

SFF-TEKNOLOGIOIDEN SOVELLUSMAHDOLLISUUDET

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikan koulutusohjelma
Teknisen visualisoinnin suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
10.5.2010
Kai Hakala

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

HAKALA, KAI: SFF-teknologioiden sovellusmahdollisuudet

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 49 sivua, 5 liitesivua

Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Solid Freeform Fabrication on sateenvarjotermi, jonka alle lukeutuvat Rapid Prototyping -, Rapid Tooling - ja Rapid Manufacturing -teknologiat. SFF-teknologiat mahdollistavat fyysisten kappaleiden valmistuksen 3d-mallien pohjalta. Kappaleiden valmistuksessa käytettyjä tekniikoita on useampia kuin vain yksi. Näihin tekniikoihin kuuluvat SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modeling), LOM (Laminated Object Manufacturing) sekä 3DP (3D Printing). Jokaisella teknologialla on omat huonot ja hyvät puolensa, joten maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi tulee osata valita oikea teknologia oikeaan käyttökohteeseen.

Tulostukseen käytettävät materiaalivaihtoehdot riippuvat valitusta laitteesta. Käytettäviin materiaaleihin lukeutuvat muun muassa nestemäiset monomeerit, ABS-muovi sekä esimerkiksi Z Corporationin yhtenä materiaalina käyttämä muunneltu maissitärkkelys. Näille teknologioille löytyy käyttökohteita monelta eri alalta, kuten autoteollisuudessa, lääketieteestä, arkkitehtuurista ja teollisesta muotoilusta.

Vaikka 3d-tulostus on mahdollista myös yksityishenkilöille, löytyvät sen pääasialliset käyttökohteet eri teollisuuden aloilta. Aika, jolloin jokaisesta kodista löytyy henkilökohtainen 3d-tulostin, on vielä kaukana edessä.

Tässä opinnäytetyössä tullaan käymään läpi eri SFF-tekniikkoja ja niiden soveltumista erinäisiin käyttökohteisiin. Pääpaino opinnäytetyössä on käyttökohteiden, Open Source -vaihtoehtojen sekä SFF-teknologian avulla saavutettavien hyötyjen käsittelyssä.

Avainsanat: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, SFF

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Media Technology

HAKALA, KAI: Application possibilities of SFF-technology

Bachelor's Thesis in Visualization Engineering 49 pages, 5 appendices

Spring 2010

ABSTRACT

Solid Freeform Fabrication is an umbrella term for Rapid Prototyping, Rapid Tooling and Rapid Manufacturing technologies. The purpose of this thesis was to serve as an introduction to SFF technology by going through different SFF techniques, both Open Source and commercial ones, and by also introducing different applications.

These technologies enable the creation of real physical objects based on 3d models. There is more than just one technique used to achieve this. These include SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modeling), LOM (Laminated Object Manufacturing) and 3DP (3D Printing). Each of these have their own strengths and weaknesses. To achieve the maximum advantage it is necessary to be able to combine the right technique with the right application.

The selection of printing materials depends on the machine that you have chosen. These materials include, among others, liquid-based monomers, ABS plastic and modified cornstarch. There are many uses for these technologies in different fields, such as automotive industry, medical industry, architecture and industrial design. Though 3d printing is also possible for private persons its principal applications are found in different fields of industry. The time when a personal 3d printer can be found in every home is still far ahead.

Keywords: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, SFF

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SOLID FREEFORM FABRICATION	2
3	CAD-MALLISTA TULOSTEEKSI	3
3.1	Tiedostoformaatti	4
3.2	Tiedoston varmennus ja korjaus	6
3.3	Lopullisen tulostustiedoston luonti	6
3.4	Additiiviset SFF-teknologiat.....	8
3.4.1	3DP™.....	8
3.4.2	FDM – Fused Deposition Modelling	9
3.4.3	LOM – Laminated Object Manufacturing	11
3.4.4	SLA – Stereolithography	12
3.4.5	SLS – Selective Laser Sintering	13
3.4.6	MM – Single Jet Inkjet	14
3.4.7	J-P – Jetted Photopolymer	15
3.4.8	DMLS – Direct Metal Laser Sintering.....	16
3.4.9	Puhdistus ja jälkikäsittely	16
4	RP-TEKNOLOGIAN POPULARISAATIO JA KEHITYS	17
4.1	3d-toimistotulostimet	18
4.2	3d-työpöytätulostimet	19
4.2.1	uPrint®.....	19
4.2.2	Solido SD300 Pro.....	20
4.2.3	Objet Geometries Alaris30	21
4.2.4	V-Flash Desktop Modeler.....	22
5	OPEN SOURCE 3D-TULOSTIMET	23
5.1	RepRap.....	23
5.2	MakerBot & CupCake CNC	24
5.3	Fab@Home	25
5.4	CandyFab	26
5.5	RapMan Pro	27
6	SFF:N HYÖDYT TUOTESUUNNITTELUPROSESSISSA	28

7	SFF:N KÄYTTÖKOHTEITA	30
7.1	Autoteollisuus	32
7.2	Ilmailuala	33
7.3	Arkeologia.....	33
7.4	Lääketeiede	34
7.5	Taide.....	35
7.6	Lelut ja figuurit	36
7.7	Arkkitehtuuri.....	37
7.8	Jalkineiden valmistus	37
7.9	Viihdeteollisuus	38
8	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	41
	KUVALÄHTEET	47
	LIITTEET	49

TERMIT JA LYHENTEET

Additiivinen valmistumenetelmä

Kappaleen valmistus tapahtuu materiaalia lisäämällä.

Approksimaatio

Termillä tarkoitetaan epätäsmällistä esitystä jostain asiasta.

CNC

Computerized Numerical Control (tietokoneistettu numeerinen ohjaus). Esimerkiksi CNC-jyrsin, jonka ohjaus tapahtuu numeroista ja merkeistä koostuvilla komennoilla, jotka kone muuttaa liikeradoiksi.

Elastomeeri

Viskoelastinen polymeeri, kuten esimerkiksi kuminauha.

Fotopolymerisaatio

Polymerisaatio on prosessi, jossa pienistä molekyyleistä muodostetaan suuria molekyyliä. Silloin kun polymerisaation tarvitsema energia saadaan valosta on kyseessä fotopolymerisaatio.

Monomeeri

Molekyyli, jonka ominaisuuksiin kuuluu kyky sitoutua toisiin monomeereihin ja täten muodostaa polymeeri.

RM

Rapid Manufacturing. Valmiiden, funktionaalisten kappaleiden valmistukseen sopiva prosessi.

RP

Rapid Prototyping. Esimerkiksi suunnitteluprossissa tarvittavien prototyyppien valmistukseen soveltuva prosessi.

RT

Rapid Tooling. Esimerkiksi ruiskupuristusmuottien valmistamiseen sopiva prosessi.

SFF

Solid Freeform Fabrication. Termi, jonka alle voidaan kasata RM-, RT- ja RP-tekniikat.

Sintraus

Valmistusprosessi, jossa kappale muodostetaan kuumentamalla materiaalina käytettävää jauhetta. SLS-tekniikan kohdalla sintraamiseen tarvittava energia saadaan laserista.

STL-tiedostoformaatti

Alkujaan stereolitografia laitteiden käyttämä tiedostoformaatti. Nykyään siitä on muodostunut pääasiainen SFF-laitteiden käyttämä tiedostoformaatti.

Subtraktiivinen valmistusmenetelmä

Vastakohta additiiviselle valmistusmenetelmälle.

1 JOHDANTO

SFF-teknologia sai alkunsa Rapid Prototypingin muodossa. RP:n alkuperäinen tarkoitus oli luoda prototyyppijä entistä nopeammin ja halvemmin, ja siihen sitä käytetään edelleenkin. Teknologian kehittyessä se on kuitenkin saanut vierelleen Rapid Tooling ja Rapid Manufacturing valmistusmenetelmät. Tämä, alkujaan ainoastaan teollisuuden tarpeisiin suunniteltu, teknologia on saamassa ympärilleen myös siihen pohjautuvia, mutta vakaville harrastelijoille ja esimerkiksi suunnitteluyrityksille suunnattuja ratkaisuja. Kasvanut käyttäjäkunta on puolestaan lisännyt käyttökohteiden määrää.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään SFF-teknologian käyttämiä eri valmistusmenetelmiä sekä niiden käyttökohteita. Aluksi käydään läpi se prosessi, miten 3d-mallista saadaan muodostettua fyysinen kappale näiden tekniikoiden avulla. Valmistusmenetelmien kohdalla keskitytään additiivisiin vaihtoehtoihin. Tarkoitus ei ole kuitenkaan keskittyä mihinkään tiettyyn käyttöalueeseen, vaan tarjota useampia esimerkkejä mahdollisista käyttökohteista. Kaupallisten tekniikoiden lisäksi tutustutaan myös eri Open Source vaihtoehtoihin, joiden tarkoituksena on tuoda 3d-tulostaminen tavallisen ihmisen ulottuville.

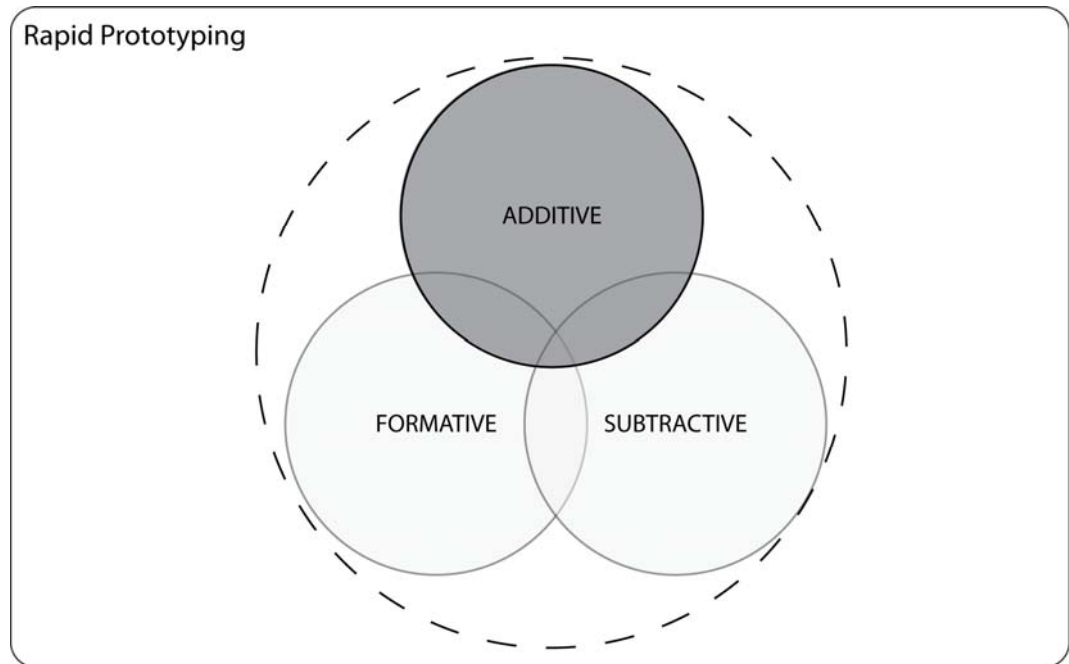
Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimia johdatuksena SFF-teknologiaan ja antaa siitä parempi käsitys asiasta kiinnostuneille.

2 SOLID FREEFORM FABRICATION

Solid Freeform Fabrication (SFF) on sateenvarjotermi, jonka alle voidaan kasata niin Rapid Prototyping (RP), Rapid Tooling (RT), Rapid Manufacturing (RM) sekä myös 3d-tulostus. RP-laitteet soveltuvat konseptiasteella olevien tuotteiden, kuten esimerkiksi uusien matkapuhelimen kuorien testaamiseen. Tulostamalla kuorien CAD-mallista käsinkosketeltava fyysinen kappale voidaan helpommin todeta mahdolliset virheet tuotteen muotoilussa. RT-laitteita käytetään muun muassa ruiskupuristus- ja painevalumuottien valmistamiseen, jolloin säästetään huomattavasti aikaa verrattuna perinteiseen valmistusmenetelmään. RP- ja RT-laitteet eivät siis suoraan valmista valmiita tuotteita. RM-laitteilla voidaan puolestaan valmistaa viimeistelyä vaille valmiita tuotteita. 3d-tulostimet ovat puolestaan toimistoympäristöön soveltuvia RP-laitteita.

Tältä teknologian alalta löytyy monia yrittäjiä ja useita eri valmistusteknologioita. SFF on suhteellisen uusi ja nopeasti kehittyvä teknologian ala. Juuri uutuudesta ja monista eri valmistusteknologioista johtuen on alan termistössä pientä sekavuutta. Väärinymmärrysten välttämiseksi ja ymmärtämisen helpottamiseksi on SFF:sta kirjoittaessa hyvä tuoda esille, mitä esimerkiksi RP:llä tarkoitetaan kyseisen tekstin sisällä.

RP, kuten muutkin edellä mainitut teknologiat, perustuu additiiviseen valmistusmenetelmään. RP-laitteilla tulostetut kappaleet muodostuvat laitteissa kerros kerrokselta laitteen annostellessa tulostusmateriaalia. Tällaista valmistusmenetelmää kutsutaan additiiviseksi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiallisesti RP-laitteisiin. Vastakohtana additiiviselle menetelmällä on subtraktiivinen menetelmä, kuten CNC-jyrsin. CNC-jyrsimeen laitetaan esimerkiksi alumiiniharkko, josta jyrsin muotoilee halutunlaisen mallin.



Kuva 1. Rapid Prototyping pitää sisällään useita menetelmiä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään additiivisiin menetelmiin. (Grimm 2004, 13.)

3 CAD-MALLISTA TULOSTEESI

Tulostusprosessit poikkeavat toisistaan valmistajasta riippuen enemmän tai vähemmän. Kuitenkin valmistajasta ja tulostusteknologiasta riippumatta voidaan tulostusprosessista kokonaisuutena erotella viisi vaihetta, jotka ovat kaikille samat. Jotta CAD-malli (Computer Aided Design) on valmis tulostettavaksi tarvitsee se aina ensiksi tallentaa tulostimen ymmärtämään tiedostomuotoon. Tämä tiedostomuoto on yleensä STL. Mallinnettaessa CAD-mallia on tärkeää, että esimerkiksi mallin pintojen normaalit osoittavat ulospäin itse mallista. Seuraava prosessi on mallin virheiden korjaus ja tiedoston verifiointi. STL-tiedoston korjaamisen ja verifioinnin jälkeen tulee mallista luoda lopullinen tulostustiedosto. Tämä pitää sisällään tukirakenteiden luonnin sekä osan/osien sijoittelun ja viipaloinnin. Tämä tapahtuu tulostimen omalla sovelluksella. Osien oikeaoppisella sijoittelulla ja viipaloinnilla on suuri vaikutus niin lopullisen mallin tarkkuuteen kuin myös tulostusajan pituuteen. CAD-malli on nyt valmis tulostettavaksi. (Grimm 2004, 50-51.)

Tapa, jolla kappale muodostuu, riippuu tulostamiseen käytettävästä laitteistosta. Eri valmistusprosessit tarjoavat ja vaativat erilaisia tapoja tulosteen viimeistelyyn. Viimeistely on tulostusprosessin vaiheista, se joka käyttäjän tulee itse suorittaa. Muilta osin prosessi on hyvin pitkälti automatisoitu. Koko prosessiin kuluva aika riippuu eri tekijöistä. Tärkeimmät näistä ovat tulostukseen käytetty laitteisto, tulosteen materiaali, tulosteen koko ja tulostustarkkuus sekä viimeistelyn taso. Tyypillisen prototyypin valmistukseen kuluva aika jakautuu karkeasti seuraavasti. (Grimm 2004, 50-51.)

