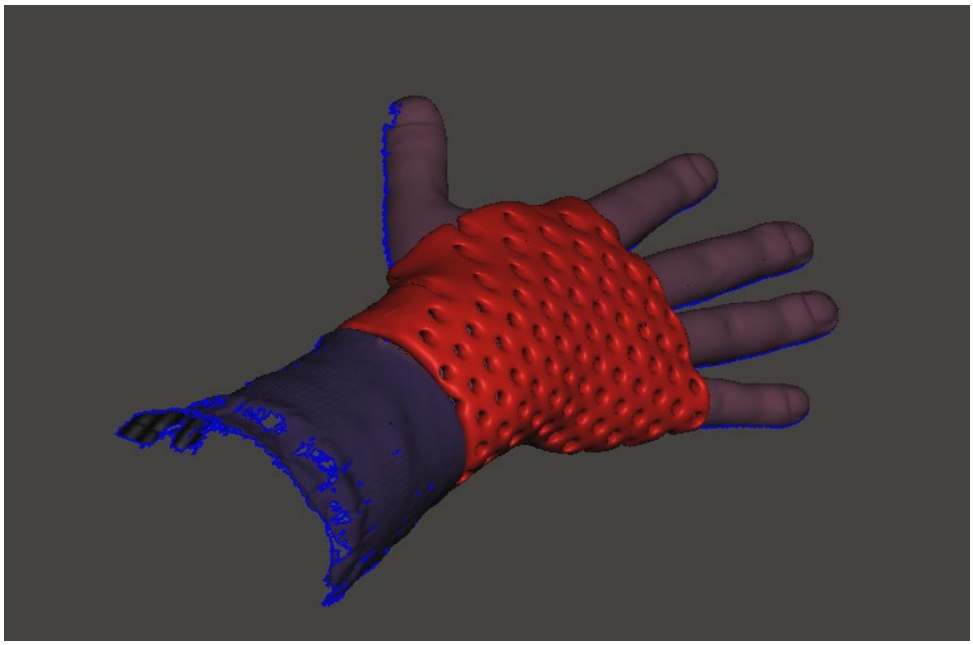
CHALMERS



Möjligheter inom additiv tillverkning för hand- och fingerortoser

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Amir Makhkamov
David Ek

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se

Förord

Detta examensarbete, 15hp, har utförts på Chalmers Tekniska Högskola vid Institutionen för industri- och materialvetenskap. Projektet är genomfört på uppdrag av Alingsås Lasarett. Vi vill tacka vår handledare och examinator Martin Fagerström för vägledning genom projektet och utförandet av rapporten. Tack till Cascade AB för att vi fick komma på studiebesök och lära oss mycket om hur 3D-skanners fungerar. Vi vill även tacka Carl-Johan Dahlin och personal på Alingsås Lasarett för detta uppdrag.

Sammanfattning

Additiv tillverkning är ständigt växande tillverkningsmetod inom industrin. Det är inte bara inom industrin som additiv tillverkning kan tillämpas utan även inom sjukvården. Alingsås Lasarett vill utforska möjligheterna med att använda denna tillverkningsmetod inom rehab vid ortostillverkning. I nuläget så har Alingsås Lasarett ingen erfarenhet av additiv tillverkning och det tillverkas inga ortoser med denna metod. Detta innebär att vi har startat från grunden med att undersöka olika metoder för additiv tillverkning och typer av skanners samt deras för- och nackdelar. Baserat på denna undersökning har vi arbetat med att ta fram inköpsförslag åt Lasarettet då målet är att 3D-printer och 3D-skanner skall köpas in. I denna rapport så behandlas ej frågan om optimal geometri eller om additiv tillverkning kan användas på andra områden inom vården. Rapporten fokuserar på skrivare och skanner som är lämpliga för ortostillverkning.

Resultatet av undersökningen visade att Fused Deposition Modeling (FDM)-tekniken var mest lämplig för tillverkning av ortoser samt att de mindre, handhållna skanners var mest optimala för Alingsås Lasarett. Rekommendationer på 3D-skrivare och skanners samt för- och nackdelar med dessa har presenterats redogjorts för. Praktisk del som inkluderar skanning samt testutskrift av ortos har ej gjorts. Framtida arbete bör innehålla en undersökning av optimal geometri och design för ortoser. Det kommer även krävas en mjukvara för att tillverka ortosen digitalt efter inskanning av hand innan utskrift kan ske. Rapporten redogör ej för optimal mjukvara eller arbetssätt för att omvandla inskannat objekt till färdig utskrift. En fullständig arbetsprocess från inskanning av hand till färdig utskrift bör tas fram. För att kunna genomföra detta så krävs utbildning inom området åt berörd personal.

Abstract

Additive Manufacturing is a constantly growing manufacturing method in the industry. It is not just in the industry that additive manufacturing can be used but also in the healthcare. Alingsås Lasarett wants to explore the possibilities with using this method of manufacturing in the rehab department and manufacture orthosis. Today Alingsås Lasarett has no experience in additive manufacturing and no orthosis in manufactured using this method. This means that we have started from the beginning examine different methods for additive manufacturing and scanners as well as the pros and cons. We have presented Alingsås Lasarett with different purchase recommendations based on this research. The goal is to purchase and use both printer and scanner for manufacturing orthosis on their own. In this report the optimal geometry of the orthosis is not included, neither if additive manufacturing can be used in different parts in the healthcare industry other than in orthosis manufacturing. The focus lies only on printers and scanners suitable for orthosis manufacturing.

The result of the research showed that Fused Deposition Modeling (FDM) were most suitable for orthosis manufacturing and the smaller, handheld scanners were the most optimal for Alingsås Lasarett. Recommendations of 3D-printers and scanners have been presented. Practical part that includes scanning and test printing of orthosis have not been made. Future work should include research of optimal geometry and design of orthoses. A software is required to craft the orthosis digitally after scanning before printing can be done. The full work process from scanning to completed printing should be optimized. To be able to make this complete work process education to workers is required.

Innehållsförteckning

1 INTRODUKTION 1
1. BAKGRUND 1
2. SYFTE 1
3. MÅL 2
4. AVGRÄNSNINGAR 2
5. KORT GENOMGÅNG AV RELATERANDE ARBETEN 2
2 TEORETISK REFERENSRAM 3
2.1 HISTORIA OM ADDITIV TILLVERKNING 3
2.2 VILKA PROCESSER FINNS DET INOM ADDITIV TILLVEKRNING 3
3. VAT PHOTOPOLYMERISATION 4
2.3.1 STEREOLITHOGRAPHY (SL) 4
2.3.2 DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP) 4
2.3.3 MASKED STEREOLITHOGRAPHY (MSLA) 4
2.4 MATERIAL JETTING 5
2.4.1 DROP ON DEMAND (DOD) 5
2.5 BINDER JETTING 5
2.5.1 SAND BINDER JETTING 6
2.5.2 METEAL BINDER JETTING 6
2.6 POWDER BED FUSION 6
2.6.1 SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) 7
2.6.2 ELECTRON BEAM MELTING (EBM) 7
2.7 MATERIAL EXTRUSION 8
2.7.1 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) 8
2.8 SHEET LAMINATION 8
2.9 DIRECTED ENERGY DEPOSITION 9
2.10 HUR 3D-SKANNERS FUNGERAR 9
2.10.1 LASER-TRIANGULATON 10
3. METOD 12
3.1 METOD FÖR LITTERATURSÖKNING 12
3.2 METOD FÖR ATT FÖRSTÅ DAGENS ARBETE PÅ ALINGSÅS LASARETT 13
3.3. ANDRA STEG I METODEN SOM ANVÄNDS 13
4. SAMMANFATTNING AV STUDIEBESÖK 13
4.1 ALINGSÅS LASARETT 13
4.2 CASCADE 14
5. INKÖPSFÖRSLAG 14

5.1 UTMANINGAR MED 3D-SKRIVARE 14
5.2 VAL AV LÄMPLIG ADDITIV TILLVERKNINGSPROCESS FÖR TILLVERKNING AV HAND- OCH FINGERORTOS 15
5.3. VAL AV 3D-SKRIVARE OCH MATERIAL 17
5.4. UTMANINGAR MED 3D-SKANNERS 23
5.5. VAL AV LÄMPLIG 3D-SKANNER 23
6. VITUELL ORTOSPROTOTYP: FRÅN SKANNAD HAND TILL CAD DESIGN 26
7. DISKUSSION 27
8. SLUTSATSER 28
9. FRAMTIDA ARBETE 29
9.1 HUR KOMMER FORSKNING, ALINGSÅS LASARETT OCH SAMHÄLLET NYTTJA RESULTATET AV DETTA PROJEKT 29
9.2 VAD SKALL GÖRAS SOM NÄSTA STEG 29
REFERENSLISTA 30

1 INTRODUKTION

1. BAKGRUND

Ortos är ett samlingsnamn för hjälpmedel som används som ett yttre stöd på en kroppsdel. Syftet med en ortos är att motverka felställningar och motverka muskelsvaghet (1177 Vårdguiden, u.å). En ortos kan också användas för att hålla en kroppsdel stilla för att en fraktur skall läka. Additiv tillverkning är en tillverkningsmetod som används för att skapa objekt från digital design. 3D-skanning är en teknik som digitaliserar objekt utifrån verkligheten. Dessa tekniker används inom flera branscher och utvecklas ständigt. Genom att implementera additiv tillverkning och 3D-skanning för ortostillverkning finns potential att förbättra för patienter med behov av ortosstöd. Denna relativt nya teknik kan potentiellt förbättra ortostillverkning både för arbetsterapeuter och patienter. Genom att utforska möjligheterna med dessa tekniker är målet att hitta en bättre tillverkningsprocess än vad som existerar idag.

Dagens ortos-applicering som sker vid Alingsås lasarett skapar ofta besvär för patienter såsom återkommande justeringar av ortosen och upprätthållning av hygien på den kroppsdel där ortosen är placerad. En 3D-printad ortos kan förhoppningsvis eliminera eller minska dessa besvär. Först och främst möjliggör en 3D-skanning en noggrann mätning av handens yttre geometri, med minimal beröring av patienten (som kan ha mycket ont). Inskanning bidrar därmed till en mer exakt mätning så att en ortos kan tillverkas med korrekta mått redan från början, utan behov av efterjustering. Genom tillverkning via 3D-printning möjliggörs också en mer öppen design av ortoser, med bättre ventilation och möjligheter till rengöring, samtidigt som man behåller samma mekaniska egenskaper.

Detta projekt syftar till att stötta Alingsås lasarett i att införskaffa en 3D-skrivare och skanner. Eftersom man på lasarettet inte har någon tidigare erfarenhet av 3D-printning efterfrågas förslag på 3D-skrivare, skanner samt på material som är lämpade för tillverkning av 3D-printade ortoser för patienter. Lasarettet vill efter att ha fått ett inköpsförslag undersöka möjligheterna att själva investera i 3D-skrivare och skanner och använda för eget bruk.

2. SYFTE

Alingsås lasarett ser 3D-printing som en växande potential att utveckla och använda regelbundet inom vården framförallt vid framtagning av ortoser. I dagsläget så använder sig lasarettet inte av 3D-printing för tillverkning av ortoser utan de skapas och formas för hand av arbetsterapeuter.

Projektet skall genomföras som ett uppstartsprojekt då ny teknik skall införas och företaget vill utforska potential och starta tillverkning med denna teknik.

Syftet är att utforska potentialen med 3D-printing som tillverkningsmetod för ortostillverkning på Alingsås lasarett. Tillsammans med undersökningen skall även lämpliga inköpsförslag på både 3D-skrivare och skanners göras, samt en rekommendation på materialval skall presenteras för lasarettet.

3. MÅL

- Undersöka vilken additiv tillverkningsmetod som lämpar sig bäst för att tillverka av hand- och fingerortoser.
    - Specifikt avses att ta fram inköpsförslag på tre olika typer av 3D-skrivare med vald tillverkningsmetod.
    - Utse minst två olika leverantörer av 3D-skrivare.

- Undersöka vilken typ av 3D-skanner som lämpar sig bäst för 3D-skanning av hand och finger.
    - Specifikt avses att ta fram inköpsförslag på tre olika typer av 3D-skanners.
    - Målet är även att identifiera minst två olika leverantörer av 3D-skanners.

- Undersöka vilket polymermaterial som lämpar sig för hand- och fingerortos.
    - Specifikt avses att välja material som är kompatibelt med valda 3D-skrivare.

4. AVGRÄNSNINGAR

På grund av spridningar av Covid-19 har de flesta initialt planerade praktiska moment fått ställas in, såsom test-printning på Chalmers (Campus Lindholmen). Därför har detta examensarbete genomförts som en studie utav digitala källor och mailkontakt med företag.

Denna rapport behandlar endast metoder för inskanning och 3D-printing. Det ingår alltså inte optimering av design för hand- och fingerortos eller arbetsflödet från inskanning till färdig produkt.

