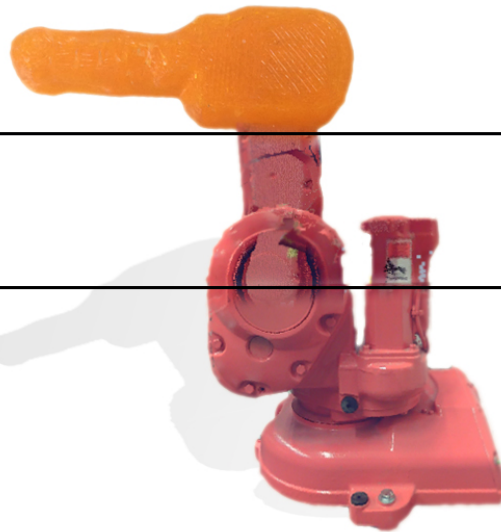




CHALMERS



3D-utskrift

Virtuell

Verklig

Reverse engineering av produktionssystem

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik

Christofer Persson
Elias Hortlund
David Petersson

Reverse engineering av produktionssystem

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik

CHRISTOFER PERSSON, ELIAS HORTLUND, DAVID PETERSSON

HANDLEDARE: JONATAN BERGLUND

EXAMINATOR: BJÖRN JOHANSSON

Förord

Denna rapport är resultatet av ett kandidatarbete som har bedrivits under vårterminen 2014 vid institutionen för produkt- och produktionsutveckling (PPU) på Chalmers Tekniska Högskola. Projektgruppen har utgjorts av tre studenter från årskurs tre inom civilingenjörsprogrammet i maskinteknik.

Först och främst skulle vi vilja rikta ett stort tack till Jonatan Berglund som under projektet varit handledare för gruppen. Jonatan har varit ett stort stöd och har alltid varit tillgänglig då vi behövt hjälp eller velat diskutera något. Tack också till PPU som försett gruppen med en kraftfull dator och ett rum där man kunnat jobba i lugn och ro.

Vi vill även passa på att tacka Hans Sjöberg och Göran Stigler, då ni har tagit er tid att hjälpa till vid 3D-printing och kommit med tips om hur vi skulle kunna förbättra arbetet. Även ett tack till avdelningen för fackspråk och kommunikation som givit oss viktig feedback till vårt rapportskrivande. Till sist skulle gruppen även vilja tacka de som arbetar i prototypverkstaden för deras hjälp vid bygget av skalmodellen.

Sammanfattning

Projektet har utforskat vad det finns för möjlighet att gå från 3D-scannad data av en produktionslokal till 3D-utskrifter av objekt baserade på denna data. Dessa utskrifter har därefter tillsammans utgjort en del av en fysisk skalmodell, där målet i viss mån har varit att underlätta och förtydliga layoutplanering.

Då scanningar har utförts utifrån olika placeringar inom lokalen jämfördes även skillnader i det insamlade materialet. Dessa avvikelser analyserades sedan, sett till hur det fortsatta arbetet kunde komma att påverkas. En slutsats som dras är bland annat att vikten av utförlig scandata inte bör underskattas då denna sätter förutsättningarna för alla de efterföljande stegen i den framtagna arbetsgången. Samtidigt poängteras det att omständigheterna kan variera från att vara väldigt fördelaktiga till att markant bidra till att försvåra arbetet.

Det ges även en inblick i bakomliggande teori kring de olika verktyg och begrepp som har använts i samband med projektets genomförande.

Abstract

This project explores the possibilities of using data of a production system recorded through 3D-scanning to create 3D-printed models. These 3D-models have subsequently been used to together make up a miniature model of said production system, which has been created to ease and simplify layout planning.

Since the scans were recorded at different placements in the assigned space, the differences between recorded data could be easily compared. These deviations were then analyzed, to investigate how it could influence the continued work. One conclusion to be noted is that the importance of detailed recordings should not be underestimated, since it is the foundation which all following steps in the process are based upon. However at the same time it should be said that the conditions can vary from very favourable to contributing to making the process significantly harder.

There will also be a look into the theory behind the different tools and concepts which have been used throughout the completion of this project.

Ordlista

- Checkerboard – Referens till scanner med schackrutat mönster.
- Mesh – Ett finmaskigt nät som vanligtvis utgörs av trianglar och skapas från punktmoln.
- PPU – Institutionen för produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers Tekniska Högskola.
- PSL – Product system laboratory, produktionsmiljö tillhörande PPU
- Punktmoln – Ett stort antal punkter i ett tredimensionellt koordinatsystem som ofta utgör den yttre ytan på ett objekt.
- Reverse Engineering – Bygger på att man utgår från ett verkligt objekt för att skapa digital data av en produkt.

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Förutsättningar.....	1
1.2 Frågeställningar.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
1.3.1 Val av 3D-scanner.....	2
1.3.2 3D-scannerns begränsningar.....	2
1.3.3 Val av 3D-printer.....	2
1.3.4 3D-printerns begränsningar.....	2
2. Teori.....	3
2.1 3D-scanner.....	3
2.1.1 Så fungerar en 3D-scanner.....	3
2.1.2 Faro Focus3D x 130.....	3
2.1.3 MakerBot Digitizer.....	4
2.2 3D-printer.....	4
2.2.1 Så fungerar en 3D-printer.....	4
2.2.2 MakerBot Replicator 2.....	4
2.3 Polylaktid.....	5
2.4 Punktmoln.....	6
2.5 Mesh.....	6
2.6 Filformat.....	7
2.6.1 VRML.....	8
2.6.2 STL.....	8
2.6.3 STEP.....	8
2.6.4 FARO FLS.....	8
2.6.5 x3g.....	9
2.7 Programvaror.....	9
2.7.1 MeshLab.....	10
2.7.2 Geomagic.....	10
2.7.3 CATIA.....	11
2.7.4 MakerWare.....	11
2.7.5 Faro Scene.....	12

3. Metod.....	13
3.1 Reverse Engineering.....	13
3.2 Projektfaser	13
3.2.1 3D-scanning av produktionsmiljö	13
3.2.2 Generering av CAD-solider	14
3.2.3 Formatering och utskrift av CAD-solider	14
3.2.4 Konstruktion av skalmodell	15
3.3 Tillförlitlighet av utförande	15
4. Resultat	16
4.1 Scanning	16
4.2 Faro Scene	17
4.3 Geomagic Studio	18
4.4 CATIA	19
4.5 MakerWare	20
4.6 3D-printing	21
4.7 Skalmodell	21
5. Analys.....	24
5.1 Problem och svårigheter	24
5.2 Scandata	24
5.3 Analys av utskrifter.....	25
5.4 Magneter.....	26
6. Slutsats	27
 REFERENSER	 28
A SCANNINGSPUNKTER VID FÖRSTA TILLFÄLLET	30
B SCANNINGSPUNKTER VID ANDRA TILLFÄLLET	31
C RITNING AV SKALMODELL	32
D SKISS AV SKALMODELL	35

1. Inledning

Effektiviseringar inom industrin handlar idag till stor del om att kunna utföra snabba omställningar av viktiga produktionssystem. En förutsättning för att kunna göra detta kräver att man kan börja planera förändringar i god tid. I dagsläget är det normala tillvägagångssättet att man manuellt ritar upp CAD-ritningar som man sedan gör ändringar i för att illustrera de produktionsmiljöer som ska anpassas. Detta arbetssätt är dock både tidskrävande, kostsamt och ibland även osäkert vad det gäller tillförlitlighet och precision.

I dagsläget är Chalmers Tekniska Högskola tillsammans med företag från näringslivet en del av ett projekt finansierat genom EU. Projektet handlar om att undersöka om man kan effektivisera layoutplanering. Under de senaste åren har utvecklingen av nya instrument för 3D-skanning och 3D-printing tagit fart och kostnaderna för dessa produkter har blivit allt lägre. Det finns därmed anledning att undersöka möjligheterna att kombinera denna förhållandevis nya teknik på ett produktionssystem genom att tillämpa arbetssättet Reverse Engineering. Detta för att se om det finns motiv för att ändra, alternativt komplettera de mer traditionella arbetsmetoder som används idag.

I detta projekt sker scanningen i PPU:s laboratorie Production Systems Laboratory, som framöver kommer att benämnas PSL. Lokalen passar bra för ändamålet då det finns objekt som är vanliga inom produktionssystem så som robotar och transportband.

1.1 Förutsättningar

Om man betraktar 3D-skanning och 3D-printing som enskilda områden så får dessa anses vara väl utforskade. Däremot är kombinationen och vägen däremellan fortfarande relativt okänd. Att tillämpa tekniken för layoutplanering och effektivisering av produktionsflöden är alltså än så länge sällsynt och kommer därmed att ställa vissa unika krav på tillvägagångssätt och utförande.

1.2 Frågeställningar

Syftet med detta projekt är att undersöka och sammanställa en lämplig arbetsprocess som sträcker sig från inmätning av en produktionsmiljö till utskrift av objekt som tillsammans bygger upp en jämförbar skalmodell. Avsikten är att fokus ska ligga på att utveckla en metod och även dokumentera denna med förhoppning om att i fortsättningen underlätta implementeringen av tekniken inom motsvarande produktionsmiljöer. Även de visuella fördelar en fysisk skalmodell kan tänkas medföra kommer i viss mån att utvärderas.

Detta leder fram till ett antal frågeställningar:

- Vad är viktigt att ta hänsyn till vid skanning av en produktionsmiljö?
- Hur generar man CAD-solider från inskannad rådata?
- På vilka sätt behöver CAD-soliderna formateras inför utskrift?
- Vilka begränsningar finns i samband med 3D-utskrift?
- Vad anses i detta fall vara en lämplig arbetsprocess?

1.3 Avgränsningar

Under projektets gång fanns ett antal givna avgränsningar som man behövde ta hänsyn till under genomförandet av projektet. Dessa beskrivs mer utförligt nedan.

1.3.1 Val av 3D-scanner

Det finns ett flertal scanners från olika tillverkare på marknaden och val av scanner kan vara direkt avgörande för det slutliga resultatet. Självklart skiljer sig kraven beroende på vilken typ av miljöer som ska analyseras. Faktorer som användarvänlighet, pris och tilläggsfunktioner är i regel av intresse vid val av modell. Detta är dock inget som kommer att undersökas närmare under projektets gång eftersom endast en given scanner finns att tillgå.

1.3.2 3D-scannerns begränsningar

Det finns en hel del begränsningar vid scanning med 3D-scannern, bland annat finns det restriktioner på hur pass långt man kan scanna. Det finns även begränsningar på mät hastighet och fel marginal på scanningarna och mätningarna. En del 3D-scannern klarar bara av att scanna i vissa miljöer, exempelvis inomhus.

1.3.3 Val av 3D-printer

Precis som med 3D-scannern så finns det ett flertal olika 3D-printers från olika tillverkare på marknaden. Även här har val av printer en stor roll i det slutgiltiga resultatet även om standarden blir allt högre. Priser och funktioner är väldigt varierande, med en dyrare printer kan man spara tid och på sätt dra ner på kostnaderna då de har funktioner som förenklar och snabbar på arbetet. Precis som med val av 3D-scanner kommer detta inte att undersökas närmare då det under projektets avsatta tid endast finns en printer till förfogande.

1.3.4 3D-printerns begränsningar

Vid utskrifter i 3D-printer måste man ta hänsyn till att det finns vissa begränsningar. Exempelvis bör man inte överskrida 45 graders överhäng då detta i regel medför extra stödstrukturer. Den printer som kommer att användas i detta projekt har endast möjlighet att göra utskrifter i ett och samma material vilket leder till att hjälpstrukturerna blir tidskrävande att ta bort, samt att ytan på det huvudsakliga föremålet ofta blir ojämn. Då det finns många objekt med komplexa geometrier i de lokaler som är tänkta att scannas kommer detta resultera i att vissa förenklingar kommer att vara nödvändiga. Därmed kommer detaljnivån i vissa fall att variera.

2. Teori

Teoridelen av rapporten är till för att läsaren ska få en djupare förståelse och en bakgrund till de verktyg som använts under projektets gång. Här tas historien om 3D-scanning och 3D-printing upp, och de scanners och printern som använts under projektets gång beskrivs kortfattat. Mesh och punktmoln får anses som centrala begrepp och introduceras och beskrivs därför utförligt i detta stycke. De filtyper och programvaror som använts för att komma fram till de resultat som projektet resulterat i beskrivs även kort. Polylaktid som är den plast som används i 3D-printern presenteras också.

2.1 3D-scanner

Den första tekniken för 3D-scanning togs fram under 1960-talet. De första scannrarna använde sig då av ljus, kameror och projektorer för att scanna av miljön. Detta gjorde att det ofta tog mycket tid och ansträngning för att få ett bra resultat. Under andra halvan av 1980-talet utvecklades istället scanners som använde sig av andra metoder t.ex. laser för att avbilda de former man scannade, vilket är den metod som kommer att användas under detta projekt[1].

2.1.1 Så fungerar en 3D-scanner

Funktionen hos en 3D-scanner kan förenklat beskrivas som att projicera laserstrålar mot objekt och ytor och sedan hitta dessa igen efter att de reflekterats. Då kan 3D-scannern beräkna positionen på det objekt som laserstrålen studsar emot och skapa punkter av data i ett x,y,z- koordinatsystem. Med dessa punkter samlade i ett så kallat punktmoln kan man sedan med hjälp av en dator skapa en detaljerad 3D-miljö. [1]

2.1.2 Faro Focus3D x 130

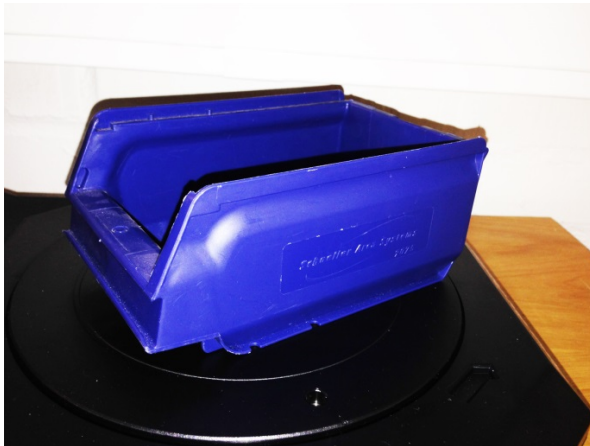
Den 3D scanner som använts under projektet är en Faro Focus3D x 130 (Se figur 1). Scannern har tillhandahållits av PPU. Faro Focus 3D x serien är de minsta och lättaste 3D scannrarna på marknaden och är därför lätta att förflytta och ta med sig. Faro Focus 3D x serien fungerar även i starkt solljus och lämpar sig därför mycket bra både inomhus och utomhus[2].