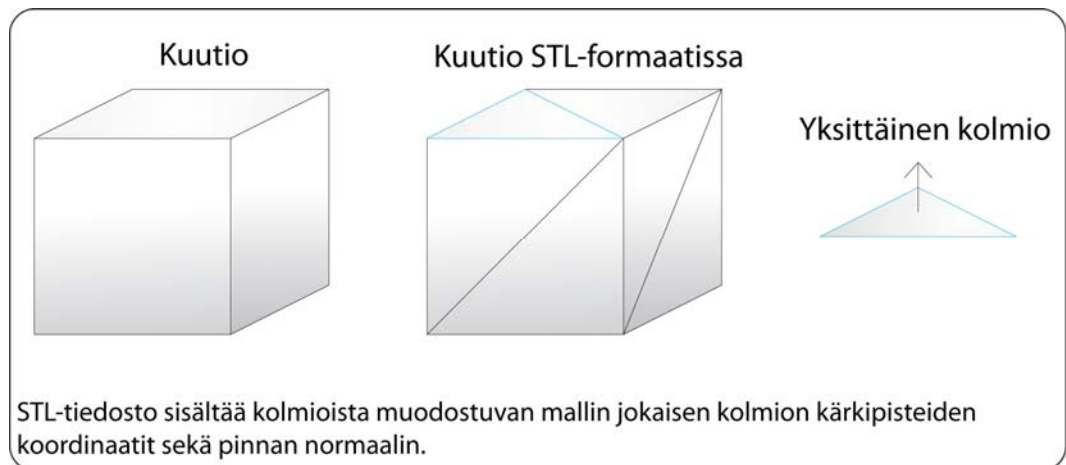
1. STL-tiedoston luonti CAD-mallista	~1-10 min
2. Tiedoston varmennus ja korjaus	~5-30 min
3. Lopullisen tulostustiedoston luonti	~ 15 min - 1h
4. Kappaleen tulostus	~ 30min - 48+h
5. Tulosteen puhdistus ja viimeistely	~ 15min - 4h

(Grimm 2004, 50-51.)

3.1 Tiedostoformaatti

CAD-ohjelman ja RP-laitteiston väliseen tiedonsiirtoon käytetään pääasiallisesti 3D Systemsin kehittämää STL-tiedostoformaattia. Tallennettaessa 3d-malli STL-muotoon tallentuu mallin pinnamuodot kolmioina. Tiedosto pitää sisällään jokaisen kolmion kärkipisteiden sijainnit sekä pintanormaalien suunnat. STL-formaattiin kääntämisen yhteydessä CAD-mallin pinta toisin sanoen approksimoidaan. Koska approksimaatio tarkoittaa nimensä mukaisesti epätäsmällistä esitystä jostakin asiasta, on käännösvaiheen asetuksilla suuri vaikutus STL-tiedoston kokoon, sekä CAD-mallin ja lopullisen tulostetun mallin keskinäiseen yhteneväisyyteen. Mitä korkeampaa toleranssia käännösvaiheessa käytetään, sitä pienemmäksi STL-tiedoston koko kasvaa. Kasvaminen johtuu suuremmasta kolmioiden määrästä, mutta myös tehottomasta tiedon pakkauksesta.

STL:n lisäksi on olemassa muitakin sopivia tiedostoformaatteja, joista yksi on OpenRP-formaatti. SYCODE:n kehittämää ilmaista OpenRP-formaattia ei ole tarkoitettu korvaamaan STL-formaattia ja se on täysin yhteensopiva STL:n kanssa. OpenRP korjaa kaksi asiaa, joiden sen kehittäjät ovat katsoneet olevan puutteita STL-formaatissa. Nämä ovat suuri tiedostokoko ja tietoturvaluute. OpenRP pakkaa tiedostot, jolloin se saavuttaa noin 90% pienemmän tiedostokoon verrattuna STL-tiedostomuotoon. Tietoturvaluuteen se pyrkii ratkaisemaan olemalla kryptattu formaatti, ja se tarjoaa käyttäjälle myös mahdollisuuden suojata tiedoston salasanalla. OpenRP:n kehittäjät katsovat tämän olevan tarpeellista, koska nykyään on täysin mahdollista saada STL:stä muodostettua esimerkiksi alkuperäinen NURBS malli. (Grimm 2004, 56-57; Syrjälä 1997, 16-17; Wohlers 2004.)



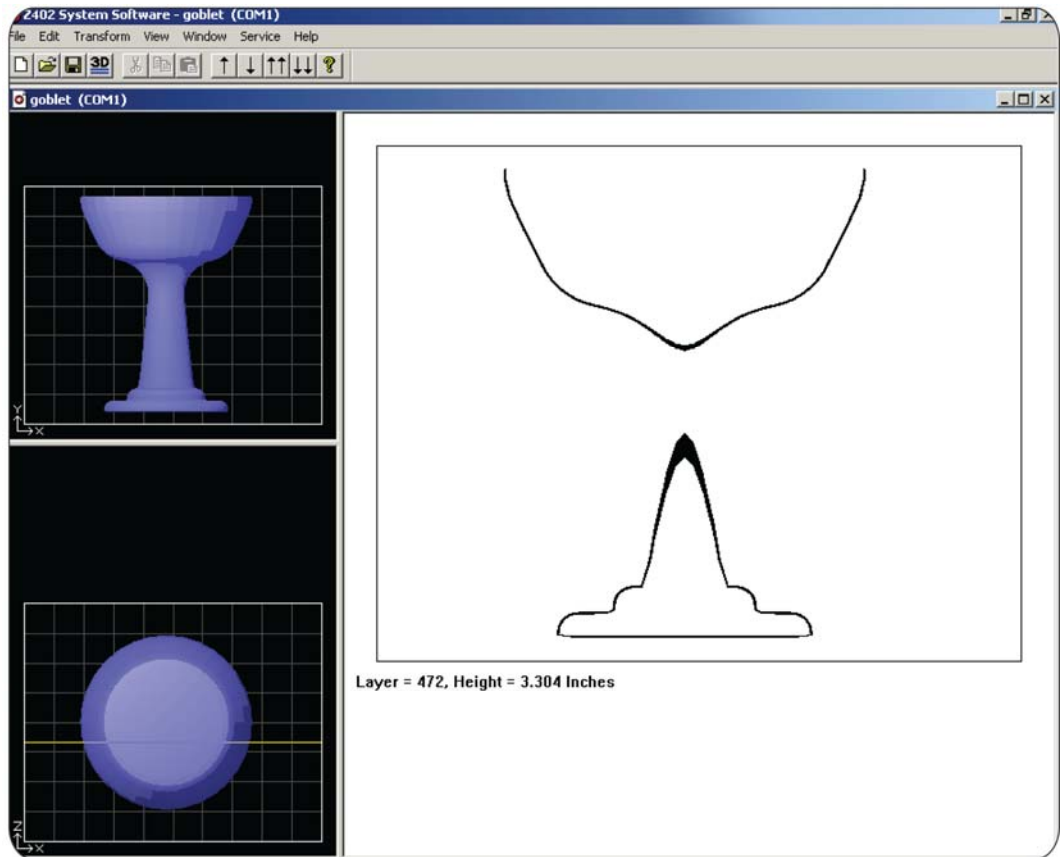
Kuva 2. Tallennettaessa CAD-malli STL-tiedostoksi, muuttaa se mallin pinnan kolmioiksi.

3.2 Tiedoston varmennus ja korjaus

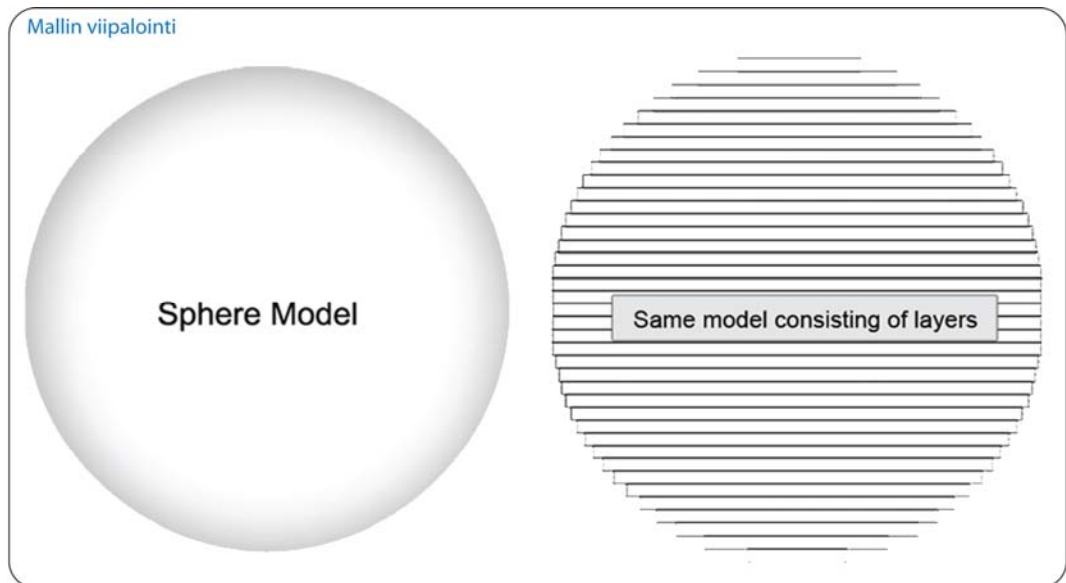
Koska CAD-mallista luodussa STL-tiedostossa saattaa olla virheitä, se tarkistetaan ohjelmallisesti ennen lopullisen tulostustiedoston luontia. STL-tiedoston tulee täyttää kaksi perusvaatimusta, jotta se voidaan tulostaa. Ensimmäinen vaatimus on, että STL-tiedoston jokaisen kolmion normaalin tulee osoittaa pois päin mallin pinnasta. Toisena vaatimuksena on, että vierekkäisillä kolmioilla tulee olla kaksi yhteistä pistettä. Tiedostossa ilmenevät virheet saattavat olla tulosta huonosta käänösprosessista, tai itse CAD-malli saattaa olla mallinnettu huonosti. Virheiden vakavuudesta riippuen malli voidaan joko korjata ohjelmallisesti, tai vaikeimmissa tapauksissa täytyy korjaukset tehdä varsinaiseen CAD-malliin ja luoda siitä uusi STL-tiedosto. (Grimm 2004, 58-59.)

3.3 Lopullisen tulostustiedoston luonti

Viimeisenä vaiheena, ennen mallin tulostusta, on luotava lopullinen tulostustiedosto. Tämä pitää sisällään seuraavat vaiheet: osien asettelu, tukirakenteiden luonti ja mallin viipalointi. Käytetystä tekniikasta ja CAD-mallista riippuen saattaa olla mahdollista, että tukirakenteita ei tarvita. Tulostettavan osan asettelulla on suuri vaikutus, niin tulostus aikaan kuin myös tulostetussa mallissa näkyvään porrastukseen, joka johtuu kerroksittaisesta tulostusprosessista. Tulostettavan kappaleen korkeuden kasvaessa, tai kerroksien paksuuden laskiessa myös porrastuksen näkyvyys vähenee. Suurempi kerrosten määrä tietenkin kasvattaa tulostusaikaa. Onkin tärkeätä, että tulostusaika ja tarvittu tulostustarkkuus ovat oikeassa suhteessa. (Grimm 2004, 59-60.)



Kuva 3. Ruutukaappaus Z Corpin ZEdit-ohjelmasta. Kuvassa näkyy pikari, joka on aseteltu keskelle tulostusaluetta. Valkoisella pohjalla näkyy yksi ohjelman muodostamista tulostuskerroksista. Keltainen viiva osoittaa kerroksen sijainnin.

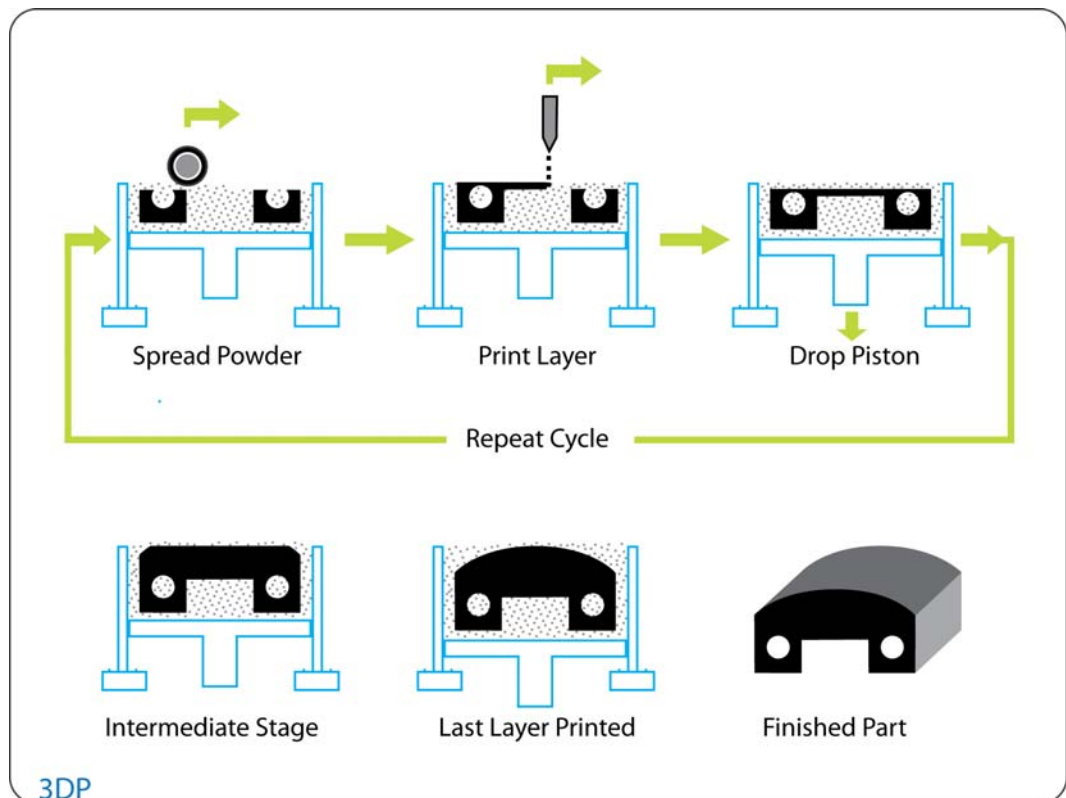


Kuva 4. Esimerkki siitä, miten mallin viipalointi vaikuttaa kappaleeseen.

3.4 Additiiviset SFF-teknologiat

3.4.1 3DP™

3DP™ on Massachusettsin teknillisessä korkeakoulussa (MIT) kehitetty SFF-teknologia. MIT on lisensoinut kyseisen teknologian muun muassa seuraaville yrityksille: Z Corporation, TDK, Therics sekä Extrude Hone Corporation. 3DP-teknologia antaa mahdollisuudet käyttää useita eri materiaaleja tulostukseen. Esimerkiksi Z Corporationin tulostimet käyttävät yhtenä tulostusmateriaalina muunneltua maissitärkkelysjauhoa. Teknologia ei aseta rajoituksia tulostettavalle geometrialle tai tulostuksessa käytettävälle materiaalille. Itse tulostusprosessi tapahtuu seuraavasti: Tulostin aloittaa jokaisen kerroksen levittämällä kerroksen tulostusmateriaalina käytettävää jauhetta tulostusalustalle. Seuraavaksi tulostuspää ruiskuttaa sidosainetta jauhepedin niihin kohtiin, joihin tulostettava malli syntyy. Lopuksi tulostusalusta laskeutuu alaspäin seuraavan tulostettavan kerroksen paksuuden verran. Tämä prosessi toistuu niin kauan, kunnes kaikki kerrokset on saatu tulostettua. Seuraavaksi on vuorossa käyttämättä jääneen jauheen poistaminen ja juuri tulostetun mallin jälkikäsittely. Tulostettava malli muodostuu jauhepedin sisään. Jauhe toimii tukena tulostettavalle mallille, joten erillisiä tukirakenteita ei tarvitse tulostaa. Tämä säästää aikaa, madaltaa materiaalikustannuksia ja mahdollistaa esimerkiksi erilaisten ulkonemien tulostamisen malliin. Teknologia mahdollistaa myös useamman materiaalin samanaikaisen käytön, jolloin on mahdollista vaikuttaa esimerkiksi tulostettavan geometrian lujuteen halutuissa kohdissa. (MIT 2000.)

