostusmallikirjastoiden, kuten thingiverse, hyödyntämistä selvitetään.

Lopuksi arvioidaan käyttäjän kannalta helpoimman vaihtoehdon eli 3D-tulostuspalvelun hyödyntämistä. 3D-tulostuspalvelut ovat valittu niiden suosion ja tavoitettavuuden näkökulmasta.

2 3D-TULOSTUSTEKNIIKAT

2.1 Yleistä

3D-tulostuksessa on kysymys kolmiulotteisten esineiden, osien ja mallien valmistuksesta muovista ja muista materiaaleista. 3D-tulostus muovilla on yksi vaihtoehto monista muista Rapid Prototyping (RP) pikavalmistus-prosesseista. Pikavalmistuksessa pyritään luomaan konkreettinen fyysinen kappale automaattisesti ja minimoimaan vaadittava käsityön määrä.

3D-tulostin saa ohjeensa digitaalisesta mallista, joka on luotu 3D- tai CAD-suunnitteluohjelmalla. Mallit eli geometriakuvaukset ovat yleensä STL-tiedostomuodossa. STL-formaatti on alun perin 3D-Systemsin kehittämä, mutta sitä käytetään nykyisin alalla standardinomaisesti. Siinä mallin geometria on kolmiomuodossa ja pyrkii jäljittelemään alkuperäistä 3D-mallia määriteltävissä olevan toleranssin tarkkuudella. (Laakko, Sukuvaara, Borgman, Simolin, Björkstrand, Konkola, Tuomi, Kaikkonen 1998, 117)

3D-tulostusta on ollut eri muodoissa jo kahdenkymmenenviiden vuoden ajan, mutta koti- ja harrastelijakäyttöön soveltuvat laitteet ovat yleistyneet vasta viimeisen viiden vuoden sisällä. Nykytilannetta kuvataan, varsinkin mediassa, henkilökohtaisen 3D-tulostuksen läpimurtona. Ennen erittäin kalliit tulostuslaitteistot ovat kickstarter-projektien ja tekniikan yleistymisen, standardien ja ilmaisten ohjelmistojen avulla saatu räätälöityä harrastelijoille sopivaan kokoluokkaan – ja ennen kaikkea budjettiin. Mielenkiintoisin kustannuksia pudottava tekijä ovat RepRap-tulostimet, jotka kykenevät monistamaan itsensä ainakin osittain.

Vakiintuneet menetelmät ja pitkälle kehitellyt laitteet selkeine käyttöohjeineen ovat edellytys sille, että 3D-tulostajan ei tarvitse olla välttämättä insinööri tai suunnittelija, jotta voi tilata välineet ja tuottaa omia tulosteitaan. Toistaiseksi varsinkin halvoilla tulostinjärjestelmillä on vielä harmillisia puutteita monellakin näistä eri osalueista.

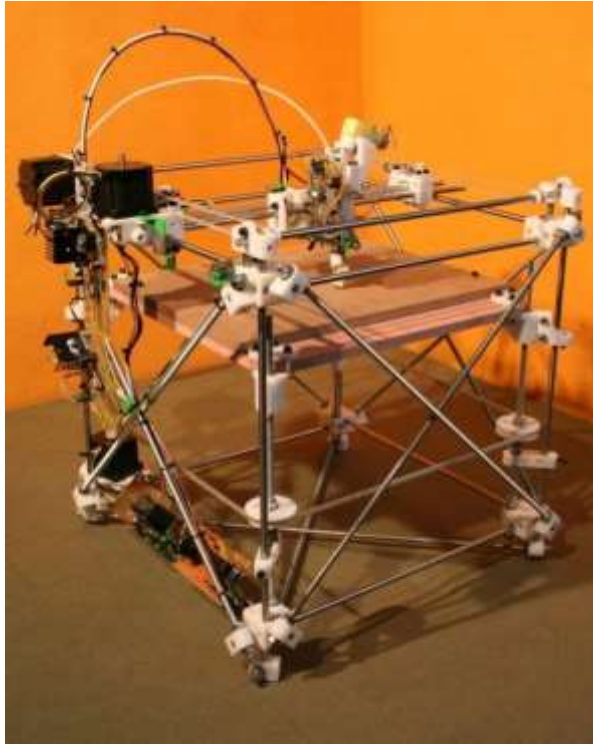
2.2 Historia

1980-luvun alkupuolella mustesuihkutulostimet alkoivat yleistyä ja samalla mielenkiinto musteen sijaan muilla materiaaleilla tulostamiseen kasvoi merkittävästi. Ensimmäisen kaupallisen 3D-tulostimen, joka käytti tekniikkana “stereolithography”, kehitti Charles Hull vuonna 1984. (T. Rowe Price 2011).

1990-luvun alussa Hullin kehittämällä SLA:lla (Stereolithographic apparatus) tulostettiin osia ja malleja kerros kerrokselta. Hullin laitteessa muovia kuumennetaan optisesti laserilla. Tulokset olivat epätarkkoja, mutta todistavat että monimutkaisia kappaleita on kyseisellä tekniikalla mahdollista tulostaa lyhyessä ajassa. (T. Rowe Price 2011).

1999 ensimmäinen tulostettu orgaaninen elin vei lääketieteen kehitystä eteenpäin. Wake Forest Institute for Regenerative Medicine kehittämissä tekniikassa 3D-tulostettu virtsarakko päällystettiin potilaan omilla soluilla, jotta elimistö hyväksyisi sen. 2002 samat tiedemiehet kehittivät ensimmäisen toimivan 3D-tulostetun munuaisen. (T. Rowe Price 2011).

Kolme vuotta myöhemmin Adrian Bowyer Bathin yliopistosta, Englannista, perustaa open-source -projektin RepRap. Tarkoituksena oli kehittää 3D-tulostin joka kykenee tulostamaan suurimman osan uuden vastaavan tulostimen rakentamiseen vaadittavista osista. RepRap johtaa nimensä englannin kielen sanoista Replicating ja Rapid prototyping ja viittaa juuri itsensä monistamiseen – replikointiin – kykenevään tulostimeen. Moottorit, suuremmat tukirakenteet ja elektroniikka ovat osia mitä ei voida replikoida. Ensimmäinen RepRap-projektin laajemmin vuonna 2008 julkaistu tulostin oli nimeltään Darwin (kuva 1). Kopioituminen ja evoluutio ovat RepRap-projektin yksi pääteemoista ja tästä johtuen suunnittelijat ovat nimenneet laitteensa kuuluisien biologisten mukaan. (T. Rowe Price 2011).



Kuva 1. Darwin kykenee monistamaan omia osiaan.

Shapeways, nykyisin merkittävä 3D-tulostuspalveluja tarjoava yritys, perusti 2008 yhteisön, jossa muotoilijat, arkkitehdit ja suunnittelijat pystyivät jakamaan 3D-tulostukseen soveltuvia 3D-mallejaan. (T. Rowe Price 2011).

2008 oli myös terveydenhuollon 3D-tulostuksen kannalta merkittävä. Ensimmäinen 3D-tulostettu prosteettinen jalka luovutettiin potilaalle käytettäväksi. Hyödyt perinteiseen valmistusmenetelmään verrattuna olivat merkittävät. Osan hajotessa klinikka tulostaa korvaavan osan ja lähettää sen postissa potilaalle. Lisäksi prosteettista jalkaa voidaan helposti muokata käyttäjän tarpeiden mukaan ja yksinkertaisesti tulostaa uusi päivitetty versio. Saman tutkimuksen johdannaisia on myös Bespoke Innovations niminen yritys, joka tekee prosteettisille jaloille koristekuoria (kuva 2). (T. Rowe Price 2011).



Kuva 2. Bespoke Innovationsin valmistama proteettisen jalan koristekuori.

Viime vuosina 3D-tulostuksen mittakaavan voidaan katsoa kasvaneen, sillä ensimmäinen robotiikalla ohjattu lentokone tulostettiin vuonna 2011 Southamptonin yliopistossa Englannissa ja samana vuonna valmistui myös ensimmäinen 3D-tulostettu Kor Ecologicin Urbee -ekoauto. Lisäksi tulostusta muilla materiaaleilla kuin muovilla oli viety eteenpäin. i.materialise aloitti tarjoamaan kulta- ja hopeakorujen tulostusta palvelussaan (kuva 3). (T. Rowe Price 2011).



Kuva 3. i.materialise yrityksen tulostama kultakoru.

2.3 Tulostustekniikat

Reduktiivinen tulostustekniikka on käytännössä CNC:tä. Suurempaa kappaletta jyrssiään, porataan ja leikataan kunnes se saavuttaa. Ylimääräinen materiaali menee periaatteessa hukkaan, ellei sitä voida materiaalista riippuen mm. sulattaa jälleen kokonaiseksi kappaleeksi. Tämä tekniikka ei sovellu hyvin harrastelijalle, sillä se on materiaalikustannuksiltaan kallista. CNC-tyyppinen prosessi teettää paljon pölyä ja likaa, joten puitteet, kuten ilmanvaihto ja suojaus tulee myös olla kunnossa.

Additiivinen tekniikka on harrastelijan kannalta paras valinta. Kappaleen luomiseen kuluu juuri se määrä materiaalia mitä itse muoto ja sen tukirakenteet vaativat. Ylijäämää ei tule. Additiiviset tulostimet, perustuvat laitteet käyttävät raaka-aineena yleensä ABS tai PLA-muovia, mutta myös resiiniin pohjautuvia materiaaleja käytetään. Tyypillisesti materiaali on joko jauhetta tai kelalta syötettävää muovinauhaa.

Additiivisessa tulostusprosessissa 3D-malli viipaloidaan, tulostimesta riippuen, ohuisiin millistä millin kymmenesosan korkuisiin kerroksiin. Kerroksien luomisessa käytettäviä ohjelmia kutsutaan Slicereiksi. Slicerit ovat viipalointiin erikoistuneita ohjelmistoja. Suomalaisessa kirjallisuudessa ja puhekielessä viipalointia usein kutsutaan slaissaamiseksi toimenpiteeseen käytettävien ohjelmien mukaisesti. Tulostimelle syötetään slicerin tekemä, ohuisiin kerroksiin perustuva, slaisattu malli ja tulostimen on helppo tulostaa se viipale viipaleelta valmiiksi kappaleeksi.

Eri tekniikoita kerroksien luomiseen on monia. Fused Deposition Modeling -harrastelijalaitteissa yleistynein tekniikka - perustuu kiinteään kelalla olevan muovin syöttämiseen tulostimen kuumenninyksikön (Thermoplastic extruder) läpi. Kuumenninyksikkö liikkuu ja syöttää materiaalia kerroksiksi tulostuspöydälle, kunnes malli on valmis. Tekniikan etuna on hyvä tarkkuus, lopputuotteen kestävyys ja joillakin tulostintyypeillä moniväristen tulosteiden luominen. Pinnankarheus voi muodostua ongelmaksi ja aiheuttaa jälkikäsitteilyä. (Protosys 2005).

Stereolithography - Sterolitografiaan perustuvassa tulostimessa kerrokset luodaan UV laserilla. Raaka-aineena käytettävä materiaali on SLA-laitteessa nestemäisessä muodossa ja laser jähmettää siitä kerrokset kiinteäksi materiaaliksi. Tekniikka on

tarkka, pinnoista tulee sulavia ja ulokkeet voivat olla yksityiskohtaisia. Materiaalien valinta on rajoittunutta ja moniväritulosteita ei voida tehdä. (Protosys 2005).

