

Additive manufacturing

En överblick över additiv tillverkning

Markus Pohjola

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Informations- och medieteknik
Identifikationsnummer:	4182
Författare:	Markus Pohjola
Arbetets namn:	Additive Manufacturing
Handledare (Arcada):	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	-
<p>Sammandrag:</p> <p>Arbetet är en forskning över området additiv tillverkning och går ut på att undersöka hur olika tekniker, som FDM, SLA, SLS, DMLS, LOM, EBM och 3DP fungerar. Forskningsmetoden som använts är litteraturstudier och forskningen är begränsad till teknikerna och hur en CAD-ritning konverteras för printing. Det tas inte upp hur man gör en CAD-modell. I forskningen utreds vad teknikernas bra och dåliga sidor är och till vad de är bra att användas för. Syftet med arbetet är att undersöka i hurdant tillstånd additiv tillverkning teknologin ligger och vad man kan göra med den, samt hur framtiden kommer att se ut för teknologin. I arbetet förklaras vad som krävs av en designer för att kunna printa delar och hur man skall göra sina CAD-ritningar färdiga för en printer och med vilka verktyg man kan granska att filen är ordentligt uppbyggd och inte har några avvikelser från ursprungliga CAD-ritningen. Det utreds hur en STL-fil ser ut och hur den bygger upp ett tredimensionellt objekt. Hur objektet splittras in i trianglar och skivas till tunna skivor för att lagervis bli uppbyggd av en printer. I arbetet utreds även vad som gör additiv tillverkning bättre än traditionella tillverkningssätt. De mest märkbara nyttorna är kosteffektiviteten och snabbheten av teknikerna, samt möjligheten att skraddarsy produkter. Arbetet tar kort upp hur framtiden förväntas se ut för teknologin och med vilka sätt man kan utveckla teknikerna och användningsområdena. De viktigaste för tillfället är att utveckla allt flera material som lämpar sig till nya användningsområden.</p>	
Nyckelord:	3D-printing, Additiv tillverkning, CAD, STL, Friformning
Sidantal:	58
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Information and Media Technology
Identification number:	4182
Author:	Markus Pohjola
Title:	Additive Manufacturing
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström
Commissioned by:	-
<p>Abstract:</p> <p>The work is a research of additive manufacturing and aims to investigate how different techniques work, like FDM, SLA, SLS, DMLS, LOM, EBM and 3DP. The research is a literature based study and is limited to the research of techniques and how a CAD drawing is converted for printing. It will not be about how to make a CAD model. The research investigated what techniques good and bad points are and what you can use them for. The purpose of this work is to investigate in what kind of state additive manufacturing technology is, what you can do with it, and how the future will look like for the technology. This work explains what is required of a designer to be able to print parts and how to make their CAD drawings ready for a printer and with what tools one can check that the file is properly structured and does not have any deviations from the original CAD drawing. The research explains how an STL file looks like and how it builds up a three-dimensional object. The object is broken into triangles and sliced into thin slices to be built layer by layer with a printer. The work also investigated what makes additive manufacturing better than traditional production methods. The most noticeable new threads are cost efficiency and speed of the techniques, and the ability to customize products. The work tries to reveal what the future is expected to look like for the technology and the ways in which we can develop the technology for new uses. The key for now is to develop more and more materials suitable for new applications.</p>	
Keywords:	3D-printing, Additive manufacturing, STL, CAD, Rapid prototyping, Rapid tooling
Number of pages:	58
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Informaatio- ja mediatekniikka
Tunnistenumero:	4182
Tekijä:	Markus Pohjola
Työn nimi:	Additive Manufacturing
Työn ohjaaja (Arcada):	Johnny Biström
Toimeksiantaja:	-
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tutkielma keskittyy 3D-tulostuksen aihealueeseen ja selvittää miten eri tekniikat, kuten FDM, SLA, SLS, DMLS, LOM, EBM ja 3DP toimivat. Tutkimusmenetelmä jota on käytetty on kirjallisuustutkimus ja työ on rajattu tulostustekniikoihin sekä CAD-mallinnuksen konvertoimiseen tulostus valmiiksi. CAD-mallin valmistus on rajattu työstä. Tutkielmassa otetaan kantaa tekniikoiden hyviin ja huonoihin puoliin sekä selvitetään mihin 3D-tulostusta voi käyttää. Tutkielman tarkoitus on selvittää missä tilassa 3D-tulostus nykypäivänä on, mitä sillä voi tehdä sekä miltä tulevaisuus näyttää. Työssä käydään läpi mitä 3D-tulostus vaatii suunnittelijalta sekä miten CAD-piirustukset konvertoidaan printtereille sopiviksi sekä millä työkaluilla varmistetaan että tiedosto on tehty oikein eikä sisällä poikkeamia alkuperäisestä tiedostosta. Selvitetään myös miltä STL-tiedosto näyttää sekä miten sillä rakennetaan kolmiulotteinen malli, miten malli jaetaan kolmioon ja miten malli halkaistaan ohuisiin viipaleisiin ja tulostetaan kerroksittain valmiiksi malliksi. Tutkielmassa syvennytään myös siihen miksi 3D-tulostus on parempi valmistusmuoto kuin perinteiset valmistusmenetelmät. Suurimmat syyt löytyvät 3D-tulostuksen tuottoisuuteen, nopeuteen sekä mahdollisuus mittatilaustöihin. Tutkielma ottaa lyhyesti kantaa teknologian tulevaisuuteen sekä tapoihin miten sitä ja sen käyttötarkoituksia voi kehittää. Tärkein tällä hetkellä on materiaalien kehitys jotta saadaan uusia alueita mihin 3D-tulostusta voi käyttää.</p>	
Avainsanat:	3D-tulostus, STL, CAD, Kolmiulotteinen tulostus
Sivumäärä:	58
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

INNEHÅLL

1	Inledning.....	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte och mål.....	9
1.3	Avgränsning.....	10
1.4	Förkortningar	10
2	Additiv Tillverkning	11
2.1	Definition.....	11
2.2	Allmänt.....	11
2.3	Tekniker	12
2.3.1	<i>FDM (Fused Deposition Method)</i>	12
2.3.2	<i>MJM (Multijet Modeling)</i>	14
2.3.3	<i>SLA (Stereolitografi)</i>	15
2.3.4	<i>SLS (Selective Laser Sintering)</i>	17
2.3.5	<i>DMLS (Direct Metal Laser Sintering)</i>	19
2.3.6	<i>EBM (Electron beam melting)</i>	20
2.3.7	<i>LOM (Laminated Object Manufacturing System)</i>	21
2.3.8	<i>3DP (Three Dimensional Printing)</i>	22
2.4	Friformsmaskiner.....	25
2.4.1	<i>Tekniska friformsmaskiner</i>	25
2.4.2	<i>3D-kontorsprintrar</i>	26
2.4.3	<i>Rapid Tooling-maskiner</i>	26
2.5	Material	26
2.5.1	<i>3D Systems</i>	27
2.5.2	<i>Objet</i>	27
2.5.3	<i>Stratasys</i>	29
2.5.4	<i>Z Corporation</i>	30
3	Geometrisk filöverflyttning	31
3.1	IGES	31
3.2	ACIS SAT	32
3.3	STL-format.....	32
3.3.1	<i>ASCII</i>	35
3.3.2	<i>Binär</i>	36
3.4	En bra STL-fil.....	38
3.5	Avvikelser i STL-filer.....	39
4	Användning och nytta med friformning	43

4.1	Nyttan av friformning	43
4.1.1	<i>Tid</i>	44
4.1.2	<i>Kostnad</i>	44
4.2	Användningsområden	45
5	Tankar	49
Källor	51

Figurer

Figur 1. FDM teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008a.....	14
Figur 2. MJM teknikens princip. Källa: turkadcam, 2013	15
Figur 3. SLA teknikens princip. Källa: MEDeFFF	17
Figur 4. SLS teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008b.....	18
Figur 5. DMLS teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008e.....	20
Figur 6. EBM teknikens princip. Källa: EBM.....	21
Figur 7. LOM teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008c.....	22
Figur 8. 3DP teknikens princip med bläckskrivarehuvud som binder pulvret. Källa: custompartnet, 2008d	24
Figur 9. 3DP teknikens princip med ultraviolet lampa och fotopolymer vätskor. Källa: Objet Geometries, 2007	25
Figur 10. Ursprungliga modellen (a), triangulations resultatet av den (b) samt enskilda triangeln visningssätt (c). Källa: Laakko, Timo, 1998, sida 228.	33
Figur 11. Vertex-to-vertex regeln.....	34
Figur 12. Ursprunglig STL-nätverk. 252 trianglar, 128 knutpunkter. 30mm hög. Källa: E. Béchet, 2002.....	34
Figur 13. Förädlad, 2 302 trianglar, 1 153 knutpunkter. Källa: E. Béchet, 2002	35
Figur 14. För liten resolution. Källa: AlphaPrototypes	38
Figur 15. För hög resolution. Källa: AlphaPrototypes	39
Figur 16. Passlig resolution. Källa: AlphaPrototypes.....	39
Figur 17. Granskning av STL-fil med hjälp av VisCam View. Källa: Miettinen Juha-Matti, 2011, sid. 39.....	40
Figur 18. Modell flyttas från IronCad till Catalyst, vilket behandlar modellen och räknar ut stödstruktur för printing. Källa: Miettinen Juha-Matti, 2011, sid. 40	41
Figur 19. Additiv tillverkningsindustrier år 2008. Uppgifter från Wohlers, 2009, sid. 26.	47
Figur 20. Hur företag använde additiv tillverkning år 2008. Uppgifter från Wohlers, 2009, sid. 26.	47

Tabeller

Tabell 1. ASCII STL-filens syntax. Källa: Ennex Corporation, 1999	36
Tabell 2. Binär STL-fils syntax. Källa: Ennex Corporation, 1999.....	37
Tabell 3. Additiv tillverknings användningsområden (uppgifterna från C.K Chua, 2010)	46

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Ämnet additiv tillverkning är ett mycket aktuellt område och är därför ett mycket intressant ämne att dyka in i. För tillfället ser det ut som om tekniken skulle göra en liten revolution inom industrier. Det är heller inte bara frågan om ett visst industriområde utan man talar om en revolution inom alla tillverkningsområden. Just för tillfället håller additiv tillverkning på att bryta igenom för hemmabruk, vilket jag tycker är något mycket fascinerande. Inom några år kommer det att vara alldeles vanligt att man i sitt hem har en 3D printer och kan göra små verktyg och till exempel reservdelar.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att studera vad additiv tillverkning är och hur det fungerar. Jag kommer att studera vilka tekniker de finns inom detta tillverkningsområde och hur de fungerar. Det är också meningen att ta reda på hurdana material maskinerna använder och materialens egenskaper, för vilka användningsområden de fungerar och hurdana användningsområden det överhuvudtaget finns. Jag skall undersöka vad nyttan med additiv tillverkning är jämfört med andra tillverkningsmetoder och försöka komma fram med statistik om vilka användningar man har för tekniken. Jag skall också undersöka hur man gör modeller för printande och vad det kräver av en användare att bygga upp dem. De centrala forskningsfrågorna är:

- Vad är additiv tillverkning?
- Vilka tekniker finns det inom området additiv tillverkning?
- Hur printar man ut en modell från en CAD-ritning?
- Vad finns det för material tillgängligt?
- Vad är nyttan med additiv tillverkning?

Målsättningen med arbetet är att man skall förstå vad teknikerna bygger på och veta vad möjligheterna är vid användning av additiv tillverkning. Det är meningen att

genom läsning av arbetet skall man kunna göra egna modeller och välja vilken metod som är passlig för ens ändamål. Man skall kunna observera sina ritningar och hitta eventuella fel i både CAD-ritningen och STL-filen och reparera dessa.

1.3 Avgränsning

Jag kommer bara att förklara vad teknikerna baserar sig på och hur de fungerar men inte gå längre in i tekniken bakom dem. Arbetet kommer att kort förklara uppbyggnad av modeller men anser att man är bekant med CAD-ritning och fokuserar sig på kraven för att kunna printa modellerna. Arbetet kommer inte att gå igenom alla material som är på marknaden eftersom varje maskintillverkare har egna material och flera har samma särdrag. Jag kommer inte att gå igenom alla tekniker, utan endast de vanligaste. Flera likadana tekniker har samma idé men har olika namn på grund av patenter. Ingen ställningstagning kommer att ske mellan teknikerna.

1.4 Förkortningar

CAD – Computer-aided Design

CAM – Computer-aided Manufacturing

RP – Rapid Prototyping

AM – Additive Manufacturing

UV – Ultraviolet

3D – tredimensionell

ASTM - American Society for Testing and Materials

2 ADDITIV TILLVERKNING

2.1 Definition

Additive manufacturing (AM) är en benämning standardiserad av ASTM år 2009. Innehåller alla de olika tekniker som används för att tillverka prototyper och arbetsverktyg genom att addera material. Det gemensamma i teknikerna är att det konkreta objektet tillverkas automatiskt från en 3D CAD ritning utan att använda skärande bearbetningsmetoder eller annat manuellt arbete. Andra namn som ofta används för att beskriva teknikerna är: Rapid prototyping, 3D-printing och Additive fabrication. (Rämö Tommi, 2010 | Lohilahti Jarkko, 2011, sid. 10)

2.2 Allmänt

är ett relativt nytt sätt att tillverka saker med. Den första tekniken utvecklades i slutet av 1980-talet och det har utvecklats många tekniker inom området sedan dess. Teknologin skiljer sig från den traditionella tillverkningen på tillverkningssättet. Vanligtvis har man producerat genom att ta bort material, en s.k. subtraktiv metod medan man lägger till material.

Friformningsteknikerna har gemensamt sättet som maskinerna får informationen från en CAD-ritning. För att kunna använda en CAD-ritning i maskinerna krävs det att ritningen är konverterad till en STL-fil, vilket betyder att man bryter upp geometrin och representerar den med trianglar. Maskinen bryter upp den tredimensionella ritningen i tvärsnitt enligt XY-axlarna för att kunna bygga upp objektet lagervis. Tjockleken på tvärsnittet bestäms enskilt varje gång beroende på den önskade lagertjockleken. Skivornas kontur och ytorna inuti hårdnas eller byggs upp på andra sätt med olika tekniker. Objektet byggs alltså från skivor som är tvådimensionella och stakas på varandra för att bygga upp den önskade formen tredimensionellt.

