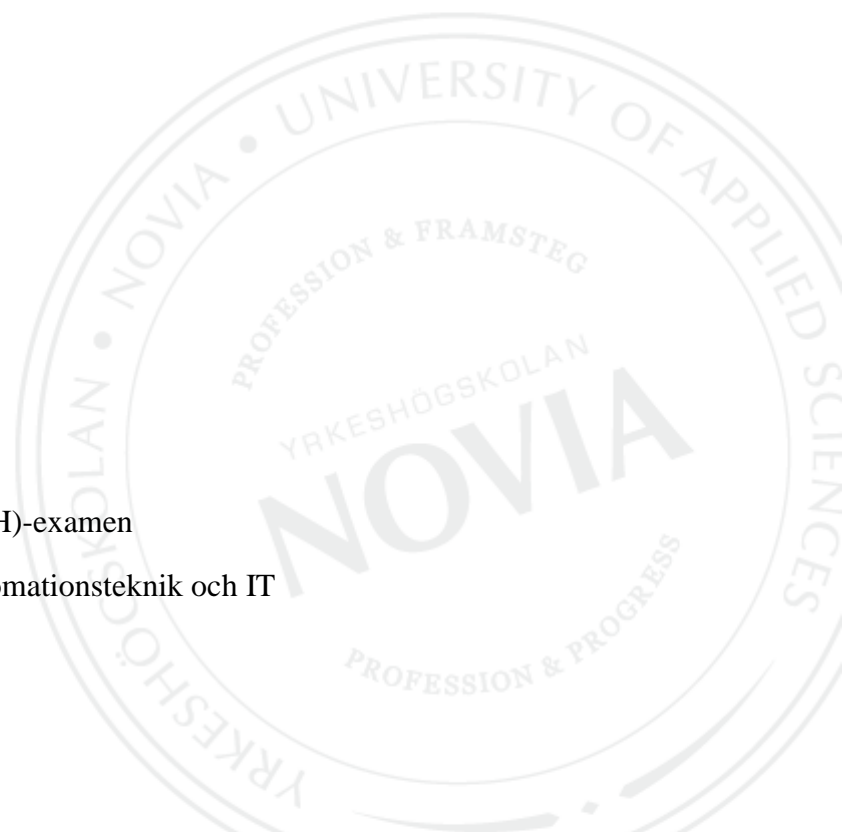


Undersökning om digitaliserings- och 3D-printningsmöjligheter på Oy Plastex Ab

Oliver Folger

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen
Utbildningsprogrammet för Automationsteknik och IT
Raseborg 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Oliver Folger

Utbildningsprogram och ort: Automationsteknik och IT, Raseborg

Inriktningalternativ/Fördjupning: Datorstödd tillverkning

Handledare: Håkan Bjurström

Titel: Undersökning om digitaliserings- och 3D-printningsmöjligheter på Oy Plastex Ab

Datum: 30.4.2015

Sidantal: 61

Bilagor: 9

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur en digitaliseringsprocess i verkligheten går till. Som exempel används en blå 330ml flaska från Plastex. Flaskan skannades med tre olika 3D-skanningstekniker. De tre teknikerna som används är fotogrammetri, laser triangulation och strukturerat ljus. Utgående från resultaten bedöms vilken nytta 3D-skanning kunde ge företaget genom tid- och kostnadsbesparingar jämfört med vanlig 3D-modellering.

Efter att bästa resultat valts undersöks de fyra vanligaste printningsteknikernas egenskaper och en utredning görs vilken teknik passar bäst för produktionen av flaskan samt diverse andra Plastex produkter. Teknikerna som jämfördes var Fused Deposition Modeling, Stereolitography, Selective Laser Sintering och PolyJet. Flaskans printade styckpris räknades på basis av teknikernas materialpriser och jämfördes till den formblåsta versionen. Dessutom togs reda på vad inköpspriset för den printade flaskan vore från en utomstående tillverkare. Utifrån jämförelsen av tillverkningspriser och tillverkningsmetoder bedömde jag om printning i detta skede lönar sig för företaget.

Språk: Svenska

Nyckelord: Digitalisering, 3D-Skanning, 3D-printning, CAD

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Oliver Folger

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Automationsteknik och IT, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Tietokoneavusteinen tuotanto

Ohjaaja: Håkan Bjurström

Nimike: Tutkimus digitalisointi- ja tuottamismahdollisuuksista Oy Plastex Ab:ssa.

Undersökning om digitaliserings- och 3D-printningsmöjligheter på Oy Plastex Ab

Päivämäärä: 30.4.2015

Sivumäärä: 61

Liitteet: 9

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää miten digitalisointiprosessi käytännössä tapahtuu. Esimerkkinä käytettiin Plastex Oy:stä saamaani 330ml taskumattimuovipulloa. Pullon digitalisointiin käytettäviin 3D-skannausmenetelmiin kuului fotogrammetria, laserskannaus sekä strukturoitu valo. Parhaan tuloksen perusteella selvitettiin mikäli digitalisointiprosessi jossa 3D-skannausta käytetään säästää yritykselle aikaa ja kustannuksia verrattuna tavalliseen CAD-mallinukseen.

Prosessin jälkeen seurasi vertailu eri tulostustekniikoiden ominaisuuksista ja mikä parhaiten soveltuisi pullon sekä kahdeksan muun Plastex tuotteen tulostamiseen. Vertailtavat tulostustekniikat olivat Fused Deposition Modeling, Stereolitography, Selective Laser Sintering ja PolyJet. Pullon tulostushinta laskettiin materiaalihintojen perusteella ja verrattiin puhallusmuovattuun. Tämän lisäksi selvitettiin pullon tulostushintoja ulkopuolisilta valmistajilta. Lopuksi arvioitiin 3D-tulostuksen käyttämisen järkevyyttä Plastex tuotteiden valmistukseen tänä päivänä.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: Digitalisointi, 3D-skannaus, 3D-tulostus, CAD

BACHELOR'S THESIS

Author: Oliver Folger

Degree Programme: Automation and IT, Raseborg

Specialization: Design and manufacturing

Supervisor: Håkan Bjurström

Title: Research about digitization and 3D printing possibilities at Oy Plastex Ab.

Undersökning om digitaliserings- samt 3D-printningsmöjligheter på Oy Plastex Ab

Date: March 30th, 2015 Number of pages: 61 Appendices: 9

Summary

In this thesis I will show how a digitization process works using a blue 330ml plastic bottle provided by Plastex Oy. The different 3D scanning techniques used are photogrammetry, laser triangulation and structured light. Based on the results an assessment was made of benefits in time and cost, compared to traditional 3D modeling.

In addition a comparison between the four most common printing techniques is made and assessed which technique is best suited for the production of the plastic bottle together with miscellaneous other Plastex products. The four techniques compared are Fused Deposition Modeling, Stereolithography, Selective Laser Sintering and PolyJet. The cost of printing the bottle is then calculated based on the cost of material and compared to the blow molded version. I have also researched what it would cost the company if they decided to buy a printed bottle from a third party manufacturer. Based on the comparison between printing and conventional manufacturing I assess whether 3D printing of old and new plastic products is worthy at the moment.

Language: Swedish Key words: Digitization, 3D scanning, 3D printing, CAD

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	PROBLEMFÖRMULERING	1
1.2	SYFTE OCH MÅL	2
2	OY PLASTEX AB.....	2
2.1	HISTORIA.....	2
2.2	FRAMTIDSSYNER	2
3	HANDLEDDNING	3
3.1	MAKER 3D OY.....	3
4	COMPUTER-AIDED DESIGN	3
5	ADDITIV TILLVERKNING OCH RAPID PROTOTYPING	4
6	3D-PRINTNING	5
6.1	PROCESSEN	5
6.2	TEKNIKER.....	6
6.3	FUSED DEPOSITION MODELING	6
6.4	STEREOLITOGRAFI	8
6.5	SELECTIVE LASER SINTERING	10
6.6	POLYJET	12
6.7	LAMINATED OBJECT MANUFACTURING	13
6.8	DIRECT METAL LASER SINTERING.....	14
7	3D-PRINTNING JÄMFÖRT MED FORMSPRUTNING.....	16
8	FÖRVÄNTNINGAR JÄMFÖRT MED VERKLIGHETEN.....	18
8.1	EXEMPEL.....	19
8.2	FÖRVÄNTNINGAR	19
8.3	HÅLLBARHET	19
8.4	YTJÄMNHET	20
8.5	KOSTNAD.....	20
8.6	SNABBHET	20
8.7	ANVÄNDNING.....	20
8.8	MATERIAL.....	20
9	FRAMTIDA MÖJLIGHETER	21
10	3D SYSTEMS, PROJEKT ARA OCH DET NYA TILLVERKNINGSSÄTTET ...	22
10.1	3D SYSTEMS	22
10.2	DET NYA TILLVERKNINGSSÄTTET.....	22
10.3	PROJEKT ARA	23
11	3D-SKANNING	24
11.1	HISTORIA.....	25
11.2	LASER TRIANGULERING	26
11.3	STRUKTURERAT LJUS.....	27
11.4	3D-MÄTNING	28
11.5	FOTOGRAMMETRI	28
11.6	MÖJLIGHETER OCH ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	29
11.7	NACKDELAR	30

12	REVERSE ENGINEERING	30
13	UNDERSÖKNING AV OLIKA SKANNINGSMETODER.....	32
13.1	<i>SKANNING MED AUTODESK 123D CATCH</i>	32
13.2	<i>SKANNING MED RUBICON</i>	34
13.3	<i>SKANNING MED GOMIS ATOS CORE ESSENTIAL</i>	37
13.4	<i>FILSTORLEK OCH BEARBETNING I CAD</i>	40
13.5	<i>BEARBETNING MED GEOMAGIC STUDIO OCH MESHMIXER</i>	41
13.6	<i>KONVERTERING TILL 3D-PDF</i>	42
13.7	<i>PLASTEX ROTAFLEX</i>	42
13.8	<i>FLÖDESSHEMA</i>	43
14	KOSTNADSEFFEKTIVITET OCH NYTTA.....	45
14.1	<i>INVESTERINGSKALKYL</i>	45
15	JÄMFÖRELSE AV 3D-PRINTNINGSTEKNIKER.....	46
15.1	<i>BERÄKNING AV FLASKANS STYCKPRIS</i>	49
16	UTREDNING AV LÄMPLIGASTE TILLVERKNINGSTEKNIK FÖR DIVERSE PLASTEX PRODUKTER.....	50
17	KRITISK GRANSKNING OCH DISKUSSION.....	53
	KÄLLOR.....	56
	FIGURFÖRTECKNING	58

TERMER OCH BETECKNINGAR

3D	Tredimensionell
CAD	Computer Aided Design/ Datorstödd design
R & D	Research & Development
RP	Rapid prototyping
AM	Additive Manufacturing, additiv tillverkning
Produkt	Del, Objekt
LIDAR	Light detection and ranging, laser radar
FDM	Fused Deposition Modeling
SLA	Stereolitography
SLS	Selective Laser Sintering
LOM	Laminated Object Manufacturing
stl	Standard Tessellation Language

1 Inledning

Du har säkert vid det här skedet redan läst eller hört om 3D-printning, antingen via en artikel på internet eller i tidningen. Den nya våg av tillverkningssätt som 3D-printning har fört fram kan man lätt tro är ett helt nytt sätt att tillverka. I själva verket har 3D-printning, även känt som ”additiv tillverkning”, funnits i tiotals år och använts i industrin för att utveckla prototyper av olika sorter. Orsaken till varför detta tillverkningssätt har fått publicitet de senaste åren är att utgående patent har gjort tekniken billigare och mera tillgänglig för ”det vanliga folket”. Främst maskiner som använder FDM-teknik har hamnat i rampljuset då de är användarvänliga och billiga i både drift och material.

I och med printning har även 3D-skanning blivit något som fått allt mer uppmärksamhet. Man skulle kunna säga att 3D-skanning tillsammans med printningen är verklighetens ”copy and paste”, där man skannar ett objekt till digital form och printar ut det med en printer.

På marknaden finns det redan hundratals olika maskiner. De billigaste kostar några hundra euro medan de dyraste hundratusentals euro, beroende på den teknik som används.

Men kan 3D-printning leva upp till all hajp den fått under den senaste tiden? Är det verkligen lika lätt som det verkar? Hur lämpar sig printning för produktion på industriell nivå?

1.1 Problemformulering

Det var sommaren 2014 när jag första gången fick höra av Plastex Oys vd Lauri Ant-Wuorinen hur framtidens företag måste vara flexibla, det vill säga kunna ändra och anpassa sig till marknaden samt skapa nya sätt att få fram idéer och tillverka produkter. Företaget hade en längre tid tänkt skapa ett produktbibliotek på nätet där alla produkter, gamla som nya, skulle finnas i 3D-modell. Framtidens vision var att eftersom printning blev allt vanligare i hushållen kunde kunderna printa företagets produkter mot en avgift. En undersökning om hur digitalisering i praktiken går till behövdes och processen skulle redovisas i ett flödesschema för lättare förståelse. Företaget hade även fått flera förfrågningar om produkter som inte längre tillverkas som lampor, skålar och vaser. En ny avdelning skulle i framtiden grundas där man kunde printa enstaka nya eller gamla produkter som lätt kunde göras enligt kundens önskemål, till exempel med namn eller annan text. För dessa specialprodukter kunde man begära ett högre pris än för en vanlig

produkt. Jag fick från Plastex 10 olika plastprodukter (gamla och nya). Dessa skulle undersökas och redogöras med vilken printningsteknik det var vettigast att producera.

1.2 Syfte och mål

Målet med detta arbete är att undersöka hur en digitaliseringsprocess går till i verkligheten. En utredning görs huruvida skanning kan vara av nytta i processen, och om det sparar arbetstid och kostnader jämfört med traditionell 3D-modellering. Därtill undersöker jag bästa möjliga printningsteknik med vilken man eventuellt kunde tillverka gamla och nya Plastex-produkter och ifall tillverkningen lönar sig.

2 Oy Plastex Ab

2.1 Historia

Oy Plastex Ab är Finlands äldsta fungerande plastfabrik och fick sin början år 1936 då den polskfödda ingenjören Igor Lawdansky grundade Korurasia-ja kotelotehdas i Helsingfors (på Snellmansgatan 23). Fabriken tillverkade smyckesaskar, knappar och andra småsaker. Produktionen växte och år 1943 flyttades den till Lojo, samtidigt som det nya namnet Oy Plastex Ab togs i bruk. Den första fabriksbyggnaden fungerar idag som företagets kontor. Idag specialiserar sig företaget på formsprutning och formblåsning av plast och producerar bland annat flaskor, burkar, skålar, tillbehör för bilar och båtar, vattenkannor och kanistrar. Dessa produceras både för hushåll och industrin. Lauri Ant-Wuorinen är idag verkställande direktör. (Oy Plastex Ab (u.å.) Muovituotteita vuodesta 1936.)

Idag har företaget cirka 35 anställda och en omsättning på cirka 5,2 miljoner euro. (Länsi.fi (u.å.))

2.2 Framtidssyner

Enligt Lauri Ant-Wuorinen (personlig kommunikation 8.1.2015) har företaget följt sättet att skapa innovation och nätverk i andra länder. Företaget anser att det enda sättet att driva verksamheten i framtiden är att satsa på att skapa nätverk med intressentgrupper men också med kunderna. Lauri förklarar bland annat att det för ett antal år sedan varken fanns sociala medier eller någon 3D-printningshajt. Om allt omkring ändras måste också företaget ändras. Som exempel på detta håller företaget på att ändra den gamla lagerbyggnaden till

en så kallad ”Luovan talouden tehdas” (den kreativa ekonomins fabrik), där idén är att samla hantverkare, marknadsföring och 3D-kunnande till ett eget nätverk under samma tak.

Ett annat sätt att få fram produktidéer är att få kunden att medverka i produktutvecklingsprocessen. På företagets hemsida finns en blankett där kunderna kan berätta om nya produktidéer eller förbättringar av gamla produkter. Då Plastex får en ny produktidé som de anser vara värd att tillverka får kunden/uppfinnaren möjligheten att jobba tillsammans med en erfaren designer för att utveckla produkten. Produktidén kan till exempel vara en lösning till ett problem i vardagen. På detta sätt lägger man fokuset på kunden, eftersom det är kunden som känner till produkten bäst.

Lauri berättar också hur viktigt det är för företaget att ha ett digitalt produktbibliotek. Då kunden valt en produkt som hen tycker om kan den digitala modellen laddas ner från det digitala biblioteket mot en avgift och printas ut på den egna printern. Ett problem med detta är de olika licensfrågorna som uppstår. Företaget har upphovsrätt till produkten, men då kunden laddat ner den digitala modellen är hen berättigad till en fysisk produkt, men vad hindrar personen från att printa flera exemplar och bedriva återförsäljning?

3 Handledning

3.1 Maker 3D Oy

Under sommaren 2014 praktiserade jag hos Maker 3D Oy, ett företag i Tölö, Helsingfors, som specialiserar sig på produktutveckling och 3D-printning. För detta examensarbete fick jag möjligheten att få handledning av företagets verkställande direktör, Jarkko Lohilahti, som själv skrivit sitt examensarbete om 3D-printning. Jag brukade arbeta på mitt examensarbete en gång i veckan hos Maker 3D. Feedbacken och hjälpen jag fick med examensarbetet var mycket värdefullt.

4 Computer-Aided Design

Computer-Aided Design eller CAD är användning av ett program för att skapa två- eller tredimensionella grafiska representationer av fysiska objekt. CAD-program kan specialiseras till datoranimation och specialeffekter i filmer, reklam och annat där den

grafiska designen är slutprodukten. CAD används även för att designa fysiska objekt i olika industrier där man måste beräkna objektets optimala form och storlek för olika användningsområden.

I produkt- och industriell design används CAD huvudsakligen för att skapa detaljerade 3D-modeller, både fasta kroppar och utformning eller vanliga 2D-ritningar av fysiska komponenter. Dock används CAD också genom hela utvecklingsprocessen från koncept och layout, hållfasthetsanalyser av enskilda delar och monteringar till precisering av tillverkningsmetoder. Detta ger ingenjören möjligheten att växelverka och automatiskt analysera designvarianter för att hitta den optimala metoden/designen att tillverka med och samtidigt minimera användningen av fysiska prototyper.

Användningen av CAD för med sig lägre produktutvecklingskostnader, ökad produktivitet, förbättrad produktkvalitet och snabbare lanseringstid av produkter.

På marknaden finns det olika CAD-program, till exempel Dassault Systèmes SolidWorks, AutoDesk Autocad och Solid Edge. (Siemens, (u.å.) CAD/ Computer-Aided Design)

5 Additiv tillverkning och rapid prototyping

Additiv tillverkning är det formella namnet för vad tidigare kallades för rapid prototyping och vad vi idag känner till som 3D-printning. Termen rapid prototyping (RP) används i olika industriprocesser där målet är att snabbt skapa ett representativt system eller del före slutlig lansering och försäljning. Man betonar sättet att skapa något snabbt och att resultatet är en prototyp eller en modell från vilken framtida modeller och till och med slutliga produkter kan utvecklas.

I produktutvecklingssammanhang användes termen rapid prototyping för att förklara tekniker som skapade fysiska prototyper direkt från digitala modeller. Dessa tekniker utvecklades ursprungligen för prototyputveckling, men har senare börjat användas för flera ändamål.