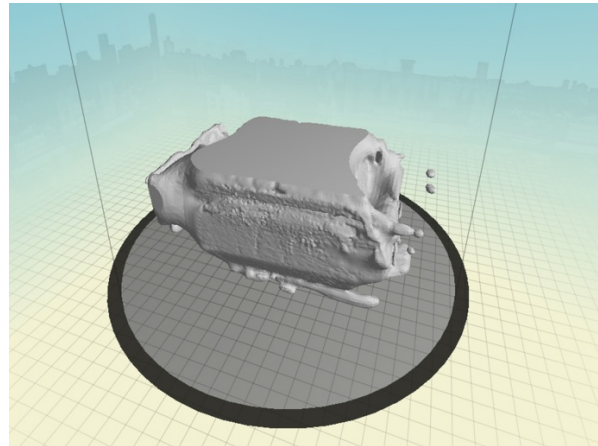
Figur 1: Faro Focus3D x 130 [3].

2.1.3 MakerBot Digitizer

Under projektet har gruppen även testat att scanna mindre objekt i en nyinköpt bordsscanner av modell MakerBot Digitizer. Denna scanner tillhör institutionen för produkt- och produktionsutveckling och har undersökts främst för att hjälpa institutionen att testa den eftersom den är helt ny. Denna scanner är tänkt att användas i hobbysyfte i första hand och detta är något som man ganska fort inser då den inte är speciellt bra och inte ger detaljerade resultat (Se figur 2-3). Detta då den har problem med glansiga ytor och ljusförhållanden[4].



Figur 2: Verklig låda



Figur 3: Scannad låda

2.2 3D-printer

Den första 3D-printern skapades på 1980-talet men det var först omkring 2010 som 3D-printers började säljas kommersiellt. Användningsområdet för 3D-utskrift har ökat kraftigt i och med utvecklingen av printers, och har gått från utskrift av enkla prototyper till avancerade produkter med mycket höga krav.

Idag kan man skriva ut i en stor variation av material så som plast, metall, keramik och till och med ätbara material och mänsklig vävnad[5] [6].

2.2.1 Så fungerar en 3D-printer

Det finns olika sorters 3D-printer. De vanligaste skrivarna använder sig av extrudering eller laserbehandling. Skillnaden på de två huvudtyperna av printers är att de printers som använder sig av extrudering fungerar ungefär som en vanlig skrivare men istället för ett lager bläck lägger den ett tunt lager av det material som valts, detta upprepas om och om igen tills en tredimensionell modell skapats, medan de som använder sig av laser lägger ut ett lager av pulver som sedan smälts med laser[5] [6].

2.2.2 MakerBot Replicator 2

Replicator 2 som tillverkas av det amerikanska företaget MakerBot, är en fjärde generationens 3D-printer för privat-/hobbybruk som är enkel att använda. printern använder sig av så kallad FFF-teknik vilket står för "Fused Filament Fabrication". En tunn sträng av materialet spritsas ut i horisontella skikt, dessa skikt byggs på varandra vilket till slut ger en färdig tredimensionell modell.

Till skillnad från tidigare printermodeller så använder sig MakerBot 2 och andra nyare printers av en biologiskt nedbrytbar Polylaktid (PLA-plast). Denna plast är gjord av förnyelsebara och miljövänliga produkter så som majs. PLA-plast är bättre lämpad för 3D-utskrift då den ger mycket formkorrekta

modeller. Det finns även en flexiblare variant av PLA-plasten, ett ler/keramik-liknande material och ett plast/trä-liknande material som fungerar med printern.

Med MakerBot Replicator 2 förbättrade företaget upplösningen avsevärt jämfört med föregångarna. Upplösningen ökades från 270 mikrometer till 110 mikrometer. Tack vare detta går det att få varje lager av plasten lika tunt som ett vanligt A4-papper. Tidigare var man tvungen att utnyttja dyra, professionella och otympliga 3D-printer. Istället kan man nu köpa en printern som kan stå på skrivbordet för hemma-/hobbybruk för 15,000- 20,000 kronor.

Det går att skriva ut filer från de flesta 3D-modelleringsprogram då man bara behöver spara filerna som stl-format och öppna dem i MakerBots egna programvara MakerWare (Se avsnitt 2.7.4). Det enda som behövs göras för att skriva ut är att koppla in en usb-kabel i datorn eller föra över informationen med hjälp av ett minneskort[7] [8].

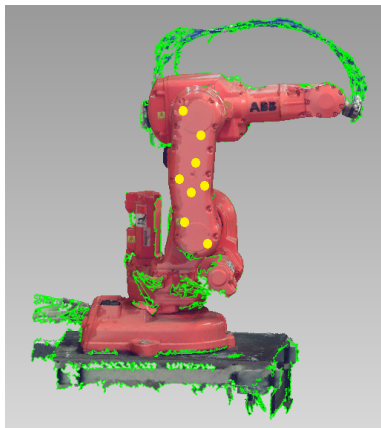
2.3 Polylaktid

De flesta plasterna som finns är tillverkade av material som är oljebaserade, men Polylaktid (PLA) även känt som Polymjölksyra är en termoplast gjord av förnyelsebara resurser. De vanligaste råvarorna för detta är majsstärkelse eller rörsocker. Vid tillverkning av PLA separerar man först stärkelsen från majs eller dylikt, ur stärkelsen utvinns sedan druvsocker, som man låter jäsa till en mjölksyra. Ur mjölksyran destilleras sedan polymeren fram.

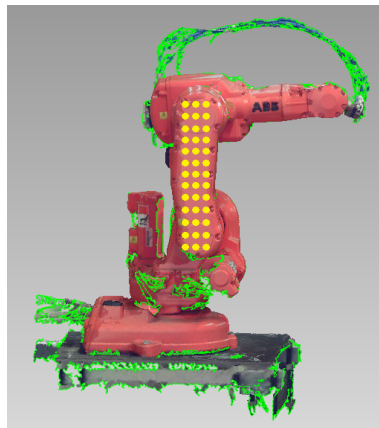
Då mjölksyran är kiral dvs. dess spegelbild är skild från sig själv, har den många distinkta enantiomerer av Polylaktid, dvs. att det finns flera varianter av Polylaktid. Poly- L- laktid (PLLA) skapas vid polymerisering av L,L-laktid, dvs. att vid en kemisk reaktion sammanfogas monomerer till långa kedjor och bildar polymerer. Blandar man däremot L- och D-laktider får man poly-DL- laktid (PDLLA). Vill man höja smälttemperaturen hos PLLA kan man göra detta genom att blanda polymeren med poly-D- laktid (PDLA). Genom att blanda PDLA och PLLA blir det även möjligt att använda Polylaktid som konstruktionsplast. PLA-plast är bättre lämpad för 3D-utskift då den ger mer formkorrekta modeller än de plaster man tidigare använt[9] [10].

2.4 Punktmoln

Vid 3D-skanning samlas ett stort antal punkter in. Mängden av punkter varierar beroende på objektets eller miljöns omfattning. Varje enskild punkt definieras sedan genom x, y och z- koordinater och motsvarar en bestämd position på ytan av ett objekt. Alla dessa punkter tillsammans beskrivs ofta som ett punktmoln, som i sin tur ofta kan delas in i tre olika grupper beroende på uppbyggnad. Till att börja med finns det punktmoln som kan beskrivas som ostrukturerade eller slumpmässiga (Se figur 4). Dessa kännetecknas av att punkterna inte har någon bestämd relation till varandra och därmed kan förekomma på varierande avstånd. Motsatsen till detta är punktmoln som är uppbyggda som ett kvadratisk nät och då präglas av ett oförändrat avstånd mellan punkterna (Se figur 5). Det tredje alternativet som också bör nämnas är linjebaserade punktmoln (Se figur 6).



Figur 4: Slumpmässigt punktmoln.



Figur 5: Strukturerat punktmoln.



Figur 6: Linjeformat punktmoln.

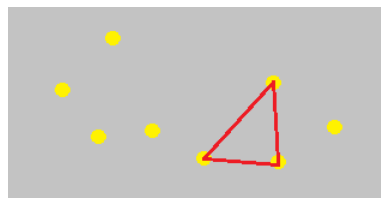
Ett punktmoln kan även innefatta information om färger vilket då ofta förkortas RGB och står för rött, grönt och blått. Denna information kan förenkla arbetet då det ofta blir lättare att känna igen komplexa geometrier[11].

2.5 Mesh

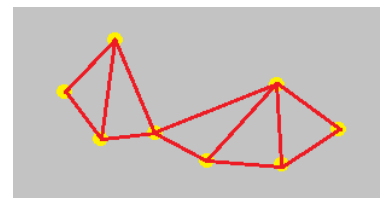
Mesh kan beskrivas som en polygonal indelning av ytan på ett objekt. Därför benämns ofta objekt som utsatts för denna process för polygonmodeller eller triangulerade modeller (Se figur 7- 9). Inom vissa programvaror kallas denna funktion för wrap och innebär då att man knyter samman en mängd punkter till ett nät, oftast i form av fyrhörningar eller trianglar. När det gäller polygoner så anses i många fall dess kantlängd vara en viktig faktor som avgör hur realistiskt ett objektets yta återspeglas. En tumregel är att eftersträva liksidighet för att uppnå en så bra mesh som möjligt.



Figur 7: Punktmoln.

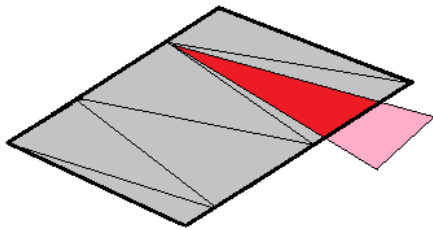


Figur 8: Påbörjad mesh.

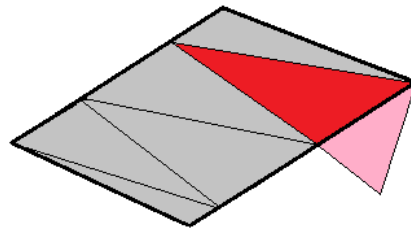


Figur 9: Fullständig mesh.

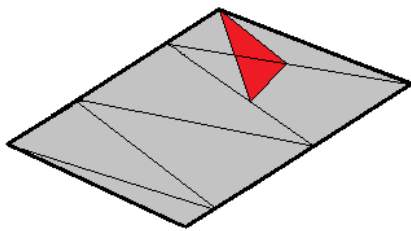
Då ett objekt blir meshat finns det risk för att det uppkommer vissa felaktigheter då punkterna knyts samman. Några av de vanligaste felen som kan uppstå är att trianglarna är överflödiga, korsande, flerdelade eller omvända. (Se figur 10-13).



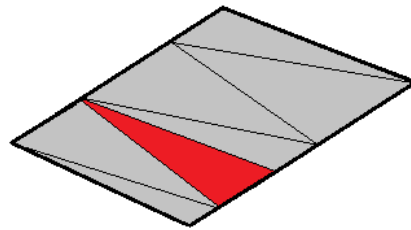
Figur 10: Överflödiga triangel



Figur 12: Flerdelad triangel



Figur 11: Korsande triangel.



Figur 13: Omvänd triangel.

Vid skanning kan det även uppstå en del brus, framförallt från blanka objekt som lätt ger reflektioner. Detta upptäcks ofta då meshens yta är väldigt kornig och ojäm. Inom många programvaror finns det verktyg för att reducera brus vilket ofta sker genom utjämning av skarpa kanter. Det gäller dock att ha i åtanke att detta i många fall påverkar objektets noggrannhet.

Ett meshat objekt kan utan problem bestå av miljontals olika trianglar vilket då resulterar i en stor filstorlek. Plana områden har i regel en gles uppbyggnad medan områden med mer varierande geometri kräver en tätare struktur. Det som då skulle kunna känneteckna en bra mesh är tillräckligt med trianglar för att återge objektet utan att resultera i för stora filstorlekar[11].

2.6 Filformat

För all digital data måste informationen som är lagrad vara av ett filformat dvs. den interna strukturen som datorer kan läsa. Detta medför att olika filformat har olika egenskaper. Detta har lett till att många utvecklare har utvecklat egna filformat som är speciellt gjorda för att passa deras programvaror så bra som möjligt. För att kunna byta mellan programvaror måste man därför oftast konvertera den data som finns, det är enkelt att här tappa kvalitet och information. Nedan beskrivs de filformat som använts mycket under projektets gång [12].

2.6.1 VRML

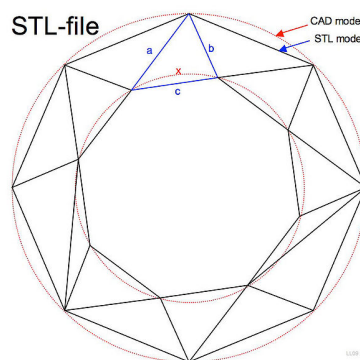
Virtual reality modeling language (VRML) är ett bildfilformat som är framtaget för 3D-visualisering. VMRL används för att visa interaktiva 3D-objekt på internet. VMRL 1.0 lanserades 1994, två år senare 1996 släpptes VRML 2.0 även känt som VRML 97 med mer dynamiska och interaktiva funktioner. Det man bygger upp i VRML kallas ofta för "världar" och filerna avslutas med .wrl.

VRML har som ett programmeringsspråk och bibliotek för 3D-visualisering väldigt många och kraftfulla funktioner som bland annat skuggning, projektion och texturmappning. Det är enkelt att bygga upp virtuella världar med hjälp av VRML på internet om man har en webbläsare som stödjer detta eller laddar ner en plugin till webbläsaren [13].