Genom fri formning producerade plast- eller metallföremål går att användas som mallar för slutliga produkter, som fungerande mallar, en mall för att bygga ett verktyg, som gjut mall eller som den slutliga produkten. Traditionellt har fri formning använts i

produkt utvecklingen för att för snabba processen. Nuförtiden börjar teknologin överflyttas till att produkterna används som slutliga produkter eller komponenter till dem. (Lohilahti Jarkko, 2011, sid. 10 | Todd Grimm, 2004)

2.3 Tekniker

Friformnings tekniker finns det många olika av och de flesta maskintillverkarna har sina egna tekniker och gör maskinerna på sitt egna sätt. Det går att dela in teknikerna i fyra olika huvudklasser: från tillsättning av smält material, så som i FDM och MJM, vätskor som stelnas, så som i SLA, gips-, plast eller metallpulver som sintras, så som i SLS och DMLS och tekniker som klipper från skivor, så som LOM. (Wikipedia, 2013a)

Additiv tillverkning har ansetts ha allt för mycket olika termer för olika tekniker. Därför har ASTM med Terry Wohler som ordförande standardiserat terminologin till sju olika termer.

- Vat Photopolymerization
- Material Jetting
- Binder Jetting
- Material Extrusion
- Powder Bed Fusion
- Sheet Lamination
- Directed Energy Deposition

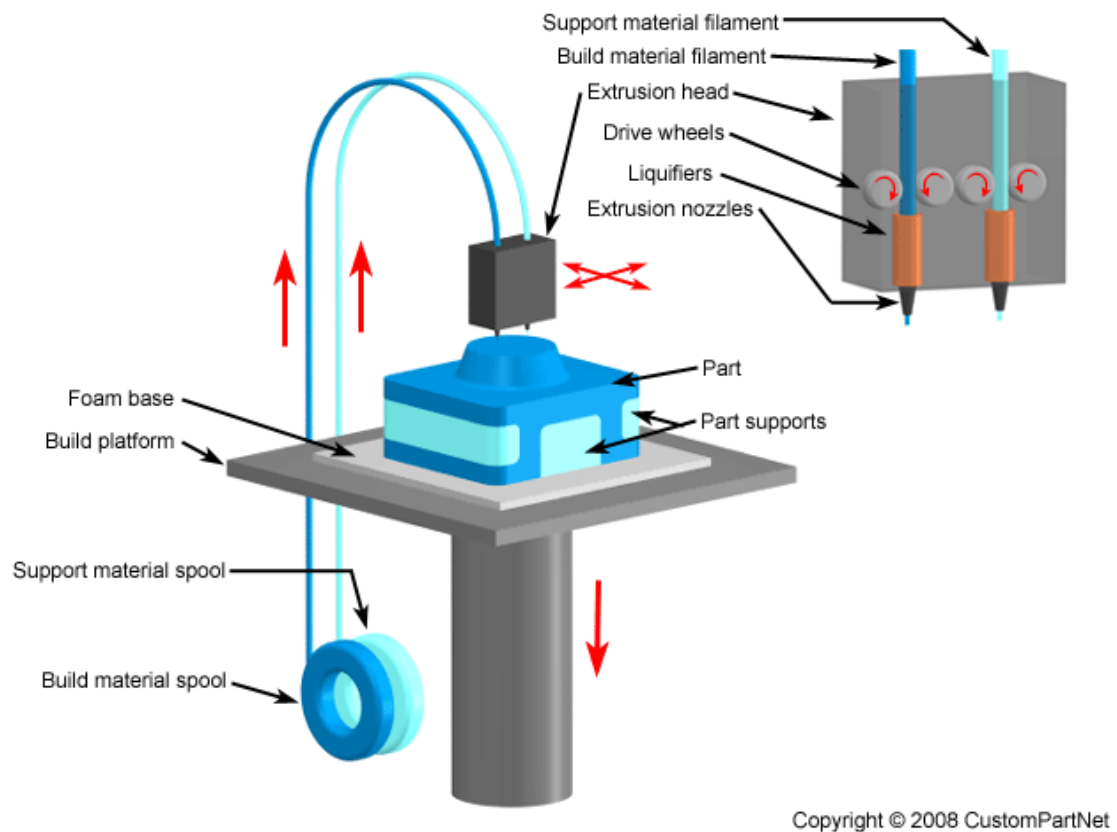
(John Newman, 2012)

2.3.1 FDM (Fused Deposition Method)

Fused Deposition Method är en teknik som är utvecklad av S. Scott Crump i slutet av 1980-talet. 1990 blev tekniken kommersialiserad för marknaden och är patenterad av Stratasys Inc. Tekniken kallas också fused filament fabrication (FFF) som inte är patentbundet och därför får användas av andra bolag. Man använder Fused Deposition Modeling huvudsakligen till att producera modeller, prototyper och produktions användningar.

FDM är en additiv produktions teknik som baserar sig på extrudering av material genom ett munstycke till en plattform. Man lägger ner lager på lager på en nerkyld plattform och bygger på detta vis upp produkten. Lagren kan ha en tjocklek på ända ner till 0,04 mm vilket gör tekniken mycket exakt. Maskinen har en spole av materialet som skall användas. Detta material matas av två drivhjul till ett munstycke som kan stänga, öppna och reglera sig. Munstycket är upphettat för att smälta materialet, vilket sedan genast stelnar för plattformen är nerkyld. Tekniken stöder även användning av flera sorters material på samma gång. Munstycket styrs av ett CAM (Computer Aided Manufacturing) mjukvarusystem och kan röra sig både vertikalt och horisontalt. Ifall CAD modellen är ihållig kan stödkonstruktioner krävas för att slutprodukten inte skall falla ihop. Till detta använder man något annat material som är vattenlösligt t.ex. PVA (Polyvinyl alkohol) och kan sköljas bort med natriumhydroxid efter att produkten är färdig.

Tekniken stöder flera sorters material med olika för och nackdelar beroende på var man vill producera. Materialen har olika styrkor och temperaturegenskaper, samt olika densitet och porositet. FDM är ett system som kan producera delar gjorda av en stor variation av termoplastiska material. Huvudsakligen använder man ABS (Akrylnitril Butadien Styren), PPSF (Polyfenylsulfon), PC (Polykarbonat), PC-ABS och vaxer. Man har även producerat sterilt PPSF för att kunna använda FDM till medicinska användningsområden. Alla dessa plaster är mycket hållbara och de har en hög temperaturrestånd, de ger också en slät och exakt yta. (RPWorld, 2013a | Wikipedia, 2013b | Syrjäla, S, 1997, sid 35-38)



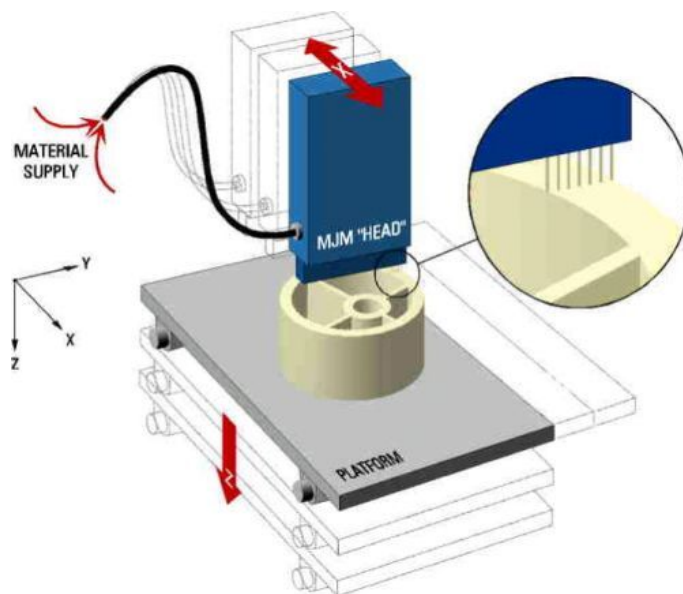
Figur 1. FDM teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008a

2.3.2 MJM (Multijet Modeling)

MultiJet-Modeling är en teknik som har ett stort printerhuvud vilket består av flera munstycken som applicerar materialet. Detta gör att istället för att ett munstycke måste gå över hela produktions arean så kan printern applicera ett helt lager med bara en överdragning. Tekniken är revolutionerande på grund av dennas snabbhet och den hastigheten är egentligen oberoende av storleken på delen som skall printas. Resolutionen på MultiJet printrarna är också höga vilket gör slutprodukterna mycket exakta och det gör att göra produkter som kräver hög precision.

Printerhuvudet matas med material som sedan hettas upp och sprutas ut på byggnadsplattan. På byggnadsplattan stelnar materialet genast och blir sedan UV-bestrålat så att materialet säkert torkar och stelnar.

Vid komplicerade modeller krävs en stöbyggnad. Denna görs i samband med byggprocessen genom att använda ett vax med mycket lägre smälttemperatur så att man efter att printandet är färdig kan smälta ut stödkonstruktionerna. Det är därför mycket lätt att göra komplexa och känsliga konstruktioner. Materialen som används i denna teknik är plaster av olika slag. Tekniken passar sig bra till en kontorsmiljö för den kräver mycket lite av användaren, dessutom är den liten, tyst och det kommer inga giftiga gaser vid användning. (G.W.P.AG, 2011 | eFunda, 2013 | Syrjäla, S, 1997, sid 49-50)



Figur 2. MJM teknikens princip. Källa: turkadcam, 2013

2.3.3 SLA (Stereolitografi)

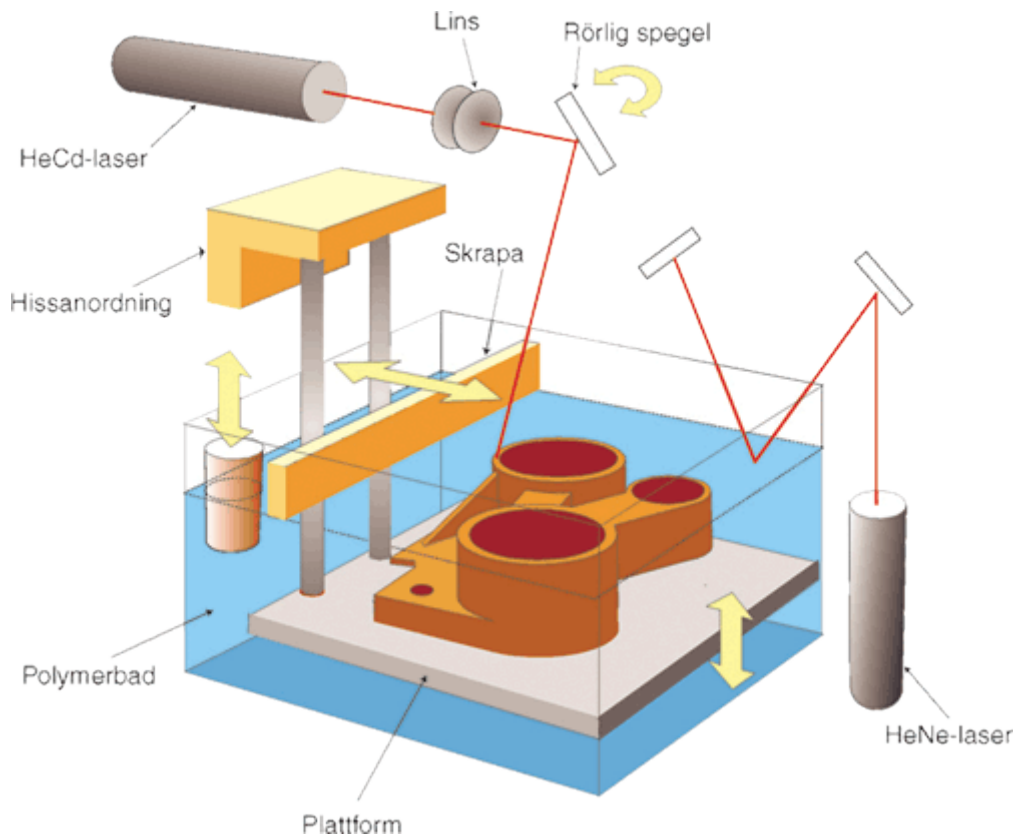
Stereolitografi är en additiv tillverkningsmetod utvecklad och patenterad av Charles W. Hull år 1986. Tekniken är den första kommersiella RP-tekniken och blev framförd av 3D Systems 1987. Tekniken baserar sig på att med ultraviolett laser härda en fotopolymer vätska genom fotokemisk reaktion. En fotopolymer vätska ändrar sina egenskaper då den är utsatt för ljus, som oftast är i den ultravioletta frekvensen.

Uppbyggandet av produkten går till genom att ha en vätskebassäng, med en hartsvätska i som är fotokemiskt reaktiv. I bassängen finns en plattform på en kolv som åker upp

och ned. Processen går till genom att laserstrålen går igenom formen enligt CAD instruktionerna den fått och gör ett mönster på byggplattformen. Efter detta sänks plattformen ner enligt tjockleken på lagren vilka typiskt är mellan 0,05 mm och 0,15 mm. När plattformen har sänkts sveper ett blad eller rulle över objektet för att bräda vätskan ut jämt. Sedan kör laserstrålen ett nytt varv över objektet och härdar den nya vätskan.

Efter att objektet är färdig uppbyggd måste man tvätta av överlopps hartser genom att lägga objektet i en kemisk lösning. Det krävs ännu användning av en UV-ugn för att härda objektet ordentligt eftersom en UV-stråle inte är tillräckligt stark för att ordentligt solidifiera objektet. All ohärdad vätska är giftigt och arbetsprocessen kräver ventilation. Denna teknik kräver att man använder stödkonstruktioner ifall konstruktionen har överhäng eller tunna delar så att de inte böjs av gravitationen eller trycket av bladet då det bräder ut det nya skiktet. Dessa stöd framställs automatiskt under preparationsprocessen av CAD modellen. Ifall det behövs kan man även manipulera dessa manuellt efteråt. Då produkten är färdig måste man manuellt avlägsna stöden vilket gör tekniken arbetsfyllt jämfört med andra tekniker.