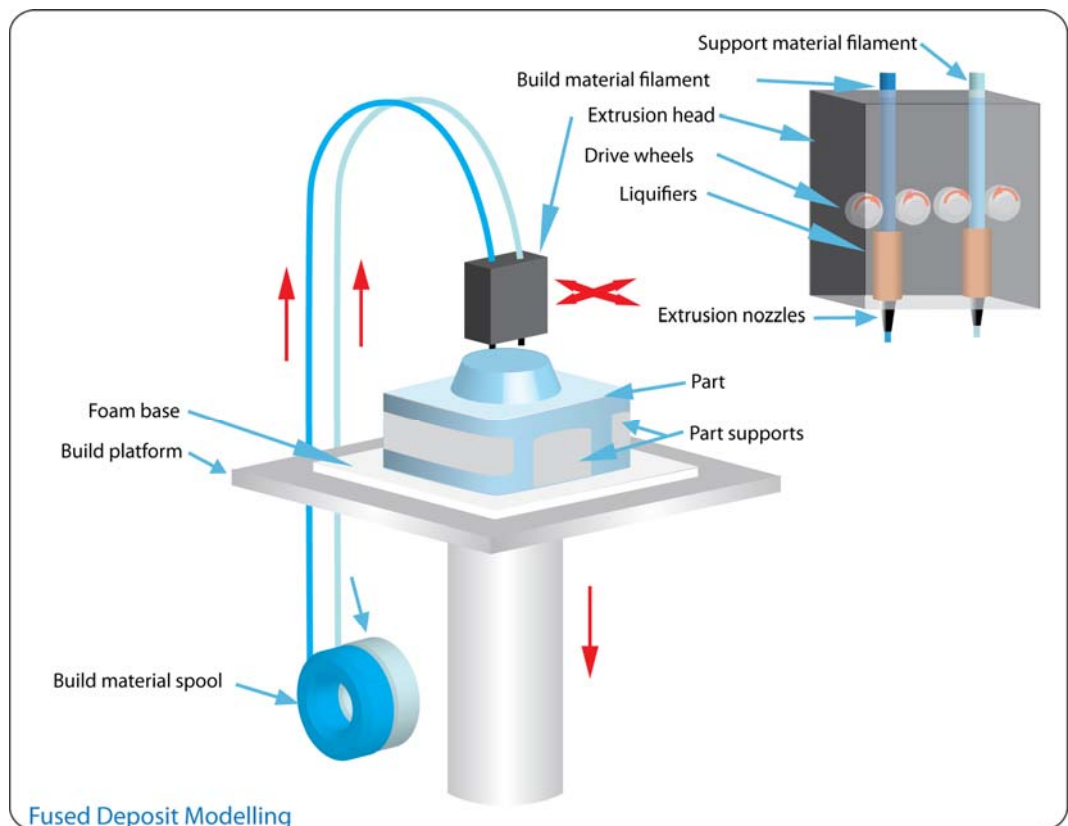


Kuva 5. 3DP tulostusprosessin kuvaus. (Mukaiillen MIT 2000.)

3.4.2 FDM – Fused Deposition Modelling

Vuonna 1989 yhdysvaltalaiselle insinöörille Crump S. Scottille myönnettiin patentti nimeltä "Apparatus and method for creating three-dimensional objects". Samana vuonna Scott perusti yhdessä vaimonsa Lisa H. Crumpin kanssa Stratasys Inc. yrityksen. Vuonna 1990 Stratasys kaupallisti Scottin kehittämän teknologian ja alkoi myydä sitä nimellä FDM™. Stratasysin FDM-laitteissa materiaali syötetään koneen tulostuspäälle säikeenä. Säikeen paksuus on noin 1.58mm. Laitteen tulostuspää sulattaa käytettävän materiaalin ja ohjaa sen oikeaan kohtaan. Materiaali jäähtyy nopeasti, ja jäähtyessään se sitoutuu alempana olevaan kerrokseen. Kerroksen ollessa valmis tulostusalusta liikkuu alaspäin. Toisin kuin 3DP-laitteissa, FDM laitteiden tarvitsee tulostaa tukirakenteet tietynlaisten geometrioiden tulostamiseksi.

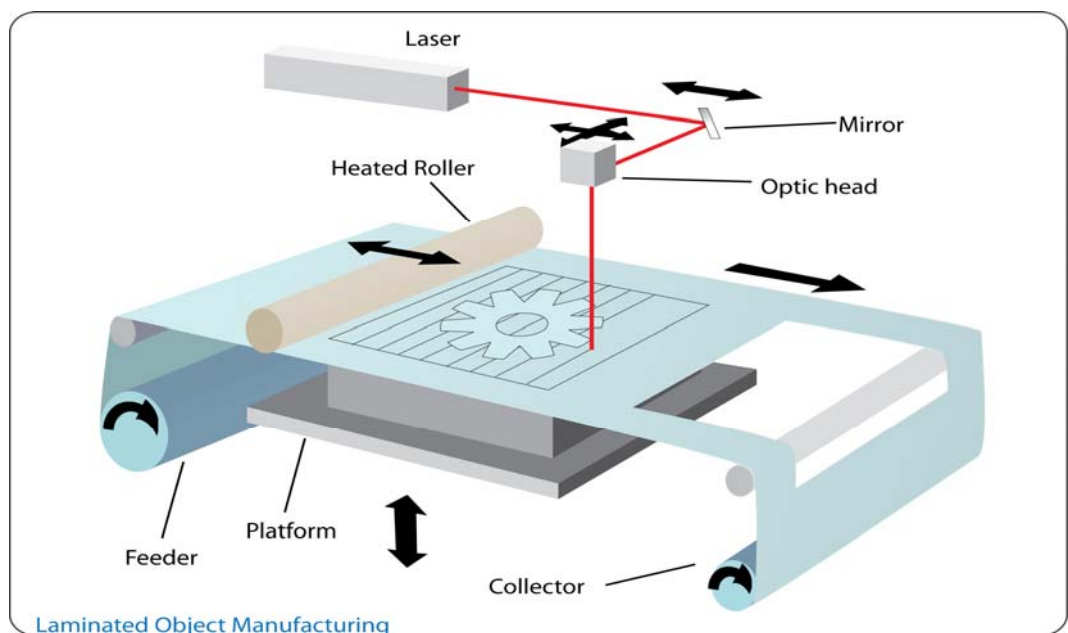
Tukirakenteita ei tarvitse välttämättä tulostaa varsinaiseen kappaleeseen käytetyllä materiaalilla, vaan siihen on olemassa tarjolla oma materiaalinsa. Tämä kyseinen materiaali on vesiliukoista, jolloin sen poistaminen on vaivatonta. Laitteessa on tukimateriaalille oma suuttimensa. Tulostukseen sopivia materiaaleja on useampia kuin vain yksi. Näihin materiaaleihin lukeutuvat ABS, PC/ABS, ULTEM 9085, polykarbonaatti ja polyfenyleenisulfidi. (Wohlers 2010; Stratasys 2010; Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010; Forbes 2010.)



Kuva 6. Havainnekuva FDM-tulostusprosessista. (Mukaiillen CustomPartNet 2010.)

3.4.3 LOM – Laminated Object Manufacturing

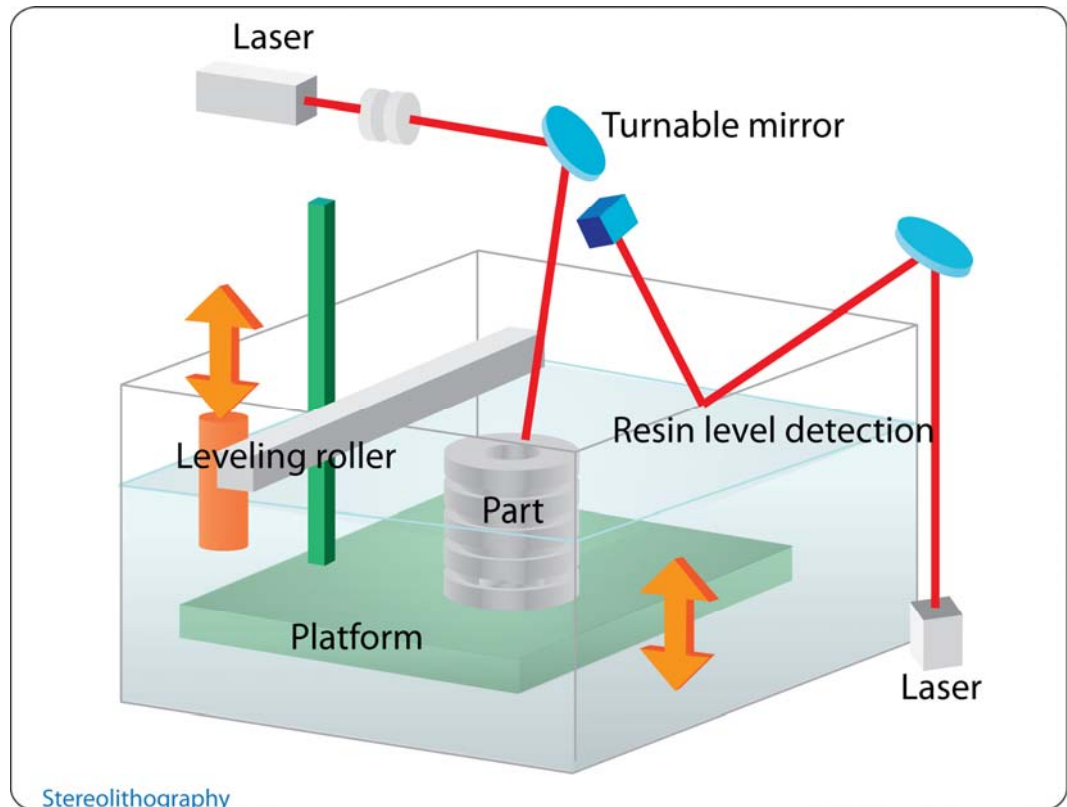
Vuonna 1991 Helisys Inc. toi markkinoille Laminated Object Manufacturing-tekniikan. Helisys lopetti toimintansa vuonna 2000. Nykyään yhtiön tuotteita ja palveluita tarjoaa Cupic Technologies. LOM-tulostusprosessissa on eroavaisuuksia eri valmistajien kesken. Poiketen alkuperäisen LOM-tekniikasta, jotkin valmistajat, kuten Solido Ltd, käyttävät materiaalin leikkaamisessa leikkuuterää laserleikkurin sijaan. Myös liimaustavassa on eroavaisuuksia. Esimerkiksi Kira's Paper Lamination Technology (PLT) käyttää liimauksessa kserografista prosessia. Alkuperäinen LOM-tekniikka käyttää materiaalinaan paperia, muovia tai metallia, joka on laminoitu lämmön vaikutuksesta aktivoituvalla liimalla. Laitteen materiaali on rullassa, josta sitä syötetään tulostusalustalle. Alustan päällä kulkeva lämmitetty rulla aktivoi liiman, jolloin materiaali sitoutuu alla olevaan kerrokseen. Materiaalin leikkauksessa käytetään laseria, joka leikkaa paperista tulostettavan kappaleen profiilin. Ylijäämä paperi kerättyy omaan rullaansa. LOM-tekniikalla pystyy myös tulostamaan kappaleeseen ulkonemia ilman tarvetta tulostaa tukirakenteita. (Palm 1998; Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)



Kuva 7. Alkuperäinen LOM-tekniikka. (Mukaiillen CustomPartNet 2010.)

3.4.4 SLA – Stereolithography

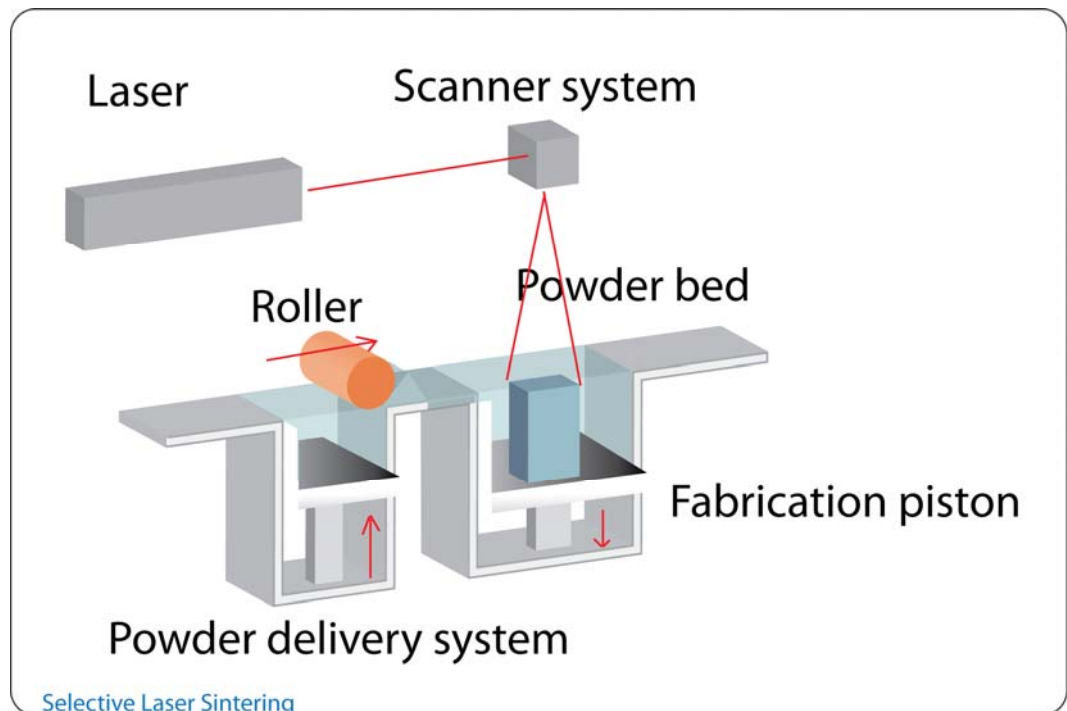
SLA on vuonna 1986 Charles W. Hull:in kehittämä ensimmäinen kaupallinen RP-teknologia. Samana vuonna Hull oli mukana perustamassa 3D Systems-yritystä. Vuonna 1987 3D Systems toi markkinoille stereolitografiaan perustuvan RP-laitteen, SLA-1:n. Kyseisen teknologian keksijää, Chuck Hullia, pidetään Rapid Prototypingin ”isänä”. SLA-laitteet käyttävät materiaalinaan nestemäistä fotopolymeerihartsia. Hartsia kovetetaan kerros kerrokselta käyttämällä laseria. Fotopolymeerit koostuvat kolmesta pääkomponentista: sidosaineista, monomeereistä sekä fotoinitiaattoreista. Laserin kohdistuessa fotopolymeerin sen luovuttama energia käynnistää kovettumisprosessin. Tällaista prosessia kutsutaan fotopolymeerisaatioksi. Prosessista vapautuvat haurut ovat terveydelle haitallisia. Tulostetun kerroksen kovettua tulostusalustaa lasketaan syvemmälle materiaaliastiaan, jolloin uuden kerroksen tulostaminen voidaan aloittaa. Nestemäinen tulostusmateriaali ei itsessään tarjoa tarpeeksi tukea, jos tulostettavassa geometriassa on suuria ulkonemia. Tästä johtuen tukirakenteet ovat tarpeen. Tulostuksen päätyttyä kappale nostetaan materiaalisäiliöstä ja ylimääräinen materiaali ja tukirakenteet poistetaan manuaalisesti. Materiaalista riippuen tulostettu kappale pitää mahdollisesti lopuksi käyttää Post-Curing Apparatus (PCA)-uunissa. SLA-teknologian katsotaan tarjoavan parhaimman tulostustarkkuuden, ja sillä voidaan myös tulostaa suhteellisen isoja kappaleita. (Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)



Kuva 8. Havainnekuva SLA-tekniikasta. (Mukaiillen Princeton 2001.)