2.6.2 STL

STL som står för stereolithography är ett filformat som är framtaget av företaget 3D Systems för deras stereolitografi-baserade CAD programvara. Filformatet STL är välkänt och kan användas i många programvaror. STL används i stor utsträckning inom Computer Aided Manufacturing (CAM) och Rapid Prototyping även känt som friformning på svenska.

STL-filer beskriver endast geometrins yta hos ett tredimensionellt objekt utan att ta hänsyn till färg, textur eller några andra vanliga CAD attribut. En STL-fil beskriver en rå ostrukturerad yta uppbyggd av små trianglar (Se figur 14) och har alltid filändelsen .stl [14] [15].



Figur 14: Skillnad på CAD och STL[16].

2.6.3 STEP

STEP som är en förkortning för *Standard for the exchange of product* är en ISO-standard (ISO 10303-21) för vilken struktur och uppbyggnad en CAD-modell ska ha oavsett CAD, CAM, PDM eller PLM-system.

STEP-filen är det mest använda filformatet när det kommer till datautbyte i form av den ISO-standard som STEP är. På grund av sin struktur är STEP-filen lätt att läsa och har oftast en instans per rad. STEP-filer har filändelsen .STP eller ibland .STEP[17][18].

2.6.4 FARO FLS

De filer som skapas då man scannar med FAROs 3D-scannern kallas FARO scan files och har filändelsen .fls. FARO har skapat denna filtyp till sina egna mjukvaror men de går även att öppna i flera tredjeparts programvaror. Filerna består av koordinater av de punkter som scannern mätt ut då den scannat.

2.6.5 x3g

För att kunna skriva ut 3D-objekt i MakerBots 3D-printer behöver man spara 3D-objekten som .x3g-filer som man sedan skickar till eller öppnar med 3D-printern. Filformatet är framtaget av MakerBot själva och har filändelsen .x3g.

2.7 Programvaror

Programvara som ibland även kallas mjukvara är ett datorprogram som består av organiserade samlingar av data och maskininstruktioner, och med hjälp av detta styr och beskriver de operationer som en dator ska utföra för en avsedd uppgift. Det finns programvaror som bara kan utföra en liten uppgift, men det finns även de som skapar en helhet så som ordbehandlare, webbläsare och CAD-program.

En programvara skapas och skrivs med hjälp av ett programspråk. Programvara brukar i regel skrivas i ett programspråk som är enkelt för människan att förstå så som Java eller C++ för att sedan kompileras eller tolkas till maskinkod som datorer förstår.

Det finns olika licenser för programvaror som beskriver de villkor och rättigheter som användaren har när det kommer till användning av en speciell programvara.

Freeware är ett gratisprogram som användaren får installera och använda gratis, dock så får användaren inga andra rättigheter till programvaran. En shareware licenserad programvara är gratis att använda endast under en testperiod, eller/och med begränsade funktioner. Programvaran kan helt enkelt ses som ett utvärderingsprogram.

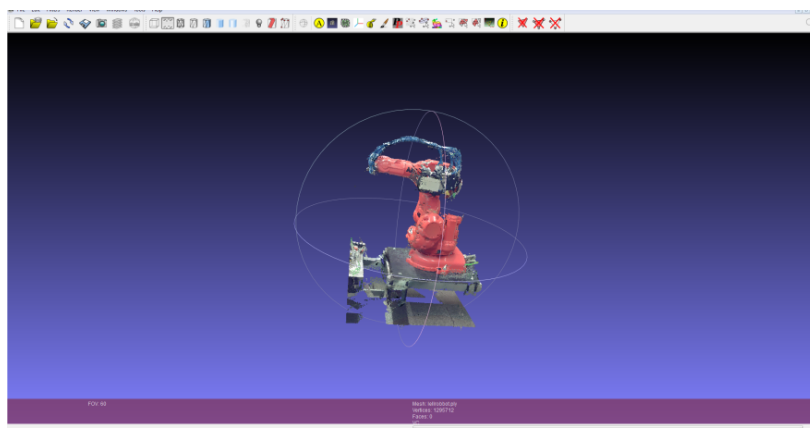
Fri programvara även känt som open source är då en programvara får installeras och användas, spridas och modifieras mer eller mindre fritt. Dock oftast med det villkoret att man behåller uppgifter om skapare och licens men även att man ger källkoden till alla man delar med sig programvaran till och antecknar de ändringar man gjort i programvaran.

De flesta kommersiella programvarorna är proprietära, vilket betyder att användaren har mycket begränsade rättigheter när det kommer till att studera och göra ändringar i programkoden [19] [20].

Nedan beskrivs de programvaror som testats och använts under projektets gång.

2.7.1 MeshLab

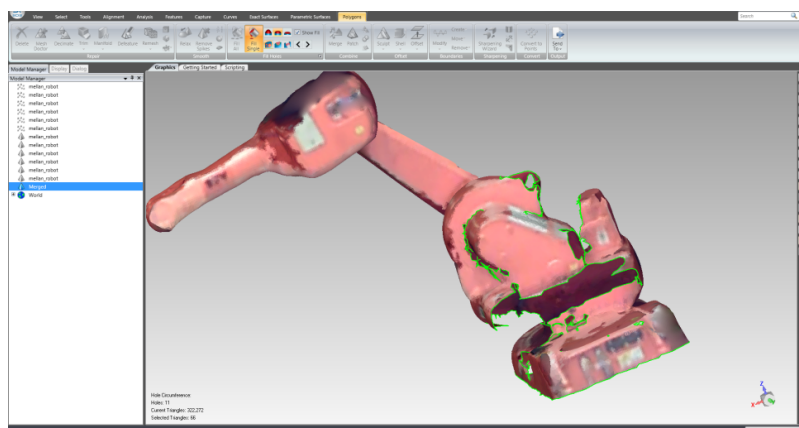
MeshLab är en gratis open source programvara. Programvaran har utvecklats av EPOCH som är ett nätverk av europeiska institutioner som samarbetar för att ta fram programvaror för att digitalisera kulturarvet och har finansierats av Europeiska kommissionen. MeshLab är utvecklad för att på ett enkelt och användarvänligt, men ändå kraftfullt och effektivt sätt kunna användas som ett verktyg vid bearbetning av punktmoln och mesh (Se figur 15) [21] [22].



Figur 15: Punktmoln av robot som redigeras i MeshLab.

2.7.2 Geomagic

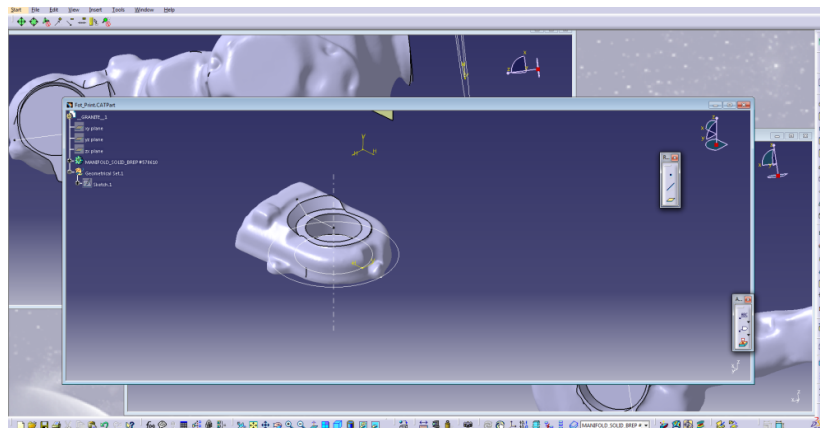
Under projektet har gruppen jobbat en del med Geomagics olika programvaror. Både Geomagic Studio och Geomagic Design X är framtagna av företaget 3D systems. Mjukvarorna har använts främst till att gå från oprocessad 3D scandata till färdiga solider (Se figur 16). Programmen fungerar väl tillsammans med CATIA och Inventor och är dessutom uppbyggda på liknande sätt vilket bidrar till att de får anses vara lätta att arbeta i om man har tidigare kunskaper inom något av de nämnda CAD-programmen. 3D systems är ett av de större företagen som tar fram alternativa lösningar för att komplettera traditionella arbetsmetoder inom produktutvecklingsområdet. Deras mjukvaror bidrar i många fall till kortare utvecklingstider och lägre kostnader och har därför varit av intresse att använda inom projektet[23] [24].



Figur 16: Punktmoln under bearbetning i Geomagic Studio.

2.7.3 CATIA

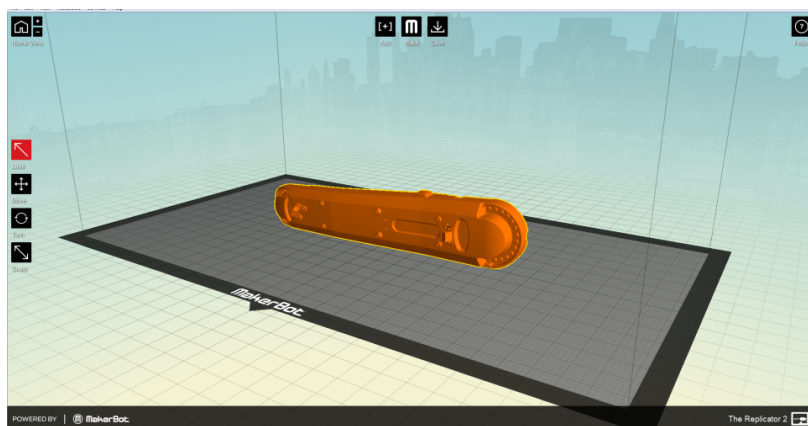
Under projektets gång har CATIA använts för att redigera och dela upp objekt innan de ska skrivas ut med 3D-printer (Se figur 17). CATIA är en CAD/CAM/CAE programvara och från början framtaget för att användas internt av Dassault Aviation som är en flygplanstillverkare. I början av 1980-talet startade företaget ett dotterbolag Dassault Systems och ingick ett samarbete med IBM som skulle sälja och agera support runt om i världen för produkten. CATIA blev fort välanvänt inom industrin då IBMs datorer användes av väldigt många företag. Idag används CATIA av många stora företag så som flygplanstillverkarna Boeing och Airbus och biltillverkare som Volvo och Toyota[25].



Figur 17: Redigering av robot i CATIA.

2.7.4 MakerWare

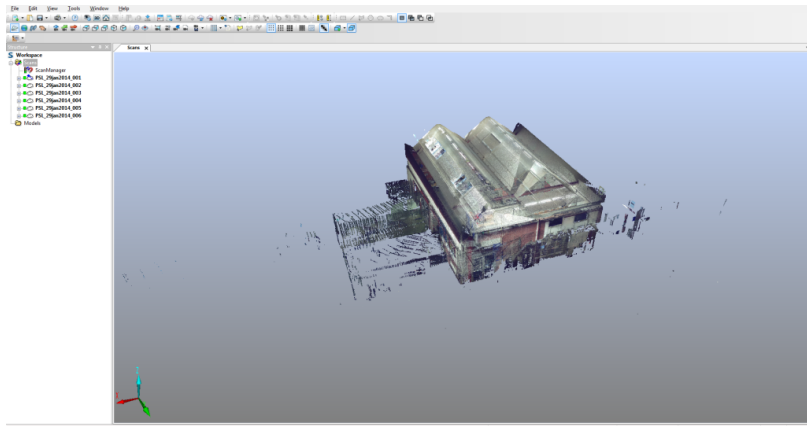
MakerWare är MakerBots egna freeware-programvara för att förbereda solider för 3D-printing (Se figur 18). MakerWare har många bra hjälpmedel t.ex. kan man med hjälp av MakerWare bygga upp stöd för de objekt som skall printas. MakerWare är intuitivt men trots detta ett kraftfullt verktyg för 3D-printing[26].



Figur 18: Del av robot förbereds inför utskrift i MakerWare.

2.7.5 Faro Scene

Faro Scene har använts för att sammanfoga de olika scanningarna (Se figur 19) och för att klippa ut de objekt som ska behandlas för att till slut skrivas ut. Faro har utvecklat en egen programvara som heter Faro Scene och används för att hantera all scandata man tagit fram med hjälp av deras scanners.



Figur 19: Scandata av PSL:s lokaler sammanfogade i Faro Scene.

3. Metod

I denna del beskrivs hur arbetet har genomförts för att leda fram till det resultat som senare kommer att presenteras. Inledningsvis ges en bakgrund till vad Reverse Engineering innebär, med mål att ge läsaren en inblick och förståelse i varför just detta arbetssätt tillämpas i projektet. Därefter ges en mer ingående beskrivning av de huvudsakliga momenten som utgör grunden för studien.

3.1 Reverse Engineering

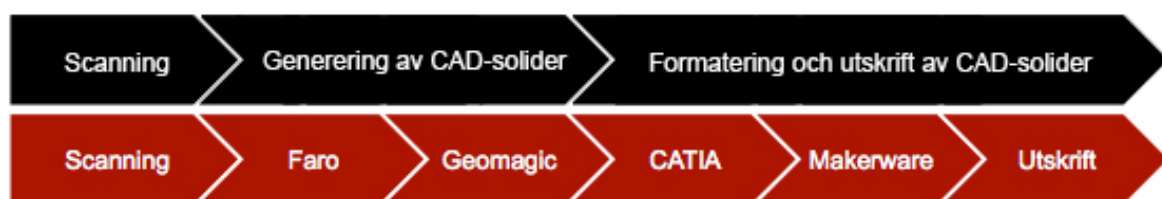
Reverse Engineering är ett väletablerat arbetssätt som innebär att man utgår ifrån en färdig produkt och utifrån denna tar fram detaljerad information så som ritningar och specifikationer.

Användningsområdet är stort och tekniken förekommer ofta inom bil- och flygindustrin i samband med design, utveckling och produktion. Tillverkande företag är i regel kraftigt konkurrensutsatta och ställer därmed höga krav på allt ifrån inköp, produktion och försäljning. Tillämpning av Reverse Engineering som arbetsform är därför i många fall lämpligt inom just produktionsområdet eftersom en av dess främsta egenskap är just att förkorta utvecklingstiden av nya produkter[27].