Man använder denna teknik mest för modeller och prototyper på grund av att slutprodukten är ganska skör. Däremot är de ändå tillräckligt hårda och värmemotstående så att man kan använda dem som masterformer för sprutgjutning, thermoforming och andra metallgjutnings processer. Ytan är trappliknande och klibbig eftersom processen inte innehåller en malning, vilket skulle göra ytan jämn. Detta kan man dock åstadkomma med en sandpappning. Storleken på objekten är vanligtvis i storleksklassen $50 \times 50 \times 60 \text{ cm}^3$ för vanliga maskiner. Dock finns det maskiner som klarar av att bygga delar av längden 2 meter. (RPWorld, 2013b | Wikipedia, 2013c | Syrjäla, S, 1997, sid 24-27)



Figur 3. SLA teknikens princip. Källa: MEDeFFF

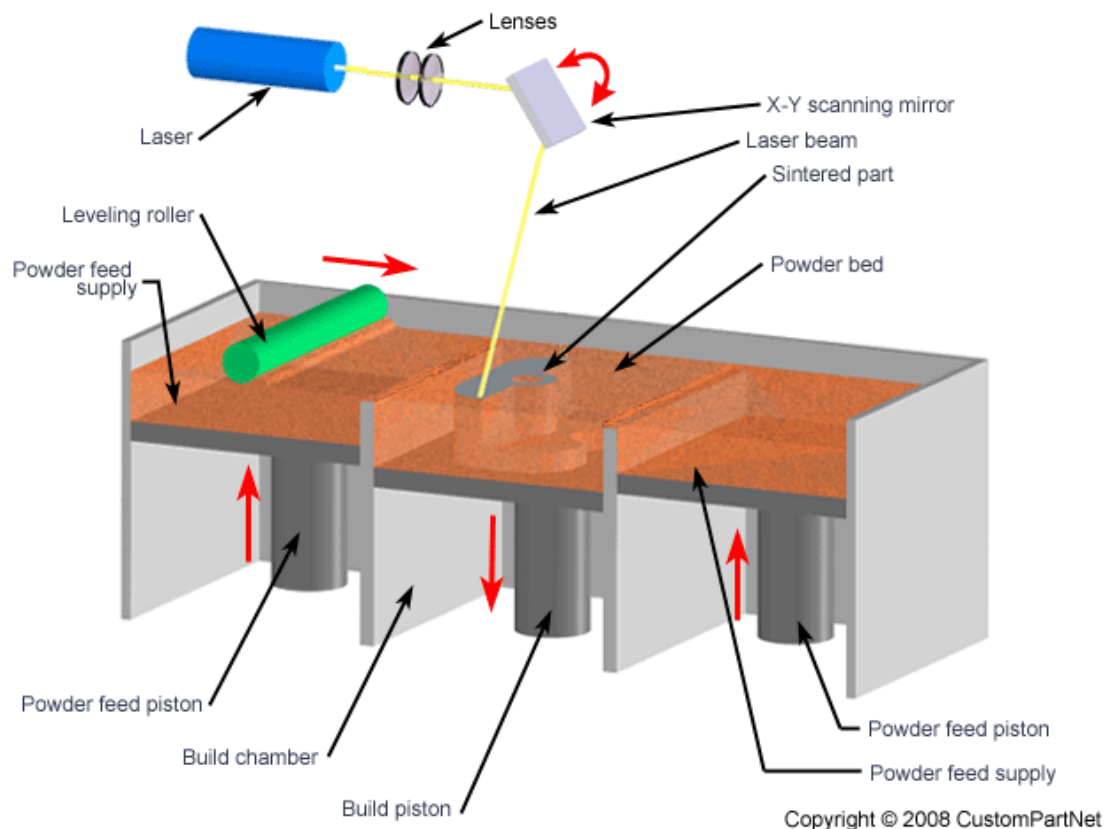
2.3.4 SLS (Selective Laser Sintering)

Selective Laser Sintering är en teknik utvecklad och patenterad av Dr. Carl Deckard år 1989. Tekniken bygger på en högstyrkeslaser som smälter ihop små partiklar av plast, keramer eller glass till en massa som representerar det önskade tredimensionella objektet.

Maskinen består av en pulverbädd med valbart material och en byggplattform i. Laserstrålen sveper över pulverbädden med smälterpulvret så att det stelnar till önskad form. Efter detta sänks byggplattformen eller höjs pulvernivån, varefter en rulle bräder ut ett nytt lager med pulver jämt över objektet och processen genomförs tills man får en färdig produkt. Det överloppspulver som blir på objektet är lätt att borsta eller blåsa bort.

Jämfört med andra tekniker av additiv fabrikation kan SLS producera delar av ett brett urval av kommersiella material. Beroende på materialet blir slutprodukten porös vilket oftast är oönskat. Detta går dock att reglera genom materialval och det går att åstadkomma 100% densitet. Ifall materialet är poröst går det även att använda en fogmassa för att fylla upp porositeten. SLS tekniken är i stor användning i världen för den möjliggör ett enkelt sätt att producera komplexa strukturer direkt från CAD data. Tekniken används i hög grad för att göra begränsade upplagor av slutanvändares inriktade produkter.

Olika andra additiva tillverkningsprocesser som SLA och FDM kräver SLS inte stödkonstruktioner eftersom hela arbetsområdet ligger i en pulverbädd av osintrat material som stöder objektet. Det är ofta möjligt att producera flera delar samtidigt i pulverbädden vilket tillåter en mycket hög produktionsgrad. (RPWorld, 2013c | Wikipedia, 2013d Syrjäla, S, 1997, sid 28-30)



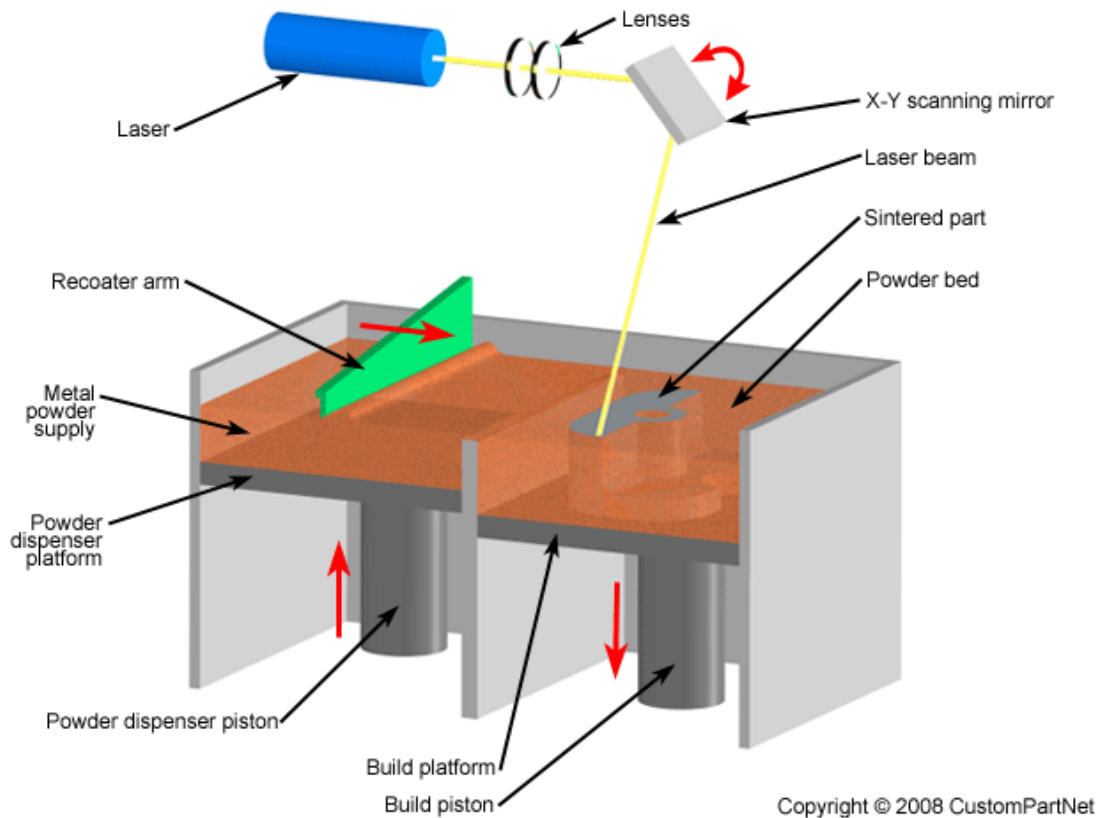
Figur 4. SLS teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008b

2.3.5 DMLS (Direct Metal Laser Sintering)

DMLS är en additiv tillverkningsmetod som använder en laser för att smälta ett metallpulver direkt till en fast kropp utan att behöva någon efterbehandling. Tekniken fungerar med samma princip som SLS och har både en pulverbädd och arbetsplattform. Dessa ligger på två kolvar som rör sig i vertikal riktning. En 200W Yb-fiberlaser fungerar som smältare och smälter pulvret till rätt form enligt CAD instruktionerna. Sedan sänks arbetsplattformen lägre och ett blad bräder ut nytt pulver jämt över ytan tills produkten är färdig.

Slutprodukten är mycket exakt och dennes materialegenskaper är mycket lika en produkt som producerats med traditionella tekniker. Ett stort plus med tekniken är att du kan göra komplexa former både inom objektet och ytan av det vilket är svårt eller omöjligt med gamla tekniker. Fast objektet stöds av en pulverbädd är det ibland nödvändigt att stöda konstruktionen under tillverkningsfasen.

Som material kan denna teknik i princip använda vilken som helst metallegering i pulverform. Man använder tekniken för att göra prototyper, former för gjutarbeten samt för till färdiga delar. Den vanliga storleken som går att tillverka är 250x250x200 mm³. (3T RPD, 2013 | Wikipedia, 2013e | Syrjälä, S, 1997, sid. 33-34)



Figur 5. DMLS teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008e

2.3.6 EBM (Electron beam melting)

EBM är en teknik som har en liknande tillverkningsprocess som SLS och DMLS.

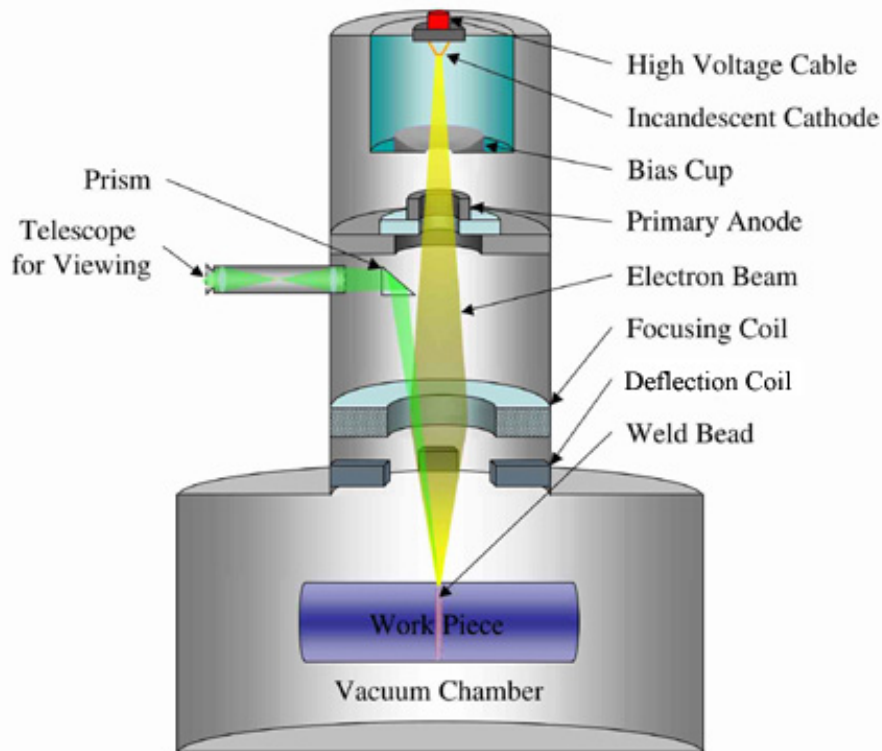
Tekniken är utvecklad av det svenska bolaget Arcam. Den fungerar med ett pulvermaterial och en elektronstråle som smälter pulvret till önskad form.

Tillverkningen med EBM tekniken sker i vakuum vilket gör att tekniken passar bra för reaktiva material som titan vilka kräver högt behov av syre.

Materialen som används är rena legeringar i pulverform. Detta är orsaken till att elektronstrålstekniken inte behöver någon extra termisk behandling för att uppnå de fulla mekaniska egenskaperna av delarna som produceras.

EBM är i allmänhet en snabbare version än SLS och DMLS på grund av dennas högre energi och skanningsmetod. Tillverkningen sker i en hög temperatur, omkring 700-1000 °C.

