

3D tulostus - digitaalisesta mallista esineeksi

Kimmo Muurinen

Opinnäytetyö

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

2013



Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Tekijä tai tekijät Kimmo Muurinen	Ryhmä tai aloitusvuosi Y07TK
Opinnäytetyön nimi 3D tulostaminen - digitaalisesta mallista esineeksi	Sivu- ja liitesivumäärä 33 + 0
Ohjaaja tai ohjaajat Heikki Hietala	
<p>Tässä opinnäytetyössä esitellään 3D tulostuksen tekniikka ja materiaaleja, suunnitellaan ja tuotetaan esimerkkipaleen digitaalinen malli, sekä tulostetaan muovinen esine digitaalisen mallin pohjalta.</p> <p>Työn tavoitteena on perehdyttää lukija prosessiin, jossa itse tuotettu digitaalinen malli tulostetaan käyttäen harrastajakäyttöön tarkoitettua, edullista tulostinta.</p> <p>Esimerkkikappaleen eri osien mallinnusprosessi näytetään kokonaisuudessaan ja kerrotaan perusteita 3D mallinnuksesta. Samalla esitellään 3D mallinnuksessa usein käytettyjä tekniikoita, joita soveltamalla voidaan mallintaa lukemattomia eri kappaleita.</p> <p>Esimerkkikappaleen tulostusprosessi esivalmisteluineen ja lopputoimineen käydään myös läpi vaiheittain.</p> <p>Ensimmäiset kuluttajille tarkoitetut 3D tulostimet ovat jo ilmestyneet Yhdysvalloissa myymäläketjujen hyllyille. Nämä tuotteet on suunniteltu niin helppokäyttöisiksi, että tulostamiseen ei tarvita erikoistaitoja. Kappaleiden mallintamiseen itse tarvitaan enemmän opettelua tai harrastaneisuutta, mutta tämän voi kiertää lataamalla valmiita malleja tulostettavaksi internetin mallipankeista, ilmaiseksi.</p> <p>Työssä esitelty mallinnus- ja tulostusprosessi osoitti, että tulostimet ovat jo tällä hetkellä riittävän tarkkoja koititalouksien käyttöön, myös materiaalivevaihtoehtoja on saatavilla useisiin eri käyttötarkoituksiin.</p>	
Asiasanat 3D tulostus, 3D mallintaminen, pikavalmistus	

<p>Author(s) Kimmo Muurinen</p>	<p>Group or year of entry Y07TK</p>
<p>The title of thesis 3D Printing - from Digital Model to Object</p>	<p>Number of report pages and attachment pages 33+0</p>
<p>Advisor(s) Heikki Hietala</p> <p>This thesis introduces 3D printing technology and materials, a digital model is designed and produced and, a plastic object is printed based on the digital model.</p> <p>The goal of the thesis is to familiarize the reader with the process where a self-produced digital model is printed using an inexpensive 3D printer for hobbyists.</p> <p>The complete modeling process of the example object is explained and the basics of 3D modeling are introduced. Common techniques used in 3D modeling are introduced. Using these techniques it is possible to model countless other objects.</p> <p>The printing process including preparation and post processing are explained phase by phase.</p> <p>The first 3D printers aimed at consumers have reached the shelves of major retailers in the US. These products are designed to be simple enough that no special skills are required for printing with them. The modeling process still requires learning the basics but, this can be avoided by downloading free models from model banks on the internet.</p> <p>The modeling and printing processes explained in the thesis show that, at the moment, the printing resolution is at a high enough level for most consumers' needs. Also, different printing materials are available for various applications.</p>	
<p>Key words 3D printing, 3D modeling, rapid manufacturing</p>	

Sisällys

1 Johdanto.....	3
1.1 Tavoitteet.....	3
1.2 Tehtävänasettelu.....	4
2 3D tulostamisen esittely.....	5
2.1 Tulostustekniikat.....	5
2.2 Tulostusmateriaalit.....	6
2.3 3D tulostimen asettamat rajoitukset.....	7
3 3D mallinnuksen esittely.....	9
4 Tulostettavan kappaleen mallintaminen Blender 3D:llä.....	11
4.1 Mallinnuksen suunnittelu.....	11
4.2 Piipun mallintaminen.....	12
4.3 Piipun keskiosan mallintaminen.....	14
4.4 Piipun takaosan mallintaminen.....	15
4.5 Tähtäimen mallintaminen.....	16
4.6 Kahvan mallintaminen.....	17
4.7 Tukin mallintaminen.....	19
4.8 Kappaleiden valmisteleminen tulostusta varten.....	20
5 3D mallin tulostaminen.....	22
5.1 Projektissa käytetyn 3D tulostimen esittely.....	22
5.2 Kappaleiden tulostus.....	23
6 Pohdinta.....	30
Lähteet.....	32
Liitteet.....	33

1 Johdanto

3D tulostus tekee tuloaan kuluttajamarkkinoille ja se luo uuden näkökulman tavaroiden hankkimiseen. Enää ei tarvitse ostaa kaikkea kaupasta, vaan esineet voi itse mallintaa tai hakea valmiit digitaaliset mallit verkosta ja tulostaa kotona. 3D tulostus kotitalouksissa saattaa mullistaa tavan, jossa olemme tottuneet ostamaan koriste- ja käyttöesineet, lelut, varaosat ja muut kulutustarvikkeet kaupasta. Miten käy massatuotetuille tavaroille, kun jokainen voi tulostaa lähes kaiken kotona? Aihe on juuri nyt erittäin ajankohtainen, sillä 3D tulostimet ovat saavuttaneet sellaisen hintatason ja tarkkuuden, joka mahdollistaa niiden laajan leviämisen kotitalouksiin.

Kotitalouksien käyttöön tulostettavien esineiden ohella 3D tulostukselle löytyy mittava määrä käyttökohteita myös monilta muilta aloilta. Auto- ja lentokoneteollisuudessa, tuotesuunnittelussa, arkkitehtuurissa ja lääketieteessä, vain muutamia mainitakseni, on jo pitkään käytetty 3D tulostamista. 80-luvulla kehitetty teknologia on kehittynyt räjähdysmäisen nopeasti. Patenttien vanheneminen on mahdollistanut tulostimien kehityksen harrastelijaprojekteissa ja kaupallisten tulostimien hintatason laskun sellaiselle tasolle, että tulostimen hankinta on kuluttajille mielekäästä. Harrastelijaprojektien myötä digitaalisten mallien vapaaseen kopiointiin ja levitykseen perustuvien palveluiden ilmaantuminen on myös edesauttanut tekniikan yleistymistä. (Canessa, Fonda & Zennaro 2013, 11-12)

1.1 Tavoitteet

Työlläni haluan valaista 3D tulostamisen nykytilaa, sekä herättää keskustelua ja kiinnostusta aiheen ympäriltä. Opinnäytetyössäni esittelen 3D mallinnuksen perusteita, sekä yleisimpiä 3D tulostustekniikoita. Esitän käytännön esimerkillä kappaleen suunnittelu- ja tulostusprosessin kokonaisuudessaan kuvasarjan avulla. Produktin tavoitteena on antaa selkeä kuva digitaalisen mallin luomisesta ja sen tulostamisesta. Samalla haluan vahvistaa omaa tietämystäni ja käytännön kokemustani aiheesta.

1.2 Tehtävänasettelu

Käyn läpi mallinnusprosessin esittelemällä käyttämäni ilmaisen 3D mallinnusohjelman ja kertomalla perustietoja 3D mallinnuksesta. Valmiin kappaleen tulostamisprosessin esittelyssä näytän 3D tulostimen toiminnan käytännössä. Ainakin toistaiseksi tulostimien tekniikka asettaa rajoituksia tulostettaville kappaleille ja tämä on otettava huomioon suunnitteluprosessissa.

Produktin päävaiheet ovat: 3D mallin valinta ja suunnittelu tulostimen rajoitukset huomioiden, digitaalisen kappaleen mallinnus, digitaalisen mallin valmisteleminen tulostusta varten, mallin tulostus ABS-muovista, tulostettujen kappaleiden viimeistely eli osien liimaus ja maalaus.

2 3D tulostamisen esittely

3D tulostus on konkreettisten esineiden valmistamista digitaalisesta mallista. Toisin kuin perinteisissä valmistustekniikoissa, joissa kappaleesta poistetaan materiaalia halutun lopputuloksen saavuttamiseksi, 3D tulostus perustuu materiaalin lisäämiseen. Perinteisiä valmistustekniikoita ovat esimerkiksi koneistus ja kuvanvanveisto. 3D tulostuksessa esineet valmistetaan lisäämällä tulostusmateriaalia useissa ohuissa kerroksissa päällekkäin. Tätä toistamalla saadaan aikaiseksi valitusta materiaalista koostuva esine, joka vastaa erittäin tarkasti digitaalista mallia. S. Scott Crump kehitti ja patentoi yhden yleisimmistä tekniikoista, FDM eli pursotustekniikan, vuonna 1989. (Canessa, Fonda & Zennaro 2013, 26)

Ennen tulostamista haluttu esine on ensin joko mallinnettava CAD-ohjelmalla tai 3D-skannattava tietokoneelle. Skannattua digitaalista mallia voidaan vielä muokata CAD-ohjelmalla. Kun kappaleesta on olemassa lopullinen 3D malli se voidaan siirtää tulostusohjelmaan. Tulostusohjelma viipaloi kappaleen kymmeniin tai jopa satoihin viipaleisiin. Tulostusohjelma ohjaa tulostinta näiden viipaleiden mukaisesti kerros kerrokselta, jolloin useiden päällekkäisten kerrosten avulla syntyy kokonainen kappale.

2.1 Tulostustekniikat

3D tulostimia on ollut markkinoilla jo pitkään. Alunperin erilaisia tekniikoita alkoi kehittyä 80-luvun puolivälin jälkeen, jolloin ensimmäiset patentit haettiin. Yleisimpiä tekniikoita on tulostusmateriaalin sulattaminen tai lämmittäminen, ja sen pursottaminen suuttimen kautta. Tätä käytetään fused deposition modeling (FDM) -tekniikassa. Tekijänoikeussyistä FDM-tekniikalle kehitettiin samaa tarkoittava, mutta avoimesti käytettävä vastine, fused filament fabrication (FFF). Selective laser sintering- (SLS) ja stereolitography (SLA) -tekniikat perustuvat kerrokseksi levitetyn materiaalin kovettamiseen halutuista kohdista.