Utbildning av berörd personal har inte behandlats i denna rapport. En ytterligare begränsning är den investeringsbudget som Alingsås lasarett har. Enligt enhetschefen på rehabmottagning Carl-Johan Dahlin, på Alingsås lasarett skall inköpsbudgeten för produkterna (3D-skrivare och 3D-skanner) ligga omkring 80 000 – 240 000 kr. Denna budget avser endast inköpskostnad av 3D-skrivare samt 3D-skanner.

5. KORT GENOMGÅNG AV RELATERANDE ARBETEN

Det finns flera undersökningar och arbeten som är relaterade till ortostillverkning med hjälp av additiv tillverkning.

Kim och Jeong (2015) visar att det kan ta upp till 8,2 timmar för en patient att få sin 3D-printade handortos. I dessa 8,2 timmar så igår själva 3D-skanning av handen och 3D-printning av handortos. Den tillverkningsprocess som Kim och Jeong använde sig av var Material Jetting. 3D-skrivaren som de använde sig av var Ob-jet500 Connex of Stratasys Inc.

Kim och Jeong 3D-printade handortos var designad att ha en inre ram, som skulle upprätta hålla handen samt ge stöd för handfraktur, och ett yttre omslag vars syfte är att skydda den skadade handen mot stötar från omgivningen. För att skapa den inre ramen behövde Kim och Jeong använda sig av 22cm^3 ABS-plast för den inre ramen samt 48.8 cm^3 för stödstruktur under uppbyggnaden. Tanken bakom deras ortos-design var att ram och omslag skulle klara inre och yttre krafter, passa handen, skapa ventilation och minimera vikt. (Kim & Jeong, 2015).

Baronio, Harran och Signoroni använde sig av en SCAN in a BOX Structured Light-skanner från det italienska företaget OpenTechnologies för att 3D-skanna en hand. Enligt Baronio, Harran och Signoroni var skannern omkonfigurerabar och kunde framkalla högupplösta bilder. Denna skanner hade även en garanterad metrisk noggranhet på 0,1 % med respekt till objektet som man vill skanna (Baronio, Harran & Signoroni, 2016). Deras hand-skanning tog cirka två minuter. Under dessa två minuter flyttade de på skannern så att den kunde fånga upp hand-skanningen från olika vinklar. Baronio, Harran och Signoroni hade dock problem med att upprätthålla handen i fix position under själva skanningsperioden. Detta problem lyckades de att lösa genom att skapa en referens-skanning som utgångspunkt och på så sätt kunde de anpassa sina olika skanningar till just denna referens-skanning och skapa en detaljskanning.

Paterson, Bibb och Campbell skriver i sin slutsats att material som skall användas för att skapa en ortos med hjälp av en 3D-skrivare bör uppfylla ISO 10993 standarden (Paterson, Bibb & Campbell, 2012).

Material som uppfyller standardserien ISO 10993 är lämpliga för bland annat 3D-printning av dentala och ortopediska syften, för mer information om standardserien ISO 10993 se RISE i källhänvisningen (3D-systems, u.å).

2 TEORETISK REFERENSRAM

I det här kapitlet skall läsaren få en inblick på vilka processer och tekniker som det finns inom additiv tillverkning och 3D-skanning samt deras för- och nackdelar. Tanken bakom informationen i det här kapitlet är att ge läsaren inblick i dessa tekniker och därför är fokuset på en kort men relevant sammanfattning av information som inte nödvändigtvis går in i detalj.

2.1 HISTORIA OM ADDITIV TILLVERKNING

Modern additiv tillverkning utvecklades först under 1980-talet. Charles Hull är en av de viktigaste personerna inom additiv tillverkning. Hull patenterade tillverkningsmetoden som idag kallas för Stereolithography (SL). (Goldberg, 2018) Hulls arbete lade grunden för användning av additiv tillverkning för kommersiellt bruk, genom att vara först med att skapa ett företag som fokuserar just på tillverkning. Företaget döpte Hull till 3D-systems. (Goldberg, 2018) (Wohlers & Gornet, 2016).

Enligt ISO/ASTM 52900:2015 så definieras additiv tillverkning som ‘‘process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies”

2.2 VILKA PROCESSER FINNS DET INOM ADDITIV TILLVEKRNING

Idag finns det sju stycken huvudprocesser inom additiv tillverkning som i tur delas in i olika underkategorier för respektive process. Dessa underkategorier kallas i denna rapport för tekniker. Benämningar på teknikerna kan variera varifrån man har fått information på respektive teknik, men huvudsakligen är dessa tekniker detsamma.

De sju huvudprocesser inom additiv tillverkning är följande: VAT Photopolymerisation, Material Jetting, Binder Jetting, Material Extrusion, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination och Directed Energy Deposition (Loughborough University, [1]).

3. VAT PHOTOPOLYMERISATION

VAT Photopolymerisation är en tillverkningsprocess inom additiv tillverkning som använder sig av en ljuskälla som exempelvis ultraviolett (UV) laser för att härda flytande fotopolymer. (Loughborough University, [2]). Fotopolymer ett samlingsnamn på polymerer som härdas när de reagerar med ljus. Ljuskällan som används för att härda fotopolymer skiljer beroende på vilken teknik man använder sig av inom VAT Photopolymerisation.

Vid tillverkning av ett objekt så behövs stödstrukturer skapas. Detta beror på att man använder sig av flytande fotopolymer för att direkt härda materialet och skapa det önskade objektet. (Loughborough University, [2]) För att förtydliga det ytterligare så har man alltså en behållare som är fylld med flytande fotopolymer som härdas med en ultraviolett (UV) laser som träffar ovanifrån. När lasern har härdat den flytande fotopolymeren så sänks byggplattformen ner i behållaren där fotopolymeren befinner sig och processen upprepas tills det önskade objektet är färdig.

Den största skillnaden med VAT Photopolymerisation och de andra processer inom additiv tillverkning är att VAT Photopolymerisation använder sig av en ljuskälla för att samtidigt forma och härda objektet man vill tillverka. Material som används inom VAT Photopolymerisation är fotopolymer-harts. (All3DP, [1])

De vanligaste 3D-pritnings teknologierna inom VAT Photopolymerisation-processen är Stereolithography (SL), Digital Light Processing (DLP) och Masked Stereolithography (MSLA) (All3DP, [1]).

2.3.1 STEREOLITHOGRAPHY (SL)

Som tidigare nämndes så var Stereolithography-teknologin signifikant för historien av additiv tillverkning då det är den första teknologin som utvecklades, patenterades och användes i kommersiellt bruk (Wohlers & Gornet, 2016). Inom Stereolithography så använder man datorstyrda-speglar för att justera vart laserstrålen skall träffa det flytande fotopolymeren. Laserstrålen träffar alltså först de justerbara speglarna som därefter riktar vart laserstrålen skall träffa det flytande fotopolymeren. (All3DP, [1]) (Pires, 2020)

2.3.2 DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP)

Digital Light Processing (DLP) använder sig, (till skillnad från Stereolithography (SL) av en digital projektor istället för en laserstråle. Den digitala projektor projicerar en tvådimensionell bild som härdar ett helt skikt av objektet från fotopolymeren på en och samma gång. (Manufacturing Guide, [1]) Digital Ligt Processing (DLP)-skrivare är generellt billigare än Stereolithography (SL)-skrivare (Pires, 2020)

2.3.3 MASKED STEREOLITHOGRAPHY (MSLA)

Masked Stereolithography (MSLA) använder sig utav LED-arrayer för härda ett helt lager på en och samma gång. I Masked Stereolithography (MSLA) har man alltså tagit bort projektorn som används inom Digital Light Processing (DLP) samt speglar som i Stereolithography (SL) och bytt ut dessa med LED-ljus som skickas genom en LCD-skärm. (All3DP, [1])

Följande fördelar med VAT Photopolymerisation: Processen har en hög noggrannhet, kan skapa funktionsprototyper och att objektet får en god ytfinhet (All3DP, [1]) (Loughborough University, [2]).

Följande nackdelar med VAT Photopolymerisation: Objektet blir sprött, att processen är dyr relativt till andra 3D-printingsprocesser och materialval är begränsat till bara fotopolymer jämfört med exempelvis Selective Laser Melting (All3DP, [1]) (Loughborough University, [2])(Manufacturing Guide, [2]).

2.4 MATERIAL JETTING

Inom Material Jetting applicerar man material droppvis på en byggplattform. Materialet är flytande och släpps alltså ner på byggplattform droppvis för att sedan härdas med hjälp av en ljuskälla. Ultraviolett (UV) ljus är ljuskällan som används för att härda det flytande materialet. (Loughborough University, [3]) Byggplattformen rör sig nedåt när tvärsnittet har blivit färdigt, detta kallas för "Drop on Demand (DOD)" (Loughborough University, [3]).

Material som används inom Material Jetting är polymerer såsom polypropen, HDPE-plast, ABS-plast, Polymetylmetakrylat och vax (Loughborough University, [3]).

En teknik som finns inom material Jetting är Drop on demand (DOD) (Loughborough University, [3]).

2.4.1 DROP ON DEMAND (DOD)

Inom Drop on demand (DOD) applicerar man först droppvis byggmaterialet för själva objektet. Därefter applicerar man stödmaterial runt omkring objektet som skall tillverkas. Detta stödmaterial behöver man sedan ta bort för att komma åt objektet som man tillverkat. (All3DP, [1])

Följande fördelar med Material Jetting: Den har hög noggrannhet, låg spillnivå, god ytfinhet och möjlighet till att tillverka objekt med olika material och färg samtidigt (Loughborough University, [3]) (All3DP, [1]).

Följande nackdelar med Material Jetting: Objektet blir sprött, materialval är begränsat till bara vax och polymer. Processen har ofta högre kostnad än SL och DLP samt att objektet inte är lämpat för tillverkning om dess syfte är att användas som en mekanisk komponent. (Loughborough University, [3]) (All3DP, [1]).

2.5 BINDER JETTING

I Binder Jettings processen använder man sig av material som är i pulverbaserat tillsammans med ett bindemedel för att skapa objekt. Bindemedlet befinner sig i flytande form (Loughborough University, [4]). Bindemedlet som kan användas är exempelvis vara polyethylene vax. (Medical Design & Outsourcing, 2019)

Det pulverbaserade materialet befinner sig i en behållare och objektet formas genom att bindemedlet droppvis kommer ner ovanför materialet (Loughborough University, [4]) (All3DP, [1]). Behållaren där det pulverbaserat materialet befinner sig kallas för pulverkammare (All3DP, [1]). När ett lager av objektet har blivit färdigt förflyttas pulverkammare nedåt och nytt pulverbaserat material läggs ovanpå det nylig sänkta

lagret. Denna process upprepar sig tills objektet har tillverkats färdigt. Pulver som inte har blivit utnyttjat för tillverkning av ett objekt kan återanvändas för nästa tillverkning (Manufacturing Guide, [3]).

Material som används inom Binder Jettings är metall såsom rostfritt stål och volframkarbid samt keramer (Loughborough University, [4]).

De vanligaste teknikerna som används i Binder Jettings processen är Sand Binder Jetting och Metal Binder Jetting (All3DP, [1]).

2.5.1 SAND BINDER JETTING

Inom Sand Binder Jetting-tekniken kan man använda sig av exempelvis kiselsand och sandsten för att tillverka objekt (All3DP, [1]). Objektet kan härdas antigen vid rumstemperatur eller med hjälp av en värmekälla (Manufacturing Guide, [4]). Sand Binder Jetting är användbart för tillverkning av sandformar som kan användas bland annat för gjutning (All3DP, [1]).

2.5.2 METEAL BINDER JETTING

Inom Metal Binder Jetting tillverkar man metallobjekt med hjälp av metallpulver och polymer som bindemedel. Dock krävs det efterbearbetning av objektet såsom sintring annars kommer objekt få bristande mekaniska egenskaper. (All3DP, [1])

Följande fördelar med Binder Jetting: Man kan skapa objekt av olika material såsom metall, polymer och keramer. Tillverkningstiden är relativt snabb i jämförelse med andra 3D-printingsmetoder och tillverkningskostnaden är låg samt att ingen stödstruktur behövs (Loughborough University,[4]) (All3DP, [1]).

Följande nackdelar med Binder Jetting: Objektet har sämre mekaniska egenskaper jämfört med andra 3D-printingsprocesser såsom Powder Bed Fusion (All3DP, [1]). Binder Jetting processen är heller inte lämpad för tillverkning av objekt som skall användas som en konstruktionsdel (Loughborough University, [4]). För att kunna använda objektet som en konstruktionsdel så behövs sintring för att uppnå god hållfasthet (Manufacturing Guide, [3]).

2.6 POWDER BED FUSION

Powder Bed fusion är en process inom additiv tillverkning som använder sig utav en energikälla för att smälta och binda samman pulverbaserat material (Loughborough University, [5]) (All3DP, [1]). Det pulverbaserade materialet som objektet tillverkas av befinner sig i en behållare, en s.k. pulverkammare. Värmen från energikällan får det pulverbaserade materialet att smälta och binda samman. När ett tvärsnitt har blivit färdigt så läggs ett nytt lager av det pulverbaserade materialet ovanpå. Denna process upprepar sig tills objektet har blivit färdigt. Då man använder sig utav en behållare som är fylld av det pulverbaserade materialet för att direkt på den smälta och binda samman objektet, så finns det inget behov av en stödstruktur (Milan, 2017).