Inom detta projekt kommer den nuvarande produktionslayouten att ses som den färdiga produkten. Genom att använda 3D-skanning kommer man att få tillgång till den data som definierar miljön, information som sedan utgör grunden för fortsatt arbete i form av att generera CAD—modeller.

3.2 Projektfaser

För att tydliggöra projektets olika faser har genomförandet delats upp i tre olika moment (Se figur 20). Då vägen mellan 3D-skanning och 3D-printing är relativt outforskad har det i många fall varit nödvändigt att testa sig fram för att dra slutsatser utifrån de resultat som uppnåts. Det har därmed krävts en kartläggning av det egna arbetet för att kunna beskriva lämpliga verktyg och tekniker som knyter samman 3D-skanning med 3D-printing.



Figur 20: Flödesschema över de moment som ingår och vad de innehåller.

3.2.1 3D-scanning av produktionsmiljö

Inför genomförandet av skanningen fanns det anledning att skaffa sig grundläggande kunskap inom området. Då institutionen tillhandahåller en specifik 3D-scanner (Faro Focus3D x 130) söktes information främst via tillverkarens egen hemsida då dess fakta ansågs vara mest tillförlitlig. Innan skanningen påbörjades fanns det även vissa andra förberedelser som utfördes. Som tidigare nämnts under teoriavsnittet är scannern beroende av referenspunkter. Då det i flera andra sammanhang skett skanningar i den aktuella miljön existerade redan färdigmonterade fästen för dessa som också utnyttjades. Även lösa föremål som ansågs vara onödiga eller i vägen för viktigare objekt ställdes undan.

Produktionsmiljön scannades inledningsvis från sex olika positioner som finns markerade i bilaga A. Viktigt att ha i åtanke är att scannern måste kunna nå minst tre synliga referenser. Beroende på noggrannhet och antal punkter som önskas varierar tiden för respektive scanning. Utifrån de inställningar som valdes beräknades varje scanning ta närmare sex minuter.

I produktionsmiljön finns ett antal robotar som får anses ha komplexa geometrier jämfört med många andra objekt. För att kunna få mer detaljerad data över dessa genomfördes ytterligare fyra scanningar vid ett senare tillfälle. Dessa positioner återfinns i bilaga B.

3.2.2 Generering av CAD-solider

Under denna fas har inledningsvis informationen som lagrats från scanningarna överförs och sammanfogats till en tredimensionell miljö av punkter. Vissa detaljer och objekt har därefter redigerats för att kunna förenkla fortsatt bearbetning av data. Till detta användes Faros egen programvara *Faro Scene*, då denna ansågs vara väl anpassad till de olika inställningsmöjligheterna på scannern.

Informationen från scannern, även kallat punktmoln, består som namnet delvis antyder endast av punkter i rummet. Dessa måste på ett eller annat sätt sammanfogas för att därefter omvandlas till en solid geometri. Här finns ett stort utbud av olika programvaror varav ett flertal testades. Kunskap inhämtades om de olika mjukvarorna, samtidigt som för- och nackdelar analyserades.

När utklippta punktmolnsdetaljer ska bearbetas så finns det ganska många olika mjukvaror att välja mellan. Bland de olika programmen som undersökts finns meshlab, en rad olika Geomagic-produkter och ett program som heter Rhinoceros.

Det fanns några förutsättningar som mjukvarorna var tvungna att uppfylla för att vara lämpliga att använda i behandlingen av scandatan, som till exempel möjligheten att ta bort oönskad data, fylla igen håligheter med precision samt kunna importera/exportera med rätt format och filtyp.

3.2.3 Formatering och utskrift av CAD-solider

Då många CAD-solider har avancerade geometrier behöver dessa ofta modifieras för att kunna skrivas ut med en 3D-printer. Exempelvis finns det många gånger anledning till att dela upp objekt i mindre komponenter, dels för att undvika onödiga stödstrukturer som även kan försämra slutresultatet, men kanske främst för att möjliggöra rörliga leder. Återigen finns det ett flertal programvaror tillgängliga som därför testats och utvärderats.

Inför själva utskriften krävs formatering av filer vilket genomfördes via MakerWare, en programvara som tagits fram av MakerBot vilka också tillverkat den 3D-printer som använts under projektet. Här finns möjlighet att granska förloppet, upptäcka eventuella komplikationer och få en förväntad tidsåtgång.

3.2.4 Konstruktion av skalmodell

Som ett sista steg i processen för att kunna utföra enklare layoutplanering har en skalmodell monterats samman. Efter mycket övervägande har möjligheten att förflytta modellens olika objekt ansetts som en av de viktigaste aspekterna. Detta främst för att förhindra de felaktigheter som annars kan uppstå i samband med användning av traditionella tvådimensionella ritningar. Viktigt att poängtera är att under denna fas påverkas också konstruktionens uppbyggnad av andra faktorer i form av de begränsningar som finns hos 3D-printern. Vissa restriktioner är allmänt kända medan andra har uppmärksammats genom testning.

3.3 Tillförlitlighet av utförande

När det gäller vissa av förutsättningarna under projektet bör det uppmärksammas att dessa inte alltid är direkt jämförbara med hur det kan se ut i verkligheten. Exempelvis kunde scanningarna planeras och utföras under tillfällen då inga personer vistades i lokalerna. Även samtliga objekt som robotar och transportband var stillastående inom produktionsområdet. Detta är förhållanden som får anses vara gynnsamma och i många fall svåra att uppnå inom en verklig produktionsmiljö. Även om det vore möjligt att stoppa tillverkning för att utföra scanningar är det troligt att det måste ske under tidspress, vilket då också ställer högre krav på planering och utförande.

Det bör även påpekas att ett objektivt synsätt alltid har eftersträfvats men att det i vissa situationer är svårt att ha en helt neutral uppfattning. Val av programvaror har först och främst gjorts efter dess olika funktioner, men därefter har användarvänligheten utgjort en viktig aspekt. Hur lätt det är att arbeta i ett program får anses som en subjektiv värdering och därför har egenskaperna brutits ned i mindre delar för att ge ett mer tillförlitligt resultat. Trots detta gäller det att påminna sig om att projektdeltagarna sedan tidigare inte har några kunskaper inom programvarorna. Således bör utfallet betraktas utifrån detta perspektiv.

4. Resultat

Nedan presenteras den framtagna arbetsgången för hur man kan gå från 3D-scanning av en produktionsmiljö till 3D-printing och konstruktion av en skalmodell. Resultatet kommer att beskriva respektive steg i den följd de utförts. Konstruktionen av skalmodellen kommer att presenteras som en egen del i slutet av detta avsnitt.

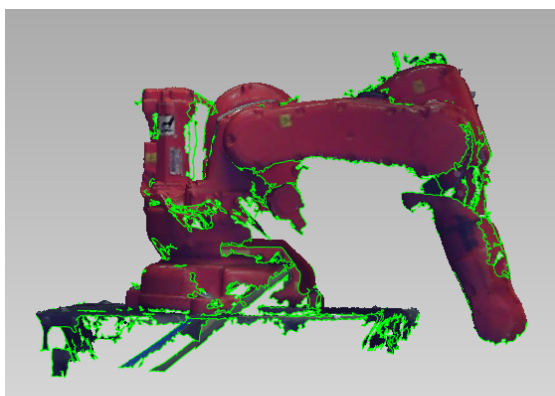
4.1 Scanning

För att samla in data om den produktionsmiljö som varit aktuell att analysera har lokalen inledningsvis 3D-scannats. Totalt utfördes scanningar vid två olika tillfällen varav det finns anledning att uppmärksamma vissa skillnader både i förutsättningar, förhållningssätt och resultat. Översiktsbilder av de miljöer som beskrivs visas i bilaga A respektive bilaga B. Här finns även ett antal punkter markerade, där de röda motsvarar scannerns placering vid den första inmätningen och de gröna motsvarar scannerns placering vid den andra inmätningen.

Vid det inledande scanningstillfället utfördes sex olika scanningar från olika utgångspositioner med målsättning att fånga så mycket information om omgivningen som möjligt. Därav är scannerns placeringar utspridda över lokalen, även om ett visst fokus låg på det avgränsade robotområdet.

När det gäller det andra scanningstillfället utfördes endast tre olika scanningar. Syftet då var att försöka få en högre detaljeringsgrad över robotarna eftersom att den första insamlade datan i vissa fall ansågs vara bristfällig. För att få en bättre inblick i detta resonemang bör placeringen av de två minsta robotarna observeras i bilaga A. Dessa stod vid aktuellt tillfälle tätt intill övriga objekt och kan därför beskrivas som inklämda och svåråtkomliga. Jämför man detta med placeringarna vid det andra scanningstillfället, dvs. bilaga B framgår det att robotarna förflyttats samt att dessa då står på öppnare ytor.

Nedanstående bilder illustrerar skillnaden mellan insamlad urspungsdata från de två olika scanningstillfällena. Bilderna bör ge en viss förståelse för vad som anses vara dålig scandata (Se figur 21) respektive bra scandata (Se figur 22). Bilderna är även tänkta att visa hur scannerns placeringar och objektens tillgänglighet kan påverka resultatet.



Figur 21: Dålig scandata.



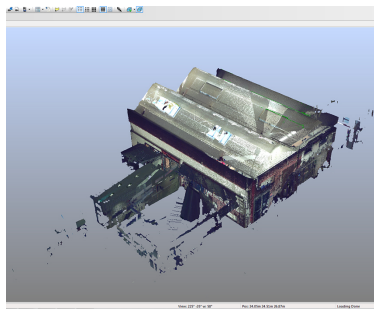
Figur 22: Bra scandata.

4.2 Faro Scene

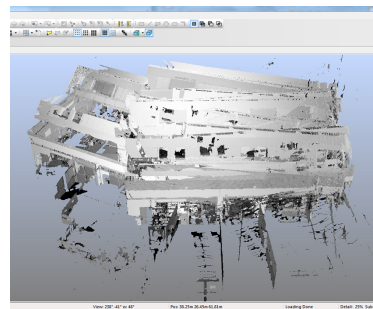
Efter insamling av data importeras scanningarna in till programmet Faro Scene. Här sker inledningsvis en avsökning av de referenspunkter som använts i samband med scanningarna (Se figur 23). Detta kan göras antingen via automatisk igenkänning eller också manuellt då man själv får markera de sfärer och checkerboards som placerats ut. Det är även möjligt att utgå ifrån naturliga föremål och deras geometriska former som referensobjekt. Därefter sker en sammanslagning, även kallat registrering, av de olika scanningarna utifrån referensernas koordinater (Se figur 24). Nedan visas även hur det ser ut då scanningarna fortfarande är oregistrerade (Se figur 25).



Figur 23: Sfär i Scene.



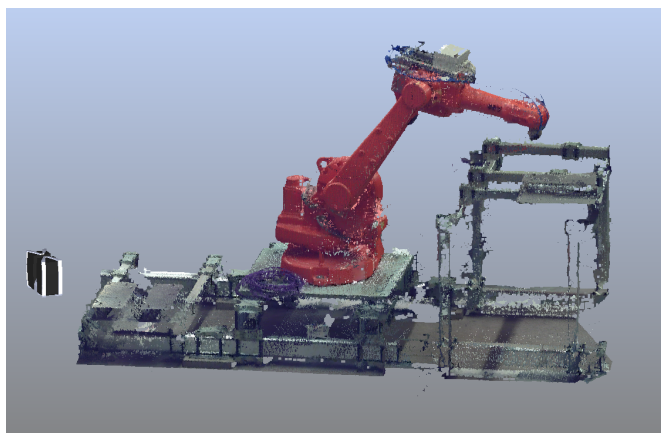
Figur 24: Registrerade scanningar.



Figur 25: Oregistrerade scanningar.

När det gäller att visualisera den insamlade informationen i Faro Scene så finns det flera olika möjligheter i form av vyer. Standardvyn är ofta tillgänglig utan att behöva laddas och benämns inom programmet som quick view. Sedan finns även planar view vilket är en vy som är fördelaktig att använda om man bara ska undersöka en scanning då den snabbt och överskådligt visas i detta läge. Det som dock har använts mest är 3D view då det här finns möjlighet att kombinera alla olika scanningar och röra sig fritt i miljön för att granska detaljer från olika perspektiv.

När väl scanningarna är registrerade går det att börja bearbeta datan. För att underlätta och förbättra möjligheterna att komma åt enskilda objekt redigerades taket på lokalen bort. Från en toppvy är det sedan möjligt att klippa ut området kring ett objekt, exempelvis en av robotarna, för att därefter exportera endast denna sektion i VRML-format. Nedan visas en robot utklippt i Faro Scene, redo att exporteras (Se figur 26).

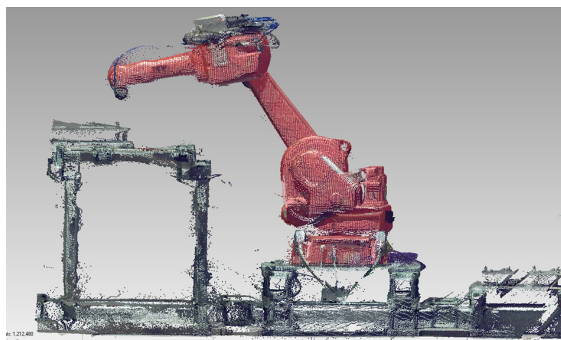


Figur 26: Utklippt robot i Faro Scene.

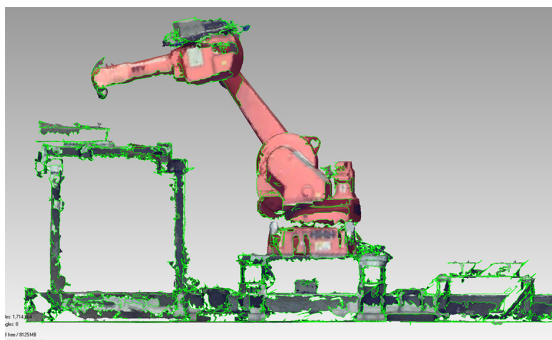
4.3 Geomagic Studio

Det program som fyllde behoven som beskrivs i avsnitt 3.2.2 bäst var ett ur Geomagics katalog, nämligen Studio. Både användarvänlighet och verktygsutbudet var i särklass bäst, det är även framtaget för just dessa processer. Ytterligare produkter ur Geomagics urval som testades var Design, Design Direct, och Design X. Dessa hade mer fokus på att skapa CAD modeller från grunden och hade få eller inga verktyg alls för att bearbeta scandatan som exporterades från Faro Scene.