FDM-tekniikassa tulostusmateriaali sulatetaan kuumennettavassa tulostuspäässä ja pursotetaan pienestä reiästä ohueksi nauhaksi, josta kappaleen kerrokset rakennetaan. Tulostuspäässä olevat moottorit huolehtivat materiaalin syöttämisestä suuttimeen. Tarkat moottorit ohjaavat tulostuspään liikettä leveys- ja syvyys suunnissa, jonka ansiosta suutin ikään kuin piirtää kerrokset ohuesta, sulasta materiaalilangasta. Alusta, jolle materiaalia tulostetaan liikkuu pystysuunnassa ja laskeutuu aina uuden kerroksen alkaessa yhden määritellyn kerrospaksuuden verran alaspäin. Kerrospaksuudet vaihtelevat normaalisti noin 0.1-0.3 millimetrin välillä. Pursotustekniikassa 0.3 millimetriä on havaittu hyväksi kompromissiksi tulostusajan ja tarkkuuden suhteen.

SLS-tekniikassa hienojakoinen tulostusmateriaali levitetään tasaiseksi kerrokseksi tulostusalustalle, jonka jälkeen tehokas lasersäde sulattaa materiaalin kerros kerrokselta digitaalisen mallin pohjalta tehtyjen viipaleiden perusteella. Jokaisen kerroksen jälkeen tulostusalusta laskeutuu yhden kerroksen verran ja uusi kerros tulostusmateriaalia levitetään vanhan päälle. Näin jatketaan, kunnes kaikki kappaleen kerrokset on valmistettu päällekkäin ja kokonainen kappale on valmis. (Lou, A & Grosvenor, C. 2012.)

Stereolitografiassa eli SLA-tekniikassa, käytetään nestemäistä kemiallista yhdistettä, joka kovetetaan ultraviolettisäteen avulla toisiinsa päällekkäin sulautuneiksi kerroksiksi. Kuten aiemmin kuvatuissa tekniikoissa, stereolitografiassakin tulostusmateriaalia levitetään ensin kerrokseksi, joka kovetetaan. Tämän jälkeen tulostusalustaa lasketaan yhden kerrospaksuuden verran ja uusi kerros materiaalia levitetään ja kovetetaan. (3D Systems Inc. 2013)

2.2 Tulostusmateriaalit

Esittelen lyhyesti muutamia yleisimpiä tulostusmateriaaleja, joita käytetään FDM, eli pursotustekniikassa. Eri materiaalit sopivat ominaisuuksiensa puolesta eri tarkoituksiin. Tulostusmateriaali voidaan valita ympäristöystävällisyyden, kestävyys, kuumuuden sietokyvyn, ulkonäön tai muiden haluttujen

ominaisuuksien perusteella. Materiaaleista löytyy useita väri vaihtoehtoja, läpinäkyviä ja pimeässä hohtavia vaihtoehtoja.

PLA, *polylactic acid*, on biologisesti hajoava, tärkkelyspohjainen muovi. Se on tulostettaessa hajuton ja turvallinen. Tavanomainen tulostuslämpötila PLA:lle on noin 180-230 Celcius-astetta. Valmiit kappaleet ovat melko kestäviä, mutta eivät siedä kuumuutta kovin hyvin. (Canessa, Fonda & Zennaro 2013, 51)

ABS, *acrolonitrine butadine styrene*, on öljypohjainen muovi. ABS:n tulostuslämpötila vaihtelee 210-260 Celcius-asteen välillä ja lämmitessään ABS tuottaa haitallisia kaasuja. Siksi on huolehdittava riittävästä ilmastoinnista tällä materiaalilla tulostettaessa. ABS on vahvempaa ja kuumuutta paremmin kestävä kuin PLA. (Canessa, Fonda & Zennaro 2013, 52)

Edellä mainittujen muovien lisäksi voidaan tulostaa myös metalleja, puuta, elintarvikkeita, sekä soluja. En tässä kuvaile näiden harvinaisempien materiaalien käyttöä tarkemmin, sillä niiden tulostamiseen tarvittavat tekniikat ovat vasta alkutekijöissään, eivätkä vielä toistaiseksi kuluttajien saatavilla.

2.3 3D tulostimen asettamat rajoitukset

Tulostimen puutteisiin tai rajoitteisiin voidaan katsoa kerrospaksuus ja tyhjän päällä olevien osien tulostaminen. Kerrospaksuudesta johtuen kappaleeseen jää läheltä katsottuna näkyvät kerrokset, jotka korostuvat pyöreissä, kaarevissa pinnoissa. Tätä voidaan ehkäistä tulostamalla ohuemmallalla kerrospaksuudella. Ohuemman kerrospaksuuden käyttö kuitenkin lisää tulostusaikaa ja varmatoimisten asetusten löytäminen on vaikeaa.

Tyhjän päällä roikkuvien kappaleen osien tulostaminen on mahdotonta käytössä olleella FDM-pursotustekniikkaa käyttävällä tulostimella. Pursotettavan kerroksen alla on aina oltava jotain tarttumispintaa, joko edellinen tulostettu kerros tai roikkuvien osien alle tulostettu tukimateriaali. Poikkeuksena tähän ovat pienet kolot joiden molemmin puolin on materiaalia ja tulostuspää vain kulkee kolon yli. Paras

tapa välttää ongelmat on suunnitella kappale siten, että siihen ei tule roikkuvia osia. Tulostin pystyy tulostamaan noin 45 asteen vinossa kulmassa, jolloin pursotettu lanka on puoliksi tyhjän päällä ja puoliksi edellisen kerroksen päällä.

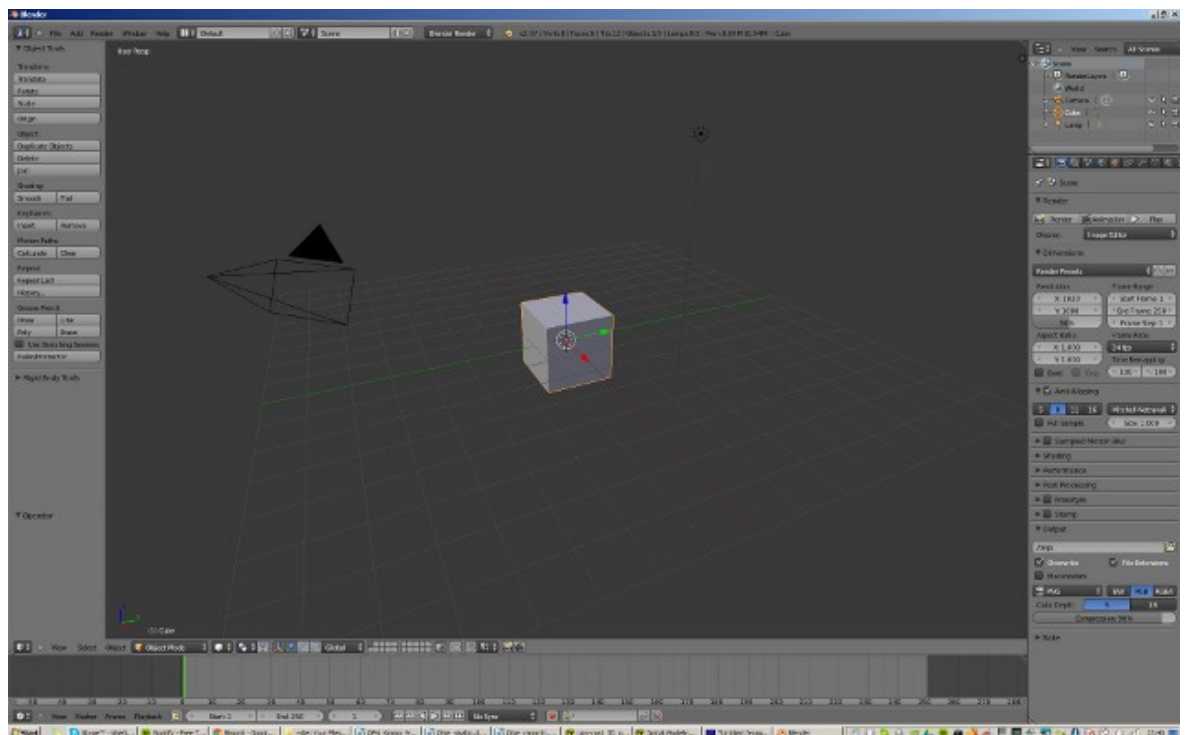
Kappale voidaan kääntää tulostumaan sellaiseen asentoon, ettei roikkuvia osia tule. Se voidaan myös halkaista mallinnusohjelmassa, tulostaa vastakkaiset osat ulkopinta ylöspäin, ja lopuksi liimataan puolikkaat yhteen. Roikkuvien kohtien alle voidaan myös tulostaa tukirakenne, joka poistetaan tulostuksen jälkeen. Tämä kuitenkin käyttää ylimääräistä materiaalia ja tulostusaikaa. Omien kokemusteni perusteella tukirakenteiden käyttö ei ole käytännöllistä ja yritänkin välttää niiden käyttöä. Lisääntynyt tulostusaika ja materiaalin tarve sekä tukirakenteen poistamisen aiheuttama pintavaurio on mahdollista välttää uhraamalla hieman aikaa kappaleen mallinnusvaiheessa tulostuksen suunnitteluun.

3 3D mallinnuksen esittely

William Vaughn summaa digitaalisen mallintamisen kirjassaan seuraavasti:

"Digital modeling refers to the process of creating a mathematical representation of a three-dimensional representation of an object ." (2012, 4.)

3D mallinnuksessa käytetään CAD-ohjelmaa, *computer aided design*. CAD-ohjelmia on saatavilla lukemattomia eri tarpeisiin ja hintaluokkiin tarkoitettuja, yksittäisiä sovelluksia tai kokonaisvaltaisia ohjelmistopaketteja. Tästä johtuen myös mallinnuksessa käytettäviä tekniikoita on olemassa valtava määrä. Seuraavaksi esittelen yleisellä tasolla mallinnuksen keskeisimmät käsitteet.



Kuva 1. Blender 3D -mallinnusohjelman perusnäky

Mallinnusohjelmassa kappaleet luodaan x-, y- ja z-akseleiden määrittämään koordinaatistoon, 3D avaruuteen. Tähän avaruuteen voidaan luoda pisteitä(vertex) haluttuihin koordinaatteihin. Kaksi eri paikassa sijaitsevaa pistettä yhdistämällä voidaan luoda janoja, ja kolme tai useampia pisteitä yhdistämällä pintoja(face). Pinnoissa kahden pisteen välisiä janoja kutsutaan sivuiksi(edge). Pisteitä ja sivuja

liikuttamalla, sekä yhdistämällä voidaan luoda kolmiulotteisia kappaleita esittäviä pintoja.