Selective Laser Sintering - valikoiva laser sintraus - toimii käyttämällä hiilidioksidilaseria ja jauhemateriaalia. Laser sulattaa ja sitoo jauhetta kerros kerrokselta valmiiksi malliksi. Tekniikan etu on lopputuotteen kestävyys. Tarkkuus ei ole muiden tekniikoiden tasoinen, pinnoista tulee karheita ja moniväritulosteet eivät onnistu. (Protosys 2005).

3 3D-TULOSTUS KOTITALOUKSISSA JA ERI INSTITUUTIOISSA

3.1 Nykytilanne

3D-tulostimen hankintaa kotitalouteen on hankala perustella sen talouteen tuomilla säästöillä, jos sillä luodaan kodin pientarvikkeita. Tämän tyyppiset laitteet, ainakin toistaiseksi, ostetaan ennen kaikkea mielenkiinnosta uutta tekniikkaa kohtaan. Kuten monet muutkin erikoiset harrastukset, on 3D-tulostus huomattavan kallista, eikä ilman hyvää liikeideaa ja jonkin asteista massatuotantoa, johon kotilaitteistot huonosti soveltuvat, päästä tulostamalla voitolle.

Mielenkiinnolla, näpertelytaidolla ja uuden oppimiselle avoimella mielellä pääsee pitkälle 3D-tulostuksen maailmassa. Lähestymistapoja kotitulostukseen on monia. Laitteet voidaan hankkia valmiiksi koottuina, jolloin ne ovat kalliimpia, mutta niillä päästään heti kalibraatiovaiheeseen ja toimimaan ohjelmistojen kanssa. Halvempi ratkaisu on ostaa tulostinlaite osina ja rakentaa se itse alusta lähtien. Rakentaminen video-oppaiden, epämääräisten ohjeiden ja puutteellisten tulostinosapakkettien takia on huomattavasti vaikeampaa kuin yleensä tee-se-itse -paketit ovat osoittautuneet. Tarvittavat välineet ovat kuitenkin tavanomaisia, kuten ruuvimeisseli ja nippusiteet; kalliita lisähankintoja ei ole välttämätöntä tehdä. Jos aikoo poiketa laitteen valmistajan suunnitelmista reilusti, välineitä ja työkaluja tarvitaan luonnollisesti enemmän.

3D-tulostimen valinnassa on murheena nykyisin mahdollisuuksien runsaus. Päivitettyjä ja täysin uusia malleja jo vakiintuneilta valmistajilta, kuten MakerBotilta ja RepRapilta, tulee tiheään tahtiin sekä uusia tulokkaita markkinoille syntyy jatkuvasti. Tulostimet ovat toinen toistaan halvempia, tarkempia, helpompia tai muuten koettavat erottua joukosta.

3.2 Tulevaisuus ja visiot

3D-tulostus ja pikavalmistus yleensä ovat tällä hetkellä lyömässä läpi suuremman yleisön tietoisuuteen. Vuonna 2012 Barack Obama mainitsi liittovaltion tilaa käsit-

televässä puheessaan 3D-tulostuksella olevan mahdollisuus mullistaa tapa jolla asioita luodaan. Kun maailman vaikutusvaltaisin presidentti ja lehdet kuten The Economist, Forbes ja The New York Times vakuuttavat että käsillämme on tuotannon vallankumous, voi asiaan helposti jo uskoa.

The Economistin mukaan digitaaliseksi muuttuva tuotteiden valmistus tulee siirtämään osan työpaikoista takaisin rikkaisiin maihin. Valmistus ei ole enää haalari-työtä. Likaisien ja meluisien tehdassalien sijaan työ tehdään hiljaisissa ja puhtaissa olosuhteissa, pääasiassa automatisoidusti. (The Economist 2012)

Forbes ja The Economist ovat molemmat yhtä mieltä siitä että 3D-tulostinlaitteistojen dramaattinen hinnan lasku tulee merkitsemään laitteiden vääjäämätöntä yleistymistä valmistusmarkkinoilla. Lisäksi uusien valmistusmateriaalien, kuten metallien, käyttö lisää käyttökohteita olennaisesti. 3D-tulostuspalveluiden helppokäyttöiset www-käyttöliittymät laskevat kynnystä 3D-tulostuksen hyödyntämisessä. (Wolfe 2012)

New York Timesin mukaan perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettujen, asiakkaan mieltymysten mukaan personoidut tuotteet ovat olleet erittäin kalliita, koska normaalisti edulliset hinnat vaativat massatuontantaa. 3D-tulostuksessa personointi on yksi suurimmista myyntivalteista, sillä tulosteen hinta muodostuu käytetyn materiaalin määrän mukaan ja 3D-tulostinta ei tarvitse muokata eri kappaletta tulosettaessa. Yksittäisiä uniikkeja tuotteita voidaan valmistaa huomattavan edullisesti. (Vance 2010)

Yhdysvaltain hallitus ja puolustusministeriö on lupautunut sijoittamaan lähivuosina 60 miljoonaa dollaria ohjelmaan joka pitää sisällään 3D-tulostuksen tutkimusta ja opetusta. 18,8 miljoonaa dollaria käytettiin vuonna 2012, jotta ohjelma saatiin kerralla vahvasti käyntiin. Ohjelma on osa Obaman yhden miljardin dollarin hanketta jonka on tarkoitus luoda kansallinen valmistusteollisuuden innovaatioverkosto. (Dehue 2012)

Ensimmäinen 3D-tulostusinstituutti, The National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII) Ohiossa, on jo täysin toimintakykyinen. Sen tarkoitus on

toimia pilottikokeiluna seuraaville 15. vastaavalle laitokselle, jotka Obaman hankkeella on tarkoitus pystyttää. Projektin rahoitukseen osallistuvat myös yksityiset sijoittajat. (Dehue 2013)

Viitteitä siitä, että 3D-tulostusbisneksessä liikkuu entistä suurempia summia sijoituksia antaa myös se että Wall Street Journalin kaltaisiin lehtiin ilmaantuu koko sivun mainosilmoituksia alan yrityksiltä, kuten Stratasysiltä.

Yksi erikoisimmista ja toteutuessaan mullistavimmista kehitysprojekteista on professori Lee Cronin Chemputer. Glasgown yliopistossa neljänkymmenenviiden tutkijan ryhmä selvittää mahdollisuutta tulostaa lääkkeitä. Chemputer on molekyyli-tason 3D-tulostin joka käyttää "musteena" alkuaineita tai niiden helpommin käsiteltäviä muotoja. (Adams 2012).

3.3 Uhkakuvat

Alkuvuodesta 2012 maailman suurin BitTorrent-seurantapalvelin The Pirate Bay - TBP, julkaisi blogissaan laajentavansa tarjontaansa uudella "Physibles" – kategori-alla. TPB uskoo että tulevaisuudessa 3D-tulostaminen on luonnollinen jatko vapaalle ohjelmistojen jakamiselle verkossa (The Pirate Bay, 2012.). Shapeways vastasi TPB:n blogiviestiin omassa blogissaan ja totesi että 3D-tulostusmallien lataamisessa verkosta ei sinänsä ole mitään uutta, mutta jatkossa vastaavan kehityksen vaikutuksia tekijänoikeusnäkökulmasta tulee seurata (Shapeways, 2012.). Keväeseen 2013 mennessä TPB:n Physibles ei ole saanut suurta suosiota, ehkä pääasiassa 3D-tulostusmallien saatavuuden ollessa jo muutenkin hyvällä tasolla.

Loppuvuodesta 2012 Makerbot Industries päätti vetää kaikki aseiden osat ja mallit thingiverse 3D-kirjastostaan. Käyttöehtoihin lisättiin kohta jossa kielletään aseiden rakentamista edesauttavien osien lisääminen kirjastoon. Päätös johtui mediassa pinnalla olleesta huolesta, että aseiden osien tulostus rikollisissa tarkoituksissa oli muuttumassa liian vaivattomaksi. Päätöksen aikaan Yhdysvalloissa oli sattunut useita ammuskelutapauksia ja aselaki oli yleisesti julkisuudessa kyseenalaistettu. (Brown 2012).

Vastaukseksi thingiversen sensuroinnille Defence Distributed -organisaatio, jonka tavoitteena on 3D-tulostettujen aseiden, aseiden varaosien ja asiaan liittyvän informaation jakelun kehitys, perusti DEFCAD-palvelun. DEFCADin tarkoitus on olla sensuroimaton ja vapaa hakupalvelu kaikkeen aseiden 3D-tulostukseen liittyvään. (Defcad.org, 2013.)

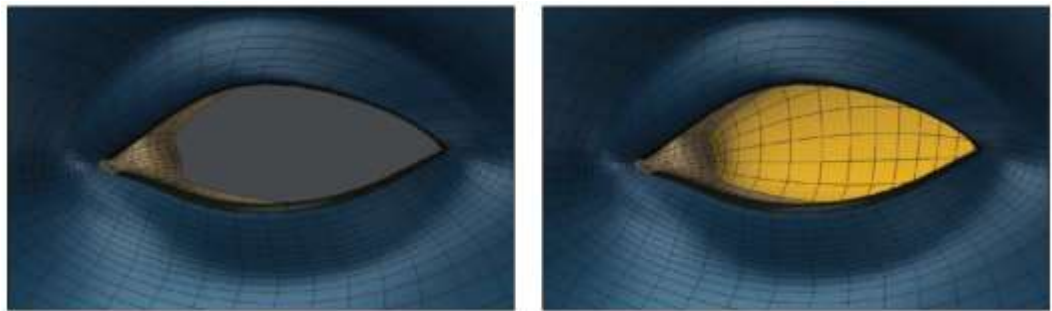
Tällä hetkellä DEFCADin koko noin 150 artikkelin 3D-tulostusmallikirjaston voi ladata ilman minkäänlaista kirjautumista palveluun. Kirjasto pitää sisällään muu-
muassa panoksien, pistoolien, kiväärien, granaattien ja äänenvaimentimien malleja.

4 3D-MALLIEN VALMISTELU TULOSTUSTA VARTEN

4.1 Tulostusta edeltävät toimenpiteet mallinnusohjelmassa

Mallinnusohjelman valinnalla ei ole juurikaan vaikutusta lopputulokseen 3D-tulostuksessa. Parasta on luoda malli ohjelmalla joka on ennalta tuttu. Siten mahdollisten ongelmakohtien korjaus onnistuu nopeasti. Pääpiirteittäin kaikkia ohjelmia koskevat samat ohjesäännöt, joiden mukaan malli tulisi valmistella tulostusta varten.

Tulostustarkoitukseen suunnitellussa mallissa meshien täytyy olla suljettuja (kuva 4) Avonaiset reiät mallissa aiheuttavat ongelmia tulostusvaiheessa. Mallia kannattaa ajatella vesitiiviinä kappaleena, jonka sisälle laitetun veden ei pitäisi päästä karkaamaan mistään kohdasta ulos.