Principen bakom AM eller 3D-printning är att en modell, producerad med ett CAD- eller annat program, kan tillverkas genast utan behov för produktionsplanering. Även om detta inte i verkligheten är lika lätt som det låter gör additivtillverkningstekniker det betydligt enklare att producera komplexa delar från CAD-data. Andra tillverkningsmetoder kräver noggranna och detaljerade analyser av delens geometri för att avgöra i vilken ordning olika

delar av objektet ska tillverkas eller utformas samt vilka verktyg, processer och tilläggskonstruktioner krävs för att göra den färdig. I additiv tillverkning krävs information om delens geometri samt baskunskap om maskinens användning, operation och de material som används för att bygga upp delen.

Funktionsprincipen bakom additiv tillverkning är att delar tillverkas genom att tillsätta material i lager. Varje lager är ett tunt tvärsnitt av delen som kommer från den ursprungliga CAD-data eller 3D-modellen. I den fysiska världen har delen inga lager och därför kommer den printade delen att vara en representation av den originella delen. Ju tunnare lagren är, desto närmare representerar delen den riktiga.

Alla dagens kommersiella 3D-printrar använder denna lagringsmetod. De skiljer sig genom materialen de använder och hur lagren skapas och binds till varandra. Dessa skillnader kommer att avgöra faktorer som delens noggrannhet och dess materiella och mekaniska egenskaper, hur snabbt den kan tillverkas, hur mycket efterbehandling som krävs, hur stor maskin som krävs samt den totala kostnaden för maskinen och hela processen. (Gibson, I., Rosen, D & Stucker, B, 2010)

6 3D-printning

6.1 Processen

3D-printning är ett additivt tillverkningssätt där ett fysiskt objekt framställs från en digital modell eller CAD-fil. Det motsatta tillverkningssättet, spånskärning, bearbetning, bland annat skär, borrar eller fräser material från ett arbetsstycke för att skapa den önskade formen. 3D-printning tillsätter lager på lager för att gradvis bygga upp objektet. För att visualisera detta kan man tänka sig flera papperscirklar placerade ovanpå varandra för att bygga upp en tredimensionell cylinder. (Formlabs, (u.å) What is 3D Printing?)

En 3D-printer printar filer i stl-format. Då modellen överförs till stl-format ändras ytan så att den består av trianglar. Då den nya ytan inte är lika noggrann som före konversionen kan man öka antalet trianglar på ytan och på så sätt minska deras storlek för att göra modellen noggrannare. Triangelarnas storlek och mängd kallas för triangeltolerans. (Salonen, A., 2013)

6.2 Tekniker

Idag finns det flera olika printningstekniker. Dessa tekniker kan på basis av sina funktionsprinciper delas in i följande grupper: härdning av flytande material, tilläggning av smultet material, sintring eller bindning av pulver och skärning av material i skivform.

(Lohilahti, J., 2011)

6.3 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling-tekniken (FDM) uppfanns på 1980-talet av Stratasys grundare, Scott Crump. (Stratasys, (u.å.))

FDM-tekniken hör till gruppen: tilläggning av smultet material och kan jämföras med en varmlimspistol. Munstycket värmer upp materialet och sprutar det på printbädden. Då munstycket kan röra sig i x- och y-axel kan modellens tvärsnitt printas. Efter att tvärsnittet printats sänks printbädden neråt ett lager och processen kan börja om från början. Då det nya lagret av het smulten plast läggs på föregående, binds de båda lagren till varandra.

(Zachmann, 2014)

Tekniken är relativt ren vid operation, enkel att använda och kräver inga speciella faciliteter vid drift.

Plastmaterialen som används är godkända för användning vid industritillverkning. De är både mekaniskt och från en miljösynpunkt sett stabila. (Stratasys, (u.å.) The Invention of FDM Technology)

De två vanligaste materialen som FDM-tekniken använder är akrylnitrilbutadienstyrenplast (ABS) och polylaktid (PLA), som är termoplaster. PLA-plasten (Poly Lactid Acid) produceras av olika växter som majs, potatis och sockerbeta. Materialet anses vara miljövänligare än ABS, som är oljebaserat. PLA förevisar inte likadan böjning vid printning som ABS. Därför kan man printa det utan en uppvärmd printbädd och använda speciell tejp istället för lim för att förhindra rörelse på bädden. För att få noggrannare detaljer och vassare kanter på delarna, som till exempel i växelhjul, används en fläkt vid munstycket för ventilation.

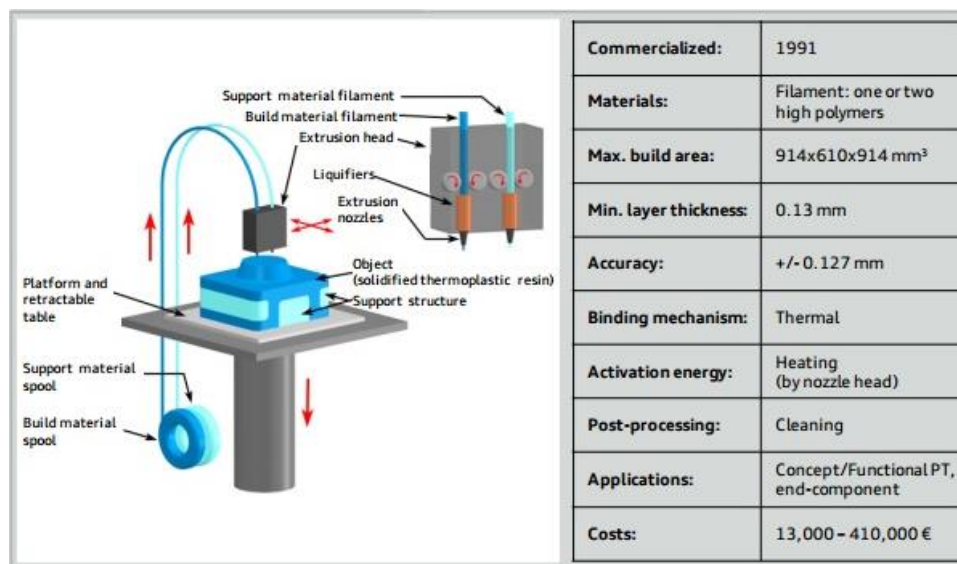
PLA blir mer rinnande då det hettas upp och kan med rätt ventilation ge mycket vassare kanter och noggrannare detaljer utan risk för böjning och sprickor. Det ökade materialflödet kan ge starkare lagerbindning och öka delens hållbarhet.

PLA används främst i livsmedelsförpackningar och överblivet material kan skickas till kommersiella företag för att återvinnas. Materialet är även starkare och styvare än ABS. Delar printade med PLA brukar vara glansigare än ABS-delar. PLA är inte lika bearbetbart som ABS för printern och den lägre smältpunkten gör dess användning för dagliga objekt olämpligt då det finns risk för deformation. Jämfört med PLA är ABS lättare att återanvända. Dess styrka, flexibilitet, maskinbearbetbarhet och högre temperaturrestans gör det ofta till ett föredraget material bland ingenjörer. (Chilson, 2013)

Vissa FDM-maskiner printar även andra termoplaster som till exempel polykarbonat och polyeterimid. Termoplaster kan motstå värme, kemikalier och till viss mån mekanisk stress, vilket gör dem ypperliga till prototyputveckling. Vissa termoplaster kan även användas i livsmedels- och medicinförpackningar.

Tekniken är populär bland industriföretag. Företag som BMW, Hyundai, Lamborghini och Black & Decker använder FDM-tekniken vid produktutveckling och prototypdesign och i tillverkningsprocesser. (Palermo, 2013)

Materialen är förmånligare jämfört med andra tekniker och säljs i rullar. En mängd på 1kg (400m) ABS-material kostar 29 euro, vilket gör tekniken till en av de billigaste. (3D-Tulostus.fi (u.å.) ABS PrintPlus filamentti 1.75m)



Figur 1. Översikt av FDM. Dessa maskiner kan ha ett eller flera munstycken, för stödmaterial.

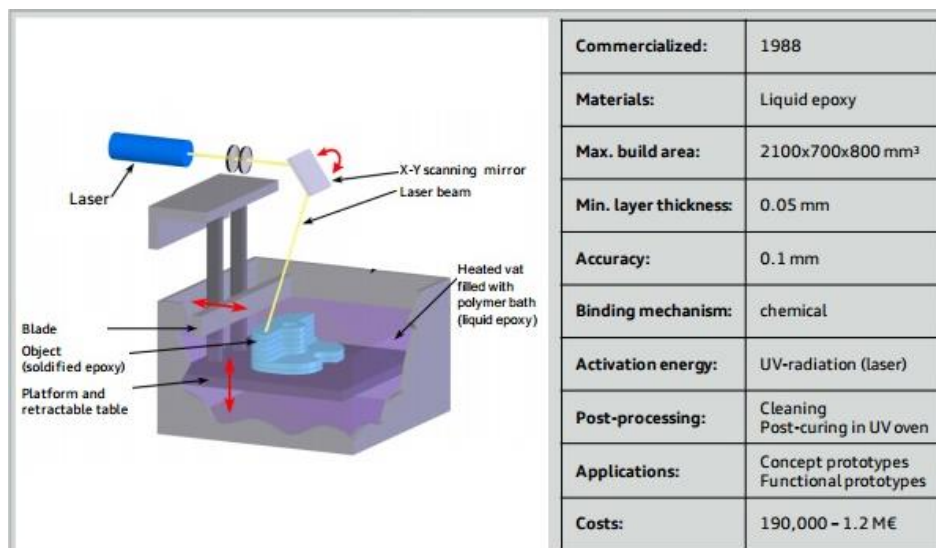
6.4 Stereolitografi

Stereolitografimaskinen och printningsindustrin som vi idag känner till den går tillbaka till år 1986 då amerikanen Charles Hull, grundaren av 3D Systems, uppfann och sökte patent för tekniken. (3D Printing Industry, 2014)

Stereolitografi (SLA) hör till gruppen: härdning av flytande material och använder fotopolymerer (polymerer med fotoaktiverare) som härdas då det flytande materialet utsätts för en laserstråle.

En maskin som fungerar med stereolitografi använder en laser som härdar materialet på bädden enligt x- och y-axel. Då lasern härdat det första lagret sänks printbädden ett lager neråt och en skiva rör sig längs med x- eller y-axeln och jämnar ut ytan av fotopolymer för att inga defekter ska uppstå i modellen. Efter det kan nästa lager printas på. Slutresultatets noggrannhet beror främst på laserstrålens diameter.

Materialen har en låg smältpunkt vid 50 till 66 °C, vilket gör att användningen av delar producerade med denna teknik mindre optimal i industrin. En maskins behållare fylld med material kan kosta flera tusen euro. (Zachmann, 2014). Formlabs säljer till exempel 1 liter SLA-material för 135 euro. (Formlabs, (u.å.) Add Materials)



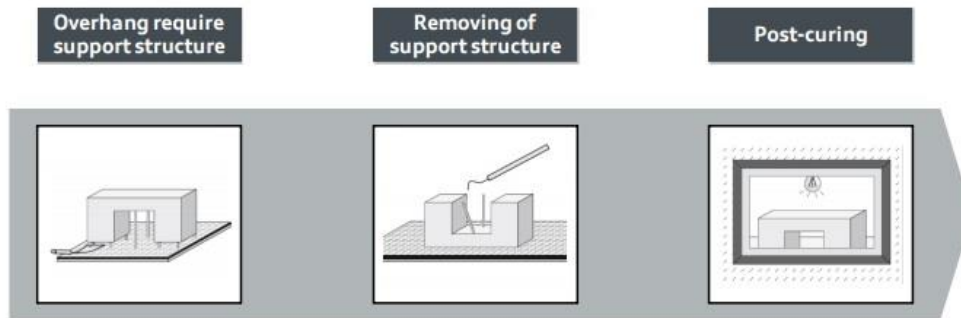
Figur 2. Översikt av SLA-tekniken.



Figur 3. Funktionsprincipen för SLA.

Då modellen printas tillsammans med stödstrukturen måste stödet manuellt tas bort från modellen efter printningen. Beroende på delens önskade egenskaper kan olika polymerer användas, bland annat akryl-, epoxi- eller vinylmaterial. Eftersom materialen utsätts för UV-strålning måste de vara fotosensitiva.

Efter att stödstrukturen tagits bort måste delen behandlas i en UV-ugn för ytterligare härdning. (Zachmann, 2014)



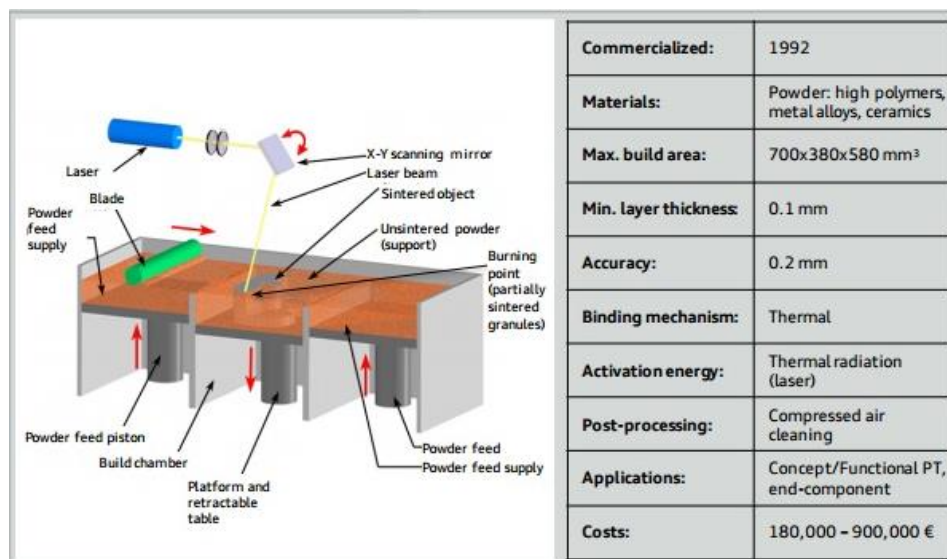
Figur 4. Efterbehandlingsskeden.

6.5 Selective Laser Sintering

Selective Laser Sintering-tekniken (SLS) liknar stereolitografien, men istället för polymerer i flytande form används råvaror i pulverform som sintras/härdas av en laser. På så sätt binder lasern ihop partiklarna med varandra.

I SLS speglas en laser ner på printbädden för att härda och binda materialet. Då det första lagret/tvårsnittet sintrats sänks printbädden ett lager neråt och ett nytt lager av pulver jämnas över modellen för att sintras. På detta sätt byggs modellen upp.

Vid SLS-printning kan flera olika sorters plaster användas, till exempel polyamid (PA), polystyren (PS) och polyetereterketon (PEEK). Grynstorleken påverkar modellens ytkvalité, desto större gryn desto sämre kvalité. Med SLS-tekniken brukar lagertjockleken vara 0,1 mm. Modeller och delar som tillverkas med denna teknik har den högsta hållbarheten jämfört med andra printningstekniker.



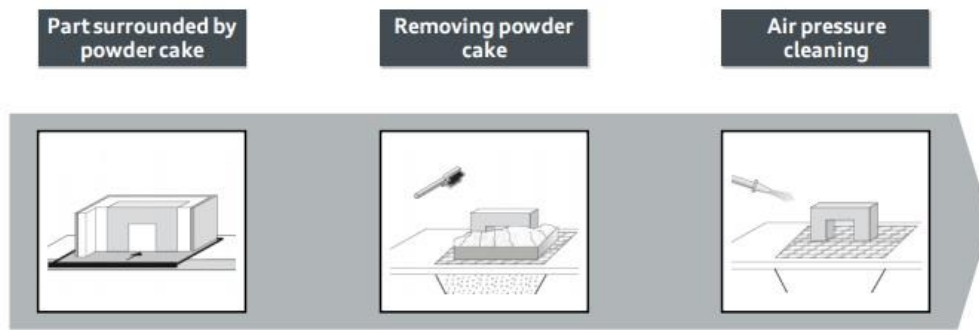
Figur 5. Översikt av Selective Laser Sintering.



Figur 6. Funktionsprincipen för SLS.

Efter printningen måste delen svalna, vilket kan ta flera timmar på grund av den dåliga värmekonduktiviteten som polymerer har. Efter att delen har svalnat kan den omringade pulverkakan försiktigt tas bort och delen rengöras.

Det överblivande materialet kan återanvändas och jämfört med stereolitografi behöver stödstruktur inte skapas då pulvermaterialet fungerar som stöd. På så sätt undviks behovet för borttagning av stödmaterial. (Zachmann, 2014)



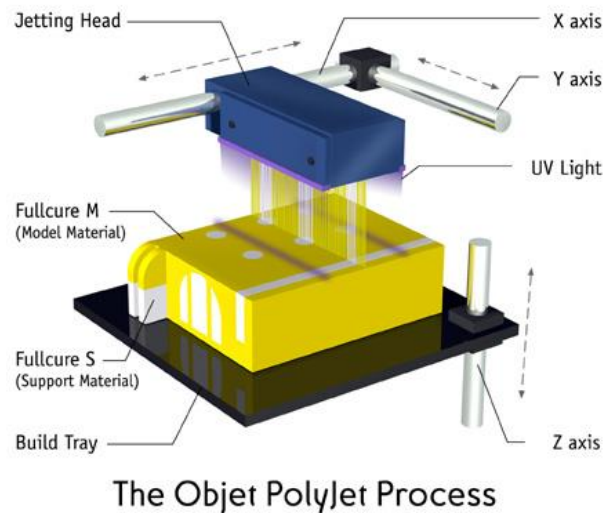
Figur 7. Efterbehandlingskedan.

6.6 PolyJet

PolyJet-tekniken passar speciellt för mindre modeller som kräver findetaljering och noggrannhet.

I en PolyJet-printer sprutar printerkuvudet ut ett väldigt tunt lager av flytande fotopolymerer på printbädden som kan vara ner till 16 μm eller 0,016 mm tunna. Med printhuvudet följer UV-ljus som härdar det nya lagret direkt. Printbädden rör sig sedan neråt för att nästa lager ska kunna läggas på. Två olika fotopolymermaterial används, ett för själva modellen och ett för det så kallade stödmaterialet. Stödmaterialet läggs för att ge stöd åt modellen där det uppkommer komplicerade former som till exempel hägnader, underskärningar och tunna väggjocklekar. (Objet, 2010., PolyJet Technology (pdf))

Nackdelen med PolyJet-tekniken är materialens höga kostnader, då 1 kg kan kosta mellan cirka 250 och 700 euro. Beroende på materialet passar denna teknik för projekt med större budgetar. (R&D technologies, (u.å.))



Figur 8. Översikt av PolyJet.

6.7 Laminated Object Manufacturing

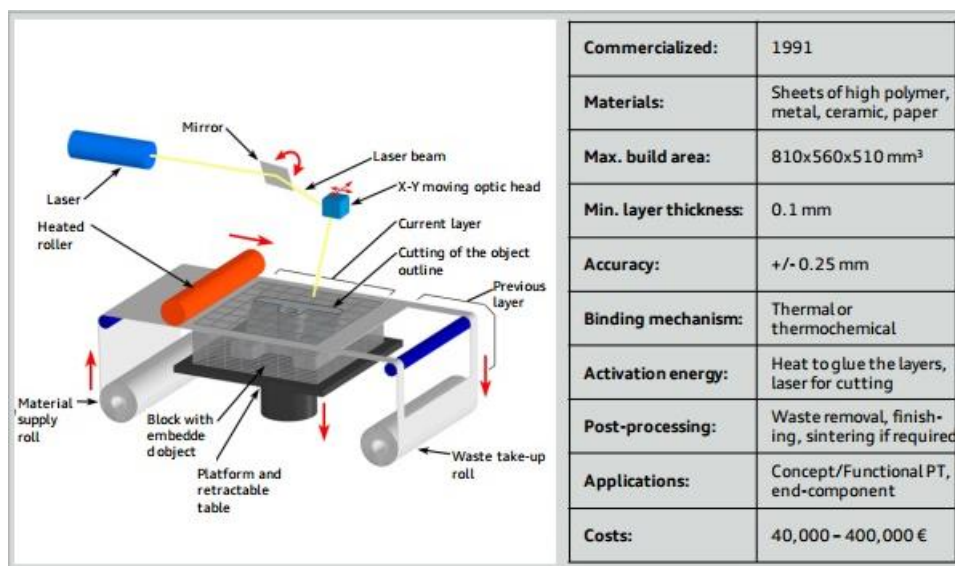
LOM-tekniken skapar tredimensionella delar genom att stapla tunna lager av det valda materialet ovanpå varandra. Denna teknik hör till gruppen: skärning av skivmaterial.