Mallinnusohjelmissa on yleensä valmiita, niin kutsuttuja primitiiviobjekteja. Nämä voivat olla esimerkiksi kuutioita, palloja, sylintereitä tai kartioita. Myös muita primitiivejä tai jopa valmiita, monimutkaisia malleja voi olla valmiina käytettäväksi. Primitiivejä käytetään aihioina uusia kappaleita mallinnettaessa, jotta aina ei tarvitsisi aloittaa tyhjästä. Usein primitiivit muistuttavat jo valmiiksi haluttuja malleja ja lopputulokseen voidaan päästä vähäisilläkin muokkauksilla.

Pisteiden ja pintojen liikuttamisen lisäksi kappaleisiin voidaan lisätä niin kutsuttuja muokkaajia(modifier). Muokkaajan parametreja muuttamalla voidaan vaikuttaa kappaleen geometriaan muuttamatta kappaleen alkuperäistä geometriaa. Muokkaajia on paljon erilaisia ja niitä voidaan lisätä päällekkäin pinoon, jolloin järjestyksessä viimeinen vaikuttaa myös aikaisempien tekemiin muutoksiin.

4 Tulostettavan kappaleen mallintaminen Blender 3D:llä

3D tulostusta varten tehtävään mallinnukseen löytyy lukemattomia ilmaisia ja kaupallisia ohjelmia. Olen suosinut ilmaisia ohjelmia, sillä ne soveltuvat käyttötarpeisiin vähintäänkin riittävästi. Valitsin produktin tekemiseen ilmaisen Blender 3D mallinnus- ja animaatiosovelluksen. Minulla oli jo ennestään kokemusta sen käytöstä, eikä käytön opetteluun siksi tarvinnut uhrata aikaa.

Blenderistä löytyy myös hiljattain lisättyjä työkaluja juuri 3D tulostamiseen tarkoitettujen mallien tekemiseen. Näillä työkaluilla voi esimerkiksi tarkistaa kappaleiden reijättömyyden, tilavuuden, pintojen eheyden ja roikkuvien osien kaltevuuden. Näille tarkastustyökaluille voidaan määrittää raja-arvot, joiden ylittyessä ohjelma varoittaa mahdollisista ongelmakohtista.

4.1 Mallinnuksen suunnittelu

Valitsin mallinnettavaksi kappaleeksi "Tähtien Sota"-elokuvasta tutun palkkionmetsästäjä Boba Fettin ase. Käytän mallinnuksen apuvälineenä referenssikuvaa, josta saan suoraan oikeat mittasuhteet ja apua yksityiskohtien mallintamiseen.



Kuva 2. Referenssikuva

Lähdin tarkastelemaan referenssikuvaa jakamalla sen sellaisiin osiin, että tulostettaessa ei tulisi roikkuvia osia. Mietin mitkä osat kannattaa tulostaa pystyyn ja mitkä lappeelleen. Päätin tulostaa piipun pystyyn, sillä siten saadaan parempi

tulostustarkkuus piipussa oleviin ulokkeisiin ja se mahdollistaa haluamani yksityiskohtien tulostamisen. Tähtäimen kanssa tuli olla varovainen, sillä tartuntapinta on pieni ja kappale korkea. Tällöin kappale irtoaa helposti tulostusalustasta tulostuspään tulostaessa viimeisiä kerroksia. Kappale vääntyy irti, kun tulostuspää koskettaa sitä ylimpiä kerroksia tulostaessaan.

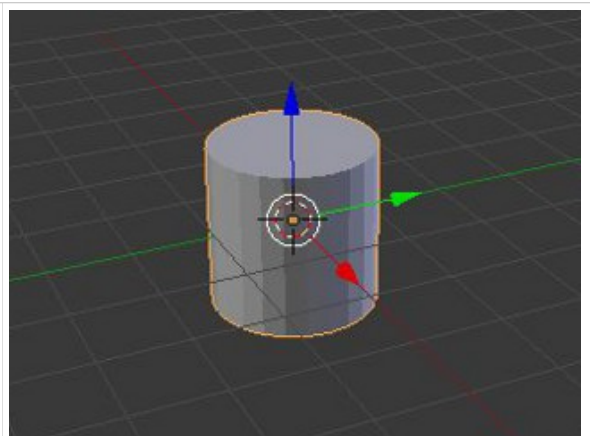


Kuva 3. Erikseen mallinnettavat ja tulostettavat osat referenssikuvassa

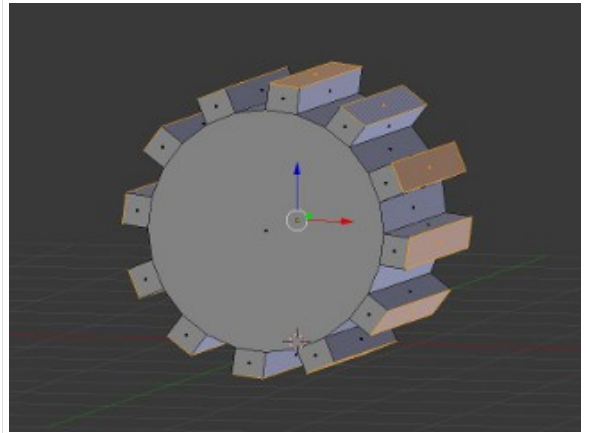
Kahvan ja tukin päätin halkaista ja tulostaa lappeellaan ja sitten liimata kappaleet yhteen. Kahvan muodosta johtuen se olisi ollut mahdotonta tulostaa pystyyn. Lappeellaan tulostaminen myös mahdollisti reunojen pyöristämisen. Käytin kahvaa ja tukkia tulostaessa tarkempaa 0.2 millimetrin kerrospaksuutta lisäämään pyöristykseen tarkkuutta. Muiden osien kerrospaksuus on 0.3 millimetriä. Kokemukseni mukaan 0.2 millimetrin kerrospaksuus toimii kohtuullisen hyvin ilman ylimääräisiä ja aikaavieviä kalibrointeja tulostimen asetuksiin.

4.2 Piipun mallintaminen

Lisäsin tyhjään 3D avaruuteen 24 sivuisen sylinterin, sillä se on lähellä piipun muotoa ja tarjoaa mahdollisuudet tarvitsemiini yksityiskohtien mallintamiseen. Sylinteri on yksi mallinnusohjelmassa valmiina olevista "primitiiviobjekteista", joita voidaan lisätä ja muokata.



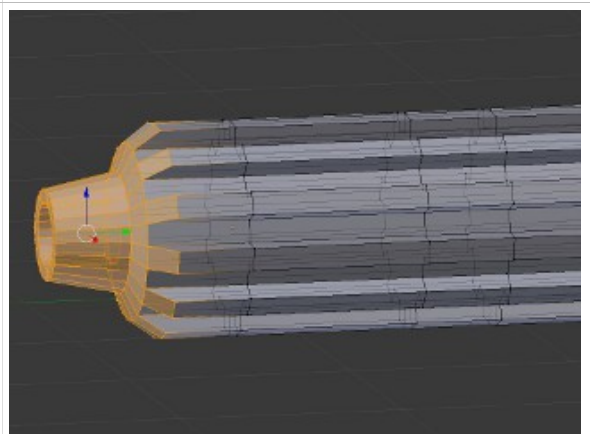
Sylinteri koostuu kolmiulotteisessa avaruudessa sijaitsevista pisteistä, pisteitä yhdistävistä sivuista ja sivuista muodostuvista pinnoista. Näitä voidaan yksitellen aktivoida ja muokata. Valitsin joka toisen pinnan sylinterin kehältä ja venytin niitä ulospäin käyttäen hyvin yleistä Extrude-työkalua.

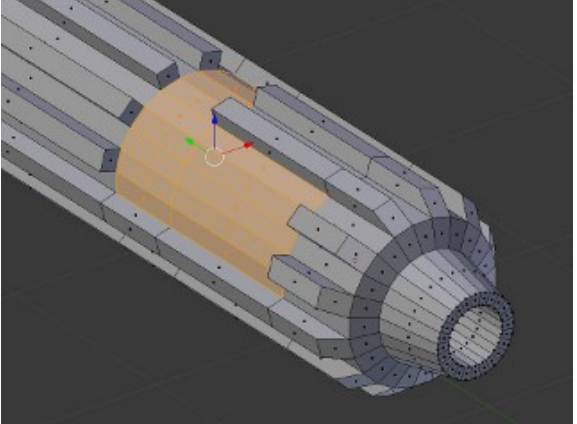


Lisäsin referenssikuvan mallinnusohjelmaan taustakuvaksi, jotta sivulta katsottaessa voin asetella mallinnetut kappaleet kuvan päälle ja siten saada oikeat mittasuhteet. Siirsin sylinterin oikeaan kohtaan referenssikuvan päälle. Valitsin kaikki pisteet sylinterin toisesta päästä ja siirsin niitä vihreän nuolen osoittaman y-akselin suunnassa, jotta kappale vastaisi referenssikuvaa.