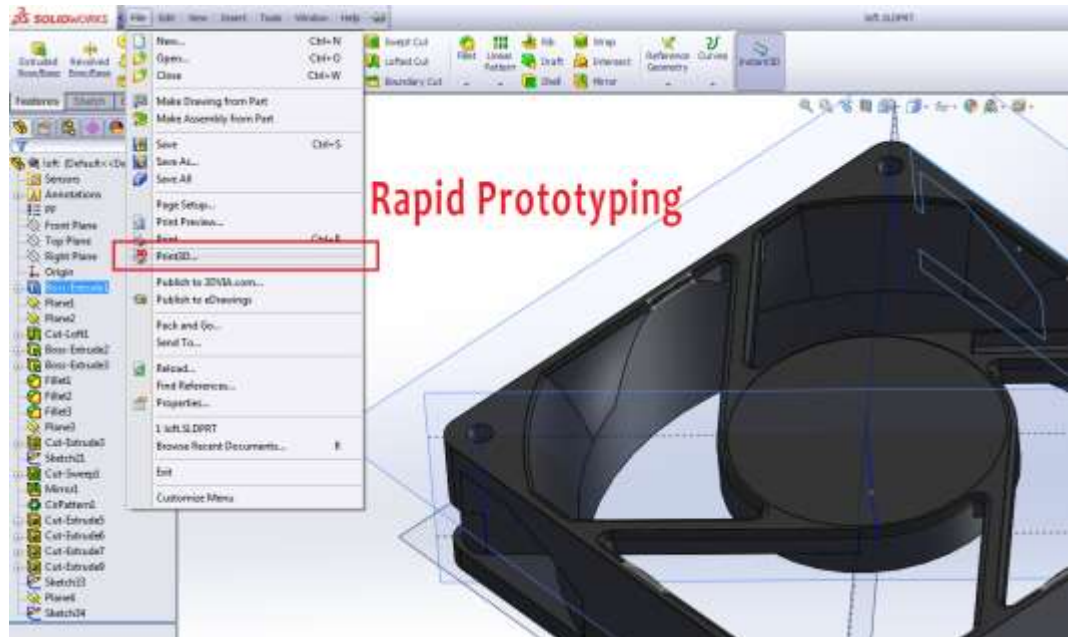
Kuva 4. Oikealla tavalla suljettu aukko mallin geometriassa.

Tekstuurit, bump- ja displacement mapit ovat hyödyttömiä tulostettavalla mallilla ja ne tulisi poistaa. Kaikki mitä mallilla halutaan esittää, täytyy olla luotuna polygoneilla eli geometrialla. Surface- ja smoothing modifierit, kuten MeshSmooth toimivat, mutta niiden käytön jälkeen kannattaa paketoida koko malli make mesh -toiminnolla.

Kappale voi koostua useasta eri osasta, mutta tällöin meshien täytyy olla risteäviä mallinnusohjelmassa. Tulostimen täytyy nähdä ne yhtenäisenä meshinä. (Vaughan 2012, 330).

CAD-ohjelmissa, kuten SolidWorksissa mallin tarkastaminen polygonitasolla ei ole mahdollista. SolidWorksin 2013 versiossa on suora tuki muutamille yhteistyökumppanien 3D-tulostimille. Yhteistyökumppaneiden, kuten Stratasysin ja Objetin

tulostimet ovat kuitenkin ammattilaistasoa ja erittäin kalliita. Tulostamaan pääsee suoraan päävalikosta ja tarvittavien asetusten säätäminen ei ole monimutkaista, mutta toisaalta tulostuksen monipuolinen hienosäätö ei ole mahdollista (kuva 5). Harrastelijatulostimille ei kirjoitushetkellä löydy SolidWorksin kanssa yhteensopivia tulostinajureita, eikä yritys ehkä haluakaan että niitä käytettäisiin yhteistyökumppanien tulostimien sijasta.



Kuva 5. SolidWorksin (2013) voi tulostaa 3D-mallin suoraan.

4.2 Mallin rakenne 3D-tulostuksessa

4.2.1 Tulostukseen soveltuva geometria

Mallia suunniteltaessa on suositeltavaa välttää tarpeettomia ulokkeita. Ohuet ulokkeet, kuten siivet, evät ja miekat voivat helposti katketa tai vääntyä. Mahdollisuuksien mukaan pieniä osia kannattaa koettaa tulostaa erikseen ja liimata ne lopulliseen malliin kiinni. Hahmoilta sarvia ja sormia ei yleensä tarvitse poistaa.

Jotta mallista saisi jäməkämmän, kannattaa sen kuoren paksuutta lisätä. Hyvä minimipaksuus kappaleiden seinämille on n. yksi millimetri. Tulostuslaitteesta riippuen tämä saattaa vaihdella ja yleensä tulostimen käyttöohjeissa on kerrottu suositeltavat arvot. Kapealta vaikuttavia kohtia mallissa kannattaa jo mallinnusvaiheessa

muuttaa vankemmiksi. Näistä tärkeimpiä hahmoa tulostettaessa ovat ranteet, nilkat ja pään painoa kannatteleva kaula.

Mitä suurempi tuloste, sitä enemmän siihen mahtuu yksityiskohtia. Koska tulostimien tarkkuus on rajoittunutta, on mallin yksityiskohtien esilletuomiseksi kompensoitava sitä tekemällä mallista suurempi (kuva 6).



Kuva 6. Suuressa mallissa on enemmän yksityiskohtia kuin pienessä.

Mallin polygonien tulee olla selkeitä. Jos slicer ei ymmärrä polygonin suuntaa, voi se kääntyä viipalemallia tehdessä väärin päin ja aiheuttaa ongelmia. Usein tällaisiin kohtiin voi tulla tulostaessa reikiä.

Ota huomioon, miten malli pysyy pystyssä. Karikatyyrinen hahmo, jolla on iso pää, voi toimia hienosti animaatiossa, mutta tulostetulle mallille pätevät oikeat fysiikan lait. Tämän tyyppisissä tapauksissa hahmolle on luotava vastapainoksi riittävän suuri alusta, jos haluaa että se pystyy pöydällä pystyssä.

Koska tulostusalue on rajallinen ja halvoissa tulostimissa hyvinkin pieni, on syytä harkita mallin jakamista osiin. Osia voi liimata jälkeinpäin yhteen tai malliin voidaan suunnitella esimerkiksi ruuveilla toimiva osien kiinnitystapa.

3D-tulostuksessa käytettävät materiaalit maksavat, joten kaikilla ei ole varaa virheiden kautta oppia 3D-tulostuksen saloja. Suurin osa aloittelijoiden virheistä on vältettävissä kysymällä asioista internetin palstoilla tai oppaita lukemalla. Lisäksi eri palstoilla ja kirjastoissa käyttäjien toimivaksi toteamien mallien lähempi tarkastelu voi olla hyvin käytettyä aikaa, jos tarkoitus on myöhemmin suunnitella oma malli tulostustarkoituksiin. (Vaughan 2012, 332).

4.2.2 Tuki- ja täyterakenteet

Materiaalin säästämiseksi tulostettavista kappaleista kannattaa tehdä onttoja. Ontto malli ei kuitenkaan ole välttämättä tarpeeksi kestävä. Slic3r-ohjelmisto osaa slaisatessa tehdä mallille kiinteisiin kohtiin, ja kohtiin joissa on ulokkeita, tuki- ja täyterakenteita jotka tekevät tulostamisesta helpompaa tulostimelle ja lopputuotteesta oikean muotoisen ja kestävä.

Infill -tulostuksessa on kyse erilaisten täytekuvioiden tulostamisesta. Tyypillinen Slic3rin käyttämä täytekuvio on 45 asteen kulmassa oleva ruudukkokuvio. Muita yleisesti käytettyjä täytekuvioita ovat erilaiset hunajakennot tai kuusikulmiot. Kuvion tiheys riippuu tulostimen asetuksiin annetusta prosentuaalisesta täytearvosta (Kuva 7). (Evans 2012)



Kuva 7. Kappale tulostettuna erilaisilla täytearvoilla.

5 OMAN LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO (CASE: PRINTRBOT)

5.1 Laite

5.1.1 Spesifikaatiot, tilaus ja toimitus

Printrbot Ltd. on amerikkalainen, Kaliforniasta kotoisin oleva yritys. Yritys sai rahoituksen tulostimen kehittämiseen Kickstarter -kampanjan avulla, mikä selittää osittain tulostimen edullista hintaa. Kickstarterissa kuka vain voi sijoittaa haluaansa tuotteeseen, jos haluaa sen kehityksen toteutuvan käytännössä. Vastineeksi sijoittaja saa tuotteen ensimmäisten joukossa itselleen. (Printrbot 2013).

Printrbot oli tilaushetkellä markkinoiden edullisin valmis tulostinrakennussarja. Verkkokaupasta tulostin on mahdollista tilata hieman eri versioina ja kunkin version saa kotiin toimitettuna joko koottuna tai osina. Opinnäytetyön teemaa ja oppimismahdollisuutta silmällä pitäen Printrbot LC on tilattu osina (kuva 8).



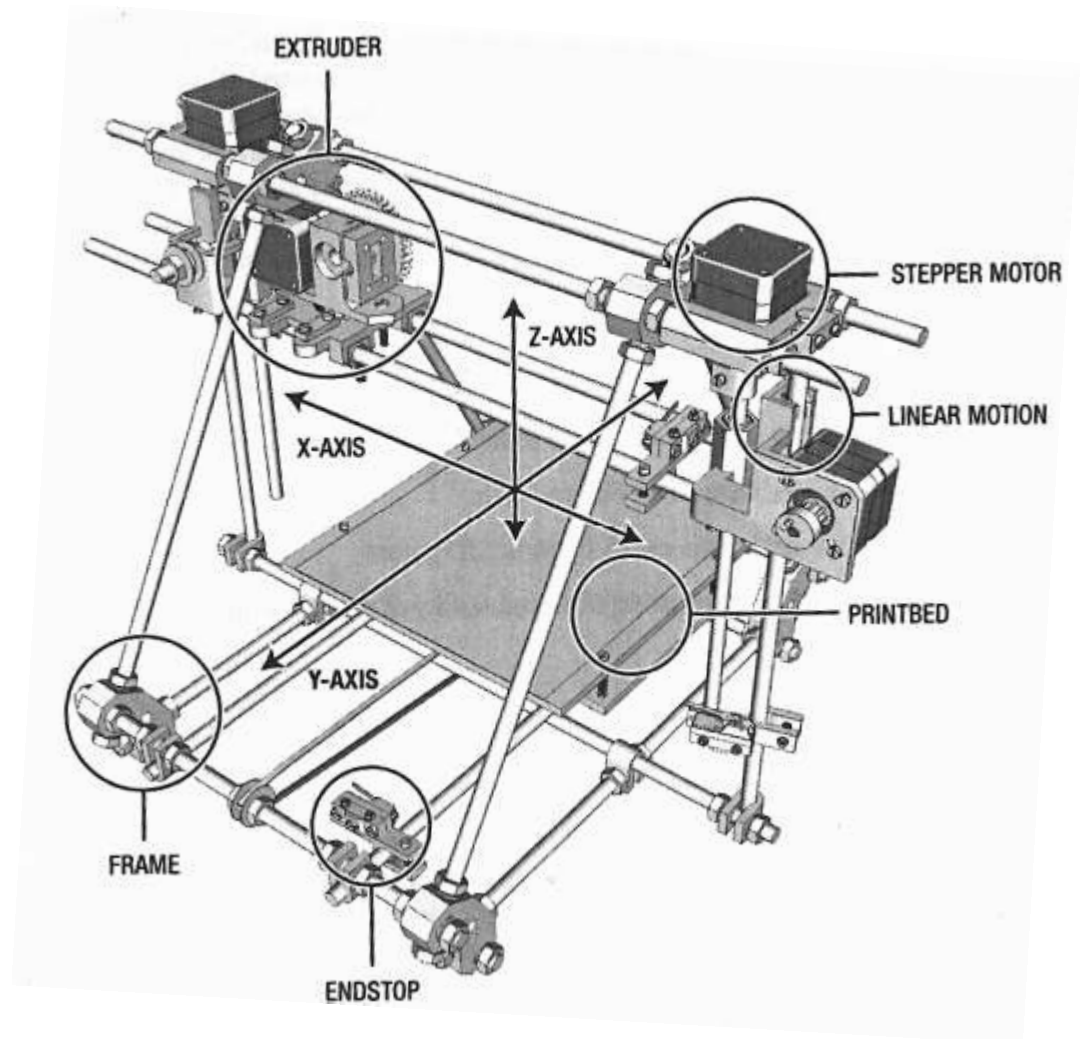
Kuva 8. Printrbotin pakkauksesta löytyvät osat.