Inom Powder Bed Fusion använder man sig av antingen laser eller elektronstålskanon som energikälla för att smälta och binda samman det pulverbaserade materialet (Loughborough University, [5]). Objekt som tillverkats av antingen laser eller elektronstålekanon behöver efterbearbetas efter det har blivit tillverkat.

Efterbearbetning kan exempelvis vara fräsning för att uppnå den önskade toleranserna. (Park, 2016) (Manufacturing Guide, [5]) Pulver som inte har blivit utnyttjad för tillverkning av ett objekt kan återanvändas för nästa tillverkning (Manufacturing Guide, [5]).

Skillnaden mellan laser och elektronstålekanon är att laser kan tillverka objekt med högre noggrannhet än objekt som tillverkats av elektronstålekanon. Elektronstålekanon kan dock tillverka objekt snabbare än laser. (Park, 2016)

Som nämns ovan så är materialet som används inom Powder Bed fusion pulverbaserat, vilket innebär att det skulle kunna vara vilket material som helst så länge det materialet är pulverbaserad. Vanligtvis används metall såsom rostfritt stål och titanium och polymerer såsom nylon (Loughborough University, [5]).

De vanligaste teknikerna som används i Powder Bed fusion processen är Selective Laser Sintering och Electron Beam Melting (EBM) (All3DP, [1]).

2.6.1 SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

Som tidigare nämndes så används laser i Selective Laser Sintering (SLS) för att smälta och binda samman det pulverbaserade materialet.

2.6.2 ELECTRON BEAM MELTING (EBM)

I Electron Beam Melting (EBM) använder man sig av en elektronkanon för att smälta och binda samman materialet. Används främst för att skapa objekt av metall, exempelvis titan (Manufacturing Guide, [5]) (Loughborough University, [5]). Skillnaden mellan Selective Laser Sintering- och Electron Beam Melting (EBM)-teknik är energikällan som man använder sig av för att smälta och binda samman materialet. I Selective Laser Melting använder man sig av laser och i Electron Beam Melting (EBM) använder man sig av en elektronstrålekanon. (Manufacturing Guide, [5])

Följande fördelar med Powder Bed Fusion: Processen kan skapa objekt som kan användas för att visuellt demonstrera en modell eller prototyp. En annan fördel med Powder Bed Fusion är att det finns stort val av material. (Loughborough University, [5]) Dock måste materialet vara pulverbaserat. Det behövs ingen stödstruktur då man använder sig utav en behållare som är fylld med pulverbaserat material för att skapa objektet. Selective Laser Sintering (SLS) har generellt hög noggrannhet, skapar objekt med god ytfinhet samt att objekten kan vara av polymer eller metall (Joris J.C. Remmers, Associate Professor vid Einhovens tekniska universitet, Nederländerna, privat kommunikation).

Följande nackdelar med Powder Bed Fusion: hög energikonsumtion för att skapa ett objekt samt att ytfinishen är beroende på pulvrets finhet och storlek. (Loughborough University, [5]) Selective Laser Sintering (SLS) har generellt dyrt material och dyra 3D-skrivare.
(Joris J.C. Remmers, Associate Professor vid Einhovens tekniska universitet, Nederländerna, privat kommunikation).

2.7 MATERIAL EXTRUSION

Material Extrusion är en process inom additiv tillverkning där material appliceras på en byggplattform genom att värma upp inmatningsmaterial och applicera det med hjälp av ett uppvärmt munstycke (Loughborough University, [6]) (All3DP, [1]). Inmatningsmaterialet kallas även för filament. Byggplattformen rör sig vertikalt och munstycket rör sig horisontellt (Loughborough University, [6]). Byggplattformen där objektet befinner sig rör sig nedåt när dess tvärsnitt har blivit färdigt och stannar därefter så att munstycket kan applicera material igen. Denna process upprepar sig tills objektet har blivit färdigt. Material som används inom Material Extrusion är vanligtvis termoplaster såsom ABS, PLA och PET (All3DP, [1]).

2.7.1 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM) är inte bara den vanligaste tekniken inom Material Extrusion men även den mest tillgängliga tekniken på marknaden (All3DP, [1]) (Loughborough University, [6]).

Man använder sig av en spole av material som exempelvis ABS-plast som matas in i det uppvärmda munstycket. Materialet som munstycket applicerar på byggplattformen stelnar och därefter kan nytt lager appliceras ovanpå. Beroende på objektets geometri kan det finnas behov av att skapa stödstruktur. Desto mer komplex geometri objektet har desto mer stödstrukturer behövs skapas. (All3DP, [1]) Efterbeatbeting krävs där man eliminerar dessa stödstrukturer (Manufacturing Guide, [6]).

Följande fördelar med Material Extrusion: Enligt All3DP så skapar processen Material Extrusion en av de bästa ytfinheterna på objekt i jämförelse med andra processer inom additiv tillverkning. Material Extrusion har hög materialutnyttjande, det finns stort val av polymera material som objekt kan tillverkas av samt att maskinerna är generellt billiga (Manufacturing Guide, [6]). De flesta polymerer kan skrivas ut med Fused Deposition Modeling (FDM) och används generellt för att tillverka stora objekt (Joris J.C. Remmers, Associate Professor vid Einhovens tekniska universitet, Nederländerna, privat kommunikation).

Följande nackdelar med Material Extrusion: Kvaliteten på objektet drastisk förändras beroende på munstyckets radie (Loughborough University, [6]). Ytfinheten kan man förändra genom att efterbearbeta objektet med hjälp av exempelvis slipning, vaxning och upphettning. En ytterligare nackdel med Material Extrusion är att objektet kan behöva ha stödstruktur ju mer objektets geometri blir. (Manufacturing Guide, [6]).

2.8 SHEET LAMINATION

Sheet Lamination är en process inom additiv tillverkning där materialet är i arkform och matas in på byggplattformen, på vilken dessa sedan slås samman och skapar objektet (Loughborough University, [7]). Material slås samman genom antingen ultraljudssvetsning eller genom att limmas ihop (Loughborough University, [7]) (Siemens,u.å). Man limmar vanligtvis papper som kommer från pappersark (Siemens, u.å).

Material som används vanligtvis inom Sheet Lamination är papper, polymer och metall (Loughborough University, [7]) (Siemens, u.å). Det viktigaste inom Sheet lamination är

att materialet är i arkform. Anledningen till detta är att det underlättar materialets inmatning och i sin tur objektets tillverkning (Siemens, u.å.).

Följande fördelar med Sheet Lamination: Det är en billig tillverkningsmetod som även är snabb. Anledningen till varför processen är snabb beror på att beskärningen av materialet utifrån objektets kontur och inte av hela tvärsnittet. (Loughborough University, [7])

Följande nackdelar med Sheet Lamination: Beroende på om materialet som man valt är antingen polymer eller papper så kan det finnas behov av efterbearbetning efter att man skapat objektet. Detta är beroende på att objektets finish inte alltid är av det man önskade sig. Eftersom materialet måste vara i arkform skapar det begränsningar på val av material. (Loughborough University, [7])

2.9 DIRECTED ENERGY DEPOSITION

Directed Energy Deposition är en process inom additiv tillverkning som används där man applicerar energi inom ett litet men fokuserat område för att smälta materialet. Den energi som appliceras kommer vanligtvis från en laser eller från en elektronkanon. (Gibson et al., 2015) Materialet som objektet tillverkas av kommer från ett munstycke och det kan antingen vara tråd- eller pulverform. När materialet kommit ut från munstycket exponeras det därefter för en energi som smälter ner materialet. Denna tillverkningsprocess används främst för att reparation samt för att fylla i/lägga på material på redan existerande objekt. (Loughborough University, [8])

Beroende om energin kommer från en laser eller från elektronstålekanon så ändras materialmöjligheter för objektet. Vanligtvis används metall när man använder sig utav elektronstålekanon. Det kan exempelvis vara titan eller kobolt-krom (Loughborough University, [8])

Följande fördelar med Directed Energy Deposition: Beroende på om man vill att tillverkningsprocessen ska ske snabbt eller noggrant kan man ställa in maskinen. För att förtydliga detta så om man eftersträvar hög noggrannhet kan man få detta på bekostnad av tiden samt vice versa. Men generellt sker en balans mellan dessa kategorier för att åstadkomma det bästa resultatet utifrån tid och noggrannhetsaspekten. Reparation av objekt kan därför ske med hög noggrannhet för att ge så bra kvalité på objektet som möjligt. (Loughborough University, [8])

Följande nackdelar med Directed Energy Deposition: Elektronstrålekanon måste ha vakuum för att man skapa objekt. Detta ökar oftast kostnaden då det är dyrt att upprätthålla vakuum (DigatalAlloys, 2019).

2.10 HUR 3D-SKANNERS FUNGERAR

Skanners som används för 3D-printing kommer ofta i två olika kategorier, robotskanners och handhållna(manuella) skanners. Robotskanners kräver programmering men då kan också en robot själv skanna av ett föremål utan någon hjälp av en människa. Detta används framförallt vid större föremål och är väldigt vanligt inom fordonsindustrin. Med hjälp av dessa större skanners kan t.ex. en hel bil skannas av, detta görs ofta av tillverkaren för att kunna mäta och säkerställa kvaliteten på tillverkade bilar.

Vid skanning så används en fixtur som håller föremålet på plats så att skanningen kan ske. Ibland så används även en virtuell fixtur. En virtuell fixtur innebär att ett föremål kan mätas i fritt läge och inte behöver vara fastspänd i någon struktur vilket är fallet när en hand/arm skall skannas.

Det som skiljer skanners är givetvis storleken på området som kan skannas av men även precisionen och hur noggrant ett föremål kan skannas av. Hur precisa skanners är beror främst på hur stort område som skall skannas av och dyrare skanners är inte alltid mer precisa än små om det är ett litet område som skall skannas av. Precisionen ligger på cirka 0.10mm från de allra billigaste och minsta skanners upp till en precision på 0.001mm (Cascade AB, 2020). För att tillgodose lasarettets behov så anses även den allra minsta precisionen fullt tillräcklig för att kunna producera en optimal ortos då lasarettet inte kräver noggrannhet på under 1 mm. Det är även många funktioner – som att kunna se 3D-bilden byggas i realtid, kunna editera bilden direkt i skannern med mera – som skiljs åt i olika prisklasser.

Mätningen eller skanningen utförs genom att en laserstråle projicerar en linje eller punkt på ytan av detaljen som skall mätas. Projiceringen reflekteras mot detaljens yta och fångas upp av en eller fler kameror för att översättas till exakta mätpunkter i X/Y/Z-planet genom så kallad lasertriangulering. Genom att svepa laserprojiceringen samlas mätpunkter upp för ytan som skall skannas. Mätpunkterna ligger sedan till grund för kontrollmätning mot en CAD-modell alternativt för att skapa en CAD-modell.
Det är arbetssättet reverse-engineering (se mer nedan) som skall användas för att ta fram en CAD-modell av handen/armen och sedan skall denna CAD-modell användas som grund att arbeta vidare med och ta fram en färdig ortos.

2.10.1 LASER-TRIANGULATON

Denna teknik används för att fånga 3-D mätningar genom att para ihop en laserstråle med en kamera eller sensor. Både laserstrålen och kameran riktas in mot punkten som skall skannas av men genom att sätta en känd vinkel mellan kameran och laserstrålen så kan man mäta avståndet med hjälp av trigonometri, se Bild 1.

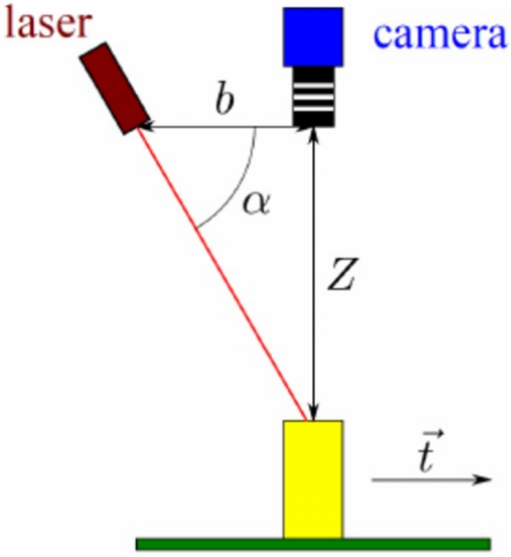


Bild 1. *Laser-Triangulation, bilden är kopierad med tillåtelse från Movimed*

Det negativa med detta är att om avståndet ökar mellan sensor och föremål eller om en större area skannas av så måste sensorn byta position vilket medför att precisionen minskar. Detta är anledningen till varför dyrare/större skanners inte är mer precisa än mindre när ett litet område skall skannas av. Upplösningen blir också sämre av samma skäl om man vill ha noggrannare mätning av distans. Vad som begränsar och avgör hur bra upplösning man kan få av en viss area beror på sensorns storlek och upplösning. Den enklaste varianten är en 1-D sensor, denna skickar en laserstråle mot ytan som studsar tillbaka till sensorn och bestämmer som förklarat i avsnittet ovan avståndet till föremålet. Att skanna en stor yta med 1-D sensor kan bli väldigt tidskrävande och därför används ofta 2 ½-D system för att skanna av större ytor. Denna sensorn fungerar på samma sätt som 1-D sensorn men istället för att bara skicka en laserstråle mot en punkt så reflekteras en hel tvärsnittsyta tillbaka till sensorn. Detta är ett stort lyft jämfört med 1-D men är fortfarande inte bäst.