3.4.5 SLS – Selective Laser Sintering

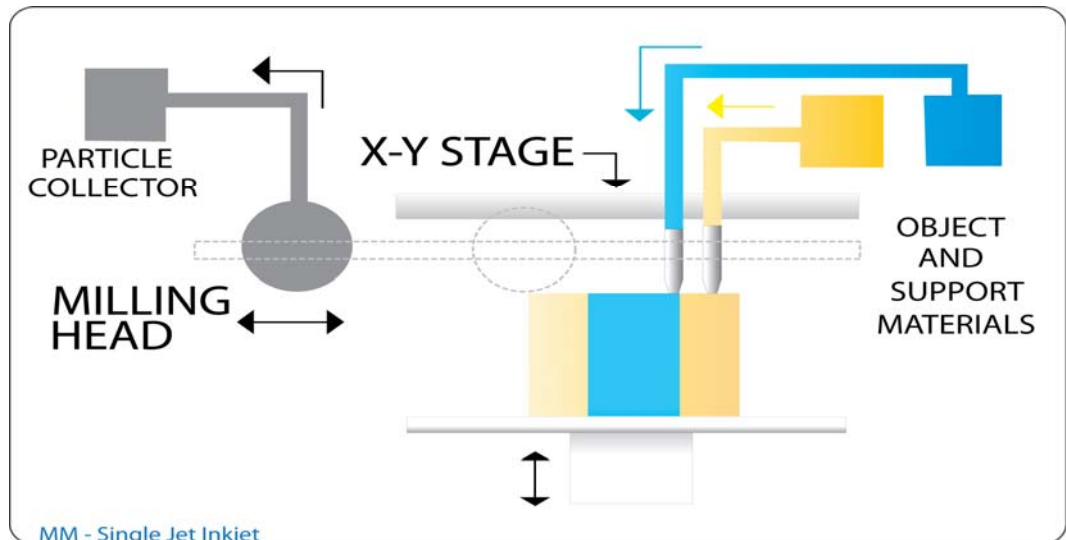
SLS-tekniikan on kehittänyt ja patentoinut tohtori Carl R. Deckard. SLS käyttää materiaalinaan termoplastisia jauheita. Laitteen sisällä on kaksi sylinteriä, joiden pohjia liikutetaan männän avulla. Ensimmäinen sylinteri sisältää tulostusmateriaalin, ja toisen sylinterin pohja toimii tulostusalustana. Materiaali-sylinteri annostelee sopivan määrän materiaalia, ja tela levittää jauheen tulostusalustalle. Jauheeseen kohdistetaan laser, joka piirtää tulostettavan kappaleen profiilin. Sintrausprosessin nopeuttamiseksi tulostusmateriaalin lämpötila pidetään hieman alle sulamislämpötilan. Tulostettava kappale muodostuu kiinteän jauhepedin sisään, joten erillisiä tukirakenteita ei tarvitse tulostaa. Kappaleen tulee antaa jäähtyä ennen poistamista. Jäähtyminen voi kestää tunneista aina jopa useampaan päivään. Tulostusmateriaalista johtuen lopullinen kappale on huokoinen ja lopullisesta käyttötarkoituksesta riippuen voidaan huokokset joutua mahdollisesti täyttämään. (Palm 1998; Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)



Kuva 9. Havainnekuva SLS-prosessista.

3.4.6 MM – Single Jet Inkjet

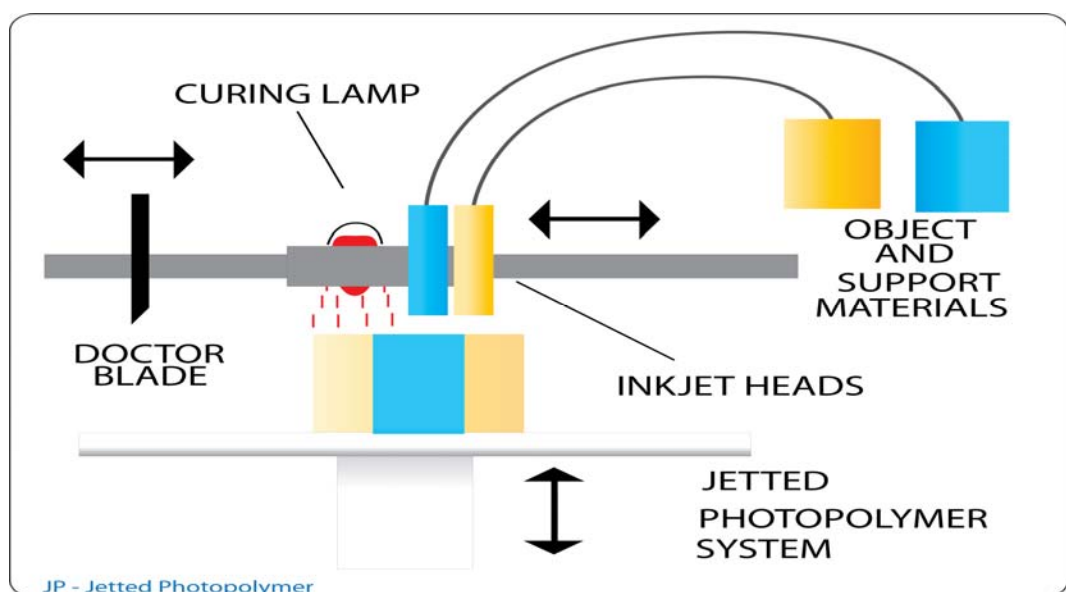
MM-tekniologiasta käytetään myös nimitystä Thermal Phase Change Inkjets. Tätä teknologiaa käyttäviä valmistajia on useita, kuten Solidscape Inc. ja 3D Systems. Eri valmistajien laitteiden toteutuksissa on huomattaviakin eroja, mutta ne kaikki perustavat samaan periaatteeseen, eli tulostuspää ruiskuttaa nestemäistä tai sulaa materiaalia tulostusalustalle, joka jäähtyessään muodostaa tulostettavan kerroksen. 3D Systems valmistama ThermoJet Modeler™ -tulostin käyttää useita satoja tulostuspäitä tulostusmateriaalin annosteluun. Solidscapen laitteesta poiketen ThermoJet ei käytä erillistä materiaalia tukirakenteita varten. Solidscapen tapauksessa laite sisältää erillisen vahamaisen materiaalin tukirakennetta varten. ThermoJetin muodostaman tukirakenteen voi helposti harjata pois, kun taas Solidscapen käyttämä vaha pitää sulattaa tai liuottaa pois. Laitteiden käyttämä materiaali on termoplastista. (Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)



Kuva 10. Havainnekuva MM – Single Jet Inkjet prosessista. (Mukaiillen Inkjets 2010.)

3.4.7 J-P – Jetted Photopolymer

Jetted Photopolymer -tulostimista käytetään myös nimitystä Photopolymer Phase Change Inkjets. J-P teknologia on periaatteeltaan hyvin pitkälti sama kuin MM-teknologia. Nimensä mukaisesti siinä käytetään materiaalina fotopolymeeriä. Tulostuspää sisältää UV-valon materiaalin kovettamiseksi. Tämä ratkaisu parantaa tarkkuutta. (Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2001.)



Kuva 11. Havainnekuva J-P prosessista. (Inkjets 2010.)

3.4.8 DMLS – Direct Metal Laser Sintering

DMLS on Rapid Product Innovationsin (RPI) ja EOS GmbH:n yhteistyön tulos. Ensimmäinen kaupallinen DMLS laitteisto, EOSINT M 250, tuotiin markkinoille vuonna 1994. Kuten SLS myös DMLS käyttää materiaalinaan metallijauheita, mutta sen käyttämä jauhe ei sisällä juoksutus- tai sideaineita. Laitteiden käyttämä metallijauhe perustuu Olli Nyrhilän kehittämään paineettomaan sintraukseen tarkoitettuun jauheeseen. Nyrhilän kehittämän jauheen tärkein ominaisuus on sen erittäin alhainen kutistuminen sintrauksen aikana. Kyseisen jauheen avulla pystytään siis tuottamaan metallurgisilta ominaisuuksiltaan parempia kappaleita. Laitteesta riippuen DMLS:n käyttämä tulostusprosessi voi tapahtua kahdella eri tavalla, joista ensimmäinen on yhtenevä SLS:n käyttämän prosessin kanssa. Toinen prosessi eroaa ensimmäisestä siten, että jauhe sijaitsee syöttösuppilossa. Suppilo sulattaa jauheen ja annostelee sen tulostusalustalle. Molemmilla tavoilla on omat vahvuutensa. Edellä mainittua prosessia käyttävät laitteet pystyvät hyödyntämään useampaa materiaalia tulostuksen aikana. (Betta Machine Tools 2004; CustomPartNet 2010.)

3.4.9 Puhdistus ja jälkikäsittely

Riippumatta siitä millä teknologialla CAD-malli on tulostettu, on jonkinasteinen jälkikäsittely aina tarpeen. Jälkikäsittely on tulostusprosessista eniten manuaalista työtä vaativa osa, ja siihen kuluva aika vaihtelee mallin käyttötarkoituksista riippuen. Jälkikäsittelyn laatu riippuu täysin käsittelijän kädentaidoista. Malleista tulee vähintäänkin poistaa ylimääräinen tulostusmateriaali sekä mahdolliset tukirakenteet. Joidenkin teknologioiden kohdalla, kuten SLA:n, puhdistuksessa käytettävät kemikaalit eivät sovellu toimistoympäristöön, vaan enemminkin verstaaloihin. Lopullisen työstölujuuden saavuttamiseksi saattaa malli vaatia lopullisen kovetuksen esimerkiksi UV-valon alla (SLA) tai epoksin imeyttämistä mallin huokosiin, kuten esimerkiksi 3DP:n kohdalla.

Huokoisuus tarjoaa myös mahdollisuuden imeyttää malliin elastomeeriä, kuten polyuretaania, jolloin mallia pystytään taivuttelemaan. Johtuen kerroksittaisesta valmistustavasta malleissa esiintyy porrastuksia. Porrastusten jyrkkyys puolestaan riippuu CAD-mallin viipalointivaiheesta tehdyistä päätöksistä. Kun malli on saatu puhdistettua ja kovetettua voidaan suorittaa loppukäsittely, jonka aikana mm. porrastukset hiotaan pois. Suoritettaessa loppukäsittelyä tulee ottaa huomioon mallin lopullinen käyttötarkoitus, eikä tule uhrata liikaa aikaa viimeistelyyn, jos esimerkiksi tarkoituksena on ainoastaan todistaa jonkin konseptin toimivuus. (Grimm 2004, 77-80; Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)

4 RP-TEKNOLOGIAN POPULARISAATIO JA KEHITYS

4.1 Popularisaation vaikutus

Alkujaan ammattilaisille tarkoitettu teknologia saa rinnalleen ominaisuuksiltaan ja tehoiltaan karsitun kuluttajaversioon. Tämä on skenaario, joka on ominaista usealle teknologialle. Hyvä esimerkki tästä ovat tietokoneet. Alkujaan järkälemäiset järjestelmät, jotka tarjosivat tehoja esim. tieteislaskentaan, ovat pienentyneet kooltaan murto-osaan ja löytyvät tänä päivänä useimmasta suomalaisesta kodista. Teknologia kehittyy ja yleistyy. Sama suuntaus on näkyvissä myös RP:n kohdalla. Aika, jolloin kodeista löytyy 3d-tulostimia, joilla voi esimerkiksi tulostaa uudet matkapuhelimen kuoret rikkinäisten tilalle on vielä edessä, mutta RP-nimikkeeseen alle on jo kehittynyt alakategoria, jonka laitteet ovat tarkoitettu käytettäväksi toimistoympäristössä. Nämä 3d-toimistotulostimet eivät vastaa kaikilta ominaisuuksiltaan tehtaissa ja pajoissa majailevia ”serkkujaan”, mutta pohjimmainen idea on niissä sama. Mahdollisuus esimerkiksi valmistaa ja testata konsepti asteella olevaa prototyyppiä tulostamalla siitä fyysinen kappale CAD-mallin pohjalta. On olemassa myös laitteita, joita voisi kutsua 3d-työpöytätulostimiksi. Nimensä mukaisesti nämä laitteet ovat kooltaan tarpeeksi pieniä mahtuakseen työpöydälle.

4.2 3d-toimistotulostimet

Aikaisemmin läpi käydyistä teknologioista LOM:n, FDM:n ja 3DP:n katsotaan olevan toimistoympäristöön soveltuvia teknologioita. Nämä tulostimet poikkeavat ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan kalliimmista RP-laitteista. 3d-toimistotulostimien hinnat liikkuvat halvimmillaan alle 10 000 €n. Koska nämä tulostimet ovat kooltaan pienempiä kuin kalliit RP-laitteistot, niillä ei myöskään voida valmistaa suuria kappaleita. Näillä tulostimilla ei myöskään voi tulostaa suuria eriä yhdellä ajolla. 3d-toimistotulostimella saavutettava tarkkuus ei myöskään yllä samalle tasolle kalliimpien RP-laitteistojen kanssa. Vaikka 3d-toimistotulostimien materiaalivaihtoehdot eivät myöskään ole yhtä kattavat, niin niiden käyttämät materiaalit ovat kustannuksiltaan huokeammat verrattuna esim. SLA:n käyttämään fotopolymeeriin. Myös huoltokustannukset ovat alhaisemmat, ja tulostimia on helpompi käyttää, joskin ne eivät tarjoa samaa joustavuutta käytön suhteen kuin kalliimmat RP-laitteistot. (Grimm 2004, 87-88; Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010.)

	<p>MALLI: ZPrinter® 310 Plus VÄRITULOSTUS: Monochrome RESOLUUTIO: 300 x 450 dpi TULOSTUSNOPEUS: 25 mm/h TULOSTUSALUE: 203 x 254 x 203 mm MATERIAALIT: High Performance Composite KERROKSEN PAKSUUS: 0,089 - 0,203 mm SUUTTIMIEN MÄÄRÄ: 304 TIEDOSTOMUODOT: STL, VRML, PLY, 3DS, ZPR LAITTEEN KOKO: 74 x 86 x 109 cm LAITTEEN PAINO: 115 kg YHTEENSOPIVUUS: Windows® XP Professional ja Windows Vista® Business/Ultimate ERIKOISVAATIMUKSET SUIJITUKSEN SUHTEEN: Ei ole.</p>	<p>ZPrinter® 310 Plus: ~ €14 600</p>
	<p>MALLI: Dimension SST 1200es TUKIMATERIAALIT: Soluble Support Technology (SST) tai Breakaway Support Technology (BST) TULOSTUSALUE: 254 x 254 x 305 mm MATERIAALIT: ABSplus (eri väri vaihtoehtoja) KERROKSEN PAKSUUS: 0,254- 0,330 mm LAITTEEN KOKO: 83,8 x 73,7 x 114,3 cm LAITTEEN PAINO: 148 kg YHTEENSOPIVUUS: Windows® XP / Windows Vista® ERIKOISVAATIMUKSET SUIJITUKSEN SUHTEEN: Ei ole.</p>	<p>Dimension SST 1200es: €26 600 Dimension BST 1200es: €15 300</p>

Kuva 12. Kaksi esimerkki tulostinta. (Z Corporation 2009; Stratasys 2009.)