Då en punktmolnsfil i VRML-format öppnas i Geomagic studio visas de olika scanningarna som enskilda lager (Se figur 27). Dessa kan sedan sättas samman genom kommandot MERGE som även utför brusreducering och omvandlar punktobjektet till ett polygonobjekt, dvs. konverterar punktmolnet till mesh (Se figur 28).

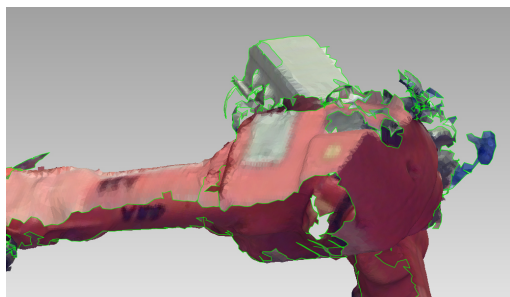


Figur 27: Punktmoln i Geomagic Studio.

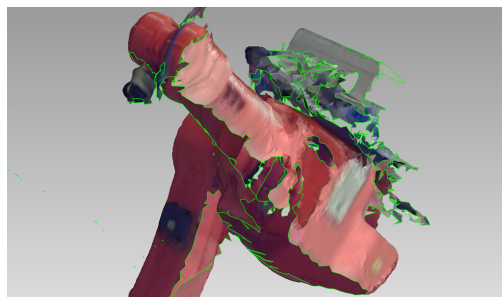


Figur 28: Mesh i Geomagic Studio.

Vissa områden av polygonobjektet kan sticka ut eller överlappa varandra och dessa tas då bort. I programmet finns flera olika verktyg för att fylla igen håligheter som uppkommit till följd av bristfällig scandata (Se figur 29-30). Här bör återigen poängteras vikten av detaljrik data redan från scanningarna då arbetet att åtgärda hål är tidskrävande. Att bygga upp ofullständiga ytor kan främst göras genom tre olika sätt varav valet av metod främst beror på hålets storlek och komplexitet. Det som använts mest är kommandot BRIDGE som delar upp hålet i mindre separata delar, för att sedan fyllas igen mer noggrant. Detta rekommenderas främst till hål som är omfattande och har svårdefinierade kanter.



Figur 29: Bild över hål i mesh.



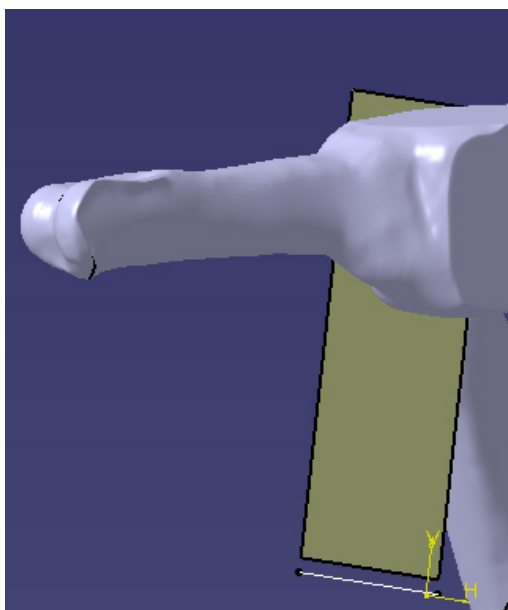
Figur 30: Bild över hål i mesh.

När eventuella hål är åtgärdade är nästa steg att övergå från ett polygonobjekt till en exakt yta vilket görs via kommandot EXACT SURFACING. Då detta är gjort kan AUTOSURFACE användas för att skapa en NURBS-modell vilket motsvarar att modellen får mjukare former. Därefter sker en konvertering till CAD och filen exporteras som STEP-format.

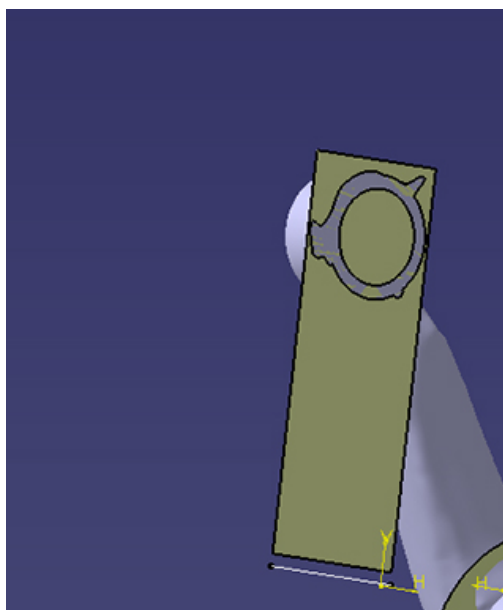
4.4 CATIA

Beroende på objektets storlek och om det finns anledning att skapa rörliga delar till den utskrivna modellen så har filerna öppnats i ett CAD-program, i detta fall CATIA. Som ett första steg analyseras modellen visuellt för att försöka hitta lämpliga placeringar att göra uppdelningar på. När det gäller robotarna finns naturliga leder och modellerna har därför delats upp vid dessa.

Indelningen görs inne i Generative shape design där ett skissplan skapas vid den position där uppdelningen ska ske (Se figur 31). En geometri ritas upp och därefter används funktionen REVOLVE alternativt EXTRUDE. Ytan delas sedan genom kommandot INSERT SURFACE BASED FEATURE (Se figur 32).



Figur 31: Skissplan.



Figur 32: Uppdelad Geometri.

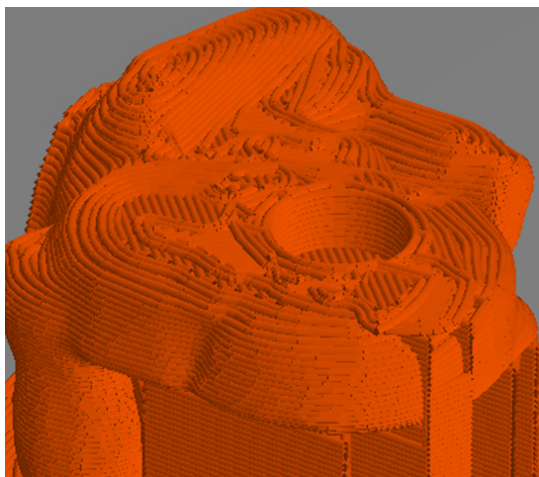
CATIA har även använts till att skapa hål i geometrierna med avsikt att senare montera magneter som ska hålla samman de olika delarna (Se figur 33). På liknande sätt har skissplan skapats för att sedan använda funktionen POCKET för att avlägsna material från modellen. Därefter exporteras sedan filen i STL-format för att kunna förberedas för utskrift.



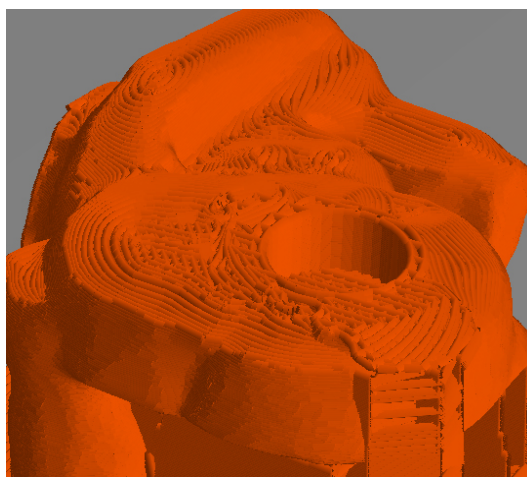
Figur 33: Hål för magnet skapat i CATIA.

4.5 MakerWare

I MakerWare utförs de förberedelser som behöver göras av objekten inför 3D-utskrift. Detta innefattar att placera delarna mot den yta som motsvarar printerns bottenplatta. Även en granskning av det stödmaterial som kommer att användas är möjlig. Detta är till stor hjälp då det går att testa andra placeringar för att försöka minska användningen av det material som endast är till för att bygga upp de riktiga strukturerna. Är det någon sida av objektet som det ställs särskilt höga krav på kan det vara fördelaktigt att undvika stödmaterial på sådana delar. Nedan visas två bilder av samma objekt men med olika inställningar av upplösning (resolution) i MakerWare (Se figur 34-35). Det som bör uppmärksammas är den tid som är beräknad för respektive utskrift då utskrifter med hög upplösning tar mycket längre tid.



Figur 34: Låg upplösning, utskriftstid 75 min



Figur 35: Hög upplösning, utskriftstid 180 min.

Den skala som valts för objekten och skalmodellen är 1:20. Skalan valdes efter att ha testat att skriva ut de objekt som var de mest kritiska för olika storlekar och för att hålla en acceptabel detaljnivå så som transportbandet pga. dess tunna ben. Det visade sig att 1:20 var den skala som fungerade bäst. När inställningarna anpassats för objektet exporteras filen som X3g-format.

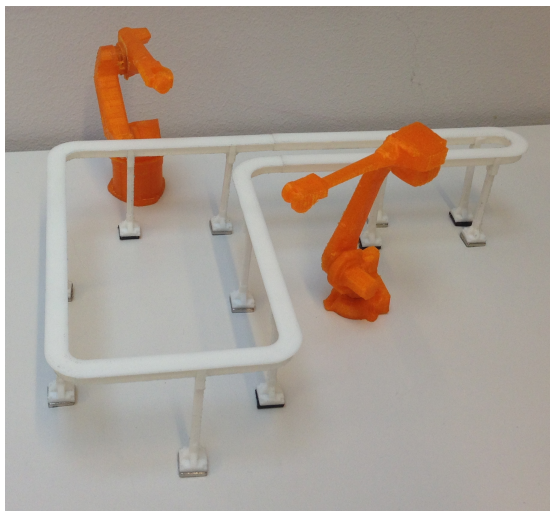
4.6 3D-printing

Utskrift av objekten kan ses som det sista steget i den arbetsgång som tagits fram. Genom att skicka filen till printrern via usb-kabel eller minneskort kvarstår bara att efter önskemål välja färg på materialet och skriva ut. Nedan visas de utskrivna robotarna samt transportbandet (Se figur 36-37)



Figur 36: Alla robotar som finns i PSL utskrivna.

När väl utskriften är startad ska printrern klara av att utföra resten. Då objektet är färdigt återstår bara att lossa det från plattan och att ta bort stödmateriel och slipa till eventuella ojämnheter.

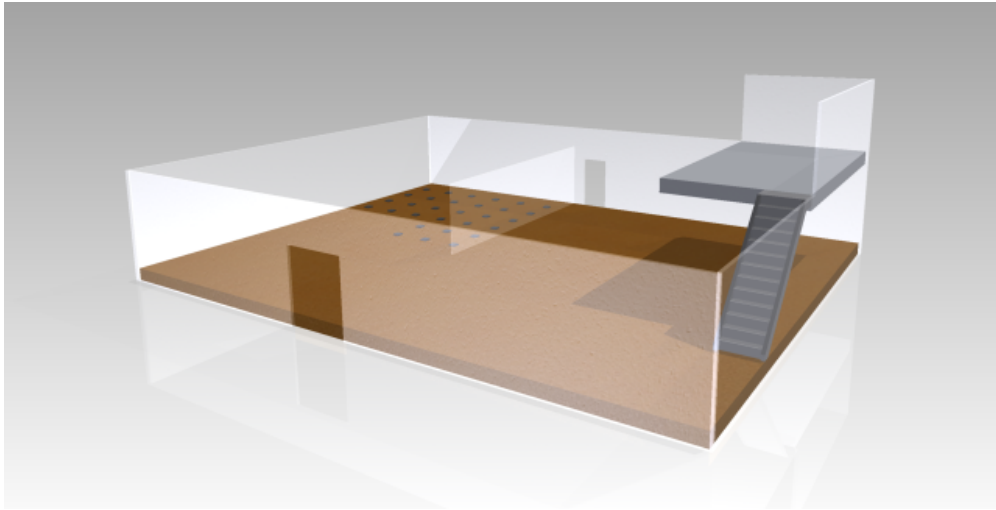


Figur 37: De två största robotarna och transportbandet utskrivna.

4.7 Skalmodell

För att enklare kunna verkställa en korrekt layoutplanering bestämdes det att man under projektets tid skulle ta fram en skalmodell över den lokal som man scannat. Tanken med att skriva ut en skalmodell i 3D-printrern försvann snabbt då scandatan inte var tillräckligt bra och den 3D-printrer som fanns tillgänglig inte kunde skriva ut en tillräckligt stor skalmodell. Det skulle ha gått att dela upp modellen i flera delar och på så sätt få ut en större modell, detta hade dock tagit lång tid att skriva ut och eftersom scandatan inte var speciellt bra fattades beslut om att bygga en egen skalmodell.

Bygget började med att analysera den scandata som fanns och genom den mätta ut de olika måtten som behövdes för att bygga en modell, för att sedan kontrollera detta valde man att kontrollmätta lokalen på klassiskt maner med måttband. De visade sig att scanningen var korrekt och man gick vidare till att rita en ritning (bilaga C) och skisser av skalmodellen (bilaga D). För att få en ännu bättre bild av hur modellen skulle se ut valde man att rita upp den i CAD (Se figur 38).



Figur 38: Cadmodell av skalmodellen

Efter att ha ritat upp en modell som man var nöjda med i CAD, behövde man välja material. Efter konsultation med lärarna i prototypverkstaden valdes en 16mm tjock MDF-platta. Denna sågades till och användes som en bottenplatta.

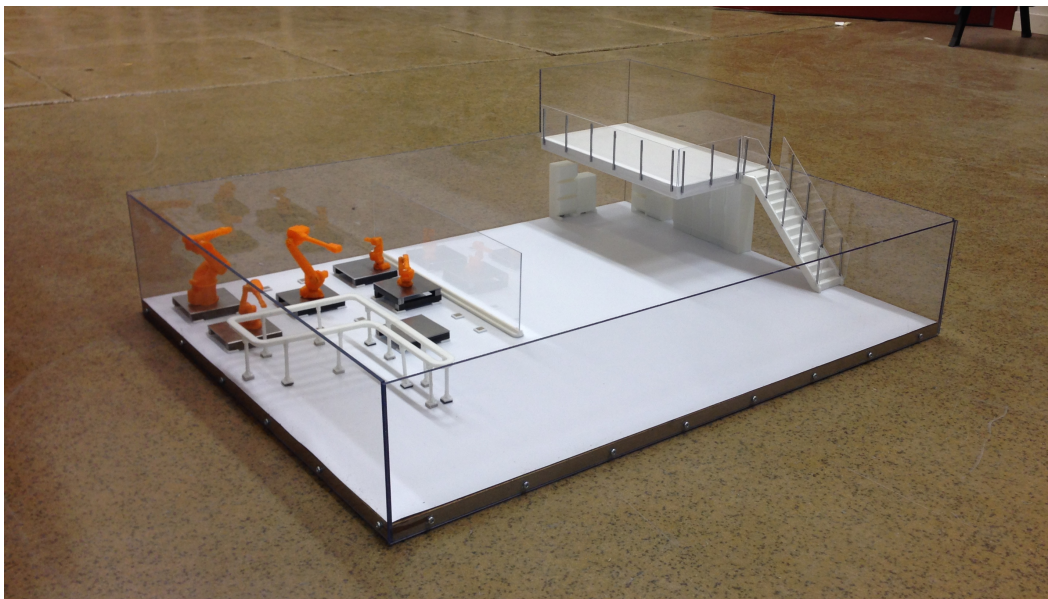
Väggar var något som man prioriterade då de väldigt tydligt visar avgränsningar på var utrustning kan placeras. Ett problem var dock att väggarna förhindrade användbarheten av modellen om den t.ex. placeras på ett bord under ett möte. Lösningen blev att tillverka väggar i plexiglas som man då kunde se igenom. Efter att sågat till dessa väggar skruvades de fast i bottenplattan och den yttre avgränsningen var klar. Det skars även till en tunn plastskiva som fästes i golvet och väggen för att symbolisera den glasvägg som finns i PSL-labbet (Se figur 39).



Figur 39: Plastskivan som symboliserar glasväggen.

Då man hade magneter fästa på robotarna valde man att klä hela bottenplattan med en magnetmatta. På magnetmattan limmades sedan NEO-magneter fast för att symbolisera de fixturer som är fästa i golvet inne i PSL-labbet. Till detta sågade man till små metallbalkar och limmade fast dessa på metallplattor som fick symbolisera de plattformar som robotarna monterades på.

Hyllan skapades av ett antal lager kapaboard som skars till och sedan limmades ihop. Detta då stora objekt tar lång tid att skriva ut och lätt kan bli deformerade. Till sist konstruerades en trappa till skalmodellen i CAD och skrevs sedan ut i 3D-printern. När denna skrivits ut fästes staket på hyllan och trappan som skurits till av silverstål och därtill fästes en tunn plastskiva mellan stolparna. Ett antal neodymmagneter limmades fast på väggarna och sedan skapades hål i hyllan där man tryckte in och limmade fast neodymmagneter. En tejprensa drogs runt kanterna för att få det estetiskt mer tilltalande. På detta sätt kunde hyllan fästas uppe i luften utan något stöd tack vare de starka magneterna (Se figur 40).



Figur 40: Den färdiga modellen.

5. Analys

I detta avsnitt analyseras och diskuteras de resultat som projektet lett fram till. Problem och svårigheter som uppstått under projektets gång tas upp och analyseras för att försöka hitta en lösning på dessa.

5.1 Problem och svårigheter

Under arbetets gång har en del problem och svårigheter uppstått, de flesta har haft med programvarorna att göra. Till en början fanns det svårigheter med att redigera soliderna i CATIA då de filer som skapades i MeshLab var av typen .stl. När man sedan öppnade dessa i CATIA sågs dem som produkter och gick inte att göra om till en part vilket ska gå med produktfiler i CATIA. MeshLab byttes därför ut mot Geomagic Studio där filerna kunde exporteras som .step och sedan öppnas i CATIA och redigeras.

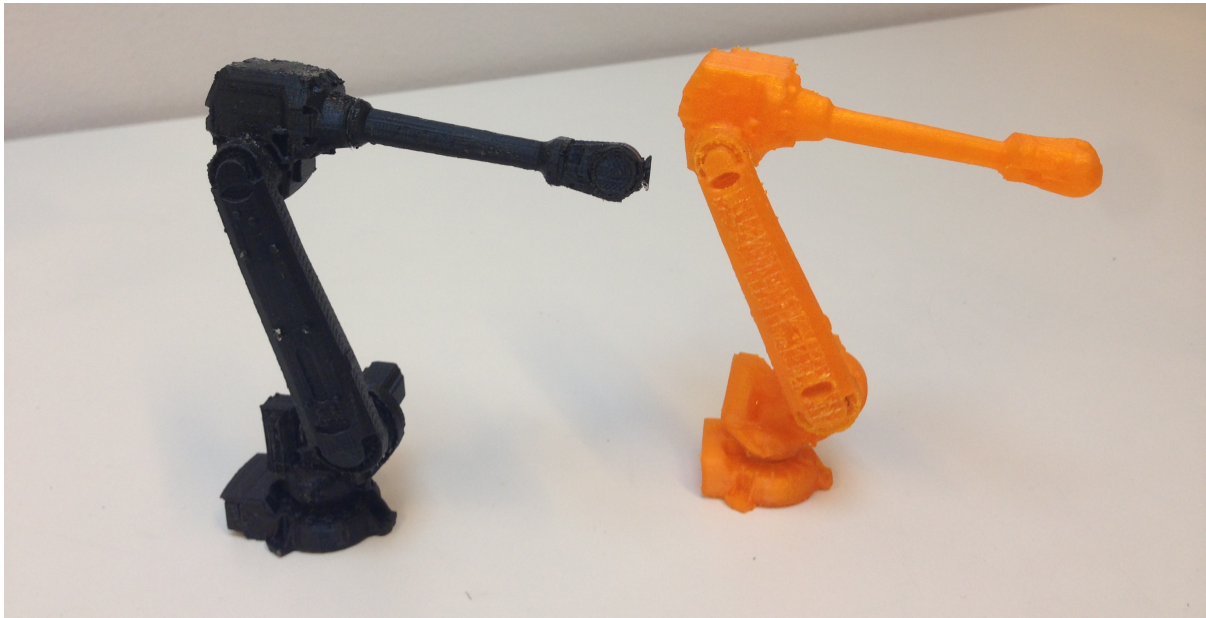
De färdiga CAD-modeller som funnits till förfogande har inte gått att redigera då dessa varit "read only" d.v.s. låsta för ändringar. Det ska gå att spara om filerna och sedan redigera dem men detta är något gruppen inte lyckades med under arbetet. Det som man lyckats med är att ta bort delar av en ihopmonterad produkt men man har inte kunnat redigera delarna.

5.2 Scandata

Under projektets gång har problem med scandatan uppstått. Det visade sig först att den scandata som var från det första scanningstillfället var för otillräcklig för vissa av robotarna. Därför genomfördes en ny scanning med fokus på de robotar som det fanns minst scandata på.

En avgörande faktor vid scannandet är var man placerar scannern i rummet. Ett behov som man gärna ser uppfyllt är att man får scandata från så många vinklar som möjligt på det föremål som man vill bearbeta. Om det finns för många områden på objektet som inte är scannade så kan det bli svårt att skapa en modell i CAD. Det kan ske om föremålet står mot en vägg så det är svårt att komma fram med scannern. Detta bidrog till vårt beslut till att ta en färdig modell för den största av robotarna, och att scanna ytterligare en gång, med total fokus på den minsta av robotarna. Ytterligare problem som uppkom på grund av scanplaceringen var att man inte helt lätt kunde klippa ut och exportera alla detaljer som det var tänkt, till exempel transportbandet, där det var väldigt rörigt med massa objekt och detaljer nära varandra. Som lösning till detta gjorde vi en ny CAD-modell av det, också något förenklad för lättare printning. Ännu ett problem som uppstod var inkonsekvent scandata av vissa ytor, alltså ytor som var lite olika beroende på vilken scan man tittade på, vilket skapade flera meshlager i mjukvarorna.

När dessa problem uppstår kan det vara av värde att överväga att använda CAD modeller eller att skapa en modell över objektet. Detta då det kan vara väldigt tidskrävande att få ut en acceptabel modell över objektet. Vissa objekt kan dock ha väldigt komplexa geometrier och då kan det vara svårt att modellera dem och det kan ta minst lika lång tid som att bearbeta en problematisk scanning.



Figur 41: Skillnaden mellan CAD-modell (svart) och scannad (orange) robot

5.3 Analys av utskrifter

När det gäller 3D-printing har resultatet i de flesta fall blivit som förväntat. Det finns dock några undantag som bör uppmärksammas. Även funderingar kring vad som kan ha orsakat detta kommer att presenteras.

Ett fel som är visuellt synligt och därmed lätt att upptäcka är på några av de elskåp som printats. Dessa har raka sidor i verkligheten och skildras också så när modellerna befinner sig i datormiljö. Vid utskrift har det dock konstaterats att vissa sidor är ojämna eller krökta. Detta gäller flera skåp och den gemensamma faktorn är att det handlar om den sida som ligger nedåt, dvs. där printern börjar lägga ut material.

Anledningen till att detta har inträffat är att den tejp som ligger på skrivplattan av printern har rest sig. Sen är omständigheterna kring detta något mer oklara även om en trolig förklaring är att tejpens egenskaper förändras till följd av plastens höga temperatur som uppgår till närmare 220-230°C.

Ännu ett fel som bör nämnas är att printern avslutade en utskrift med två större sprickor i objekten. I detta fall är den troliga förklaringen att matningen av plasten som sitter separat på printern inte varit tillräckligt följsam. Printern har då fortsatt sin process trots att den inte fått tillräcklig matning av nytt plastmaterial vilket då resulterat i dessa områden. Därefter har antagligen matningen kunnat fortsätta eftersom resterande lager från mitten och uppåt är bristfria. Denna förklaring anses trolig då det i samband med upptäckten uppmärksammades att matningen var trög, jämfört mot hur den brukar vara.

5.4 Magneter

Då skalmodellen var tänkt att kunna förflyttas så fanns det ett värde i att se till så att de olika komponenterna inte ändrade position under förflyttningen. Efter konsultation med de personer som i framtiden skulle komma att använda modellen kom man fram till att en bra lösning för att hålla komponenterna på plats var att använda magneter. Efter att ha undersökt marknaden hittades magnetmattor. Genom att fästa magneter i botten på detaljerna och sedan klä bottenplattan med en magnetmatta uppnåddes ett önskvärt resultat.

Då det inte gick att skriva ut de komplexa robotarna i en del på något bra sätt så krävdes det att objekten delades upp i flera delar. Då robotarna ändå skulle delas upp i mindre delar kändes det givet att dela dem där de olika lederna satt och på så sätt kunna skapa rörliga modeller istället för att bara limma ihop dem. För att lederna skulle vara rörliga men ändå ha en viss tröghet för att inte fällas ihop behövdes det tas fram en bra lösning för detta.

Skrubar och pluggar analyserades men de visade sig inte uppfylla de krav som fanns då de antingen skulle sitta för hårt eller för löst. Istället gjordes ett test med att borra hål i de olika delarna och där fästa neodymmagneter med lim. Dessa magneter fanns redan att tillgå och det fanns en viss känsla för hur pass starka de var då de använts för att fästa komponenterna på skalmodellen.

Fördelen med dessa starka magneter var många då de var tillräckligt starka för att hålla fast plastdetaljerna i olika lägen samtidigt som de var enkla att röra på. En annan fördel med magneterna jämfört med skruvar var att de gick att montera så att det inte syntes från utsidan vad som höll delarna på plats. Det positiva resultatet ledde till att neodymmagneter blev svaret på frågan om hur man skulle fästa de olika delarna.

Nackdelen med neomagneterna var dock att när man väl fäst dem i plasten så går de inte att ta bort, så fanns det önskemål om att ta bort magneterna var man tvungen att skriva ut en ny del. Neomagneterna är även spröda och behöver hanteras varsamt för att inte gå sönder.

6. Slutsats

Det arbetssätt som praktiskt har tillämpats i denna studie har resulterat i en skalmodell över den produktionsmiljö som har använts som analysobjekt. Det innebär att processen kan tillämpas på liknande miljöer och leda till motsvarande kopior i mindre skala.

När det gäller momentet att 3D-scanna produktionslokalen utfördes detta som tidigare påpekats vid två tillfällen, vilket främst berodde på bristfällig data över robotområdet från det första scanningstillfället. Detta extra moment som tillkom visar på svårigheterna att avgöra om tillräcklig data har införskaffats i samband med att scanningarna utförs, vilket då resulterar i att upptäckten av brister görs först senare i samband med datahanteringen. Som ett sätt att undvika detta finns det anledning att planera utförandet redan vid ett tidigare skede, framförallt om scanningarna måste utföras under ett pressat tidschema. Det anses därför som en klar fördel att ha sett miljön innan scanningarna för att kunna bilda sig en uppfattning om eventuella svårigheter som kan uppstå. Frågor som anses vara särskilt viktiga och som bör vara besvarade innan insamlingen påbörjas är vad den skannade datan ska användas till, om det är något eller några objekt som är viktigare än andra, samt vilka begränsningar gällande utrymme och tillgänglighet som finns i samband med positionering av skannern.

Studien beskriver även arbetsgången att ta fram CAD-solider inom programvaran Geomagic Studio. Programmet är anpassat för att kunna tillämpa reverse engineering genom en mängd olika funktioner som upplevs vara logiska att utföra även för användare utan tidigare erfarenhet inom området. Oavsett val av programvara är det dock alltid främst kvaliteten på scandatan som påverkar det efterföljande arbetet med att ta fram CAD-solider. Detta utgör skäl för att genomföra omfattande och detaljerade scanningar vid tillfällen då detta är möjligt.