3-D Sensor:
Äkta 3-D sensor använder sig av ett inbyggt minne för att spara och lagra ett stort antal av 2 ½ -D skanningar (Movimed, 2018). Genom att använda sig av mjukvara så kan dessa sedan "byggas ihop" till en fullständig 3-D bild. Det är denna typen av bild vi vill få fram genom skanning så att den sedan kan bearbetas och en ortos kan utformas efter den. Se Bild 2 för testskanningar som gjordes med hjälp av skanners hos Cascade och som generades som fullständiga bilder i datorprogrammet Meshmixer. Dessa bilder kan sedan modifieras och exakta mått kan tas ut ifrån dem.

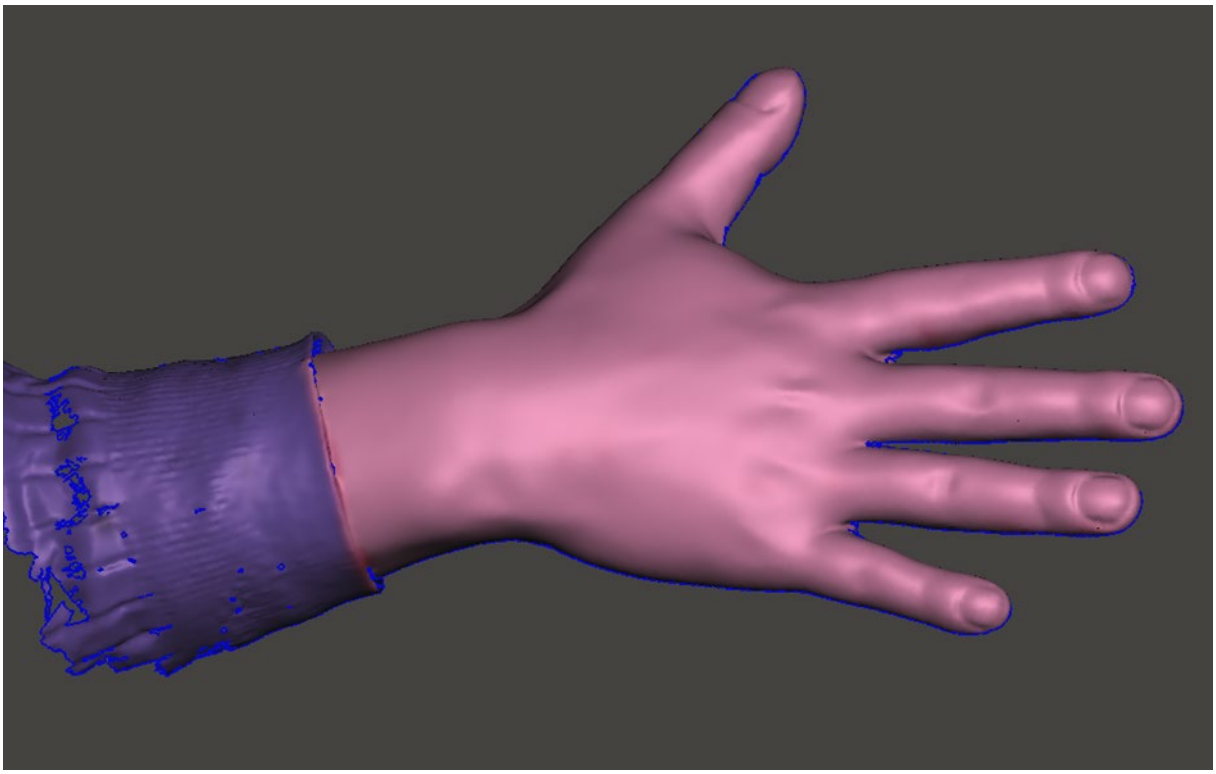


Bild 2. *3D-skannad hand hos Cascade*

Reverse-Engineering:
Med begreppet Reverse-Engineering menas att man arbetar "baklänges" i en arbetsprocess. Man har den färdiga produkten som startpunkt och målet med Reverse-Engineering är att ur en färdig produkt kunna ta fram en ritning och specifikationer på hur produkten fungerar. Målet med detta är att kunna duplicera eller förbättra en

produkt från dess ursprungsläge (Searchsoftwarequality, 2007). Ett vanligt användningsområde för företag är att granska en konkurrents produkter. Då köper man in en färdig produkt för att sedan "bryta ner" produkten för att se vad den innehåller och hur den är uppbyggd. Detta kan också användas för att konstruera något liknande för att undvika t.ex. patent. Reverse-Engineering kan också innebära att man tar fram en 3D bild av produkten (i vårt fall blir produkten patientens hand/arm) för att sedan rekonstruera/förbättra. Här blir begreppet förbättra alltså att lägga ett skyddande lager runt vilket alltså är ortosen.

Reverse-Engineering skall användas av lasarettet för att konstruera en ortos runt den inskannade handen. Via mjukvara skall då ett "lager", vilket i detta fall är ortosen, läggas utan på den inskannade handen och kunna modifieras utefter behov. Ortosen byggs helt enkelt på med handens olika mått som utgångspunkt och här kan du valfri geometri och tjocklek väljas utifrån vad ansvarig arbetsterapeut anser vara lämplig för patienten.

För- och nackdelar med 3D-skanners
3D-skanning har flera fördelar, det räcker oftast med endast en skanning eller datainsamling för att få tillräckligt med information då skannern "skannar" allt inom inställt område. Detta medför att ytterligare mätningar och kostnader reduceras eller elimineras helt. Dessa mätningar som utförs av skanner har också hög precision som beskrivet ovan. Således blir resultatet av en 3D-skanning väldigt detaljrikt och pålitligt att arbeta vidare med.

Att endast behöva utföra en pålitlig mätning har flera ekonomiska fördelar. Det kostar inte heller mycket att utföra och använda samma skanner till flera mätningar på olika objekt.

För att en mätning skall bli så korrekt som möjligt så måste objektet som skannas av vara helt stilla. Detta är en stor nackdel när det kommer till att mäta och skanna hand/arm då det är mycket svårt att vara helt stilla då minsta rörelse påverkar precision avsevärt.

3. METOD

3.1 METOD FÖR LITTERATURSÖKNING

Sökning via hemsidor hos tillverkare & återförsäljare av 3D-skrivare samt 3D-skanners är den primära resurskällan som har använts för att sammanställa denna rapport. Genom information som hittades via dessa hemsidor har sedan flera företag kontaktats via mejl för att få ytterligare kunskap där vi kände att det var nödvändigt. Vi ville även verifiera att källorna är pålitliga.

Bakom det mesta av informationen vi fått från litteratursökningen står företag som själva arbetar med liknande processer. Detta har givit oss tydlig och pålitlig information som vi kan använda och arbeta vidare på. Det användas även vetenskapliga artiklar från bland annat Loughborough University och tidskriften All3DP, som fokuserar på 3D-printing för både nybörjare och professionella. Nyckelsökord som har använts är bland annat: 3D-pritning, additiv tillverkning, additive manufacturing, 3D-skanner, 3D-skanning, orthoses, 3D-cast. Chalmers digitala bibliotek har använts för att hämta information från böcker. Alla källor och företag där information är hämtad ifrån finns redovisade i referenslistan.

3.2 METOD FÖR ATT FÖRSTÅ DAGENS ARBETE PÅ ALINGSÅS LASARETT

För att få en bra grund och förstå hur arbetet fungerar idag så var vi på studiebesök hos Alingsås lasarett där vi fick se hur processen går tillväga från patientbesök till färdig ortos. Personalen tillverkade ortoser utifrån egen hand/arm som exempel och för att vi skulle få bättre kunskap om hur processen gick till. Vi fick se hela processen och vi själva fick genomgå ett eget "patientmöte" på plats. Personalen gjorde två testortoser på oss som kan ses nedan i Bild 3 & 4.



Bild 3. *Testortos 1*



Bild 4. *Testortos 2*

Under vistelsen så fick vi också närvara under ett riktigt patientmöte för att förstå arbetsprocessen och följa ett patentmöte från att patienten kom in till besöket var slut och patienten lämnade med en färdig ortos. Efter patientmötet så fick vi ställa frågor till personalen om dagsläget och vad de själva vill att 3D-printade ortoser skall bidra med för förbättring.

3.3. ANDRA STEG I METODEN SOM ANVÄNDS

För att få en inblick i hur 3D-printing och 3D-skanning fungerar i arbetslivet så fick vi hjälp av företaget Cascade AB som visade oss runt i deras lokaler och förklarade hur de arbetar samt hur en 3D-printing-process ser ut i dagsläget. Cascade arbetar med 3D-skanning hos företag och är försäljare av 3D-skanners från GOM (Cascade, 2020). Hos Cascade fick vi se deras process på plats genom att egen arm blev skannad. Cascade hade flera olika typer av skanners i olika prisklasser tillgängliga.

4. SAMMANFATTNING AV STUDIEBESÖK

4.1 ALINGSÅS LASARETT

Idag tillverkas ortoser vid Alingsås lasarett för hand av arbetsterapeuter. Ett besök börjar alltid med att man för en dialog med patienten om nuvarande läget på skadan och hur pass allvarlig den är. I samtycke med patient så görs sedan en ortos direkt på plats. Materialet som används är en typ av termoplast. Plasten värms upp i ett vattenbad och formas genom att den placeras direkt på patientens hand/arm. Plasten svalnar och blir stel. Efter feedback från patienter så kan ortosen ofta behöva värmas upp igen genom att den åter sänks ner i vattenbadet och omformas flera gånger på patientens hand/arm för

att den skall få en så bra passform som möjligt. Ett besök hos Alingsås lasarett tar uppemot en timme och man vill ej genom införandet av 3D-printing förlänga besökstiden för patienter.

Ortoser tillverkas i syfte med att patienten skall kunna ha samma ortos tills skadan är läkt, men i vissa fall kan ändringar behövas att göra och ortosen kan behövas göras om helt på nytt eller omformas. I dessa fall så genomgår patienten samma steg som i första besöket och en ny ortos tillverkas utefter det nya behovet. Vid sådana fall där ortosen behöver omformas eller göras om på nytt så har man insett att skadans läkningsprocess fördröjs. Anledning till att läkningen fördröjs beror på att patienten vid besvär av ortosens obekvämlighet oftast väljer att ta av sig ortosen. Detta ökar i sin tur risken för ytterligare skada på den kroppsdelen som höll på att läkas. Man vill därför se om den 3D-printade ortosen kan vara men komfortabel samt kan underlätta patientens hygien-underhållning.
Själva arbetet med att forma ortoser kan behöva göras flera gånger för att den skall sitta bekvämt och flera tillägg adderas på plasten för att öka komforten för patient. Just komfort och stöd för patient är i nuläget det viktigaste vid ortostillverkning och man vill genom 3D-printing kunna uppnå bättre resultat på dessa punkter för patienter. Samtidigt vill man underlätta arbetet för arbetsterapeuterna.

Detta var ett första besök för att få en snabb överblick i hur arbetet vid lasarettet fungerade. Det var planerat att genomföra ytterligare minst två besök till som fick ställas in på grund av omständigheterna kring Covid-19. Första mötet med lasarettet var därmed väldigt övergripande och tanken var att gå djupare kring arbetsprocessen i kommande studiebesök.

4.2 CASCADE

Många av de tillgängliga modellerna utav skanners var helautomatiserade vilket innebär att en robot kan programmeras och skanna av föremål helt på egen hand, dessa modeller är större och används främst inom fordonsindustrin. Då projektet skall omfatta skanning av hand/arm och med tanke på användarvänlighet så avgränsas undersökningen endast till handhållna mindre skanners och någon djupare genomgång av de större helautomatiserade 3D-skanners gjordes ej.

Cascade visade också hur smidigt med hjälp av mjukvara den skannade 3D-bilden kunde modifieras och anpassas efter eget önskemål. Personalen visade hur lätt och smidigt en 3D-bild kan anpassas med hjälp av rätt mjukvara. Detta gjordes dock av personal med flera års erfarenhet av liknande arbete och vi insåg snabbt att för att kunna få ett bra resultat med både skanner och mjukvara så kommer det krävas en del utbildning till personal på plats.
Hos Cascade så fick vi se hela deras arbetsprocess men då detta var ett studiebesök så hade vi tyvärr inte tid att vi något testprinta då den uppskattade tiden att skriva ut den inskannade ortosen som visas i kapitlet nedan skulle ta cirka 8 timmar.