Processen börjar med att materialet matas från rullen till printbädden och en uppvärmd rulle rullar över materialet och fäster det till printbädden. En laserstråle märker ut konturerna på modellens tvärsnitt och skär igenom materialet. Lasern skär snitt tvärs över materialet utanför modellens konturer i form av en kvadrat, och det överblivande materialet förs vidare som avfall till en annan rulle. Sedan sänks printbädden med ett lager och processen börjar från början. Efter att alla lager printats tas blocket, i vilken den färdiga delen ligger bort från printbädden. De områden på blocket där snitten gjorts bryts sedan loss för att få fram den färdiga delen.

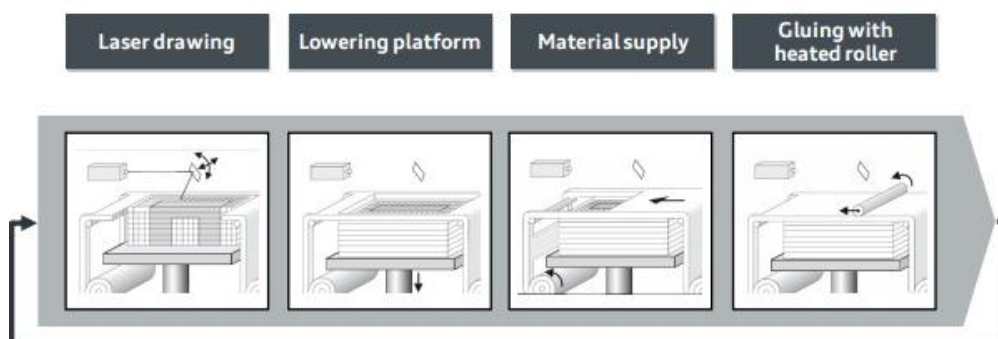
Laminated Object Manufacturing tekniken (LOM) kan använda olika material som plaster, keramer, metaller eller papper som skärs med laser, kniv eller vattenstråle, beroende på materialet. Därefter lamineras lagret till det föregående.

LOM-tekniken är inte lika vanlig som de andra additiva tillverknings sätt och används främst för konceptuella demonstrationer och funktionella prototyper. LOM-tekniken har fördelar vid produktion av stora objekt med stora lagertjocklekar. Genom att stapla

skivorna och limma dem i varandra minskar delens interna tryck, vilket resulterar i delar som är nästan förvrängningsfria. Den mekaniska hållfastheten hos den producerade delen varierar stort beroende på vilket håll man lagrar materialet. Dessutom kräver delarna bearbetning för att få bort det omgivande materialet. Delarnas ytkvalité vid LOM-printning blir inte lika bra som vid de andra additiva tillverkningsteknikerna. (Zachmann, 2014)



Figur 9. Översikt av Laminated Object Manufacturing.



Figur 10. Funktionsprincipen för LOM.

6.8 Direct Metal Laser Sintering

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) är ett snabbt, noggrant och kostnadseffektivt tillverknings sätt för prototyper och produktionsserier av delar avsedda för testning eller användning i slutprodukter. Delar producerade med denna teknik sparar kostnad och tid jämfört med traditionella metallbearbetnings sätt som till exempel spånskärning och gjutning.

DMLS liknar SLS-tekniken och hör till gruppen sintring av pulver. Tekniken använder en laser för att binda fina lager av metallpulver.

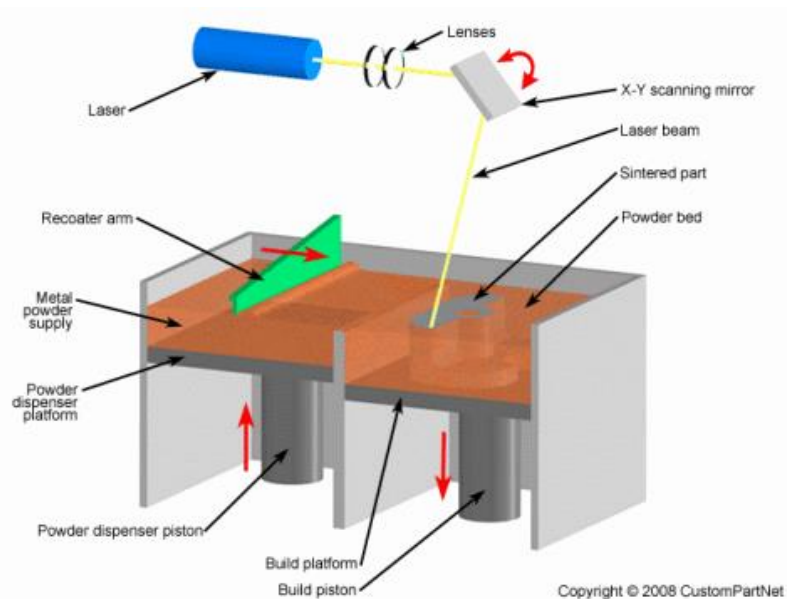
Delen byggs upp så att den fastnar i printbädden för att inte rörelser och störningar i printkvalitén ska uppstå. Stödstrukturer måste tillsättas i CAD-modellen för ytor som lutar med minst 45 graders vinkel, då det omringande pulvret inte själv klarar av att hålla det smultna materialet på plats.

Färdiga delars kvalité och mekaniska egenskaper kan jämföras med gjutgods eller maskinbearbetade delar och lämpar sig för användning i samma områden som dessa.

Precis som i SLS-tekniken kan det överblivande materialet från printningsprocessen återanvändas.

DMLS används i flera olika industrisektorer, bland annat flyg-, bil-, vapen- och medicinindustrin. Den används till exempel för att printa speciella skräddarsydda verktyg som inte annars tillverkas. Också metallformer för formsprutning eller gjutgods kan tillverkas.

Det finns flera olika material att välja mellan, till exempel rostfritt stål, aluminium, nickellegering och titanium. (3T RPD Ltd, (u.å.) Metall Additive Manufacturing (AM) Using Direct Metal Laser Sintering (DMLS))



Figur 11. Översikt av DMLS.

7 3D-printning jämfört med formsprutning

Formsprutning går ut på att värma upp plastmaterial och pressa/spruta det smultna materialet i en metallform. Då materialet svalnar i formen öppnas de båda formhalvorna för enkel borttagning av den färdiga delen. Processen tar några sekunder. Efter borttagningen av färdiga delen börjar processen om från början. Denna tillverkningsmetod är populär i masstillverkning, eftersom tekniken ger en snabb produktionstakt.

Den största skillnaden mellan printning och formsprutning är förmågan att producera olika kvantiteter. Eftersom printning är kostnadseffektivt i en mindre produktionsmängd lämpar sig detta tillverknings sätt bättre för en snabb produktion av enskilda produkter. När produktionsmängden ökar blir formsprutning däremot kostnadseffektivare, vilket kan förklara varför denna teknik används för massproduktion av nästan alla plastdelar i dagens tillverkningsindustri.

Det finns många andra faktorer som måste beaktas när val av tillverkningsmetod för prototyputveckling görs. En printad prototyp går inte nödvändigtvis att tillverkas med traditionella tillverknings sätt eftersom de flera formrestriktioner som uppstår för en formsprutad produkt framkommer inte vid printning. Riktlinjer i designen måste beaktas. Fel väggtjocklek kan leda till oönskade böjningar i formen. Punkter för produktens borttagning från formen måste beaktas samt hålet där materialet ska sprutas in. Även materialspridningen i formen måste beaktas.

Båda tillverknings sätt har sina för- och nackdelar. 3D-printning är en ny och växande teknik. Även om det finns flera sätt att printa fungerar alla tekniker enligt samma princip det vill säga materialen värms upp, tillsätts på ett bestämt område och kyls sedan snabbt för att härdas på plats. 3D-printning tillåter tillverkning av komplexa former utan speciellt kunnande i verktygets rörelse, som i mera traditionella tillverkningsmetoder. En annan sak som bör beaktas är materialurvalet för båda metoder. Medan det finns flera material som går att formsprutas kan för tillfället bara en handfull material användas för

printning. Det betyder att en printad produkt med största sannolikhet kommer att avvika i utseende, känsla och mekanisk egenskap. (Trevor, 2013)

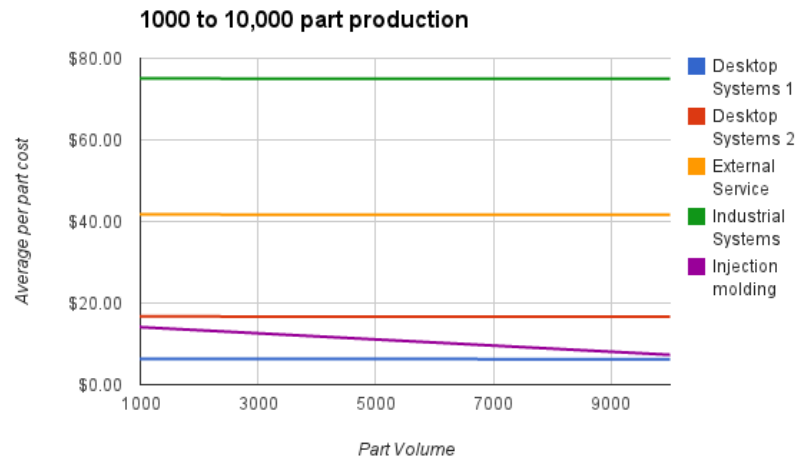
3D-printning är ett produktivt och relativt noggrant tillverknings sätt. Till och med de billigare FDM-maskinerna är bra verktyg för prototyp- och designutveckling. Dock har detta tillverknings sätt inte börjat användas för kommersiella produkter än. Den största delen av plastprodukter tillverkas ännu med formsprutningstekniken som har varit standarden i produktion av plastdelar sedan dess början år 1872.

Vad beror det på? De flesta experterna anser att tekniken är för dyr för att tävla med formsprutning. Men är den egentligen? Företaget Type A Machines i Kalifornien har undersökt möjligheten att tillverka massproduktionsvolymerna med en grupp av FDM-printrar och teoretiskt sätt lyckats producera med billigare styckpris jämfört med formsprutning med liten marginal.

Det betyder dock inte att den egna 3D-printern skulle prestera bättre än stora produktionsföretag. En orsak till resultatet var att företaget använde sig av flera printrar, hela produktionsgolvet fyllda av billiga maskiner som tillsammans kunde tillverka upp till 10 000 produkter.

Då produktionen sätts upp rätt och alla maskiner arbetar i rätt takt lyckas alltså dessa ”printningsenheter” slå formsprutning både i produktionshastighet och kostnad.

En huvudprincip bakom produktionen är att ju mer som produceras desto lägre blir styckpriset. Investering i formsprutningssystem är väldigt dyrt. Varje gång en ny produkt ska produceras kräver det en metallform, vilket ökar kostnaderna. En liten produktionsmängd betyder ofta högre styckpris. Det är här som denna ”3D-farm” kommer in i bilden. För priset av ett formsprutningssystem kan man köpa ca tjugo printrar. Enligt grafen lyckades man hålla styckpriset lägre med flera billiga maskiner än formsprutningen när produktionsmängden var under 10 000 styck. Det berodde delvis på effektiviserad arbetsdrift. Så fort produktionen ökades över 10 000 styck blev det billigare med formsprutning. Dock måste det påpekas att resultatet främst beror på produktens geometri och storlek. Ju större och mer invecklad form, desto längre tid tar det att printa vilket inverkar på resultatet. (Alec, 2014)



Figur 12. Formsprutningen passerar 3D-printning i styckpris efter 10 000 stycken.

Diagram Information Figures 1-3:

- **Injection Molding**
Volume costs drawn from average quotes from injection molding service bureaus.
- **Industrial Systems**
Machine cost of \$60,000, amortized over 1 year with projected 3,900 hour annual usage. 1/10th person operator burden (1 operator for 10 systems).
- **External Service**
An external service bureau at \$10/hr. (current market rate for low-cost services).
- **Desktop 3D Print Cell Systems 2**
Machine cost of \$2795 and identical usage and labor to industrial systems
- **Desktop 3D Print Cell Systems 1**
Machine cost of \$2795, identical usage, but more efficient labor (20 machines per operator and 50% 'lights-off' running).

Figur 13. Teckenförklaring

8 Förväntningar jämfört med verkligheten

Visionen för framtidens 3D-printning medför möjligheten att ladda ner produkter eller designa dem själv med hjälp av CAD-program, applikationer eller skannrar, och sedan printa dem antingen hemma eller i specifika butiker. Men som många andra saker är 3D-printning överhajpat.

Man visar bilder av komplicerade produkter som i själva verket är gjorda i ett enda stycke. De kan verka bestå av flera olika delar av gummi, metall och plast, men i själva verket har de tillverkats av ett och samma plastmaterial, varje del med sin egen färg. Produkten kan se realistisk ut, men då funktionaliteten saknas är det bara en modell för visualisering, ett exempel där verkligheten inte uppfyller förväntningarna.

Ett annat exempel kan vara plaster med komplexa former som är printade med maskiner värda hundratusentals euro, och som efteråt bearbetats och behandlats i timmar, dagar eller till och med veckor med dyr och professionell arbetskraft.

Det lyfts fram fall där man lyckats printa fungerande vapen, olika sorters material och mekanismer, vilket får folk att tro att de kan nå liknande resultat genom att köpa den billigaste printern. (Allen, 2013)

8.1 Exempel

Här följer några exempel på varför verkligheten inte uppfyller förväntningarna inom 3D-printning för tillfället:

8.2 Förväntningar

Man har sett en printad violin, en speciell sko eller en skiftnyckel som verkligen fungerar. Alla tillverkade med den bästa och dyraste maskinen som använder laser eller polymerer. Man föreställer sig kunna framställa likadana objekt utan insats och expertis med en printer som kostar 800 dollar eller mindre.

Namnet 3D-printning får det att låta så enkelt. Ifall termen ”rapid prototyping” användes skulle det verka för invecklat.

8.3 Hållbarhet

Printade delar/produkter är inte lika hållbara som traditionellt producerade delar. Sättet att lägga till lager på lager ger möjlighet till flexibel formbildning, men är även en nackdel i form av minskad styrka jämfört med formsprutning där objekten har jämnare materialspridning och större hållbarhet. Ifall objektet är ihåligt kan ett korsmonter printas inuti för ökad styvhet.

8.4 Ytjämnhet

Människor föreställer sig att plastprodukter är glansiga och har jämna ytor. Med printning är det oftast tvärtom med grova linjer på grund av lagring av material. Beroende på tekniken går det att få jämnare ytor. Det går att bearbeta ytan i efterhand, men det kräver arbete och kemikalier som gör att man förlorar fina detaljer.

8.5 Kostnad

Kostnaden består av mängden material som används. Ju mer material som går åt desto dyrare blir objektet. Då man inte behöver verktyg eller kunnande i skulptering undviker man mycket arbete, vilket gynnar designare. Men hjälper det egentligen folk som bara behöver en billig ersättande plastdel till gräsklipparen?

Materialen kostar mera än själva råmaterialet. De billigaste materialen kostar ca 50 dollar per kilo och ända upp till 750 dollar för vissa material, vilket leder till dyra produkter. En person som önskar sig en häftig hjälm eller annan kringutrustning från ett videospel kan ofta bli besviken då de får reda på hur mycket saken kommer att kosta.

8.6 Snabbhet

3D-printning sägs vara snabb. I verkligheten kan det ta flera timmar, till och med dagar. Det går att förkorta printningstiden genom att göra lagren tjockare, vilket i sin tur leder till sämre noggrannhet och ytkvalitet.

8.7 Användning

Då man talar om de billiga maskinerna som använder FDM-teknik kan man bara printa med ett sorts plastmaterial åt gången. Hur många saker eller apparater i hushållen är gjorda endast av bara plast och ingenting annat? (Allen, N., 2013. Why 3D Printing Is Overhyped (I Should Know I Do It For A Living))

8.8 Material

De plastmaterial som används i 3D-printning är polymerer. Polyamidmaterialet som används i SLS-tekniken är beständig mot vatten, men dock inte helt vattentätt. De

producerade delarna är porösa, vilket gör dem olämpliga för användning i vanliga hushållsartiklar som till exempel en kaffemugg.

I föremål producerade med FDM-teknik uppstår det små mellanrum mellan lagren, så föremålen är inte vattentäta.

Med efterbehandling kan föremålen göras vattentäta, men det kräver täckning med lack, aceton eller epoxi. (Sculpteo (u.å.) Plastic)

9 Framtida möjligheter

Till den som inte har bekantat sig med 3D-printning kan detta additiva tillverkningsätt låta futuristiskt. I verkligheten är tekniken lätt att förstå. Man kan säga att 3D-printning har utvecklats från att spruta lager av bläck på ett papper till att stapla lager på varandra av ett mera konkret material, tills ett objekt formats. Genom att låta en maskin tillverka saker i olika former enligt behov och på plats kan man säga att 3D-printning innebär en ny era av tillverkning.

Då nya sätt att implementera denna teknik ökar och kostnaderna sjunker kan man se att fler varor kommer att tillverkas nära eller på inköpsstället. Det kan även innebära produktion i själva hushållen. Många varor som är beroende av stora och effektiva produktionssätt kommer att produceras lokalt. Även då kostnaden per styck stiger kommer produktionssättet kompensera för produktionskostnaderna genom att eliminera behovet för transport och lagerhållning.

Idag produceras till exempel bilar av några hundra fabriker runt om världen, men kan genom printning en dag komma att tillverkas i varje matropolområde. Delar kan produceras hos bilhandlaren eller på reparationsverkstäder och i den takt de behövs.

En annan innebörd är att produkten blir skräddarsydd för varje enskild kund och att förändringar i produkten bara kräver förändringar i programmet. Kreativitet för att möta kundens behov och krav kommer att vara det nya nyckelordet på samma sätt som kvalitet innebär idag. Underleverantörs-, tillverknings- och försäljningskedjorna måste tänka om vad gäller affärsstrategi. En annan konsekvens med större effekt är när printning får ett större fotfäste och fabriker som har gjort Kina till världens verkstad förlora delar av sin kraft. (D'Aveni, 2013)

10 3D Systems, Projekt Ara och det nya tillverknings sättet

10.1 3D Systems

3D Systems är ett av de största produktutvecklingsföretagen på marknaden. Företaget grundades år 1987 av Chuck Hull i Kalifornien. År 2003 ersattes han av Abe Reichental som idag fungerar som företagets verkställande direktör. I slutet av 2009 började 3D Systems förvärva andra företag, och som ett resultat har företaget blivit en storspelare i dagens 3D-printningsindustri. (Brooke, 2013)

10.2 Det nya tillverknings sättet

Så här långt vet vi att de stora och dyraste printrarna är väldigt långsamma. Ifall man inte producerar en sats på några hundra små produkter lönar det sig att använda printning endast för produktutveckling.