3D-scanning sker väldigt exakt men att åstadkomma punktmoln som helt och hållet täcker in miljöer liknande den vi arbetat med är svårt, särskilt om datan ska användas till att bygga upp solider. En viss noggrannhet förloras alltså under arbetsgången, framförallt under stadiet då ytor ska byggas upp igen. Är syftet som i detta fall att skapa en fysisk modell för visualisering och förenkling vid layoutplanering finns det dock anledning att ifrågasätta hur hög precision som verkligen krävs.

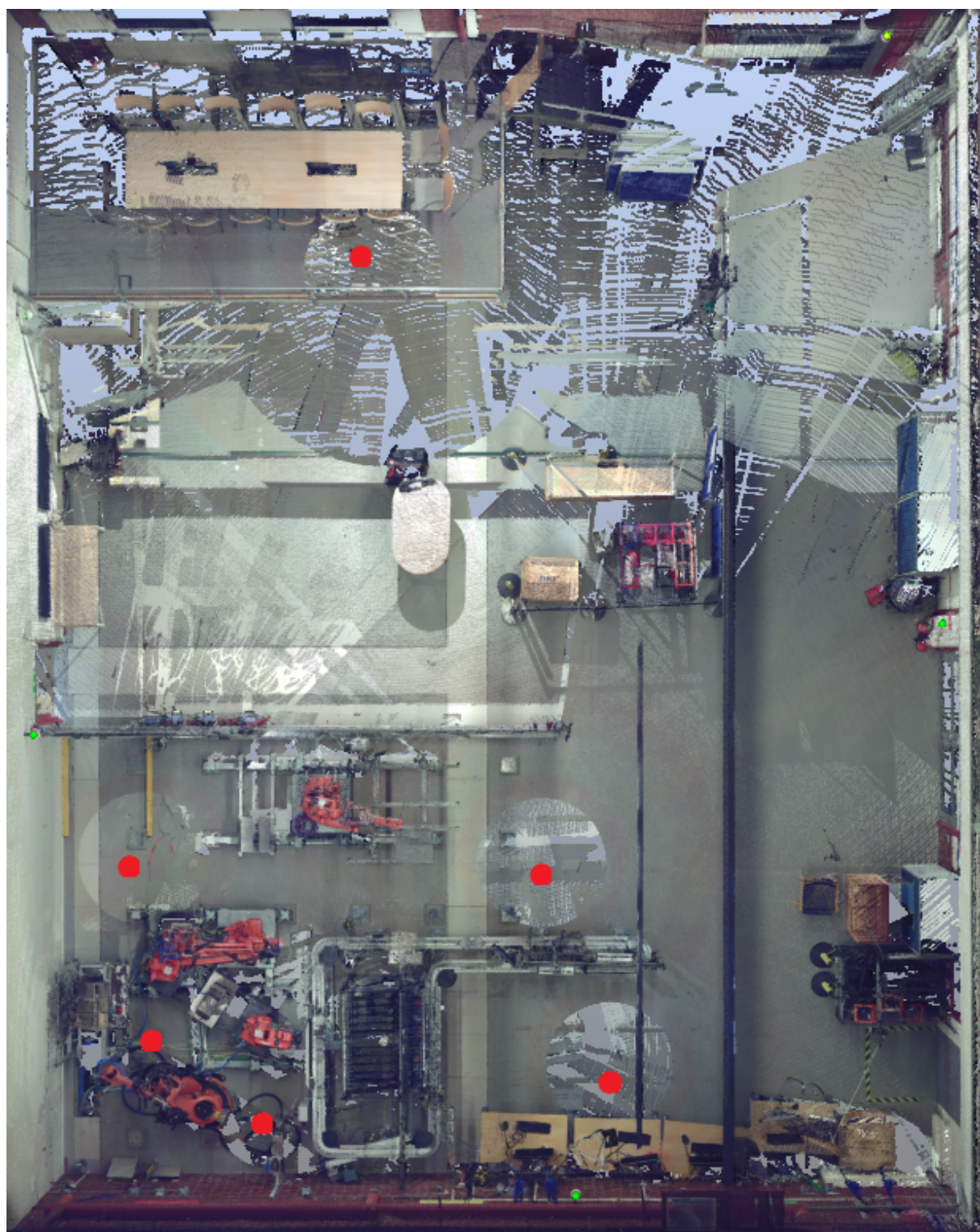
När det gäller eventuella vidareutvecklingar bör man påminna sig om att tekniken oavbrutet är under utveckling, vilket också bidrar till att förutsättningarna ständigt förändras. Ett önskemål, sett till den tekniska utrustning som har använts, skulle mycket väl kunna vara att man redan under 3D-scanningsprocessen lättare ska kunna upptäcka brister i den data som samlats in.

Referenser

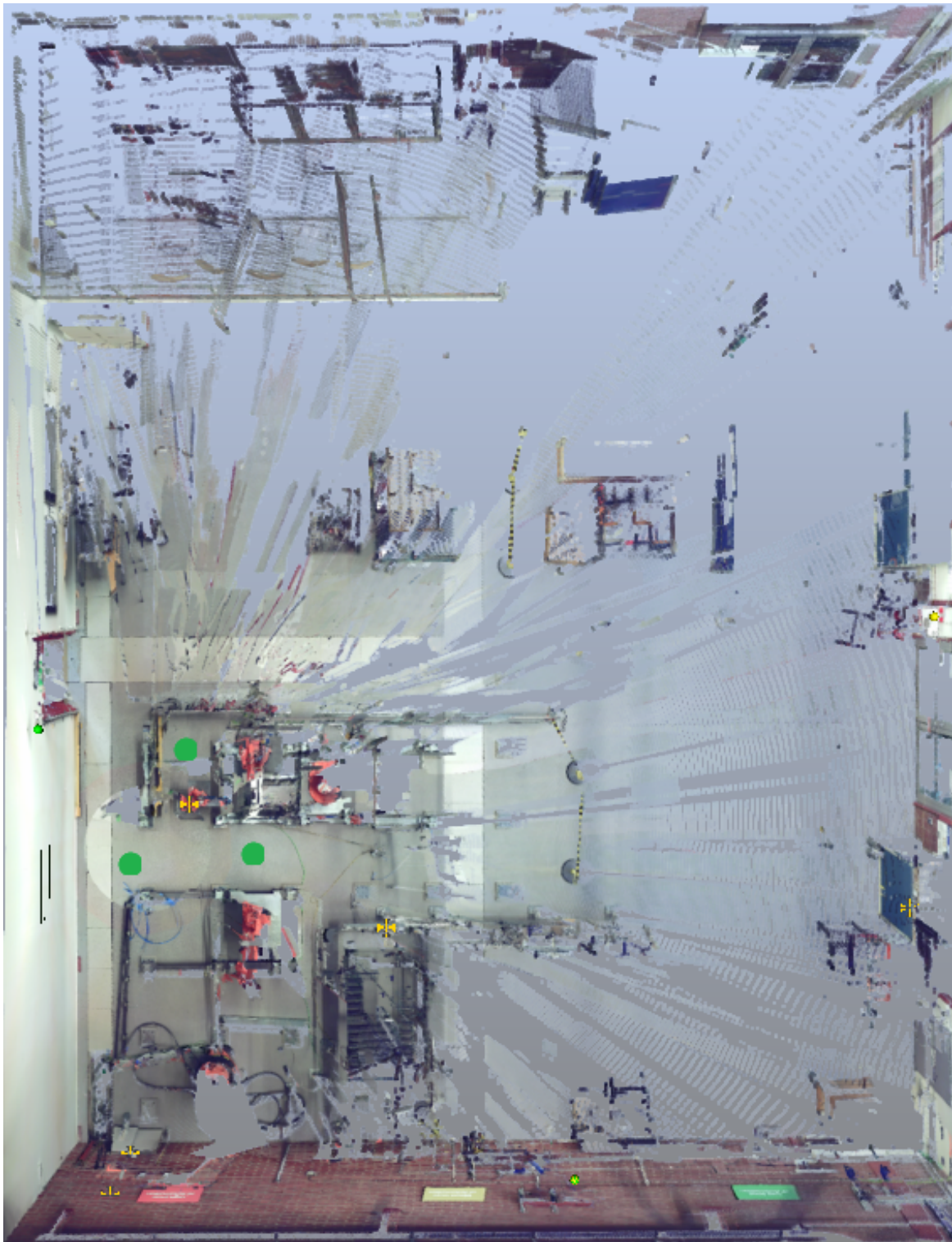
- [1] Ebrahim Mostafa. 3D LASER SCANNERS: HISTORY, APPLICATIONS, AND FUTURE, (2011). (hämtad 2014-05-21)
- [2] FARO. 3D Laser Scanner Faro Focus 3D Overview (2014). URL: <http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview> (hämtad 2014-02-06)
- [3] Bild på Faro 3D x 130 scanner. Hämtad 2014-04-29. URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FARO_Laser_Scanner_Focus3D.jpg
- [4] MakerBot. Digitizer (2014). URL: <http://store.makerbot.com/digitizer> (hämtad 2014-03-15)
- [5] Gibson, Ian, David W. Rosen, and Brent Stucker. *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer, (2010): 172. (hämtad 2014-02-06)
- [6] Gibson, Ian, David W. Rosen, and Brent Stucker. *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer, (2010): 143-203. (hämtad 2014-02-06)
- [7] MakerBot. MakerBot Replicator 2 Desktop 3D printer (2014). URL: <http://store.makerbot.com/replicator2> (hämtad 2014-04-29)
- [8] Creative Tools. Makerbot Replicator 2. 2014. URL: <http://www.creativetools.se/makerbot-industries-replicator-2-se> (hämtad 2014-04-29)
- [9] Madhavan Nampoothiri, K., Nimisha Rajendran Nair, and Rojan Pappy John. "An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research." *Bioresource technology* 101.22 (2010): 8493-8501. (hämtad 2014-05-02)
- [10] NyTeknik. Majs blir till plast i miljöfabrik (2004). URL: http://www.nyteknik.se/nyheter/it_telekom/allmant/article32251.ece (hämtad 2014-05-02)
- [11] Fabio, Remondino. "From point cloud to surface: the modeling and visualization problem." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.5 (2003). (hämtad 2014-04-24)
- [12] Folk, Mike, and Bruce R. Barkstrom. "Attributes of file formats for long-term preservation of scientific and engineering data in digital libraries." *Joint Conference on Digital Libraries (JCDL), Houston, TX. Vol. 1. 2003* (hämtad 2014-05-12)
- [13] Lim, En-Mi, and Tsuyoshi Honjo. "Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML." *Landscape and Urban Planning* 63.3 (2003): 175-186. (hämtad 2014-05-12)
- [14] Wu, Tong, and Edmund HM Cheung. "Enhanced stl." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 29.11-12 (2006): 1143-1150. (hämtad 2014-05-12)
- [15] Gibson, Ian, David W. Rosen, and Brent Stucker. *Additive manufacturing technologies*. New York: Springer, (2010): 342-343. (hämtad 2014-05-12)

- [16] Beskrivande bild om skillnaden mellan CAD- och STL-filer. hämtad 2014-05-12. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:STL-file.jpg>
- [17] Pratt, Michael J. "A new ISO 10303 (STEP) resource for modeling parameterization and constraints." *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 4.4 (2004): 339-351. (hämtad 2014-05-12)
- [18] Palmer, Mark, Mitch Gilbert, and J. Anderson. "Guidelines for the development and approval of STEP application protocols." *ISO TC184/SC4 N 1* (1998). (hämtad 2014-05-16)
- [19] Nationalencyklopedin. Programvara (2014). URL: <http://www.ne.se/enkel/programvara>. (hämtad 2014-05-13)
- [20] Wikipedia. Programvara. 2014. URL: <http://sv.wikipedia.org/wiki/Programvara>. (hämtad 2014-05-13)
- [21] Cignoni, Paolo, Massimiliano Corsini, and Guido Ranzuglia. "Meshlab: an open-source 3d mesh processing system." *Ercim news* 73 (2008): 45-46. (hämtad 2014-04-01)
- [22] Cignoni, Paolo, et al. "Meshlab: an open-source mesh processing tool." *Eurographics Italian Chapter Conference*. The Eurographics Association, (2008). (hämtad 2014-05-13)
- [23] Geomagic. Geomagic Studio Overview (2013). URL: <http://www.geomagic.com/en/products/studio/overview/> (hämtad 2014-04-15)
- [24] Geomagic. Geomagic Design X (2013). URL: <http://www.geomagic.com/en/products-landing-pages/designx> (hämtad 2014-04-15)
- [25] Francis Bernard. A short history of CATIA & Dassault Systemes. (2003). URL: <http://ridwan.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/8426/history-catia.pdf> (hämtad 2014-04-15)
- [26] MakerBot. MakerBot MakerWare (2014). URL: <http://www.makerbot.com/makerware/> (hämtad 2014-04-15)
- [27] Varady, Tamas, Ralph R. Martin, and Jordan Cox. "Reverse engineering of geometric models—an introduction." *Computer-Aided Design* 29.4 (1997): 255-268. (hämtad 2014-02-06)