5. INKÖPSFÖRSLAG

5.1 UTMANINGAR MED 3D-SKRIVARE

Den stora utmaningen med 3D-skrivare är deras tillverkningshastighet. Beroende på vilken additiv tillverkningsprocess man använder sig kan tillverkningshastigheten

variera. Kostnad på professionella 3D-skrivare kan variera mycket och kan kosta uppemot flera miljoner kr.

Utbildning på hur man använder sig av en 3D-skrivare krävs, så att man kan bland annat minimera materialspill genom att designa objekten på ett optimalt sätt utefter förutsättningarna med den tillverkningsmetod som används. Då personal på lasarett inte nödvändigtvis har en sådan utbildning, krävs det som med 3D-skanners att man korrekt utbildar personalen. Detta kommer att vara en framtida uppgift för lasarett om man väljer att gå vidare med denna teknik. Ett förslag som kan tänkas att minska behovet av utbildning är att man designar en standardortos som enkelt kan ändras och justeras så att den kan anpassas för patienten. Detta är inte en garanterad lösning och det måste därför göras fortsatt forskning på.

5.2 VAL AV LÄMPLIG ADDITIV TILLVERKNINGSPROCESS FÖR TILLVERKNING AV HAND- OCH FINGERORTOS

De 3D-skrivare som valdes att uteslutas är de följande additiva tillverkningsprocesser: Directed Energy Deposition, Sheet Lamination, Binder Jetting. Directed Energy Deposition valdes att diskvalificeras då denna additiva tillverkningsprocess är lämpad för reparation och lager påläggning av redan existerande objekt. Sheet lamination valdes bort då material i denna additiva tillverkningsprocess måste vara i arkform samt att det oftast krävs efterbearbetning på de nyligt skapade objekt.

Binder Jetting är det närmaste process inom additiv tillverkning som är lämpad jämfört med de två tidigare nämnda processer. Även Binder Jettings stora fördelar såsom snabb tillverkningshastighet så lämpar det sig inte för 3D-pritnings av hand- och fingerortoser. Sand Binder Jetting tekniken kan direkt uteslutas då denna teknik används för tillverkning av sandformar. Det är bara Metal Binder Jetting tekniken som kan användas för att tillverka objekt för medicinskt syfte. Dessa objekt kan dock bestå av metall såsom rostfritt stål och volframkarbid. Metal Binder Jetting är därför inte lämpad för tillverkning hand- och fingerortos då man inte kan tillverka ortoser av polymermaterial. Denna rapports syfte är bland annat att komma fram till vilka polymermaterial som är lämpade för hand- och finger ortostillverkning. Att Metal Binder Jetting begränsar sig för bara för tillverkning av metallobjekt är nackdel, då i denna rapport undersöks vilka polymermaterial som lämpar sig bäst för ortostillverkning.

De återstående additiva tillverkningsprocesser som skulle kunna användas för tillverkning av hand- och fingerortos är följande: VAT Photopolymerisation, Material Jetting, Material Extrusion och Powder Bed Fusion.

VAT Photopolymerisation och Material Jetting är en av de dyrare processerna inom additiv tillverkning. Fused Depositon Modeling-tekniken inom Material Extrusion är den billigaste jämfört med VAT Photopolymerisation, Material Jetting, och Powder Bed Fusion.

Material som används för att tillverka objekt inom VAT Photopolymerisation är endast begränsat till fotopolymerar. Objekt som tillverkats med hjälp VAT Photopolymerisation och Material Jetting kan bli spröda vilket inte är lämpligt för en ortos. Då en ortos skall hjälpa läkningsprocessen så är det inte passande att den kan gå av på en och samma

gång då den kommer i kontakt med en yttre kraft. Av dessa anledningar valdes VAT Photopolymerisation och Material Jetting uteslutas.

Inom Powder Bed Fusion (PBF) så är Selective Laser Sintering (SLS) den bäst lämpade tekniken för ortostillverkning. Anledning för detta är att Electron Beam Melting (EBM) används främst för tillverkning av metallobjekt. Selective Laser Sintering (SLS) valdes dock också uteslutas då den kräver hög energikonsumtion för att tillverka ett objekt. Detta beror främst på att man använder sig av laser för att smälta och binda samman material jämfört med Fused Deposition Modeling (FDM) där man ett uppvärmt munstycke smälter materialet. Det krävs även utbildad personal för användning och upprätthållning av 3D-skrivare som använder sig av Selective Laser Sintering (SLS)-tekniken. Detta beror på att Selective Laser Sintering (SLS) processen använder sig av komplexa komponenter såsom laser. För att göra det så enkelt för personal i Alingsås lasaretts personal som möjligt, så valdes denna tillverknings-teknik uteslutas. Sammanställning av uteslutna tillverkningsprocesser kan ses nedan.

Tabell 1. Additiva tillverkningsprocesser som valdes att uteslutas

Directed Energy Deposition	Lämpad för reparation och lager påläggning av redan existerande objekt
Sheet Lamination	Material måste vara arkformat
Binder Jetting	Används främst att tillverka sandformar och metallobjekt
VAT Photopolymerisation	Dyr process
Material Jetting	Dyr process
Powder Bed Fusion (PBF)	Kräver hög energikonsumtion samt komplexa komponenter

Fused Deposition Modeling (FDM)-tekniken blev vinnaren för tillverkning av ortos med hjälp av additiv tillverkning. Detta är speciellt viktigt då denna tillverkningsteknik inte bara är den vanligaste tekniken inom Material Extrusion men även den mest tillgängliga tekniken på marknaden inom additiv tillverkning (All3DP, [1]) (Loughborough University, [6]). Detta indikerar att det är en välprövad- och pålitlig teknik.

Att Fused Deposition Modeling (FDM) kan vara det lämpligaste för hand- och fingerortos fick vi även rekommenderat från Daniel Risberg från företaget Protech. Enligt Protech själva så har de “över 26 år har vi varit pionjärer inom 3D-skrivarlösningar på den nordiska marknaden genom att hjälpa företag och industrier att hitta lösningar som

effektiviserar produktionstider och reducerar kostnader. Protech finns representerade med kontor i Sverige, Danmark, Norge och Finland." (Protech, [1]).

Risling rekommenderar Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-skrivare då han anser att den passar just för 3D-printing hand- och fingerortoser ändamålet. Han formulerar att Fused Deposition Modeling (FDM) har mekaniskt starka materialalternativ.

5.3. VAL AV 3D-SKRIVARE OCH MATERIAL

Alingsås lasarett använder sig idag av en termoplast för tillverkning av hand- och fingerortoser som heter Orfit Eco och kommer från företaget Orfit. Orfit Eco är biologiskt nedbrytbar, perforerad samt är ofarlig för miljön (Orfit, [1]. Alingsås lasarett använder sig av 2,4mm tjockt Orfit Eco.

Tabell 2. Mekaniska egenskaper hos Orfit Eco vid 21ºC (Orfit, [2]).

Perforering (%)	3,5
Böjningsmodul (MPa)	470
Elasticitetsmodul (MPa)	365
Brottgräns (MPa)	11,0
Strain to failure (%)	40

Orfit Eco följer Europaparlamentets och Rådets direktiv 2007/47/EG (Orfit, [1]). Detta direktiv har varit aktivt sen 21 mars 2010 och är en guide för företag som säljer medicinska produkter måste följa (Emergo, 2009).

Direktivet säger bland annat "För att ytterligare garantera människors hälsa och säkerhet är det nödvändigt att vidta åtgärder för en mer konsekvent tillämpning av bestämmelserna om hälsoskyddsåtgärder. Särskilt måste det ses till att produkten vid den tidpunkt då den används inte utgör ett hot mot patienternas hälsa eller säkerhet." (EUR-Lex, 2007). Då denna rapport skall ge Alingsås förslag på vilka material som är lämpliga för tillverkning av 3D-printade hand- och fingerortoser så anses det lämpligt att materialet inte utgör något hot mot patientens hälsa och säkerhet.

Tidigare i rapporten nämns att Paterson, Bibb och Campbell poängterade att material som uppfyller ISO 10993 standardserien bör användas för tillverkning av 3D-printade ortoser (Paterson, Bibb & Campbell, 2012). Standardserien ISO 10993 är bara teststrategier och metoder på hur man utvärderar om materialet är biokompatibelt (RISE, u.å). Forskningsinstitut RISE Research Institutes of Sweden fortsätter "Alla medicintekniska produkter måste genomgå en biologisk utvärdering för att uppfylla kraven i EU:s förordning för medicintekniska produkter (MDR)" (RISE, u.å). RISE utvecklar att syftet med biologisk utvärdering är att eliminera negativa effekter som kan påverka människans hälsa. Man kan alltså dra en slutsats att material som skall användas för tillverkning av ortos med hjälp av additiv tillverkning måste uppfylla standardserien ISO 10993. Dock behöver materialet inte följa precis alla standarder i standardserien ISO 10993, eftersom vissa kan anses irrelevanta såsom standarden ISO/TR 10993-22:2017 som är en guide för hur utvärderar nanomaterial (International

Organization for Standardization, 2017). Då materialets ändamål är tänkt vara hand- eller fingerortos på en patient så behöver räcker polymeren självt så länge de når upp till de mekaniska egenskaper på de material som Alingsås lasarett nuvarande använder.

Riesling från Protech kom fram med förslag att man kan skriva ut ortosen i olika delar. Först kan man skriva ut de delar som kan skall vara i kontakt med huden i certifierat material och därefter kan man exempelvis ha kolfiberförstärkt nylon som stödjer de delar som är gjorda av certifierat material. Dock så behövs det inget kolfiberförstärkt nylon då det biokompatibla materialet är starkare än det som används idag på Alingsås lasarett, data kommer senare i rapporten. Material som Riesling rekommendera som kan användas för kontakt med huden var PC-ISO (polycarbonat-ISO) och ABS-M30i. Dessa två material erbjudas av företaget Stratasys och uppfyller ISO 10993 USP Class VI. På Protechs hemsida står det att "ABS-M30i passar utmärkt till kirurgiska prototyper, sterila verktyg och fixturer samt produkter som kommer i kontakt med hud, mat och medicin" (Protech, [2])

Angående PC-ISO (polycarbonat-ISO) står det "PC-ISO är en termoplast med biokompatibla egenskaper som används i mat- och läkemedelsförpackningar. Med PC-ISO kan konstruktörer skapa säkra prototyper, gjutformar och produkter inom läkemedels-, livsmedelsförpackningar och medicinska industrier." (Protech, [3]).

Tabell 3. Mekaniska egenskaper hos PC-ISO (polycarbonat-ISO) (Stratasys,[1])

Böjningsmodul (MPa)	2100
Elasticitetsmodul (MPa)	2000
Brottgräns (MPa)	57
Strain to failure (%)	4

Tabell 4. Mekaniska egenskaper hos ABS-M30i (Stratasys,[2])

Böjningsmodul (MPa)	2300
Elasticitetsmodul (MPa)	2400
Brottgräns (MPa)	36
Strain to failure (%)	4

Som tydligt kan ses enligt data om PC-ISO (polycarbonat-ISO) och ABS-M30i mekaniska egenskaper, så hade de båda materialen högre brottgräns och högre styvhet än vad som idag används på Alingsås lasarett. PC-ISO (polycarbonat-ISO) och ABS-M30i klarar därmed av högre påfrestningar innan de deformeras betydligt eller går sönder, jämfört med Orfit Eco. Dessa två material är dock mer spröda än Orfit Eco. Tidigare nämndes att fiberförstärkt nylon kunde användas för att stödja de certifierade delarna. Men med det nyligt presenterade data för PC-ISO (polycarbonat-ISO) och ABS-M30i så kan man tydligt se att det inte behövs något yttre stöd för att förstärka en konstruktion dessa material med hjälp av exempelvis kolfiberförstärkt nylon. Denna slutsats kommer man

till om man jämför materialets mekaniska egenskaper med varandra och föreställer sig att ortosen är tillverkad av respektive material

PC-ISO (polycarbonat-ISO) och ABS-M30i är båda perfekta kandidater för tillverkning av 3D-printade ortoser. Problemet är dock att dessa material är kompatibla med Stratasys 3D-skrivare, då det är de själva som säljer dem. Detta innebär att man måste införskaffa sig en FDM-skrivare från Stratasys för att kunna använda sig av dessa material.

Stratasys 3D-skrivare som kan använda sig av ABS-M30i är följande (Stratasys, [2]):

- Fortus 380mc™
- Fortus 450mc™
- Fortus 900mc™

Stratasys 3D-skrivare som kan använda sig av PC-ISO (polycarbonat-ISO) är följande (Stratasys, [1]):

- Fortus 900mc™

Om man vill ha en 3D-skrivare som klarar av att tillverka objekt av båda materialen så måste man alltså ha en en Fortus 900mc™. En Fortus 900mc™ kostar upp mot 400 000 US-dollar, vilket kan avrundas till 4 000 000 kr (engineering.com, 2015). Om man istället vill ha den billigaste av skrivaren från Stratasys så får man välja Fortus 380mc™ och begränsa sig endast till ABS-M30i materialet. Kostnaden för en Fortus 380mc™ skrivare ligger mellan 100 000 till 250 000 dollar, vilket kan avrundas till 1 000 000 till 2 500 000 kr (Aniwaa, u.å). Då Alingsås lasaretts budget ligger mellan 40 000 till 120 000 kr så är orimligt att rekommendera Stratasys FDM-skrivare.