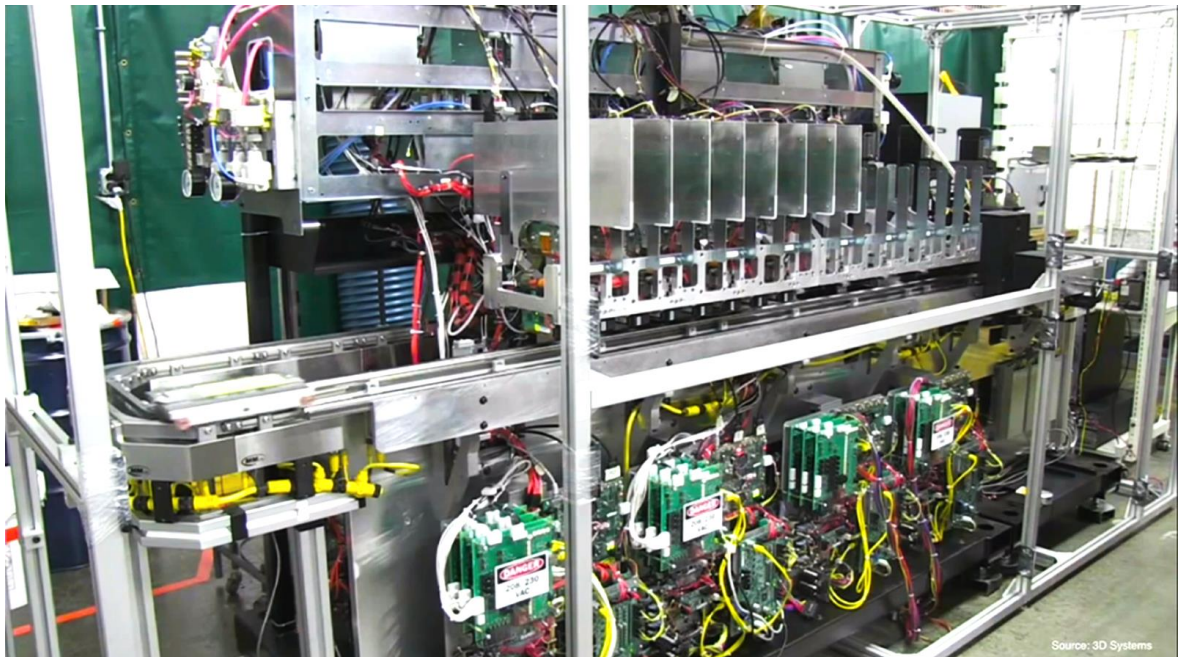
3D Systems har lyckats lösa det additiva tillverknings sättens brister, främst långsamheten, genom att implementera en ny teknik som tar bort onödiga rörelser som dagens printrar har. En FDM-printer använder till exempel en printbädd som rör sig tillsammans med ett munstycke. På grund av dessa rörelser uppstår även plötsliga stopp och hastighetsförändringar under printningsprocessen då maskinen måste byta riktning.

Föreställ dig en FDM-printer som bara kan printa i en rak linje. En sådan maskins ”mm per sekund”-förhållande är mycket större jämfört med en printer som måste ändra riktning efter ett visst antal centimeter, vilket innebär stopp mellan accelerationer.

Företaget har uppfunnit ett nytt sätt att printa som gör det möjligt att printa med höga hastigheter utan avbrott.

I detta tillverknings system rör sig delarna via löpband till nya printnings skeden efter att vissa materiallager har printats. Systemet kan utnyttja tiotals eller till och med hundratals printhuvuden eller munstycken som printar med höga hastigheter i varsin specifik riktning på ett löpband. Då ett nytt material ska läggas till förs delarna från löpband A till B, där det nya materialet printas på.

Ett sådant system skulle drastiskt kunna ändra tillverkningsanläggningarnas funktionssätt. Företag skulle inte längre behöva speciella anläggningar för specifika delar, eller över huvud taget behöva en egen fabrik, då systemet sparar utrymme. Istället skulle en anläggning snabbt kunna ändra tillverkning från till exempel knivar till bilmotorer via mjukvaran som styr printrarna. Det nya produktionssystemet för Projekt Ara kommer troligtvis att lanseras i en nära framtid. (Krassenstein, 2014)

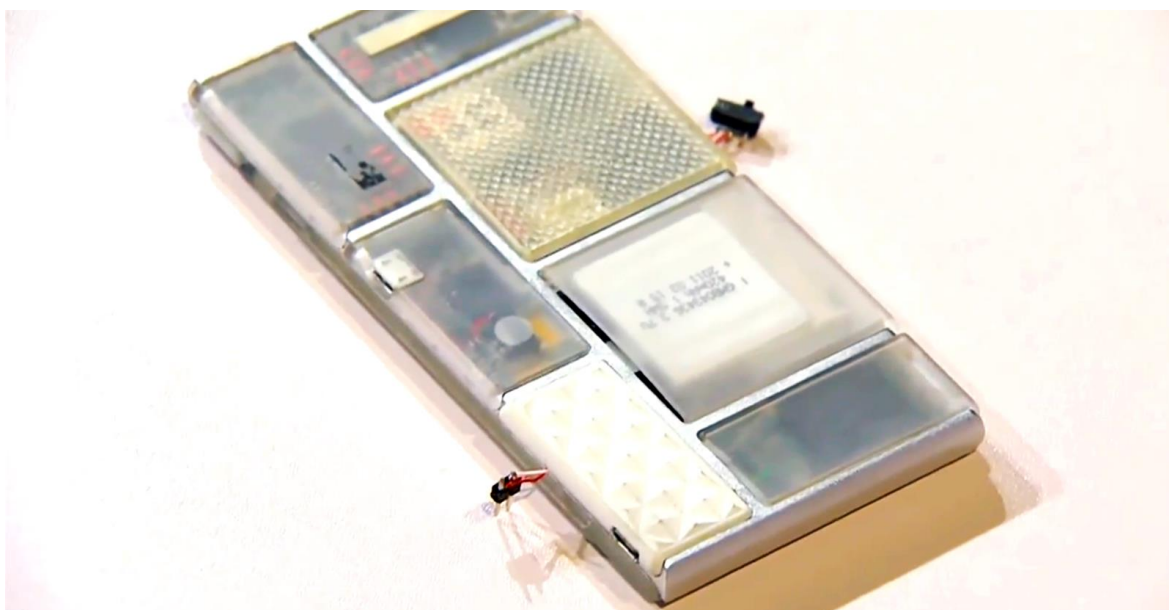


Figur 14. 3D Systems prototypmaskin för det nya tillverkningsättet. Man kan se transportbandet och raden av extrudermunstycken ovanför.

10.3 Projekt Ara

Företag som idag använder printning för slutprodukter opererar vanligtvis i en liten marknad där produkten är komplicerad eller specialiserad för ett ändamål och därför inte produceras i massvis. Eftersom printning idag minskar produktionstakten är det inte lönsamt att använda detta tillverkningsätt för massproduktion. Detta kommer dock att ändras tack vare samarbetet mellan Google och 3D Systems.

Målet med Googles Project Ara är att tillsammans med 3D Systems nya tillverkningsätt printa smarttelefonmoduler som lätt kan bytas ut eller läggas till en telefon. Googles vision för detta projekt är att låta kunderna köpa en ny modul och trycka fast den i telefonen, istället för att köpa en ny telefon varje gång något går sönder eller modellen blir gammal. Man kan beskriva det som att äta på buffé, men istället för mat väljer man moduler. Om du till exempel inte behöver en kamera i telefonen och istället vill ha mer batteritid kan du ta bort kameramodulen och installera en extra batterimodul istället. (Krassenstein, 2014)



Figur 15. Prototypmodulerna för telefonen.

11 3D-skanning

Det finns flera olika apparater som kan kallas för 3D-skanner. En 3D-skanner mäter den fysiska världen genom användning av laser, ljus eller röntgen för att skapa data av kompakt packade punkter eller polygonnätverk. Den kan ha flera namn bl.a. 3D-digitaliserare, laserskanner, vitljusskanner och industriell datortomografi. Det gemensamma med dessa apparater är att de fångar geometrin av fysiska objekt med hundratusentals eller miljontals mätningar.

Det finns många olika sätt att skanna. Vissa tekniker passar för korta distanser och andra för medel- och långa distanser.

11.1 Historia

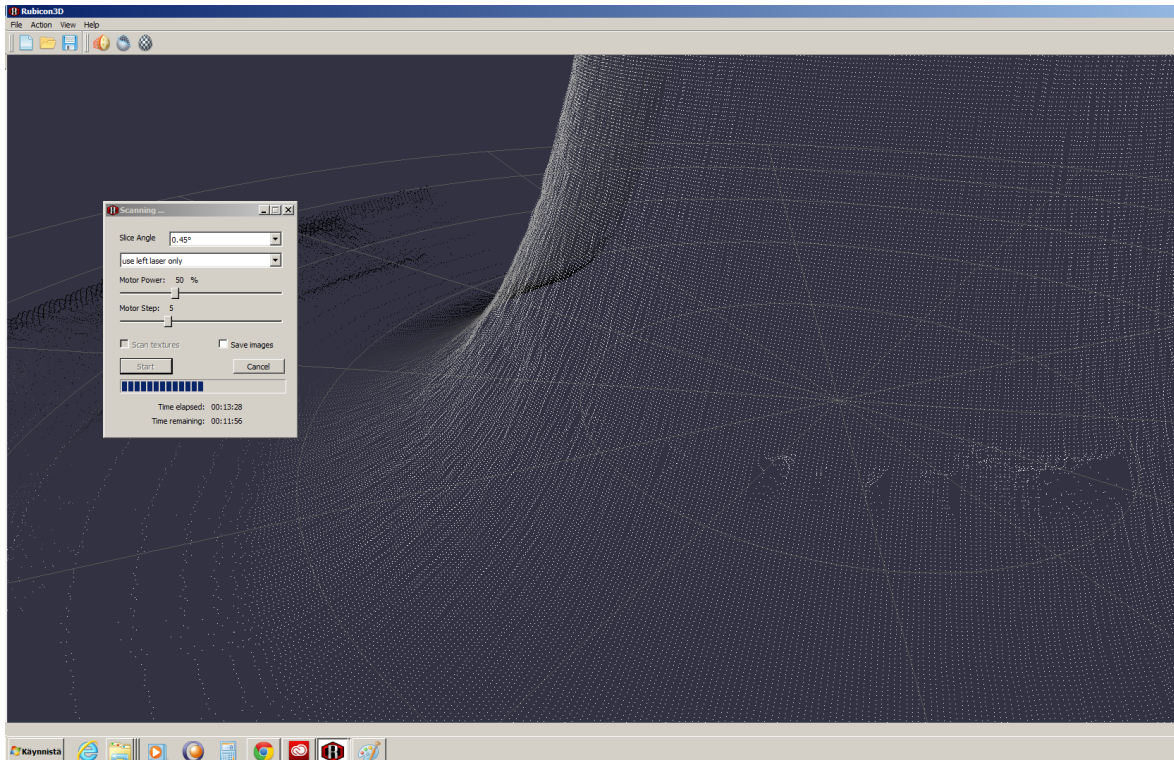
3D-skanning användes redan i början av 1990-talet. De första apparaterna var enkla men gav på samma sätt punkter i både x- y- och z-axel och bestod av en CNC-fräsmaskin där fräshuvudet bytts ut mot ett tryckkänsligt instrument. Det nya huvudet fördes längs ett programmerat rutnät i x- och y-axel och sänktes ned vid vissa punkter så att z-koordinaterna registrerades då huvudet kom i kontakt med föremålet. Då utvecklingen gick framåt och datorerna blev allt mera kraftfulla kunde man snabbt få in flera mätpunkter.

Tekniken blev snabbare men krävde ändå att objektet låg inom mätgränsernas volym. Utvecklingen kom i form av optiska enheter som kunde mäta z-axeln och läsa hela linjer av punkter. Då en laser eller andra linjer av ljus lyser på objektet registreras vinkeln av en kamera. Då linjen böjer sig över objektet registreras flera punkter och deras avstånd i z-axel.

Detta optiska sätt att skanna, eller så kallat ”non contact” sätt, ledde till skannrar som använder en laser eller ett strukturerat mönster som projekteras på objektet. Antalet mätpunkter blev tusentals per sekund, och istället för mätning i färdigt gjorda rutnät fick man nu så kallade punktmoln med vilka man kunde räkna avstånd och volymer.

Dagens skannrar kan delas in i så kallade ”contact”- och ”non-contact” kategorier.

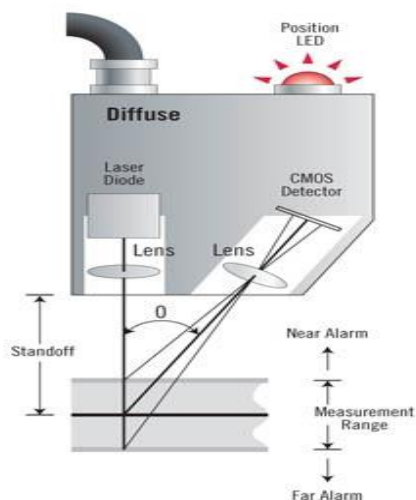
(Creative Tools (u.å.). 3D- skannrar)



Figur 16. Exempel på punktmoln. (Skärmdump från Rubicon 3D)

11.2 Laser triangulering

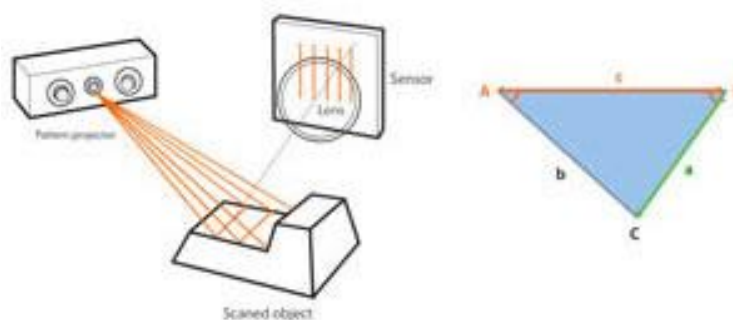
En skanner för lasertriangulering använder antingen en laserlinje eller laserpunkt för att skanna ett objekt. En sensor mottar laserns reflektion från objektet. Då lasern reflekteras från objektets yta bedömer systemet vinkeln med vilken ljuset återvänder till sensorn och kan med hjälp av vinkeln beräkna det trigonometriska avståndet mellan skannern och objektets yta. (3DSystems (u.å.) A guide to 3D scanner technology)



Figur 17. Funktionsprincipen hos laser triangulering.

11.3 Strukturerat ljus

Denna typ av skanner använder också trigonometri för att räkna ut avståndet, men istället för laser projekteras ett linjärt mönster på objektet. Genom att undersöka de enskilda linjernas kanter beräknar skannern avståndet till objektet. Istället för att se en laserlinje ser systemet en kant av det projekterade mönstret. (3DSystems (u.å.) A guide to 3D scanner technology)



Figur 18. Funktionsprincipen hos skanning med strukturerat ljus.

11.4 3D-mätning

3D-skannrar som använder kontaktmetoden kallas för kontaktmätmaskiner och brukar använda en avkännare för att registrera kontakten med objektytan.

Bärbara kontaktmätmaskiner brukar bestå av en arm som kan röra sig i ett visst antal frihetsgrader. I armen finns flera sensorer som registrerar armens olika vinklar då den rör sig. Avkännarens läge i ändan av armen räknas ut med beräkning av varje leds rotation och vinkel.

Kontaktmätmaskiner används främst i tillverkningsindustrin och kan vara mycket noggranna. Denna typ av skanning är relativt långsam jämfört med andra tekniker eftersom man själv måste placera armen. (University of Michigan 3D Lab (u.å.))



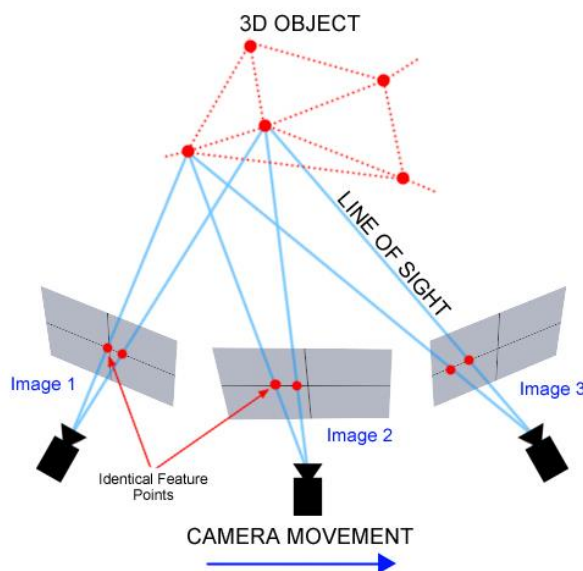
Figur 19. En kontaktmätmaskin bestående av en arm med flera frihetsgrader.

11.5 Fotogrammetri

Principen bakom fotogrammetri är triangulering. Genom att ta minst två bilder av objekt från två olika ställen kan man framställa en s.k. siktlinje från kamerans position till punkter på objektet. Dessa siktlinjer korsas matematiskt för att producera 3D-punktkoordinater av objektet.

I en perfekt värld skulle två bilder räcka för att konstruera den tredje dimensionen de representerar, men i verkligheten krävs det fler bilder än två för att få flera punkter (information) och på så sätt en noggrannare modell. De enskilda punkt koordinater som skapas är fotogrammetrins slutresultat.

Då man vill skapa en modell av hög kvalitet med fotogrammetri krävs bra kvalitets bilder. (Geodetic Systems, (u.å.) What is Photogrammetry?)



Figur 20. Funktionsprincipen hos fotogrammetri.

11.6 Möjligheter och användningsområden

Generellt sätt passar skanning bättre för organiska former och 3D-mätning för geometriska former. Laserskanning lämpar sig bättre för större objekt, och ifall objektet är ömtåligt behöver det inte röras under skanningen (till exempel historiska artefakter). Mätning används då noggranna mätresultat krävs för geometriska objekt. Det kan handla om objekt som har definierade former, som cylindrar och klot. (Direct Dimensions (u.å.) Almost Everything You Always Wanted To Know About 3D Scanning)

Då 3D-skannrar blir allt vanligare och tekniken mer utvecklad kommer de bidra till en rad olika förbättringar hos industriföretag. Denna teknik ger möjligheten att lätt skapa ett

digitalt produktbibliotek, vilket innebär att konsumenten kan nå hundra- till tusentals produkters digitala modeller i nätbutiken.

Men det är inte bara för marknadsföring skanningen kommer till nytta. Tekniken ger också möjlighet till kopiering av metallformer och att ändra deras storlekar för att få ett bredare sortiment av olika storlekars produkter.

Kvalitégranskning både för produkter och metallformer kan göras och jämföras med till de originella CAD-modellerna för att se till att inga deformationer eller förvrängningar skett. (Applied Precision (u.å.) Plastic Injection Moulding)

11.7 Nackdelar

Skanning lämpar sig endast för föremål som inte har ihåligheter. Skanning av en flaska ger till exempel bara de yttre formerna. För inre former krävs bearbetning i ett CAD- eller annat modelleringsprogram.

Dessutom är professionella skannrar dyra och kräver kunnande, och det finns andra sätt att duplicera delar till exempel med silikongjutning. (Allen, 2013)

12 Reverse Engineering

Reverse Engineering är en process där målet är att duplicera en existerande komponent, monteringsgrupp eller produkt utan tekniska ritningar, dokumentation eller CAD-modeller. Processen kan ses som ett sätt att identifiera komponenter och deras relationer till varandra, skapa kopior av ett system i en annan form och skapa direkta fysiska representationer av systemet. Reverse Engineering används bland annat i IT-branschen, bilindustrin samt tillverkningen av konsumtionsvaror, elektronik och mekaniska designer.