4.3 3d-työpöytätulostimet

4.3.1 uPrint®

uPrint® on Stratasysin Dimension-sarjan tulostimien pienin laite. Tulostin maksaa noin 12 000 € Kooltaan ja painoltaan se on tarpeeksi pieni mahtuakseen normaalikokoiselle toimistopöydälle. Yhdellä materiaaliasemalla varustettuna sen leveys on 635 mm, korkeus 787 mm ja syvyys 660 mm. Laitteen paino on 76 kg. Laite käyttää tulostamiseen FDM-teknologiaa ja materiaalina ABSplus™-muovia. Kyseinen muovi on laitteen ainoa materiaalivaihtoehto. Laitteeseen on mahdollista hankkia ylimääräinen materiaaliasema, joka asennetaan ensimmäisen aseman alle. Laite voi automaattisesti vaihtaa materiaali asemien välillä, ja tyhjään asemaan voi ladata lisää materiaalia tulostuksen ollessa käynnissä. Kappaleet tulostetaan kertakäyttöisille, kierrätetystä muovista valmistetuille, alustoille. Alustoja myydään 24 kappaleen paketteina, joka maksaa noin 130 € Mahdollisia tukia varten laite sisältää oman SST-teknologiaan perustuvan (Soluble Support Technology) materiaalin. Materiaali poistetaan liuottamalla. (Rowe 2009; DimensionPrinting 2009; Develop3D 2009.)



Kuva 13. uPrint-tulostimen tekniset tiedot. (Stratasys 2009.)

4.3.2 Solido SD300 Pro

Solido SD300 Pro on hinnaltaan 9 950 USD (~7300 €). Laite käyttää tulostamiseen omaa LOM-teknologiaansa. Se on mitoiltaan 465 mm(l) x 420 mm(k) x 770 mm(s) ja painaa 45 kg. Laserin sijaan Solidon tulostin käyttää muovikalvon leikkaamiseen leikkuuterää. Koska leikkaaminen suoritetaan leikkuuterällä, ei prosessista synny hajuja, toisin kuin käytettäessä laseria. Materiaalinaan tulostin käyttää PVC:tä (Polyvinyl Chloride). Itse tulostusmateriaali ei sisällä liimaa, vaan se levitetään PVC:n pintaan erikseen. Liima on Solidon omaa. Tulostusmateriaali toimitetaan 7,5 kg:n rullina. Materiaalipakkaus sisältää liiman ja Release Agent-patruunan. Yhdessä pakkauksessa on tarpeeksi tulostusmateriaalia 160 mm(l) x 210 mm(k) x 110 mm(s) kokoisen, kiinteän kappaleen, tulostamiseen. Materiaalipakkaus maksaa 360 USD (~260 €). (Desktop Engineering 2009; Fabbaloo 2009; Solidvision 2009.)



Kuva 14. Solido SD300 Pro tulostin. (Solido3D 2009.)

4.3.3 Objet Geometries Alaris30

Object Geometries toi vuonna 2008 markkinoille Alaris30-työpöytätulostimen, joka perustuu PolyJet™ Photopolymer Jetting-teknologiaan. Tulostin maksaa 40 000 USD, joten sitä ei ole suunnattu peruskuluttajalle. Lataamalla laitteeseen maksimimäärä materiaalikasetteja (4 kpl), voidaan laitetta ajaa yhtäjaksoisesti 36 tunnin ajan. Laite käyttää tulostamiseen VeroWhite FullCure830-materiaalia ja tukirakenteisiin geelimäistä FullCure705-materiaalia. Tulostetut mallit eivät tarvitse erillistä kovettamista tulostamisen jälkeen. Tulostettuja malleja voidaan muun muassa maalata, porata ja käyttää muotteina. Tulostusmateriaali toimitetaan kilon pakkauksissa. (Object Geometries 2009.)



Kuva 15. Alaris30-tulostimen teknisiä tietoja. (Object Geometries.)

4.3.4 V-Flash Desktop Modeler

V-Flash on 3D Systemsin kehittämä 3d-työpöytätulostin. Tulostin maksaa 9 900 USD ja se käyttää tulostamiseen Film Transfer Imaging-teknologiaa. Tulostimen on tarkoitus tarjota nopea ja myös hinnaltaan harrastelijoillekin sopiva ratkaisu. Tulostimeen on mahdollista lisätä tulostusmateriaalia tulostuksen ollessa meneillään. Tämä on myös mahdollista Solidon tulostimessa, mutta ei ilman kahta materiaalilokeroa. V-Flash tulostimen kohdalla ei tarvitse investoida erilliseen materiaalilokeroon. 3D Systems tarjoaa myös kierrätysohjelman, jonne käytetyt tulostuskasetit voi lähettää. (Modelin3D 2009.)

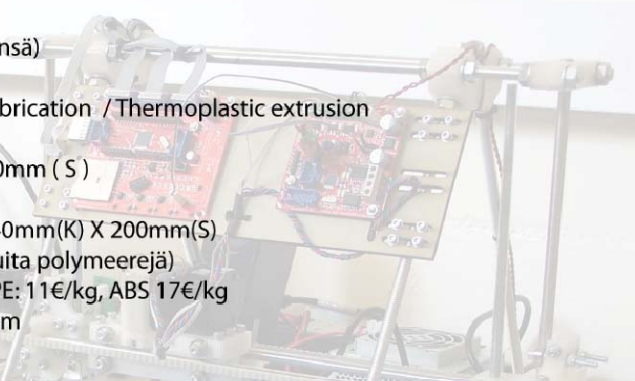


Kuva 16. V-Flash-tulostimen teknisiä tietoja. (Modelin3D.)

5 OPEN SOURCE 3D-TULOSTIMET

5.1 RepRap

RepRap on tohtori Adrian Bowyerin luoma ja kehittämä projekti. Projekti on GNU General Public-lisenssin alainen, joten siihen liittyvä dokumentaatio on vapaasti jokaisen saatavilla. Tämä tarkoittaa, että kuka tahansa pystyy rakentamaan oman RepRap-laitteen ostamalla tarvittavat osat ja seuraamalla ohjeita. Kokoamiseen tarvittavien piirustusten lisäksi myös tulostamiseen käytettävä ohjelma on täysin ilmainen ja vapaasti levitettävissä. RepRap käyttää FFF-teknologiaa (Fused Filament Fabrication). Materiaalina käytetään termoplastista muovia. PLA:sta (Polyactic acid) muodostuu luultavasti tulevaisuudessa pääasiainen tulostusmateriaali. Muidenkin materiaalien käyttäminen on mahdollista. Myös useamman materiaalin yhtäaikainen käyttö on mahdollista käytettäessä useampaa tulostinpäätä. Nimensä mukaisesti laite kykenee osittaiseen itsensä replikointiin. Tällä hetkellä laitteella mahdollista valmistaa sen tarvitsemat muoviosat. Suunnitteilla on muun muassa alhaisen sulamispisteen omaavien metallien, kuten Woodin tai Fieldin metallin, käyttämistä. Näitä metalleja voisi sitten käyttää virtapiirien tulostamiseen, jolloin RepRap pystyisi valmistamaan taas suuremman osan tarvitsemistaan komponenteistaan. (RepRap 2009.)

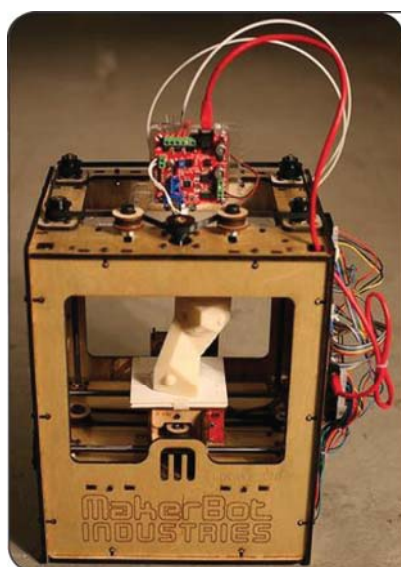


TEKNISET OMINAISUUDET	
Valmistaja:	RepRap (tai kuka hyvänsä)
Malli:	Mendel
Teknologia:	FFF- Fused Filament Fabrication / Thermoplastic extrusion
Hinta:	350€
Koko:	500mm(L) x 360mm(K) x 400mm (S)
Paino:	7.0 kg
Tulostusalueen koko:	200mm(L) x 140mm(K) X 200mm(S)
Materiaalit:	PLA, HDPE, ABS (sekä muita polymeerejä)
Materiaalien hinta:	PLA: 22€/kg, HDPE: 11€/kg, ABS 17€/kg
Tulostetun kerroksen paksuus:	0,3mm
Suuttimen läpimitta:	0,5mm

Kuva 17. RepRapin Mendel-version tekniset tiedot. (Mendel Documentation 2009.)

5.2 MakerBot & CupCake CNC

CupCake on MakerBot-projektin viimeisin laiteversio, ja siitä on saatavilla niin Basic- kuin myös Deluxe-versiot. Noin 550 €(750 USD) maksava Basic-versio ei sisällä työkaluja, johtoja eikä virtalähdettä. Sen mukana kuitenkin toimitetaan noin 450 g (1 lb) tulostusmateriaalia. Deluxe-versio sisältää kaiken kasaamiseen tarvittavan sekä myös noin 2,7 kg tulostusmateriaalia. MakerBot-projektin juuret löytyvät RepRap-projektista. Tohtori Adrian Bowyer on yksi MakerBotin tukijoista. Kuten RepRap myös MakerBot on täysin avoimen lähdekoodin projekti. Kaikki rakentamiseen tarvittava dokumentaatio ja tulostusohjelmisto ovat ilmaisesti kaikkien saatavilla. Itse laite on suunniteltu siten, että se on täysin muunneltava. Open Source luonteensa vuoksi tämä on myös hyvin toivottavaa. Koska laitteen rakentamisen pohjana on ollut RepRap-projekti, myös MakerBotin käyttämä additiivinen teknologia on sama kuin RepRapissa. Tulostettavat kappaleet siis muodostetaan, kerros kerrokselta, pursottamalla termoplastista muovia. Mahdollisiin materiaaleihin lukeutuvat muun muassa ABS- ja PLA-polymeerit. Tällä hetkellä laite käyttää ainoastaan yhtä tulostuspäätä, mutta siihen on mahdollista asentaa useampi tulostuspää. (Makerbot Wiki 2010.)



TEKNISET OMINAISUUDET

Valmistaja: MakerBot Industries

Malli: CupCake CNC

Teknologia: Thermoplastic extrusion

Hinta: Basic-versio 750USD / Deluxe-versio 950USD

Koko: 300mm(L) x 400mm(K) x 250mm (S)

Paino: 5.0 kg

Tulostusalueen koko: 100mm(L) x 130mm(K) X 100mm(S)

Materiaalit: PLA, HDPE, ABS (sekä muita polymeerejä)

Materiaalien hinta: PLA: 22 /kg, HDPE: 11 /kg, ABS 17 /kg

Tulostetun kerroksen paksuus: 0,3mm

Suuttimen läpimitta: 0,5mm

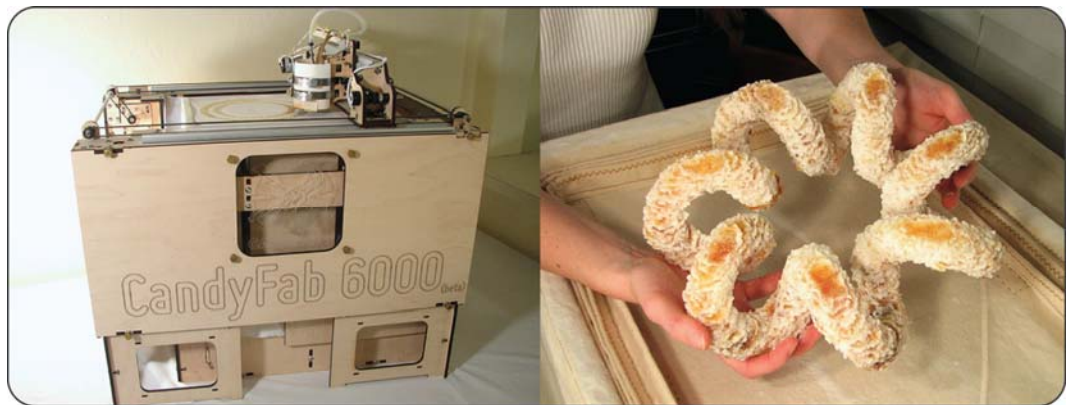
Kuva 18. CupCake CNC:n tekniset tiedot. (Welcome to the MakerBot Wiki 2010.)

5.3 Fab@Home

Fab@Home on tohtori Evan Malone:n ja hänen mentorinsa tohtori Hod Lipsonin suunnittelema laite. Laite sai alkunsa Cornellin yliopistossa Malone:n opintojen oltua loppusuoralla. Fab@Home ei kuitenkaan ollut Malone:n tohtorin tutkielman aihe, mutta idea pöydälle mahtuvasta ”fabberista” oli kiehtova. Lipsonin suunnitellessa laitteen ohjelmiston Evanin työksi jäi rakentaa itse laite ja sen käyttöliittymä. Laitetta voi ostaa Koba Industriesilta joko valmiiksi koottuna 3 600 USD:n hintaan tai kokoamattomana 3 025 USD:lla. Vaikka laite on mahdollista rakentaa halvemmalla kuin millä sitä myydään, on Evan perustellut osa valintojaan, sillä että laitteen ensimmäisessä mallissa tähdättiin toimivuuteen ja ulkonäköön, jolloin se saavuttaisi suuremman suosion harrastelijoiden parissa. Laitteesta on suunnitteilla päivitetty Model 2-versio, jonka pitäisi olla edeltäjänsä nopeampi ja halvempi. Model 1-versio käyttää materiaalin annosteluun ruiskua, mikä mahdollistaa monenlaisten materiaalien, kuten esimerkiksi silikonin ja jopa suklaan käytön. Yksi tapa parantaa laitteen nopeutta ja tarkkuutta olisi suunnitella useita eri ruiskuja eri materiaaleille. Fab@Home ei ole laitteena vielä siinä pisteessä, että sitä voisi käyttää kaupallisiin sovelluksiin. Sen tarkkuus ja toiminnan luotettavuus ei ole vielä tässä mielessä tarpeeksi kehittynyttä. Tällä hetkellä se on enemminkin suunnattu harrastelijoille. Toisin kuin useimmilla FFF-laitteilla, Fab@Home:n tulostusalusta ei liiku uuden kerroksen alkaessa, vaan itse tulostuspää liikkuu z-suunnassa. (Arstechnica 2007; Fab@Home 2007; An Open Source Personal Desktop Fabricator Kit 2007.)

5.4 CandyFab

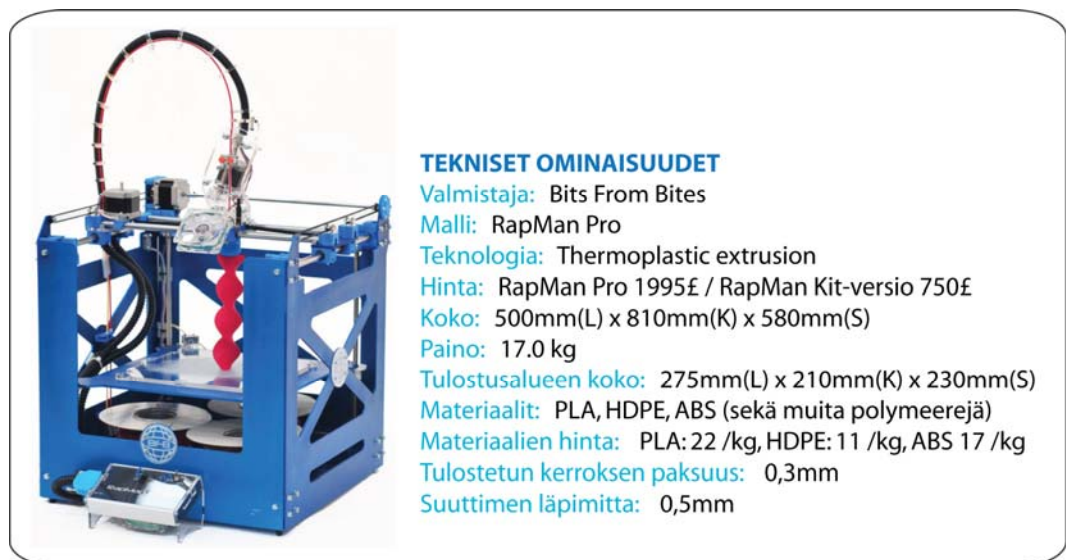
CandyFab projektin tarkoituksena on ollut luoda laite, jolla voidaan tulostaa kooltaan suuria, vaikkakin resoluutioltaan alhaisia, kappaleita. Toinen projektin tavoitteista on ollut löytää kustannukseltaan halpa tulostusmateriaali. Vaikka muitakin materiaaleja, kuten alhaisessa lämpötilassa sulavia muoveja on testattu, on CandyFabin pääasiallinen tulostusmateriaali kidesokeri. Huolimatta siitä että materiaalin puolesta olisikin mahdollista valmistaa syötäviä kappaleita, ei tulostusprosessia ja laitetta ole suunniteltu sitä silmällä pitäen. Tulostusprosessi ei myöskään ole täysin automatisoitu, vaan uutta kerrosta varten tarvittava sokeri täytyy annostella manuaalisesti. Laitetta ei ole siis myöskään suunniteltu käytettäväksi ilman valvontaa. Sokerin sulattamiseen käytetään suutinta, josta tuleva kuuma ilma sulattaa sokerin. Kuuma ilma tuotetaan lämpöelementillä ja ilmapumpulla. Tästä tekniikasta käytetään nimitystä SHASAM (Selective Hot Air Sintering And Melting). Laitteesta ei ole tällä hetkellä tarjolla valmiita rakennus sarjoja, vaan se on rakennettava täysin itse. Evil Mad Science:n on tarkoitus tulevaisuudessa tarjota kit-sarjoja vielä beta-vaiheessa olevasta CandyFab 6000:sta. (Evil Mad Scientist Laboratories 2007.)



Kuva 19. CandyFab (CandyFab 2009.)

5.5 RapMan Pro

RapMan Pro on Bits From Bytes:n kokoama, RepRap:iin perustuva, Open Source 3d-tulostin. A1 Technologies myy valmiiksi koottua RapMan Pro:ta 1995 £:n (~2 290 €) hintaan. Aikaisempi versio laitteesta on edelleen saatavilla itse koottavana kit-pakettina 750 £:n (~860 €) hintaan. Myös RapMan käyttää materiaalinaan muovia, joka syötetään laitteelle lankana. Laitteessa on useampia tulostuspäitä ja sillä voidaan tuottaa kaksi- tai kolmiväri tulosteita. RapMan:in tulostusprosessi on hieman erilainen verrattuna esimerkiksi RepRapiin. Tulostettavaksi halutusta STL-tiedostosta luodaan Skeinforgen avulla G-Code-tiedosto, minkä jälkeen luotu tiedosto siirretään SD-muistikortille, kortti asetetaan laitteeseen ja tulostus voi alkaa. Skeinforge on Python-skripti, joka muuttaa CAD-mallin RapMan:in ymmärtämiksi G-Code käskyiksi. Vaikkakin tämä tulostusprosessin osa poikkeaa muista laitteista, on loppu prosessi sama. (Fabbaloo2009; Curran 2009; BitsFromBytes Wiki 2010.)



Kuva 20. RapMan Pro tulostin.(Rap-Man 2010.)

6 SFF:N HYÖDYT TUOTESUUNNITTELUPROSESSISSA

SFF ei ole aina oikea vastaus kaikissa tilanteissa. Kuten minkä hyvänsä tuotteen valmistukseen liittyvän prosessin kohdalla, tulee myös SFF:n mahdolliset hyödyt ja haitat punnita erikseen jokaisen tuotteen kohdalla. SFF:n avulla saavutettava lopputulos voidaan saavuttaa myös muiden teknologioiden kautta. Maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi sitä on sovellettava juuri oikeisiin tilanteisiin, jolloin sen todelliset ja moninaiset hyödyt tulevat esille. (Grimm 2004, 127-128.)

Mahdollisten virheiden havaitseminen varhaisessa vaiheessa tuotteen valmistusprosessia on suuri etu. Mockup-mallien valmistaminen on yksi tapa havaita näitä virheitä vielä konseptiasteella olevasta tuotteesta. Vaikka suunnitteluvirheiden havaitseminen on mahdollista myös suoraan CAD-piirustuksista, tarjoaa mockup-malli vähemmän teknisesti orientoituneelle henkilölle paremmat mahdollisuudet havaita mahdollisia ongelmia esimerkiksi tuotteen muotoilussa. Vaikkakin kyseiset mallit voidaan valmistaa myös käsin, tarjoaa SFF:n käyttö selkeitä etuja etenkin valmistettaessa mockup-malleja markkinointitarkoitukseen. (Grimm 2004, 129.)

Valmistamalla mockup-malleja käsin voidaan saavuttaa vähintäänkin yhtä hyvä lopputulos kuin SFF:n avulla. Verrattuna perinteiseen tapaan valmistaa mockup-malleja pystytään SFF:n avulla kuitenkin luomaan malli nopeammin ja valitusta teknologiasta riippuen mahdollisesti jopa yhtenä prosessina. Valmistettaessa näitä malleja käsin sisältyy prosessiin monia vaiheita, ja osa näistä voi olla huomattavasti aikaa vaativia. SFF-prosessi on puolestaan pitkälti automatisoitu. SFF:llä saavutettavat hyödyt voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Nämä ovat ajansäästölliset hyödyt, kustannukselliset hyödyt sekä laadulliset hyödyt. Edellä mainitut hyödyt pohjautuvat SFF-teknologian perusominaisuuteen, eli kykyyn luoda geometrialtaan hyvinkin mutkikkaita kappaleita. Tämä ominaisuus vapauttaa suunnittelijat esimerkiksi CNC-jyrsinnän asettamista rajoituksista, ja täten antaa enemmän vapauksia luovuudelle ja innovaatiolle.

(Grimm 2004, 130.)

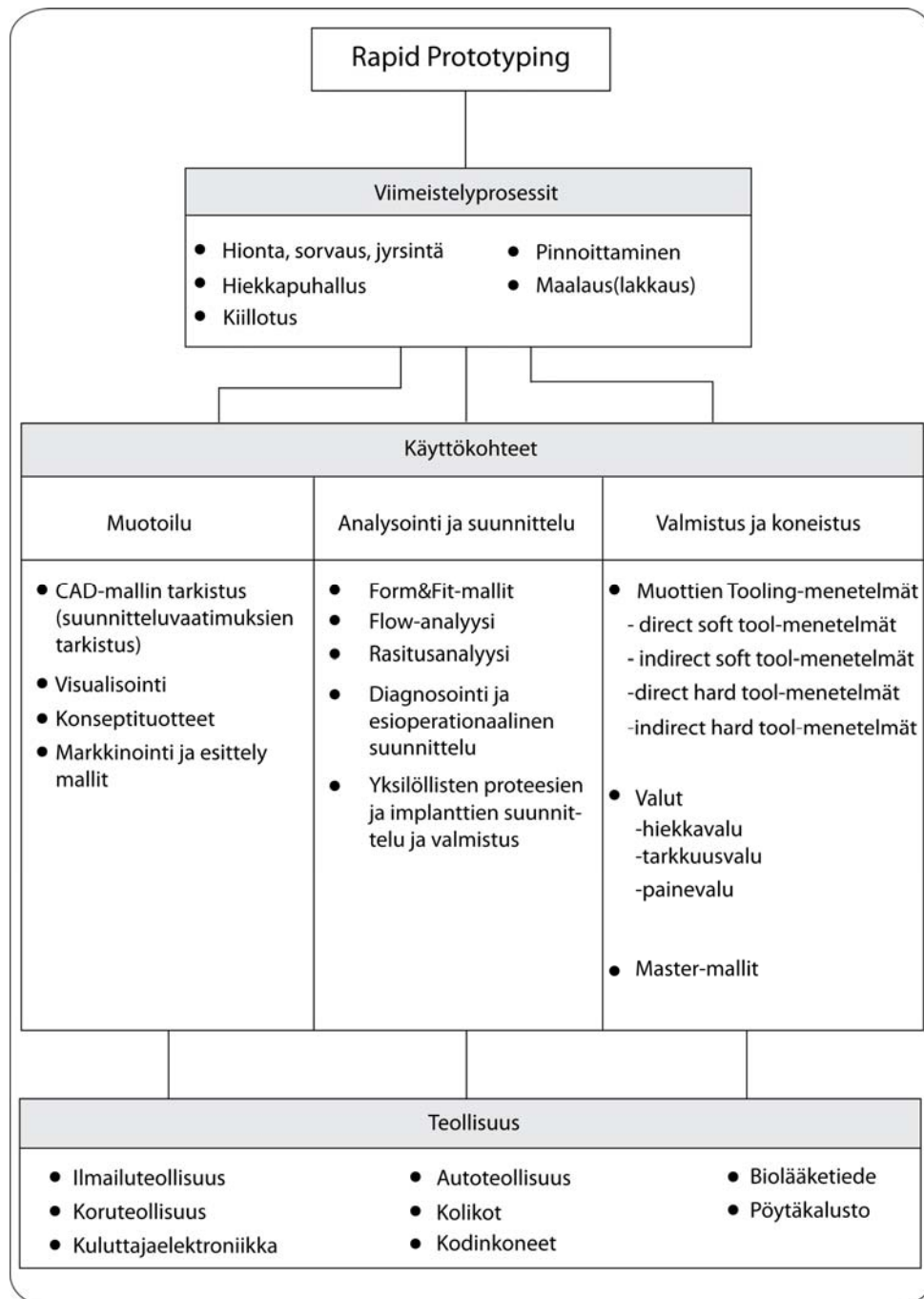
SFF-käytön mukana tuoma ajansäästöllinen hyöty ei tule ainoastaan nopeasta mallin rakentamisesta, vaan prosessi on kokonaisuutenakin nopea. Koska SFF ei aseta vaatimuksia tulostettavien kappaleiden geometrialle on tulostettavan kappaleen suunnittelu vapaampaa. Kappaleen tulostamiseen kuluva aika ei siis riipu tulosteen mahdollisesta monimutkaisesta muodosta, vaan tulostamiseen kuluva aika on enemmänkin riippuvainen sen korkeudesta. Mitä korkeampi tulostettava kappale on, sitä useamman kerroksen sen tulostaminen vaatii. SFF-laitteilla pystyy myös, tulostettavan kappaleen ollessa mitoiltaan siihen sopiva, tulostamaan useamman kappaleen yhden ajon aikana. Tästä koituu selkeää ajallinen säästö verrattuna perinteisiin prototyyppien valmistusmenetelmiin joilla voidaan valmistaa vain yksi kappale kerrallaan. Itse tulostamista ajatellen suurin rajoittava tekijä onkin tulostusalueen koko. (Grimm 2004, 130-132.)

SFF:n käytöstä saavutettavat rahansäästölliset hyödyt eivät usein johdu siitä, että sillä valmistetut mallit olisivat suoraan halvempia verrattuna esimerkiksi CNC-jyrsimellä valmistettuihin malleihin. Rahalliset hyödyt pohjautuvat pääasiassa SFF:n käytöllä saavutettuun ajansäästöön. Prototyyppien avulla voidaan mahdolliset suunnitteluvirheet havaita ajoissa. Mitä aikaisemmin nämä virheet havaitaan, sen parempi, koska tällöin vältetään esimerkiksi mahdolliselta tuotantoprosessien muuttamiselta virheiden korjaamiseksi. Valmistettaessa prototyyppinä käsin voi valmistus kuitenkin kestää jopa useamman viikon. Tämä johtaa muutoksiin aikataulussa ja tuotteen lanseerauksen siirtymiseen. Tällöin prototyypistä saavutettavat hyödyt voivat jäädä vähäisiksi. SFF:llä voidaan kuitenkin valmistaa prototyyppi huomattavasti nopeammin, jolloin siitä saavutettavat hyödyt ovat myös suuremmat. Tämä myös mahdollistaa prototyyppityksen käyttämistä useammin, jolloin tuotteesta saatetaan löytää esimerkiksi useampia pieniä parannuskohteita jotka korjaamalla voidaan saavuttaa suuria säästöjä lopullisen tuotteen valmistuksessa. (Grimm 2004, 133-134.)

SFF:n käytöllä voidaan myös saavuttaa laadullisia hyötyjä. Nämä laatuun liittyvät hyödyt eivät niinkään koske itse prototyyppejä vaan lopullista tuotetta. Kun prototyyppien valmistamista voidaan perustellusti käyttää suunnitteluprosessin tukena, pystytään tuotantoon pääsevistä lopullisesta tuotteesta tekemään virheettömämpi ja täten laadultaan parempi. Prototyypit ovat myös hyvä tapa perustella suunnittelussa käytettyjä ratkaisuja esimerkiksi markkinointiosaston väelle, jotka eivät välttämättä muuten pystyisi ymmärtämään kyseisiä ratkaisuja. Tämäkin puolestaan parantaa lopullisen tuotteen laatua, kun kaikki suunnitteluprosessiin osallistuvat henkilöt pystyvät paremmin kommunikoimaan keskenään. (Grimm 2004, 134-135.)

7 SFF:N KÄYTTÖKOhteITA

SFF:lle on olemassa useita käyttökohteita, joten edellä esille tuotu prototyyppien valmistaminen osana tuotekehitystä on vain yksi mahdollisuus. Eräs mahdollinen käyttökohde voi olla esimerkiksi pienten tuote-erien suora valmistus (RM), kuten yksilöllisten tekonivelten ja proteesien valmistaminen. Käyttökohteita löytyy myös taiteiden parista, kuten digitaalisesta veistämisestä ja yksilöllisten korujen valmistamisesta. Yksi SFF-teknologian alkuperäisistä käyttökohteista on ruiskupuristus- ja painevalumuottien valmistaminen. Esimerkiksi korumuotoilija voi tehdä suunnittelemaansa korusta SFF-laitteen avulla valumuotin ja käyttää sitä osana korunvalmistusprosessia. Tämän muotin avulla hän voi valmistaa pieniä eriä suunnittelemaansa tuotetta. SFF:ää voidaan myös käyttää osana tieteellistä kuvantamista. Tiedemiehet voivat tulostaa mutkikkaita proteiiniketjujen suurenoksia ymmärtääkseen paremmin niiden toimintaa. SFF:n käyttökohteet ovat siis hyvin moninaiset.