Enligt företaget 3DPrima så är 3D-skrivaren **Ultimaker S5** en kraftfull, tillförlit, flexibel och är smidig att använda (3DPrima, [1]). Företaget Ultimaker som tillverkar Ultimaker S5 är baserat i Nederländerna. 3D-skrivaren kan känna av om filamentet börjar ta slut och kan därför stoppa arbetet och informera användaren om at filament behövs att fyllas på (3DPrima, [1]). Detta är en lämplig egenskap som underlättar för lasarettets personal genom att uppmärksamma personalen att det behövs mer filament. Utskriftsprocessen kan fortsätta sömlöst efter att man har bytt ut filamentet. Ultimaker S5 har en byggvolym på 330x240x300 mm och filamentet diameter måste vara 2,85 mm (Ultimaker, u.å) Enligt Ultimaker så är deras 3D-skrivare optimerad för: PLA, Tough PLA (Ultimakers egna förbättrade PLA), Nylon, ABS, CPE, CPE+, PC, TPU 95A, PP, PVA, Breakaway (Ultimakers egna material) samt kan använda material från tredje part. (Ultimaker, u.å) Priset för Ultimaker S5 ligger på 75 500 kr enligt 3DPrima [1], vilket är inom lasarettets budget. Se Bild 5 nedan.



Bild 5. *Ultimaker S5, bilden är kopierad med tillåtelse från 3DPrima.*

Beroende på munstyckets diameter så varierar lagerupplösningen. Ultimaker S5 har följande munstycken och här deras följande upplösningar:

- 0,25 mm munstycke: 150–60 mikrometer
- 0,4 mm munstycke: 200–20 mikrometer
- 0,8 mm munstycke: 600–20 mikrometer

Ultimaker skapar inga material som följer standardserien ISO 10993, men då Ultimaker S5 kan använda sig filament från tredje parter så finns det andra alternativ.

ABS ELIX FC, ABS Medical Smartfil och PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial är exempel på material som kan användas för tillverkning av ortos. Dessa material är starkare och styvare än dagens material som används på lasarettet.

ABS ELIX FC är ABS plast från företaget Elix polymers som är biokompatibelt och uppfyller ISO 10993-1 USP Class VI. Material som uppfyller ISO 10993-1 USP Class VI garanterar att det är biokompatibelt och kan vara i kontakt med hud upp till 30 dagar. Finns tillgängligt i 1,75 mm och 2,85 mm diameter. (3R3DTM, u.å) (Elix Polymer,2017) ABS ELIX FC klarar av högre påfrestningar innan de deformeras betydligt eller går sönder, jämfört med Orfit Eco. ABS ELIX FC är dock sprödare än Orfit Eco. Även här behövs ingen yttre stöd för att förstärka konstruktionen då materialet är starkare och styvare.

Tabell 5. Mekaniska egenskaper hos ABS ELIX FC vid 23ºC (Elix Polymer,2017)

Böjningsmodul (MPa)		2500
Elasticitetsmodul (MPa)		2450
Sträckgräns (MPa)		47

Strain to failure (%)		16

ABS Medical Smartfil är ABS plats från företaget Smart Materials 3D som är biokompatibelt och uppfyller ISO 10993-1 USP Class VI. Finns tillgängligt i 1,75 mm och 2,85 mm diameter. (FILAMENT2PRINT, [1]) ABS Medical Smartfil klarar av högre påfrestningar innan de deformeras betydligt eller går sönder, jämfört med Orfit Eco. ABS ELIX FC är dock sprödare än Orfit Eco. Även här behövs ingen yttre stöd för att förstärka konstruktionen då materialet är starkare och styvare.

Tabell 6. Mekaniska egenskaper hos ABS Medical Smartfil (FILAMENT2PRINT, [1])

Böjningsmodul (MPa)	2600
Elasticitetsmodul (MPa)	2550
Brottgräns (MPa)	36.5
Strain to failure (%)	-

PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial är ett PLA baserat material som är biokompatibelt och uppfyller ISO 10993-5, ISO 10993-10 och ISO 10993-12. Finns tillgängligt i 1,75 mm och 2,85 mm diameter. (FILAMENT2PRINT, [2]) PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial klarar av högre påfrestningar innan de deformeras betydligt eller går sönder, jämfört med Orfit Eco. ABS ELIX FC är dock sprödare än Orfit Eco. Även här behövs ingen yttre stöd för att förstärka konstruktionen då materialet är starkare och styvare.

Tabell 7. Mekaniska egenskaper hos PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial (FILAMENT2PRINT, [2])

Böjningsmodul (MPa)	3800
Elasticitetsmodul (MPa)	3600
Brottgräns (MPa)	53
Strain to failure (%)	6

En annat inköpsförslag för lasarett är **Ultimaker S5 Pro Bundle** som kostar enligt 3DPrima cirka 120 000 kr (3DPrima, [2]). Ultimaker S5 Pro Bundle paketet innehåller 3D-skrivaren Ultimaker S5, S5 Air Manager (ett ventilationssystem som filtrerar bort upp till 95% av det ultrafina partikelutsläpp, vilket skapar en mer säker arbetsmiljö) och en Ultimaker S5 Material Station (lager för sex stycken filament-spolar) (3DPrima, [2]) (All3DP, [2]). Detta paket rekommenderas starkt då den kommer att underlätta lasarettets personal genom att skapa en mer säker arbetsmiljö och ge utrymme vart man kan lagerhålla flera stycka filament samtidigt. Se Bild 6 nedan.



Bild 6. *Ultimaker S5 Pro Bundle, bilden är kopierad med tillåtelse från 3DPrima.*

Sista 3D-skrivarförslag är på den kinesiska **CreatBot D600 - Dual Extruders**. Företaget 3Dprima säljer denna 3D-skrivare för 99 950 kr. CreatBot D600 - Dual Extruders kan använda sig av deras egna filament gjorda av PLA, ABS, Kolfiber, Trä, Nylon, PC, PTEG, HIPS, PP, Flexible, TPU och PVA samt material från tredje parter exempelvis de tidigare nämnda material (Creatbot, [1]). Enligt 3DPrima så kan Creatbots linjära rälsstruktur skriva ut modeller i noggrannhet som når upp till 50 gånger högre än de andra vanliga optiska axelskrivarna som finns på marknaden (3DPrima, [3]). Byggvolymen är 600x600x600 mm, filaments diamanter kan antigen vara 3–1,75 mm, lagerupplösning på 0,05mm. (3DPrima, [3]) (Creatbot, [2]) Se Bild 7 nedan.



Bild 7. *CreatBot D600 - Dual Extruders, bilden är kopierad med tillåtelse från CreatBot.*

5.4. UTMANINGAR MED 3D-SKANNERS

En stor utmaning som kvarstår med 3D-skanning är att objektet eller föremålet som skannas av måste vara väldigt stilla för att ge en bra 3D-bild och att exakta mått skall kunna tas. Detta är inget problem som man har i industrin då fixturer används men det är väldigt svårt att hålla en kroppsdel helt stilla och minsta rörelse kan påverka resultatet (Cascade,2020).

För att förbättra skanningsprocessen och få en bättre kvalitet på handens eller fingrets geometribeskrivning kan någon sorts fixtur tillverkas och användas för att underlätta för patienten att hålla handen/armen helt stilla. Detta är dock något som vi inte behandlar i denna rapport utan endast få ses som en utmaning och en åtgärd som får behandlas vidare om beslut tas om att detta kan vara nödvändigt för att få denna tillverkningsmetod att fungera optimalt för lasarettet.

Det är inte bara att skanna in och sedan skriva ut ett föremål. Efter inskanning kan man modifiera och ändra på bilden genom att lägga till/ta bort delar. Detta är en process som kräver mycket tid men framförallt också extra kunskap. Att använda så kallad Reverse-Engineering är mycket mer än bara att skanna in ett föremål och att detta kräver en viss tid och kunskap är något som man får ta i beaktning när man väljer att införa en ny teknik vid tillverkning. Genom olika mjukvaror och programvara finns det oändligt många möjligheter att modifiera sitt skannade objekt efter önskemål men denna process är tidskrävande och för att uppnå bästa möjliga resultat också nödvändig att genomföra. Då personalen på lasarettet nödvändigtvis inte är utbildad i denna typ av programvaror, eftersom de inte används idag, är vidareutbildning av personalen något som vi ser måste göras.

Själva "efterarbetet" med att modifiera 3D-bilden och anpassa den på bästa sett för att hitta optimal passform och dylikt är inget som vi har tittat närmare på utan får också ses som en fortsatt utmaning för lasarettet. Cascade visade oss att möjligheten finns att modifiera på olika sätt, se exempel i kapitel 6. Hur lasarettet väljer att göra för att hitta den optimala arbetsmetoden kring detta blir ett framtida arbete.

5.5. VAL AV LÄMPLIG 3D-SKANNER

Rekommendationen här är lagd med endast fokus på skanner och omfattar inte mest stabila eller tillgängliga leverantörer.

Då skanners skall användas av sjukvårdspersonal och att besökstiden skall vara runt en timme så har smidighet/enkelhet tagits i beaktning här. I tidigare kapitel fastslogs att precisionen på skanners är mycket högre än vad som krävs vid tillverkning av ortoser. Detta gör att rekommenderad skanner är en mindre handhållen skanner. Större robotskanners har därmed aldrig varit aktuella för lasarettet. Enligt (Artec 3D, 2020) så är deras billigaste och minsta skanners fullt tillräckliga och även rekommenderade att användas för att skanna en människokropp. Denna mindre variant är heller inte så energikrävande och den kan då användas med en dator som inte är så kallad "state of the art"

Med tanke på enkelheten för arbetsterapeuterna att använda utvald skanner och sedan själva kunna genomföra processen efteråt för att göra om inskannat föremål till en

komplett 3D-bild så har fokus legat på att identifiera en lättanvänd skanner. Denna typ av skanners inkluderar inte så många extra funktioner utöver bara inskanning utan anses av oss vara enklare för personalen att hantera och bearbeta efteråt i vald mjukvara. Enligt Arctecs hemsida så tar en motorcykel ungefär 8minuter att skanna och 30minuter att processa. Eftersom en hand/arm är mycket mindre så förväntas tiden för att skanna och processa dessa ta mycket mindre tid vilket också är viktigt då man vill hålla besökstiden för patienten så kort som möjligt. Det är även svårt att hålla handen stilla under en längre tid och kan vara obekvämt vid smärta.

Av företaget (Artec 3D, 2020) så rekommenderas deras minsta skanner **Eva Lite** för uppstartsprojekt då den har en relativt låg kostnad och är smidig att använda. Denna skanner tar inte bilder i färg men detta ses inte som ett hinder då lasarettet endast är ute efter mått på arm/hand för att kunna forma en ortos därefter. I deras egna ord på hemsidan kring Eva Lite:

"This makes Eva Lite an attractive and inexpensive option for healthcare clinics with a limited budget or indeed anyone who is interested in purchasing a professional white light 3D scanner with minimal funds."

Priset på denna skanner ligger på 6700 Euro och är inom lasarettets budget. Denna skanner går att få tag hos Creativetools. Detta företag är en svensk återförsäljare av 3D-skanners och skrivare (Creativetools, 2020). Artec 3D erbjuder även dyrare skanners men som skrivet ovan så ingår här en hel del funktioner som anses överflödiga för lasarettet och därför rekommenderas att första inköp blir en så enkel skanner som möjligt för att underlätta inlärningsprocessen och vara inom den utvalda budgeten.

Enligt tillverkaren själva så ska den 3D-skannade bilden från Eva Lite (Artec 3D, 2020) vara enkel att arbeta vidare på men som skrivet i föregående kapitel så är detta steg i arbetsprocessen inte något som vi har behandlat utan lämnat som en framtida utmaning att optimera på bästa möjliga sätt.

Artec Eva Lite kan uppgraderas till **Artec Eva** för mellanskillnaden om så önskas. Artec Eva har en kostnad på 13700 Euro och ligger precis över lasarettets budget. Den största fördelen med att uppgradera skanner är att inskanning går snabbare. Detta alternativ kan ses som en potentiell förbättring och framtidsinvestering då möjligheterna med modifiering efter inskanning är mycket större än med Eva Lite. Ett exempel på detta är den snabbare och mer detaljerade inskanningen som Artec Eva kan hantera vilket också producerar en mycket mer detaljerad bild att bearbeta. Artec Eva och Eva lite har liknande utseende och kan ses nedan i Bild 8 & 9.