Printrobot LC on malliston peruslaite. Lisäksi on hieman suurempiin tulostuksiin kykenevä Printrobot Plus sekä vielä askeettisempi versio Printrobot jr. Mukana kulkeva salkkuversio on nimeltään Printrobot GO. LC eli “Laser cut” lisänimi tarkoittaa yksinkertaisesti että laitteen rakenteen puuosat ovat laserilla leikattua vaneria. Yritys myy myös erikseen lähes kaikkia tulostimen osia, jos jokin niistä sattuu hajoamaan. (Printrobot 2013).

5.1.2 Osat ja tarvikkeet

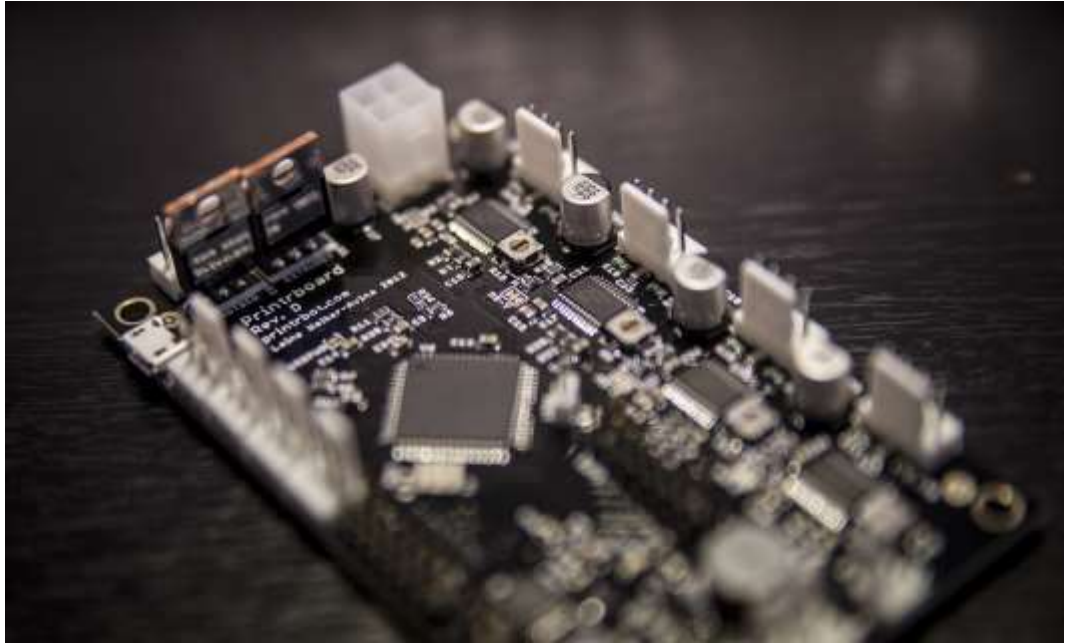
Pienikin tulostin koostuu suuresta määrästä osia. Runko on vaneria, moottorit ovat kiinalaista tekoa ja ruuvit muttereineen ovat tuumakoossa päämarkkinoiden ollessa Yhdysvalloissa.

Edulliset tulostimet rakentuvat yleensä hyvin samanlaisista perusosista (kuva 9). Moottoreita on vähintään yksi per akseli. Printrobotissa Z-akselin siirtymäliikettä suorittaa kaksi moottoria molemmilla puolilla tulostinta. Vetotapa ei tällä akselilla ole hihna vaan kierteinen tanko. Z-akseleiden välillä kulkee silta, jossa kuumenninyksikkö on kiinni. Yksi moottori kuljettaa hihnan avulla kuumenninyksikköä sillalla edes takaisin muodostaen tulostimen X-akselin. Kuumenninyksikössä itsessään on myös moottori, jolla syötetään muovia sulatettavaksi. Y-akseli toimii Printrobotissa siten että tulostuspöytä liikkuu sillan alla Y-akselin suuntaisesti.



Kuva 9. Yksinkertaistettu piirros 3D-tulostimen perusosista.

Printrobotin mukana toimitetaan yhden piirilevyn ratkaisu printterin ohjauselektroonikalle. Printerboardiksi kutsutun piirilevyn (kuva 10) etuja ovat sen edullisuus, integroitu USB-portti ja -MicroSD muisti. Sillä voidaan ohjata muitakin laitteita kuin Printbottia, mutta se tukee vain yhtä kuumenninyksikköä. Lisäksi sen sisältämät moottorinohjausajurit voivat olla ongelmallisia käyttäjän muokkaamissa tulostinsuunnitelmissa. (Evans 2012, 35)



Kuva 10. Printboard Rev. D -piirilevy.

5.1.3 Kokoonpanokokemuksia

Vaneriset rungon osat kiinnitetään toisiinsa ruuveilla, joten on suositeltavaa valmistautua urakkaan akkuruuvaimella, ruuvien suuren kappalemäärän takia (kuva 11). Muita hyödylliseksi havaittuja työkaluja olivat nokkapihdit ja ylimääräiset nippusiteet. Myös puuliimaa voi hyödyntää eri kiinnityksissä, mutta se ei ole välttämätöntä. Rev D tulostimessa on yksi osa mikä on kiinnitettävissä vain liimalla. Työntömitta, josta näkee myös tuumakoot on hyödyllinen monessa eri vaiheessa. Lisäksi kalibraatiovaiheessa on välttämätöntä käyttää mittaa.



Kuva 11. Ruuvien, muttereiden ja muiden osien määrä on suuri.

Tulostimen mukana ei toimiteta minkäänlaisia ohjeita, vaan kokoonpanossa on luotettava youtubesta löytyviin videoohjeisiin. Testejä varten toimitettu tulostin on merkattu kehitysversioksi Rev D. Tämä aiheuttaa omat ongelmansa Rev B:n pohjalta tehtyjen kokoonpanoohjeiden seuraamisessa. Toisaalta Rev D:ssä on korjattu monia aiempien versioiden suunnitteluvirheitä. Monia aiemmin muovisia osia on korvattu vanerista leikatuilla (kuva 12), mutta kaikkien uusien osien käyttöön ei tarjota päivitettyjä ohjeita. Puutteellisia ohjeita ei paikkaa muu kuin mahdolliset keskustelupalstojen neuvot ja oma kekseliäisyys.

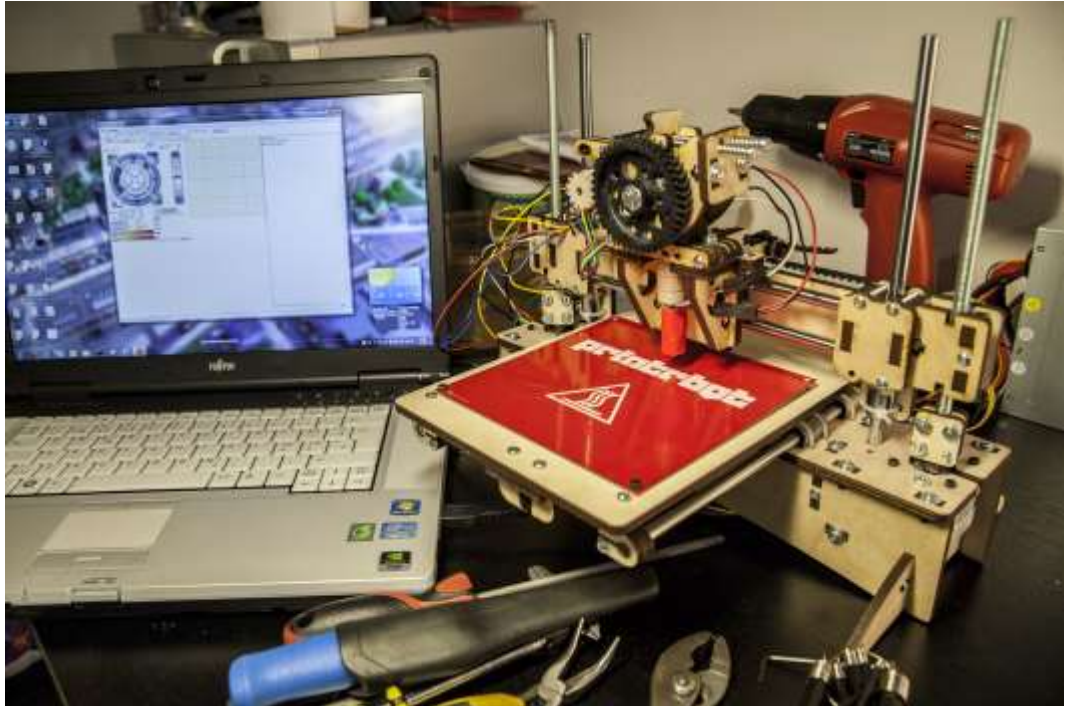


Kuva 12. Prinrbot LC:n muovisia osia on korvattu vanerilla.

Noin puolet laitteen kokoonpanossa tarvittavista ruuveista ja muttereista puuttui ensimmäisestä lähetyksestä - siis rakentamista vaille käyttövalmiista tulostinkitistä. Ilmeisesti yritykselle on tyypillistä lähettää puutteellisia paketteja, sillä yrityksen internetsivuilla oleva puuttuvien osien tilauslomake on erittäin helpokäyttöinen. Vahvistusta uusien osien lähetyksestä ei tullut, mutta vajaassa kahdessa viikossa varaosat saapuivat. Varaosalähetyksessä oli enemmän osia kuin oli pyydetty, mikä oli positiivinen yllätys.

Laitteen rakentamisen loppupuolella havaittuihin puutteisiin päädyttiin hakemaan ratkaisua paikallisesta muttereita ja pultteja myyvästä liikkeestä. Joitain puuttuvia osia on myös mahdollista tulostaa laitteella, kunhan sen ensin saa toimimaan jonkinlaisella tilapäisratkaisulla.

Kun laite on näennäisesti valmis (kuva 13), alkaa vaativin osa käyttööntoa; sopivien säätöjen löytäminen tulostimelle. Laitteistotasolla tämä tarkoittaa muun muassa osien kiristystä, kuumennettavan tulostuspöydän suoristamista kaikista kulmista ja akselien öljyämistä. Tulostuspöytä täytyy myös pinnoittaa sopivalla teipillä, jotta tulostettava muovi saadaan tarttumaan siihen mahdollisimman hyvin. Tämä on hyvin haastava osuus, sillä tulostimen mukana toimitettuun kalvoon ei tartu mikään.