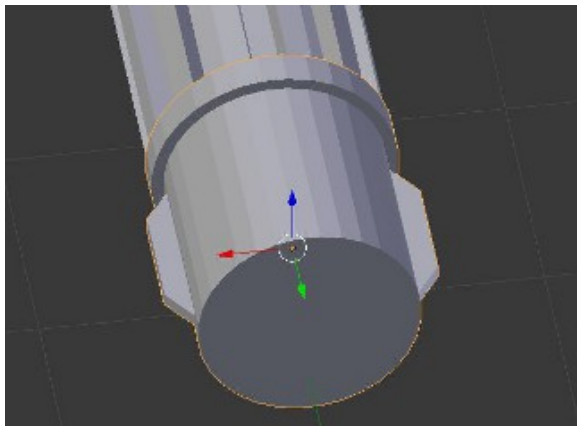
Lisäsin sylinterin toiseen päähän yksityiskohtia skaalaamalla sylinterin päädyn pisteitä sisäänpäin ja venyttämällä niitä sen jälkeen ulospäin y-akselin suunnassa. Lisäsin myös sylinteriin poikittain kolme leikkausta, joista seuraavassa vaiheessa muokkaan piippuun yksityiskohtia. Leikkausten lisääminen on hyvin yleinen käytäntö. Se lisää pisteitä olemassa olevan kappaleen sivuihin muuttamatta




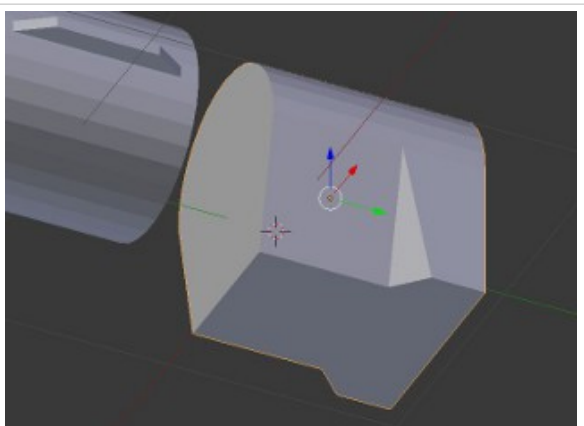
<p>kappaleen muotoa. Näin voidaan lisätä yksityiskohtia haluttuun kohtaan kappaletta.</p>	
<p>Lisättyjen leikkausten ansiosta pystyin upottamaan haluamani pinnat takaisin sylinterin alkuperäisen pinnan korkeudelle. Näin sain aikaiseksi haluamani yksityiskohdan piipun sivuun.</p>	

4.3 Piipun keskiosan mallintaminen

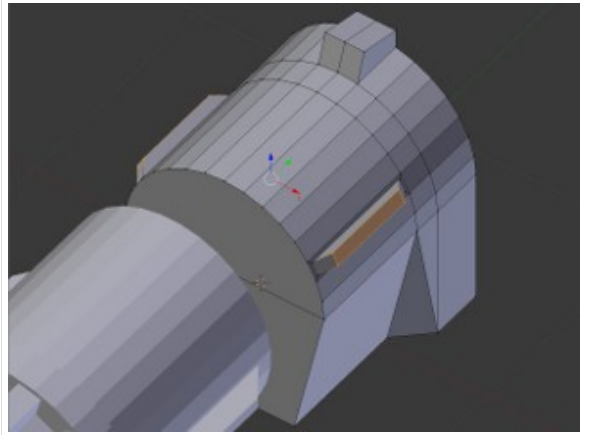
<p>Lisäsin uuden 24 sivuisen sylinterin, jonka kiersin x-akselin ympäri 90 astetta, asetin referenssikuvan päälle ja skaalasin oikean kokoiseksi.</p>	
<p>Sylinterin toisessa päässä olevan suuremman renkaan tein skaalaamalla päädyn pisteitä ulospäin ja sitten venyttämällä niitä y-akselin suuntaisesti. Sylinterin sivuilla olevat siivekkeet mallinsin venyttämällä yhtä sylinterin sivuista ulospäin ja skaalaamalla venytettyjä pisteitä sisäänpäin y-akselin suuntaisesti. Näin mallinnetut siivekkeet eivät muodosta tyhjän päällä roikkuvaa aluetta, vaan noin 45 asteen kulman,</p>	

<p>joka tulostuu vielä ongelmitta.</p>	
<p>Mallinsin toisen siivekkeen symmetrisesti kappaleen toiselle puolelle. Kuvassa näkyvät myös nuolien osoittamat akselit: vihreä y-akseli, punainen x-akseli ja sininen z-akseli.</p>	

4.4 Piipun takaosan mallintaminen

<p>Lisäsin 24 sivuisen sylinterin, josta poistin puolet alaosan pisteistä. Kiersin, skaalasin ja asetin kappaleen referenssikuvan päälle. Venytin alimpia pisteitä z-akselin suuntaisesti alaspäin. Näin sain muodostettua tasaisen, kuutiomaisen pinnan sylinterin puolikkaan alle.</p>	
<p>Lisäämällä kaksi leikkausta kappaleen keskelle sain mallinnettua vinon pinnan kappaleen keskiosaan. Skaalasin vielä alimpia pisteitä x-akselin suuntaisesti kappaleen lopullisen muodon saavuttamiseksi.</p>	

Sivun venytystä ja skaalausta käyttäen lisäsin kappaleen sivuille siivekkeet, sekä kappaleen yläosaan tähtäimen. Nämä yksityiskohdat alkavat olla niin pieniä, että joudun testaamaan ensimmäisen tulostusversion avulla niiden toimivuuden lopullisessa kappaleessa. Tulostimen tarkkuus ei välttämättä riitä näin pieniin yksityiskohtiin ja siksi vedoksen avulla varmistan, että yksityiskohdat tulostuvat kunnolla.



4.5 Tähtäimen mallintaminen

Lisäsin sylinterin jonka käänsin 90 astetta x-akselin suuntaan, skaalasin oikeaan kokoon ja sijoitin referenssikuvan päälle. Päästä venyttämällä ja skaalaamalla sain nopeasti tähtäimen yksinkertaisen muodon. Tulostusta varten leikkasin tähtäimen kahtia keskeltä ja käänsin kappaleet pystyyn leveämpi puoli alaspäin, jotta välttäisin ulospäin levenevät pinnat.

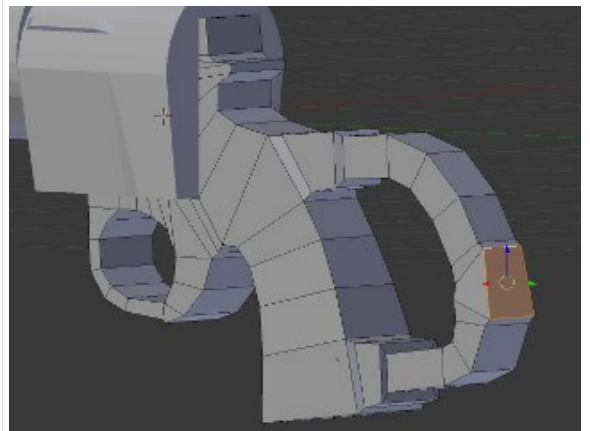


4.6 Kahvan mallintaminen

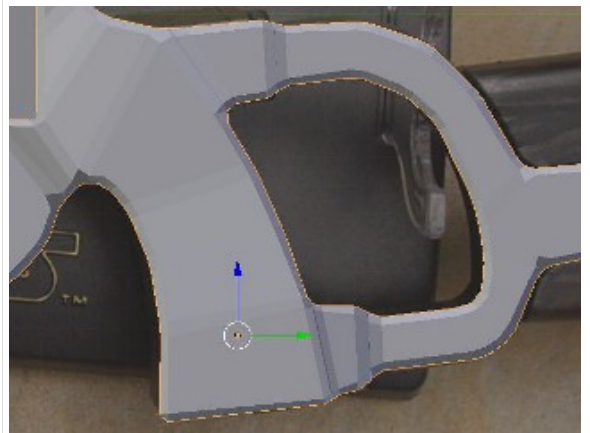
Lisäsin kuution kahvan alaosan päälle ja skaalasin sen oikean kokoiseksi. Tämän jälkeen aloin yksittäisiä pisteitä kerrallaan valitsemalla siirrellä niitä kulkemaan kahvan ääri viivojen mukaan tarvittaessa venyttämällä lisää pisteitä edellisestä sivusta. Tätä toistamalla sain mallinnettua kahvan ääri viivat.



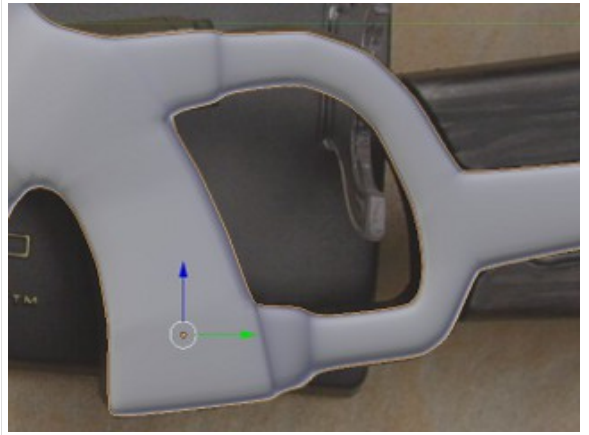
Koska aloitin kuutiosta, kahvaan mallintui automaattisesti punaisen x-akselin suuntainen paksuus, vaikka tein mallinnuksen pelkästään toiselta sivulta kuvatussa näkymässä referenssikuvan päälle.



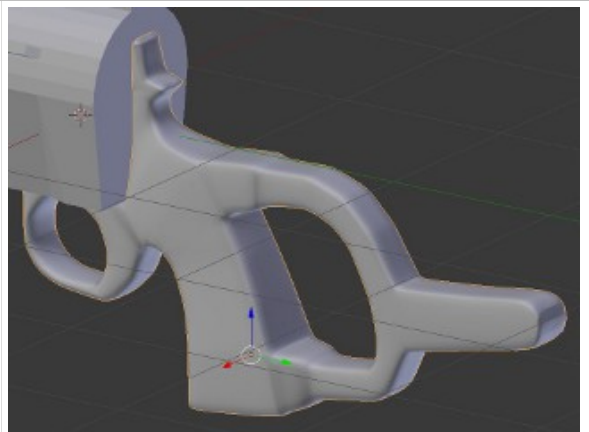
Kun kahvan muoto oli valmis, lisäsin kappaleeseen Bevel-"muokkaajan". Muokkaajat ovat määritteitä, jotka muuttavat kappaleen muotoa annettujen parametrien mukaisesti muuttamatta alkuperäistä kappaletta. Bevel-"muokkaaja" lisää kappaleen reunoihin lisää pisteitä. Tätä tarvitaan seuraavassa vaiheessa pyöristettyjen kulmien aikaansaamiseksi.



Bevel-"muokkaajan" päälle lisäsin Subsurface-"muokkaajan", joka pyöristää kappaleen muotoja paikallisesti löytyvien pisteiden perusteella. Mitä enemmän pisteitä paikallisesti löytyy, sitä terävämmäksi kulma tulee. Jos pisteitä on vähän jollakin alueella kappaleessa, tulee pyöristymisen vaikutuksesta voimakkaampi. Tämän kappaleen kohdalla halusin pyöristää kaikkia ääriiviivojen kulmia vain vähän, joten Bevel-"muokkaaja" toimi tässä tarkoituksessa hyvin.

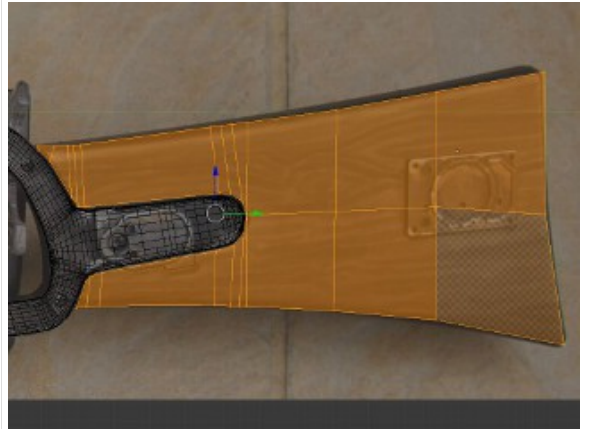


"Muokkaajien" etuja ovat: ne eivät muuta alkuperäisen kappaleen muotoa pysyvästi, niiden parametreja voi muuttaa interaktiivisesti, ne voi koska tahansa poistaa ja palata alkuperäiseen kappaleeseen. "Muokkaajan" vaikutus voidaan myös asettaa kappaleen todelliseksi muodoksi, eikä parametreja voi enää tämän jälkeen muuttaa tai "muokkaajaa" poistaa. Tätä toimenpidettä tarvitaan myöhemmin, kun kappaleita valmistellaan tulostusta varten.

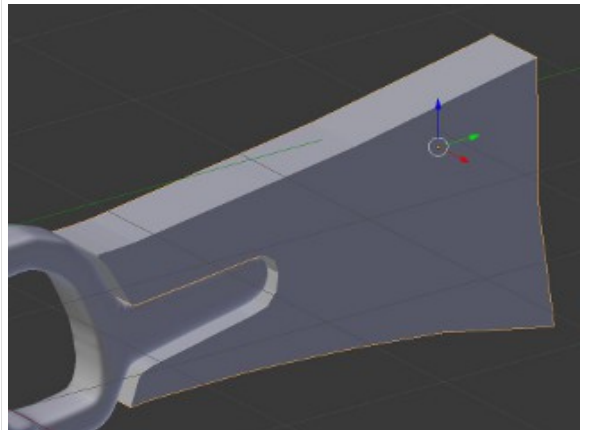


4.7 Tukin mallintaminen

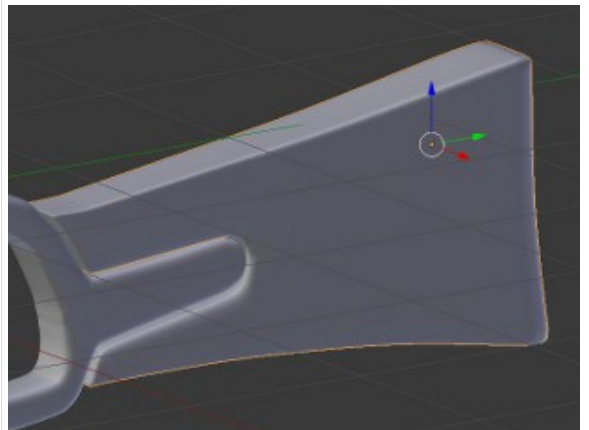
Kuten kahvankin kohdalla, aloitin mallinnuksen lisäämällä kuution tukin päähän ja siirtämällä pisteitä ääri viivojen mukaisiksi. Lisää pisteitä tein venyttämällä kuution yhtä sivua y-akselin suuntaan. Keskelle tukkia tein vaakasuunnassa leikkauksen, jotta saan jaettua tukin toisen pään kahteen haarakkeeseen. Ne kiertävät kahvasta tulevan ulokkeen ympäri.



Lisäsin Bevel-"muokkaajan", joka lisää pisteitä reunoihin ja alustaa kappaletta seuraavan vaiheen Subsurface-"muokkaajaa" varten.

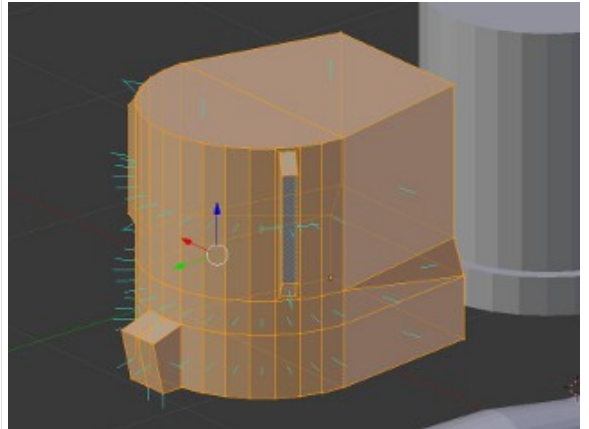


Lisäsin Subsurface-"muokkaajan" pyöristämään kappaleen reunat.

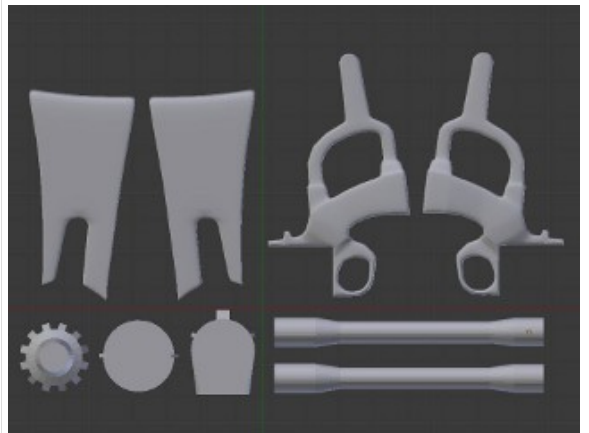


4.8 Kappaleiden valmisteleminen tulostusta varten

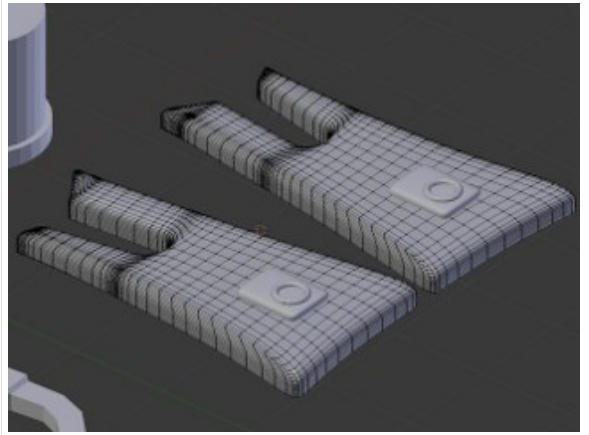
Kappaleiden tulee olla pinnaltaan yhtenäisiä, eikä niissä saa olla reikiä. Tarkistin kappaleista pinnanormaalien suunnan. Jokaisella pinnalla on suunta, johon pinnan normaali osoittaa (kuvassa siniset viivat). Kappaletta muokattaessa pinnanormaalit voivat kääntyä osoittamaan kappaleen sisään, jolloin pinnassa on ikäänkuin reikä siinä kohtaa. Samalla tarkastin ja poistin kaksinkertaiset pisteet eli pisteet, jotka ovat päällekkäin samassa koordinaatissa. Asetin kappaleet siten, että niiden pohjat olivat samalla tasolla z-akselilla.



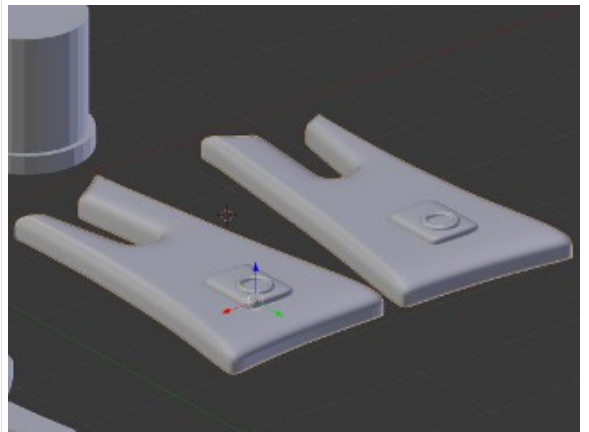
Näkymä ylhäältä. Käänsin kappaleet pystyyn tulostamista varten. Näin vältin tyhjän päällä roikkuvat alueet, eikä tulostettaessa tarvitse käyttää tukirakenteita. Tämän otin huomioon jo kappaleen mallinnusta suunniteltaessa. Tukin ja kahvan halkaisin keskeltä, jotta pyöristetyt kulmat tulostuvat mahdollisimman hyvin.



Liitin subsurface-"muokkaaja"
kappaleeseen kiinteäksi, jonka jälkeen
"muokkaajan" tekemät muutokset tulivat
osaksi kappaleen varsinaista geometriaa.
Tämän jälkeen tarkistin pinnanormaalien
suunnan sekä päällekkäiset pisteet.



Vielä on mahdollista lisätä pieniä
yksityiskohtia kappaleisiin. Tämä pieni
lenkki oli helpompi lisätä, kun kappale
oli jo tulostusasennossa. Mallinsin
yksityiskohdan vain kertaalleen ja
kopioin sen tukin toiseen osaan
sellaisenaan.

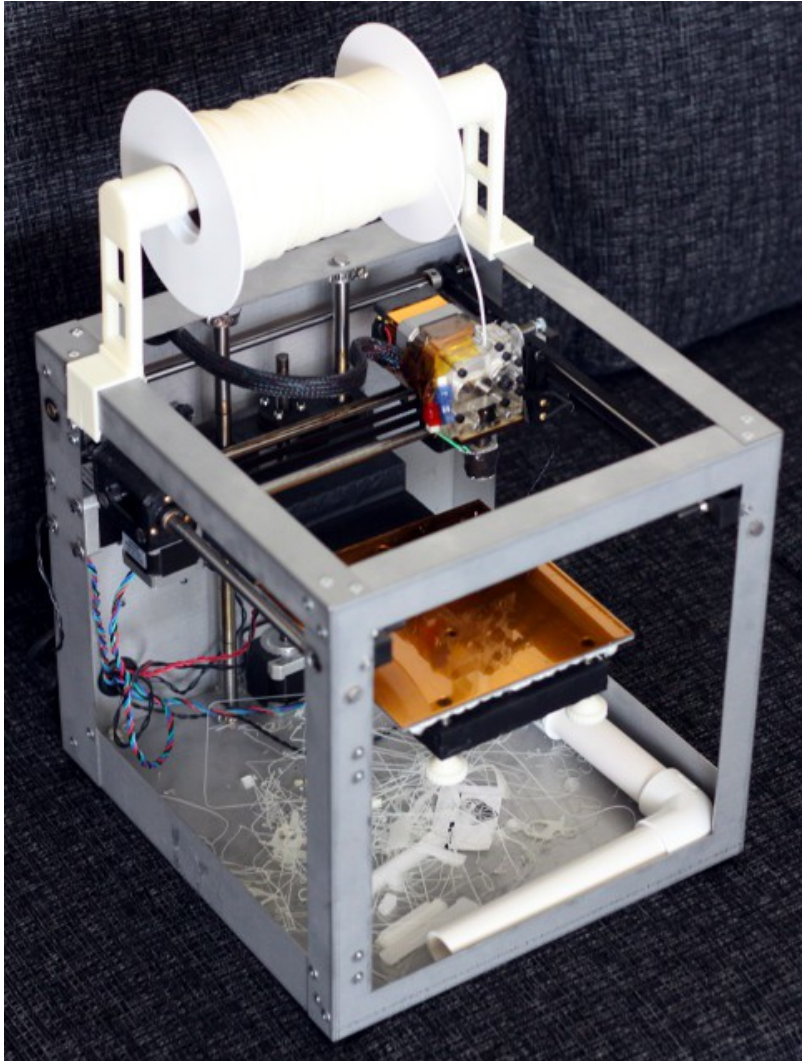


Kuva 4. Renderöinti valmiista mallinnetusta kappaleesta

5 3D mallin tulostaminen

Tässä kappaleessa esittelen produktissa käyttämäni 3D tulostimen ja sen osat lyhyesti. Sen jälkeen käyn läpi vaihe vaiheelta tarvittavat toimenpiteet ennen tulostuksen aloittamista ja esittelen kuvien avulla osien tulostumisen.

5.1 Projektissa käytetyn 3D tulostimen esittely



Kuva 5. Produktissa käytetty Solidoodle 2 3D tulostin

Käytin produktin mallin tulostamiseen omistamaani Solidoodle 2 3D tulostinta. Solidoodle on kirjoitushetkellä yksi markkinoiden edullisimmista valmiiksi kasatuista 3D tulostimista. Kyseisen laitteen tilasin kesällä 2012 Yhdysvalloista, jolloin sen hinta oli 500 dollaria. Vastaavien valmiiksi kasattuja 3D tulostimien

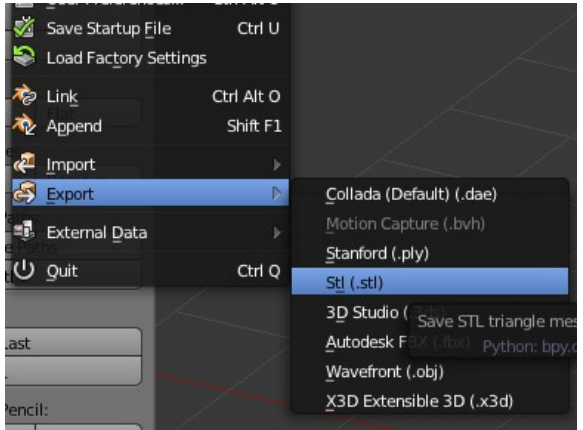
hinnat liikkuvat 500 dollarin ja 3000 dollarin välillä. Solidoodle 2:n tulostusalue on 15 senttimetriä leveys- ja syvyysuunnissa, ja sillä voidaan tulostaa 15 senttimetriä korkeita kappaleita.

Tulostin on koottu tukevan metallisen kehikon ympärille ja sisäpuolelle. Kehikon sisäpuolella on pystyakselilla liikkuva, lämmitettävä tulostusalue, jolle tulostettava kappale piirretään kerros kerrokselta. Alustan lämmittäminen edesauttaa kappaleen tarttumista tulostusalueeseen ja vähentää siten kappaleiden irtoamista tulostuksen aikana. Tulostusalueen yläpuolella on tulostuspää, jota liikuttavat erittäin tarkat moottorit sivuttais- ja syvyysuunnissa. Itse tulostuspää sisältää myös moottorin materiaalilangan syöttöä varten. Kelalla oleva tulostusmateriaali sijaitsee kehikon päällä. Tulostinta ohjaava ja tietokoneeseen yhdistettävä mikropiiri sijaitsee tulostimen takana.

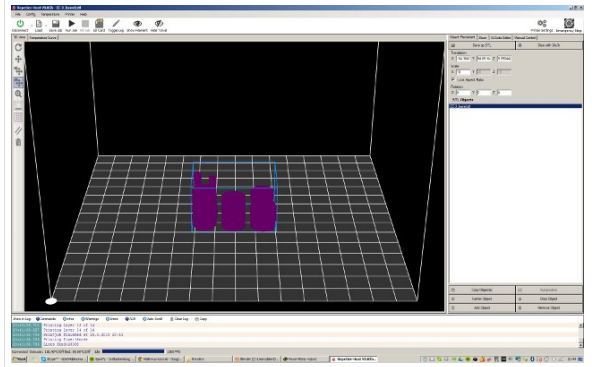
5.2 Kappaleiden tulostus

Käyttämäni tulostusohjelma on avoimeen lähdekoodiin perustuva Repetier-Host. Tulostusohjelma huolehtii digitaalisen mallin siivuttamisesta annettujen asetusten mukaisesti ja lähettää tämän tiedon tulostimen ymmärtämässä muodossa tulostimelle.

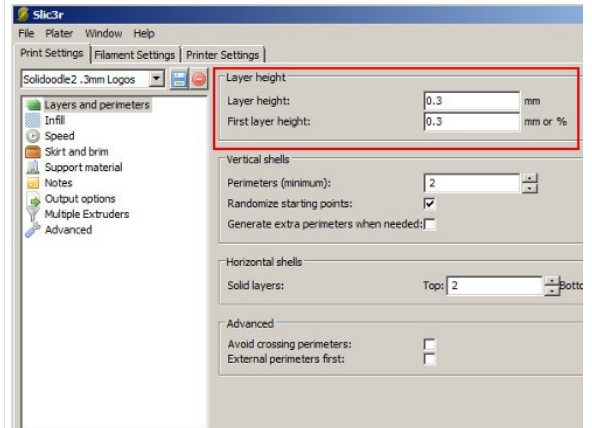
Mallinnusohjelmassa valmis objekti tallennetaan STL-tiedostomuotoon. STL on yleinen tiedostomuoto 3D-mallien pinnan kuvaamiseen ja sitä käytetään laajasti 3D-tulostamisessa.

A screenshot of a 3D software interface showing a menu with the 'Export' option selected. The 'Export' submenu is open, displaying several file format options: 'Collada (Default) (.dae)', 'Motion Capture (.bvh)', 'Stanford (.ply)', 'Stl (.stl)', '3D Studio (. Save STL triangle mes', 'Autodesk FBX (.fbx) Python: bpy.d', 'Wavefront (.obj)', and 'X3D Extensible 3D (.x3d)'. The 'Stl (.stl)' option is highlighted with a blue selection bar.

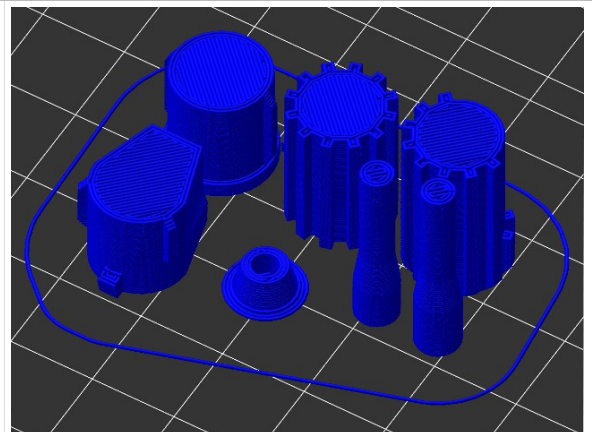
STL-tiedosto ladataan Repetier-Host -tulostusohjelmaan. Tulostusohjelma viipaloi mallin kerroksiin annettujen parametrien perusteella.



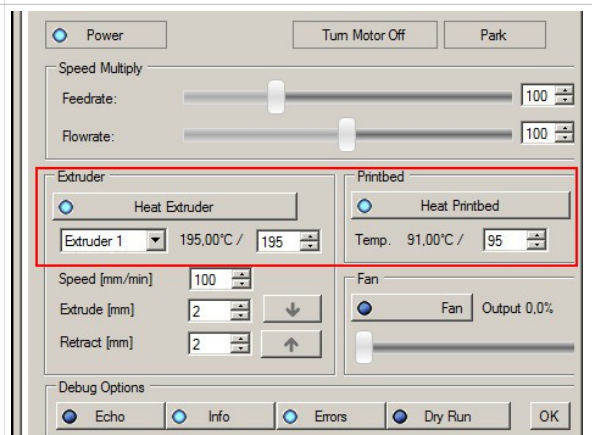
Tulostusohjelmassa määritellään muun muassa tulostettavien kerrosten paksuus, tulostusnopeus ja kappaleen täyttöaste. Näiden kappaleiden tulostuksessa käytetään 0.3 millimetrin kerrospaksuutta, joka on hyvä kompromissi tulostuslaadun ja -ajan suhteen.



Tulostusohjelma viipaloi kappaleen ja näyttää arvion tulostuksesta. Tässä vaiheessa voidaan vielä havaita mahdolliset ongelmat itse 3D mallissa tai tulostusasetuksissa ja viat voidaan korjata ennen tulostuksen aloittamista.

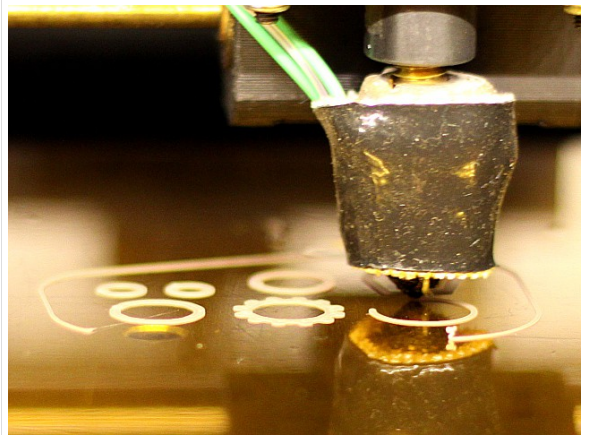


Tulostusalusta on ensin lämmitettävä tiettyyn lämpötilaan tartunnan parantamiseksi. Normaalisti tulostusalustan lämpötila vaihtelee 90-110 Celcius-asteen välillä. Tulostuspää on myös lämmitettävä ennen tulostuksen aloittamista, jotta muovilanka sulaa ja voi siten puristua tulostuspään pienen reiän kautta kerroksiksi. Tavanomainen tulostuspään lämpötila käytetylle ABS-



muoville on 190-210 astetta Celciusta.

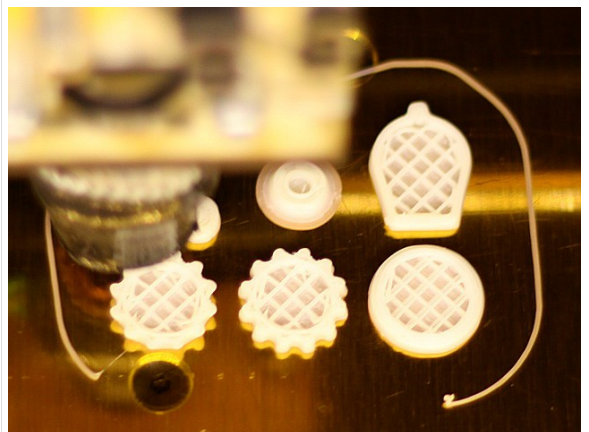
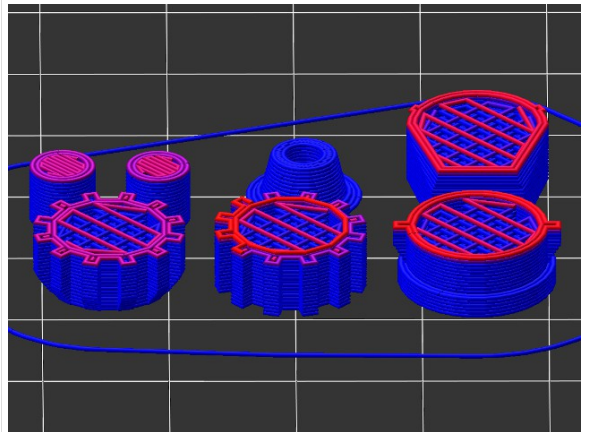
Kun tulostusalusta ja tulostuspää ovat tavoitelämpötilassa, voidaan tulostus aloittaa. Tulostin piirtää ensin kunkin erillisen kappaleen ulkopinnan muodon ja siirtyy sen jälkeen täyttämään kappaleita.



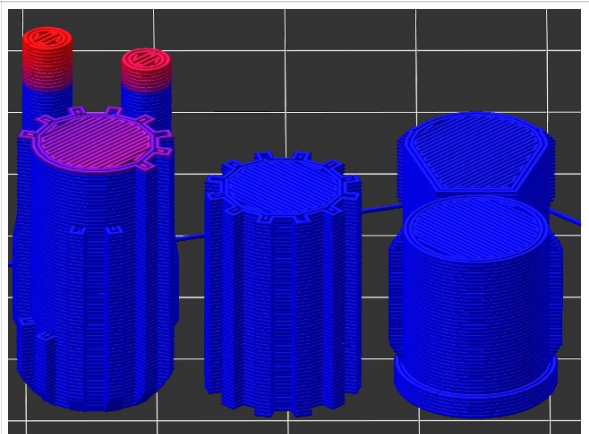
Tulostuksen etenemistä voidaan seurata tulostusohjelman piirtämästä reaaliaikaisesta mallista.

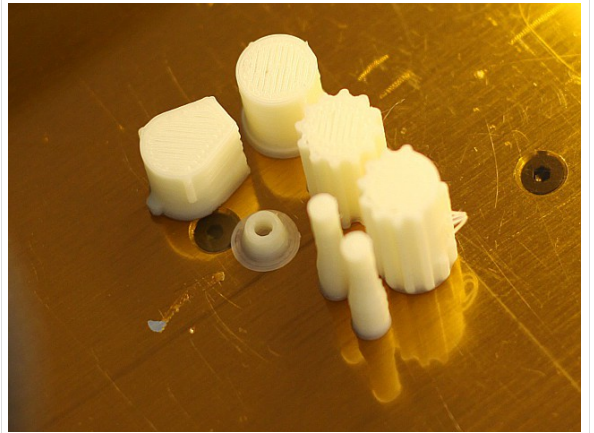
Tulostusohjelman asetuksista voidaan määrittellä täyttöaste kappaleille.

Kuvassa täyttöaste on 20 %, joten tulostin tekee kappaleiden sisälle kennorakenteen. Näin säästyy aikaa ja materiaalia.

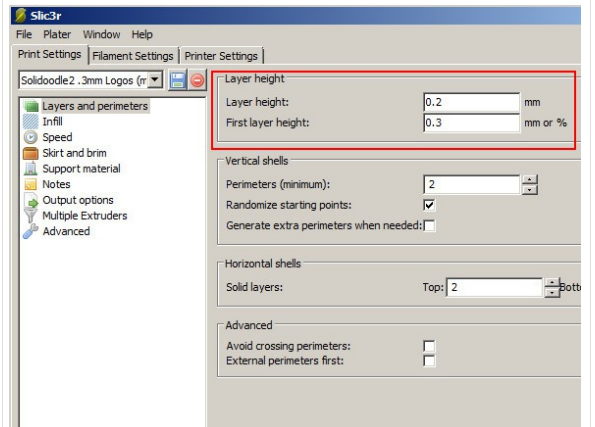


Ensimmäiset ja viimeiset kerrokset tulostetaan yleensä 100 % täyttöasteella tulostuslaadun ja kestävyuden parantamiseksi.

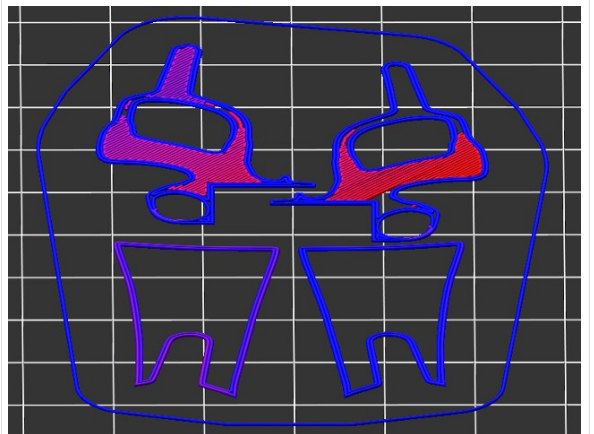
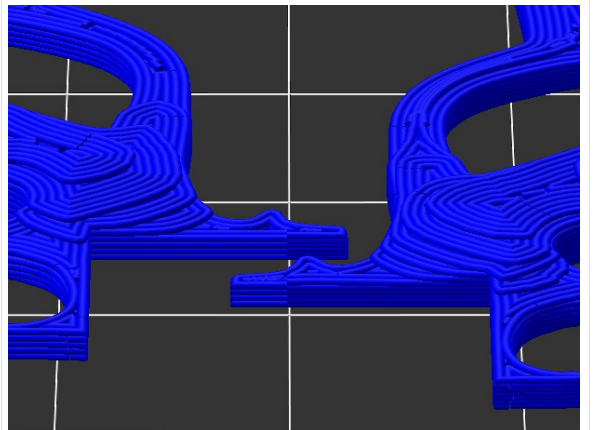


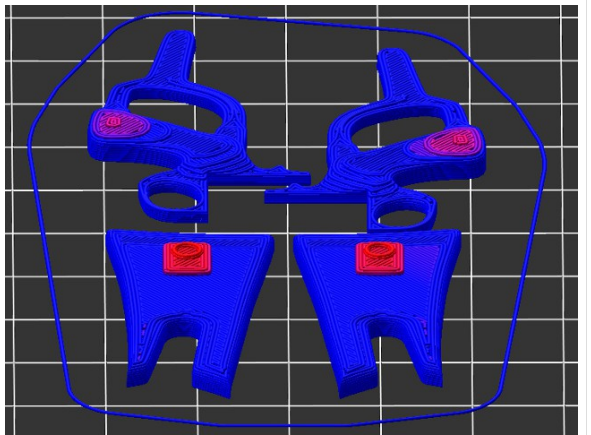
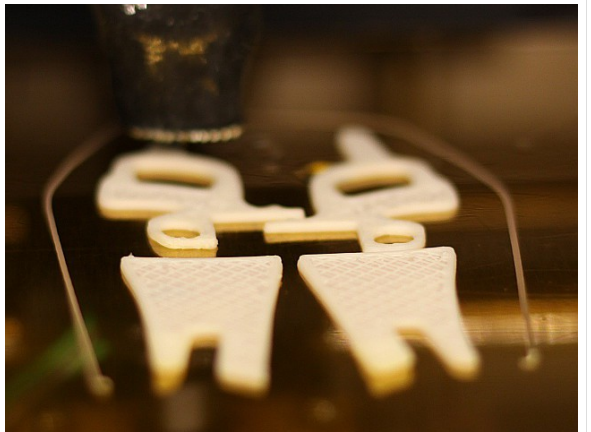
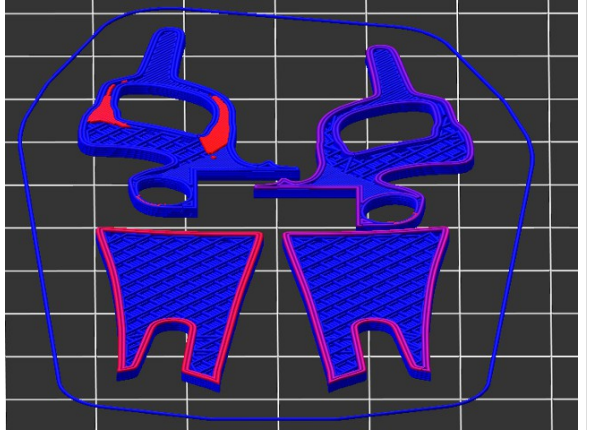
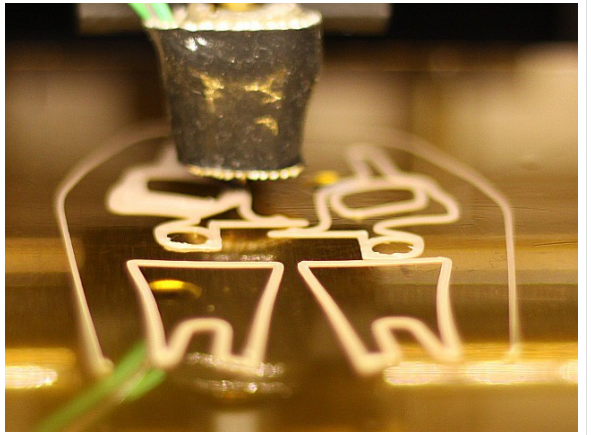