På grund av möjligheten att producera delar av titan användes denna teknik mycket inom medicinska området. Ett annat område är inom flygindustrin som kräver hög prestanda på sina delar. (Arcam AB, 2013 | Wikipedia, 2013f)

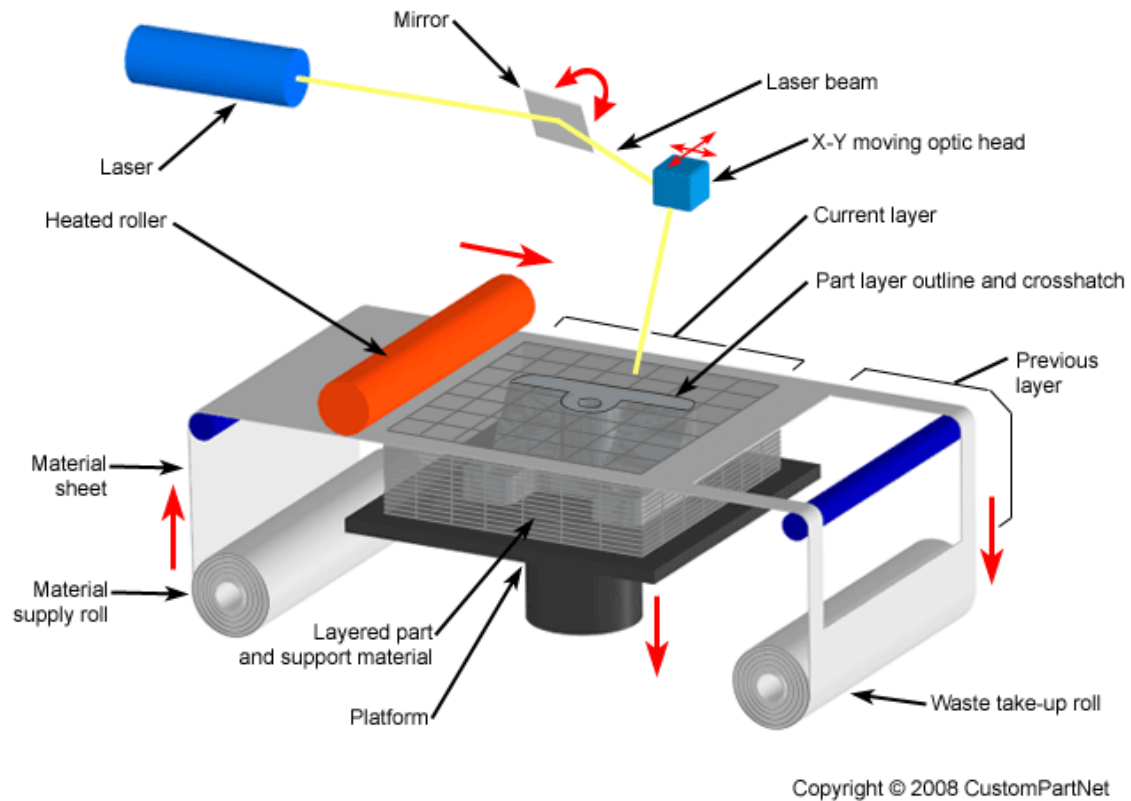


Figur 6. EBM teknikens princip. Källa: EBM

2.3.7 LOM (Laminated Object Manufacturing System)

LOM tekniken fungerar genom att limma tunna hinnor på varandra och skära formen med en laser varefter man limmar nästa lager. Materialen som används i denna tillverkning är PVC-plaster, papper eller komposit. För att limma lagren ihop i varandra används oftast polyeten som man färdigt har behandla hinnornas yta med. Limningen sker genom att använda värme och kompression, som framkallas av en het cylinder som rullas över. Lasern klipper sedan objektet till sin rätta form. Processen framskrider lagervis tills objektet är färdigt. Det färdiga objektet stöds under processen genom att ligga inne i överloppsmaterialet. Produkten måste ofta förstärkas genom att använda harts och slutprodukten måste sandpappas. Tekniken passar bäst till för att göra stora

delar som är till för att vara gjutmallar. Att göra små detaljer är omöjligt med denna teknik. (RPWorld, 2013d | Wikipedia, 2013g | Syrjälä, S, 1997, sid. 38-41)



Figur 7. LOM teknikens princip. Källa: custompartnet, 2008c

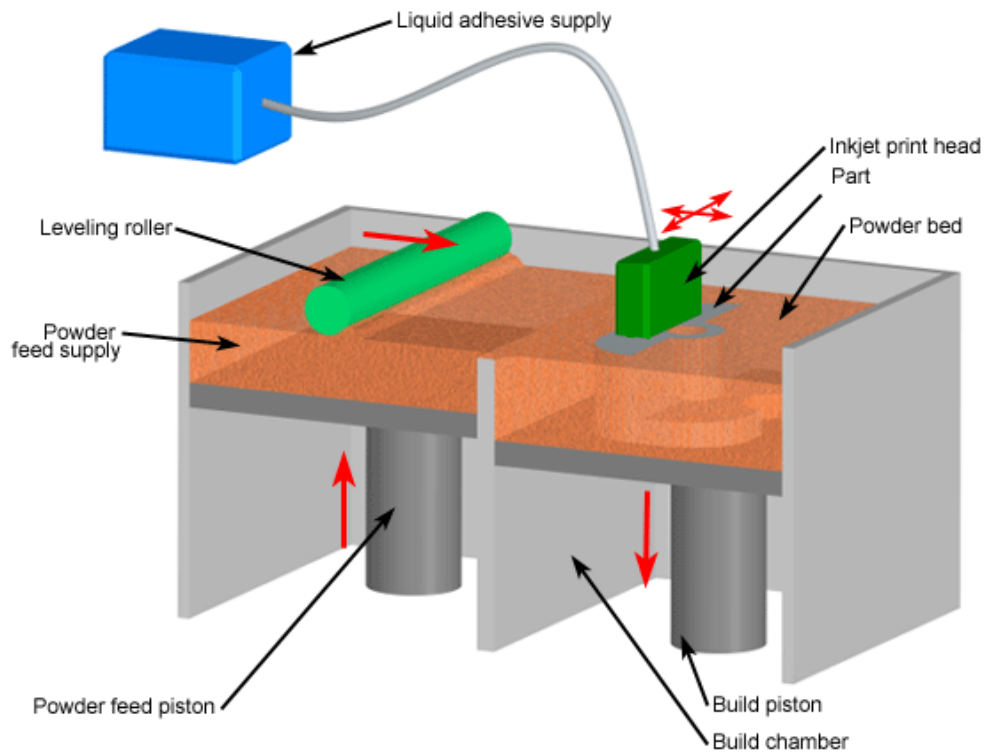
2.3.8 3DP (Three Dimensional Printing)

3DP är en form av additiv tillverkningsteknologi med vilken tredimensionella objekt är skapade genom att konsekutivt lägga lager av material. 3D printrar anses i allmänhet vara snabbare, billigare och lättare att använda jämfört med andra additiva tillverkningsteknologier. 3D Printing ger en möjlighet för tillverkare att använda material som har olika mekaniska och fysiska egenskaper i en och samma tillverkningsprocess. På senaste tiden har 3D printrar blivit mycket billigare och är ny finansiellt tillgängliga för små och medelstora företag, vilket har gjort att man på ett kontor kan tillverka prototyper istället för att producera dem i en fabrik.

Det finns flera tekniker som klassas under 3DP, varav en består av ett bläckskrivare system. Tekniken fungerar på att lager av fint pulver, så som gips, stärkelsor eller harts selektivt binds genom printande av ett klister från bläckskrivarens printerkuvud enligt CAD ritningen. Vid behov kan objektet förstärkas med en vax yta eller en polymerimpregnation. Denna teknologi kan printa objekt i full färg. Alternativt kan en 3DP teknik fungera genom att matas med vätskor så som fotopolymerer genom det bläckskrivare liknande printerkuvudet för att bilda lager av modellen. Denna teknik använder en ultraviolett lampa i printerkuvudet för att stelna varje lager efter att det har lagts.

En tredje teknik är 3D mikrotillverknings tekniken som använder 2-foton fotopolymerisation med vilken man kan göra otroligt små särdrag. Tekniken fungerar genom att spåra den önskade formen ut i ett block av gel med en fokuserad laser. Gelen stelnar vid ställena som lasern fokuserats på och till slut tvättas den överlopps gelen bort. Det är möjligt att göra detaljer med en storlek på 100 nm, samt tillverkning av komplexa strukturer med rörande delar och ihop hängande delar.

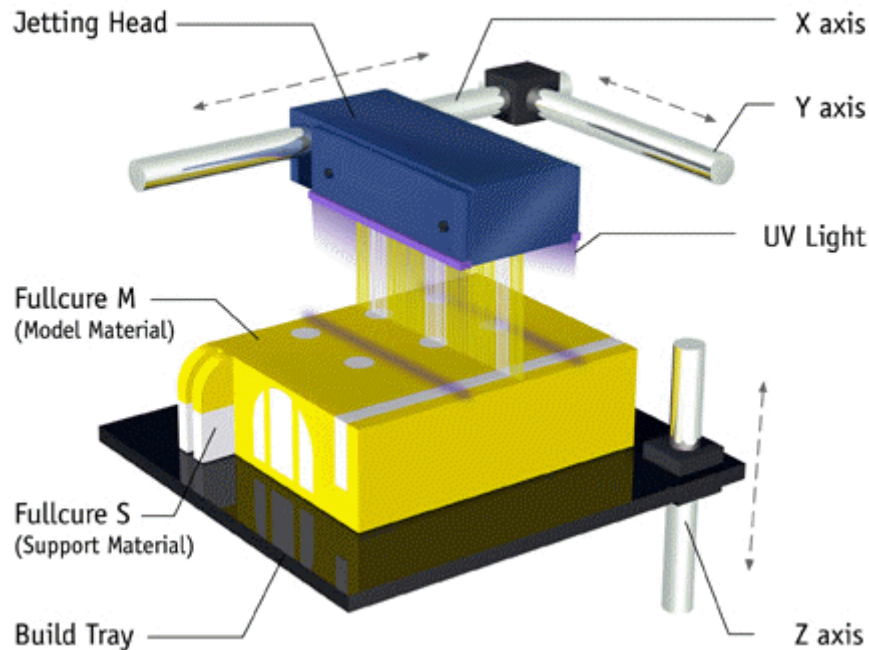
3D Printing är optimerat för hastighet, låga kostnader och enkelhet av tillverkning, vilket gör det lämpligt för visualisering av produkten i koncept steget av produktioner. (RPWorld, 2013e)



Copyright © 2008 CustomPartNet

Figur 8. 3DP teknikens princip med bläckskrivarhuvud som binder pulvret. Källa: custompartnet, 2008d

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 2007 Objet Geometries Ltd.



Figur 9. 3DP teknikens princip med ultraviolett lampa och fotopolymer vätskor. Källa: Objet Geometries, 2007

2.4 Friformsmaskiner

Det finns många friformningstekniker och ännu mera maskiner. Huvudsakligen kan man ändå gruppera maskinerna i tre olika kategorier:

- Tekniska friformsmaskiner
- 3D-kontorsprintrar
- Rapid tooling-maskiner

(Taideteollinen korkeakoulu, 2013)

2.4.1 Tekniska friformsmaskiner

Tekniska friformsmaskiner är gjorda för industrins behov av prototypfriformning. Den typiska lagertjockleken är 0,1 mm. Det finns många olika tekniker varav en del passar sig till t.ex. smyckesindustrins krav på noggrannhet. Extrudering är en av de vanliga

teknikerna som användes, ofta för gjutindustrin som använder stora former.
(Taideteollinen korkeakoulu, 2013)

2.4.2 3D-kontorsprintrar

3D-kontorsprintrar är maskiner som passar sig för en kontorsmiljö. De är användarvänliga, ogiftiga och dammfria maskiner. De anses användarvänliga för de möjliggör att designern gör sin ritning på datorn och kan sedan själv printa ut det tredimensionella objektet. I prisklass är dessa också på väg till så lågt att anskaffning av en inte är någon stor insats. En Makerbot är redan möjligt att få för ett pris på ungefär 1 000 euro. Noggrannheten och produkternas hållbarhet är dock inte så bra. Maskinerna använder tekniker som FDM och MJM. (Taideteollinen korkeakoulu, 2013)

2.4.3 Rapid Tooling-maskiner

Rapid tooling-maskiner är oftast nästan likadana maskiner som de tekniska friformsmaskinerna. Med Rapid tooling-maskiner gör man verktyg med vilka man sedan gör prototyper genom användning av de slutgiltiga materialen och tillverkningsmetoderna, som extrudering. (Taideteollinen korkeakoulu, 2013)

2.5 Material

Det finns hundratals material tillgängliga inom additive manufacturing branschen. De alla har egna egenskaper och erbjuder därför olika möjligheter till användaren för den önskade formen, lämpligheten och funktionella behov. Varje maskintillverkare har för det mesta helt egna material som passar bäst för sina egna maskiner. Det finns goda tekniska orsaker för att varje tillverkare har just sina egna material. Det tryggar att de tillverkade delarna har rätta egenskaper som tillverkaren har lovat. Ifall man använder material som inte specifikt är gjorda för maskinen får man inte nödvändigtvis exakt de egenskaper som har varit önskade, fast de oftast ändå är nästan likadana. (Make Parts Fast, 2011)

2.5.1 3D Systems

3D System erbjuder ett brett urval av material, som huvudsakligen går under namnet VisiJet. Deras V-Flash Desktop Printer använder dock ett material som går under namnet FTI-GN. Materialet erbjuder delar som är hårda plastiska med en slät och detaljrik yta. Det plastliknande materialet är tillräckligt hållbart och robust för funktionella tester och slutanvändares delar. Det är möjligt att sanda, borra, maskinbearbeta, måla och bepansra med metall.

- VisiJet® EX200 och MX är plastiska material som passar för tester av funktionella tillämpningar. Delarna ser och känns som ett riktig plast.
- VisiJet® SR200 är plastiskt material som finns i vitt, blått och grått för vanliga modeller. Används vanligtvis för att göra gjutformar.
- VisiJet® HR200 är plastiskt material som passar för tillämpningar av micro-gjutning och kustomiserade metallgjutningar, som medicinsk utrustning.
- VisiJet® CP200 Wax är ett vax material som används för lost-wax gjuttekniker.
- VisiJet® CPX200 Wax är et vax material för lost-wax gjuttekniker för detaljerade objekt för områden som smycken, mikro-medicinska och elektroniska delar.
- VisiJet® DP200 Dental Wax-up är ett material speciellt utarbetat för tandprotes modeller för att tillverka släta kronor och andra tandvårds relaterade restorationer.
- VisiJet® MP200 Dental Model är ett material som passar för att producera tandmodeller direkt från digital data.

(Make Parts Fast, 2011)

2.5.2 Objekt

Objekt har ett materialurval på över 60 material, inklusive 51 digitala material. Objets material simulerar egenskaper från olika grader av gummi ända till fullt transparent glas och plast som kombinerar hög seghet och högt temperatur motstånd. Deras material passar för både visuella och verifieringskrav av många tillämpningar.

Genom skyddad, akryl-baserad fotopolymer teknologi går det att med materialen producera fullt stelnade modeller som kan användas genast efter produktion. Delarna har släta ytor och klarar av detaljer. Materialen kan absorbera färg och klarar av maskinbearbetning, borrar, chromering, limning och användning som former.

Stödmaterial som används möjliggör designar av delar med obegränsat komplexa geometrier, inklusive överhäng. Utan hårda kanter som behöver skrapas eller kemiska bad, det gel-liknande stödmaterialiet är lätt rengjort med hjälp av en vattenspruta.

- Digitala Material, som fungerar med Connex™ 3D Printings systemet. Med 14 olika material kan du koppla ihop 51 olika blandningar. Dessa ger olika karakteristiska drag. Digitala material är sammansatta material bildade genom att spruta två Objet material samtidigt, då materialen kombineras med specifika koncentrationer för att nå de önskade egenskaperna i produkten. Det är möjligt att nå material som vanliga plaster, med olika temperatur resistanser, gummi och elastomer produkter, genomskinliga material osv.
- FullCure 720™ är Objets originella genomskinliga plast för många ändamål.
- VeroClear™ är ett stelt och färglöst material med dimensionell stabilitet för vanliga användningsändamål. Vero materialfamiljen innehåller också WhitePlus, Gray, Blue och Black. Denna materialfamilj har egenskaper som simulerar och liknar den slutliga produkten.
- Objet Tango familjen erbjuder gummiliknande material som Objet TangoGray™, Objet TangoBlack™, Objet TangoPlus™ och Objet TangoBlackPlus™. De är material som har olika elastomeriska karaktärer
- Objet har även ABS-liknande material som framtas genom att blanda FullCure@515 och FullCure@535. Den är designad att simulera ABS plaster genom att kombinera hög temperaturresistans med seghet. Materialen fungerar bra för delar som kräver hög stöt resistans och hållbarhet.

(Make Parts Fast, 2011)

2.5.3 Stratasy

Stratasy är bolaget som har utvecklat FDM tekniken, som använder industriklassiga termoplaster i tillverkningen. Alla FDM material har mycket gemensamt, de är alla säkra att behandla utan extra skydd, är dimensionellt stabila och hållbara för fordrande applikationer. Det ursprungliga materialet var ABS (acrylonitrile butadiene styrene) men sedan dess har det utvecklats nio olika material varav två är tekniska termoplaster.

- ABSplus eller ABS-M30 i fiber form är dessa material identiska i sina mekaniska egenskaper. Den slutliga produkten har olika egenskaper, allting ligger i tillverkningsprocessen. ABSplus blir till hårda delar, men ABS-M30 är allmänt starkare i alla kategorier. Båda materialen går att få i vitt, svart, rött, blått, grönt, fluoriderande gult samt andra.
- ABS-M30i är ett material som uppfyller medicinska bestämmelser inklusive ISO 10993 och UPS Class VI för bio kompatibilitet vid användning av produkten i kontakt med skinn, mat eller medicin. Materialet kan steriliseras genom antingen gammastrålning eller ETA (etenoxid) metoder.
- ABSi är genomskinligt och fast det har bra mekaniska egenskaper så överträffar den sig i belysningsapplikationer så som bilbelysning. Materialet finns i färgerna rött, bärnstensfärg och naturell.
- PC, polykarbonat producerar exakta, stabila och mycket hållbara delar. Materialet har en hög temperaturrestans, vid 138° C, och har ett av de högsta draghållfastheten inom FDM material. Materialet är otroligt tufft och passar för funktionella tester, verktyg och produktion.
- PC-ABS är en blandning av polykarbonat och ABS och har båda materialens önskvärda egenskaper. Det har en av de bästa stötresistanserna, mekaniska egenskaper och temperaturrestans. Dessutom har den god flexibel styrka, utseende och ytattraktion.
- PC-ISO är ett annat biokompatibelt (ISO 10993 och USP Class IV) material, vilket är användbart för medicinsk, farmaceutisk och matpackningsindustrin. Materialet går att sterilisera genom gammastrålning eller etenoxid metoder. I förhållande till ABS-M30i har den bättre draghållfastheten, böjningsstyrka och temperaturdeflektion.

- ULTEM* 9085 (polyeterimid (PEI) harts) är en termoplastisk produkt av SABIC Innovative Plastics och materialet används i många flygplan och flygindustrin, för den möter många säkerhetskrav som rök-, låg- och giftighetsstandarder.
- PPSF/PPSU (polyfenylsulfon) är en höggradig termoplast för oerhört tuffa förhållanden och är har bästa temperaturreståndens (189° C) samt kemiska resistansen inom FDM materialen. PPSF är resistent mot olja, bränsle, kemikalier och syror. Materialet är sterilbart men på grund av dennas höga temperaturreståndens är det möjligt att använda metoder som ångautoklav, plasma, kemisk och strålnings sterilisation.

(Make Parts Fast, 2011)

2.5.4 Z Corporation

Z Corp printrar använder billiga gipspulver som vanligtvis ses i industriella användningar. Skillnaden mellan slutsatsen ligger i bindemedlet. Numera är Z Corporation uppköpt av 3D Systems.

- Vattenbindemedlet är för vanliga användningar såsom modeller.
- Z- Bond är för konceptmodeller
- Z-max epoxi är för funktionella prototyper och riktiga delar. Man har använt dessa delar i undervatten robotar, i skotestning och som funktionella bildelar.

ZPrintrar gör det möjligt att färglägga delarna genom vanlig printingsteknologi. Printrarna konverterar RGB färgerna till CMYK färgvärden och färgar objektet. Eftersom .STL-filer inte innehåller färgvärden måste man använda andra format som .3DS, .WRL, .FLU, .ZPR eller Z Corps Zedit™ Pro program, vilken låter än tillägga färg, texturer och märkningar till materialet. Printrarna färgar endast ytan av materialet.

(Make Parts Fast, 2011)

3 GEOMETRISK FILÖVERFLYTTNING

Den moderna produktutvecklingen fungerar fortfarande i många olika skeden och flera delområden vilka sker i olika planeringssystem. Modellering och verktygsdesign sker i CAD-system och informationen som krävs i verktygstillverkningen produceras i CAM-system. Detta kräver att systemen kan kommunicera med varandra och föra över data smidigt.

Mellan de olika systemen har genom samarbete av tillverkarna uppstått översättare som är systemberoende. Det behövs alltid två sorter av dessa: en läsande och en skrivande för varje system par. I teorin är det möjligt att välja systemen så att de kan läsa och skriva varandras format men detta binder användaren till vissa systemparametrar och begränsar ens möjligheter. Dataöverflyttningen är ändå inte fullt flytande speciellt då systemen blir uppdaterade.

Få av systemen läser och skriver dock varandras filformat vilket har lett till att man måste utveckla en geometriöverflyttningsspecifikation som inte är beroende av systemet för att kunna framföra den geometriska data. (Miettinen Juha-Matti, 2011)

3.1 IGES

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) var den första fastställande neutrala CAD-filöverflyttningsspecifikationen. IGES är nuförtiden nästan använd av varje systemleverantör och är den mest utbredda neutrala filöverflyttningsspecifikationen.

IGES definierar både fil- och språkformaten och produktdata framföring.

Produktdata innehåller en geometrisk, topologisk och en icke-geometrisk del.

Geometridelen definierar produktens geometrielement presentation. Topologidelen

definierar geometrielementens samband. Produktens geometri definieras med hjälp av

dessa två. Den icke-geometriska delen går att dela upp i tre delar: anmärkningar,

definitioner och ordningsdel. Till anmärkningar hör måtten, kommentarer, texter osv.

Definitionsdelen möjliggör specialegenskapers definiering till vissa element eller

elementgrupper. Ordningsdelen definierar geometri-, anmärknings- eller egenskapselementens gruppering.

IGES-filens storlek som förorsakas av strukturen gör processtiden lång och är ett praktiskt problem. IGES innehåller strukturellt strängt definierade filer, som 80 tecken långa rader och ASCII-text, av vilka det måste finnas en referens till varje element och dessutom register- och parametersektion som har dubbelriktade referenser. Med en referensstruktur som denna är en potentiell felorsakare vid översättning av filöverflyttningen. (Miettinen Juha-Matti, 2011 | Wikipedia, 2012a)

3.2 ACIS SAT

Spatial Technology Inc (STI) har utvecklat ACIS som är dagens snabbast spridande modelleringskärna. ACIS ger möjligheten till en öppen arkitektur för järntråd-, yt och volymmodeller med en gemensam och likformig datastruktur. Alla modellerare som använder ACIS-kärnan sparar sina filer i SAT-format. Med detta uppnår man en bra kompatibilitet mellan modelleringsprogrammen som använder ACIS. (Miettinen Juha-Matti, 2011 | Wikipedia, 2012b)

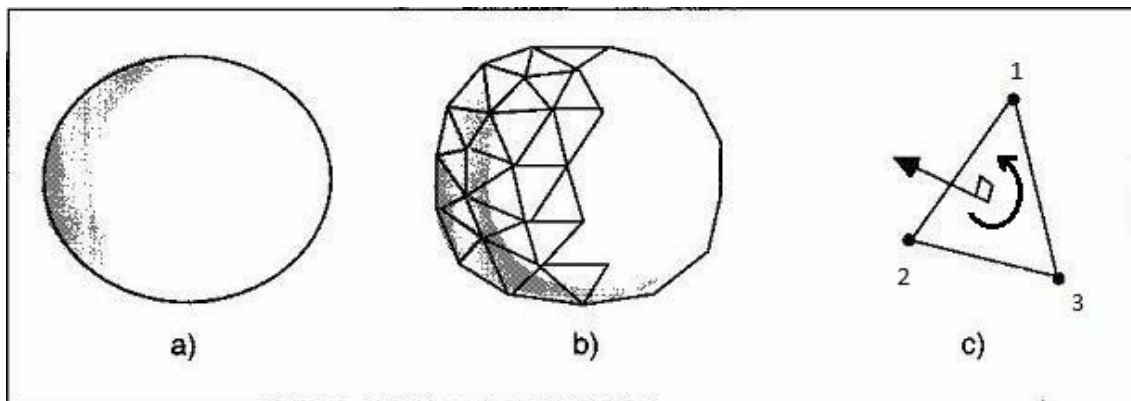
3.3 STL-format

STL-format (Stereolithography) utvecklades från första början till ett sätt att uppföra geometrin till friformsmaskiner. När friformningsteknikerna blev allmännare och en del av produktutvecklingsprocessen har allt flera systemleverantörer bifogat STL-stöd till sina system. På grund av sin enkelhet är STL ett säkert och pålitligt dataöverföringsformat och är därför i allmän användning i CAD- och CAM-dataöverföring.

STL-mallen blir till då man bildar ett triangelnätverk på 3D-modellen. Den trianglade modellen är en approximation av den riktiga modellen med en viss noggrannhet. Detta anses också som det största problemet med STL-formaten. Problemet ligger i att man

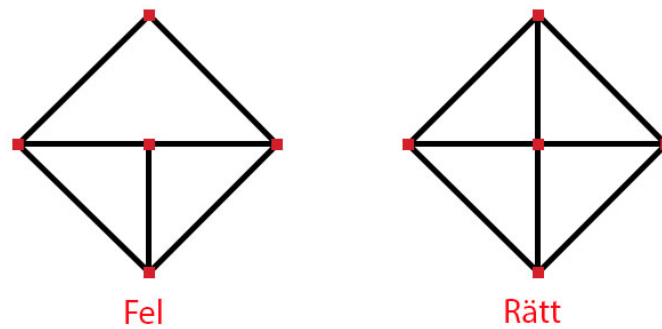
gör runda ytor med trianglar, vilket leder till att formen man får är bara en approximation av den riktiga formen för trianglar är alltid jämnyttade. Genom att minska på storleken av trianglarna är det möjligt att få en exaktare modell, men detta leder igen till att storleken på filen blir större. (Laakko Timo, 1998, sid. 259)

STL-filen är uppbyggd så att varje triangel har en ytnormal och tre knutpunkter i varje triangelhörn. Hörnen är numeriskt utmärkta i motsols ordning. En STL-malls maximala noggrannhet är ungefär $\pm 0,01$ mm och det är möjligt att få noggranna 3D-printningar med mycket små detaljer.



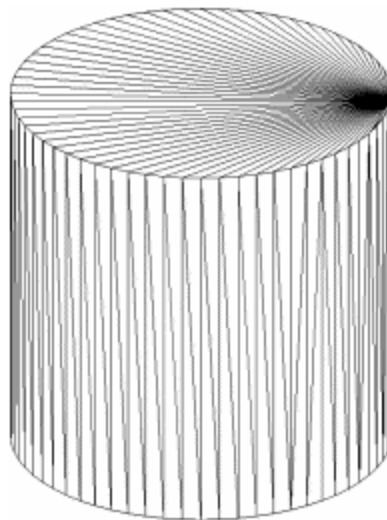
Figur 10. Ursprungliga modellen (a), triangulations resultatet av den (b) samt enskilda triangelns visningssätt (c). Källa: Laakko, Timo, 1998, sida 228.

För att vara ett genuint STL-format måste följande villkor uppfyllas: ytnormalen och varje triangelns spets måste vara definierad med tre koordinater, vilket gör att varje triangel har 12 siffrvärden. Varje triangel är en del av gränsen mellan inre och yttre delen av objektet. Triangelarnas riktning, alltså vilken sida som är inåt och vilken utåt, bestäms på två olika sätt och dessa måste vara konsekventa. Första regeln är att ytnormalen måste vara utåt. Andra regeln är att knutpunkterna är numrerade i motsolsordning när man tittar på objektet utifrån, detta kallas högerhandsregeln. Varje triangel måste dela två knutpunkter med varje triangel bredvid sig (vertex-to-vertex-regeln), som visualiserat i figur 11. Objektet måste ligga på den första oktetten, så att alla knutpunkters koordinater är positiva, för när man sedan beskär objektet till lager så byter alla siffror förtecken till positivt och skillnaden mellan de positiva och negativa värdena försvinner.



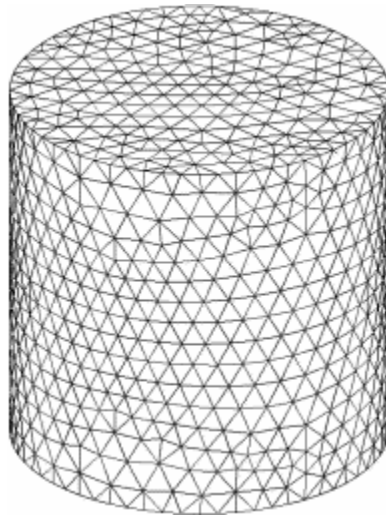
Figur 11. Vertex-to-vertex regeln

Det finns även program med vilka man kan förbättra på STL-filer. Ifall ytnormalen inte är definierad är det möjligt att lätt räkna ut den genom att använda knutpunkternas koordinater och högerhandsregeln. Knutpunkterna kan även ligga var som helst i oktanten.



Figur 12. Ursprunglig STL-nätverk. 252 trianglar, 128 knutpunkter. 30mm hög. Källa: E. Béchet, 2002

Facetterna kan även vara på ytorna mellan två objekt eller två delar av en och samma objekt. Detta gör ett förbättrat STL-format användbart för att modellera enskilda 3D-objekt.