Kuva 13. Printronix kokoonpanon loppuvaiheessa.

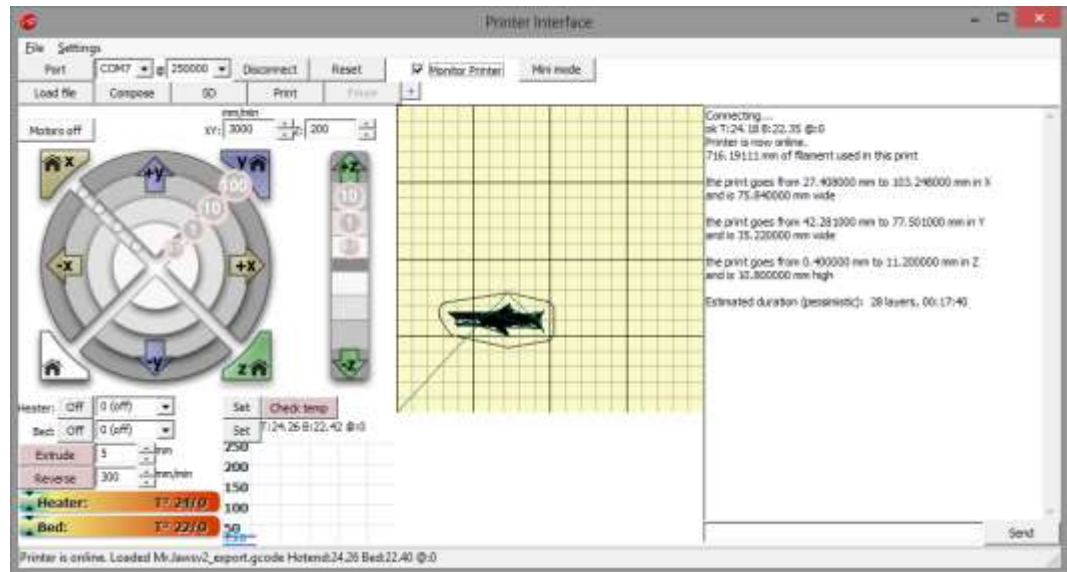
5.2 Ohjelmistot

5.2.1 Ohjausohjelmisto

Kuten kaikki valmiit tulostuskitit, toimitetaan Printronix esiasennetulla firmwarella. Firmwären on laitteen mikrokontrollerissa toimiva ohjausohjelmisto ja sen tehtävä on ohjata eri laitteen osia lähettämällä niille käskyt käyttäjän antamien asetusten ja parametrien pohjalta.

Firmwären vaihtaminen toiseen on mahdollista, mutta mukana toimitettuun firmwareen ei ole syytä koskea, jos ei ole tiedossa ongelmaa tai tarkemmin tiedossa miten suorituskykyä voisi näin muuttaa.

Pidempään markkinoilla olleen tulostimen firmwareen on voinut tulla päivityksiä, jotka lisäävät tarkkuutta ja nopeutta tulostukseen. Silloin on arvioitava onko päivitys vaivan ja riskin arvoinen. Pieleen mennyt päivitys voi olla hankala korjata, varsinkin kun tukipalvelut ovat halvoilla laitteistoilla rajatut. Lisäksi laite pitää kalibroida uudelleen ohjelmiston vaihdon jälkeen.

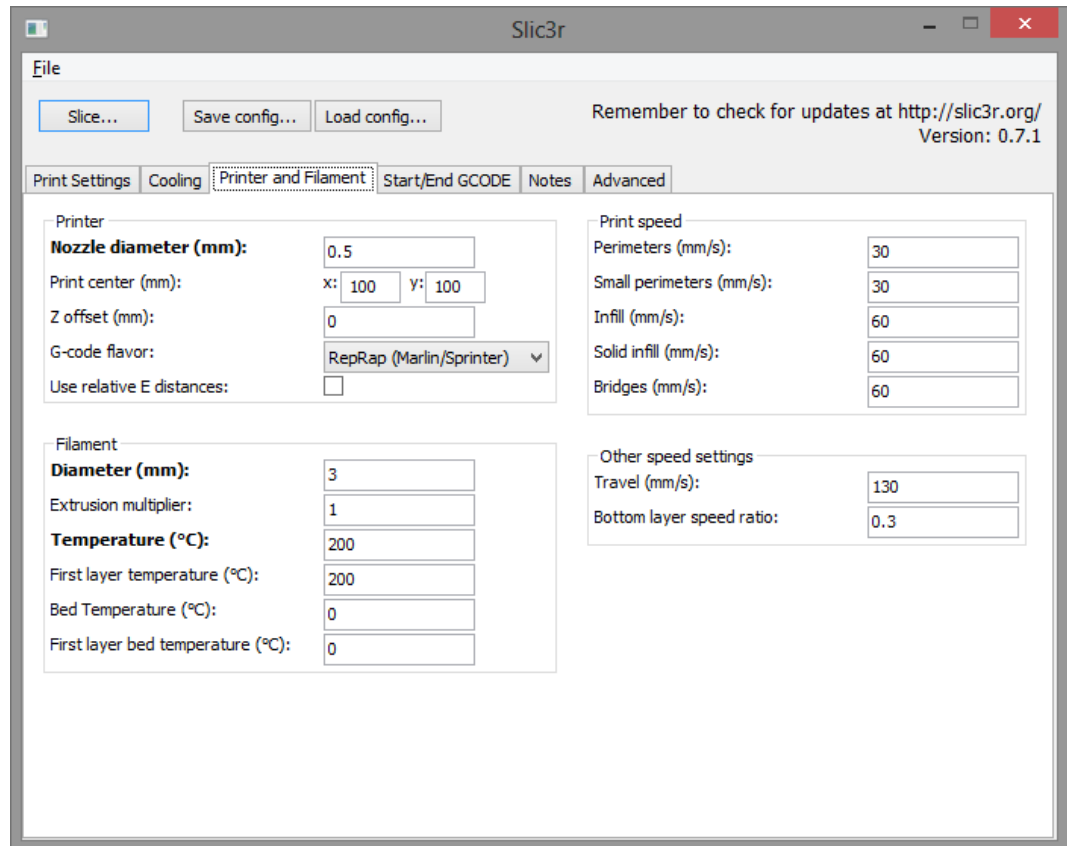


Kuva 14. Pronterface-ohjelmiston käyttöliittymä.

Pronterface (Kuva 14) on ilmainen ohjausohjelmisto, joka liitetään tulostimen elektroniikkaan com-portin kautta, Printrbotissa com-portti on microusb-liitäntä. Kun yhteys tulostimeen on muodostettu, on käyttöliittymällä mahdollista ajaa tulostinta xyz-koordinaatistossa. Eri tulostimen ominaisuuksia ja vaikkapa moottoreita voidaan myös ohjata suoraan lähetettävillä komentorivikoodeilla, mutta se ei peruskäytössä ole lainkaan tarpeellista.

Kuumenninyksikön ja lämmitettävän tulostuspöydän lämpötilasensoreiden reaaliaikaiset arvot näkyvät käyttöliittymässä ja kun Monitor Printer -ominaisuus on käytössä, osaa Pronterface piirtää diagrammin lämpötilan muutoksista. Pronterface myös antaa suuntaa-antavan kaksiulotteisen kuvan tulostettavasta kappaleesta oikeassa mittakaavassa tulostusalueelle sijoitettuna.

Pronterface ei itse osaa slaissata STL-tiedostoja tulostimen ymmärtämään muotoon, joten sitä varten pronterfaceen on integroitu helposti toimiva yhteys Slic3rin kanssa. Kaikkia tulostimen asetuksia, kuten tulostusnopeutta, materiaalin paksuutta ja viipaleen korkeutta, voidaan säätää Slic3rin asetussivuilta (Kuva 15). Kun asetukset on tehty, tallennetaan ne tiedostoon ja pronterface lukee tiedostosta päivitettyt tiedot.



Kuva 15. Slic3r-ohjelmiston asetussivu.

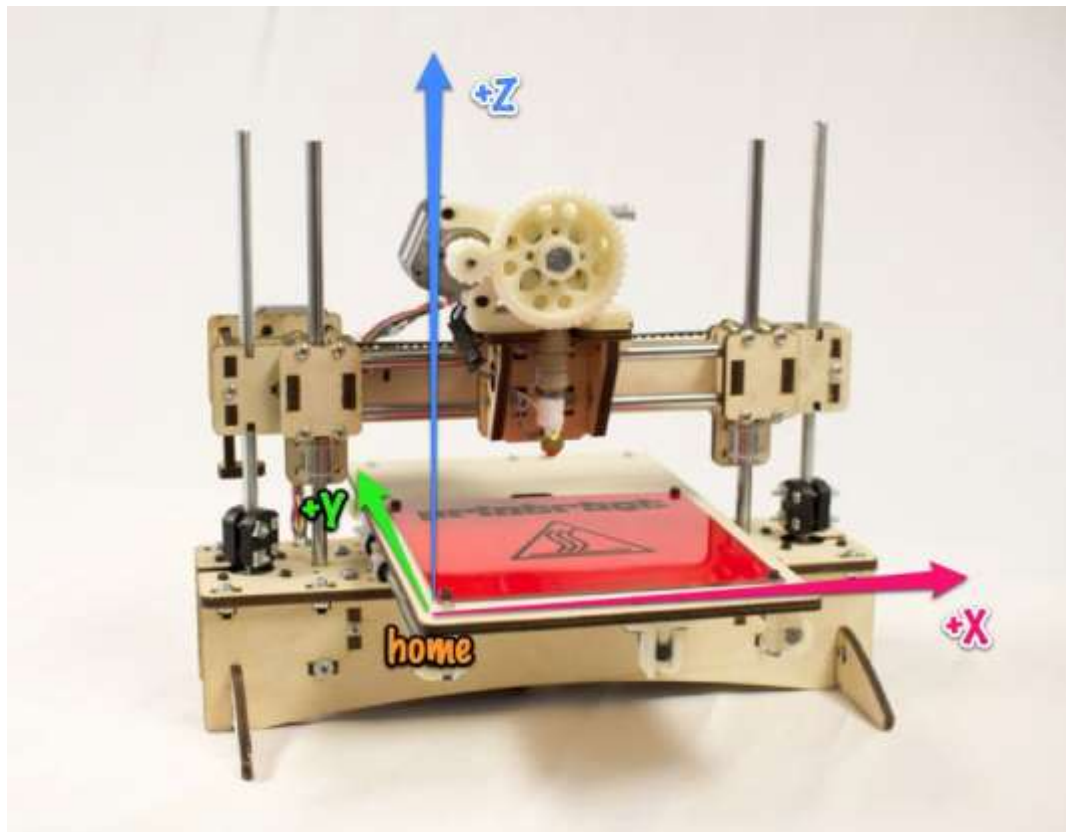
Käyttäjärjestelmästä riippuen tulee asentaa usb-host tuki ajureilla. Windowsiin usb-host ajurit eivät kuulu ja ne oli asennettava erikseen Microsoftilta saatavilla olevilla pienellä asennuspaketilla. Usb-host mahdollistaa laitteiden laajemman kontrollon ja vapaan tiedonvälityksen com-portin kautta. Ilman sitä Pronterface ei saa lainkaan yhteyttä tulostimeen.

Tulostimeen kiinnitetyn koneen ei tarvitse olla erityisen tehokas, ohjausohjelmistot, kuten Pronterface ja slaissausohjelma Slic3r ovat kevyitä. Testejä varten käytössä oli Windows 7 ja 8 -käyttäjärjestelmät ja pari vuotta vanha kannettava tietokone. Usb-host ajurien asennus vaati Microsoftin digitaalisten allekirjoitusten valvonnan poistamista käytöstä Windows 8:ssa, mutta Windows 7:ssä tätä ongelmaa ei ollut.

5.2.2 Kalibrointi

Laitteiston kalibrointi aloitetaan tulostuspöydälle sopivan tulostusalueen mittojen selvittämisellä. Teoriassa Printerbot LC:llä on 150 x 150 mm kokoinen tulostus-

alue, mutta koska tulostuspöydän kiinnitystavat vaihtelevat hieman, voi tulostusalue olla hieman tästä poikkeava. Lisäksi pöydän liikkuvuuteen vaikuttaa kokoonpanovaiheessa tehdyt ratkaisut vetohihnojen kiinnityksissä. Tulostusalueen määrittäminen tapahtuu liikuttamalla tulostinta X- ja Y-akseleilla nollapisteestä ulospäin, kunnes akselilla (Kuva 16) ei enää päästä eteenpäin jonkin fyysisen rajoitteen takia. Liikettä tehdessä otetaan ylös kuljettu matka ja tämä arvo syötetään tulostimen asetuksivulle tulostusalueen kooksi.



Kuva 16. Printrobotin akselit muodostavat XYZ-avaruuden.

Seuraava vaihe kalibroinnissa on X-, Y- ja Z-akselien mekaanisten “End stop” -päätestopparien säätäminen kohdilleen. X- ja Y-akselien pysähtymiskohta ei ole aivan niin tarkka kuin Z-akselin. Z-akselin pysähtymiskohta tulee olla säädetty niin että kun tulostin palaa kotiasemaansa Z-akselilla, jää tulostuspöydän ja kuumentinyksikön väliin paperin paksuuden korkuinen väli. Tämä väli tulee olla sama koko tulostuspöydän alueella.

Kun akselit ovat oikein kalibroidut, voidaan ohjelmistupuolella antaa Printrobotin suosittelemat perusarvot akselien liikutukseen. Printrobotin keskustelupalstalla on

myös käyttäjien suosittelamia perusarvoja, joita kannattaa kokeilla, jos laitteen käyttäytyminen akseleita liikutellessa ei ole halutunlaista.

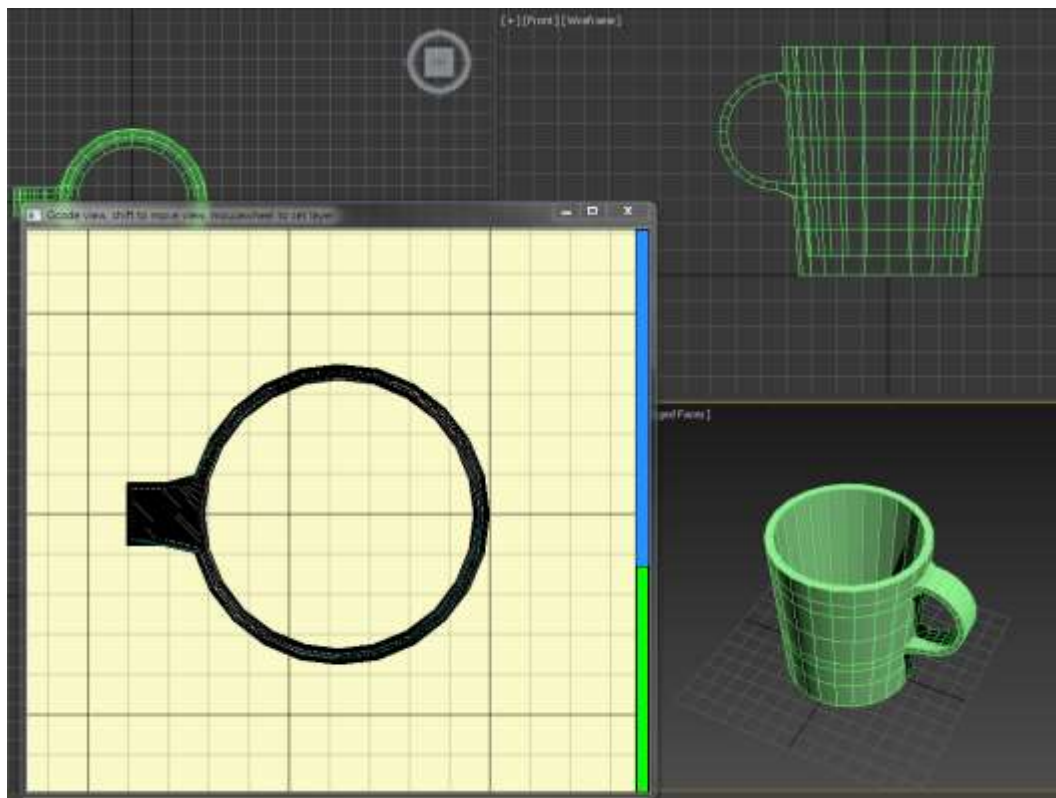
Muovin syötöstä vastaavan moottorin nopeus on säädettävä yksinkertaisen mittauskokeen avulla. Aluksi mitataan reilu pituus kuumenninyksikköön syötettävästä muovinauhasta ja tätä mitta verrataan tulokseen, joka syntyy kun ohjelmiston kautta tulostetaan vastaava mitta. Jos mitat poikkeavat toisistaan, kompensoidaan sitä suuntaan tai toiseen ohjelmallisesti, kunnes ohjelmiston mitta-arvo vastaa reaaliaimailmassa tulostimen läpi kulkeneen nauhan mitta.

Seuraava vaihe on käydä läpi Slic3riin syötettävät asetukset. Niistä tärkeimmät ovat tulostukseen käytettävän muovinauhan halkaisijan mittaus sekä kuumenninyksikölle että tulostinpöydälle asetettava tavoitelämpötila. Lämpötila-arvot riippuvat tulostukseen käytettävästä materiaalista. Suuntaa antavat alkuarvot on helppo löytää Printrobotin forumeilta. Printrobotin omasta kaupasta toimitetuille materiaaleille ovat käyttäjät löytäneet sopivia lämpötila-arvoja ja niillä on helppo lähteä kokeilemaan itse tulostusta. Lämpötila-arvoja muutettaessa kuumemmaksi tai kylmemmäksi, suositellaan viiden asteen muutoksia kerrallaan.

5.2.3 Viipalemallin luominen

Printrobotille viipalemallin luomiseen suositellaan Slic3r (<http://slic3r.org/>) G-code -generaattoria. Ohjelma on ominaisuuksien puolesta melko yksinkertainen, se tukee kuitenkin useita käyttöjärjestelmiä ja se on myös ilmainen. 3ds max osaa viedä mallit suoraan polygonimuodosta STL-formaattiin ja näin ylimääräisiä ohjelmia ei ole tarvetta käyttää. Jos 3D-mallin on tehnyt ilmaisella Google Sketchupilla, tai muulla mallinnusohjelmalla joka ei STL-formaattia suoraan tue, voi mallin viedä Collada-muodossa Meshlabiin. Meshlab on avoimen lähdekoodin ohjelma, joka ymmärtää monenlaisia geometrioita ja osaa viedä ne STL-formaattiin.

Kun malli on viety ulos mallinnusohjelmasta, voi sen ladata pronterfacen kautta esikatseluun. Esikatselutilassa on hyvä käydä malli läpi viipale viipaleelta, jolloin näkee millaisin ratkaisuin Slic3r on viipalemallin tehnyt (kuva 17).



Kuva 17. Slic3rin luoman viipalemallin kerros. Taustalla 3ds maxin vastaava 3D-malli.

5.2.4 Mallin lataus tulostimeen

Tulostimeen voidaan ladata malli joko suoralla usb-yhteydellä tulostimelle tai vaihtoehtoisesti siirtämällä malli microsd-kortille ja asettamalla kortti tulostimen kortinlukijaan.

Suora usb-yhteys toimii erittäin hyvin kannettavan tietokoneen kanssa, koska se voidaan tuoda helposti tarpeeksi lähelle tulostinta. Lisäksi internetyhteys tulostimen kanssa käytettävässä tietokoneessa on eduksi, koska uudet mallit voidaan silloin ladata nopeasti käyttöön 3D-kirjastoista tai mallinnukseen käytetyltä koneelta.

5.3 Tulostus

5.3.1 Testikappale

Ensimmäistä kokonaisen kappaleen koetulostusta varten ladattiin printrobotin aloitusoppaan ohjeistamana thingiversestä valmis malli. Mr. Jaws nimellä kulkeva

malli näyttää nimensä mukaisesti hailta. Paksuutta sillä on noin sentti ja pituutta viisi senttiä. Mitään käytännön hyötyä tästä esineestä ei ole, mutta se soveltuu muodoiltaan ja yksityiskohtaisuudeltaan kalibraatiovaiheen tulostuskappaleeksi.

Tulostaessa tätä harjoituskappaletta tulostuspöytä osoittautui liian liukkaaksi ja sula muovi ei tarttunut siihen halutulla tavalla. Tulostuspäätä raahasi huonosti tarttunutta materiaalia mukanaan ja huonosti muodostuneen ensimmäisen kerroksen takia tulostus meni pieleen. Tulostimen mukana toimitettu kalvo, joka peittää tulostuspöydän, ei ole tarttumisominaisuuksiltaan paras mahdollinen. Ratkaisuksi soveltuu tulostuspöydän päällystäminen ohuella ja leveällä teipillä.

Tulostaessa käytettiin 220 °C lämpötilaa kuumennusyksikölle ja 100 °C lämpötilaa tulostuspöydälle. ABS- ja PLA-muoveille tulee käyttää eri lämpötiloja. Sopiva lämpötila riippuu myös käytettävän muovin paksuudesta ja eriväriset muovit myös käyttäytyvät hieman toisistaan poikkeavalla tavalla.

Tulostuspöydän kolmea kulmaa tuli nostaa, jotta pöytä oli koko alueelta samalla etäisyydellä tulostuspäädästä. Tulostuspään etäisyys tulostuspöydästä tulee olla noin yhden paperiarkin paksuuden verran.

5.3.2 Tulostuksen laadun parantaminen

Printin tarkkuus, eli yhden viipaleen korkeus, voi olla parhaimmillaan 0,1 mm. Mitä kalliimpi laite on, sitä ohuempia kerroksia se kykenee tulostamaan ja siten mallit ovat eheämpiä pinnaltaan. Paremmin muodostettu pinta vähentää jälkikäsittelyn tarvetta. Välillä voi olla tarkoituksen mukaista tulostaa huonommalla tarkkuudella, koska siten voidaan vähentää tulostukseen käytettyä aikaa.

Tulostusnopeuden pudottaminen saattaa helpottaa materiaalin tarttumista tulostuspöytään ja aiemmin tulostettuihin kerroksiin. Näin muovia ei virheellisesti ajaudu väärin kohtiin, mikä voi olla yleistä nopeasti tulostettaessa. Tulostimen asetuksissa on myös mahdollista asettaa ensimmäiselle tulostettavalle kerrokselle hitaampi nopeuskerroin, koska ensimmäinen viipale on yleensä myös koko tulostuksen tärkein yksittäinen vaihe.

5.3.3 Materiaalikustannukset

Alkuvuodesta 2013 Printrbotin omassa verkkokaupassa yksi pauna (noin puoli kiloa) 3 mm paksuista ABS-muovia (kuva 18) maksaa 18 dollaria (14 euroa). Ensimmäisen tilauksen yhteydessä on syytä tilata pari kiloa muovia samaan toimitukseen itse tulostimen kanssa. Näin säästää hieman postikuluissa, lisäksi printrbot tarjosi ensitilauksen yhteydessä 20 % alennuksen tarvikkeista. Saatavilla on punaista, sinistä, vihreätä, mustaa ja luonnonvalkoista ABS-muovia. Amazon.com verkkokauppapaikalla on useita kauppiaita, jotka myyvät eri väreissä vastaavia muovikeräjä ja kilohinta liikkuu noin 30 dollarin (23 euroa) paikkeilla. Materiaalien täydennystilaukset kannattaa siis tehdä muualta.



Kuva 18. Printrbot-kaupasta ostetut 3 mm ABS-muovikerät

Laskuesimerkkinä materiaalin riittävydestä voidaan käyttää älypuhelimien suoja-kuorta. Suojakuoren tulostamiseen tarvitaan noin 30 grammaa ABS-muovia kappaleelta. Kilosta ABS-muovia saa siis teoriassa 33 älypuhelimien suoja-kuorta. Kun kilo maksaa 23 euroa, muodostuu yhden suoja-kuoren hinnaksi noin 1,40 euroa.

Käytännössä tulostuskustannuksia nostavat materiaalin toimituskulut, kalibrointiin kuuluva materiaalin määrä ja erilaisten teknisten ongelmien aiheuttamat pieleen menneet tulosteet.

Muita kustannuksia tulee kun tulostimen akseleita öljytään, tulostuspöytää puhdistetaan ja laite käyttää tulostamiseen virtaa. Nämä kustannukset ovat kuitenkin hyvin pienet verrattuna itse materiaalikustannuksiin. Materiaalimarkkinat elävät jatkuvassa muutoksessa. On vaikea sanoa minkälainen hintakehitys ABS-muoville on tiedossa lähitulevaisuudessa, saati usean vuoden aikajaksolla.

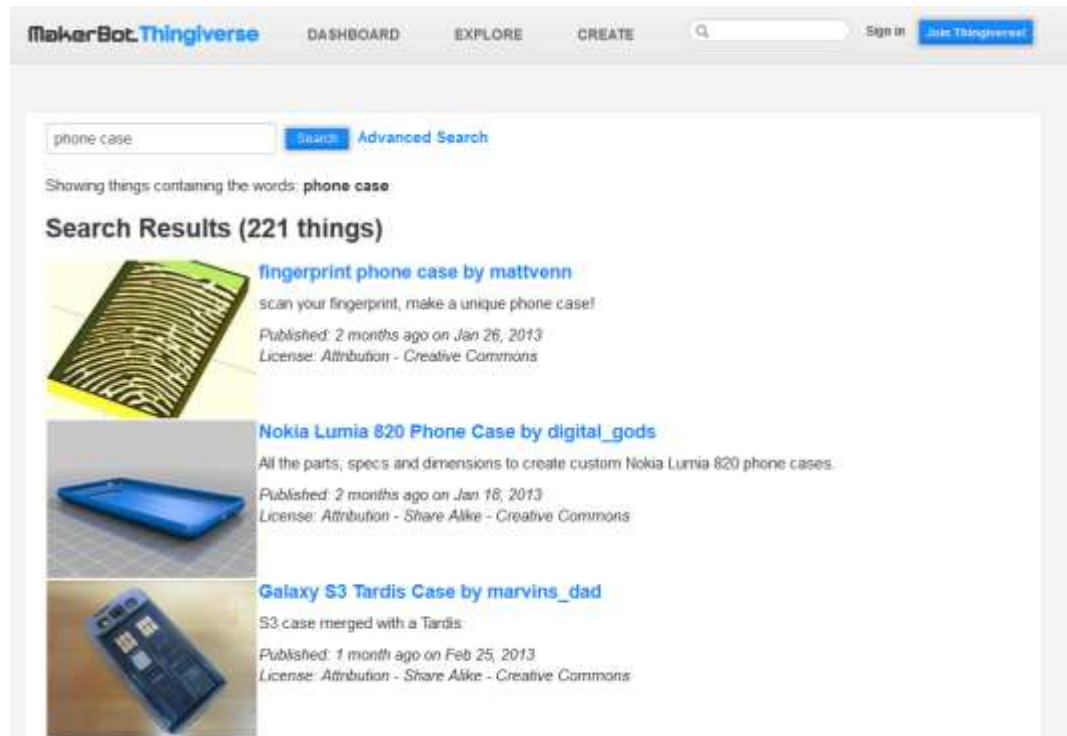
6 INTERNETIN TARJOAMAT MAHDOLLISUUDET 3D-TULOSTUKSEEN

6.1 Mallikirjasto Thingiverse

Yksi suosituimmista harrastelijatulostimista on MakerBot Industriesin MakerBot. MakerBotin ympärille on kasvanut jo hyvin laaja yhteisö. MakerBot perusti vuonna 2008 Thingiverse palvelun, jossa käyttäjät voivat jakaa mallejaan ja kokemuksia 3D-tulostukseen liittyen. Huolimatta siitä että sivustolla on tiukka yhteys MakerBottiin, palvelussa olevat mallit ovat samassa STL-formaatissa mitä muutkin tulostimet ymmärtävät. Mallit julkaistaan palvelussa GNU General Public tai Creative Commons -lisenssillä. Näin ne ovat vapaasti käytettävissä kaikille 3D-tulostuksen harrastajille.

Sivustolla olevia malleja voidaan kommentoida ja mahdollisissa ongelmatilanteissa ehdottaa parannuskeinoja. Lisäksi käyttäjät lataavat malleja ja tekevät niistä paranneltuja tai muuten erilaisia versioita, jos alkuperäinen lähettäjä on jatkokehityksen lisenssiehdoissa sallinut.

Printrobotin käyttöönottoohjeessa suositellaan jonkin yksinkertaisen ja hyväksi todetun mallin lataamista thingiversestä kalibrointitarkoituksiin. Kun tulostin on täysin toimintakykyinen, kannattaa siirtyä kokeilemaan haastavampia malleja. Hakuksella “phone case” löytyy kirjoitushetkellä 221 mallia (kuva 19). Jos listalla on omaan puhelimeen sopiva malli, voi sen avulla koettaa tulostimen tarkkuutta ja soveltuvuutta käytännöllisen hyötyesineen tulostamisessa.



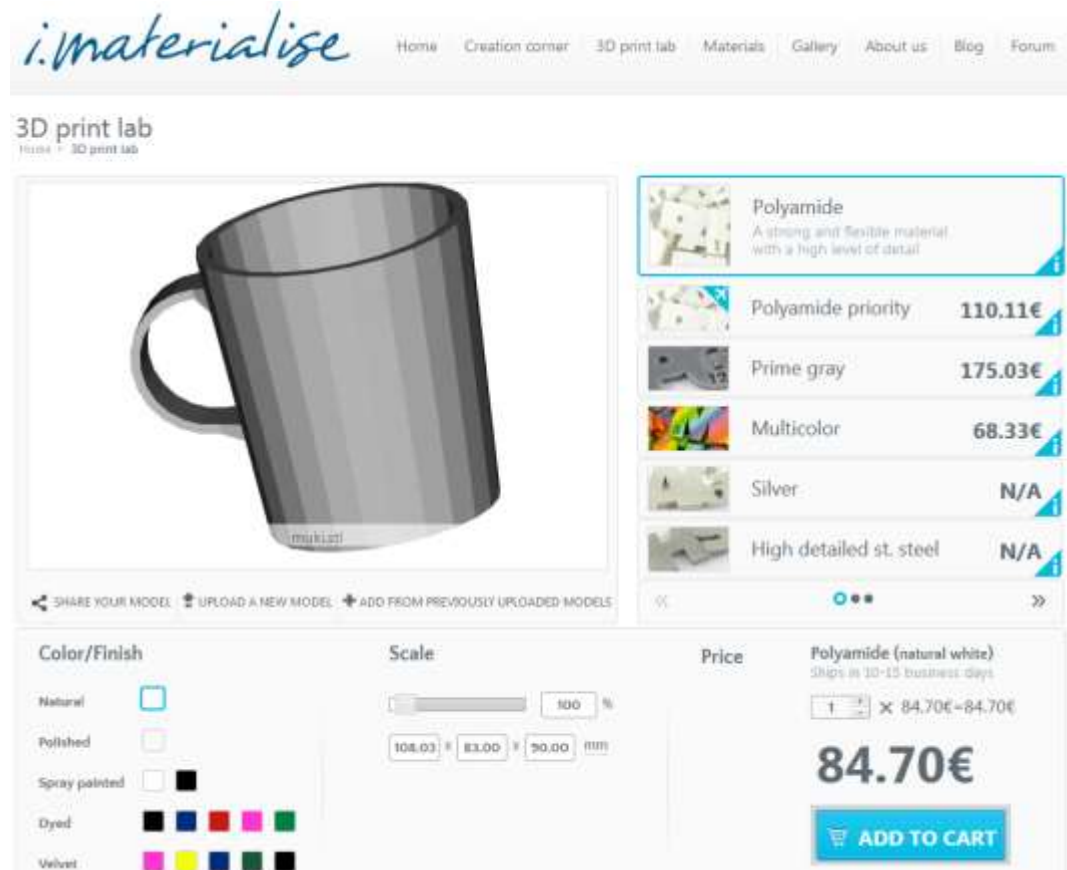
Kuva 19. Thingiversen hakutuloksia.

6.2 Maksulliset tulostuspalvelut

6.2.1 Palveluiden perusominaisuudet

Yleisesti ottaen 3D-tulostuspalveluiden käyttö on helppoa. Palvelut tukevat laajalla skaalalla eri tiedostomuotoja. Kaikki palvelut tukevat nykyisin järjestään STL-formaattia ja useisiin palveluihin voi viedä myös 3D-mallinnusohjelmien käyttämiä tiedostomuotoja, kuten 3ds.

HTML5, Silverlight ja muut internetin uudet teknologiat ovat parantaneet 3D-tulostuspalveluiden esikatseluominaisuuksia merkittävästi. Useissa palveluissa omaa 3D-mallia on mahdollista pyörittää ja tarkistaa mahdollisten virheiden varalta vielä ennen tulostusta ja viime hetken säädöt skaalaukseen ovat usein mahdollista. Lisäksi esikatseluohjelmat laskevat tulosteelle hinnan, perustuen mallin tilavuuteen. Helppoudella on kuitenkin varjopuolena erittäin kallis tulosteiden hinta (kuva 20).



Kuva 20. 3D-mallin esikatselu on käytännöllinen.

6.2.2 Shapeways

Shapeways on vuodesta 2007 toiminut hollantilainen start-up yritys. Yrityksen perustajat Peter Weijmarshausen, Robert Schouwenburg ja Marleen Vogelaar saivat ideansa alun perin Philipsin tuotesuunnitteluosastolta ja kehittivät sitä edelleen. Vuonna 2008 lanseeratussa palvelussa käyttäjä pystyi lataamaan STL-tiedoston shapewaysin sivustolle ja tätä kautta tulostuttamaan itselleen 3D-mallin.