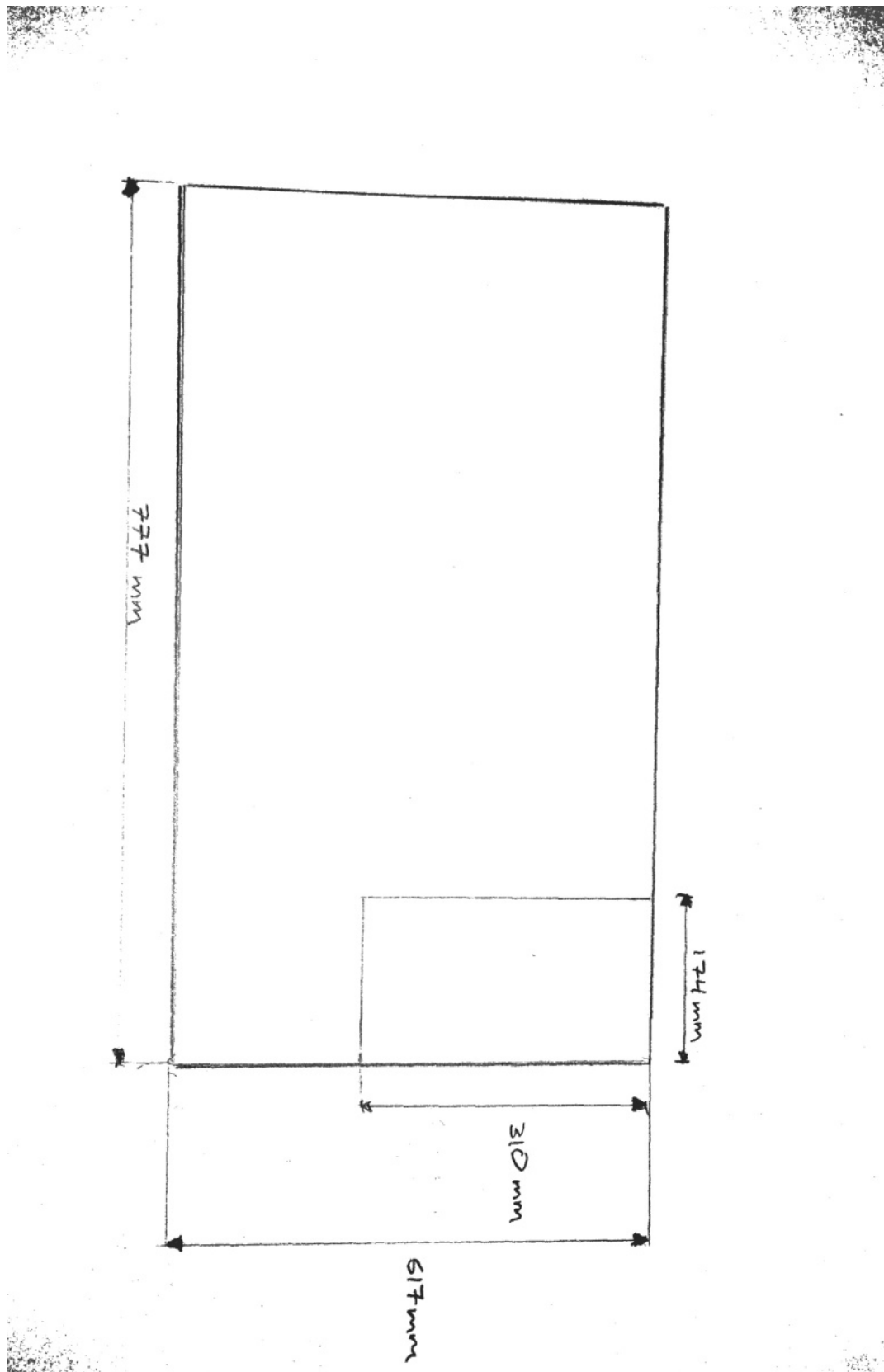
A Scanningspunkter vid första tillfället

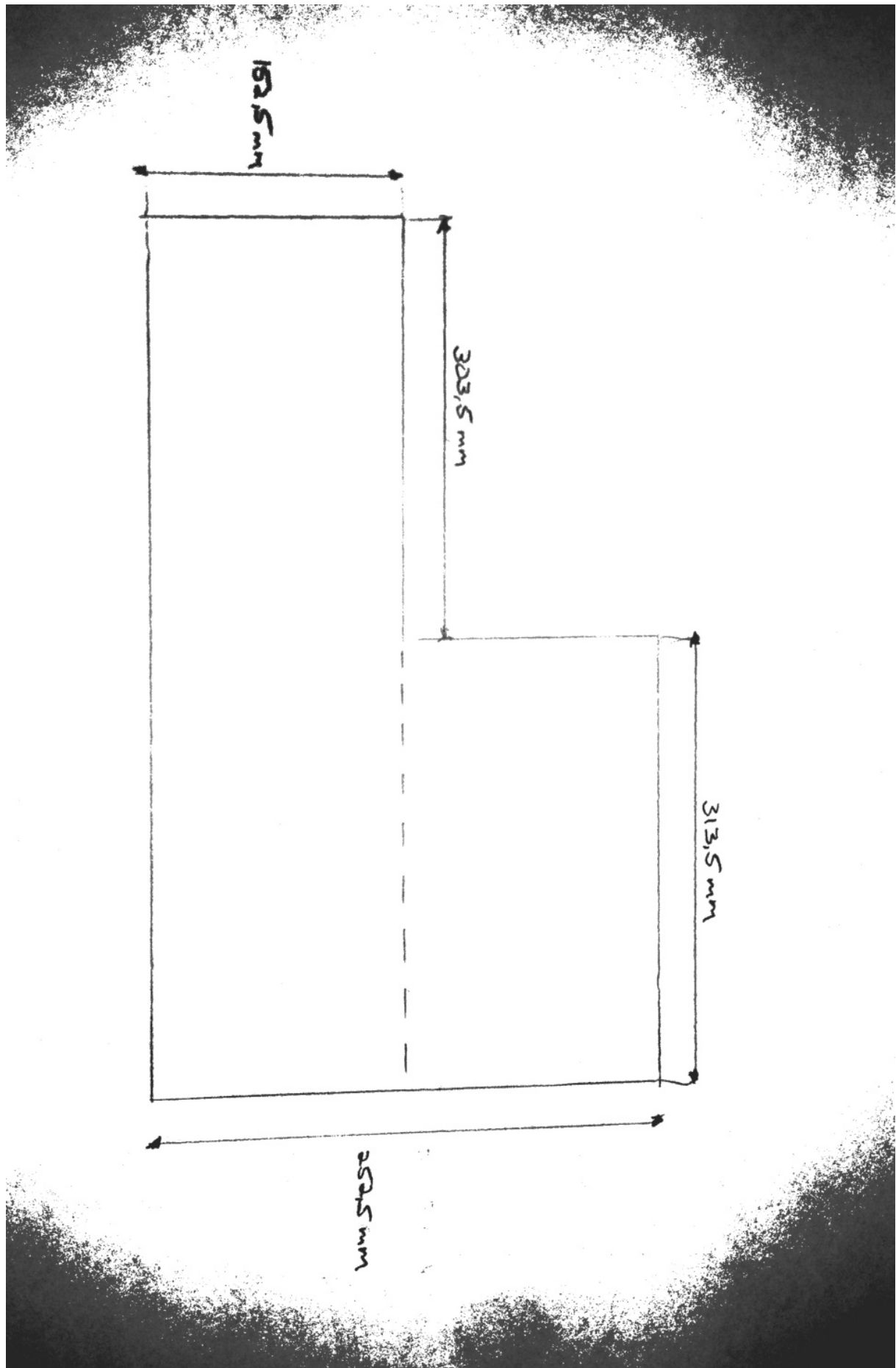


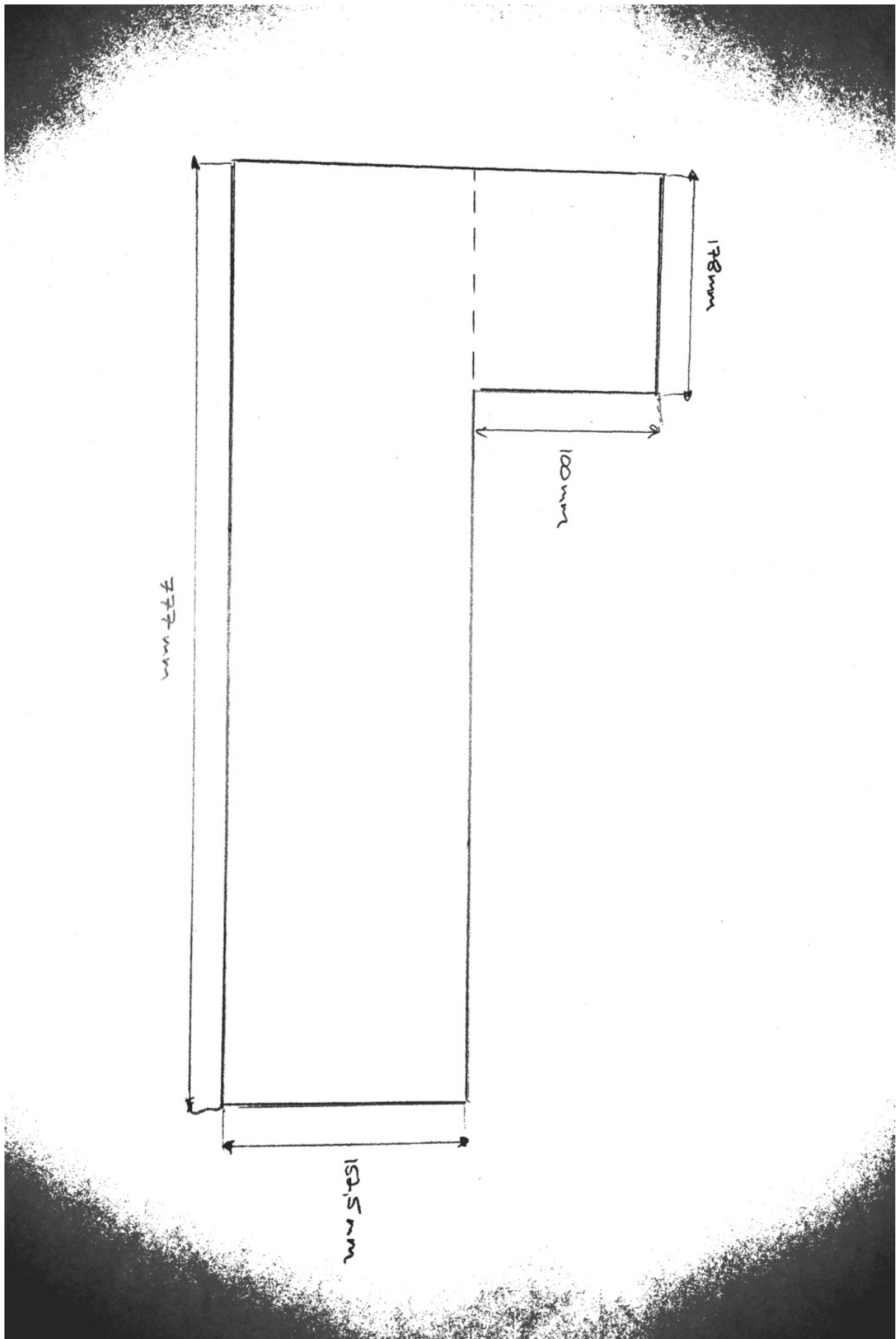
B Scanningspunkter vid andra tillfället



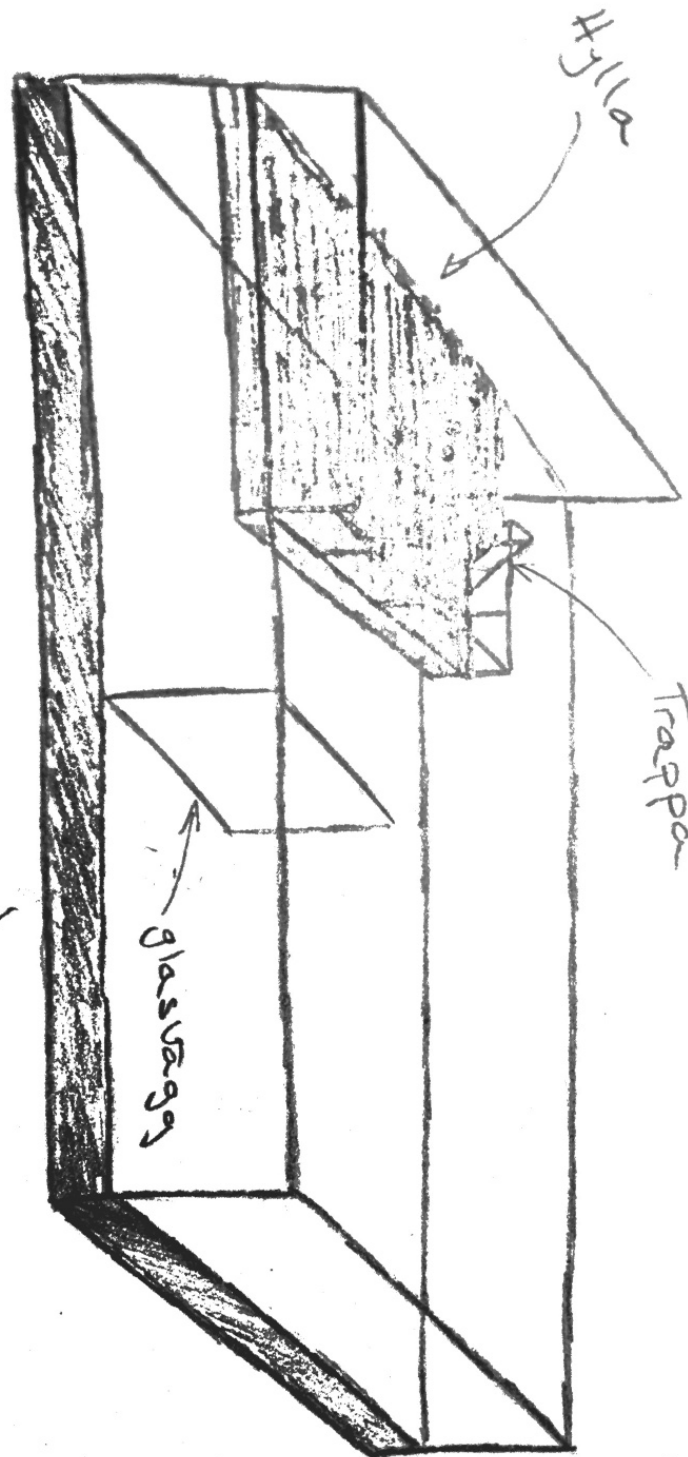
C Ritning av skalmodell







D Skiss över skalmodell



Reverse engineering 2014