Figur 13. Förädlad, 2 302 trianglar, 1 153 knutpunkter. Källa: E. Béchet, 2002

När modellen flyttas till printern, exporteras filen först till STL-format. STL-filen skivas i RP- maskinen till en viss tjockleks smala skivor. Till näst byggs produkten upp i lager med en tjocklek mellan 0,06-0,25 mm. På grund av detta blir ytan på objektet trappliknande och är det som mest inverkar på noggrannheten. Noggrannheten är dock tillräckligt hög för att duga till de flesta användningarna. För tillfället utvecklas metoder med vilka 3D-modellen skivas färdigt för printern, vilket skulle eliminera felaktigheten som uppstår vid uppbyggnaden till trianglar.

STL-standarden innehåller två filformat: ASCII och binär. Fast ASCII är mera specifik så är binär ändå vanligare. Orsaken till detta är att STL-filen blir mindre och är lättare att bryta upp och själva skivandet är snabbare. (Miettinen, Juha-Matti, 2011 | Daniel Rypl, 2005 | Ennex Corporation)

3.3.1 ASCII

ASCII (American Standard Code for Information Interchange) är en teckenkodning som använder sju bitar vilket ger plats för 128 olika tecken. Den innehåller huvudsakligen tecken för amerikanskengelska behov, vilket innebär bokstäver, siffror, mellanrum, specialmärken och vissa styrkoder. Nästan alla teckenkodningar som används nuförtiden har samma första 128 tecknena som i ASCII och kan därför ses som utvidgningar av ASCII kodningen. Inom Unicode teckensystem kallas denna första del som det latinska baselementet.

ASCII utvecklades av Bob Bemer på 1960-talet åt pappersutskrivande fjärrskrivmaskiner och datorterminaler som teckenset och styrkod. De tidigare maskinerna använde oftast en 5-bits Baudot-teckenset. Teckenurvalet baserar sig mest på Amerikas behov vilket konstant leder till problem då det har används i hantering av icke-engelska texter. I ASCII-teckenkodningen finns alfabetets alla bokstäver A-Z och de fungerar praktiskt taget alltid rätt men när man till exempel kommer till svenska språkets bokstäver Å, Ä och Ö så uppstår det problem med kompatibiliteten även idag.

Den första raden i ASCII-koden för STL-filer är en beskrivningsrad som måste börja med det engelska ordet "solid" skrivet med små bokstäver. Efter det kommer tilläggsinformation som filens namn, författare, datum mm. Den sista raden måste ha nyckelordet "endsolid" och alla rader mellan detta innehåller en beskrivning av de enskilda fasetterna i filen. (Wikipedia, 2013h | Miettinen, Juha-Matti, 2011 | Wikipedia, 2013i)

Tabell 1. ASCII STL-filens syntax. Källa: Ennex Corporation, 1999

solid *name*

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{facet\ normal} \ n_i \ n_j \ n_k \\ \mathbf{outer\ loop} \\ \mathbf{vertex} \ v1_x \ v1_y \ v1_z \\ \mathbf{vertex} \ v2_x \ v2_y \ v2_z \\ \mathbf{vertex} \ v3_x \ v3_y \ v3_z \\ \mathbf{endloop} \\ \mathbf{endfacet} \end{array} \right\} +$$

endsolid *name*

3.3.2 Binär

Binärsystemet eller tvåvärdessystemet är ett talsystem vars bas är två. Med andra ord så är det ett system som bara har två olika tecken eller tillstånd för att framställa olika tal. Dessa är typiskt symbolerna 0 och 1 vilka representerar oftast på eller av. I elektroniska kretsar representeras dessa två binära siffror oftast med två olika spänningsnivåer. Detta är mycket entydigt i elektroniska kretsar och delvis på grund av detta så grundar sig

dagens datorer på tvåvärdessystemet. I processorer och digitala kretsar används just två olika spänningar för att representera nollan och ettan.

En binär STL-fil består av en 80 teckens rubrikrad som kan tolkas som en kommentarrad. Denna rad behövs egentligen inte alls observeras, men den får aldrig börja med ordet "solid", för då kan många program tolka filen som om den skulle vara kodad i ASCII-format. Efter rubrikraden följer en 4 bytes osignerad enhet som indikerar hur många triangulära facetter filen innehåller. Efter detta beskrivs varje triangel enskilt och filen slutar helt enkelt efter att varje triangel har beskrivits.

Tabell 2. Binär STL-fils syntax. Källa: Ennex Corporation, 1999

Bytes	Data type	Description
80	ASCII	Header. No data significance.
4	unsigned long integer	Number of facets in file
4	float	i for normal
4	float	j
4	float	k
4	float	x for vertex 1
4	float	y
4	float	z
4	float	x for vertex 2
4	float	y
4	float	z
4	float	x for vertex 3
4	float	y
4	float	z
2	unsigned integer	Attribute byte count

Varje triangel är framställd genom tolv 32-bits flyttal. Tre används för ytnormalen och sedan tre för X,Y och Z koordinaterna av varje spets. Efter de 12 första flyttalen kommer en två byte lång omärkt "short" enhet som kallas för "attribute byte count" och som standard är dessa nollor för de flesta programmen förstår inte något annat.

(Wikipedia, 2013h, Miettinen Juha-Matti, 2011)

3.4 En bra STL-fil

Fasetterna eller de jämna delarna i filen är i direkt relation till resolutionen. En bra STL-fil är därför omkring 5 MB för en simpel fil och 10 MB för större och mera komplicerade delar. Generellt anses det att om filens storlek inte ligger inom detta område så borde man ändra på filen.

För att undersöka om en STL-fil är bra öppnar man den med ett CAD-program och försäkras sig först att delen ser ut som den skall. Det är speciellt viktigt att observera om det finns överlops jäмна ytor vid kurvor eller konturerna av objektet. Man bör också kontrollera om filen är specificerad i tum eller millimeter. Detta bör göras på grund av att några program, som SolidWorks sparar filen i millimeter fast delens mått skulle vara i tum. Några CAD-program stöder inte STL-filer och kan därför inte öppna dem men det finns gratis program på nätet som MarcamViewer med vilka man kan titta och kontrollera STL-filer med.

Ifall triangulationen är grov blir de runda ytorna plattare och kantiga. De runda ytorna som blivit platta syns i STL-filen och kommer därför också att göra objektet kantigt när man printar det.



Figur 14. För liten resolution. Källa: AlphaPrototypes

Om man lyfter på resolutionen mycket så får man ytorna till mycket exakta men detta gör igen så att processeringen av filen tar länge på grund av dennas storlek. Att lyfta resolutionen onödigt mycket förbättrar inte själva kvaliteten av det utprintade objektet dels för att själva printerns noggrannhet inte kommer att räcka till och dels för att hörn

eller kanter kan få egna trianglar och bli platta. Därför är det viktigt att hålla filerna under 10 MB, som anses vara övre gränsen till en bra STL-filstorlek.



Figur 15. För hög resolution. Källa: AlphaPrototypes

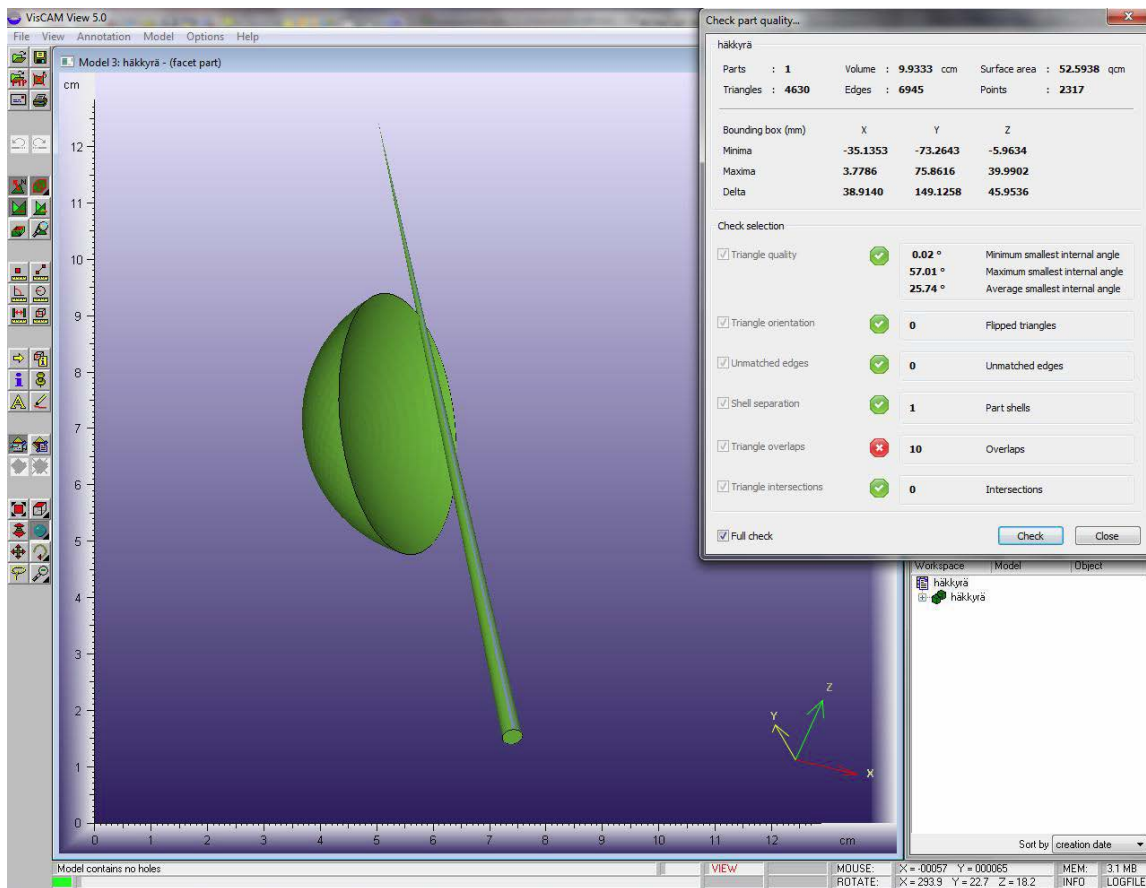
En bra STL-fils trianglar borde se liknande ut som i bilden nedan. Dessa filer är lätta att hantera och det blir bra resultat med dem. (Miettinen Juha-Matti, 2011)



Figur 16. Passlig resolution. Källa: AlphaPrototypes

3.5 Avvikelser i STL-filer

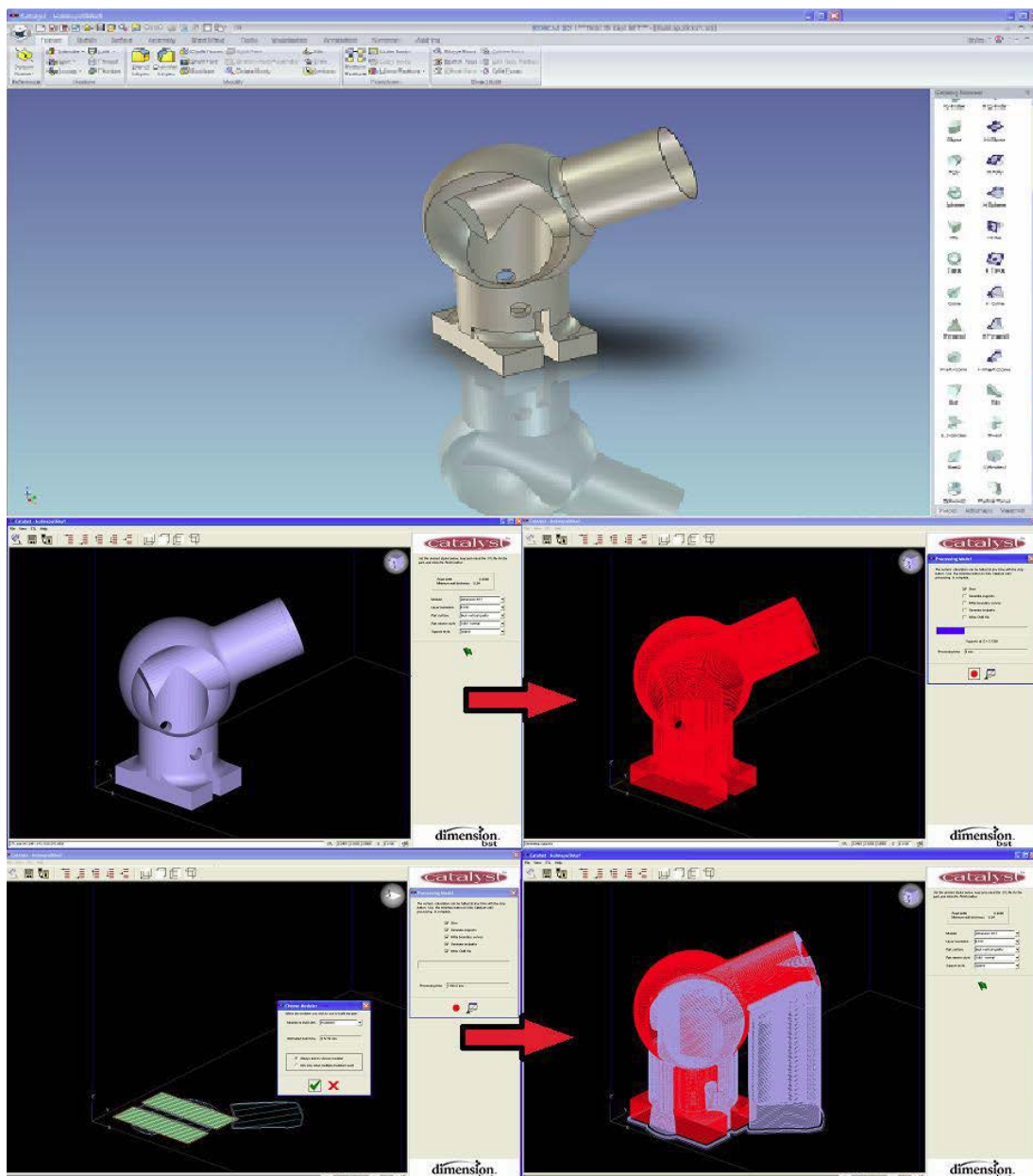
För att hitta avvikelser från ursprungliga modellen i STL-filer finns det gratis program, som till exempel VisCam View, vilken går att ladda från nätet, se figur 17. Programmet kör en kontroll på filen och rapporterar sedan om de eventuella avvikelserna.