Kuva 21. Tyypillisiä RP:n käyttökohteita. (Chua, Leong & Lim 2003, 296.)

7.1 Autoteollisuus

Kuten on jo tuotu esille, voidaan SFF:n avulla tuotettuja prototyyppejä käyttää esimerkiksi yhtenä suunnittelun tarkastusmenetelmänä. Esimerkiksi Volkswagen on hyötynyt SFF:n käytöstä osana tuotesuunnitteluprosessia. Yhtiön työntekijöiden suunnitteleman vaihdelaatikon kotelosta päätettiin valmistaa prototyyppi Helysis:n LOM-laitteella. Volkswagen päätyi käyttämään kyseistä laitetta, koska perinteinen prototyypin valmistusmenetelmä olisi ollut liian kallis, eikä sillä olisi mahdollisesti pystynyt toteuttamaan kaikkia vaihdelaatikon yksityiskohtia. Koska vaihdelaatikon kuori oli suuri, se jouduttiin valmistamaan viidessä osassa jotka lopulta liimattiin yhteen. Valmistettua mallia käytettiin aluksi kuoren muotoilun arviointiin, ja lopulta sitä käytettiin hiekkavalumuotin valmistamiseen. Valmistettua muottia käytettiin lopullisten metallisten prototyyppien valmistukseen. Tämän menetelmän avulla Volkswagen pystyi kutistamaan prototyypin valmistamiseen kuluvan ajan kahdeksasta viikosta alle kahteen viikkoon, mistä seurasi huomattavia ajallisia ja kustannuksellisia säästöjä. (Chua, Leong & Lim 2003, 324.)

Myös Formula 1- tallit ovat huomanneet SFF:n hyödyt. F1 autoista pyritään jatkuvasti tekemään nopeampia ja luotettavampia. Yksi suorituskyvyn kannalta olennainen asia on auton aerodynamiikka. Koska SFF ei teknologiana aseta rajoituksia valmistettavien osien geometrialle, sopii se hyvin myös aerodynaamisten muotojen valmistukseen. Tämä huomattiin myös Renaultilla. Käytettyään ulkopuolisia palveluntarjoajia SLA-osien valmistamiseen Renaultin insinöörit päättivät vuonna 1995 hankkia 3D Systemsiltä oman SLA-laitteiston. Laitteen tarjoamat hyödyt tulivat nopeasti esille. Oman SLA-laitteen avulla pystyttiin nyt tekemään nopeammin muutoksia erinäisiin osiin sekä testaamaan useampia variaatioita. Omalla laitteella valmistetut osat olivat myös halvempia kuin ulkopuoliselta valmistajalta tilatut. (OptoIQ 2002.)

7.2 Ilmailuala

SLA-laitteita on käytetty myös ilmailualan tuotteissa. Bell Helicopter käytti SLA-malleja testatakseen uuden helikopterinsa lennonjohtojärjestelmän osien muotoilua ja toimivuutta. Kaiken kaikkiaan 50 osasta valmistettiin mallit. Näitä malleja käytettiin lopulta valumallien valmistamiseen. Osista luotiin ensin mittasuhteiltaan 1:2 olevat SLA-mallit, joiden avulla varmistettiin osien muotoilu ja toimivuus. Seuraavaksi osista valmistettiin 1:1 mallit, ja ne asennettiin varsinaiseen koneeseen sopivuuden varmistamiseksi. Esille tulleet ongelmat korjattiin, minkä jälkeen valmistettiin uudet SLA-mallit joita käytettiin lopulta valumallien valmistamiseen. Valumallit lähetettiin FAA:lle (Federal Aviation Authority) sertifioitaviksi. Käyttämällä SLA-malleja osana tuoteprosessiansa Bell pystyi huomattavasti lyhentämään tuotteen kehitysprosessia. (Chua, Leong & Lim 2003, 323.)

7.3 Arkeologia

Berliinissä sijaitseva The Egyptian Museum käytti SLA-tulostinta Kuningatar Tejen päähineen visualisointiin. Päähine on osa 9,5 cm korkeaa rintakuvapatsasta. Päähinetä päällystää paperimassasta valmistettu huppu, joka on koristeltu sinisin helmin. Vuonna 1920 pystyttiin röntgenien avulla selvittämään, että hupun alle kätkeytyy kullasta valmistettu, hopeiseen päähineeseen istutettu pääkoriste. Koska paperimassasta valmistettua huppua ei ole haluttu vahingoittaa, ei pääkoristetta voitu tutkia tarkemmin, ennen kuin tietokonetomografiaan (TT) perustuva 3d-mallintaminen oli mahdollista. 3d-malli rakennettiin BAM:in (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin) avustuksella. TT-skannauksen avulla pystyttiin luomaan erilliset 3d-mallit kasvojen luista, hopeisesta päähineestä ja koruista. Skannauksen avulla luotua 3d-mallia käytettiin SLA-mallien luomiseksi. Myös koko patsaasta luotiin SLA-malli. Mallit tulostettiin 2:1 mittasuhteella jotta koristeen yksityiskohdat olisivat paremmin havaittavissa. (Gebhardt 2003, 279.)

7.4 Lääketiede

SFF-teknologiaa voidaan lääketieteessä käyttää muun muassa apuna diagnosoinnissa, leikkausten suunnittelussa sekä proteesien valmistuksessa. Etenkin vaikeiden leikkausten kohdalla on etukäteissuunnittelu ensiarvoisen tärkeää. Fyysisen kolmiulotteisen mallin avulla kirurgi pystyy helpommin suunnittelemaan leikkauksen kulun, opastamaan leikkaussalin muuta henkilökuntaa sekä paremmin selittämään potilaalle, miten leikkaus tullaan suorittamaan. Tulostetun kappaleen materiaalin tulee tietenkin olla ominaisuuksiltaan sellaista, että se voidaan sterilisoida. Edellä mainittu proteesien valmistus on myös yksi mahdollisista käyttökohteista. Proteeseista on olemassa standardikokoja, jotka sopivat useimmille potilaille. Vaikkakin useimmille nämä palauttavat raajan liikuntakyvyn, saattaa raajan liikerataan tulla muutoksia, jotka aiheuttavat kipua ja vaativat fysioterapeuttista hoitoa. Pahimmillaan voidaan joutua tekemään korjausleikkauksia, jolloin leikkauksen riskit ja hinta kasvavat. Valmistamalla yksilöllinen, juuri kyseiselle potilaalle suunniteltu, proteesi pystytään usein välttämään edellä mainittuja ongelmia. (Gibson, Rosen & Stucker, 2009, 387-389.)

On olemassa myös muitakin tapoja hyödyntää SFF-teknologiaa proteesien valmistuksessa. Katkenneiden luiden korjaamisessa käytetään usein apuna titaanista valmistettua taipuisaa verkkoa. Vaikkakin verkko on taipuisaa, tarvitaan sen taivuttamiseen työkaluja. Paremman lopputuloksen saavuttamiseksi voidaan esimerkiksi tietokonetomografian avulla luodusta 3d-mallista valmistaa sapluuna, jonka avulla titaani verkko voidaan taivuttaa paremmin sopimaan potilaan tarpeisiin. (Gibson, Rosen & Stucker, 2009, 389.)

Yksi oikean elämän esimerkki, jossa SFF:n käyttö osoittautui hyödylliseksi, on tapaus, jossa 14-vuotiaan pojan leuka rekonstruoidtiin, jotta leuan liikkuvuus parantuisi ja poika pystyisi syömään paremmin. Normaalisti lääkäreiltä kului paljon aikaa epämuodostumien tutkimiseen ja parhaiden toimenpiteiden päättämiseen. Valmistamalla pojan kallostä muoviset näköismallit, lääkärit pystyivät suunnittelemaan leikkauksen kulun tarkemmin ja tämän vuoksi koko operaatio voitiin toteuttaa yhden leikkauksen aikana. Tämä oli helpotus niin potilaalle ja tämän vanhemmille, kuin myös heidän vakuutusyhtiölleen. Ilman kyseisiä malleja olisi lopullisen tuloksen saavuttamiseksi saatettu joutua tekemään useampi leikkaus. (Surgical Planning: Healing a Young Boy 1999.)

7.5 Taide

Kiinassa vuoden 2008 elokuun ja 2009 tammikuun välisenä aikana kiertänyt näyttely Digital Stone Exhibition on yksi esimerkki SFF:n käytöstä osana taidetta. Näyttely koostui Bruce Beasley'n, John Isherwoodin, Robert Michaelin sekä Kenneth Snelsonin luomista veistoksista. CNC-jyrsimilläkin on mahdollista työstää kiveä ja luoda veistoksia, mutta tietynlaisten muotojen toteuttaminen on niillä mahdotonta. Yksi näistä on veistoksen sisäiset muodot. Jokainen edellä mainituista taiteilijoista loi viisi digitaalista veistosta, joista valmistettiin 3d-tulosteet. Nämä tulostetut mallit lähetettiin Kiinaan, jossa Dingli Stone Carving Company-yhtiön käsityöläiset valmistivat niistä graniittiset suurennokset. (Digital Stone Exhibition 2008.)

7.6 Lelut ja figuurit

Nimrod Racing™ on Unkarilainen, Budapestissa sijaitseva, R/C autojen osia valmistava suunnittelu yritys. R/C autot sisältävät paljon pieniä osia, joiden on toimittava saumattomasti keskenään. Alkujaan yritys käytti näiden osien valmistamiseen perinteistä 3d-jyrsintää. Valmistettavien osien monimutkaisuus ja muuttuvat markkinat saivat yhtiön kääntämään katseensa kohti 3d-tulostusta ja sen mahdollisia mukanaan tuomia hyötyjä. Yritys päätyi lopulta hankkimaan Object Geometries:in Eden-sarjan tulostimen, joka käyttää tulostamiseen PolyJet-teknologiaa. Verrattuna heidän aikaisempaan toimintamalliinsa osien valmistuksen suhteen, oman 3d-tulostimen omistamisen mukanaan tuomat hyödyt tulivat nopeasti esille. Osien prototyyppien valmistus saattoi aikaisemmin kestää useita kuukausia, mutta nyt prototyypit valmistuvat päivissä. Aikaisemmin ongelmana olivat myös hukkakappaleet. Jokaista osaa tilattiin aina useampi kappale, koska yksittäiset osat eivät aina välttämättä vastanneet yrityksen asettamia laatuvaatimuksia. Tästä seuranneet hukkakappaleet kasvattivat kustannuksia. Tämän vuoksi ei aikaisemmin ollut taloudellisesti perusteltua esimerkiksi valmistaa rajoitettuja sarjoja. Insinöörit pystyvät myös nyt entistä paremmin keskittymään siihen, minkä he parhaiten osaavat, eli suunnitteluun. (Object Geometries 2010.)

3d-tulostusten tarjoaminen palvelumallina on yleistymässä. Yhdistämällä 3d-tulostuksen ja World of Warcraftin yhdysvaltalainen Figureprints on onnistunut luomaan menestyksekkään yrityksen. Yritys valmistaa WOW-maailmasta tuttuja hahmoja maksimissaan 8 tuuman korkuisina figureina. Figuurit valmistetaan Z Corporationin tulostimella, jolla on mahdollista tulostaa värillisiä malleja. Figuurit maksavat Eurooppaan postitettuna 99,95 € Hintaan tulee vielä lisätä postimaksut ja verot. (Figureprints 2010.)

7.7 Arkkitehtuuri

Arkkitehtuuriprojektin aikana valmistetaan rakennettavasta kohteesta useita pienoismalleja, joiden avulla suunnitelmaa pyritään visualisoimaan asiakkaalle parhaimmalla mahdollisella tavalla. Perinteisesti nämä pienoismallit valmistetaan käsin, jolloin siihen kuluu paljon aikaa ja usein monen ihmisen työpanos. Ongelmana on myös se, että valmistetut mallit eivät ole välttämättä tarpeeksi yksityiskohtaisia esitelläkseen kohteen parhaimmalla mahdollisella tavalla. Useita vuosia sitten rakennusalan hidastuessa New Yorkissa sijaitsevan arkkitehtitoimisto Rietveld Architects LL P:n perustaja ymmärsi muutoksen olevan tarpeen, jotta yritys erottuisi edukseen kilpailijoista. Margaret ja Rijk Rietveld päättivät 3d tulostamisen olevan juuri se tapa, jolla he voisivat parantaa laatua ja nopeuttaa suunnitteluprosessiansa. Siirtymällä käyttämään 3d-tulostusta yhtiö onnistui vähentämään pienoismallien rakentamiseen kuluvaa aikaa useammalla kuukaudella. (Objet Geometries 2010.)

7.8 Jalkineiden valmistus

Adidas-Salomon AG on yksi maailman suurimmista urheiluvälineiden valmistajista. Kuten mille hyvänsä yritykselle, myös heille on tärkeää tuoda uusia tuotteita markkinoille tasaisin aikaväleihin. Yhtiöllä on useita toimistoja ja tehtaita, joiden välisen tiedonkulun parantamiseksi he ovat pyrkineet täysin digitaaliseen tuoteprosessiin. Päästäkseen lähemmäksi tätä tavoitetta, yritys päätyi sisällyttämään 3d-tulostuksen osaksi tätä prosessia. Aluksi tulostinta käytettiin jalkineiden valmistuksen yhteydessä esimerkiksi uusien kengänpohjien prototyyppien valmistamiseen. Nyt yhtiö pyrkii hyödyntämään sitä myös muiden tuotteiden kohdalla, kuten esimerkiksi jalkapallosuojien, maalivahdin käsineiden, uimalasien ja pienten käsipainojen valmistukseen. (Objet Geometries 2010.)

7.9 Viihdeteollisuus

Coraline on animaatiostudio LAIKA:n ensimmäinen täyspitkä, stop motion-tekniikalla toteutettu animaatio. Studio käytti kolmea eri Object Geometries:in tulostinta esimerkiksi elokuvan hahmojen satojen eri kasvonilmeiden valmistamiseen. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun 3d-tulostusta käytettiin tällaiseen käyttökohteeseen. Muihin käyttökohteisiin kuuluivat muun muassa erilaisten lavasteiden, kuten ovien ja niiden saranoiden valmistus. (Object Geometries 2009.)

Myös James Cameronin Avatar-elokuvassa käytettiin apuna 3d-tulostimella valmistettuja malleja. Mallien avulla Cameron testasi hahmojen sopivuutta elokuvassa esiintyvän Pandora-planeetan ympäristöön sekä testatakseen valotuksen sopivuutta eri kohtauksissa. Mallit valmisti Legacy Effects-tuotanto studio. (PrinterinkCartridgesBlog 2009.)

8 YHTEENVETO

Ihmiset omistavat monenlaisia laitteita kuten kännyköitä, kaukosäätimiä ja kannettavia musiikkisoittimia. Nämä laitteet eivät aina ole kuoriensa suhteen kovin kestäviä, joten esimerkiksi putoamisen yhteydessä niihin tulee helposti halkeamia. Tulevaisuudessa, jolloin 3d-tulostimet ovat halventuneet ja muutenkin muuttuneet kuluttaja ystävällisemmiksi, on jokaisen mahdollista tulostaa esimerkiksi uudet kännykänkuoret omalla henkilökohtaisella 3d-tulostimella. Tämä tietenkin vaatii, että laitteiden ympärille rakennetaan uusia palveluita. Kuorien tulostamiseen tarvittavan STL-tiedoston voisi esimerkiksi ladata suoraan laitevalmistajan kotisivulta. Oman laitteen olisi kuitenkin aina oltava rekisteröity ennen kuin STL-tiedoston lataus olisi mahdollista.