När en ny maskin lanseras på marknaden kan till exempel ett konkurrerande företag köpa maskinen och ta isär den för att inspektera hur den fungerar och är byggd. I väg- och vattenbyggnadsbranschen kan man kopiera föregående broritningar då man vet att de fungerar och minskar risken för olyckor.

I vissa situationer använder designers lera, trä, gips eller skumgummi för att ge form åt en idé, men slutligen behövs det en CAD-modell för att möjliggöra produktion.

När produkter har svåra organiska former kan det vara svårt eller omöjligt att rita dem i ett CAD-program. Det kan leda till att den slutliga CAD-modellen inte är exakt likadan som den fysiska produkten eller skulpteringen. Reverse Engineering erbjuder en lösning till detta problem eftersom den fysiska modellen fungerar som en informationskälla för CAD-modellen. Detta kallas för en part-to-CAD-process.

En annan orsak till användning av Reverse Engineering är att det förkortar produktutvecklingstiden. På den globala konkurrenskraftiga marknaden söker tillverkare nya sätt att förkorta lanseringstiden av nya produkter.

Tillverkare av plastprodukter försöker förkorta utformningstiden av metallformer. Genom användning av Reverse Engineering kan en fysisk produkt snabbt sparas i digital form, bearbetas och exporteras för tillverkning eller prototyputveckling.

Reverse Engineering kan behövas då:

produkten inte längre finns eller tillverkas, det förekommer brister i produktens dokumentation, den ursprungliga designen eller dokumentationen inte längre finns eller tappats bort, produkten har brister i designen och måste bearbetas, produkten kräver förstärkning för att utstå slitage, analys av goda och dåliga sidor i en konkurrents produkt behövs eller underleverantören inte längre kan tillhandahålla nya delar.

Innan processen kan påbörjas bör en välplanerad livscykel-analys och lönsamhetsanalys utföras. Reverse Engineering är oftast kostnadseffektivt då saken eller objekten som ska kopieras normalt kräver stora produktionsinvesteringar för traditionella produktionssätt eller ifall delen eller komponenten är väsentlig för ett system.

Reverse Engineering av mekaniska delar innebär skapande av tre-dimensionell data i form av punktmoln genom användning av skannrar. (NPD- Solutions (u.å.) What Is Reverse Engineering?)

13 Undersökning av olika skanningsmetoder

För att demonstrera vilka resultat man kan förvänta sig med olika skannrar använde jag en blå 330 ml flaska som jag fått av Plastex. De tre olika metoderna representerar en egen prisklass från den relativt billiga och tillgängliga fotogrammetrin till den dyra Atos Core skannern för professionella.

13.1 Skanning med Autodesk 123D Catch

För att demonstrera fotogrammetritekniken använde jag programmet Autodesk 123D Catch, som kan hämtas gratis från programmets egen hemsida. Eftersom jag inte hade tillgång till en professionell kamera använde jag min mobiltelefon. På hemsidan kan läsa om hur man åstadkommer en lyckad skanning och 3D-modell.

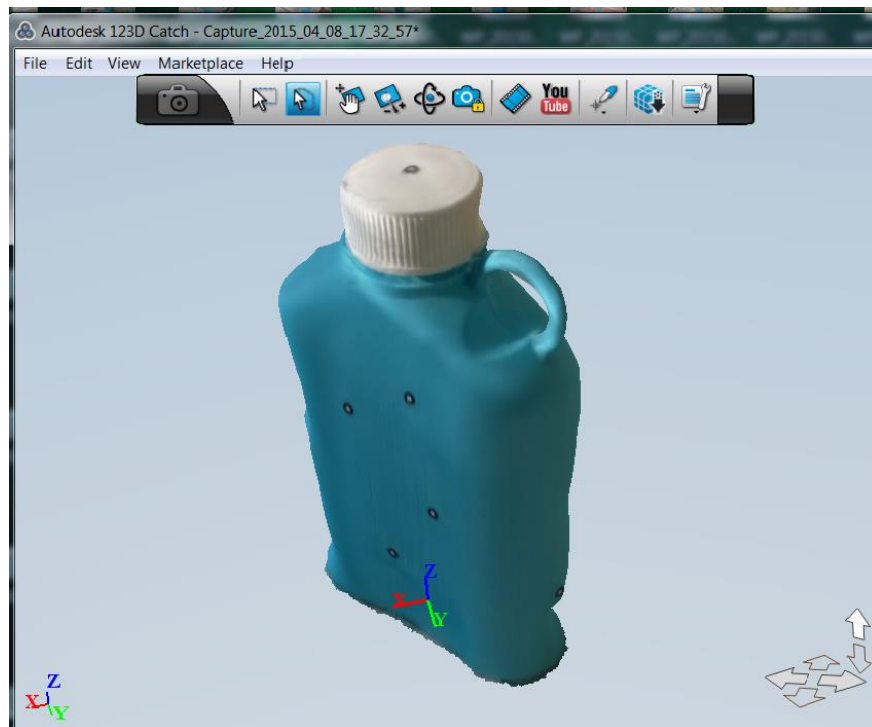
Objektet som skannas ska helst placeras på ett tidningspapper för att programmet lättare ska kunna skilja åt objektet från omgivningen. Objekt som reflekterar ljus, är platta eller genomskinliga lämpar sig inte för skanning. Före själva fotograferingen bör man se till att objektet är jämnt upplyst och att inga skuggor förekommer, då de kan påverka slutresultatet. Objektet bör fotograferas i en krets med ca 20 bilder. Därefter kan man ändra fotograferingsvinkeln och upprepa proceduren för att fånga nya delar som möjligtvis inte tidigare fångats. Under hela fotograferingsprocessen får inte objektet flyttas. För att maximera detaljerna i den färdiga modellen är det rekommenderade antalet fotograferade bilder ca 50–70.

När man har fotograferat objektet ska bilderna läggas till i ett nytt projekt. Efter det kan projektet överföras till programmets server som automatiskt skapar en 3D-modell av de fångade bilderna. När modellen väl har skapats kan onödiga delar raderas med den inbyggda lasso-funktionen. Programmet bygger alltid modellerna med standardangiven ytkvalité (mesh quality). Det rekommenderas att ändra modellens ytkvalité till högsta för ökad detaljrikedom. Modellen kan sedan exporteras och sparas i stl-format.

Det tog cirka 30 minuter att fånga flaskan i digital form. Den största tiden gick åt konverteringen från bilder till modell.

Det slutliga resultatet var sämre än förväntat. Modellen hade förvrängningar i formen, vilket kan ses i figur 21. I fotograferingen rekommenderas användning av en professionell kamera för att få tydligare bilder. Faktorer som påverkade mitt resultat var ojämn belysning av flaskan och att jag använde en mobiltelefon för fotografering.

Om jag hade använt en DSLR-kamera hade resultatet blivit bättre och då hade jag kunnat rekommendera denna teknik som ett relativt snabbt och billigt sätt att fånga produkter i digitalform. Dessa modeller skulle möjligtvis kunna ge stöd åt eller totalt ersätta vanliga produktbilder på företagets hemsida och ge konsumenten en bättre visuell produkt demonstration.



Figur 21. Den färdiga modellen med brister och förvrängningar i formen. (Skärmdump från Autodesk 123D Catch)

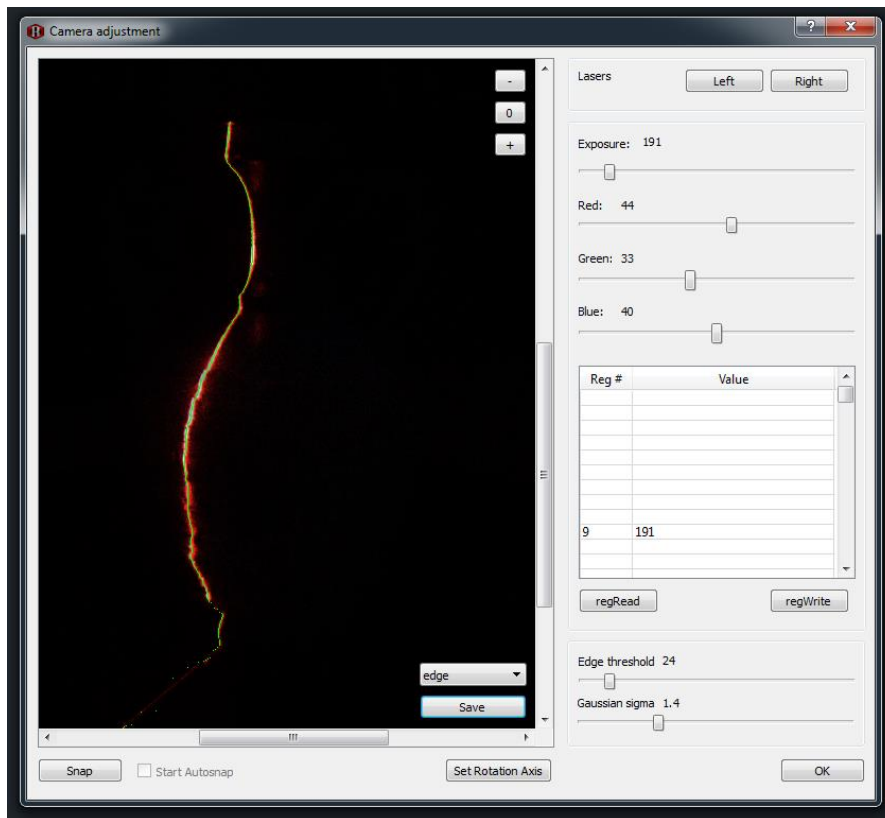
13.2 Skanning med Rubicon

Skannern Rubicon 3D använder lasertriangulering för att skanna objekt. Skannern kan skanna objekt som är max 16,5 cm breda och 16,5 cm höga.



Figur 22. Rubicon-skannern använder lasertriangulering.

Innan man börjar skanna bör skannern kalibreras för att få bästa möjliga resultat. De båda laserstrålarna justeras så att de korsar varandra i mitten av skannbädden. Efter det kan produkten placeras i mitten av skannbädden. Med kameran tas en provbild för att se till att produkten ryms i mätvolymen. Därefter kan man ställa in kamerans slutartid och bildens färgproduktion för att få en tydlig och färggrann bild. Därefter justeras gaussiska sigman och kantens tröskelvärde. Skannern lyser med andra ord med den ena lasern på objektet, vilket lyser upp objektets kontur. En grön linje placeras på konturen och meningen är att den gröna linjen ska justeras så att den följer konturen jämnt och utan mellanrum.

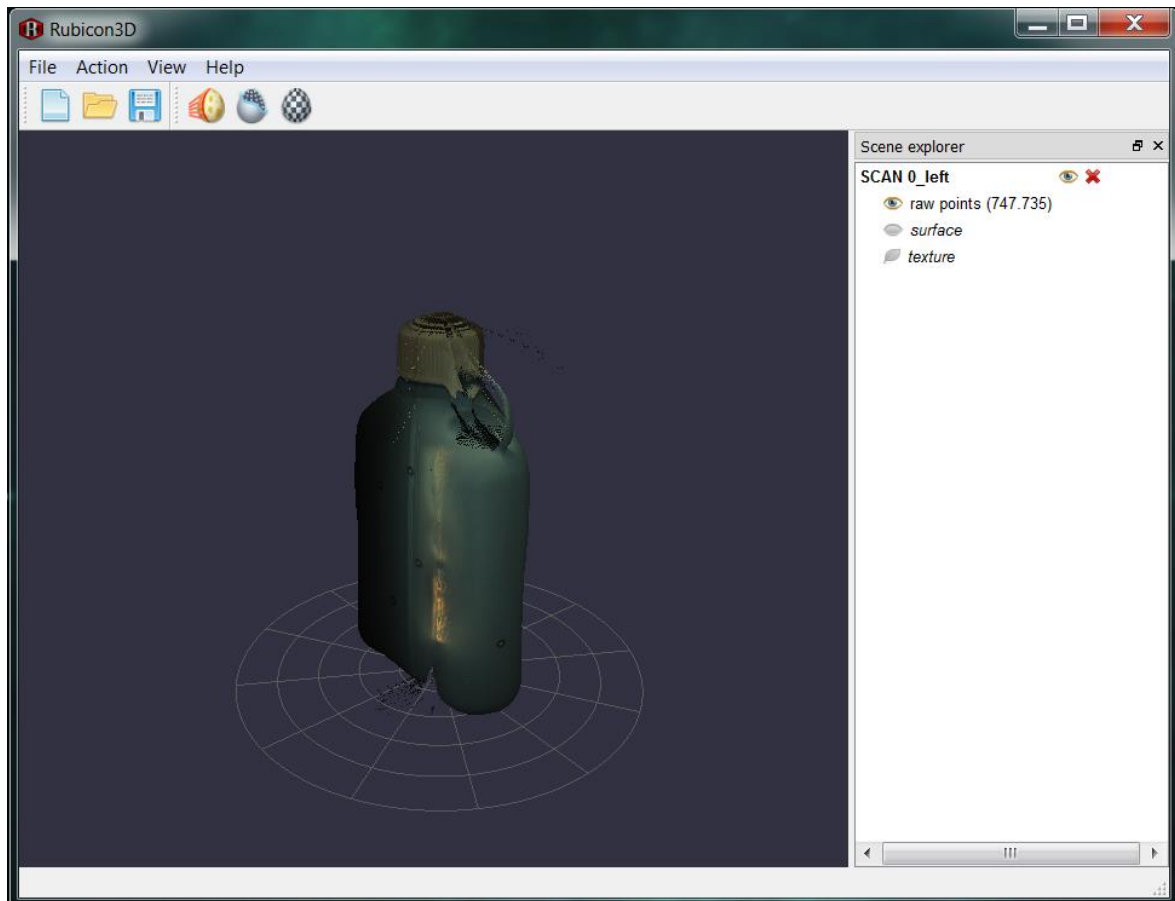


Figur 23. Gaussiska sigman och kantens tröskelvärde justeras. (Skärmdump från Rubicon 3D)

Efter det bör motorns användbara kraft ställas in. Det rekommenderade värdet är 50 %. Man kan välja att använda den ena eller båda laserstrålarna under skanningen, men jag hittade ingen fördel med att använda båda laserstrålarna.

På skanningsresultatet inverkar antalet steg som motorn roterar objektet efter varje mätning. Ju flera steg, desto bättre resultat men längre skanningstid. Det rekommenderade värdet är 5. Med dessa inställningar brukar en skanning ta cirka 25 minuter.

När skanningen är klar bör man städa resultatet genom att ta bort onödiga mätpunkter runt objektet. Ifall hål eller andra mellanrum uppkommit kan de fyllas med funktionen Action/Poisson. Det färdiga resultat kan sparas som en obj-fil.



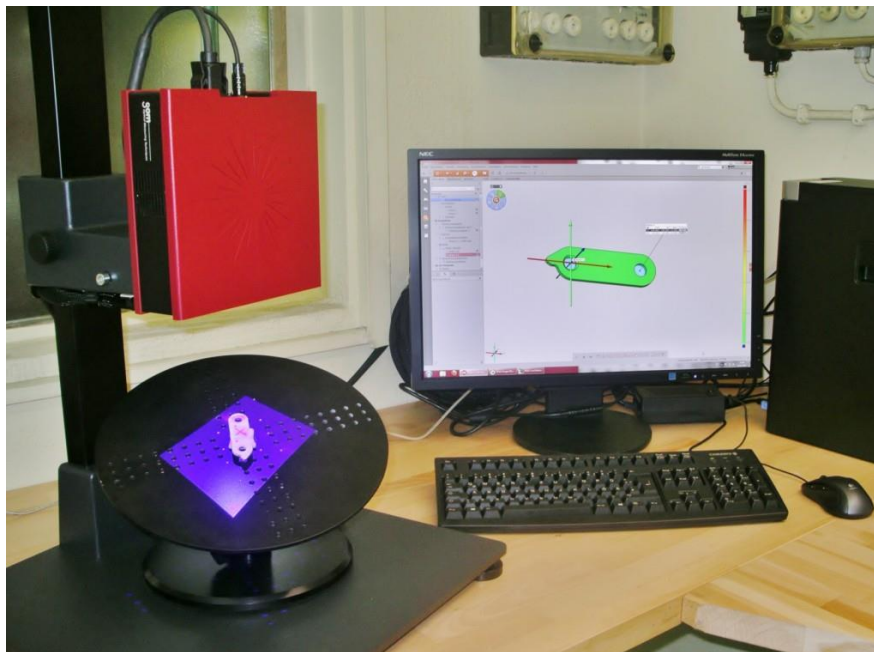
Figur 24. Modellen efter skanning. (Skärmdump från Rubicon 3D)

Denna skanning gav ett misslyckat resultat. Även då flera försök gjordes med olika inställningar resulterade det i liknande resultat. Med brister i formen och delar som fattades helt skulle jag inte rekommendera denna skanner. Skanningsresultatet skulle kunna förbättras med optimerade inställningar, men jag tror inte resultatet hade blivit märkvärdigt bättre.

13.3 Skanning med Gomis Atos Core Essential

Atos Core är en skanner som använder strukturerat ljus för att skanna. Skannern liknar en projektor med två kameror på vardera sidan av projektorhuvudet. Dessa kameror är färdig kalibrerade mot varandra, det vill säga vinkeln där deras siktlinjer korsas är bestämt. Denna vinkel resulterar i en distans från enheten till siktlinjernas korsning. Distansen kallas för mätdistans.

Kamerorna fångar en 3D-volym i vilken mätdatapunkter kan räknas. Från skannern projekteras linjemönster på objektet vilket fångas av de båda kamerorna och resulterar i mätpunkter. Kamerorna kan fånga upp till fem miljoner mätpunkter per skanning.



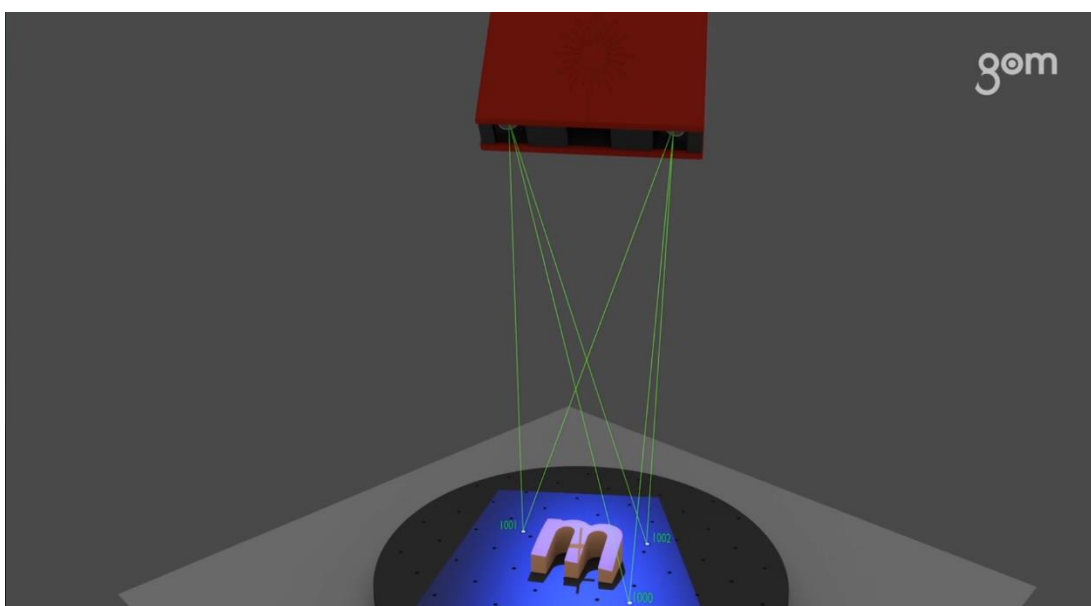
Figur 25. Exempel på skanning med Atos Core.