Figur 17. Granskning av STL-fil med hjälp av VisCam View. Källa: Miettinen Juha-Matti, 2011, sid. 39

De vanligaste felen i filerna är så kallade ytbrytningar, vilket betyder att objektet inte har en konsistent yta, skruvhål är loss från själva objektet, hål i ytan mm. Ett annat fel som görs är en för stor triangulation av objektet, vilket leder till att runda ytor blir kantiga. Ofta uppkommer det också problem ifall modellen är en ytmodell och inte en volymmodell. Vid användning av boolean-metod finns de problem som kan uppstå i STL-filens skapandet. Med ett boolean-verktyg kan man koppla ihop, klippa och klyva objekt eller ytor vilket betyder att man lägger till eller tar bort av 3D-geometrin från varandra. När geometriernas kanter passar perfekt ihop till samma yta och inte går klart ovanpå varandra är det möjligt att det bildas en hinna som är en överlapps yta som inte borde finnas. Programmet förstår inte mera denna hinna som en volymmodell och triangulationen misslyckas. Detta fel går lätt att undvika genom att skapa objektet med andra metoder än boolean-metoden eller genom att ändra måtten på de element som skall sättas samman.

Med friformsmaskiner följer det oftast med maskinens egna program som Insight eller Catalyst. Med hjälp av programmet kan användaren bestämma åt vilket håll och med vilken exakthet som objektet skall tillverkas, samt granska objektets sköra ställen och möjligtvis ändra eller reparera dem enligt möjlighet. När programmet behandlar ritningen rapporterar den om alla dessa möjliga fel. Ifall det bara är små fel i ritningen kan programmet släppa det igenom och bygga upp modellen men ifall det finns stora fel i ritningen så går maskinen inte med på att bygga upp den.



Figur 18. Modell flyttas från IronCad till Catalyst, vilket behandlar modellen och räknar ut stödstruktur för printing. Källa: Miettinen Juha-Matti, 2011, sid. 40

Det finns också andra reparationsprogram som går att köpas som netfab Studio. Med dessa kan du reparera de flesta felen som uppstått vid konvertering till STL-fil med CAD-programmen. Dessa reparationsprogram innehåller oftast även automatisk reparation och förfining av grova ytor.

3Data Expert 9.1-programmet reparerar ytfel samt hål väl. Det är möjligt att ändra på reparationsprecisionen, så att programmet strängare behandlar avvikelser. Fast det skulle bli lite triangulationsfel kvar i de reparerade objekten så accepterar programmet det. Ibland gör även programmet för mycket reparationer vilket leder till att det kan uppstå ytor eller former som inte ursprungligen har varit menade till modellen, eller så kan även någon form försvinna. Detta är ett resultat av kombinerad eller borttagning av trianglar, beroende på hurdan avvikelse modellen får efter en reparation. Problemet är dock litet och stör för det mesta inte.

I tester har deskartes 3Data expert reparerat objekt utan att alls ha ändrat på objektets geometri. Programmet minskar STL-filens storlek för stora objekt märkbart, vilket leder till att kraven för datorns prestanda inte är lika höga. Vid reparation av filer är det lönsamt att använda mellanlagringar för att undvika ändringar i geometrin ifall programmet överreparerar någonting. Användningen av programmet är något klumpigt men man lär sig snabbt dess användning.

Magics är ett annat program som lämpar sig extra bra för reparation av väldigt små fel. Användningen är lättare och flexiblare än med 3data expert. Magics lämnar även ibland fel efter sig och programmet gör även överreparationer på objekt som har mycket avvikelser i sig. Vid jämförelse av Magic och 3Data expert märks det att Magic kan göra små ändringar i geometrin och lämna synliga trianglar på ytan. Problemet är dock litet och obetydligt.

Stora filer är svåra att reparera med Magic och det är rekommenderat att för optimala resultat använda båda programmen. Först använder man 3Data expert för att reparera de största felen och reparerar resten av felen med Magic vid behov. (Miettinen Juha-Matti, 2011 | 3Dcreationlab, 2013)

4 ANVÄNDNING OCH NYTTA MED FRIFORMNING

4.1 Nyttan av friformning

När man talar om nyttor med så kan man säga att det inte finns någon gräns. Nyttorna kan vara unika beroende på bolaget, individen, projektet eller delen och begränsas bara av diversiteten i de potentiella användningsområdena. Huvudsaken är egentligen att man använder tekniken för vad den är bra för, vilket leder till fördelar jämfört med konventionella tekniker.

Den viktigaste fördelen är troligen att additiv tillverkning tillåter direkt fysisk form, vilket leder till att designen är direkt synbar oberoende av ens skolning. Med detta är det lätt att hitta fel genast och ändra dem före själva produkten går till tillverkning. När man hinner ändra dessa fel snabbt vinner man tid och pengar för man gör ingen onödig produktion.

Additiv tillverkning anses vara ett gott sätt att marknadsföra sina produkter med den fysiska formen redan i ett konceptsteg. På detta sätt kan man se till att kunden får inverka på designen och detta leder till ökad försäljning. Detta är en av de viktigaste fördelarna med tekniken jämfört med alla andra tillverkningsmetoder, eftersom den främjar en god kommunikation mellan kunden och tillverkaren.

En annan fördel av additiv tillverkning är att designerna och tillverkarna inte är bundna till begränsningarna av subtraktiva och formella teknologier. Vid skärande bearbetning och gjutning måste man ta hänsyn till dessa begränsningar för de kan påverka designen och begränsa möjligheterna. Med additiv tillverkning finns dessa gränser inte vilket leder till kreativitet och innovation i designen och tillverkningen.

Dessa fördelar i branschen leder till vad man egentligen ser som fördelarna med additiv tillverkning. Fördelarna kan kategoriseras under tid, kostnad, kvalitet och möjligheter.

4.1.1 Tid

Med hastigheten som det är möjligt att tillverka delar genom additiva metoder, speciellt för komplexa designer gör att leveranstiden kan bli rejält nedsatt. Det är heller inte bara frågan om den fysiska tillverkningen utan additiv tillverkning är en snabb process från början till slut. Metoderna är mycket tidseffektiva med obebakad användning av maskiner, minskning i fysiskt arbete och enkelheten i processen.

Additiv tillverkning fungerar direkt genom definitioner givna i en CAD-fil och fast det krävs konvertering för att tillverka delarna i en maskin så är de flesta delarna automatiserade och kräver litet mänskligt ingripande. Genereringen av en STL-fil och preparationer till tillverkningen kan göras inom mindre än en timme och eftersom det är möjligt att tillverka nästan hurdan geometri som helst krävs inga modifieringar till geometrin. Genom avancering i området finns det system som erbjuder ”en-knapps-tillverkning” och har hela operationen fullt automatiserad från filprocesserna till arbetet.

Additiv tillverkning producerar prototyper snabbt oberoende av komplexiteten av designen. Andra tidsfördelar kommer genom produktion dygnet runt, obebakad tillverkning och samtidig tillverkning av multipla objekt. Additiv tillverkning räknas minska arbetstimmarerna med 300%. Tiden det tar för att tillverka en modell är direkt beroende av storleken på objektet. Konventionella metoder är även sekventiella medan additiv tillverkning är jämnlöpande och är bara begränsad av maskinens kapacitet.

4.1.2 Kostnad

I vissa fall kan additiv tillverkning vara direkt kostnadseffektivare än traditionella tillverkningsmetoder. Detta är dock inte den största kostnadsmässiga fördelen. Ifall additiv tillverkning visar sig bli dyrare per del är det ändå sannolikt att ha lägre produktionskostnad och därför bli lönsammare.

Genom additiva tillverkningens snabbhet och möjligheten att producera prototyper är det lättare att hitta designfel redan vid utvecklingsstegen vilket leder till direkta besparingar. Att börja använda prototyper med hjälp av additiv tillverkning är det i flera

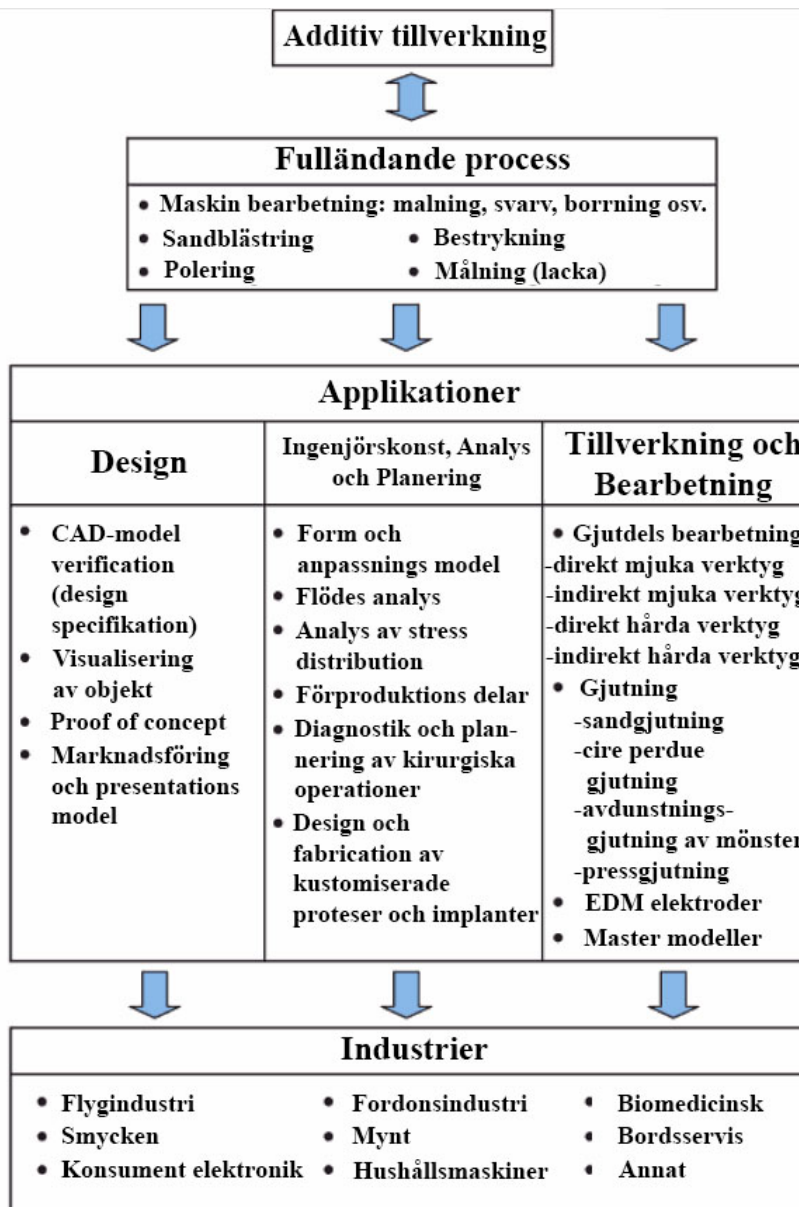
fall lönsamt inom redan ett år bara genom undvikandet av kostnader. (Todd Grimm, 2004, sid. 127-136)

4.2 Användningsområden

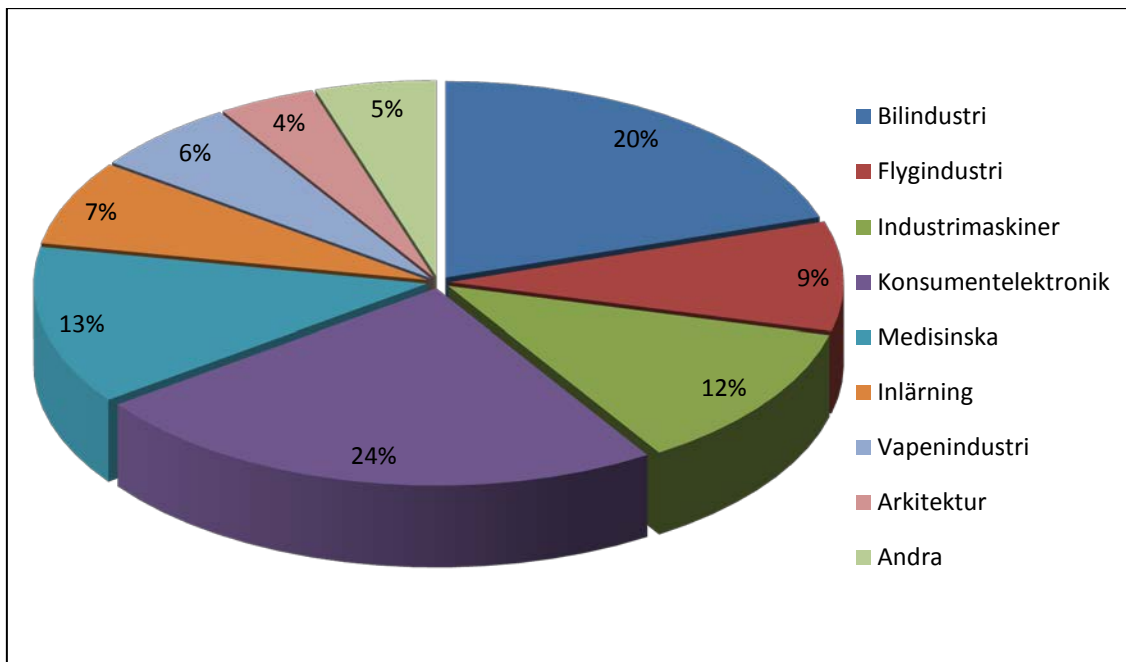
Additiv tillverkning är en nyttillkommen tillverkningsmetod som har stora möjligheter inom försvar, energi, luftindustri, medicinsk och kommersiella sektorer. Förmågan att direkt bygga upp delar gör tekniken överlägsen för mycket skräddarsydda delar jämfört med konventionella tillverkningsmetoder som gjutning och maskinbearbetning. På grund av teknikens potential experimenterar många företag inom området. Företag som gör kommersiella produkter är ännu relativt liten, fast växande. Dessa innefattar tillverkare av maskindelar och komponenter för flygplanshyttar.

Användningsområdena som additiv tillverkning är passlig för är nära relaterad med de material som används i traditionella tillverkningsätt. Detta betyder att ju närmare materialen för additiv tillverkning är de material som används i traditionella tillverkningsätt desto bredare blir användningsområdena. Därför satsar företag på att utveckla materialen till sina printrar för att få nya användnings möjligheter. Den största inverkan som additiv tillverkning har haft på industrin är förbättring av produktutveckling. Tabellen nr. 3 ger en bild i vilka områden additiv tillverkning går att användas.