Lääketiede on yksi niistä SFF-tekniikan käyttökohteista, joilla voi olla erittäin suuri vaikutus elämäämme. Tulevaisuudessa saattaa olla mahdollista valmistaa esimerkiksi yksilöllisiä sydänsiirännäisiä. Ihmisistä tulisi tällöin kasata jonkinlaisella kehoskannauksella luotu tietokanta. Tämä luultavasti vähentäisi riskiä, että potilaan elimistö alkaisi hylkiä siirännäistä. On kuitenkin hyvin mahdollista, että vaikka SFF-tekniikka kehittyisi tarpeeksi jotta kyseinen elinten valmistus olisi mahdollista, tulotaisiin se estämään eettisyyteen vedoten.

Nämä skenaariot ovat vielä kaukana tulevaisuudessa. Tämänhetkiset Open Source-projektit, kuten RepRap ja Fab@Home, tarjoavat innostuneille harrastelijoille mahdollisuuden tutustua SFF-tekniikkaan. Ne ovat kuitenkin vielä kaukana, muun muassa tarkkuuden ja käyttömukavuuden suhteen, peruskuluttajalle soveltuvasta laitteesta. Jotta 3d-tulostimet löytäisivät tiensä peruskuluttajien koteihin, tulee sekä itse laitteiden, että niiden ympärille rakennettujen palveluiden kehittyä ja monipuolistua. SFF-tekniikka kuitenkin tarjoaa jo tänä päivänä joitakin ratkaisuja, niin yritysten kuin myös yksityishenkilöiden tarpeisiin. Oikealla tavalla hyödynnettynä se voi tuoda yrityksille huomattaviakin taloudellisia säästöjä. On kuitenkin muistettava, että se ei ole aina oikea ratkaisu kaikkiin tilanteisiin.

Koska eri SFF-teknologiolla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, on myös osattava valita oikea laite kuhunkin tehtävään, millainen se sitten onkin. Yksityishenkilöille, kuten esimerkiksi taiteilijoille, se antaa uusia mahdollisuuksia luovuudelle. Internetissä on palveluita, kuten Shapeways, jotka tarjoavat 3d-tulostamista niin yksityishenkilöille kuin myös yrityksille. Palvelunkäyttäjä lähettää Shapewaysille 3d-mallinsa, valitsee haluamansa tulostusmateriaalin tarjolla olevista useista vaihtoehdoista, varmistaa tilauksensa ja odottaa tulostetun mallin saapumista postitse.

SFF on nopeasti kehittyvä teknologian ala, eikä tulevaisuuden ennustaminen ole yksinkertaista. Uusien innovaatioiden kautta asiat saattavat muuttua nopeastikin. Totuus on kuitenkin, että tällä hetkellä SFF-teknologian pääasialliset käyttökohteet löytyvät teollisuudesta.

LÄHTEET

Painetut lähteet

Chua C.K, Leong K.F & Lim C.S 2003. Rapid Prototyping: Principles and Applications. World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd

Gebbhardt A. 2003. Rapid Prototyping. Hanser Gardner Publications

Gibson I, Rosen D.W & Stucker B 2009. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer

Grimm T. 2004. User's Guide To Rapid Prototyping. Society of Manufacturing Engineers

Syrjälä S. 1997. Rapid prototyping - Mallien, prototyypien ja työkalujen pikavalmistus. Teknologian kehittämisselitys:Teknologiakatsaus 52/97

Sähköiset lähteet

Arstechnica 2007. Fab@Home: 3D objects from your printer for under \$2,500. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://arstechnica.com/gadgets/news/2007/04/fabathome.ars/>

Arstechnica 2007. Fab@Home: 3D objects from your printer for under \$2,500. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://arstechnica.com/gadgets/news/2007/04/fabathome.ars/2>

Arstechnica 2007. Fab@Home: 3D objects from your printer for under \$2,500. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://arstechnica.com/gadgets/news/2007/04/fabathome.ars/3>

Betta Machine Tools 2004. DMLS - Development history and state of the art. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.bettamachinetools.com.au/dls/HistoryanddevelopmentofDMLS_net.pdf

BitsFromBytes Wiki 2009. Affordable 3D Printing! [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.bitsfrombytes.com/wiki/index.php?title=Main_Page

BitsFromBytes Wiki 2009. Skeinforge [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.bitsfrombytes.com/wiki/index.php?title=Skeinforge>

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. Fused Deposition Modeling. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.additive3d.com/fdm_int.htm

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. Laminated Object Manufacturing. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.additive3d.com/lom_int.htm

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. Stereolithography. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.additive3d.com/sla_int.htm

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. Selective Laser Sintering. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.additive3d.com/sls_int.htm

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. Inkjets. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.additive3d.com/ink_int.htm

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. How Photopolymers Work. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.additive3d.com/photo.htm>

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. RP's Frequently Asked Questions. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.additive3d.com/faq/faq220.htm>

Castle Island's Worldwide Guide to Rapid Prototyping 2010. What is the difference between and RP machine and a 3D printer?. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.additive3d.com/3dprint.htm>

Curran P. 2009. A1 Technologies Launches RapMan Pro 3D Printer. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.makepartsfast.com/articles/2298/A1-Technologies-Launches-RapMan-Pro-3D-Printer.aspx>

CustomPartNet 2010. Direct Metal Laser Sintering. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering>

Digital Stone Exhibition 2008. Digital Stone Exhibition. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://digital-stone.net/the-process/>

DimensionPrinting 2009. uPrint® 3D Printing: This Time, It's Personal. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://uprint.dimensionprinting.com/3d-printers/3d-printer-benefits.aspx>

Desktop Engineering 2009. Solido's New SD300 Pro 3D Printer on Display at the PTC User Forum. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.deskeng.com/articles/aaarem.htm>

Develop3D 2009. Dimension Printing uPrint. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://develop3d.com/reviews/dimension-printing-uprint>

Ennex 1999. Surgical Planning: Healing a Young Boy. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.ennex.com/~fabbers/uses.asp#Sct_SurgicalPlanning

Digital Stone Exhibition 2008. Digital Stone Exhibition. [viitattu 29.03.2010].
Saatavissa: <http://digital-stone.net/>

Evil Mad Scientist Laboratories 2007. Solid freeform fabrication: DIY, on the
cheap, and made of pure sugar. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://www.evilmadscientist.com/article.php/candyfab>

Fab@Home 2007. An Open Source Personal Desktop Fabricator Kit. [viitattu
29.03.2010]. Saatavissa: <http://fabathome.org/wiki/uploads/6/6b/Fabathome.pdf>

Fabbaloo 2009. SOLIDO SD300 Pro. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://fabbaloo.com/blog/2009/12/11/solido-sd300-pro.html>

Fabbaloo 2009. RapMan Goes Pro. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://fabbaloo.com/blog/2009/10/26/rapman-goes-pro.html>

Figureprints 2010. FigurePrints® Frequently Asked Questions. [viitattu
29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.figureprints.com/Help/FAQ.aspx>

Forbes 2010. S. Scott Crump. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://people.forbes.com/profile/s-scott-crump/74983>

Makerbot Wiki 2010. What is a MakerBot? [viitattu 29.03.2010], Saatavissa:
<http://wiki.makerbot.com/faq-frequently-asked-questions>

Makerbot Wiki 2010. CupCake CNC [viitattu 29.03.2010], Saatavissa:
<http://wiki.makerbot.com/cupcake>

MIT 2000. What is the 3DPTM Process? [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://web.mit.edu/tdp/www/whatis3dp.html>

Modelin3D 2009. V-Flash Desktop 3D Printing. [viitattu 29.03.2010].

Saatavissa: http://modelin3d.com/vflash_benefits

Object Geometries 2009. Alaris™30. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://www.objet.com/3D-Printer/Alaris30/>

Object Geometries 2010. R/C Car Parts Company Races to Production with Components Produced on an Objet 3-D Printer. [viitattu 29.03.2010].

Saatavissa: http://www.objet.com/Pages/Case_Studies/Toys/Nimrod_Racing/

Object Geometries 2010. Objet Technology Enables New York-Based International Architecture Firm to Shave Months Off Model-Building Time.

[viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.objet.com/Pages/Case_Studies/Architecture_2/Rietveld_Architects/

Object Geometries 2010. Adidas - Salomon AG. [viitattu 29.03.2010].

Saatavissa: http://www.objet.com/Docs/Shoes_Adidas_CS_COM_A4_low.pdf

Object Geometries 2010. Market Leading Rapid Prototyping Systems Help

Break New Ground in Stop-Motion Animation. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:

http://www.objet.com/News_Events/News/News_2008/Objet_Geometries_3D_Printers_Play_Starring_Role_/

OptoIQ 2002. Lasers help Formula One cars race faster. [viitattu 29.03.2010].

Saatavissa: <http://www.optoiq.com/index/display/article-display/159545/articles/industrial-laser-solutions/volume-17/issue-10/features/lasers-help-formula-one-cars-race-faster.html>

Palm W. 1998. Rapid Prototyping Primer.[viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:

<http://www.me.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm#lom>

PrinterinkCartridgesBlog 2009. 3D Printers Pave the Road to the Oscars for

Some Films. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://printerinkcartridgesblog.printcountry.com/?p=9063>

RepRap 2009. Mendel Documentation. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://reprap.org/wiki/Mendel>

RepRap 2009. Mendel Documentation. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa:
<http://reprap.org/wiki/Mendel>

Rowe J. 2009. Dimension uPrint Personal 3D Printer Introduced. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www10.mcadcafe.com/nbc/articles/view_weekly.php?articleid=649798&interstitial_displayed=Yes

Solidvision 2009. Solido SD300Pro: Desktop 3D Printer, Capable and Affordable. [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: http://www.solidvision.com/newsevents/MCADCafe_SolidoReview_090209_Final_web.pdf

Wohlers T. 2004. Is OpenRP Another Attempt to Replace STL? [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://wohlersassociates.com/blog/2004/06/is-openrp-another-attempt-to-replace-stl/>

Wohlers T. 2010. Additive Manufacturing 101: Part I [viitattu 29.03.2010]. Saatavissa: <http://wohlersassociates.com/JanFeb10TC.htm>

KUVALÄHTEET

Kuva 1.

Grimm T. 2004. User's Guide To Rapid Prototyping. Society of Manufacturing Engineers. s.13

Kuva 5.

Mukaiillen: <http://web.mit.edu/tdp/www/images/cycle.gif>

Kuva 6.

<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm-small.png>

Kuva 7.

Mukaiillen: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/lom.png>

Kuva 8.

Mukaiillen: <http://www.princeton.edu/~cml/assets/images/stereo02.gif>

Kuva 10.

<http://www.additive3d.com/inkj3.gif>

Kuva 11.

<http://www.additive3d.com/jp1.gif>

Kuva 12.

http://www.zcorp.com/images/31_002.JPG

<http://www.dimensionprinting.com/images/3d-printers/SST-1200es-3d-printer.jpg>

Kuva 13.

http://uprint.dimensionprinting.com/images/3dprinters/mainpic_proinfo.png

Kuva 14. <http://www.solido3d.com/images/images/flash.jpg>

Kuva 15.

http://www.objet.com/Portals/0/images/alaris30/alaris_3D_Printer.gif

Kuva 16.

http://modelin3d.com/sites/modelin3d.com/files/vflash_140.png

Kuva 17.

<http://reprap.org/mediawiki/images/thumb/1/1f/Mendel.jpg/520px-Mendel.jpg>

Kuva 18.

http://farm4.static.flickr.com/3490/3458247336_bf8b6ec013_m.jpg

Kuva 19.

http://farm3.static.flickr.com/2225/3569296311_dee48b73c2.jpg

http://farm1.static.flickr.com/226/490968711_a81523633d_m.jpg

Kuva 20

<http://www.rap-man.com/images/rapman-pro-zoom.jpg>

Kuva 21.

Chua C.K, Leong K.F & Lim C.S 2003. Rapid Prototyping: Principles and Applications. World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd. s.296

Liitteenä olevien taulukoiden lähdetiedot:

CustomPartNet 2010 [viitattu 29.03.2010].

Saatavissa: <http://www.custompartnet.com>

LIITTEET

	3D Printing	Inkjet Printing	Jetted Photopolymer	LOM
Materiaalin tyyppi	Jauhe	Nestemäinen	Nestemäinen	Kiinteä(arkki)
Materiaali vaihtoehdot	Ferriittiset metallit, kuten ruostumaton teräs ; Ei-ferriittiset metallit, kuten pronssi; Elastomeerit; Komposiittit; Keraamiset materiaalit	Termoplastiset muovit	Termoplastiset muovit; Elastomeerit	Termoplastiset muovit; Paperi; Komposiittit
Kappaleen maksimi koko	59.00 x 29.50 x 27.60 in.	12.00 x 6.00 x 6.00 in.	19.30 x 15.40 x 7.90 in.	32.00 x 22.00 x 20.00 in.
Toleranssi/tarkkuus	0.0040 in.	0.0010 in.	0.00010 in.	0.0040 in.
Kerroksen vähimmäispaksuus	0.0020 in.	0.0005 in.	0.0006 in.	0.0020 in.
Pinnan viimeistely	Karkea	Hyvin sileä	Sileä	Karkea
Laitteen nopeus	Erittäin nopea	Hidas	Nopea	Nopea
Käyttökohteet	Konseptimallit; Rajallinen toiminnallisuustestaus; Arkkitehtuurijä maisemamallit; Värikkömallit; Kulutustavarat	Form/Fit-testaus; Hyvin yksityiskohtaiset mallit; RT; Koruteollisuus; Lääketieteelliset laitteet	Form/Fit-testaus; Hyvin yksityiskohtaiset mallit; RT; Esittelymallit; Koruteollisuus	Form/Fit-testaus; Vähemmän yksityiskohtaiset mallit; RT

	SLA	FDM	SLS	DMLS
Materiaalin tyyppi	Nestemäinen	Kiinteä	Jauhe (polymeeri)	Jauhe (metalli)
Materiaali vaihtoehdot	Termoplastiset muovit	Termoplastiset muovit; Elastomeerit	Termoplastiset muovit; Elastomeerit; Komposiittit	Ferrittiset metallit, kuten ruostumaton teräs; Ei-ferrittiset metallit, kuten alumiini
Kappaleen maksimi koko	59.00 x 29.50 x 19.70 in	36.00 x 24.00 x 36.00 in.	22.00 x 22.00 x 30.00 in.	10.00 x 10.00 x 8.70 in.
Toleranssi/tarkkuus	0.0050 in.	0.0050 in.	0.0040 in.	0.0010 in.
Kerroksen vähimmäispaksuus	0.0010 in.	0.0050 in.	0.0100 in.	0.0100 in
Pinnan viimeistely	Sileä	Karkea	Keskinkertainen	Keskinkertainen
Laitteen nopeus	Kohtalainen	Hidas	Nopea	Nopea
Käyttökohteet	Form/Fit-testaus; Toiminnallisuustestaus; RT; "Snap-fit"-liitokset; Hyvin yksityiskohtaiset osat; Esittelymallit; Käyttökohteet joissa osa altistuu kovalle kuumuudelle	Form/Fit-testaus; Toiminnallisuustestaus; RT; Pienet yksityiskohtaiset mallit; Esittelymallit; Sairaalaympäristön tarvikkeet; käyttökohteet joissa osa altistuu kovalle kuumuudelle	Form/Fit-testaus; Toiminnallisuustestaus; RT; Osat joissa on "Snap-fit"-liitoksia ja toimivia saranoita; Vähemmän yksityiskohtaiset osat; Käyttökohteet joissa osa altistuu kovalle kuumuudelle	Form/Fit-testaus; Toiminnallisuustestaus; RT; Käyttökohteet joissa osa altistuu kovalle kuumuudelle; Lääketieteelliset implantit; Ilmailualan sovellukset