Tällä hetkellä Shapeways.com on internetin suosituin 3D-tulostuspalvelu. Samalla siellä toimii merkittävän kokoinen 3D-tulostajien yhteisö. Shapewaysin konseptin mukaan yksityishenkilöt voivat sivuston välityksellä valmistaa 3D-tulosteita sekä ostaa että myydä omia 3D-tulostettavia mallejaan.

Shapeways tulostaa lähes mitä vain ”on-demand” – pyydettyinä ja kaikki tulosteet ovat ainutlaatuisia sekä toiveiden mukaan personoituja. Materiaalivalikoimassa on muoveja, keraamisia materiaaleja ja metalleja. Shapewaysilla on toimipisteet New

Yorkissa, Eindhovenissa ja Seattlessa. Työntekijöitä Shapewaysilla oli vuonna 2012 viisikymmentä.

Muovilla tulostettaessa perushinta valkoiselle kappaleelle on 1,5 dollaria ja jokainen kuutiosentti materiaalia maksaa 1,40 dollaria. Suurin mahdollinen tulostettava koko on 650x350x550 mm. Tyypillinen toimitusaika on 8 päivää. (Shapeways 2013).

6.2.3 i.materialise

i.materialise palvelun merkittävin erikoisuus on materiaalivalikoima. Muista tulostuspalveluista poiketen i.materialise tulostaa myös arvometalleilla, kuten kullalla. Valittavana on kirjoitushetkellä 16 eri materiaalia, mukaan lukien eri vahvuiset muovit. i.materialisen tulostustekniikat myös takaavat erittäin tarkan tulostuslaadun, jolloin pienien korujen tulostus on mahdollista. Yrityksellä on kahdenkymmenen vuoden kokemus 3D-tulostuksesta.

ABS-muovilla tulostettaessa suurin mahdollinen koko on 400x355x400 mm. Kullalla ja hopealla tulostuskoko on huomattavasti pienempi 88x63x125 mm. (i.materialise 2013).

6.2.4 Sculpteo

Sculpteon konsepti on hyvin samanlainen Shapewaysin kanssa. Käyttäjä voi tulostuttaa, jakaa, myydä ja ostaa 3D-mallejaan Sculpteon palvelussa. Sculpteo mainostaa konseptiaan ”3D Printing Cloud Engine” – pilvipalveluna, jonne yritykset ja yksityishenkilöt voivat ulkoistaa 3D-tulostuksensa. Sculpteon perusti Eric Carreel ja Clément Moreau vuonna 2009. Yhtiön päämaja sijaitsee Pariisissa ja heillä on myös työpaja Arreaussa. Materiaalivalikoima on yhtä laaja kuin shapewaysilla.

Sculpteo toimii yhteistyössä Dassault Systemesin kanssa ja huolehtii 3DVIA – palvelun 3D-tulostuksista. Yhteistyö on merkittävä tulonlähde Sculpteolle, koska Dassault Systemesin ohjelmistot, kuten SolidWorks, ovat erittäin suosittuja maailmalla. (Sculpteo 2013).

6.2.5 Ponoko

Ponokon lähestymistapa 3D-tulostukseen poikkeaa hieman muista yrityksistä. Ponoko tarjoaa perinteisen 3D-tulostuksen lisäksi mahdollisuuden valmistaa tuotteita, joissa on myös elektroniikkaa mukana. Elektroniikkakatalogi on jo tällä hetkellä yli 1500 artikkelin kokoinen. Tulostettu 3D-malli ja elektroniikka toimitetaan erillislähetysinä ja kokoonpano jää itse tehtäväksi.

3D-tulostuksessa perushinta on 4 dollaria ja jokainen kuutiosentti materiaalia maksaa halvimmillaan 0,90 dollaria. ABS-muovilla tulostaessa kappaleen maksimikoko on 254x254x305 millimetriä. Poikkeuksellista toimituksissa on se että tilauksella ei ole minimikokovaatimuksia, joten pienenkin osan voi tilata palvelusta kotiin toimitettuna. (Ponoko 2013).

7 YHTEENVETO

Tällä hetkellä 3D-tulostus nauttii harrastajien ja median poikkeuksellisen suuresta huomiosta. Mielenkiinto ja odotukset, jotka tekniikan ylle ovat muodostuneet, voivat ikävällä tavalla kääntyä 3D-tulostuksen yleistymistä vastaan, mikäli maalailut mielikuvat eivät vastaa täysin todellisuutta. Jos 3D-tulostuksen vallankumous ei toteudu kerralla ja mahdollisimman suurella volyymilla, siten että sen hyödyt näkyvät useiden ihmisten arkipäivässä, on riskinä että tekniikka jää vain siihen mitä se tälläkin hetkellä on; marginaaliryhmän harrastus ja huvitus.

3D-tulostin on helppo saada kotiin, mutta oikeasti hyödyllisten esineiden valmistus ei ole mutkatonta. Normaalissa paperille tulostamisessa on jo melkein päästy sellaiseen helppokäyttöisyyteen, että pelkkä tulostimen liittäminen laitteistoon riittää, eikä vaativia välivaiheita tulostamisessa ole. Saman yksinkertaisuuden tavoittelemisen olisi 3D-tulostuksen kannalta olennaista. Kun kaikista 3D-mallinnus- ja CAD-suunnitteluohjelmissa löytyy valikosta SolidWorksin tavoin “Tulosta 3D-malli” -valinta 3D-tulostinta varten, voidaan jo olla lähellä tätä tavoitetta. Tois- taiseksi useimmin välissä on vielä paljon insinööritaitoja ja kärsivällisyyttä vaativia työvaiheita. Tulostustekniikat ovat, tulevaisuudennäkymien onneksi, yksinkertaistuneet ja näin myös halventuneet merkittävästi.

Osissa tilattu 3D-tulostin osoittautui aikaa vieväksi projektiksi, eikä tulostusvalmiutta saavutettu kuin vasta viime metreillä opinnäytetyöprosessissa. Pelkästä 3D-tulostuksesta kiinnostuneen kannattaa harkita täysin käyttövalmiin tulostimen hankintaa. Jos aloittaa kalibroinnilla ja testitulostuksilla, kokoonpanon sijaan, voi välttää monia ikäviä vastoinkäymisiä. Käyttövalmiiksi kootun tulostimen lisäkustannus on täten varsin hyvin perusteltu. Itse tehty kokoonpanovaihe aiheutti hieman sotkua ympäristöön, mutta valmis tulostin on hyvinkin sisäsiisti. Tulostus ei aiheuta merkittäviä määriä epämiellyttäviä hajuja, eikä täten vaadi huoneen ilmanvaihtoon muutoksia. Myös syntyvä muovijäte on helppo kerätä talteen.

Printbot casessa oli tarkoitus tulostaa ja tutkia lopputuloksia erilaisista 3D-malleista, mutta aika ei tämän casen puitteissa siihen riittänyt. Jatkossa Printbot tulee kuitenkin olemaan mukana monessa omassa ja ystävien harrastustyyppisissä projekteissa ja alun perin kokeiden jälkeen myytäväksi ajateltu laite todennäköisesti

jää kotitalouteen. Tulevaisuuden mahdollisuudet 3D-tulostimelle ovat sen verran potentiaaliset ja mielenkiintoiset, että niitä ei asiaan tutustuttuaan enää halua olla näkemättä itse käytännössä.

3D-tulostuspalveluja tarjoavia yrityksiä on paljon ja vertailu eri palveluiden välillä on jo pelkästään tulostuskustannuksien takia oleellista. Palvelut ovat yleisesti ottaen erittäin helppokäyttöisiä. Oman mallin voi ladata eri palveluihin ja antaa esikatse-luohjelmien laskea 3D-tulosteelle hinnan. Vertailun pohjalta on helppo valita palvelu joka tarjoaa juuri oikean materiaalin mahdollisimman kustannustehokkaasti. Myös toimitusehdot ja kulut tulee ottaa huomioon, sillä monet palveluista sijaitsevat Yhdysvalloissa.

Kaikki kulut yhteenlaskettuna internetin 3D-tulostuspalvelusta tilatulle 3D-tulosteelle voi kertyä kallis hinta, varsinkin jos on tarve tulostaa monta kappaletta. Silloin onkin syytä miettiä, onko palvelun käyttö kannattavaa vai olisiko mahdollista siirtyä käyttämään omaa 3D-tulostuslaitteistoa. Omat tarpeet täyttävä 3D-tulostin voi maksaa itsensä takaisin nopeasti.

LÄHTEET

- Adams, T. 2012. The Observer. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.guardian.co.uk/science/2012/jul/21/chemputer-that-prints-out-drugs?mobile-redirect=false>
- Brown, R. 2012. CBS. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: http://www.cbsnews.com/8301-205_162-57560237/makerbot-pulls-3d-printable-gun-parts-from-thingiverse/
- Defcad. 2013. Defcad.org [viitattu 1.5.2013] Saatavilla: <http://defcad.org/about/>
- Dehue, R. 2012. 3printing.com. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://3dprinting.com/news/pentagon-3d-printing-investment-of-18-8-million-dollars-in-2012/>
- Dehue, R. 2013. 3printing.com. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://3dprinting.com/news/president-obama-speaks-about-3d-printing-in-state-of-the-union/>
- Evans, B. 2012. Practical 3D Printers. The Science and Art of 3D Printing. New York: Apress.
- Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J., Kaikkonen, H. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- Printrbot. 2013. Printrbot.com. [viitattu 1.5.2013] Saatavilla: <http://printrbot.com/>
- Protosys. 2005. Rapid Prototyping. [viitattu 1.5.2013]. Saatavilla: <http://www.protosystech.com/rapid-prototyping.htm>
- Shapeways.com. 2012. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.shapeways.com/blog/archives/1177-The-Pirate-Bay-Get-Physibles-A-New-Category-for-Sharing-Physical-Product-Files.html>
- The Economist. 2012. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.economist.com/node/21552901>

T. Rowe Price. 2011. A Brief History of 3D Printing. [viitattu 3.4.2013]. Saatavilla: http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf

The Pirate Bay. 2012. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://thepiratebay.se/blog/203>

Vance, A. 2010. The New York Times. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.nytimes.com/2010/09/14/technology/14print.html?page-wanted=all&r=1&>

Vaughan, W. 2012. Digital Modeling. Berkley: New Riders.

Wolfe, J. 2012. Forbes. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.forbes.com/sites/joshwolfe/2012/06/19/3d-printing-shapeways-and-the-future-of-personal-products/>

KUALÄHTEET

Kuva 1: reprap.org. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.reprap.org/media-wiki/images/a/af/67.jpg>

Kuva 2: Bespoke Innovations. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.bespokeinnovations.com/sites/default/files/gallery/chad%20skateboard%201.jpg>

Kuva 3: i.materialise. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://i.materialise.com/gallery/klein-bottle>

Kuva 4: Vaughan, W. 2012. Digital Modeling. Berkley: New Riders.

Kuva 6: Vaughan, W. 2012. Digital Modeling. Berkley: New Riders.

Kuva 7: Richrap. 2012. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://richrap.blogspot.fi/2012/01/slic3r-is-nicer-part-1-settings-and.html>

Kuva 9: Evans, B. 2012. Practical 3D Printers. The Science and Art of 3D Printing. New York: Apress.

Kuva 16: Printrbottalk.com. 2013. [viitattu 15.4.2013]. Saatavilla: <http://www.printrbottalk.com/forum/viewtopic.php?f=16&t=2581>