Tabell 3. Additiv tillverknings användningsområden (uppgifterna från C.K Chua, 2010)

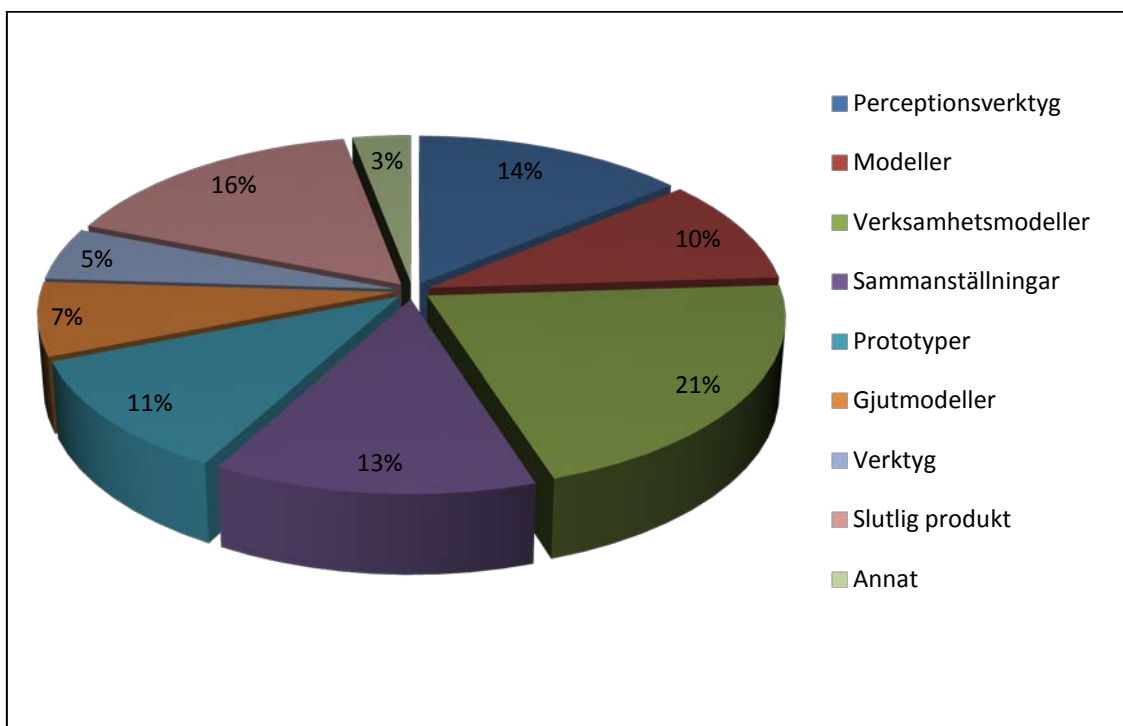


I figuren 19 visas i vilken grad olika industrier använder additiv tillverkning.



Figur 19. Additiv tillverkningsindustrier år 2008. Uppgifter från Wohlers, 2009, sid. 26.

I figuren 20 visas till hurdan tillverkning företag använder additiv tillverkning i sin affärsverksamhet.



Figur 20. Hur företag använde additiv tillverkning år 2008. Uppgifter från Wohlers, 2009, sid. 26.

Användningen av additiv tillverkning är centrerad till fordonsindustrin och flygindustrin, vilka upptar egentligen nästan hälften av industrin. Andra stora användningsområden är medicinska och industrimaskinstillverkare.

De vanligaste användningarna är för att producera modeller, prototyper och färdiga delar. Färdiga delar är sällan serieproduktioner. (C.K Chua, 2010, sid. 357-359 | Lohilahti Jarkko, 2011, sid. 19-22)

5 TANKAR

Inom de kommande åren kommer additiv tillverkning att växa och utvecklas enormt. Materialen kommer att förbättras och det kommer att bli möjligt att utveckla nya användningsområden för teknologin. År 2012 hade additiv tillverkning en global marknad av 1 843,2 miljoner dollar och förväntas växa till 3 471,9 miljoner dollar år 2017. Teknologin har redan haft en stor inverkan på industrier och speciellt på hur man designar delar och jag tror att inom de närmaste åren ännu kommer att ha en stor inverkan på hur man tillverkar saker och speciellt på konsumentområdet. Så småningom kommer printrarna att bli billigare och passliga för hemmabruk, vilket kommer att leda till en helt ny marknad. Istället för att sälja produkter kan man sälja designar och konsumenten kan själv hemma göra sina delar. Ändringarna som teknologin har hämtat till hur man designar delar är även märkbar. Man behöver inte mera egentligen fundera hur delarna skall byggas upp, man behöver inte tänka på hur man skall klara av att göra ihålligheter eller mekaniskt rör bara delar. Allting detta kommer så att säga på köpet med teknologin och maskinerna klarar av att producera de flesta sakerna. Själv tror jag att inverkan teknologin har haft på hur man designar produkter är en av de viktigaste för industrin. Det ger en möjlighet till att utveckla produkter, spara tid samt möjligheten att designa produkten så den använder mindre material än en del som skulle vara gjord med traditionella metoder.

Med en ny teknologi kommer också med nya problem. En av dessa är upphovsrätt och design och företag är rädda för att additiv tillverkning blir en likadan piratism som med musik. Deras oro har en grund för det är möjligt att genom en tredimensionell skanning printa ut exakta kopior av vad som helst. Det är även troligt att människor börjar ge ut CAD-ritningar av delar och sprida dem gratis. Företag kommer troligen i något skede börja köra sina egna DMCA krav för att motarbeta piratism av deras produkter. Detta kan dock även inverka på hur additiv tillverkning utvecklas, speciellt inom allmänheten. Troligen kommer detta betyda att utvecklingen stagnerar och det kan skada marknaden för 3D-printrar till hemmabruk. Marknaden kommer att kräva att företagen anpassar sig till nya sätt och det kommer troligen att hittas på nya sätt att sälja sina produkter.

Additiv tillverkning är också ett miljövänligare produktionsätt än traditionella tillverkningsmetoder. Detta är för det mesta på grund av att man använder närmare 80% mindre material varav nästan ingenting går till spillo. En annan mycket positiv sak är flexibiliteten man har. Det går lätt att ändra på hur någonting ser ut och därför är det lätt att skräddarsy föremål för specialbehov och det kostar inte nästan något att göra det heller.

KÄLLOR

3Dcreationlab, 2013, *How to check and fix an STL file ready for sending to a 3D printer*, [WWW]

Finns på:

http://www.3dcreationlab.co.uk/3d_prints_blog.php?fix+STL+files+for+3D+Printer

[Hämtad 10.1.2013]

3T RPD, 2013, *Direct Metal Laser Sintering*, [WWW]

Finns på: <http://www.3trpd.co.uk/dmls/>

[Hämtad 10.1.2013]

Arcam AB, 2013, *Electron Beam Melting*, [WWW]

Finns på: <http://www.arcam.com/technology/faq/electron-beam-melting-ebm.aspx>

[Hämtad 14.1.2013]

C.K Chua, K.F Leong, C C.S Lim, 2010, *Rapid Prototyping: Principles and Applications*
tredje upplagan

World Scientific Publishing

Daniel Ryppl, 2005, *STL File Format*, [WWW]

Finns på: <http://mech.fsv.cvut.cz/~dr/papers/Lisbon04/node2.html>

[Hämtad 14.1.2013]

eFunda, 2013, *Multi-Jet Modeling*, [WWW]

Finns på: http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/inkjet.cfm#MJM

[Hämtad 14.1.2013]

Ennex Corporation, 1999, *The StL Format*, [WWW]

Finns på: <http://www.ennex.com/~fabbers/StL.asp>

[Hämtad 3.2.2013]

G.W.P.AG, 2011, *Multi-jet modeling*, [WWW]

Finns på: <http://www.gwp-ag.com/en/services/prototyping/rapid-prototyping/multijet-modeling/index.html>

[Hämtad 14.1.2013]

Jarkko Lohilahti, 2011, *Selvitys 3D-tulostamisen tilanteesta suomessa*, [Examensarbete]

Finns på:

http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36967/Lohilahti_Jarkko.pdf

John Newman, 2012, *The Art of Standardizing Additive Manufacturing Process Terminology*, [WWW]

Finns på: <http://www.rapidreadytech.com/2012/06/the-art-of-simplicity-standardized-process-terminology/>

[Hämtad 5.1.2013]

Laakko Timo, 1998, *Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu*

Borgå: WSOY

Make Parts Fast, 2011, *A MULTITUDE OF MATERIALS FOR ADDITIVE MANUFACTURING*, [WWW]

Finns på: <http://www.makepartsfast.com/2011/10/2254/2011-make-parts-fast-handbook-materials/>

[Hämtad 10.1.2013]

Miettinen Juha-Matti, 2011, *PIKAMALLITEKNIikkaAN SOVELTUVAN STL-TIEDOSTON LUOMINEN*, [Examensarbete]

Finns på: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37907/Miettinen_Juha-Matti.pdf

RPWorld.net, 2013a, *FDM*, [WWW]

Finns på: <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/fdm-fused-deposition-modeling-.html>

[Hämtad 20.12.2012]

RPWorld.net, 2013b, *SLA*, [WWW]

Finns på: <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/sla-stereo-lithography-apparatus.html>

[Hämtad 20.12.2012]

RPWorld.net, 2013c, *SLS*, [WWW]

Finns på: <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/sls-selective-laser-sintering.html>

[Hämtad 20.12.2012]

RPWorld.net, 2013d, *LOM*, [WWW]

Finns på: <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/-lom-laminated-object-manufacturing-.html>

[Hämtad 20.12.2012]

RPworld.net, 2013e, *3DP*, [WWW]

Finns på: <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid->

[prototyping/3dp-three-dimensional-printing-.html](#)

[Hämtad 20.12.2012]

Rämö Tommi, 2010, *PIKAMALLINNUKSEN SOVELLUKSET JA TOIMINNAN KEHITTÄMINEN*, [Examensarbete]

Finns på:

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22105/Ramo_Tommi.pdf

Syrjälä, S. Jukka, T. 1997, *Rapid prototyping - Mallien, prototyyppien ja työkalujen pikavalmistus*.

Tekes

TAIDETEOLLINEN KORKEAKOULU, 2013, *Pikamallit*, [WWW]

Finns på: <http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/pikamallit/index.html>

[Hämtad 15.2.2012]

Todd Grimm, 2004, *User's Guide To Rapid Prototyping*, Society of Manufacturing Engineers

SME

Wikipedia, 2012a, *IGES*, [WWW]

Finns på: <http://en.wikipedia.org/wiki/IGES> (uppdaterad 9 november 2012)

[Hämtad 15.1.2013]

Wikipedia, 2012b, *ACIS*, [WWW]

Finns på: <http://en.wikipedia.org/wiki/ACIS> (uppdaterad 4 december 2012)

[Hämtad 15.1.2013]

Wikipedia, 2013a, *3D printing*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_Printing (uppdaterad 13 februari 2013)

[Hämtad 5.1.2013]

Wikipedia, 2013b, *Fused deposition modeling*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling (uppdaterad 3 februari 2013)

[Hämtad 5.1.2013]

Wikipedia, 2013c, *Stereolithography*, [WWW]

Finns på: <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography> (uppdaterad 23 januari 2013)

[Hämtad 3.2.2013]

Wikipedia, 2013d, *Selective laser sintering*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering (uppdaterad 4 januari 2013)

[Hämtad 3.2.2013]

Wikipedia, 2013e, *Direct Metal Laser Sintering*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/Direct_metal_laser_sintering (uppdaterad 2 februari 2013)

[Hämtad 5.2.2013]

Wikipedia, 2013f, *Electron beam melting*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_melting (uppdaterad 29 november 2012)

[Hämtad 5.1.2013]

Wikipedia, 2013g, *Laminated object manufacturing*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing (uppdaterad 29 november 2012)

[Hämtad 5.1.2013]

Wikipedia, 2013h, *STL (file format)*, [WWW]

Finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/STL_%28file_format%29 (uppdaterad 14 february 2013)

[Hämtad 15.2.2013]

Wikipedia, 2013i, *ASCII*, [WWW]

Finns på: <http://en.wikipedia.org/wiki/ASCII> (uppdaterad 13 february 2013)

[Hämtad 15.2.2013]

custompartnet, 2008a, *FDM*, [WWW]

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

[Hämtad: 25.1.2013]

turkcadcam, 2013, *thermojet-mjm-technology*, [WWW]

Finns på: <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/images/thermojet-mjm-technology.jpg>

[Hämtad: 25.1.2013]

MEDeFFF, *stereolitografi*, [WWW]

Finns på: <http://extra.ivf.se/MEDeFFF/stereolitografi.gif>

[Hämtad: 25.1.2013]

custompartnet, 2008b, *SLS*, [WWW]

Finns på: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sls.png>

[Hämtad: 25.1.2013]

EBM, *electron-beam-welding-machine*, [WWW]

Finns på: <http://electron-beam-machining.beamss.info/images/electron-beam-welding-machine-2.jpg>

[Hämtad: 25.1.2013]

custompartnet, 2008c, *LOM*, [WWW]

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

[Hämtad: 25.1.2013]

custompartnet, 2008d, *3dp*, [WWW]

Finns på: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>

[Hämtad: 25.1.2013]

Objet Geometries, 2007, *3dpoly*, [WWW]

Finns på: http://img.tfd.com/cde/_3DPOLYJ.GIF

[Hämtad: 25.1.2013]

E. Béchet, J.-C. Cuilliere, F. Trochu, 2002, *Generation of a finite element MESH from stereolithography (STL) files*, [Artikel]

Finns på: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448500001469>

[Hämtad: 13.2.2013]

AlphaPrototypes, *How to create Stereolithography .stl files*, [WWW]

Finns på: <http://www.alphaprototypes.com/how-to-create-stereolithography-files.aspx>

[Hämtad: 13.2.2013]

Wohlers, 2009, *T. Wohlers Report 2009*

Wohlers Associates, Inc.

custompartnet, 2008e, *dmls*, [WWW]

Finns på: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/dmls.png>

[Hämtad: 25.1.2013]