Data samlas endast från områden som syns av båda kameror samtidigt och som är inom mätvolumen. För att skanna hela objektet bör man utföra flera skanningar från olika håll.

Då en ny skanning/mätning utförs från ett annat håll känner inte systemet till mätningens rätta orientering. Därför används referenspunkter för att automatiskt kombinera de olika skanningarna till ett gemensamt koordinatsystem. Dessa referenspunkter läggs på både objektet och underlaget.

Direkt när en mätning görs kan Atos-systemet bestämma referenspunkternas position i 3D-mätvolymen och även distanserna mellan punkterna som bildar ett mönster. Systemet känner igen varje punkt och numrerar dem. Med hjälp av mönstret som bildas av dessa punkter vet systemet dess egen orientering och position i både x-, y- och z-axel relativt till objektet. Då man uppföljer detta kan man rotera på underlaget för att skanna från olika håll. Dock får inte själva objektet roteras eller flyttas då referenspunkternas avstånd på objektet och underlaget inte får ändras relativt till varandra.

Då programmet vet var sensorn har tagit mätningen vet det automatiskt var skanningsdata ska placeras.



Figur 26. Systemet räknar ut egna positionen med hjälp av referenspunkterna.

Vid 3D-skanning är det alltid den undre ytan på ett objekt som ligger mot skannbädden. En skanning med GOM-system kan innehålla mera än en serie av mätningar. Användning av referenspunkter på delen möjliggör kombination av två olika mätserier till en skanning.

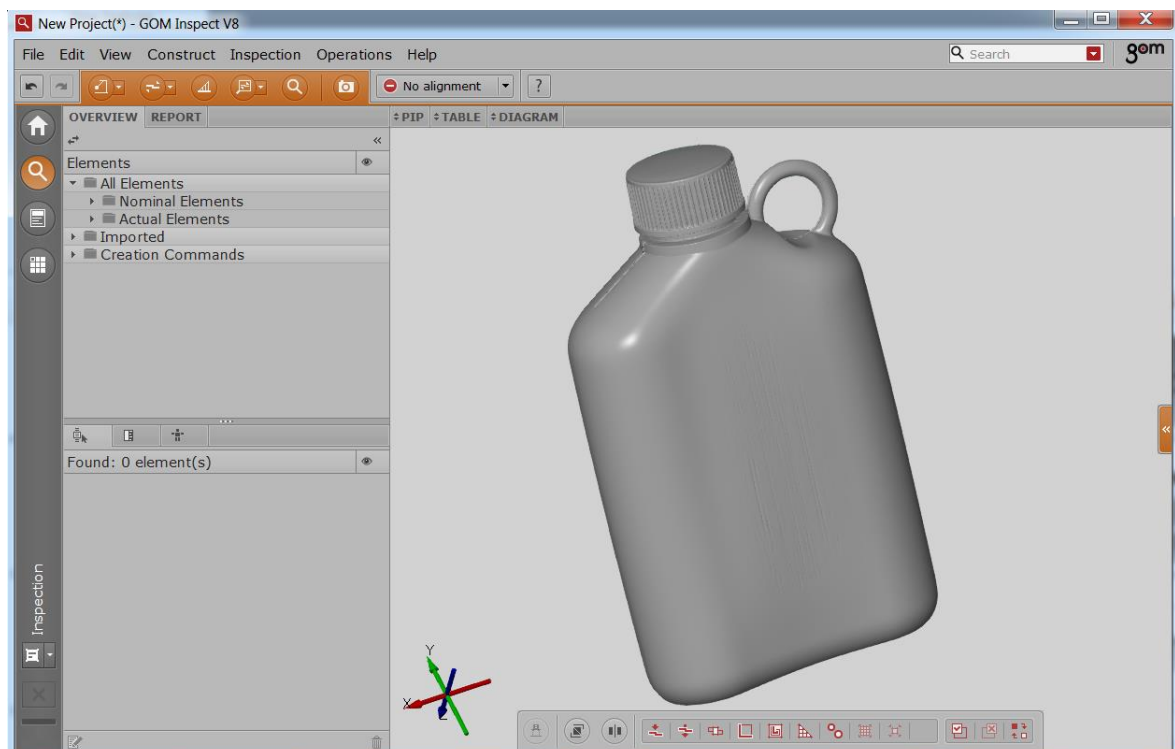
För att kombinationen ska lyckas bör man placera de gemensamma referenspunkterna jämnt runt objektet. Ju större eller komplicerade objekt, desto fler punkter behövs. Minst tre punkter på objektet måste vara synliga för båda kameror för att de ska kunna bestämma orienteringen.

Då objektet svängs upp och ner påbörjas en ny mätserie eftersom referenspunkternas avstånd på objektet och underlaget har ändrats relativt till varandra. Botten skannas på

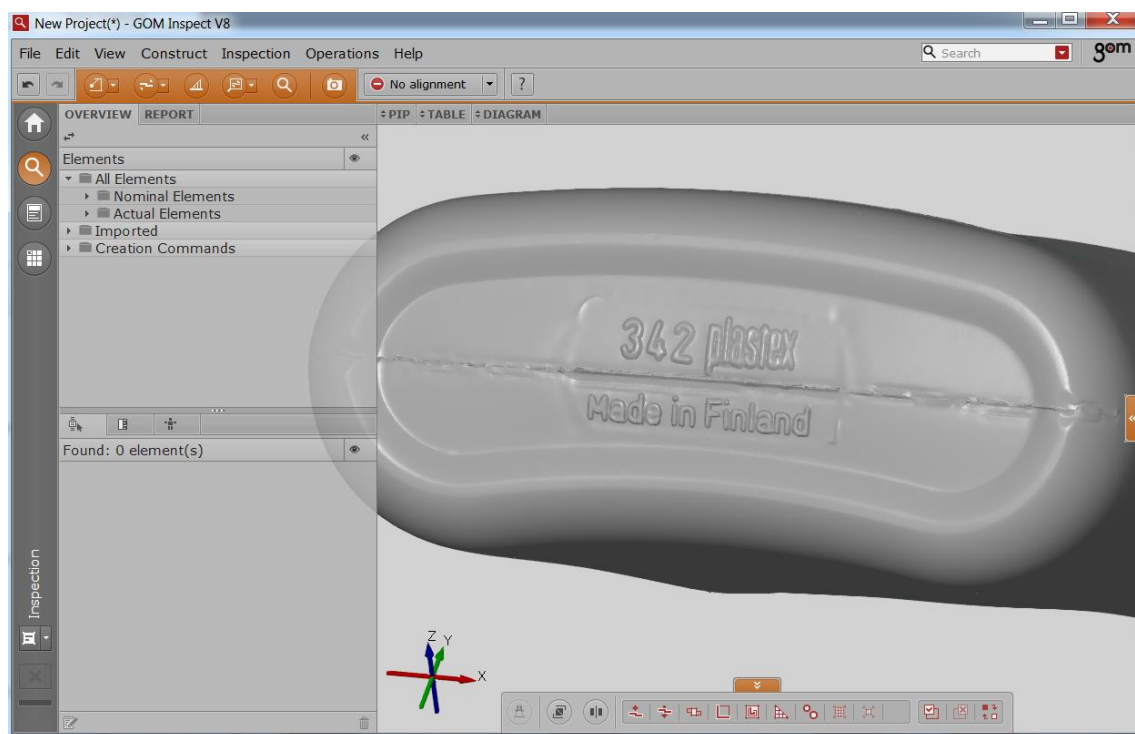
samma sätt som resten av objektet. De båda mätserierna kombinerades till en modell med funktionen Transform By Common Ref. Points.



Figur 27. Referenspunkter användes för att kombinera bottnet med resten av flaskan. (Egen bild)



Figur 28. Denna skanner gav detaljerat resultat. (Skärmdump från GOM Inspect)



Figur 29. Även sömmarna som uppstått i formblåsningssprutprocessen syns. (Skärmdump från GOM Inspect)

13.4 Filstorlek och bearbetning i CAD

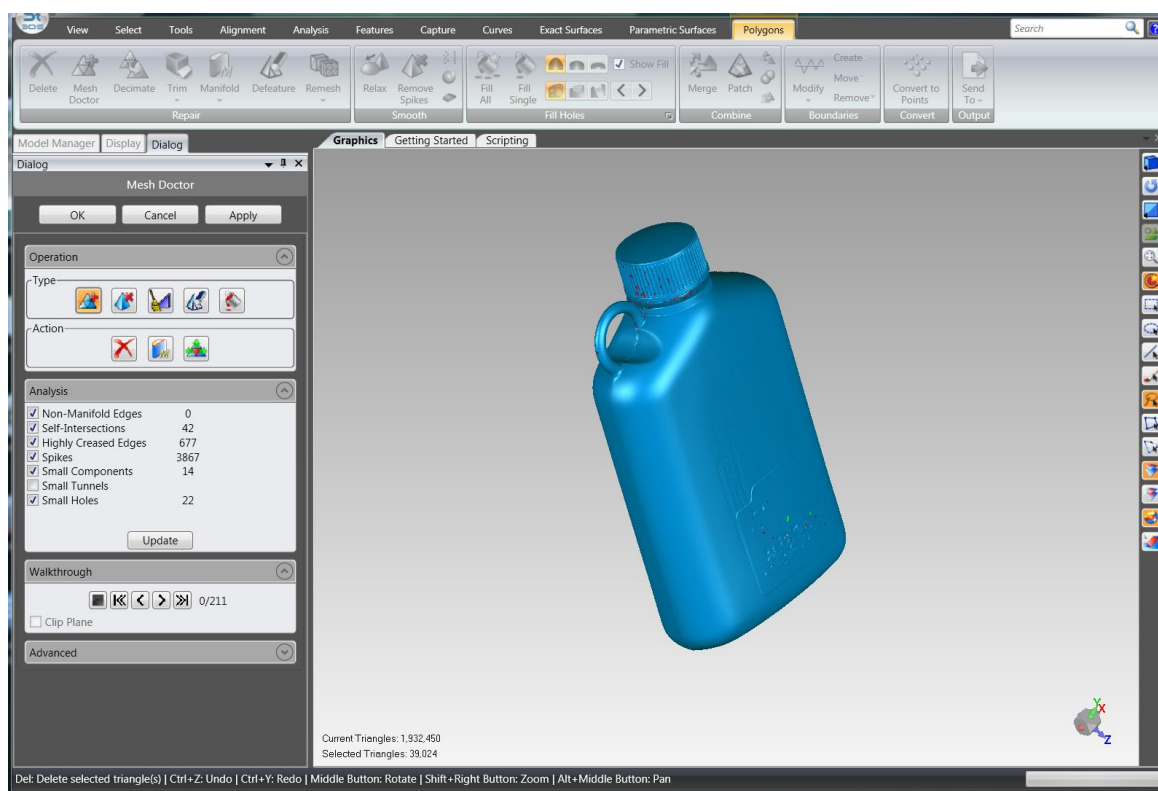
Skanning med Atos Core gav ett mycket detaljerat och bra resultat. Skannern var så noggrann att den fångade varenda liten detalj på flaskan från sömmarna på sidorna till vecken på de mittersta ytorna. Den obehandlade flaskans stl-filstorlek blev relativt stor på cirka 100 MB och efter behandling cirka 80 MB. För att sätta det i perspektiv är en hel 3D-printer som jag själv ritat bestående av hundratals delar i AutoCad Inventor ca 5,5 MB. Det är möjligt att öppna en stl-fil i ett CAD-program, men det går däremot inte att bearbeta modellen. Det beror på att en stl-fil endast representerar ytan på modellen. I AutoCad Inventor finns det möjlighet att installera en tilläggsfunktion som konverterar en stl-fil (shell) till en step-fil (solid). Planen var att konvertera filen till en solid för att sedan kunna använda programmets shell-funktion för att ge flaskan en jämn vägg tjocklek på 2mm. Den stora filstorleken ställde till med problem då programmet uppgav att datorn hade otillräcklig prestanda, och konverteringen lyckades aldrig. Ett CAD-program erbjuder fler funktioner och frihet för bearbetning av modellen enligt eget behov. Man kan till exempel kombinera olika skannade delar, omforma, lägga till och bearbeta former och utseende enligt eget behov.

13.5 Bearbetning med Geomagic Studio och Meshmixer

Från programmet GOM Inspect sparas skanningen som en stl-fil. I detta skede är modellen i shell-format det vill säga skalform.

Därefter skulle modellen öppnas i ett 3D-bearbetningsprogram för att jämna ut ytorna och ge väggjocklek.

För flaskans bearbetning användes Geomagic studio. Detta program har en auto-repair-funktion som automatiskt visar triangelfel på modellen och reparerar dem. Programmet reparerade bland annat non-manifold edges (ytor/trianglar som endast rör varandra vid kanten och som inte kan printas), self-intersections (ytor som korsar sig själv eller andra ytor) och highly creased edges (kanter med för branta vinklar till närliggande kanter, spetsar, hål och tunnlar).



Figur 30. För att jämna ut ytorna användes defeature-funktionen. (Skärmdump från Geomagic Studio)

Efter att modellen reparerats med auto repair-funktionen kunde filen överföras till Meshmixer. I Meshmixer tillsattes en väggjocklek på 2 mm för att spara på material och printningstid.

Dessa två program användes eftersom de kunde bearbeta stl-filer och rekommenderades bland användare. När modellen var färdig kunde den sparas på en extern hårddisk, databas eller en molntjänst.

13.6 Konvertering till 3D-pdf

Målet var att presentera ett exempel på en färdig produktfil som kunde sättas in i ett digitalt produktbibliotek. Adobe Acrobat erbjuder filformatet 3D-pdf som är både tillgängligt och känt. I programmet kan modellen roteras, förstoras och ge en bättre visuell representation jämfört med en vanlig bild. Konvertering sköttes i Geomatic Studio med programmets inbyggda funktion Create 3D PDF.

13.7 Plastex Rotaflex

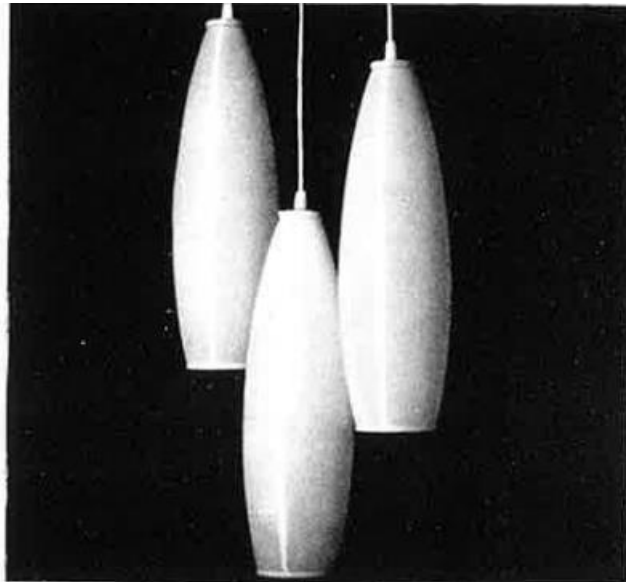
Plastex frågade om möjligheterna att digitalisera en efterfrågad lampskärm från 1960-talet som inte längre produceras. Den enda dokumentation som fanns var en produktbild med mått för höjd och tvärsnitt. Då det handlar om produktbilder på papper kan man rita produkten i ett CAD-program, eftersom det inte finns program som automatiskt kan konvertera en tvådimensionell produkt till en 3D-modell.

I AutoCad Inventor finns det möjlighet att infoga en bild i programmet och använda den som mall för att rita konturer och dylikt.

I detta fall kunde man infoga produktbilden och förstora bilden tills lampans höjd och tvärsnitt motsvarade de fysiska måtten. De yttre konturerna kunde ritas varefter den tvådimensionella ritningen kunde roteras vid y-axeln för att på så sätt skapa en tredimensionell modell. Med programmets shell-funktion kunde lampskärmen göras ihålig och väggjockleken anges.

N:o 77
 Max 60 W
 Korkeus 39 cm
 Halkaisija 12 cm

Hinta _____



Figur 31. Plastex Rotaflex lampskärm nr. 77(Plastex produktbroschyr)

13.8 Flödesschema

Det finns olika sätt att fånga en produkt i digitalform. Bland de så kallade 3D-skanningssätten är de vanligaste skannarna de som använder lasertriangulering och strukturerat ljus. Beroende på skannerns pris och teknik kan man nå goda resultat. Med 3D-mätning får man noggranna mätresultat, vilket krävs då till exempel en komponents mått för en maskin måste vara inom en viss tolerans. Den färdiga filen sparas i stl-format, så att den enkelt kan öppnas i ett bearbetningsprogram. I de flesta skanningsprogram kan man spara filen direkt i stl-format. Därefter bör ett bearbetningsprogram användas för att reparera brister och fel som eventuellt uppkommit i skanningen. De flesta program har en funktion som automatiskt reparerar och tar bort onödiga mätpunkter, korsande kanter och hål. Med detta blir modellen i princip vattentät.

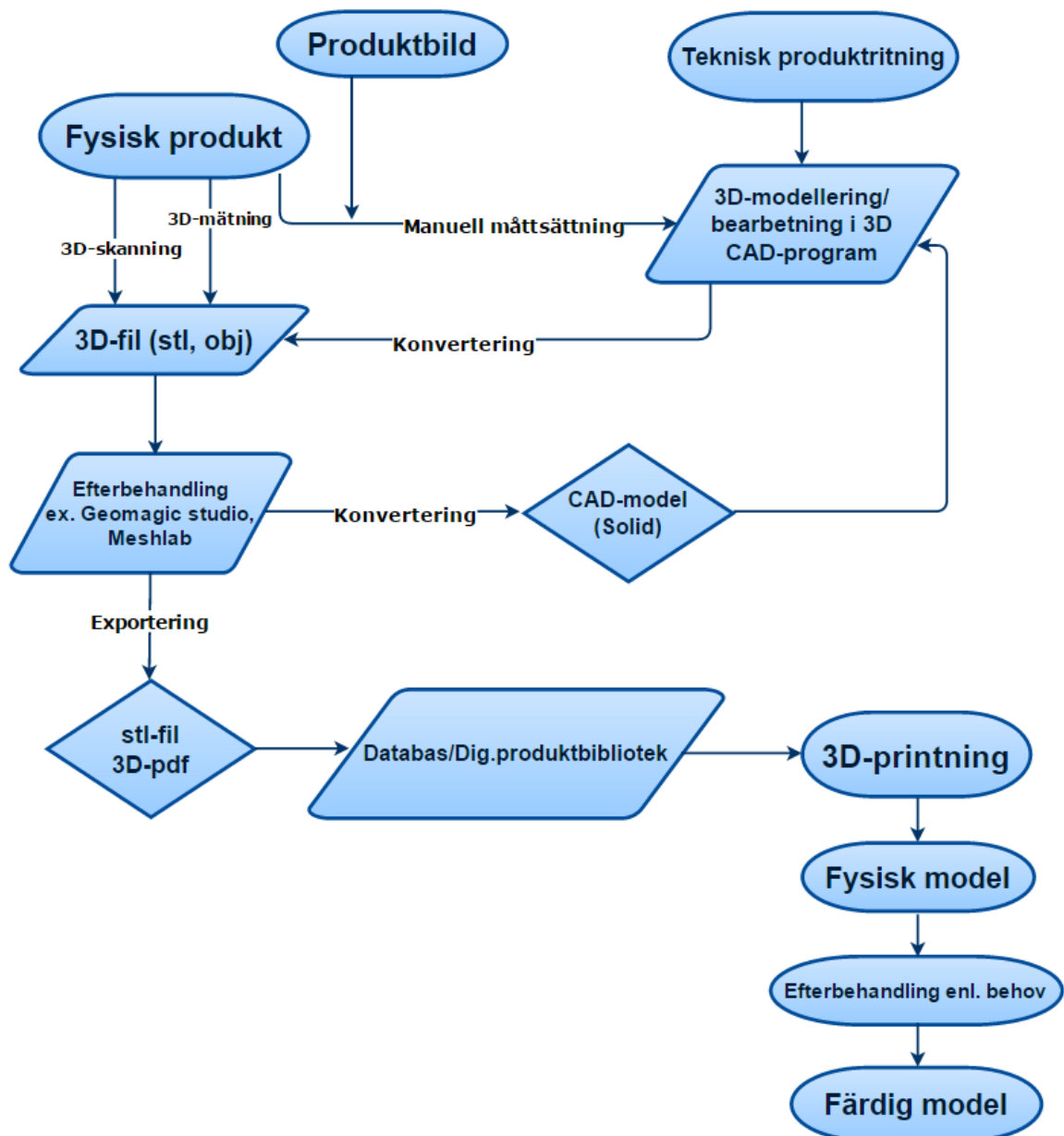
Om den skannade modellen ska undergå grovare bearbetning i form av skärning eller kombination av andra skannade ytor eller delar rekommenderas konvertering till step-fil för bearbetning i ett CAD-program. Det färdiga resultatet kan sedan sparas i stl-format och överföras till ett digitalt produktbibliotek.

Om den enda dokumentationen av produkten är en bild för till exempel marknadsföring eller minnesanteckning finns det inga andra sätt än att beräkna produktens storlek, eller ange egna mått och rita produkten i ett CAD-program. I de vanligaste CAD-programmen

finns det möjlighet att infoga en vanlig bild i programmet och rita konturer med hjälp av det. Detta fungerar dock endast om bilden är tagen direkt mot objektet och inte i en vinkel. När CAD-modellen är färdig kan den direkt sparas i stl-format.

Produktbiblioteket/databasen kan bestå av en server där företagets data lagras, en extern hårddisk eller en molntjänst.

Från det digitala biblioteket kan man lätt hämta modellen som ska printas till datorn som driver 3D-printern.



Figur 32. Flödesschema som kan tillämpas vid digitalisering av en fysisk produkt, produktbild och teknisk produktritning. (Ritad i draw.io)

14 Kostnadseffektivitet och nytta

En 3D-skanner sparar arbete för modelleraren men, frågan är om företaget sparar på utbetald lön genom den minskade arbetstiden som en skanner möjligtvis medför?

Jämfört med traditionell CAD-modellering sparar 3D-skanningen digitaliseringstid, speciellt då produkten som ska ändras till digitalform har komplicerade och unika former, det vill säga organiska former. Beroende på mängden tillgängliga mått kan en skicklig CAD-modellerare rita produkter och delar med geometriska former, till exempel en enkel flaska med skruvkork, en burk eller vas relativt lätt. Om produkten däremot har flera små detaljer, böjda ytor och kanter tar det längre tid för modelleraren än för skannern och den tillagda bearbetningen.

Det tog cirka 15 minuter att skanna den blåa flaskan med Atos Core. Med den tillagda bearbetningen i Geomagic Studio och Meshlab blev digitaliseringstiden cirka 30 minuter. Med en enskild skanning för korken skulle den totala kombinerade tiden uppgå till cirka 1 timme.

En sådan produkt skulle i medeltal ta en professionell CAD-modellerare 6 till 8 timmar att modellera. Med en timlön på 55 euro skulle arbetet kosta mellan 330 och 440 euro (tunturimedia.fi).

14.1 Investeringskalkyl

Bästa resultat gav Atos Core-skannern. Detta kan delvis förklara det höga priset (25 000 euro). På basis av denna undersökning kunde Oy Plastex Ab förvänta sig en tidsbesparing på 5 till 6 timmar per arbete jämfört med manuell modellering om de bestämde sig för att investera i en Atos Core-skanner.

Pris för digitalisering av flaskan inklusive bearbetning med hjälp av Atos Core:

$$1,5h \cdot \frac{55\text{€}}{h} = 82,5 \approx 83\text{€}$$

Pris för digitalisering av flaskan med vanlig CAD-modellering:

$$7h \cdot \frac{55\text{€}}{h} = 385\text{€}$$

För detta arbete skulle företaget spara:

$$385\text{ €} - 83\text{ €} = 302\text{ €}$$

Om man antar att dessa tider och löner är medeltalet återbetalar skannern sig efter:

$$\frac{25000\text{ €}}{55\text{ €/h}} = 454,5\text{ h} \approx 455\text{ h (arbetstimmar)}$$

15 Jämförelse av 3D-printningstekniker

Även om 3D-printning blir allt vanligare är maskinerna fortfarande relativt dyra. Lik all teknik som blir konsumentvänlig är de första produkterna/modellerna dyra. Man kan jämföra det med mobiltelefonen, som i början inte var ekonomiskt tillgänglig för den vanliga konsumenten. När tekniken blev vanligare, produktionsmängderna ökade och nya modeller lanserades sjönk priserna. Detsamma gäller för 3D-printrar.

Att 3D-printning blivit vanligare är resultatet av utgående teknikpatent, som gjort det möjligt för flera tillverkare att använda tekniken i sina maskiner. Som ett resultat har även de dyraste SLS- och SLA-maskinerna sjunkit i pris och blivit mer tillgängliga för olika företag i samband med prototyputveckling och produktvisualisering.

Idag är FDM-tekniken den vanligaste och ekonomiskt sätt mest tillgänglig för vanliga konsumenter. En FDM-printer kan idag köpas för cirka 1 000 euro och lätt tas i bruk efter en kort introduktion i användning. Materialet är även det billigaste av alla tekniker, vilket gör printern till ett bra alternativ åt personer som är intresserade av 3D-printning. Med FDM-maskiner kan man inte förvänta sig bästa produkt kvalitet. Beroende på modellen och justeringar som gjorts i maskineriet kan det uppstå fel i materiallagring samt andra småfel i modellen. Färdiga produkter har den sämsta ytjämnheten av alla tekniker och kräver ett lager av lack, epoxi eller aceton för att göra modellytan jämn och vattentät. De två vanligaste materialen är PLA och PLA. Dessa plaster är så kallade termoplaster det vill säga de smälter

när de utsätts för höga temperaturer. PLA produceras bland annat av majsstärkelse och bryts ner i naturen. ABS är däremot ett oljebaserat material. Båda materialen kan smältas och återanvändas. Denna teknik är den snabbaste av alla med en printningstid på cirka 8 timmar för Plastex-flaskan.

SLS-, SLA-och PolyJet-teknikerna används mer i industrin. De erbjuder noggrannare modeller och bättre kvalitet. Maskiner som använder dessa tekniker är betydligt dyrare än de vanliga FDM-maskinerna.

PolyJet-tekniken erbjuder bästa kvalitet med den minsta lagertjockleken. Materialen kommer i flytande form och har ett relativt högt pris per kilo. Denna teknik används främst då företag vill få en modell på en produkt/del för visuella ändamål. Det finns ett brett sortiment av material att välja mellan. PolyJet-tekniken används bland annat i hälsovården. Med den minsta lagertjockleken är denna teknik en av de långsammaste och har dessutom de högsta materialkostnaderna.

SLS-tekniken använder material i pulverform som samtidigt fungerar som stöd då modellen byggs upp. Denna teknik ger de hållbaraste delarna som i vissa fall även kan användas som slutprodukter. Nylonpulvret som används är jämförelsevis billigt och oanvänt material kan återanvändas av maskinen. Färdiga delar har porösa mattade ytor. Materialet suger åt sig fuktighet och därför är produkter tillverkade med denna teknik inte vattentäta. Då man printar med en SLS-printer tillsätter man alltid det maximala antalet delar som kan printas under en omgång i körprogrammet. I tabell 1 är den blåa Plastex-flaskans printningstid 3 timmar för 3 flaskor, eftersom det inte lönar sig att printa en åt gången.

SLS-maskiner är som PolyJet- och SLA-maskiner dyra och är avsedda för användning inom industriell R&D och bland olika företag.

Stereolitografi använder fotopolymerer i flytande form. Likt PolyJet-tekniken härdas materialet med UV-strålning. Även om materialet är i samma prisklass som nylonpulvret i SLS-tekniken kan det bli dyrt att fylla en stor SLA-maskin med det flytande materialet. Tekniken ger en slätare ytjämnhet än FDM och SLS. Den beräknade printningstiden för Plastex -flaskan blev 10 timmar, vilket gör den aningen långsammare än FDM-tekniken.

Tabell 1. Jämförelse av de vanligaste printningsteknikerna.

Teknik	Stereolitography (SLA)	Selective Laser Sintering (SLS)	PolyJet	Fused Deposition Modeling (FDM)
Maskin pris	190 000 - 1,2 milj €	180 000 - 900 000 €	30 000 - 700 000 €	1 200 - 410 000 €
Lagertjocklek	0,05 mm	0,10 mm	0,016 mm	0,13 mm
Noggrannhet	0,10 mm	0,20 mm	0,10 mm	+/- 0,25 mm
Material	Fotopolymer (flytande)	Polyamid, Nylon 12 (pulver)	Polypropen (PP), Polystyren (PS), Polykarbonat (PC) (flytande)	Akrylnitrilbutadienstyren (ABS), Polylaktid (PLA) (fast)
Materialpris	135 €/liter	60 €/kg	150 - 400 €/kg	29 €/kg
Kvalité	Slät yta, konsistent materiallagring.	Matt ytjämnhet, konsistent material lagring.	Slätaste ytan, konsistent material lagring.	Sämst ytjämnhet, små fel kan uppstå i materiallagring.
Print tid (flaska, 330 ml)	10 h	3 h (3 st)	16 h	8 h
Hållbarhet	Hållbart, konceptmodeller.	Högsta hållbarhet, slutprodukter kan tillverkas.	Sämsta hållbarheten, modeller för visualisering.	Bra hållbarhet, delar kan användas för testning.
Miljövänlighet	Innehåller små giftmängder, kan framkalla ögon och hudirritation, materialen måste användas fr.o.m. första printningen inom en viss tid, gammalt material kan inte återanvändas, bryts inte ner i naturen.	Giftfritt material (Nylon 12), oanvänt material går att återanvändas.	Innehåller gifter, direktkontakt bör undvikas, kan framkalla ögon- och hudirritation, vissa material är biokompatibla, materialen måste användas inom en viss tid, Gammalt material kan inte återanvändas	Polylaktid (PLA) är gjort av majsstärkelse och är biologiskt nedbrytbart. ABS är en oljebaserad produkt, båda materialen kan återanvändas.
Efterbehandling	Arbetsam borttagning av stödmaterial, härdning efteråt krävs.	Krävs inte.	Krävs, sköts lättare med en trycktvätt än för hand.	Lätt borttagning av stödstruktur.

(AIPWorks (u.å.); Park, 2012; Stratasys (u.å.); Paramount (u.å.); 3DTulostus.fi; R&D Technologies (u.å.); Toni Järviälö, 3D Formtech (personlig kommunikation 27.3.2015); Solid Concepts(u.å.); Formlabs, Inc., 2014; 3dfizz, 2013; Stratasys, 2013. Safety Data Sheet); Jarkko Lohilahti, Maker 3D (personlig kommunikation 10.4.2015)

15.1 Beräkning av flaskans styckpris

För att få ta reda på flaskans styckpris för varje teknik utreddes materialåtgången i milliliter och gram. Materialens kilo- och literpris konverterades till euro per milliliter och euro per gram. Det gjorde det enklare att beräkna det använda materialets värde. I tabell 2 redovisas flaskans tillverkningskostnad på basis av materialkostnaden. Tilläggskostnader som arbete, materialvinst och mervärdeskatt beräknas inte i resultatet.

Tabell 2. Flaskans tillverkningskostnad för respektive teknik.

Teknik	SLA	SLS	PolyJet		FDM	Formblåsning
Materialpris	135 €/l	60 €/kg	300 €/kg	125 €/kg (Support)	29 €/kg	1,2 €/kg
Materialpris	0,135 €/ml	0,060 €/g	0,300 €/g	0,125 €/g	0,029 €/g	0,0012 €/g
Materialåtgång	65 ml	59 g	250 g	452 g	107 g	43 g
Pris	8,78 €	3,54 €	75,00 €	56,50 €	3,10 €	0,05 €
≈	9,00 €	4,00 €	75,00 €	57,00 €	3,00 €	0,05 €
Totalt	9,00 €	4,00 €	132,00 €		3,00 €	0,05 €

Jarkko Lohilahti, Maker 3D Oy (Personlig kommunikation 10.4.2015), Mark Poutanen, Materflow Oy (Personlig kommunikation 2.4.2015), Jonna Kuusisto, Multiprint 3D Oy (Personlig kommunikation 20.4.2015).

PolyJet-teknikens jämförelsebar höga materialpris resulterade i ett mycket högt styckpris. Däremot uppstod det inte lika stora prisskillnader mellan SLA-, SLS- och FDM-teknikerna där priset för alla hamnade under 10 euro.

Jämförelsen med den formblåsta versionen visar en tydlig prisskillnad då främst materialkostnaden är betydligt lägre för den formblåsta versionen. Plastex använder HDPE-plast (högdensitetspolyeten) som tillverkningsmaterial. Materialet kostar företaget cirka 1,20 euro per kilo. Eftersom materialet är så billigt har flaskan ett självkostnadspris på cirka 0,35 euro. Däremot kostar aluminiumformen företaget 4000–7000 euro. (personlig kommunikation 7.4.2015).

De totala tillverkningskostnaderna ger inte en sann bild om det slutliga försäljningspriset. Som jämförelse utträdde vad flaskan skulle kosta ifall man beställde från en utomstående tillverkare.

Tabell 3. Flaskans pris från utomstående tillverkare.

Multiprint 3D Oy (SLA)	Materflow Oy (SLS)	Maker 3D Oy (FDM)	Maker 3D Oy (PolyJet)
295,20 €	84,56 €	72,97 €	491,85 €

Jarkko Lohilahti, Maker 3D Oy (personlig kommunikation 10.4.2015), Mark Poutanen, Materflow Oy (personlig kommunikation 2.4.2015), Jonna Kuusisto, Multiprint 3D Oy (personlig kommunikation 20.4.2015).

Jämförelsen av tillverkningskostnaderna i Tabell 2 med försäljningsprisen i Tabell 3 visar en stor skillnad i kostnader. Från denna jämförelse kan man konstatera att printning ennu är för dyr och att det inte lönar sig att börja tillverkning av 3D- printade plastprodukter.

16 Utredning av lämpligaste tillverkningsteknik för diverse Plastex produkter

Jag fick till uppgift att utreda vilken den lämpligaste printningstekniken är för de olika plastprodukterna jag fick från Plastex.

I Tabell 4 nedan har jag jämfört teknikerna från Tabell 1 och poängsatt de olika egenskaperna från bäst till sämst. För varje produkt bestämdes önskade egenskaper från minst viktig till viktigast med poängskalan 1–6. För att poängsätta teknikens lämplighet för respektive produkt multiplicerades poängen i Tabell 4 med respektive egenskap i Tabell 5. I kategorierna materialpris och styckkostnad beaktas inte möjliga tilläggskostnader iform av efterbehandling och bearbetning, till exempel poängsättningen för den blåa flaskans styckkostnad med SLA-tekniken beräknades genom att multiplicera SLA:s materialpris i tabell 4 med styckkostnaden i Tabell 5, alltså $3 \cdot 6 = 18$.

Nedan har jag utrett lämpligaste printningsteknik för plastflaskan. Återstående produkters jämförelser kan hittas i bilagorna.

Tabell 4. Poängsatt version av Tabell 1.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Lagertjocklek	4	3	5	2
Noggrannhet	5	4	5	2
Materialpris	3	4	2	5
Kvalité	4	3	5	2
Materialhållbarhet	3	5	2	4
Hastighet	3	5	2	4
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	2	4	3	5

Tabell 5. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för flaskan och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostand (utan arbetstimmar)	6
Kvalité	5
Materialhållbarhet	3
Hastighet	4
Miljövänlighet	1
Efterbehandling	2

Tabell 6. Uträkning av flaskans lämpligaste 3DP-teknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostand (utan arbetstimmar)	18	24	12	30
Kvalité	20	15	25	10
Materialhållbarhet	9	15	6	12
Hastighet	12	20	8	16
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	4	8	6	10
Totalt	65	86	60	83
Vinnare		SLS		



Figur 33. Blå 330 ml-flaska. (Egen bild)

Undersökningen gav en klar vinnare då SLS-tekniken påvisades som lämpligaste teknik. Den fortsatta undersökningen gav liknande resultat som finns att läsa i bilagan. Resultatet kan förklaras av SLS:s jämna prestation i jämförelsetabellen. Denna teknik kräver minst kompromisser i själva produkten och tillverknings sättet. Tekniken ger hållbara delar, relativt god kvalitet, kortast printningstid samt giftfritt och återanvändbart material med minsta behov för efterbehandling av färdiga delar.

I vissa fall var skillnaden mellan SLS och FDM några poäng, och då kan man överväga att prova båda tekniker för att vidare jämföra det slutliga resultatet.

Även om SLS-tekniken var den klara vinnaren finns det flera orsaker till varför de printade produkterna inte skulle motsvara dess respektive formsprutade/-formblåsta version.

En orsak är ytjämnheten. Formsprutade och formblåsta produkter har oftast släta och jämna ytor med de enda felen i form av sömmar från de två formhalvornas kanter.

Tillverkning med SLS ger en småkornig och porös yta. Eftersom nylonmaterialet absorberar fukt begränsas speciellt flaskors och vasars användning.

Genomskinliga produkter skulle inte direkt se lika klara ut i de printade versionerna på grund av materiallagringen.

17 Kritisk granskning och Diskussion

Målet med detta arbete var att undersöka hur en digitaliseringsprocess går till i verkligheten. En utredning skulle göras huruvida skanning kan vara av nytta i processen, och om det sparar arbetstid och kostnader jämfört med traditionell 3D-modellering. Därtill skulle jag undersöka bästa möjliga printingsteknik med vilken man eventuellt kunde tillverka gamla och nya Plastex-produkter.

När jag påbörjade arbetet var det ännu oklart vad allt jag skulle berätta om. Plastex undrade om möjligheten att undersöka användandet av printade formhalvor tillverkade av specialplast i formsprutningsprocessen. Eftersom det fanns en risk att arbetet skulle bli för omfattande och tiden skulle ta slut, bestämde jag mig för att fokusera på digitaliseringsprocessen eftersom företaget ansåg att det var relevantare i och med planen att skapa ett digitalt produktbibliotek.

Jag arbetade för det mesta hemma och besökte Maker 3D nästan varje fredag för att få råd angående arbetets innehåll och arbetsmetoder. Möten med Plastex i Lojo hölls även med jämna mellanrum för att diskutera examensarbetets fortgång och oklarheter.

Jag hade tur då jag förra sommaren praktiserade hos Maker 3D som gav mig möjligheten att låna Rubicon-skannern och använda Atos Core-skannern vid ett demonstrationstillfälle. De resultat som uppnåddes med de tre olika skanningsmetoderna skiljde sig enormt. Dels beror det på prisskillnaderna. Rubicon-skannern kostar 400- 600 euro och Atos Core 25 000 euro, så man kan förvänta sig en skillnad i resultatens noggrannhet och detalj. Men resultatet berodde också på den kunskap, omgivning och de redskap som jag hade till mitt förfogande.

Vid skanning med Autodesk 123D Catch-programmet rekommenderas användning av en professionell DSLR-kamera där vitbalansen och slutartiden kan justeras för att fånga skarpa bilder. Dessutom rekommenderas det att ha en jämn belysning i rummet där fotograferingen sker för att inga skuggor ska uppkomma på föremålet och inverka på resultatet. Eftersom jag fotograferade hemma med min mobiltelefon var fotograferingsomständigheterna inte optimala. Det kan man också se i den färdiga modellen.

Om jag hade kunde ändra på något skulle jag ha skannat flaskan skild från korken för att få flasköppningen och gängorna med i modellen. Men eftersom vi tänkte på det för sent hade vi inte möjlighet att använda skannern igen. Det skulle också ha varit intressant att printa ut flaskan med en printer och se hur resultatet hade blivit. Men eftersom FDM-printern hos Maker 3D var i ständigt bruk hade jag inte möjlighet till det.

Undersökningen visade att användning av en professionell skanner ger detaljrika resultat och medför besparingar i digitaliseringstiden jämfört med vanlig 3D-modellering. Den sparade tiden i digitalisering av flaskan uppgick till 5–6 timmar och medförde en besparing på 302 euro jämfört med vanlig modellering, vilket är väldigt mycket. Från detta kan man konstatera att en skanner kan vara en viktig tillgång i företagets verksamhet beroende på föremålet som skall digitaliseras. Modelleringsföretaget som försedde flaskans modelleringstider och priser debiterade relativt låga arbetsavgifter. Vid val av det skannade objektet bör man tänka på dess storlek och textur eftersom genomskinliga objekt inte går att skannas med laser och strukturerat ljus. Större objekt kan skannas i sektioner och sedan sammanfogas, vilket drar ut på digitaliseringstid.

De olika skanningsmetoderna kan rekommenderas för olika ändamål. Den professionella Atos Core-skannern, med sitt noggranna och detaljrika resultat, kan rekommenderas som hjälpmedel i processen att skapa metallformer för potentiell formsprutnings- och formblåsningstillverkning för äldre och kommande produkter som saknar dokumentation. Om målet är att skapa ett produktbibliotek i nätbutiken där kunden kan få en bättre visuell uppfattning av produkten kan fotogrammetri rekommenderas, förutsatt att man använder professionella redskap för att nå goda resultat. Filerna kan antingen behållas i stl-format eller exporteras till 3D-pdf format för att göra dem mer tillgängliga för konsumenterna.

Även om 3D-printning som tillverkningsätt låter snabbt och enkelt är teknikerna inte tillräckligt avancerade ännu för att ersätta de traditionella tillverkningsätten för plastprodukter. Plastex efterfrågade möjligheterna att skapa en skild produktionsavdelning där man skulle printa skräddarsydda versioner av gamla och nya produkter med namn, text eller annat mönster på produkten för att på så sätt kunna prissätta dem högre än en vanlig produkt.

Problemet med plastmaterial som används i printning är att de ofta resulterar i produkter som inte totalt representerar de formsprutade och formblåsta originalen. Det kan handla om skillnader i ytjämnhet, vattentäthet och värmemotstånd, och de kan inte direkt jämföras med de ursprungliga versionerna. Dessutom är de material som används vid printning

fortfarande betydligt dyrare än de som används i traditionella tillverkningsätt. Företaget rekommenderas därför att vänta med printning tills materialpriserna sjunkit och teknikerna blivit mera utvecklade och snabbare.

Om målet främst är att printa funktionella produkter som flaskor, vasar eller skålar kan printning inte heller rekommenderas då de färdiga produkterna skulle absorbera fukt och vatten, och beroende på miljön möjligtvis deformeras vid exponering för direkt solljus.

Med stora skillnader i ytjämnheten skulle man vara tvungen att lacka eller täcka dem med andra medel för att åstadkomma släta och vattentäta ytor.

Däremot skulle de printade produkterna kunna säljas som souvenirer, gåvor eller samlarobjekt utan krav på funktionalitet. Försäljningspriserna skulle dock vara så höga att en framgångsrik försäljning är tveksam.

3D-skanning och -printning kommer med säkerhet att spela en stor roll i framtidens tillverkning, och med ständig utveckling i både printningstekniker och användbara material kommer både företag och privata personer hitta nya användningsområden.

Källor

Formlabs, (u.å.) What is 3D Printing? [Online]

<http://formlabs.com/en/support/faq/> [Hämtat 13.1.2015]

3DSystems (u.å.). A guide to 3D scanner technology [Online]

<http://www.rapidform.com/3d-scanners/> [Hämtat 4.2.2015]

Direct Dimensions (u.å.) Almost Everything You Always Wanted To Know About 3D Scanning [Online]

<http://www.rapidform.com/3d-scanners/> [Hämtat 3.2.2015]

Creative Tools (u.å.). 3D- skannrar [Online]

<http://www.creativetools.se/info-3d-skannrar> [Hämtat 3.2.2015]

3D- Tulostus.fi (u.å.) ABS PrintPlus filamentti 1.75m [Online]

http://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/ABS/SubProducts/ABS-puna [Hämtat 19.1.2015]

Alec., 2014. Is 3D printing a viable and affordable alternative to injection molding production? [Online]

<http://www.3ders.org/articles/20141106-is-3d-printing-technology-a-viable-and-affordable-alternative-to-injection-molding-production.html> [Hämtat 17.2.2015]

Allen.N., 2013. Why 3D Printing is Overhyped (I Should Know I Do It For A Living) [Online]

<http://gizmodo.com/why-3d-printing-is-overhyped-i-should-know-i-do-it-fo-508176750> [Hämtat 11.2.2015]

Brooke, R., 2013. Stratasys vs 3D Systems: A heavyweight fight? [Online]

<http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/stratasys-vs-3d-systems-a-heavyweight-fight/> [Hämtat 5.2.2015]

Siemens AG, (u.å.) CAD / Computer-Aided Design [Online]

http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/plm/cad.shtml [Hämtat 13.1.2015]

Chilson, L., 2013. The Difference Between ABS and PLA for 3D Printing [Online]

<http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/> [Hämtat 15.1.2015]

University of Michigan 3D Lab (u.å.). Contact Scanner [Online]

<http://um3d.dc.umich.edu/portfolio/how-it-works-scan/> [Hämtat 4.2.2015]

D'Aveni, R., 2013. 3-D Printing Will Change the World [Online]

<https://hbr.org/2013/03/3-d-printing-will-change-the-world> [Hämtat 13.2.2015]

(Stratasys, (u.å.) The Invention of FDM Technology) [Online]

<http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology> [Hämtat 14.1.2015]

Gibson, I., Rosen, D & Stucker, B. Eds., 2010 *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer Science + Business Media

3D Printing Industry., 2014: History of 3D Printing The Free Beginner's Guide [Online]
<http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/> [Hämtat 31.3.2015]

Applied Precision (u.å.) Plastic Injection Moulding [Online]
<http://www.appliedprecision.ca/injectionmoulding> [Hämtat 20.2.2015]

Trevor, 2013 3D Printing vs. Injection Molding at Thalmic Labs [Online]
<http://developerblog.myo.com/3d-printing-vs-injection-molding-at-thalmic-labs/> [Hämtat 20.2.2015]

Krassenstein, B., 2014. Google and 3D Systems to 3D Print “Millions and Hopefully Billions” of Smartphone Modules [Online]
<http://3dprint.com/3288/google-3d-systems-3d-print-project-ara-smartphone/> [Hämtat 10.2.2015]

Krassenstein, B., 2014. 3D Systems' Revolutionary Mass Manufacturing 3D Printing System is on its Way [Online]
<http://3dprint.com/3396/3d-systems-revolutionary-mass-manufacturing-3d-printing-system-is-on-its-way/> [Hämtat 10.2.2015]

Lohilahti, J., 2011. *Selvitys 3D- Tulostamisen tilanteesta Suomessa* Oulu: Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Formlabs, (u.å.) Add Materials [Online]
<http://formlabs.com/en/store/eu/buy-materials/?RS-W-01=1> [Hämtat 16.1.2015]

3T RPD Ltd, (u.å.) Metal Additive Manufacturing (AM) Using Direct Metal Laser Sintering (DMLS) [Online]
<http://www.3trpd.co.uk/dmls.htm> [Hämtat 18.2.2015]

Aalto- universitet (u.å.) Mittausten tekeminen [Online]
<http://physics.aalto.fi/pub/kurssit/Tfy-3.15xx/Luentomat/Mitt.pdf> [Hämtat 5.2.2015]

Oy Plastex Ab, (u.å.) Muovituotteita vuodesta 1936. [Online]
<http://www.plastex.fi/yritys/historia.html> [Hämtat 12.1.2015]

R&D technologies, (u.å.) Alaris/Objet24, 30, 30Pro, and 30 Prime Resin Order Form [Online]
<http://www.rnd-tech.com/3d-printer-supplies/polyjet-material-orders/polyjet-desktop-resin-order-form> [Hämtat 3.2.2015]

Palermo, E., 2013 Live Science. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method [Online]
<http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html> [Hämtat 15.1.2015]

Geodetic Systems, (u.å.). What is Photogrammetry? [Online]
<http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx> [Hämtat 5.2.2015]

Länsi.fi, (u.å.) Plastex ponkaisee maailmalle designin ja brändin avulla [Online]
<http://www.lansi.fi/gowest/default.asp?sivu=4&alasivu=16&kieli=246> [Hämtat 12.1.2015]

Sculpteo (u.å.) Plastic [Online]
<http://www.sculpteo.com/en/plastic-material> [Hämtat 25.3.2015]

Objet, 2010., PolyJet Technology (pdf) [Online]
http://www.tritech3d.co.uk/images/contentitems/3_1_1.pdf [Hämtat 13.1.2015]

PolyJet Photopolymer Materials R&D technologies, (u.å.) PolyJet Photopolymer Materials [Online]
<http://www.rnd-tech.com/3d-printing-materials/polyjet-photopolymers> [Hämtat 3.2.2015]

NPD- Solutions, (u.å.) What is Reverse Engineering? [Online]
<http://www.npd-solutions.com/reoverview.html> [Hämtat 12.3.2015]

Salonen, A., 2013. *3D- tulostimen käyttö auton osien valmistuksessa* Seinäjoki: Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu Tekniikan yksikkö

Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan

Figurförteckning

Figur 1. Översikt av FDM. Dessa maskiner kan ha ett eller flera munstycken, för stödmaterial [Online]
<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 2. Översikt av SLA-tekniken [Online]
<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 3. Funktionsprincipen för SLA [Online]
 Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan. [Hämtat 19.2.2015]

Figur 4. Efterbehandlingskedan [Online]
 Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan. [Hämtat 19.2.2015]

Figur 5. Översikt av Selective Laser Sintering [Online]
<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 6. Funktionsprincipen för SLS [Online]

Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan. [Hämtat 19.2.2015]

Figur 7. Efterbehandlingskedan [Online] Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan. [Hämtat 19.2.2015]

Figur 8. Översikt av PolyJet [Online] <http://venturebeat.com/2008/10/15/3-d-prototype-printing-moves-to-your-desktop/> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 9. Översikt av Laminated Object Manufacturing [Online] <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 10. Funktionsprincipen för LOM [Online] Zachmann, L., 2014. *3D Printing – Potential analysis and implementation of an Additive Manufacturing system to reduce production equipment costs*. Stockholm, Kungliga Tekniska Högskolan. [Hämtat 19.2.2015]

Figur 11. Översikt av DMLS [Online] <http://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 12. Formsprutningen passerar 3D-printningen i styckpris efter 10 000 stycken [Online] <http://www.3ders.org/articles/20141106-is-3d-printing-technology-a-viable-and-affordable-alternative-to-injection-molding-production.html> [Hämtat 20.2.2015]

Figur 13. Teckenförklaring [Online] <http://www.3ders.org/articles/20141106-is-3d-printing-technology-a-viable-and-affordable-alternative-to-injection-molding-production.html> [Hämtat 20.2.2015]

Figur 14. 3D Systems prototypmaskin för det nya tillverknings sättet. Man kan se transportbandet och raden av extrudermunstycken ovanför [Online] <http://3dprintingindustry.com/2014/06/27/googles-sick-3d-devices-revealed-io/> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 15. Prototypmodulerna för telefonen [Online] <http://3dprintingindustry.com/2014/06/27/googles-sick-3d-devices-revealed-io/> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 16. Exempel på punktmoln [Skärmdump från Rubicon 3D]

Figur 17. Funktionsprincipen hos laser triangulering [Online] <http://www.mtiinstruments.com/products/lasertriangulation.aspx> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 18. Funktionsprincipen hos skanning med strukturerat ljus [Online] <http://www.rapidform.com/3d-scanners/> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 19. En kontaktmätmaskin bestående av en arm med flera frihetsgrader. [Online]
<http://www.makepartsfast.com/2011/03/1599/for-lockheed-martin-3d-scanner-assures-the-right-fit-the-first-time/> [Hämtat 19.2.2015]

Figur 20. Funktionsprincipen hos fotogrammetri [Online]
http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/equipment_services/equipment/photogrammetry.html [Hämtat 19.2.2015]

Figur 21. Den färdiga modellen med brister och förvrängningar i formen. [Skärmdump från Autodesk 123D Catch]

Figur 22. Rubicon-skannern använder laser triangulation [Online]
<http://www.rubitech.org/index.html>

Figur 23. Gaussiska sigman och kantens tröskelvärde justeras [Online]
<http://www.rubitech.org/tutorials.html>

Figur 24. Modellen efter skanning [Skärmdump från Rubicon 3D]

Figur 25. Exempel på skanning med Atos Core [Online]
<http://www.wagner-stanztechnik.com/?p=2628>

Figur 26. Systemet räknar ut positionen med hjälp av referenspunkterna [Online]
<http://www.atos-core.com/en/features.php#3dScanning>

Figur 27. Referenspunkter användes för att kombinera botten med resten av flaskan. [Egen bild]

Figur 28. Denna skanner gav detaljerat resultat [Skärmdump från GOM Inspect]

Figur 29. Även sömmarna som uppstår i formsprutprocessen syns [Skärmdump från GOM Inspect]

Figur 30. För att jämna ut ytorna användes defeature-funktionen [Skärmdump från Geomagic Studio]

Figur 31. Plastex Rotaflex lampskärm nr.77 [Skannad från en gammal Plastex produktbroschyr]

Figur 32. Flödesschema som kan tillämpas vid digitalisering av en fysisk produkt, produktbild eller teknisk produktritning. [Eget flödesschema ritat i draw.io]

Figur 33. Blå 330 ml-flaska [Egen bild]

Figur 34. Kam [Egen bild]

Figur 35. Vas [Egen bild]

Figur 36. Knapp [Egen bild]

Figur 37. Äggkopp [Egen bild]

Figur 38. Burk [Egen bild]

Figur 39. Skål, liten [Egen bild]

Figur 40. Skål, stor [Egen bild]

Figur 41. Sked [Egen bild]

18 Bilaga

Tabell B1. Poängsatt version av tabell 1.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Lagertjocklek	4	3	5	2
Noggrannhet	5	4	5	2
Materialpris	3	4	2	5
Kvalité	4	3	5	2
Materialhållbarhet	3	5	2	4
Hastighet	3	5	2	4
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	2	4	3	5

Tabell B2. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för kammen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	3
Kvalité	5
Materialhållbarhet	6
Hastighet	4
Miljövänlighet	1
Efterbehandling	2

Tabell B3. Uträkning av kammens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	9	12	6	15
Kvalité	20	15	25	10
Materialhållbarhet	18	30	12	24
Hastighet	12	20	8	16
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	4	8	6	10
Totalt	65	89	60	80
Vinnare		SLS		



Figur 34. Kam. (Egen bild)

Tabell B4. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för vasen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	2
Kvalité	5
Materialhållbarhet	6
Hastighet	4
Miljövänlighet	3
Efterbehandling	1

Tabell B5. Uträkning av vasens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	6	8	4	10
Kvalité	20	15	25	10
Materialhållbarhet	18	30	12	24
Hastighet	12	20	8	16
Miljövänlighet	6	12	9	15
Efterbehandling	2	4	3	5
Totalt	64	89	61	80
Vinnare		SLS		



Figur 35. Vas. (Egen bild)

Tabell B6. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för knappen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	4
Kvalité	6
Materialhållbarhet	5
Hastighet	3
Miljövänlighet	1
Efterbehandling	2

Tabell B7. Uträkning av knappens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	12	16	8	20
Kvalité	24	18	30	12
Materialhållbarhet	15	25	10	20
Hastighet	9	15	6	12
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	4	8	6	10
Totalt	66	86	63	79
Vinnare		SLS		



Figur 36. Knapp. (Egen bild)

Tabell B8. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för äggkoppen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	3
Kvalité	5
Materialhållbarhet	6
Hastighet	4
Miljövänlighet	1
Efterbehandling	2

Tabell B9. Uträkning av äggkoppens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	9	12	6	15
Kvalité	20	15	25	10
Materialhållbarhet	18	30	12	24
Hastighet	12	20	8	16
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	4	8	6	10
Totalt	65	89	60	80
Vinnare		SLS		



Figur 37. Äggkopp. (Egen bild)

Tabell B10. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för burken och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostand (utan arbetstimmar)	4
Kvalité	6
Materialhållbarhet	5
Hastighet	3
Miljövänlighet	1
Efterbehandling	2

Tabell B11. Uträkning av burkens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostand (utan arbetstimmar)	12	16	8	20
Kvalité	24	18	30	12
Materialhållbarhet	15	25	10	20
Hastighet	9	15	6	12
Miljövänlighet	2	4	3	5
Efterbehandling	4	8	6	10
Totalt	66	86	63	79
Vinnare		SLS		



Figur 38. Burk. (Egen bild)

Tabell B12. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för skålen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	1
Kvalité	6
Materialhållbarhet	5
Hastighet	2
Miljövänlighet	4
Efterbehandling	3

Tabell B13. Uträkning av skålens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	3	4	2	5
Kvalité	24	18	30	12
Materialhållbarhet	15	25	10	20
Hastighet	6	10	4	8
Miljövänlighet	8	16	12	20
Efterbehandling	6	12	9	15
Totalt	62	85	67	80
Vinnare		SLS		



Figur 39. Skål, liten. (Egen bild)

Tabell B14. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för skålen och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	2
Kvalité	6
Materialhållbarhet	5
Hastighet	2
Miljövänlighet	3
Efterbehandling	4

Tabell B15. Uträkning av skålens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	6	8	4	10
Kvalité	24	18	30	12
Materialhållbarhet	15	25	10	20
Hastighet	6	10	4	8
Miljövänlighet	6	12	9	15
Efterbehandling	8	16	12	20
Totalt	65	89	69	85
Vinnare		SLS		



Figur 40. Skål, stor. (Egen bild)

Tabell B16. Poängsatt viktighetsordning av de önskade egenskaperna för skeden och dess tillverkning.

Egenskap	Vikt.
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	2
Kvalité	5
Materialhållbarhet	6
Hastighet	1
Miljövänlighet	4
Efterbehandling	3

Tabell B17. Uträkning av skedens lämpligaste 3D-printningsteknik.

Egenskap	SLA	SLS	PolyJet	FDM
Styckkostnad (utan arbetstimmar)	6	8	4	10
Kvalité	20	15	25	10
Materialhållbarhet	18	30	12	24
Hastighet	3	5	2	4
Miljövänlighet	8	16	12	20
Efterbehandling	6	12	9	15
Totalt	61	86	64	83
Vinnare		SLS		



Figur 41. Sked. (Egen bild)