Bild 8. *Artec Eva lite, bilden är kopierad med tillåtelse från Artec.*



Bild 9. *Artec Eva, bilden är kopierad med tillåtelse från Artec.*

I runt samma prisklass som Eva Lite ligger skannern **Einscan Pro 2X**. Denna skanner har liknande funktioner som Eva Lite och är ett utmärkt val för att skanna små eller medelstora objekt (Einscan, 2020). Med en vikt på endast 1.13 kg så beskriver de sin skanner på hemsidan som:

“With a lightweight compact size, you can easily take the EinScan Pro 2X anywhere like a laptop, enjoy plug-and-play installation and unlimited scanning experience”

Säljpunkten från företaget är just smidighet och att den är enkel att använda vilket skulle passa perfekt för lasarettet då detta som sagt är ett uppstartsprojekt. I demonstrationsvideon som kan ses på Einscans hemsida så skannas en fot av där personen som blir skannad har foten fritt hängande i luften och man kan se resultatet på skärmen bredvid. Tillsammans med detta så visas texten “customized products” vilket i lasarettets fall istället för en fot och sko är en hand och ortos men arbetssättet är det samma. Denna skanner kan hittas hos 3DPrima [4] för 68736kr och ligger då nästan inom exakt samma pris som Eva Lite men också inom lasarettets budget. Precis som Artec så erbjuder även EinScan dyrare och mer avancerade varianter

6. VITUELL ORTOSPROTOTYP: FRÅN SKANNAD HAND TILL CAD DESIGN

Efter besöket hos företaget Cascade och tack vare en lyckad 3D-skannad hand fick vi tillgång till den 3D-skannade filen som var i STL-format (Se Bild 2 i kapitel 2.10 HUR 3D-SKANNERS FUNGERAR). Därmed erhölls alltså en tredimensionell modell av handens ytgeometri på ett objekt. Det är av STL-filer som man tillverkar objekt med hjälp av 3D-skrivare.

Innan man skriver ut ett objekt med hjälp av en 3D-skrivare så använder man sig av ett program för att förbereda objektet för en 3D-utskrift (All3DP, [3]) (Loughborough University, [9]). Det finns massvis av program tillgängliga på marknaden, som varierar från gratis tillgängliga för alla till inköpsbara, program som är för nybörjare och de som är för professionella. Då avsikten med denna rapport är att kunna se över potentialen med skapande av 3D-printade hand- fingerortoser så valde vi att inte använda några professionella program. Då ortostillverkning med hjälp av additiv tillverkning i framtiden kan tänkas användas av Alingsås lasaretts personal så kan det även vara lämpligt att utesluta dyra eller allt för komplicerade program.

Programmet som vi valde att arbeta och gå vidare var gratisprogrammet Meshmixer från företaget Autodesk. Meshmixer beskrivs som en “Schweizisk armékniv” och var en anledningarna till att vi valde att arbete med detta program (All3DP, [3]). I programmet Meshmixer importerades den 3D-skannade handen.

3 mm lager valdes att läggas ovanpå ytan av den 3D-skannade handen. Anledningen bakom varför vi valde beskära fingrarna berodde på att det skulle efterlikna hur dagens ortos ser ut på Alingsås lasarett. Detta har man för att fingrarna skall kunna röra på sig och att man kan greppa och hålla föremål exempelvis en penna. Meshmixers egna mönsterskapande-egenskap valdes sen att användas som prototypmönster. Mönstret som valdes att användas var cirkelformat som skapade hål i ortosen se Bild 10.

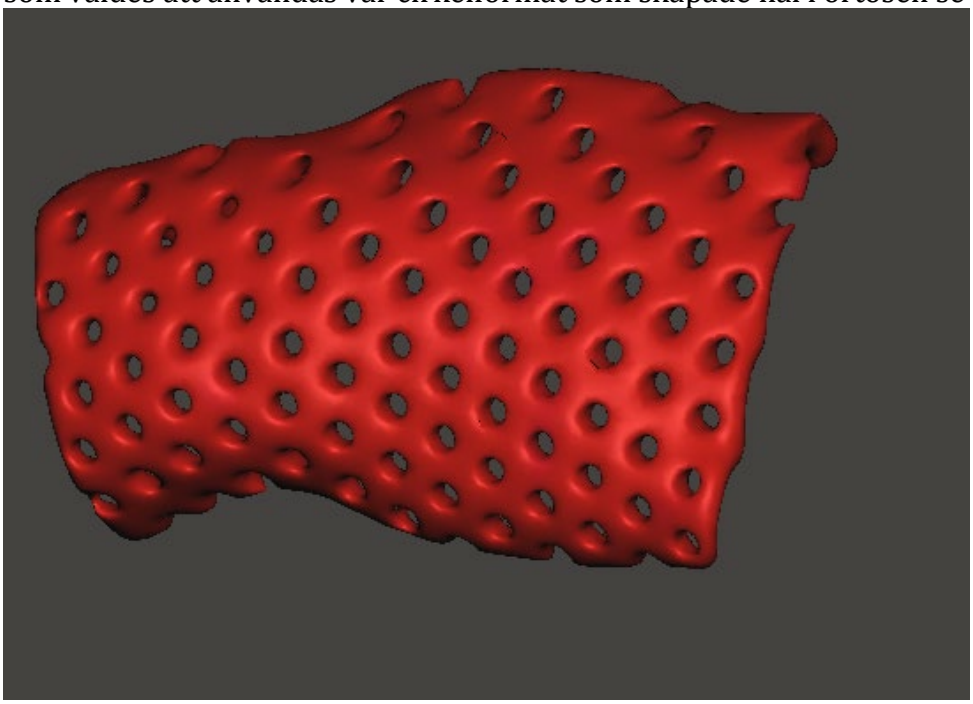


Bild 10. *CirkelformadOrtos*

Tanken bakom skapande av cirkelformade hål i ortosen var att det skulle minimera svettningar och vara enkelt att rengöra själva ortosen och handen. I Bild 11 kan man se hur ortosen ser ut när den ligger på handen.

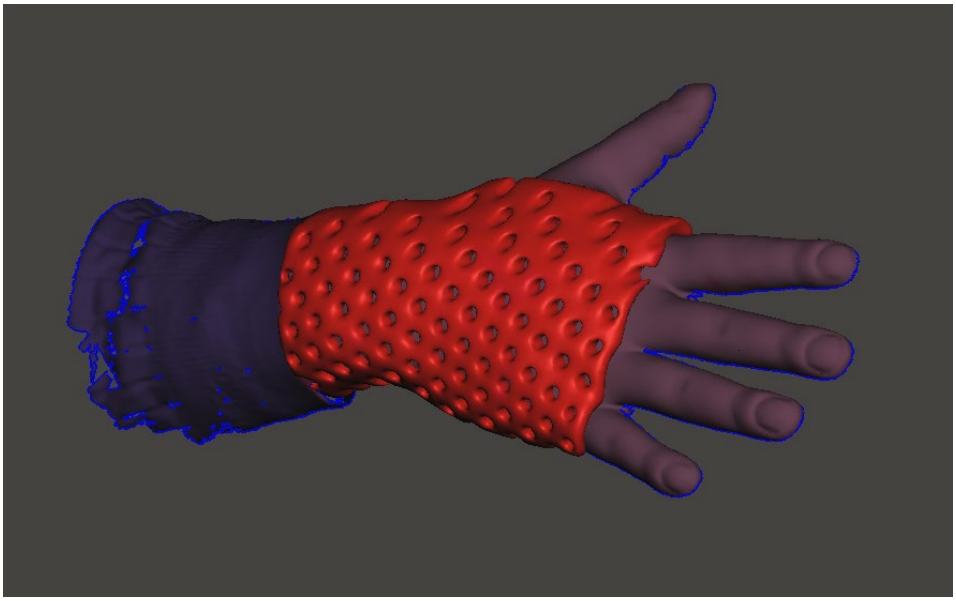


Bild 11. *Ortosen placerad på handen.*

7. DISKUSSION

Den praktiska delen av detta examensarbete blev tyvärr inställt på grund av Covid-19. En planerad del som fick strykas var testprintning av ortoser på Chalmers. Då Chalmers beslutade att driva alla kurser på distans fanns det inte längre tillgång till dessa lokaler och lärare fick inte heller bedriva någon form av utbildning inom Chalmers lokaler. Detta var en viktig del i arbetsprocessen som fick strykas och var en var milstolparna i detta projekt som verkligen kunde ge oss mycket kunskap och överblick i hur en 3D-printer fungerar. Genom exempelvis testutskrift på Davids hand hade vi kunnat fått kunskap och lärdom på vilken noggrannhet en 3D-skrivare kan tänkas sig att behöva ha. Detta i sin tur hade kunnat ge en bättre bild på vilka 3D-skrivare som hade lämpat sig för 3D-printing. Istället kom vi bara fram till vilken additiv tillverkningsprocess som lämpar sig för tillverkning av hand- och fingerortoser.

Inköpsförslag:
I början av projektet var målet att presentera tre olika 3D-skrivarförslag. I två inköpsförslagen valdes Ultimakers S5 inkluderas. Anledning till detta berodde på att uppgraderingspaketet Ultimaker S5 Pro Bundle hade önskvärda egenskaper, såsom ventilationssystem och ett lager för sex stycka filament-spolar. Det är därför det finns två olika alternativ på samma 3D-skrivare, så att lasarettet kan välja om dem behöver uppgraderingspaketet passar dem eller inte.

Utbildning och mjukvara:
Då vi inte vet exakta geometrier på ortoser som kommer tillverkas är det svårt att rekommendera en mjukvara då olika modifieringar kan vara lättare att göra med olika mjukvaror. Det är också svårt att uppskatta hur lång inlärningsprocessen för dessa

mjukvaror är. Även om en variant är bättre kan inlärningstiden göra att det är lättare att välja en annan. Vi har genom beslutet att avstå från att rekommendera utbildning och mjukvara haft i åtanke att personalen som skall utföra detta arbete inte arbetat med liknande tidigare. Frågan kring utbildning och mjukvara är mer anpassad för lasarettet att ta själva i ett senare skede då projektet kring additiv tillverkning är i en senare fas.

Leverantörer:
Vid undersökning av leverantörer så gjordes bedömningen att både skrivare och skanner är engångsköp och inte behöver ha en kontinuerlig leverantör eller snabb leveranstid. Däremot vid undersökning av leverantör för materialet så var leveranstiden enligt återförsäljarna 2-5 arbetsdagar. Detta gjorde att någon fördjupning i leverantörer ej gjordes.

8. SLUTSATSER

Följande slutsatser har dragits från arbetet i detta projekt:

Fused Deposition Modeling (FDM)-tekniken är mest lämpad för ortostillverkning för Alingsås lasarett. Detta för att den jämfört med övriga tillgängliga tekniker kan använda de flesta polymerer samt är den vanligaste och mest tillgängliga på marknaden.

- 3D-skrivare med denna teknik, och som rekommenderas som lämpliga alternativ att införskaffa är:
    - Ultimaker S5 – c:a 75 500 kr (3DPrima, 2020). Kraftfull, tillförlitlig och smidig att använda (3DPrima, u.å)
    - Ultimaker S5 Pro Bundle – c:a 120 000 kr (3DPrima, 2020). Samma 3D-skrivare som ovan, men dock med extra tillbehör. Har ett ventilationssystem som kommer att skapa säkrare arbetsplats och lager för sex stycken filament-spolar. (3DPrima, u.å)
    - CreatBot D600 - Dual Extruders – c:a 99 950 kr (3DPrima, 2020). Har stor byggvolym och hög noggrannhet.
- Angående 3D-skanner är det viktigaste att den är enkel att använda. Därför föreslås följande alternativ:
    - Artec Eva Lite – 70 745 kr (Artec3D, 2020) Enklare variant anpassad för skanning på grundnivå.
    - Artec Eva – 144 568 kr (Artec3D, 2020) Mer avancerad, kan ses som en uppgradering för framtiden.
    - Einscan Pro 2X – 68 736 kr (3DPrima, 2020) Väldigt låg vikt, smidig att använda.
- Lämpliga material att använda för ortoser tillverkade med FDM-teknik, och som alla uppfyller standardserien ISO 10993 är:
    - ABS ELIX FC – Passar alla skrivare som har rekommenderats.
    - ABS Medical Smartfil – Passar alla skrivare som har rekommenderats.

- PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial– Passar alla skrivare som har rekommenderats.

- För att möjliggöra införandet av additiv tillverkning av ortoser krävs att Alingsås säkrar kompetens på två områden. Först och främst krävs kompetens kring hantering av både 3D-skrivare och 3D-skanner då detta är viktigt för att designa ortoser på ett optimalt sätt. Det kommer även krävas kunskap inom Reverse-Engineering vilket främst innebär arbete inom CAD (Computer Aided Design)

.

9. FRAMTIDA ARBETE

9.1 HUR KOMMER FORSKNING, ALINGSÅS LASARETT OCH SAMHÄLLET NYTTJA RESULTATET AV DETTA PROJEKT

Detta projekt behandlar möjligheterna med additiv tillverkning för hand- och fingerortoser. Projektet är ett uppstartsprojekt och redovisar möjligheterna och vad man bör tänka på innan man väljer att investera och börja använda denna tillverkningsmetod. Tanken har varit att ge en bra grund informationsmässigt men också redovisa för- och nackdelarna med att införa denna tillverkningsmetod.