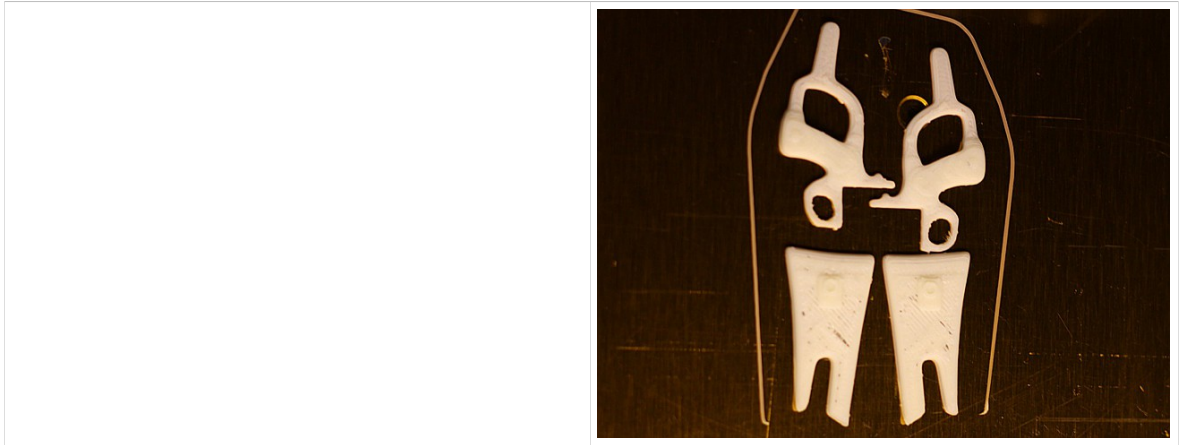
Kun piipun osat on tulostettu 0.3 millimetrin kerrospaksuudella, ladataan kahvan ja tukin mallit tulostusohjelmaan. Nämä kappaleet halutaan tulostaa 0.2 millimetrin kerrospaksuudella, joten asetuksia muutetaan ja viipalointi tehdään uusilla asetuksilla.



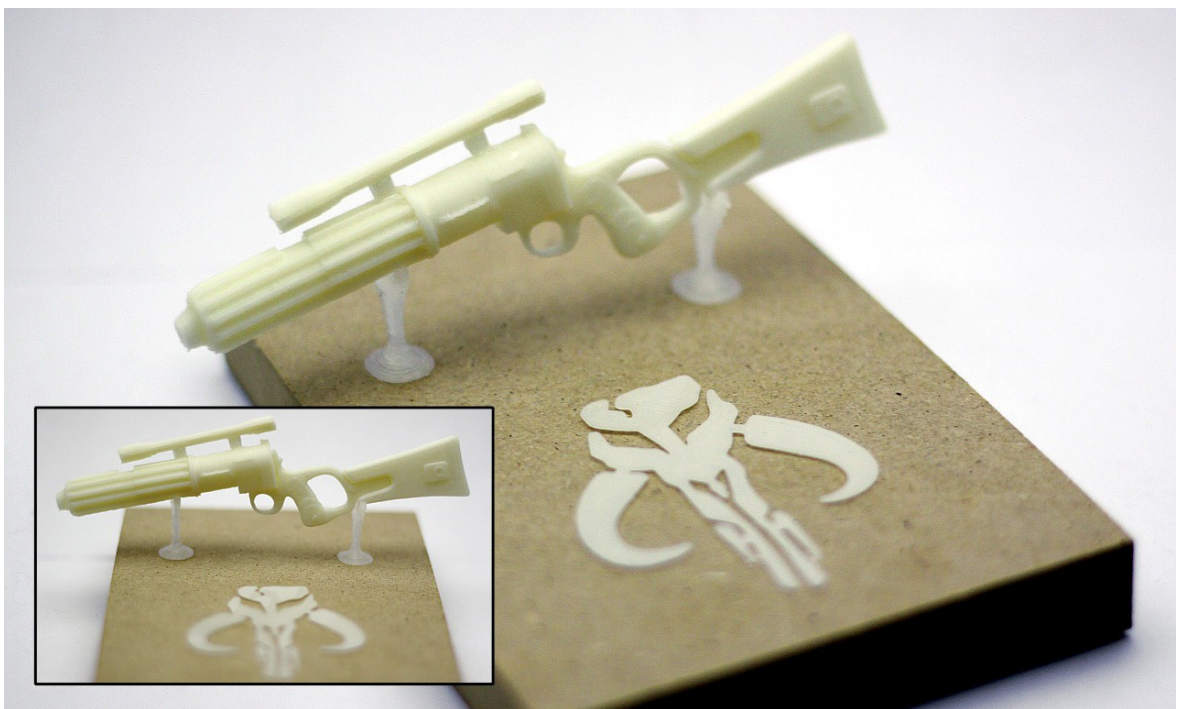
Kuvassa oikealla näkyy miten ohuempi kerrospaksuus vaikuttaa kerrosten määrään. Mitä enemmän kerroksia on, sitä tarkemmaksi kaarevien pintojen ääriviivat tulevat.







Kun tulostus on valmis annetaan tulostusalustan jäähtyä, ennen kuin kappaleet voidaan irrottaa. Jos kappaleita yrittää irrottaa liian aikaisin, ne voivat olla vielä lämpimiä ja vääntyä. Kappaleet irtoavat usein itsestään, kun ne ovat jäähtyneet tarpeeksi. Ne poistetaan tulostusalustalta ja jäljelle jääneet muovijäänteet poistetaan. Tarvittaessa tulostusalusta voidaan puhdistaa asetonilla.



Kuva 6. Valmis 12,5 senttimetriä pitkä malli tulostettuna. Tulostetut osat liimataan yhteen tavallisella muovi- tai pikaliimalla.



Kuva 7. Malli ja alusta maalataan.

6 Pohdinta

Yhdysvaltalainen toimistotarvikkeita myyvä ketju Staples ilmoitti vastikään ottavansa ensimmäisenä maailmassa valikoimiinsa kotitalouksille hintansa ja toiminnallisuutensa puolesta sopivan 3D tulostimen. Onko tämä ensimmäinen askel kohti vallankumousta, joka johtaa massatuotettujen tavaroiden katoamiseen? Tuskinpa ne kokonaan katoavat vielä pitkään aikaan mutta varmaa on, että 3D tulostimet valtaavat itselleen paikan yhtenä kodinkoneista hyvin nopeasti.

Mielestäni tulostimien toiminta ja tulosteiden laatu riittää jo tällä hetkellä kotitalouksien käyttöön erinomaisesti. Yleistymisen kynnyksenä on vain valmiiden lopputuotteiden luominen ja käytön virtaviivaistaminen. Tällaisia ratkaisuja alkaa vuoden 2013 aikana ilmestyä varmasti useita. On mielenkiintoista seurata 3D tulostimien kehitystä ja yleistymistä, sillä mahdollisuudet ovat rajattomat.

Tavoitteenani oli esittää kappaleiden luonti alusta loppuun asti ja siten näyttää mitä tietoja ja taitoja 3D tulostamisessa tarvitaan. Vaatiiko käyttö esimerkiksi pitkää koulutusta, joka olisi esteenä tulostimien nopealle yleistymiselle kuluttajien keskuudessa? Kappaleiden mallintaminen alusta lähtien itse on kieltämättä syvempää tietämystä ja aikaa vaativa prosessi. En kuitenkaan näe, että se olisi millään tavalla esteenä tulostimien yleistymiselle. Tarvittavat taidot yksinkertaisten kappaleiden mallintamiseen ja tulostamiseen voi opetella jopa muutamassa päivässä tai viikossa. Tähän auttaa myös valmiiden mallien lataus mallipankeista, usein jopa ilmaiseksi. Mallit ovat vielä kuitenkin toimivuudeltaan epämääräisiä ja vaativat joka tapauksessa tarkistustoimia tai pieniä muokkauksia onnistuneen tulostuksen varmistamiseksi.

Produktin tuotoksena syntynyt kappale vastaa referenssikuvaa hyvin tarkasti. Aivan kaikkia yksityiskohtia ei ollut mielekästä tai edes mahdollista sisällyttää tähän tulosteeseen, mutta tulos on erittäin positiivinen. Tarkoituksena oli haastaa tulostimen suorituskykyä pienillä yksityiskohdilla, joista tulostin selviytyikin kiitettävästi. Kotitalouksien saatavilla olevien 3D tulostimien tarkkuus riittää siis jo

tällä hetkellä todella moneen käyttötarkoitukseen. On vaikea kuvitella sellaista kotitalouksien käyttökohdetta, johon nykyiset edulliset 3D tulostimet eivät pystyisi. Rajoituksena ei edes ole materiaalien kestävyys, sillä esimerkiksi ABS-muovi on osoittautunut erittäin säänkestäväksi ja lujaksi materiaaliksi.

Olen omistanut 3D tulostimen jo kesästä 2012 asti. Harrastuksena olen tehnyt 3D mallinnusta yli vuosikymmenen. Opinnäytetyöni aihealue oli minulle siis ennestään tuttu, varsinkin produktin kappaleen suunnitteluvaihe. 3D tulostuksen suhteen en ollut perehtynyt sen historiaan tai eri tekniikoihin muuten kuin omistamani tulostimen puitteissa. Opinnäytetyö tarjosi siis hyvän mahdollisuuden oppia laajemmin 3D tulostuksen historiasta, kehityksestä ja nykyhetkestä. Myös eri tulostustekniikoista saatu tieto laajensi tietämystäni 3D tuotuksesta ja sen mahdollisuuksista tulevaisuudessa. Koen onnistuneeni prosessin selkeässä kuvaamisessa, sekä tekniikan esittelemisessä hyvin ja uskon työstä olevan apua aiheesta kiinnostuneille.

Lähteet

3Ders.org. 2013. Price compare - 3D printers. Luettavissa:

<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>. Luettu: 5.3.2013

3D Systems Inc. Stereolithography. Luettavissa:

<http://production3dprinters.com/sla/stereolithography>. Luettu: 21.4.2013

Canessa, E. Fonda, C. Zennaro, M. 2013. Low-cost 3D printing for Science, Education & Sustainable Development

Lou, A & Grosvenor, C. 2012. Selective Laser Sintering, Birth of an Industry.

Luettavissa: http://www.me.utexas.edu/news/2012/0712_sls_history.php#TOC.

Luettu: 5.5.2013.

Vaughan, W. 2012. Digital Modeling. New Riders. Kalifornia

What is 3D printing?. Luettavissa: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>.

Luettu: 13.2.2013.

Wikipedia. 2013. 3D Printing. Luettavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing. Luettu: 15.2.2013.

Liitteet