Rapporten är avsedd som en grund att arbete vidare på då inte alla aspekter i processen är behandlade. Framförallt är frågan om optimal geometri en stor del i vidare arbete och det är svårt att göra ett korrekt inköpsförslag utan att veta kraven på geometri.

9.2 VAD SKALL GÖRAS SOM NÄSTA STEG

Nästa steg bör vara att undersöka vilka geometrier, toleranser och design som lämpar sig bäst för tillverkning av hand- och fingerortos. Ortosdesignen skall enkelt kunna personanpassas, underhållas samt ergonomiskt anpassad så att det är bekvämt för patienten, men fortfarande behålla de mekaniska egenskaperna som dagens ortoser har.

Då handen måste vara väldigt stilla vid inskanning för att ge en så korrekt bild som möjligt kan någon typ av stöd behöva användas. Det är mycket svårt att hålla handen helt stilla utan något stöd och det kan vid smärta vara svårt att hålla handen i korrekt läge för att få en optimal skanning. Rekommendation är att redan från början undersöka typer av stöd då det kan krävas olika beroende på vilken skada patienten har.

Att kunna anpassa en ortos med korrekt mått samt geometri är inte så lätt som det verkar även med rätt mjukvara. Lasarettet var från början redo på att utbildning skulle krävas, men omfattningen kan bli mycket större än vad som var initialt planerat bl.a. för att möjligheterna att modifiera är oändliga. Detta kan bli ett problem med lång utbildningstid men även att ersätta någon vid t.ex. sjukdom kan bli väldigt svårt om det krävs mycket kunskap för att kunna bearbeta ortoser på ett korrekt sätt i mjukvaran. Genomföra utbildning på berörd personal samt köpa en passande mjukvara blir ett framtida steg som måste tas av lasarettet.

REFERENSLISTA

3R3DTM. (u.å). ABS-ELIX 3D FC – MEDICAL & FOOD CONTACT 3D Filament. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.3r3dtm.com/en/producto/abs-elix-3d-fc-medical-food-contact

3DPrima [1]. (u.å). Ultimaker S5. Hämtad 2020-05-23 från: https://www.3dprima.com/se/3d-skrivare/ultimaker-s5/a-22997/

3DPrima [2]. (u.å). Ultimaker S5 Pro Bundle. Hämtad 2020-05-22 från:https://www.3dprima.com/se/3d-skrivare/ultimaker-s5-pro-bundle/a-24324/

3DPrima [3]. (u.å). CreatBot D600 - Dual Extruders. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.3dprima.com/se/3d-printers/creatbot-d600-dual-extruders/a-22156/

3DPrima [4]. (2020). 3d-skanner. Hämtad 2020-05-28 från: https://www.3dprima.com/se/3d-skanner/einscan-pro-2x/a-24396/

3D-Systems. (u.å). Biocompatibility Information for Materials. Hämtad 2020-04-29 från: http://infocenter.3dsystems.com/materials/classvi

3DVerkstan. (2019). 3D-skanners. Hämtad 2020-05-15 från: https://3dverkstan.se/produkt/einscan-pro-2x/

All3DP [1]. (2020). All 11 types of 3D printing technology that 3D printers use today simply explained. Learn more about FDM, SLA, MSLA, DLP, SLS, DMLS, SLM, EBM, Material Jetting, DOD, and Binder Jetting. Hämtad 2020-03-15 från: https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/

All3DP [2]. (2019). Ultimaker S5 Pro Bundle: Review the Specs. Hämtad 2020-05-22 från: https://all3dp.com/1/ultimaker-s5-pro-bundle-3d-printer-review-specs/

All3DP [3]. (2020). Looking for free 3D printing software? Check out our selection of the best 3D printing software for beginners and pros. All are free. Hämtad 2020-04-29 från: https://all3dp.com/1/best-free-3d-printing-software-3d-printer-program/

Aniwaa. (u.å). Fortus 380mc Stratasys. Hämtad från Hämtad 2020-05-5 från: https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/stratasys-fortus-380mc/

Artec3D. (2020). Portable 3D Scanners. Hämtad 2020-05-15 från: https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo-v2

Baronio, G., Harran., S & Signoroni, A. (2016) A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process. Hindawi Publishing Corporation Applied Bionics and Biomechanics, Volume 2016 (Article ID 8347478) , 1-7. doi: 10.1155/2016/8347478

Cascade. (2020) 3D-Scanning. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.cascade.se/systembeskrivningar/?category=3d-scanning

Creatbot [1]. (u.å). CreatBot 3D Printer User manual English V7.3. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.creatbot.com/downloads/CreatBot_User_Manual_V7.3_D600_en.pdf

Creatbot [2]. (u.å). D600/D600 Pro THE MOST ADVANCED BIG-SCALE INDUSTRIAL 3D PRINTER. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.creatbot.com/en/creatbot-d600.html

Creativetools. (2020). 3D-scanners and accessories. Hämtad 2020-15-05 från: https://www.creativetools.se/hardware/3d-scanners-and-accessories/3d-scanners/artec-eva-lite

Crotti, N. Medical Design & Outsourcing. (2019). Binder jetting and debinding: Here's what you need to know. Hämtad 2020-04-25 från: https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/what-are-binder-jetting-and-debinding/

Digital alloys. (2019) Digital Alloys' Guide to Metal Additive Manufacturing – Part 9. Hämtad 2020-04-26 från: https://www.digitalalloys.com/blog/directed-energy-deposition/

Einscan. (2020). Handheld 3D-scanners. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.einscan.com/handheld-3d-scanner/

ELIX Polymers. (2017). ELIX ABS-3D FC. Hämtad 2020-05-22 från: https://www.3r3dtm.com/wp-content/uploads/2018/12/ELIX-Polymers-ELIX-ABS-3D-FC-v1.-extended.pdf

Emergo. (2009). European Commission issues important guidance document on 2007/47/EC. Hämtad 2020-05-10 från: https://www.emergobyul.com/blog/2009/06/european-commission-issues-important-guidance-document-200747ec

Emmet, G. All3DP. (2020). How much does a 3D printer cost in 2020? Check out our overview to 3D printer price ranges, covering everything from beginner to industrial 3D printers.. Hämtad 2020-04-14 från: https://all3dp.com/2/how-much-does-a-3d-printer-cost/

EUR-Lex. (2007). DIRECTIVE 2007/47/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 September 200. Hämtad 2020-05-10 från: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0047

FILAMENT2PRINT [1]. (u.å). ABS Medical Smartfil. Hämtad 2020-05-22 från: https://filament2print.com/gb/special-abs/788-abs-medical-smartfil.html#/242-diameter-285_mm/223-format-bobina_750_g

FILAMENT2PRINT [2]. (u.å). PLACTIVE AN1 Copper3D – Antibacterial. Hämtad 2020-05-22 från: https://filament2print.com/gb/special-pla/994-plactive-copper3d-antibacterial.html#/238-color-blue/242-diameter-285_mm

Folkhälsomyndigheten. (2013). Hygienrutiner och klädpolicy. Hämtad 2015-05-22 från http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/smittskydd-och-sjukdomar/vardhygien-och-vardrelaterade-infektioner/hygienrutiner-och-kladpolicy/

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing (2., [rev.] uppl.). New York, NY: Springer.

Goldberg, D. Autodesk. (2018). History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30). Hämtad 2020-03-10 från https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/

International Organization for Standardization. (2017). ISO/TR 10993-22:2017 Biological evaluation of medical devices — Part 22: Guidance on nanomaterials. Hämtad 2020-05-3 från https://www.iso.org/standard/65918.html

Kim, H. & Jeong, S. (2015). Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. Journal of Mechanical Science and Technology, 29(12), 5151-5156. doi: 10.1007/s12206-015-1115-9

Kyle Maxey. engineering.com. (2015). Looking to 3D Print a Large Hi-Res Plastic Model? Consider the Fortus 900mc. Hämtad från Hämtad 2020-05-4 från https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/9869/Looking-to-3D-Print-a-Large-Hi-Res-Plastic-Model-Consider-the-Fortus-900mc.aspx

Loughborough University [1]. (u.å). The 7 Categories of Additive Manufacturing. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/

Loughborough University [2]. (u.å). VAT Photopolymerisation. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/

Loughborough University [3]. (u.å). Material Jetting. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialjetting/

Loughborough University [4]. (u.å). Binder Jetting. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/binderjetting/

Loughborough University [5]. (u.å). Powder Bed Fusion. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/

Loughborough University [6]. (u.å). Material Extrusion. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/

Loughborough University [7]. (u.å). Sheet Lamination. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/

Loughborough University [8]. (u.å). Directed Energy Deposition. Hämtad 2020-03-10 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/

Loughborough University [9]. (u.å). What is Additive Manufacturing?. Hämtad 2020-04-28 från: https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/whatisam/

Manufacturing Guide [1]. (u.å). Digital Light Processing, DLP. Hämtad 2020-04-20 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/digital-light-processing-dlp

Manufacturing Guide [2]. (u.å). Stereolitografi, SLA. Hämtad 2020-04-21 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/stereolitografi-sla

Manufacturing Guide [3]. (u.å). Metal binder jetting. Hämtad 2020-04-20 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/metal-binder-jetting

Manufacturing Guide [4]. (u.å). 3D Sand printning, 3DSP. Hämtad 2020-04-20 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/3d-sand-printning-3dsp

Manufacturing Guide [5]. (u.å). Electron Beam Melting, EBM. Hämtad 2020-04-22 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/electron-beam-melting-ebm

Manufacturing Guide [6]. (u.å). Fused Deposition Modeling, FDM. Hämtad 2020-04-24 från: https://www.manufacturingguide.com/sv/fused-deposition-modeling-fdm

Movimed. (2018). What is laser triangulation. Hämtad 2020-05-15 från: https://www.movimed.com/knowledgebase/what-is-laser-triangulation/

Orfit Industries [1]. (2010). SAFETY DATA SHEET. Hämtad 2020-05-01 från https://www.orfit.com/app/uploads/SDS-Orfit-Eco-NS.pdf

Orfit Industries [2]. (senast uppdaterad 2016).TECHNICAL DATA SHEET. Hämtad 2020-05-01 från https://www.orfit.com/app/uploads/80009-ORFIT-ECO.pdf

Park, R. Fabbaloo. (2016). A Consideration Of EBM Versus DMLS Industrial Metal 3D Printing Processes, Part 2. Hämtad 2020-03-30 från https://www.fabbaloo.com/blog/2016/4/17/a-consideration-of-ebm-versus-dmls-industrial-metal-3d-printing-processes-part-2

Paterson, A. M., Bibb,R. J., & Campbell R. J. (2012). Evaluation of a digitised splinting approach with multiple-material functionality using Additive Manufacturing technologies. Hämtad från webbplats: https://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/2012/2012-50-Paterson.pdf

Pires, R. All3DP. (2020). As resin-based technologies, SLA and DLP are fundamentally the same. So what sets them apart? Learn the differences between DLP and SLA. Hämtad 2020-03-14 från https://all3dp.com/2/dlp-vs-sla-3d-printing-technologies-shootout/

Protech [1]. (u.å). Om Protech. Hämtad 2020-05-10 från https://www.protech.se/om-protech

Protech [2]. (u.å). ABS-M30i. Hämtad 2020-05-3 från https://www.protech.se/produkter/stratasys-fdm/fortus-450mc/abs-m30i

Protech [3]. (u.å). PC-ISO. Hämtad 2020-05-3 från https://www.protech.se/produkter/stratasys-fdm/fortus-450mc/pc-iso

RISE Research Institutes of Sweden. (u.å). Utvärdering av biokompatibilitet. Hämtad från 2020-04-30 från https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/utvardering-av-biokompatibilitet

Searchsoftwerequaility. (2007). Definition, reverse-engineering. Hämtad 2020-05-15 från: https://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/reverse-engineering

Siemens Digital Industries Software (u.å). Sheet Lamination. Hämtad 2020-03-25 från: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/sheet-lamination/55512

Stratasys [1]. (u.å). PC-ISO PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR FORTUS 3D PRINTERS. Hämtad 2020-04-14 från: https://www.stratasys.com/-/media/files/material-spec-sheets/mss_fdm_pciso_1117a.pdf

Stratasys [2]. (u.å). ABS-M30i PRODUCTION-GRADE THERMOPLASTIC FOR FORTUS 3D PRINTER. Hämtad 2020-04-14 från: (https://www.stratasys.com/-/media/files/material-spec-sheets/mss_fdm_absm30i_en_0318a.pdf

Ultimaker. (u.å). Ultimaker S5. Hämtad 2020-05-23 från: https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s5

Wohlers, T. Gornet, T. Wohlers Associates. (2016). History of additive manufacturing. Hämtad 2020-03-11 från http://www.wohlersassociates.com/history2016.pdf

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS