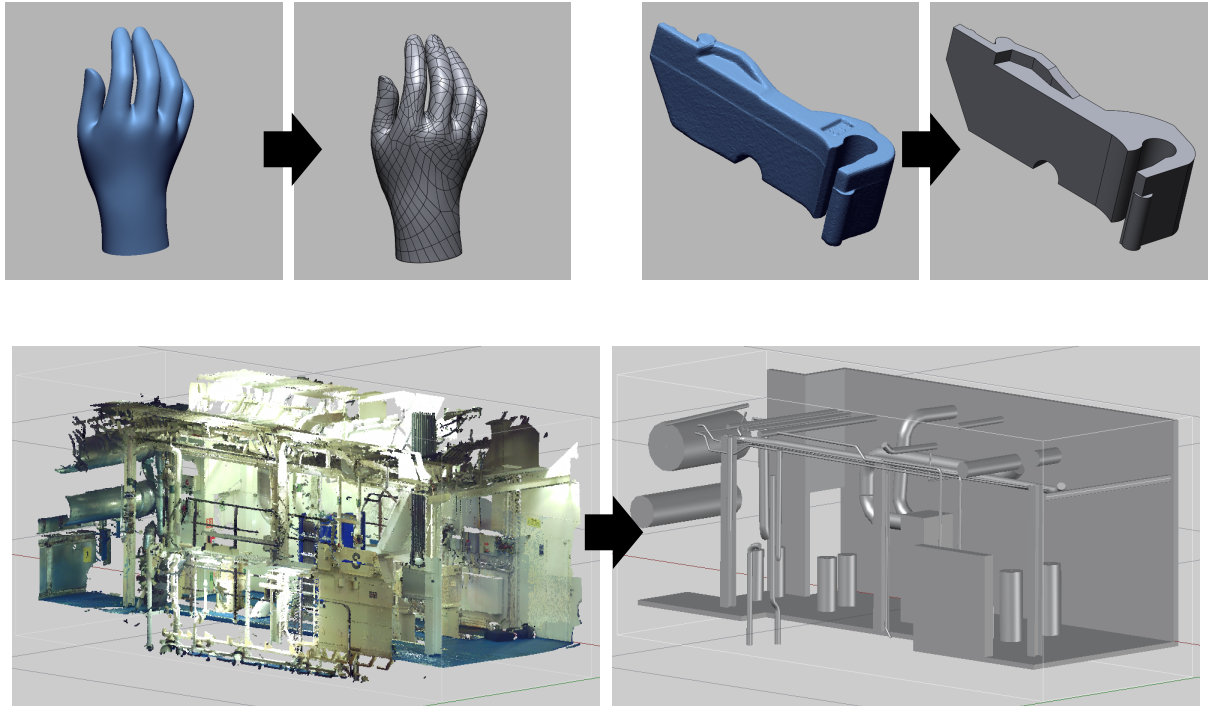




# CHALMERS

---



**Reverse Engineering av 3D-skannad data**  
Programvaruutvärdering och analys av  
konverteringsprocessen från 3D-skannad data till CAD-format  
*Examensarbete inom Maskinteknik 180 hp*

**Jakob Druve**

Reverse Engineering av 3D-skannad data  
Programvaruutvärdering och analys av konverteringsprocessen från 3D-skannad  
data till CAD-format  
JAKOB DRUVE

©JAKOB DRUVE, 2016

Examensarbete nr **XX**  
Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon + 46 (0)31-722 1000

I samarbete med Semcon Sweden AB

Omslagsbild: 3D-skannad data konverterad till solider i CAD

# Förord

Det här examensarbetet initierades av avdelningen Product Design Engineering på Semcon Sweden AB i Göteborg. Sedan mitt första besök i februari har jag trivts väldigt bra på Semcon. Jag vill rikta ett stort tack till hela avdelningen som tagit emot mig varmhjärtat och som alltid varit till hands när jag behövt hjälp.

Ett extra stort tack vill jag ge till Sammy Johansson, min handledare på Semcon, och Jonatan Berglund, min handledare på Chalmers Tekniska Högskola, som båda har bidragit med sitt intresse och engagemang för examensarbetet.

Jag vill också tacka Helena Sahlberg på Semcon för förtroendet som en av Semcons Studentambassadörer det gångna året. Det har varit en förmån att få lära känna Helena och Semcon som företag, vilket har varit en stor bidragande faktor till att jag fick skriva det här examensarbetet.

Därtill vill jag tacka alla som ställt upp på intervjuer och möten – Semconiter, externa företag och programvarusäljare.

Jakob Druve

Göteborg, juni 2016

# Abstract

Nowadays there are numerous of software that can manage 3D scanned data, as a point cloud or a mesh, and that can create solid models in CAD. Today's software development is proceeding fast, and consequently it is important for engineering companies, including Semcon, to be aware of the development and to use the software or combination of software, the process, that for the moment can accomplish Reverse Engineering as profitable as possible.

The action when performing Reverse Engineering, i.e. converting 3D scanned data into CAD format, is today not optimum at Semcon, because the process has an undefined lead time, contains plenty of steps and since there is a non-systematic way of working. The aim of the project was to define and describe the software or the combination of software, the process, which is most suited when converting 3D scanned data into complete CAD format, both for tiny products and large production sites.

Initially, two reference projects, within Reverse Engineering, that had been made by Semcon were analyzed. Simultaneously, opinions from involved engineers at Semcon were collected. The analysis and gathered opinions, together with a data collection, founded a process specification.

After promising processes had been generated and had passed through strategical tests, the processes were analyzed. Finally, two processes were presented, one for products and one for production sites, who were assessed to be the processes that were most suited for Semcon's future projects within Reverse Engineering.

*Keywords:* Reverse Engineering, Point cloud, 3D scanning, Computer Aided Design, Software evaluation, Process evaluation



# Sammanfattning

Det finns idag en uppsjö av programvaror som kan hantera 3D-skannad data, i form av punktmoln eller mesh, och som kan modellera solider i CAD. Dagens programvaruutveckling sker fort, och det är därför av största vikt för ingenjörsföretag, däribland Semcon, att vara insatt i utvecklingen och att använda den programvara eller kombination av programvaror, den process, som för tillfället kan utföra Reverse Engineering så lönsamt som möjligt.

Tillvägagångssättet vid utförandet av Reverse Engineering, d.v.s. konvertering från 3D-skannad data till CAD-format, är idag inte optimalt på Semcon då processen har en oförutsedd ledtid, innebär många steg och eftersom det inte finns ett systematiskt arbetssätt. Projektets mål var att definiera och beskriva vilken programvara eller vilken kombination av programvaror, den process, som är mest lämpad vid konvertering av 3D-skannad data till fullgjort CAD-format, för både mindre produkter och större produktionsanläggningar.

Inledningsvis analyserades två av Semcon genomförda projekt i en nulägesanalys, och åsikter från berörda ingenjörer på Semcon samlades in. Nulägesanalysen och insamlade åsikter, tillsammans med en omfattande datainsamling, låg till grund för en processspecifikation.

Efter att lovande processer genererats och genomgått strategiska tester analyserades processerna. Slutligen presenterades två processer, en för produkter och en för produktionsanläggningar, vilka bedömdes vara de processer som var mest lämpade för Semcons framtida projekt inom Reverse Engineering.

*Nyckelord:* Reverse Engineering, Punktmoln, 3D-skanning, Computer Aided Design, Programvaruutvärdering, Processutvärdering

# Definitioner

CAD – Computer Aided Design

CAE – Computer Aided Engineering

CT – Computed Tomography

HTA – Hierarchical Task Analysis

PDS – Product Design Specification

RE – Reverse Engineering

RP – Rapid Prototyping

RGB – Red Green Blue

UX – User Experience

VR – Virtual Reality

Uppdragstagaren – Jakob Druve

# Innehållsförteckning

<b>1 INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund och syfte	1
1.2 Mål	2
1.3 Precisering av frågeställningen	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Beskrivning av Semcon	3
<b>2 TEORETISK REFERENSRAM</b>	<b>5</b>
2.1 Reverse Engineering av 3D-skannad data	5
2.2 3D-skanning	6
2.2.1 Laserskanning	7
2.2.2 Skanning med fotogrammetri	7
2.2.3 Skanning med strukturerat ljus	7
2.2.4 CT-skanning	8
2.2.5 Taktil skanning	8
2.3 Datahantering	8
2.3.1 Punktmoln	9
2.3.2 Mesh	9
2.3.3 Computer Aided Design	9
2.3.4 Filformat	10
2.4 Intervjuer	12
2.4.1 Strukturerad intervju	12
2.4.2 Ostrukturerad intervju	12
2.4.3 Semi-strukturerad intervju	12
2.5 Hierarchical Task Analysis	13
<b>3 METOD</b>	<b>15</b>
3.1 Projektets arbetsgång	15
3.2 Nulägesanalys	16
3.2.1 Demonstration av referensprojekt	17
3.2.2 Test och analys av programvaror i referensprojekt	19
3.3 Datainsamling	19
3.3.1 Text- och internetsökning	19
3.3.2 Kontakt	20
3.3.3 Intervjuer	20
3.4 Processspecifikation	21
3.5 Processgenerering	23
3.6 Tester på processer	23

3.6.1 Definition av produkt och lokal	23
3.6.2 Genomförande av tester	26
<b>3.6 Analys av testade processer och programvaror</b>	<b>27</b>
3.6.1 Relativ beslutsmatris	27
3.6.2 Hierarchical Task Analysis	28
<b>4 RESULTAT</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Nulägesanalys</b>	<b>29</b>
4.1.1 Referensprojekt för lokal	29
4.1.2 Referensprojekt för produkt	30
<b>4.2 Processspecifikation</b>	<b>31</b>
<b>4.3 Processgenerering</b>	<b>34</b>
4.3.1 Tebis	36
4.3.2 Spaceclaim	36
4.3.3 Geomagic Design X	36
4.3.4 AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building	37
4.3.5 EdgeWise och AutoCAD	37
<b>4.4 Tester på processer</b>	<b>37</b>
4.4.1 Tebis	39
4.4.2 Spaceclaim	42
4.4.3 Geomagic Design X	46
4.4.4 AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building	50
4.4.5 EdgeWise och AutoCAD	53
<b>4.5 Analys av testade processer</b>	<b>57</b>
4.5.1 Relativ beslutsmatris	57
4.5.2 Hierarchical Task Analysis	60
<b>5 DISKUSSION</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Datainsamling</b>	<b>62</b>
<b>5.2 Tester på processer</b>	<b>63</b>
<b>5.3 Analys av testade processer</b>	<b>65</b>
<b>6 SLUTSATS</b>	<b>66</b>
<b>6.1 Besvarade frågeställningar</b>	<b>66</b>
<b>7 REKOMMENDATIONER</b>	<b>68</b>
<b>REFERENSER</b>	<b>69</b>
<b>BILAGA A – INTERVJUUNDERLAG: INGENJÖRER PÅ SEMCON</b>	<b>73</b>
<b>BILAGA B – INTERVJUUNDERLAG: EXTERNA FÖRETAG</b>	<b>74</b>

<b>BILAGA C – INTERVJUUNDERLAG: PROGRAMVARUTILLVERKARE/-LEVERANTÖRER</b>	<b>75</b>
<b>BILAGA D – PROCESSPECIFIKATION</b>	<b>76</b>
<b>BILAGA E – HTA: REFERENS LOKAL</b>	<b>79</b>
<b>BILAGA F – HTA: REFERENS PRODUKT</b>	<b>81</b>
<b>BILAGA G – HTA: AUTOCAD, POINTSENSE PLANT, POINTSENSE BUILDING</b>	<b>82</b>
<b>BILAGA H – HTA: EDGEWISE OCH AUTOCAD</b>	<b>84</b>
<b>BILAGA I – HTA: GEOMAGIC DESIGN X</b>	<b>86</b>
<b>BILAGA J – HTA: SPACECLAIM</b>	<b>87</b>

# 1 Inledning

Under våren 2016 genomfördes det här examensarbetet på Semcon Sweden AB, på avdelningen Product Design Engineering, i Göteborg. Inledningskapitlet inriktas åt att beskriva varför det var relevant för Semcon att erhålla en utredning av processen inom Reverse Engineering(RE). Kapitlet inleder med en redogörelse för projektets elementära bakgrund och syfte, följt av mål, som projektet strävat efter att uppfylla. Därefter framställs tre frågeställningar, som projektarbetet har återkopplat till under projektets gång. Därpå presenteras projektets avgränsningar. Kapitlet avrundas med en skildring av Semcon som företag, för att ge läsaren ett porträtt av Semcon som beställare av projektet.

## 1.1 Bakgrund och syfte

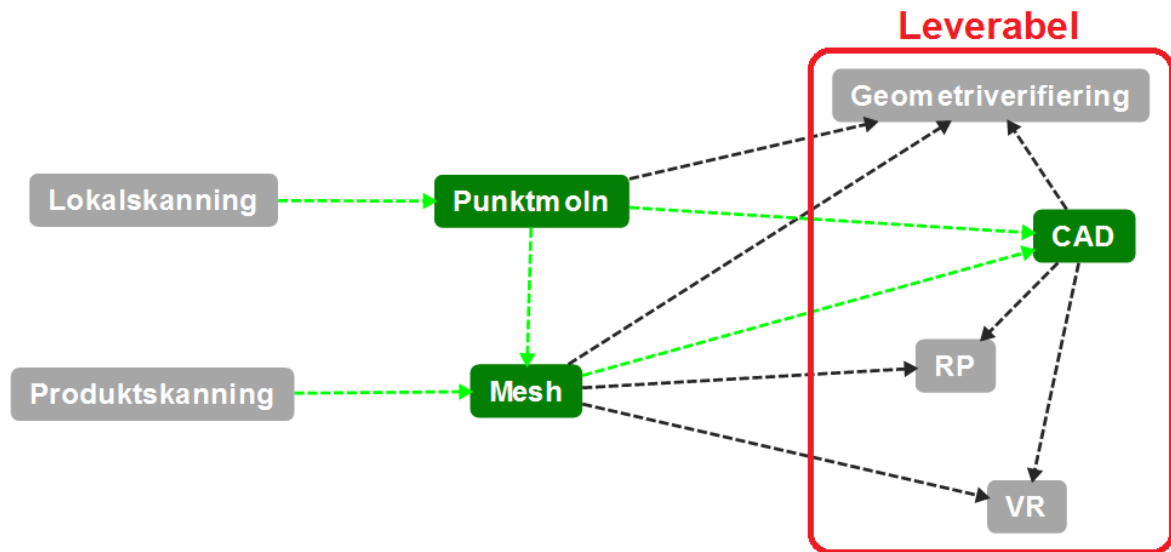
I dagsläget erbjuder Semcon en tjänst inom RE, som innebär 3D-skanning och konvertering av 3D-skannad data till fullgjort CAD-format. Tjänsten innefattar hantering av både större lokaler, med stora datamängder, och mindre produkter, som innehåller en mindre mängd data.

Tillvägagångssättet från utförd 3D-skanning till komplett CAD-format är idag inte optimalt på Semcon då processen har en oförutsedd ledtid, då processen innebär många steg, och eftersom det inte finns ett systematiskt arbetssätt. Det finns ingen utstakad och väldokumenterad arbetsgång vid bearbetning av 3D-skannad data. Därutöver ser Semcon en tendens till ökad efterfrågan från kunder som efterfrågar tjänster inom 3D-skanning. Tekniken kring 3D-skanning börjar bli "mogen" och det är viktigt för Semcon att kunna erbjuda denna tjänst, med konkurrenskraftiga priser och korta ledtider, i ett tidigt stadiet för att kunna vara konkurrenskraftiga.

Utdata från RE kan, men måste inte, ligga till grund för några av de ingenjörstjänster, tillika leverabler, som Semcon erbjuder inom Computer Aided Design(CAD), Rapid Prototyping(RP) och Virtual Reality(VR). Dessa tjänster klarar sig utan RE, men RE är ett komplement som utökar möjligheterna för dessa tjänster. Därtill erbjuder Semcon tjänster inom geometriverifiering, och då är 3D-skanning ett krav och en förutsättning för att kunna leverera denna leverabel. VR och RP är teknologier som båda är i sin utvecklingsfas och är kraftiga verktyg i produktutvecklingsprocessen(Choi och Cheung 2008). Semcon erbjuder idag en egenframtagen VR-mjukvara, VirDa, som går ut på att en person har på sig ett par VR-glasögon som projicerar en virtuell miljö, t.ex. en produktionsanläggning, där personen kan manövrera sin position med hjälp av en spelkonsol(SemconGlobal 2015). På så sätt kan personen förutsäga och påverka en produktionsanläggningens arbetsmiljö, innan anläggningen är uppbyggd. I produktutvecklingsprojekt använder Semcon RP för att snabbt kunna ta fram prototyper i produktutvecklingsprocessen.

Ett definierat tillvägagångssätt vid konvertering av punktmoln och mesher till solider i CAD möjliggör att tjänster inom RE kan erbjudas på ett ekonomiskt hållbart sätt.

Följaktligen, Semcon har ett behov av att analysera konverteringsprocessen som hanterar punktmoln, mesher och CAD, och då dessa segment samverkar.



Figur 1 Ett flödesschema över dataflödet på Semcon, från 3D-skanning till några av Semcons leverabler. De gröna rutorna och de gröna pilarna representerar de segment som analyserats.

## 1.2 Mål

Målet med projektet var att definiera och beskriva vilken process, den programvara eller vilken kombination av programvaror, som var mest optimal vid konverteringen av 3D-skannad data till fullgjort CAD-format, för både produkter och lokaler. Med fullgjort CAD-format menas en solid i CAD som uppfyller acceptabla avvikelser och tillräcklig detaljrikedom.

## 1.3 Precisering av frågeställningen

De preciserade frågeställningarna framställer vad examensarbetet ska besvara i rapporten. Tre frågeställningar definierades i projektets uppstart och dem lyder enligt följande:

- *Hur ser dagens övergripande process ut, från 3D-skannad data till CAD-format?*
- *Vilka krav och önskemål har Semcon-anställda och uppdragstagaren på processen och programvaror?*
- *Vilken programvara eller kombination av programvaror är mest optimal utifrån testade programvaror?*

## 1.4 Avgränsningar

Två avgränsningar myntades i projektets uppstartsfas för att tydliggöra vad projektarbetet inte skulle omfatta. Avgränsningarna formulerades enligt följande:

- Projektet behandlade inte själva skanningsproceduren, d.v.s. att skanningsverktyg och programvara som registrerar punktmoln har inte utvärderats.
- Projektet hade sin utgångspunkt endast i de filformat som:
  - programvarorna Faro Scene och Autodesk ReCap kunde exportera(angår endast lokal), se tabell 1 för filformat.
  - 3D-skannrarna GOM ATOS Triple Scan och DAVID-SLS-2 kunde exporterna(angår endast produkt), se tabell 2 för filformat.

Tabell 1

<b>Programvara</b>	<b>Möjliga filformat för utdata</b>
Faro Scene	.dxf .igs .vrml .xyz .pod .e57 .pts .ptx
Autodesk ReCap	.rcs .rcp .pts .e57 .pcg

Tabell 2

<b>3D-skanningsutrustning</b>	<b>Möjliga filformat för utdata</b>
GOM ATOS Triple Scan	.stl
DAVID-SLS-2	.obj .ply .stl

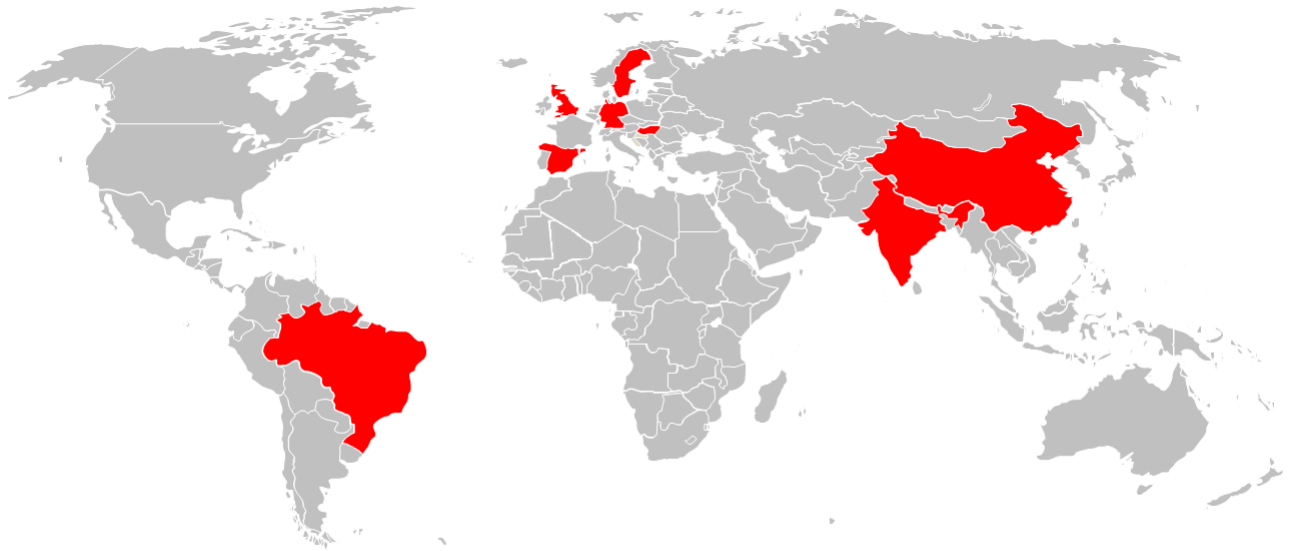
## 1.5 Beskrivning av Semcon

Semcon är ett globalt konsultföretag som bildades av Arvid Hansen år 1980 i Västerås. Företagsnamnet Semcon står för "Scandinavian Engineering and Marketing Consultants". Idag erbjuder Semcon inga direkta tjänster inom marknadsföring, utan fokuserar på ingenjörstjänster och produktinformation. Sedan företagets grundande har Semcon köpt upp flera företag och huvudkontoret ligger idag i Göteborg.

Semcons organisation står på två ben, ingenjörstjänster och produktinformation. Det ena benet, ingenjörstjänster, går ut på att Semcon deltar i projekt eller helt och hållet genomför projekt som kunder behöver hjälp med. Inom detta segment finns det ca 2500 anställda. Det andra benet, produktinformation, innebär att Semcon utformar kompletta informationslösningar för kunders produkter och system. Semcon är idag ett av de världsledande företagen inom produktinformation. Ungefär 550 anställda på Semcon arbetar med produktinformation.

I Sverige har Semcon verksamhet i 24 städer och utomlands har Semcon verksamhet i 21 andra städer. De länder som Semcon har verksamhet i är rödmarkerade i figur 2. Ungefär 1400 är anställda i Sverige, ca 1100 är anställda i Tyskland och de övriga 500 är anställda i Brasilien, Storbritannien, Indien, Ungern, Kina och Spanien.





Figur 2 Semcons verksamhet i världen(Semcon 2016)

## 2 Teoretisk referensram

I enighet med att läsaren ska få en förståelse för projektet beskriver den Teoretiska referensramen ämnesområdet och metoder som tillämpats i projektet. Inledningsvis beskrivs syftet med Reverse Engineering, följt av 3D-skanning. Därefter redogörs processen som genomgås för att kunna utföra Reverse Engineering. Till sist introduceras några av de metoder som tillämpats i projektet.

### 2.1 Reverse Engineering av 3D-skannad data

I traditionsenlig ingenjörsmetodik ritar en konstruktör en 3D-modell i CAD, som sedan bearbetas och utvärderas, innan den tillverkas till en fysisk produkt. Reverse Engineering(RE) är bakvänd traditionsenlig ingenjörsmetodik, d.v.s. att konstruktören utgår från en befintlig och fysisk produkt, som 3D-skannas. Skanningsdata läggs sedan in i en dator, då den bearbetas i ett CAD-program (Raja och J.Fernandes 2008).

RE kan utföras på produkter och lokaler, och då med olika syften. Enligt Johansson<sup>1</sup> kan anledningen till att lokaler behöver genomgå RE t.ex. vara att ritningar på lokalen, med tillhörande maskiner, saknas. Lokalens utrymme behöver dokumenteras för att kunna bedöma om det finns utrymme att installera t.ex. en ny maskin. De anledningar som finns för att tillämpa RE med 3D-skanning i lokaler och produktionsanläggningar har listats nedan:

- För att undvika manuell mätning med konventionella mätverktyg som t.ex. mätning med tumstock som är tidskrävande
- Mindre risk för felmätning än vid konventionell manuell mätning med t.ex. tumstock
- Layoutplanering och mätning i produktionssystem
- Erhålla ritningsunderlag på produktionssystem, där det sker ombyggnation och ommöblering utan att det dokumenterats i ritningar(Lindskog et al.)
- Alstrar CAD-underlag för VR(Danhof et al.)

Då ett produktutvecklingsprojekt ska vidareutveckla en redan befintlig produkt och inte har några produktritningar att utgå ifrån är RE en teknik och ett tillvägagångssätt som komprimerar ledtiden för framtagning av produkt. Om en produkts dimensioner är sökta, och den saknar ritningar, behöver produktens geometri digitaliseras och sparas i ett datorminne. Det kan göras på två sätt – mäta med enklare mätinstrument, t.ex. skjutmått, och utifrån dessa mätdata göra en CAD-modell, eller genom 3D-skanning, då 3D-skannad data bearbetas och konverteras till CAD-format. Det kan vara tillåtet att använda skjutmått, eller likasinnade instrument, om produktgeometrin är enkel och om exaktheten på mått inte är högt prioriterade. Däremot, om geometrin är komplex och om toleranserna är snäva bör 3D-skanning tillämpas. Med komplexa geometrier för produkter åsyftas friformsytor, kurvaturer och

---

<sup>1</sup> Sammy Johansson, Project Manager, Semcon, samtal den 9 februari 2016

avrundningar. Efter att den komplexa geometrin 3D-skannats behöver skanningsdata genomgå ett antal programvaror för att slutligen kunna gestaltas i CAD-format (Böllinghaus et al. 2009).

Enligt Böllinghaus et al. (2009) kan RE med 3D-skanning tillämpas för produkter i följande syften:

- Teknisk dokumentation
- Framtagning av CAD-modell utifrån handtillverkad prototyp
- Analysera och jämföra konkurrerande produkter i CAE
- Design av produkt vars form återfinns i en redan befintlig produkt
- Ändra design på produkt efter tester på prototyp
- Ändra design på befintlig produkt
- Design av en produkt som ska inpassas med en annan redan befintlig produkt
- Verktygstillverkning inom fordonsindustri
- Dokumentation av antika föremål
- Biomedicin – design av individuella implantat och proteser
- Kvalitetskontroll i och efter tillverkningsprocesser(Böllinghaus et al. 2009)

## 2.2 3D-skanning

För att ge läsaren en uppfattning om hela RE-processen beskrivs 3D-skanning och några av 3D-skanningens teknologier.

En 3D-skanner är ett verktyg som samlar in data av ett fysiskt objekt eller omgivning. Insamlad data beskriver objektets eller omgivningens form, och ibland även dess färger. Formen gestaltas av ett punktmoln eller mesh, och vad detta är förklaras under rubrik 2.3.1 respektive 2.3.2. 3D-skanningsverktygen har gjort det möjligt att undkomma manuell mätningen med skjutmått, tumstock eller liknande instrument.

3D-skanning kan utföras med olika teknologiska lösningar, bl.a. med laser, strukturerat ljus, CT(röntgen), fotogrammetri eller taktill. Den 3D-skanningsteknologi som används kan avgöra vad för produkter och lokaler som kan skannas. Vilken 3D-skanningsutrustning som tillämpas avgör också vilken kvalitet som kan erhållas på data från 3D-skanningen.

Enligt Larsson<sup>2</sup> spelar 3D-skanningsproceduren en stor roll för vilken avvikelse en genererad CAD-solid får, då CAD-soliden jämförs med det objekt som 3D-skannats. Ett rätt val av skanningsverktyg ger alltså ett litet fel, och förenklar konverteringen av punktmoln eller mesh till CAD-format. Vilken 3D-skanningsutrustning som väljs avgör dessutom hur lång tid det tar att skanna objektet. En produkt tar längre tid att skanna med taktilla verktyg, än med laser, röntgenstrålning eller fotogrammetri, men noggrannheten kan bli bättre med taktill skanning(Böllinghaus et al. 2009). Taktill

---

<sup>2</sup> Börje Larsson, Marknad och försäljning, Cascade, intervju den 11 april 2016

skanning av lokal är inte ett alternativ då det skulle ta oerhört lång tid, samtidigt som det är onödigt med så pass hög noggrannhet på mätningen.

### 2.2.1 Laserskanning

En laserskanner består av en laser, optik, en spegel och sensorer eller videokameror (Böllinghaus et al. 2009). Förenklat går skanningsprocessen till enligt följande; En laserstråle projiceras längs en yta och samtidigt registrerar sensorerna eller videokamerorna laserstrålens längd. Laserstrålens längd skiftar då laserstrålen sveper över objektets form (Laser Design 2016). Resultatet blir en tredimensionell bild av en samling punkter, d.v.s. ett punktmoln.

### 2.2.2 Skanning med fotogrammetri

Fotogrammetri går ut på att mäta avstånd till ett objekt med hjälp av en eller flera fotografier, och på så sätt få fram objektets skepnad i ett punktmoln (Luhmann et al. 2011). Enligt Luhmann et al. (2013) är fotogrammetri en skanningsmetod som etablerat sig som precist, och därmed trovärdigt (Luhmann et al. 2013), men han påstår också att kvalitén på fotografierna är av största vikt för att kunna registrera punkterna noggrant. Alltså, en kamera som fotograferar högkvalitativa fotografier genererar ett exaktare avstånd. I figur utförs 3D-skanning med fotogrammetri.

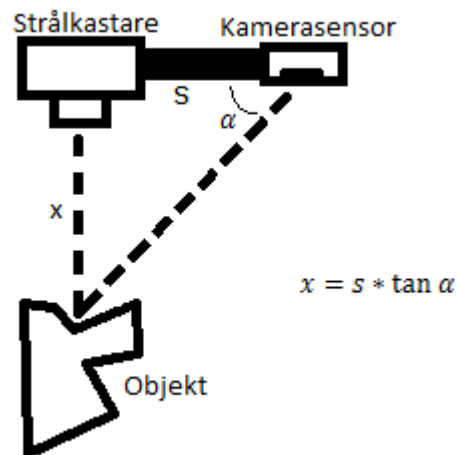


Figur 3 GOM ATOS Triple Scan 3D-skannar en bildörr (Cascade 2016)

### 2.2.3 Skanning med strukturerat ljus

3D-skanningsutrustning som grundar sig i strukturerat ljus använder ett vitt ljus tillsammans med en kamerasensor. En uppsättning består av en kamerasensor och en strålkastare monterade på ett och samma stativ. Strålkastaren avger vitt ljus samtidigt som kameran är påslagen. Kamerasensorn registrerar den vinkel som

bildas av linjen mellan kameran och strålkastaren och den linje, stråle av ljus, som infaller i kameran, se figur 4. Strålkastaren avger en ljusstråle som reflekteras på skanningsobjektet, och den reflekterande strålen är den ljusstrålen som infaller i kameran. Med denna vinkel, samt avståndet mellan strålkastaren och kameran, går det att avgöra hur långt det är mellan skannern och det skannade objektet (Böllinghaus et al. 2009).



Figur 4 Förklaring av hur avstånd mäts med 3D-skanning med strukturerat ljus

#### 2.2.4 CT-skanning

Skanningsresultatet som erhålls med Computed Tomography (CT) består av en sammansättning av flera parallella tvärsnitt, röntgenbilder, som tillsammans framställer en form på ett objekt (Böllinghaus et al.). En stor fördel med CT-skanning är att metoden kan registrera skymda former, som kan finnas inuti objekt eller på oåtkomliga ställen. På så sätt går det att ta reda på objektets invändiga form utan att ta isär den och då undvika att kanske förstöra den.

#### 2.2.5 Taktill skanning

Taktill skanning brukar utföras med en Coordinate Measuring Machine (CMM), antingen manuellt, med en s.k. manipulator, eller automatiskt, med en NC-maskin, med tillhörande mjukvara (Böllinghaus et al. 2009). Det taktilla skanningsverktyget registrerar ett objekts form genom att en sond, oftast en rund liten kula, som stöter emot objektet på ett antal punkter.

### 2.3 Datahantering

Flödet från 3D-skannad data till solid ser ungefär ut på samma sätt, oberoende på vilken programvara/eller kombination av programvara som utför processen. Rådata från 3D-skanner fås ut i punktmolnsformat, och därefter kan punktmolnet i vissa fall

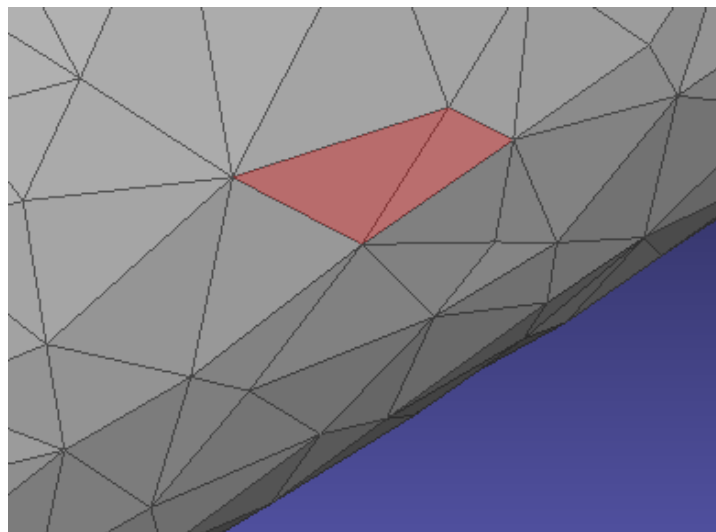
behöva binda en mesh, men inte alltid. Meshen eller punktmolnet agerar referens vid konstruktion av solider.

### 2.3.1 Punktmoln

Ett punktmoln är en samling av punkter i et koordinatsystem som erhålls vid 3D-skanning. Utdata från en 3D-skanner är en data-fil som består av en stor samling av punkter, som kallas för punktmoln. Antalet punkter som registreras av 3D-skannern beror på hur kvalitativ skanner som används och vilken noggrannhet skannern har och är inställd på. Punktmolnet behöver därefter registreras och redigeras i punktmolnsanpassade programvaror.

### 2.3.2 Mesh

En mesh består en samling av sammansatta triangulära ytor. Trianglarnas hörn är tilldelade en position, en punkt, i en tredimensionell rymd. Dessa punkter kallas för vertex och vid konvertering av punktmoln till mesh, omvandlas de 3D-skannade mätpunkterna till vertex, som sammankopplas med varandra med trianglar. Trianglarna benämns ytor och linjen mellan två ytor kallas för hörn(Tobler och Maierhofer 2006).



Figur 5 Två trianguleringar i en mesh är markerade med rött

### 2.3.3 Computer Aided Design

Computer Aided Design(CAD) är ett datorverktyg som används vid konstruktion av produkter, och som i sitt sammanhang kan generera teknisk dokumentation, i form av ritningar. CAD-verktyget är ett effektivt verktyg för att kunna presentera och kommunicera design. Enligt Um (2016) definieras CAD på följande vis:

*"CAD is defined as creation and manipulation of pictures (design prototypes) on a computer to assist engineers in design"* (Um 2016).

Det finns mängder av programvaror ämnade för CAD, vilka är framtagna av olika tillverkare. Tillverkarna formar sina CAD-program runt sina egna system och egna programkatalog, vilket innebär att programvarorna grundar sig i särpräglade datastrukturer och filformat. Men för att kunna kommunicera över dem olika CAD-programmens system finns det neutrala filformat, som kan överföra design mellan CAD-program. Programvarornas grundläggande struktur må skilja sig från program till program, men de flesta tillvägagångssätten, d.v.s. CAD-processen, i programvarorna liknar varandra. Karaktäristiskt för ett CAD-program är att 2D- och/eller 3D-former kan konstrueras och manipuleras med kommandon genom att klicka på symboler(Um 2016).

#### 2.3.4 Filformat

I konverteringsprocesser måste filer sparas i ett visst filformat för att filerna ska kunna öppnas i den mjukvara som står på tur i processen. I varje filformat tillämpas olika programspråk, bl.a. att enheter benämns annorlunda och sifferskalorna är olika. I de filformat som hanterats i detta projekt var filformatens datastruktur vanligtvis på två separata sätt, binärt eller ASCII.

Den ena kodstrukturen, ASCII, står för American Standard Code for Information Interchange och är en standardiserad datakodningsmetod. ASCII, liksom alla andra kodningssystem, är ett kodningssystem som konverterar information till standardiserad digital data. Innehållet i ASCII definieras av binära tal, d.v.s. sekvenser av 1:or och 0:or som beskriver funktioner, siffror, bokstävers eller symboler. Sekvenserna består av totalt sju binära tal, även kallad för bitar, och då 1:orna och 0:orna kan kombineras på totalt 128 olika sätt, finns det plats för sammanlagt 128 tecken. År 1981 introducerades den utökade ASCII-koden, som en reaktion på att de binära talen, bitarna, hellre består av åtta tal, d.v.s. en byte. Den nya kodstrukturen gjorde att ASCII-koden kunde innehålla dubbelt så många tecken – från 128 till 256 tecken(ASCII 2016).

Den andra kodstrukturen, binär kodning, beskrivs av 1:or och 0:or, där 1:orna står för "på" och 0:orna för "av"(Binary Code 2016). Enligt Huber (2011) är binär-formatet bättre än ASCII-formatet. Han påpekar att ASCII-baserade filer kräver en större datamängd, d.v.s. att filerna innehåller mer bytes, och att hantering av ASCII är mer tidskrävande, då ASCII-baserade filer hanteras i programvaror, jämförelsevis med filformat som baseras på binära tal(Huber 2011).

XYZ och PTS är två neutrala filformat som är ASCII-baserade. De båda filformaten bygger på samma datastruktur. Några av de filformat som ingått i RE-processen presenteras nedan. Filformatens egenskaper och uppbyggnad beskrivs.

##### *E57*

Filformatet e57 började utvecklas 2008 av en grupp volontärer inom den globala standardiseringsorganisationen ASTM International, med målet att skapa ett neutralt filformat för att lagra punktmolnsdata och bilder. Fler och fler mjukvarutillverkare ser potentialen i ett neutralt filformat som kan överföras mellan olika programvaror(Huber 2011). Datastrukturen grundar sig i binära tal.

### *FLS*

3D-skanningsföretaget Faro har introducerat ett eget filformat, fls, som deras 3D-skanningsutrustning genererar som utdata. Fls-formatet kan sedan öppnas i mjukvaran Faro Scene, där punktmolnen registreras. Filformatet fls kan lagra RGB-data och bygger på binära tal.

### *RCS och RCP*

Filformaten ReCap Scan, med ändelsen rcs, och ReCap Scan Project, som förkortas rcp, är Autodesk ReCaps egna filformat. Filformaten är baserat på binära tal. Rcs och rcp är kompatibla med flera av Autodesk's programvaror.

### *PTX*

Filformatet PTX efterliknar filformaten PTS och XYZ. PTX har tagits fram av Leica Geosystems, vilket används i deras 3D-skanningsverktyg och mjukvara. PTX är ett ASCII-baserat filformat som lagrar punktmoln(Leica Geosystems 2015).

### *STL*

Stl står för Stereolithography och idag kan de flesta CAD-program öppna och spara filer i stl-format. Stl-filer beskriver triangulära ytor i en tredimensionell rymd, d.v.s. en mesh. En stl-fil innehåller data av triangelns tre vertex(hörn) samt data om en normal till triangeln. Alltså, en triangel beskrivs med fyra koordinatpunkter, en för varje vertex och en för normalen. Åt det håll som normalen pekar mot är utsidan av triangeln, tillika meshen. Stl-formatet kan beskrivas med två olika dataformat, både binär-format och i ASCII-format(Fabbers 2016). Stl-formatet är det vanligast förekommande standardformat inom RP(Um 2016).

### *PLY*

Ply-formatet står för Polygon File Format, men är även känt som Stanford Triangle format, och har skapats för att lagra grafiska objekt. En polygon är en yta som består av tre eller flera hörn. En polygonfil kan alltså bestå av en blandning av trianglar, kvadrater, pentagoner o.s.v., där varje hörn beskrivs av en XYZ-koordinat. Ply kan beskrivas med binära tal eller med ASCII(Paul Bourke 2009).

### *OBJ*

Filformatet obj, även kallad Wavefront obj, lagrar polygoner, kurvor och friformsytor. Företaget Wavefront är upphovsman till filformatet, och deras grafiska verktyg är kända för hög kvalitet inom animering, modellering och bildredigering. För att spara filformatet i ASCII-format ska ändelsen .obj användas och i binär form genom att skriva ändelsen .MOD(FileFormat.Info 2016).

### *STEP*

STEP-filformatet är en svensk ISO-standard, SS-ISO 10303-21:2016, och är ett filformat som kan överföra CAD-data mellan olika datasystem, vanligtvis olika CAD-program(ISO 2016).STEP står för *Standard for the Exchange of Product Model* och har ändelsen .step eller .stp i slutet av en STEP-fils benämning. Bhandarkar et. Al (2000) påstår att STEP implementerades eftersom det fanns brister inom IGES, som förefaller som ett neutralt filformat (Bhandarkar et al. 2000).

### *IGES*

Filformatet IGES, Initial Graphics Exchange Specification, är ett neutralt filformat som lagrar högkvalitativ CAD-data. Syftet med filformatet är att kunna överföra CAD-data mellan olika CAD-program, som alla har sina egna filformat, som bara fungerar i



deras egna system. IGES kan överföra allt ifrån komplexa solider till enkla linjer. En nackdel med IGES är att datainnehållet blir stort, då filformatet består av många olika geometriska enheter. Filformatet skrivs med ändelsen .iges eller .igs. IGES finns i både binärform och ASCII-form (FileFormat.Info 2016).

## 2.4 Intervjuer

Det finns tre olika sorters upplägg på intervjuer som fungerar olika bra beroende på vad det är för data som behöver samlas in, om den ska vara kvalitativ eller kvantitativ. De tre intervjuuppläggen benämns som ostrukturerad-, strukturerad- och semi-strukturerad intervju (Bohgard 2011).

### 2.4.1 Strukturerad intervju

Det strukturerade intervjuupplägget påminner om en enkät, men skillnaden är att den sker verbalt. Intervjudeltagaren får svara på förutbestämda frågor som har svarsalternativ, det kallas att svaren är "stängda". En strukturerad intervju är därför lämpad att utföra på en större mängd deltagare. Således, den strukturerade intervjun är en kvantitativ datainsamlingsmetod, som går fort att sammanställa. Det är viktigt att varje deltagare får frågorna ställda med samma meningsbyggnad och i likadan ordning för att inte röja datainsamlingens trovärdighet, eftersom den ska vara strukturerad (Wilson 2014).

### 2.4.2 Ostrukturerad intervju

Ostrukturerade intervjuer är en datainsamlingsmetod som är kvalitativ då intervjudeltagaren själv får beskriva sina upplevelser utan att bli påverkad av ledande frågor och svar. Målet med detta intervjuupplägg är att det ska bli en lättisam konversation där intervjudeltagaren delar med sig av sina egna detaljrika och djupgående reflektioner, s.k. öppna svar. En ostrukturerad intervju har förutbestämda diskussionsämnen, men saknar förutbestämda frågor. Då svaren från flera ostrukturerade intervjuer blir olika tar det lång tid att sammanställa intervjuerna, och därför utförs denna sorts intervjuer på färre deltagare (Wilson 2014).

### 2.4.3 Semi-strukturerad intervju

Upplägget på en semi-strukturerad intervju består av influenser från både det ostrukturerade och strukturerade intervjuupplägget, med förutbestämda frågor och med öppna eller stängda svar. Målet med semistrukturerade intervjuer är att erhålla information med en strukturerad strategi, då intervjun utgår från ett antal diskussionsämnen och förutbestämda frågor, men för att göra informationen så informativ som möjligt tillåts intervjuaren ge följdfrågor på intressanta svar som uppkommer under intervjun (Wilson 2014).

Den semistrukturerade intervjun utgår vanligtvis från ett intervjuunderlag som innehåller följande fyra delar:

1. Introduktion där syfte med intervjun presenteras
2. En lista bestående av ämnen med tillhörande frågor
3. Följdfrågor och diskussion
4. Avslutande kommentarer

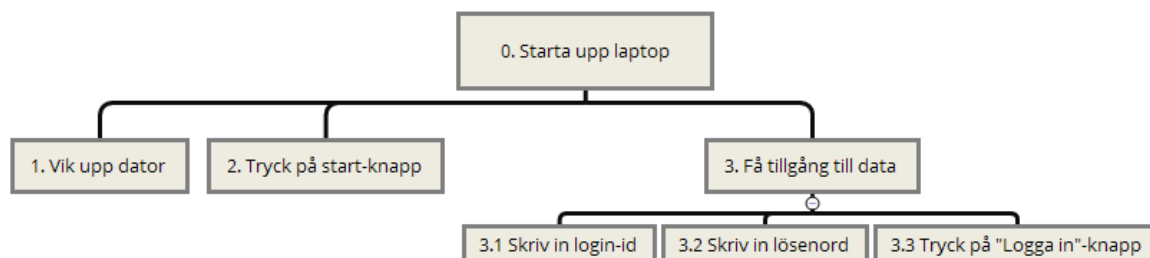
## 2.5 Hierarchical Task Analysis

Hierarchical Task Analysis (HTA) är en uppgiftsanalys som beskriver i vilken ordning olika deluppgifter ska genomföras för att uppnå en huvuduppgift eller ett visst mål (Annett och Duncan 1967). Analysen ger en överblick på uppgifter som ingår i ett system och tydliggör systemets olika funktioners inbördes relationer (Bohgard 2011).

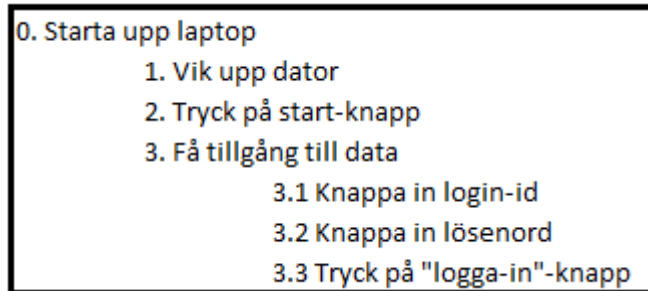
Enligt Kirwan och Ainsworth (1992) är HTA den uppgiftsanalys som är kändast. Sedan analysens uppkomst, år 1967, har HTA tillämpats för många syften och det har tillkommit olika versioner av HTA. Det finns tre huvudprinciper som följt med HTA från dess begynnelse:

1. På den högsta nivån finns det endast en uppgift, eller en operation. Operationen är kopplad till ett specifikt mål.
2. Operationen kan delas upp i deloperationer som vardera har ett eget delmål.
3. Relationerna mellan operationer och deloperationer är hierarkiska. Vanligtvis behöver uppgifterna genomföras sekventiellt, men detta är inte en förutsättning för HTA (Annett et al. 1971).

HTA kan utformas enligt en trädstruktur eller i listformat, se exempel på HTA med trädstruktur i figur 6 och HTA med listformat i figur 7, där varje uppgift tilldelas ett nummer. Således går det enkelt att koppla samman trädstrukturen med listformatet. Trädstrukturen utgår ifrån att den som avläser trädet börjar med uppgiften som är längst till vänster på nivån under huvudmålet, och vandrar sedan åt höger för att genomgå resterande uppgifter. Om en uppgift har länkats till underliggande uppgifter utförs dessa uppgifter från vänster till höger.



Figur 6 Exempel på HTA med trädstruktur för uppstart av laptop

- 
- 0. Starta upp laptop
    - 1. Vik upp dator
    - 2. Tryck på start-knapp
    - 3. Få tillgång till data
      - 3.1 Knappa in login-id
      - 3.2 Knappa in lösenord
      - 3.3 Tryck på "logga-in"-knapp

Figur 7 Exempel på HTA med listformat för uppstart av laptop

Enligt exempel i figur 6 och figur 7 är huvudmålet att "Starta upp laptop". Den första deluppgiften som ska utföras är att vika upp datorn och den andra deluppgiften är att trycka på start-knapp o.s.v.

Efter den första uppsättningen av HTA brukar trädet eller listan vanligtvis utvärderas, för att revideras till det bättre för processen. Om en uppgifts innebörd är större än de andra uppgifternas ska större vikt läggas på granskning av denne uppgift(Stanton 2006).

Anledningen till varför HTA har blivit en välanvänd analys kan förklaras med två punkter. Den första, analysen har en flexibilitet, eftersom den kan appliceras på i princip vilket system som helst. Den andra anledningen är att den kan tillämpas i många olika syften – arbetsmanualer, arbetsorganisering, felsökning, systemdesign och gränssnittsdesign(Stanton 2006).

## 3 Metod

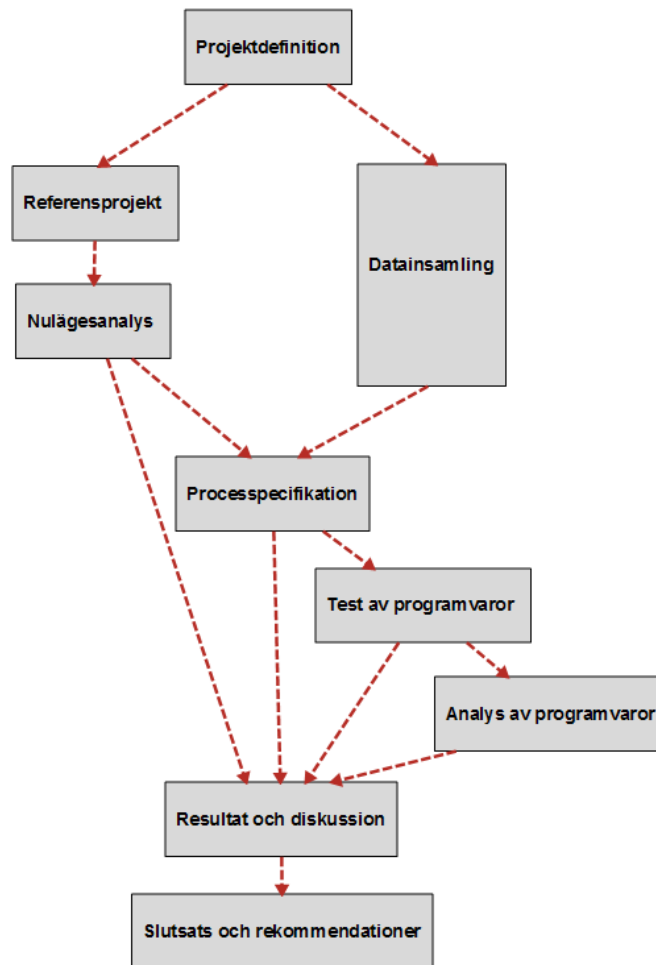
Metodkapitlet beskriver projektarbetets metodik och varför de specifika metoderna valt att användas. Kapitlet inleder med att beskriva projektgenomförandet i sin helhet, och därefter redogörs metoderna.

### 3.1 Projektets arbetsgång

Ett inledande uppstartsmöte med handledare på företaget hölls den 9 februari 2016, då uppdragstagaren tillsammans med handledare på företaget definierade Semcons problem och målet med projektet. Därefter skrev uppdragstagaren en planeringsrapport innehållande bakgrund, syfte, mål, avgränsningar, frågeställningar, förväntade metoder och tidplan. Efter diskussion med handledare på företaget och handledare på Chalmers Tekniska Högskola fastslogs planeringsrapporten. Planeringsrapporten har varit utgångspunkten för projektet och har varit en stomme under hela projektets gång.

Därefter erhöles en demonstration av två referensprojekt som genomförts på Semcon, ett för lokal och ett för produkt. Projekten presenterades och tillvägagångssättet i programvaror demonstrerades. Utifrån detta gjordes en nulägesanalys för att se var Semcon står idag i sin RE-process. Parallellt med referensprojekten och nulägesanalysen pågick en datainsamling i form av kontakt med programvarusäljare, textsökning i litteratur, internetsökning och intervjuer.

Nulägesanalysen och datainsamlingen grundlade en processspecifikation för processen, vilken beskrev processens krav och önskemål. Processspecifikationen var utgångspunkten för de tester som genomfördes på de olika processerna. Analys av processer, test av programvaror, processspecifikation och nulägesanalys utgjorde underlag för resultat och diskussion. Utifrån detta fastställdes en slutsats och rekommendationer till Semcon.



Figur 8 Flödesschema över projektets arbetsgång

### 3.2 Nulägesanalys

En nulägesanalys genomfördes på två av Semcons dittills genomförda RE-projekt av anledningen att ge uppdragstagaren en bild av hur dagens övergripande RE-process såg ut. På så sätt besvarades frågeställningen *Hur ser dagens övergripande process ut, från 3D-skannad data till CAD-format?*. Nulägesanalysen genomfördes också i syfte om att ge uppdragstagaren en uppfattning om hur mycket Semcons forskat i ämnet RE.

Nulägesanalysen behandlade två referensprojekt som genomförts på Semcon, ett för lokal och ett för produkt. De båda referensprojekten samt den 3D-skanningsutrustning som använts introducerades för uppdragstagaren. Tillvägagångssättet i de två referensprojekten demonstrerades för uppdragstagaren, som därefter på egen hand utförde respektive process, för att sedermera analysera de båda förloppen. Därtill presenterades de programvaror som använts för att registrera och filtrera stora punktmoln, vilket endast gällde RE med avseende på lokaler. Dessa programvaror var Faro Scene och Autodesk ReCap.

### 3.2.1 Demonstration av referensprojekt

Uppdragstagaren erhöll en demonstration av handledaren på företaget då handledaren beskrev och visade utförandet av processen för referensprojektet för lokal. Anteckningar fördes under demonstrationen för att dokumentera tillvägagångssättet, vilket underlättade vid efterföljande utförande av de programvaror som använts i referensprojektet. Även den 3D-skanningsutrustning och programvara, för registrering och filtrering av punktmoln, presenterades.

För referensprojektet för produkt visade det sig att projektet inte var ett fullt genomfört projekt inom RE av 3D-skannad data. Programvaran som tillämpats i projektet fick uppdragstagaren introducerad av en konstruktör på Semcon, som arbetat flera år i programvaran, men aldrig använt de kommandon som behövs för att utföra RE. Därför uteblev en komplett demonstration av referensprojektet för produkt, men en möjlig processväg presenterades. Den 3D-skanningsutrustning som tillämpats på Semcon, men inte i syfte för RE, men som ändå fungerar för RE, presenterades; GOM ATOS Triple Scan och DAVID-SLS-2. Den 3D-skanner som användes i referensprojektet för produkt var DAVID-SLS-2.

#### *DAVID-SLS-2*

David-SLS-2 använder strukturerat ljus för att alstra punkter, se kapitel 2.2.3 för teknologibeskrivning, och användes i referensprojektet för produkt. Det är ett billigt skanningsverktyg med tanke på dess prestanda – skanningsutrustning finns att köpa för mindre än 30 000 kr och kan skanna med en noggrannhet ned till 0,06 mm (Conrad 2016) (David 2016). Vid köp av DAVID-SLS-2 följer det med en programvara som behövs för att kunna hantera punkter. DAVID-SLS-2 har vissa begränsningar – Andersson<sup>3</sup> menar på att blanka och reflekterande ytor inte går att 3D-skanna med DAVID-SLS-2.



Figur 9 DAVID-SLS-2 (Semcon 2016)

<sup>3</sup> Daniel Andersson, Design Engineer, Semcon, intervju den 6 april 2016

### *Faro Focus 3D*

En Faro Focus 3D användes i referensprojektet för lokal, och är ett skanningsverktyg som tillämpar laserteknik, se kapitel 2.2.1 för beskrivning av laserteknologin. Enligt tillverkarens hemsida är noggrannheten i avståndet mellan skanner och objekt upp till  $\pm 2$  mm (Faro 2016). Tillvägagångssättet vid skanning med en Faro Focus 3D går till enligt följande:

- Skanningssond placeras i en lokal, där den har sikt till några referenspunkter
- Referenspunkter, d.v.s. vita klot, placeras ut i lokalen. Dessa får inte flyttas under skanningsproceduren.
- Därefter startas själva 3D-skanningsverktyget, sonden. Den avger en laserstråle då den roterar i 360 grader runt en axel som är normal mot marken. Laserstrålens stråle läser av en "skiva" av rummet genom att projicera strålen nedifrån och upp.
- Skanningssonden placeras ut på fler positioner i lokalen, för att på så sätt skanna in fler punkter, som var skydda i förra skanningsomgången.



Figur 10 Faro Focus 3D (Semcon 2016)

### *Faro Scene*

Faro Scene är en mjukvara som kan hantera utdata från 3D-skannern Faro Focus 3D. Mjukvaran användes i referensprojektet för lokal för att registrera de punktmoln som blivit ett resultat av de olika skanningsomgångarna. Att programvaran registrerar punktmoln innebär att punktmolnen från de olika skanningsomgångarna orienteras till rätt läge i förhållande till varandra. Alltså, flera mindre punktmoln sätts samman till ett stort sammanhängande punktmoln. För att Faro Scene ska kunna registrera punktmolnen, och veta var punktmolnen ska ligga i förhållande till varandra, måste referenspunkter användas i skanningsproceduren (Horton 2014).

### *Autodesk ReCap*

Autodesk ReCap är ett punktmolnshanteringsprogram som har ett lättförståeligt gränssnitt, som gör det enkelt för nybörjaren, liksom experten, att filtrera och radera punkter i ett punktmoln. Programvaran anpassad för att samverka med Autodesk's andra programvaror, däribland AutoCAD, Revit och NavisWorks(Davis 2014). I referensprojektet för lokal användes ReCap för att filtrera punktmolnet.

### 3.2.2 Test och analys av programvaror i referensprojekt

De programvaror som användes i de två referensprojekten testades genom att följa dem anvisningarna som erhållits under demonstrationen. Testen genomfördes för att uppdragstagaren skulle få känna på förloppet, och därför få en uppfattning om metodiken i RE.

För att få en överblickande sammanställning för hur arbetsgången såg ut beskrevs referensprojektens processer i en Hierarchical Task Analysis(HTA), läs kapitel 2.5 för beskrivning av analysmetoden. Dessutom utformades en flödeskarta över hela processen, från 3D-skanning till CAD-program, för respektive referensprojekt.

## 3.3 Datainsamling

Datainsamlingen har varit en källa som bidragit till efterföljande moment i projektet. Den har varit en av hörnstenarna i en processspecifikation och har bidragit till vilka processer som skulle testas.

### 3.3.1 Text- och internetsökning

Textsökning efter information genomfördes i Chalmers Tekniska Högskolas bibliotek, genom besök på deras bibliotek och webbsida. Sökningen gjordes i facklitteratur, handböcker, rapporter och artiklar. Då 3D-skanning och programvaror utvecklas i en snabb takt visade det sig att vissa texter var otillförlitliga källor. En del texter och dess påståenden kunde förkastas efter att ha tagit del av internetbaserad information, efter att ha varit i kontakt med programvaruleverantörer/-tillverkare och externa företag.

Internetsökning gjordes på videoklipp-sajter, 3D-skanningsforum och andra webbsidor. Det fanns även information att tillgå på olika programvarutillverkare/-leverantörers webbsidor.

I text- och internetsökningen användes uppemot 20 olika sökord, men de sökord som gav mest kvalitativ indata var Reverse Engineering, 3D scanning, point cloud, mesh och CAD. I en sökningsiteration söktes det på ett av sökorden, eller på flera sökord tillsammans. Det gav ett större utslag av kvalitativ data vid sökning på flera sökord i en och samma sökning.



### 3.3.2 Kontakt

Kontakt med programvarutillverkare/-leverantörer pågick under hela projektets gång via olika kanaler så som mail, telefon och möten. Initialt var det uppdragstagaren som kontaktade programvaruleverantörer i syfte om att få veta vad dem hade för utbud av programvaror och vad deras programvara hade för styrkor och begränsningar inom RE. Om programvara framstod som en potentiell kandidat till att uppfylla ställda krav inbokades ett fysiskt möte eller telefonmöte mellan uppdragstagare och programvarutillverkare/-leverantör. På mötet tydliggjorde uppdragstagaren vad för programvara som söktes. Därefter utförde programvarutillverkaren/-leverantören en demonstration av deras programvara, och om programvaran tycktes utföra processen på ett framgångsrikt sätt efterfrågade uppdragstagaren en testlicens för programvaran, om uppdragstagaren inte redan erhållit en testlicens på leverantörens webbsida.

Under testerna och analyserna fortgick kontakten med programvaruleverantörer för att få support i programvara, men också för att dem var intresserade av att veta hur utvärderingen av deras programvara gick.

### 3.3.3 Intervjuer

För att indata från intervjuer skulle vara representativ för RE-processen definierades intressenter, vilka var dem som sedermera intervjuades. De definierade intressenterna var personer eller företag som på något sätt hanterar RE och som kunde bidra till processspecifikationen och processgenereringen. De intressenter som definierades var:

- Ingenjörer på Semcon
- Externa företag
  - Stedings Maskinbyrå
  - Cascade
  - Xtura
- Programvarutillverkare/-leverantörer

Intervjuerna som genomfördes var semistrukturerade, eftersom det förutsågs finnas detaljerad och individuell information, samtidigt som det var nödvändigt med en tydlig grundstruktur för att underlätta utförandet av intervjun samt sammanställningen av intervjun. De flesta intervjuerna förekom på fysiska möten. Ett fåtal intervjuer genomfördes över telefon, av anledningen att det geografiska avståndet till intressent bedömdes vara för långt. Merparten av intervjuerna spelades in för att uppdragstagaren enkelt skulle kunna återblicka till vad som sagts under intervjuerna.

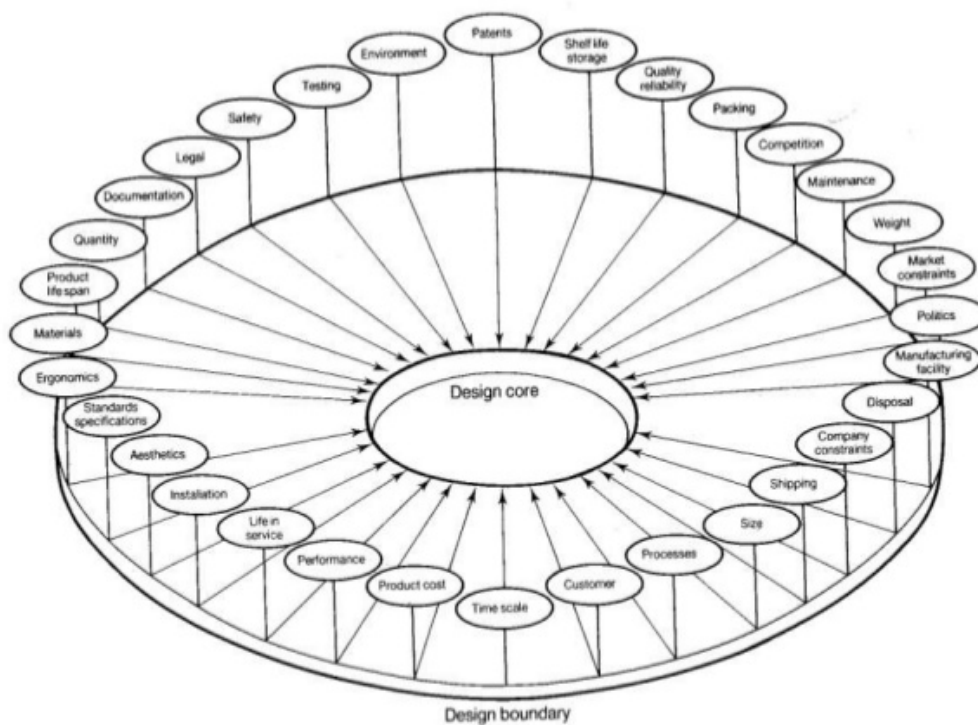
Inför intervjuerna sammanställdes tre olika intervjuunderlag enligt Wilsons(2014) mall, se bilaga A, B och C för intervjuunderlag(Wilson 2014). Vilket intervjuunderlag som användes berodde på vilken intressent som intervjuades – Semcon, externa företag eller programvarutillverkare/-leverantörer. I samband med intervjuerna med ingenjörer på Semcon ifylldes en enkät, vilken var ämnad som indata till den slutliga processspecifikationen.

### 3.4 Processpecifikation

Syftet med en processpecifikation var att definiera vilka krav och önskemål ingenjörer på Semcon och uppdragstagaren ställde på RE-processen, och således besvara frågeställningen *Vilka krav och önskemål har Semcon-anställda och uppdragstagaren på programvara/kombination av programvaror?*. Den slutliga processpecifikationen fastslogs av uppdragstagaren, men med ingenjörernas åsikter i åtanke.

Processpecifikationen är en specifikation av samma upplägg som en kravspecifikation, eller produktspecifikation, men då det är krav och önskemål som ska ställas på en process benämns specifikationen inte som kravspecifikation. Och för att inte misstolka och koppla specifikationen till RE med avseende på produkt, och inte för lokal, var benämningen produktspecifikation inte heller ett alternativ. Därför benämns specifikationen för processpecifikation.

Innan intervjuerna utformade uppdragstagaren en preliminär processpecifikation. För att kontrollera att alla tänkbara krav och önskemål fanns med i processpecifikationen gjordes en avstämning med Pughs Product Design Specification(PDS), se figur 11. PDS är ett cirkeldiagram som består av 32 st designkategorier, som i sin helhet representerar alla tänkbara kategorier, där varje kategori kan härledas till kriterier(Pugh 1990). Pughs cirkeldiagram bidrog till att fler krav och önskemål inom kategorin *support* tillkom, som uppdragstagaren inte tidigare hade tänkt på. En ytterligare avstämning av den preliminär processpecifikation genomfördes med handledare på företaget då kriterier och dess innebörd diskuterades.



Figur 11 Product Design Specification (Pugh 1990)

Varje kriterium sammanlänkades med en eller flera intressenter, om intressenten eller intressenterna berördes av just det specifika kriteriet. De kriterier som förutsågs kunna påverka en intressent var kriterier som hanterades under intervjun med den intressenten. På intervjuerna fick intressenten uttrycka sina åsikter om kriterier som berörde denne. Frågor ställdes om kriterierna med en enkät som underlag. Den preliminära processspecifikationen var grunden till ovan nämnda enkät, som ifylldes under intervjuerna med utvalda ingenjörer på Semcon. Enkäten bestod av kriterier, som Semcons ingenjörer fick uttrycka sina åsikter om – ifall kriteriet var ett krav eller önskemål, hur viktigt önskemålet var och om de kunde ange gränsvärden på vissa krav och önskemål, fick dem möjlighet till det. Dem själva kunde också lägga till kriterier ifall dem ansåg att det behövde ställas fler krav och/eller önskemål på processen. För att dem inte skulle missförstå kriteriernas innebörd ifylldes enkäten tillsammans med uppdragstagaren.

Med intervjuerna och dem ifyllda enkäterna i åtanke, tillsammans med övrig datainsamling och nulägesanalys, kunde en slutlig processspecifikation fastställas. För att få en överskådlig bild av hur ingenjörer på Semcon svarat på enkäterna sammanställdes medelvärden av de gränsvärden som dem angav då dem fyllde i enkäterna. Detta medelvärde tog sedan uppdragstagaren ställning till vid fastställande av processspecifikationen. Då processspecifikationen fastställdes tilldelades varje kriterium en verifieringsmetod.

Den preliminära processspecifikationen redigerades kraftigt efter att intervjuerna och datainsamlingen var färdig. Det fanns flera kriterier som det var svårt att sätta ett gränsvärde på, då det till vissa av kriterierna saknades tillräcklig med stoff för att besluta om ett gränsvärde. Det fanns för lite bakgrundsfakta om programvarornas prestanda, och det skulle kunna blivit ett misslyckat drag att ställa krav och önskemål som var osäkra. För höga gränsvärden hade kunnat resultera i att alla processer var otillräckliga och för låga gränsvärdet hade kunnat resultera i att alla processer var tillräckliga. Dessutom är de projekt som Semcon utför åt sina kunder individuella för varje kund – varje kund har unika förutsättningar och har därmed olika krav och önskemål. Flera av kriterierna tolkades som kundspecifika, och därför kunde inga klara gränsvärden för dessa kriterier heller fastställas. De kriterier som påverkades av för lite information och som var kundspecifika omformulerades. De nya formuleringarna utgick ifrån att de olika programvarornas prestanda skulle ställas emot varandra, istället för att ställa ett gränsvärde på vad programvarorna skulle klara av.

Kriterier som är krav måste uppfyllas av processen, medan kriterier som är önskemål inte måste uppfyllas, men det är en bonus ifall dem fullgörs. Varje önskemål viktades med en siffra, från 1 till 5, se tabell 3.

Tabell 3

1	Önskemålet är av mycket liten vikt
2	Önskemålet är av liten vikt
3	Önskemålet är av vikt
4	Önskemålet är av stor vikt
5	Önskemålet är av mycket stor vikt

### 3.5 Processgenerering

För att generera möjliga "vägar", från 3D-skannat punktmoln eller mesh till komplett CAD-solid behövde programvaror undersökas. Vissa programvaror kunde utföra hela processen, medan andra programvaror behövde kombineras med andra programvaror för att kunna utföra processen. För att en kombination av programvaror skulle fungera undersöktes vilka kopplingar dessa program hade till andra programvaror, d.v.s. om de hade någon särskild import- eller exportfunktion och vilka filformat de kunde öppna och spara.

De processer, som ingick i genereringen, bestod av programvaror som florerat under datainsamlingen. Intervjuer med anställda på Semcon och externa företag, kontakt med programvarutillverkare/-leverantörer och internet sökning resulterade i kvalitativ indata till processgenereringen. För att kunna avgöra ifall programvara eller kombination av programvaror skulle kunna vara ett framgångsrikt koncept gick genereringen igenom fyra steg. Först behövde uppdragstagaren bli medveten om att möjlighet till att utföra RE på ett effektivt sätt fanns i programvara eller i kombinationen av programvaror. Det kunde framkomma under datainsamlingen eller nulägesanalysen. Nästa steg var att få mer inblick i programvarorna och dess prestanda, och det erhöles genom att läsa på internetforum, programvarutillverkarnas/-leverantörernas hemsidor och genom att kolla på videodemonstrationer på internet. Det tredje steget var att kontakta programvarutillverkare/-leverantörer för att efterfråga en demonstration och en testlicens, förutsatt att programvaran inte redan fanns i Semcons och Chalmers Tekniska Högskolas programvarusortiment. Som sista och fjärde steg prövade uppdragstagaren programvarorna, och om det framkom att programvara eller kombination av programvaror kunde konvertera punktmoln(för lokal) eller mesher(för produkt) till solider i CAD, med framgång, räknades processen till en av de processer som skulle undersökas i systematiska tester.

### 3.6 Tester på processer

De processer som genomgått och klarat av de fyra stegen i processgenereringen behövde testas för att se hur väl och om dem uppfyllde krav och önskemål i processspecifikationen. Under testerna användes en 64-bitars Dell-dator innehållande bl.a. följande komponenter:

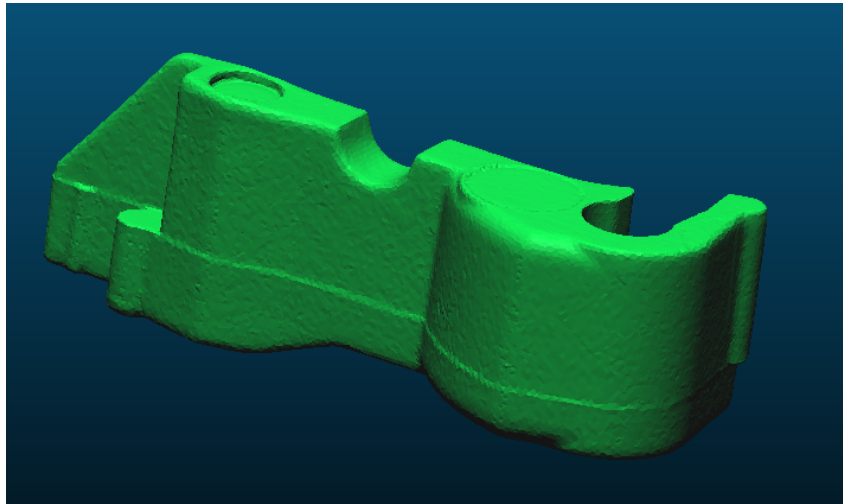
- Processor: Intel(R) Core(TM) i7-4710MQ CPU @ 2.50 GHz
- RAM-minne: 16 GB
- Grafikkort: NVIDIA Quadro K2100M

#### 3.6.1 Definition av produkt och lokal

För att genomföra tester på karakteristiska lokaler och produkter som behandlas på Semcon definierades en lokal och två produkter som objekt för att genomföra testerna på. Lokalen och de två produkterna som definierades var objekt med former som krävde flera olika kommandon för att kunna konstruera solider som efterliknade

punktmolnet eller meshen. På så sätt testades flera kommandon i programvara, för att undersöka ifall helheten var funktionell.

Två representativa produkter valdes i samråd med handledare på företaget, en organisk och en mekanisk produkt. Den mekaniska produkten var en CT-skannad plastdetalj med en längd på ca 13 mm, se figur 12. Produktens mesh består av ca 29 000 vertex och ca 57 000 ytor. Storleken på dess stl-fil var 11 MB. Den solid som ska bli ett resultat av den mekaniska produktens mesh ska ha fina parametertal, d.v.s. att konstruktionen i största möjliga mån ska måttsättas med tal som t.ex. 36 mm istället för 36,19 mm. Således underlättas konstruktionsarbete och tillverkning. Med detta konstaterat var det inte alltid önskvärt att konstruera en solid som efterliknade meshens exakta mått.



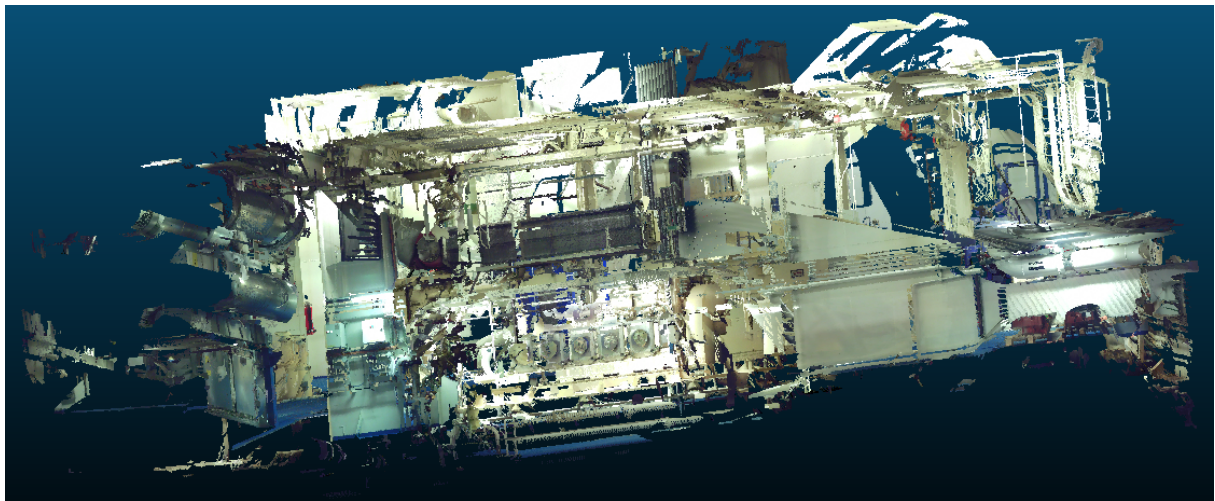
Figur 12 Den mekaniska produktens mesh

Den andra produkten, den organiska produkten, som definierades var en hand, och se figur 13. Den organiska produkten var 3D-skannad med fotogrammetri som teknologi, och har en kompakt mesh. Den innehåller ca 340 000 vertex och ca 680 000 trianglar. Handens stl-fil var av storleken 33 MB. Till skillnad från den mekaniska produktens konstruktionsarbete eftersträvades en solid som hade en form som är så lik meshens form som det var möjligt, förutsatt att meshen hade jämna och fina ytor.

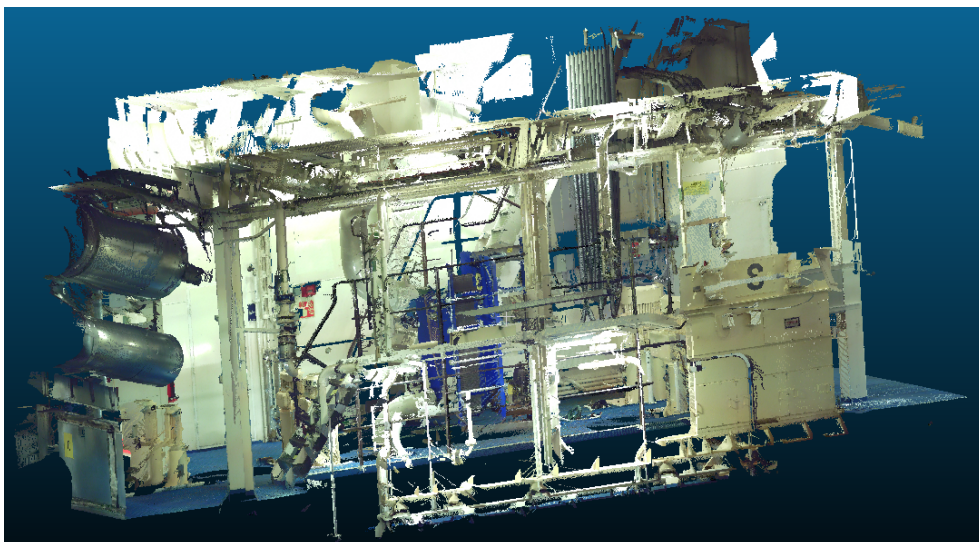


Figur 13 Den organiska produktens mesh

För lokal utfördes testerna på ett laserskannat motorrum i en bil- och passagerarfärja, som består av maskiner, väggar, rör och balkar. Data från det 3D-skannade motorrummet innehöll tre skanningsomgångar, d.v.s. punktmolnet hade skannats från tre positioner. I sin ursprungsform var punktmolnet för lokalen ca 400 m<sup>3</sup>. Filformatet för punktmolnet var e57 med en filstorlek på 1,9 GB. Punktmolnet innehöll ca 80 000 000 punkter och varje punkt hade RGB-data. Men för att kommande tester på lokal skulle vara rimliga att hinna med skalades lokalen ner i storlek i gratisprogramvaran CloudCompare. Därtill raderades även de punkter som skulle kunna leda till att stundande avvikelseanalys skulle göra obefogade utslag. Sådana punkter kunde exempelvis vara punkter i punktmolnet som inte skulle konverteras till solider. Den redigerade lokalen, tillika den lokal som det gjordes tester på, bestod av ca 46 000 000 punkter och hade en storlek på 0,85 GB i filformat e57. Punktmolnet hade en volym på ca 170 m<sup>3</sup>.



Figur 14 Oredigerat punktmoln för lokal



Figur 15 Redigerat punktmoln för lokal



### 3.6.2 Genomförande av tester

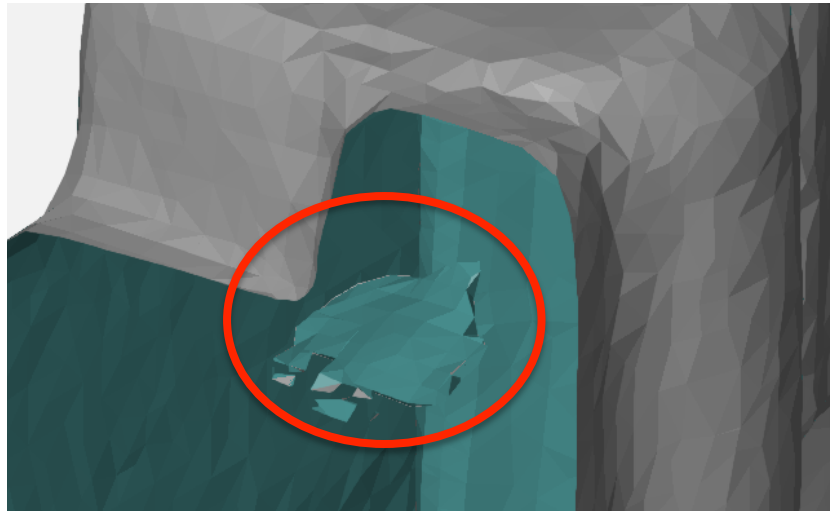
För att se hur och om processerna levde upp till de krav och önskemål i processspecifikationen omformulerades de kriterier, som direkt kunde knytas till UX, support och prestanda inom processen, till tester, som besvarades under programvisa testomgångar. Således gick det att verifiera ifall kriteriet uppfyllts av processen. Testerna finns att tillgå i resultatkapitlet.

En testomgång genomfördes genom att utföra tester på varje process, var för sig, och då notera vilka tester som processen klarade av, inte klarade av eller delvis klarade av. Strax innan genomförande av en testomgång för en process var uppdragstagaren i kontakt med programvarutillverkare/-leverantörer eller ingenjörer på Semcon för att få rådgivning om hur uppdragstagaren ska gå tillväga för att få ett så bra resultat som möjligt på testerna. Men vissa programvarutillverkare/-leverantörer hade inte möjlighet att ge tips på utförandet av processen, då dem påpekade att sådan support endast kunde fås om det fanns ett supportavtal knutet mellan programvarutillverkare/-leverantör och Semcon eller Chalmers Tekniska Högskola.

För att mäta programvarornas noggrannhet jämfördes produkternas mesher och lokalens punktmoln med de solider, som konstruerats med mesh eller punktmoln som utgångspunkt. Programvaran CloudCompare, version 2.6.2, kan analysera avvikelsen mellan punktmoln och solid, och var den programvara som valdes för att utvärdera avvikelse för lokalernas solider. För att analysera avvikelsen för produkternas solider användes programvaran GOM Inspect, version V8 SR1, som kan jämföra mesher med solider. Som toleranser angavs  $\pm 0,05$  mm, då det gav en tydlig bild över solidernas avvikelse från meshen. De flesta programvarorna som ingick i de genererade processerna har någon slags inbyggd avvikelseanalys, men för att genomföra en så objektiv analys som möjligt, valdes det att göra avvikelseanalyserna i fristående programvaror.

I GOM Inspect användes kommandot Min./Max Deviation Label för att hitta de största max- och minavvikelserna. En minavvikelse är då meshen ligger innanför soliden, och en maxavvikelse då meshen hamnat utanför soliden. För att tydligt visa avvikelsen användes en färgskala, där grönt representerade intervallet  $-0,1$  till  $+0,1$  vilket övergick till blått vid  $-0,5$  och till rött vid  $+0,5$ , se skala i figur 22.

För att kunna genomföra en korrekt avvikelseanalys var det tvunget att redigera den mekaniska produktens mesh. Vid de inledande avvikelseanalyserna i GOM Inspect var den största minavvikelse nästan  $-1$  mm. Men då markeringen för avvikelsen var placerad inuti meshen insågs det att något måste varit fel med meshen. I GOM Inspect kunde ett tvärsnitt göras i meshen och då framkom det att det fanns trianguleringar inuti meshen, som var anledningen till den stora avvikelsen. För att ta bort dessa trianguleringar användes gratisprogramvaran Meshlab, som hade flera kraftfulla verktyg som kunde radera trianguleringar.



Figur 16 En ö av mesh inuti den mekaniska produktens mesh är markerad med den röda cirkeln

Vid konstruktion av en solid av en mekanisk produkt är det upp till konstruktören att avgöra hur det är tänkt att produkten ska se ut, då det kan finnas defekter ifrån tillverkningsprocessen. I detta fall, med den mekaniska produkten, vilken är en plastdetalj, kan det vara svårt för ett otränat öga att tolka vad som är en defekt från tillverkningen, och förstå vad för former som bidrar med funktion.

För att analysera avvikelsen mellan punktmoln och solid för lokalen användes programvaran CloudCompare. För att kunna jämföra punktmolnet med solidens utformning behövde soliden sparas som mesh i en stl-fil. Efter att både punktmolnet och meshen lästs in i CloudCompare behövde punktmolnet linjeras med meshen. För att orientera punktmolnet i rätt läge i förhållande till varandra användes kommandot Align(poin pairs picking). Nästa steg var att avläsa avvikelsen mellan mesh och punktmoln genom att använda kommandot Compute cloud/mesh distance.

I avvikelseanalysen i CloudCompare ansattes att endast de punkter som var inom avståndet +30 mm till -30 mm i förhållande till soliden skulle visas. Således gick det att analysera hur väl och om soliderna inpassats inom intervallet -30 mm till +30 mm.

### 3.6 Analys av testade processer och programvaror

I kapitlet beskrivs de analysverktyg som applicerats för att förtydliga de testade processerna och som använts för att utvärdera processerna, för att slutligen komma fram till de optimala processerna. Analyserna möjliggjorde att projektet kunde besvara frågeställningen *Vilken programvara eller kombination av programvaror är mest optimal utifrån testade programvaror?*

#### 3.6.1 Relativ beslutsmatris

I en relativ beslutsmatris enligt Pugh (1990) ställs dem olika lösningsalternativen mot en referens. Både krav och önskemål ifrån specifikationen ska inkluderas i urvalsprocessen(Pugh 1990). I matrisen anges ett lösningsalternativ, i det här fallet en process, som referens. Övriga lösningsalternativ ställs mot referensen – ifall dem övervinner, är jämbördig med eller är underlägsen referensen.



Det genomfördes en matris för produkt och en matris för lokal, och vardera matris innehåller kriterier som är specifika för produkt eller lokal, då vissa kriterier endast berör den ena parten. I den relativa beslutsmatrisen för produkt har vissa kriterier delats upp i två kriterier, en för den mekaniska produkten och en för den organiska produkten. Anledningen till detta var att vissa tester endast berörde den ena av produkterna.

I den relativa beslutsmatrisen viktades kriterierna utefter den viktning som angetts i processspecifikationen. Kriterierna som var krav ansattes till vikt 10, för att förtydliga att kraven är betydligt viktigare än önskemålen.

### 3.6.2 Hierarchical Task Analysis

De processer som gick vidare från den relativa beslutsmatrisen sammanställdes var för sig i en Hierarchical Task Analysis. Analysmetoden Hierarchical Task Analysis, förkortat HTA, beskrivs i kapitel 2.5.

Med alla deluppgifter uppskrivna i sin kontext gick det att tolka omfattningen, d.v.s. vad som krävdes av användaren för att utföra huvuduppgiften, vilken var RE av 3D-skannad data till solider i CAD. HTA användes som ett riktmärke för att förstå hur ansträngande processerna är att genomföra. Om en HTA:s trädstruktur är bred kan det innebära att processen innehåller många delsteg, och om en HTA:s utformning är djupgående kan processen bestå av komplexa deluppgifter, som kan kräva speciell kunskap. De deluppgifter som ligger längst ned i trädet är de uppgifter som innehar en handling, t.ex. att klicka på en knapp. Antalet deluppgifter på den lägsta nivån i trädet anger alltså antalet handlingar.

En till anledning till varför varje process staplades upp i HTA var att dessa analyser skulle fungera som manualer vid utförandet av processerna i framtiden.

## 4 Resultat

Resultatkapitlet inleder med att beskriva RE för två referensprojekt med en nulägesanalys. Därefter presenteras en processspecifikation, följt av processgenerering och tester på processer, som har sin grund och utgångspunkt i processspecifikationen och nulägesanalysen. Till sist redovisas de analyser som gjorts på processerna.

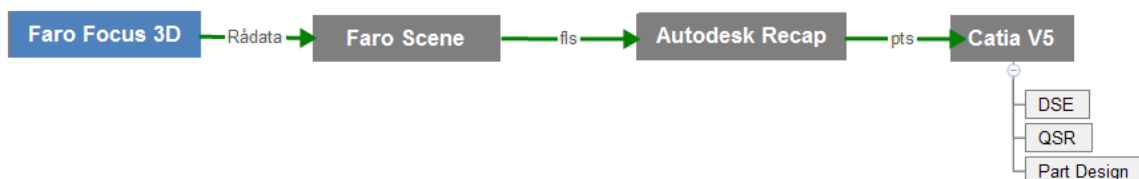
### 4.1 Nulägesanalys

De båda processerna för referensprojekten för produkt och lokal presenteras med en flödeskarta och HTA för respektive process. För att kunna sammanställa en HTA utfördes processerna.

Under demonstrationen för referensprojekten och intervjuerna med ingenjörer på Semcon framkom det att Semcon detekterat mjukvaror som kan utföra RE, och att några av programvarorna hade analyserats. De processer som redan detekteras var Catia V5, AutoCAD i kombination med Pointsense Plant, AutoCAD, Revit, Inventor, Geomagic Design X, Spaceclaim, SolidWorks och Tebis. Hur kapabla processerna var i utförandet av RE framgick bara för vissa programvaror. Det framkom att SolidWorks endast kunde hantera mindre mesher eller punktmoln, då större datamängder resulterade i långsam och därför ohanterlig navigering. Att Pointsense Plant var skicklig på att konstruera rör framgick också.

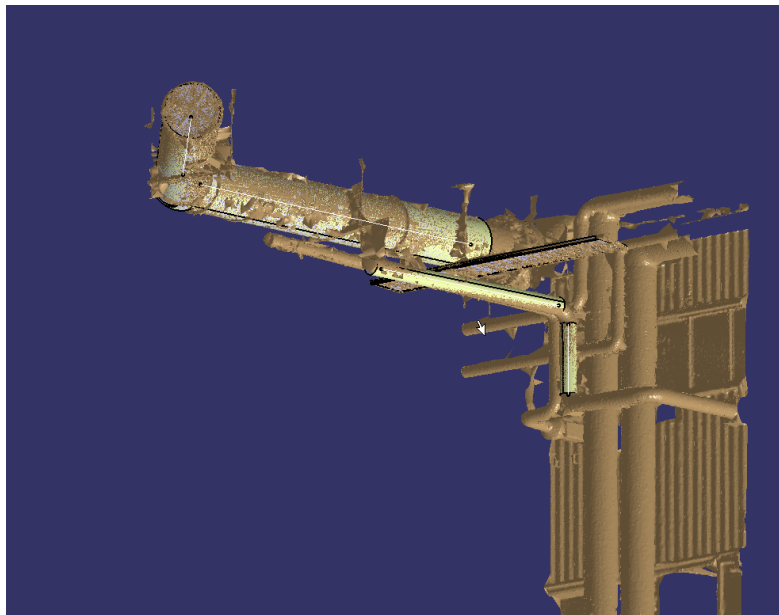
#### 4.1.1 Referensprojekt för lokal

Den övergripande processen för lokal har sin startpunkt i att laserskannern Faro Focus 3D skannar av en produktionsanläggning. Skanningsverktygets rådata överfördes därefter till mjukvaran Faro Scene, där punktmolnet registrerades. Punktmolnsdata överfördes sedan i fls-format till Autodesk ReCap, där punktmolnet filtrerades. Därefter sparades punktmolnsfilen i pts-format, vilken öppnades i Catia V5 med licensen DSE(Digitized Shape Editor). DSE gjorde det möjligt att importera pts-filer, redigera punktmoln och skapa mesher i Catia V5. Därefter aktiverades licensen QSR(Quick Surface Reconstruction), som användes för att skapa ytor på meshen. För att kunna konstruera solider aktiverades arbetsbänken för Part Design. Hela förloppet, från 3D-skanning till solid, förtydligas i en flödeskarta i figur 17.



Figur 17 Flödeskarta för referensprojekt för lokal

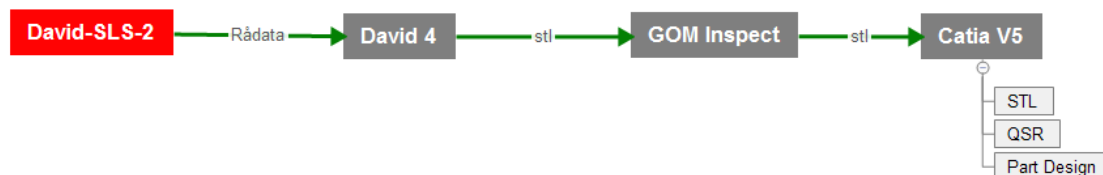
Det som var i huvudfokus i projektet, enligt avgränsningarna, var hantering av punktmolnsdata till solider, d.v.s. efter Autodesk Recap, med start i filöverföringen till Catia V5. Processen i Catia V5 har sammanställts i en HTA, se bilaga E.



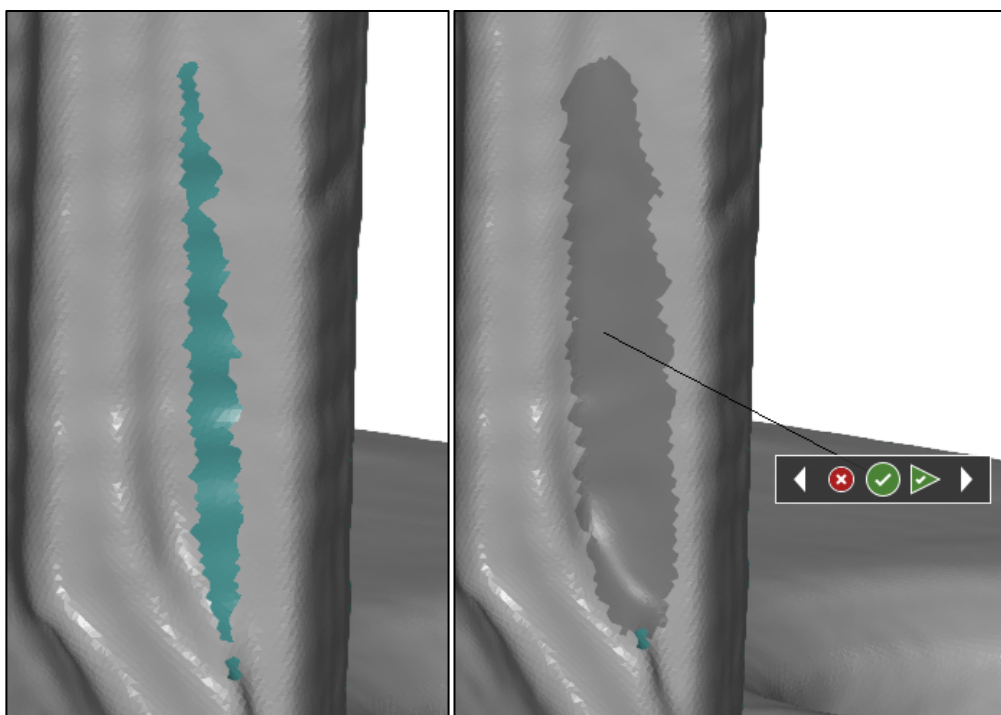
Figur 18 Ett solitt rör med en mesh som referens i Catia V5

#### 4.1.2 Referensprojekt för produkt

Hela förloppet hade sin utgångspunkt i 3D-skannern DAVID-SLS-2, vilkens rådata, bestående av mätpunkter, överfördes till mjukvaran David 4. I David 4 sparades rådata som en stl-fil. Denna stl-fil importerades sedan till GOM Inspect, där hål i meshen täpptes igen, se figur 20. Efter att meshen reparerats överfördes filen som en stl-fil till Catia V5, och för att kunna importera stl-filer till Catia V5 behövde licensen STL aktiveras. Efter att stl-filen importerats aktiverades licensen QSR för att göra det möjligt att skapa plan på meshens trianguleringar. På samma sätt som för referensprojektet för lokal kunde nu solider extruderas på ytorna. Se bilaga F för HTA.



Figur 19 Flödeskarta för referensprojekt för produkt



Figur 20 Ett hål i en mesh som lagas i GOM Inspect

## 4.2 Processpecifikation

Processpecifikationen baserades på nulägesanalysen och datainsamlingen. Intervjuerna var en del av datainsamlingen och dessa genomfördes framgångsrikt med många nya infallsvinklar och åsikter om krav och önskemål på processen. Ett axplock av tankar från intervjuerna med några av Semcons ingenjörer citeras:

Åsikt från Einarsson<sup>4</sup> om kriterium 4: *För mig är det givetvis inte ens ett önskemål. För mig som konstruktör är det klart att jag inte vill ha den minsta begränsning i vilket program jag använder.*

Holmuddens<sup>5</sup> svar på fråga angående kriterium 9 och 10: *Det ska inte vara för krångligt att lära sig programmen. Vi ska jobba med data. Programmen är bara ett verktyg.*

Mäkis<sup>6</sup> synpunkt om kriterium 13 och 14: *Semcon bör kunna leverera till alla möjliga kunder, oavsett vilket CAD-system som kunden använder.*

Processpecifikationen presenteras i tabell 4. För en mer utförlig processpecifikation, med tillhörande PDS-kategori, intressent och verifieringsmetod, se bilaga D. Nedan beskrivs kriterierna i processpecifikationen – dess bakgrund och varför det är ett krav eller önskemål.

<sup>4</sup> Björn Einarsson, Design Engineer, Semcon, intervju den 22 april

<sup>5</sup> Michael Holmudden, Design Engineer, Semcon, intervju den 12 april

<sup>6</sup> Jukka-Pekka Mäki, Dimensional Management Engineer, Semcon, intervju den 12 april

1. Projektets mål var att definiera vilken programvara/vilken kombination av programvaror som var mest optimal *vid transformationen från 3D-skannad data till komplett CAD-format, för både produkt och lokal*. Därför var detta ett uppenbart krav.
2. Till en början önskades det att sätta ett gränsvärde och ha kriteriet som ett krav. Men då vad som accepteras som godtagbar avvikelse skiljer sig från kund till kund, och därför definierades kriteriet som ett önskemål, av mycket stor vikt.
3. IS/IT Guidelines and directives är Semcons policy för datafrågor. För att använda programvaror måste policyn uppfyllas, därför var det ett självklart krav.
4. Under intervjuerna med "Semconiter" var det tydligt att Semcon vill jobba med ny teknik som ligger i framkant. Det framkom att om de programvaror som idag finns på Semcon inte håller måttet vad det gäller att utföra RE bör ny programvara köpas in. För att kunna vara konkurrenskraftiga behöver programvara vara kompetent. Det var ett givet val att sätta kriteriet på den övre delen av viktskalan.
5. För att kunna genomföra RE så framgångsrikt som möjligt för både lokal och produkt valdes kriteriet som ett önskemål. Att programvarans leverabel är av hög kvalitet är viktigare än att programvaran är universal. Således fastslogs kriteriet till ett önskemål av liten vikt.
6. För att inte arbete skulle förloras eller för att inte bli frustrerad var detta kriterium medräknat. Kriteriet gick inte att ställa som ett krav då alla programvaror kraschar, och det är omöjligt att veta om och när det kommer krascha. Detta kriterium definierades som ett önskemål av stor vikt.
7. Semcons kunder har olika tidskrav, och då detta kriterium är kundberoende valdes det att inte ställas som ett krav. Kriteriet fastslogs som ett önskemål av mycket hög vikt. Efter datainsamlingen var det fortfarande osäkert hur lång tid det kunde ta att utföra processen, då mer detaljrikedom och högre noggrannhet kan innebära ökad tidsåtgång. Därför kunde inte ett gränsvärde på maximal tidsåtgång anges i kriteriet.
8. För att kunna utföra ett effektivt arbete är det viktigt att programvarans gränssnitt är logiskt. Men då det är individuellt för vad som är logiskt, och därför svårt att verifiera kriteriet, fastslogs kriteriet som ett önskemål av vikt.
9. Det är inte säkerställt hur ofta Semcon kommer få in uppdrag inom RE, och om det skulle vara sällan, är det viktigt att processen är enkel att lära sig, för att alla konstruktörer på avdelningen ska kunna ta på sig RE-uppdrag. Kriteriet definierades som ett önskemål av stor vikt.
10. Om en konstruktör på Semcon skulle misslyckas i att utföra ett moment i RE-processen, är det önskvärt (av stor vikt) att support finns till programvara. Men det är inte ett krav då det föreföll finnas många obekanta programvaror ämnade för RE, som det inte var säkert att det fanns support till.

11. För att processen inte skulle innebära för många steg fastställdes detta kriterium som ett krav. Många steg skulle kunna innebära att processen blir svår att lära sig och att det skulle ta lång tid att utföra processen.
12. Det var ett önskemål av stor vikt att processen skulle innehålla maximalt en programvara, eftersom det minskar inlärningsprocedur, antalet steg och licenskostnader. Kriteriet kunde inte ställas som ett krav då det eventuellt skulle kunna begränsa kombinationer av programvaror som möjligtvis hade goda egenskaper i utförandet av RE.
13. För att kunna använda konverterade CAD-solider i andra programvaror måste sista programvaran i processen kunna exportera soliderna i standardformaten. Detta var ett självklart krav.
14. För att underlätta export av CAD-data till andra CAD-system är det en fördel om sista programvaran i processen, som förhoppningsvis har genererat en solid, har goda exportmöjligheter. Då detta var ett kriterium som ansågs vara svårt för processerna att uppfylla ställdes kriteriet endast som ett önskemål av vikt.
15. För att kunna öppna ett punktmoln eller en mesh var det ett måste för första programvaran i processen att kunna ta emot de standardiserade filformaten.
16. Då 3D-skannade punktmoln för lokal innehåller flera miljoner punkter är det ett önskemål av vikt att kunna hantera så stora punktmoln som möjligt i programvara som ingår i processen.
17. För att undvika slöseri med tid bör programvara ladda så lite som möjligt. Det var inte möjligt att testa alla funktioner i programvarorna, d.v.s. att det inte var rimligt att säkerställa hur omfattande programvara laddade i alla situationer. Vilka filer och vilken filstorlek som hanteras avgör också laddningstiden. Av dessa anledningar fastlades kriteriet som ett önskemål av stor vikt.

*Följande 5 kriterier har sin grund i kriterier som föreslogs av ingenjörer på Semcon.*

18. För att lösa uppkomna problem i processen kan det vara behövligt med support i programvara. Support kan vara t.ex. en sökmotor, som kan bidra med förslag på lösningar. Detta kriterium ansågs vara ett önskemål av vikt.
19. Semcon arbetar med många olika kunder, som vanligtvis önskar erhålla CAD-data i ett specifikt filformat. Semcons kunder använder olika CAD-system, och för att kunderna ska kunna ändra parametrar i CAD-data som levereras, önskar kunderna få levererat ett visst programspecifikt filformat. Kriteriet fastslogs som ett önskemål av mycket stor vikt.
20. Om ett kommando behöver avbrytas då programvaran exekverar är det önskvärt att det finns en avbrytande funktion. Detta kriterium tolkades som ett önskemål av liten vikt.
21. Kriteriet var ämnat endast för lokaler. För att på ett smidigt sätt kunna avgöra en balks eller ett rörs standardbeteckning bör programvara kunna identifiera dessa. Kriteriet definierades som ett önskemål av vikt.

22. För att få en tidsuppskattning av hur lång tid det tar att öppna, importera, spara och exportera filer och för att veta tidsåtgången för ett kommandos exekvering, är det önskvärt att programvara visualiserar hur långt programvara kommit i sin exekvering.

Tabell 4

<b>Processspecifikation</b>		
<b>Nr</b>	<b>Kriterium</b>	<b>Krav = K Önskemål = Ö</b>
1	Process ska kunna konvertera punktmoln(för lokal) och mesh(för produkt) till CAD-solid	K
2	Process ska frambringa en CAD-solid som ska addera ett så litet fel som möjligt vid utförande av test	Ö,5
3	Programvara ska följa <i>IS/IT Guidelines and directives</i> , bl.a. annat att programvara ska vara laglig att använda	K
4	Process ska ej använda programvara som Semcon för tillfället inte har licens för	Ö, 1
5	Process ska bestå av samma programvara eller kombination av programvaror för både produkt och lokal	Ö, 2
6	Programvara ska ej krascha vid utförande av test	Ö, 4
7	Tidåtgång för process ska vara så liten som möjligt vid utförande av test	Ö, 5
8	Programvara ska ha ett lättförståeligt gränssnitt	Ö, 4
9	Programvara ska vara enkel att lära sig	Ö, 4
10	Support till programvara ska finnas tillgänglig	Ö, 4
11	Process ska kräva maximalt tre programvaror, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk ReCap	K
12	Process ska kräva maximalt en programvara	Ö, 4
13	Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera produkt eller lokal i filformaten stp, igs och stl	K
14	Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera produkt eller lokal i filformaten ply, obj, CATpart(Catia), ipt(Inventor), sldprt(SolidWorks), prt(Creo), dwg(AutoCAD)	Ö,3
15	Första programvara i processen ska kunna öppna/importera filformaten e57, xyz eller pts(för lokal) och filformatet stl (för produkt)	K
16	Programvara ska kunna hantera så många punkter som möjligt vid utförande av test(för lokal)	Ö,3
17	Programvara ska ladda så lite som möjligt vid utförande av test	Ö,4
18	Support ska finnas i programvara	Ö,3
19	Få med features vid export av data, d.v.s. kunna ändra parametrar i programvara efter processen	Ö,5
20	Kunna avbryta kommando i programvara ifall exekvering av kommando tar lång tid	Ö,3
21	Programvara ska ge förslag på beteckning på balkar och rör(för lokal)	Ö,3
22	Programvara ska visa hur långt kommando kommit då kommandot exekveras	Ö,3

### 4.3 Processgenerering

Då processspecifikationens krav *Process ska kräva maximalt tre programvaror, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk ReCap* har det endast genererats processer som består av högst tre programvaror. Ur processspecifikationen går det också att utläsa att det är önskvärt att *Process ska kräva maximalt en programvara, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk ReCap.*

Totalt fem kriterier hade inverkan på processgenereringen, två av dem nämndes i stycket ovan. De övriga tre var att *Programvara ska följa IS/IT Guidelines and directives, bl.a. annat att programvara ska vara laglig att använda*, vilket var ett krav, att *Process ska ej använda programvara som Semcon för tillfället inte har licens för* och att *Process ska bestå av samma programvara eller kombination av programvaror för både produkt och lokal*, vilka båda var önskemål. Ur intervjuerna med ingenjörer på Semcon var den generella åsikten att det var önskvärt att inte behöva köpa in licenser till nya programvaror. Men det påpekades också att om det finns kompetent programvara, som reducerar tidsåtgång och höjer kvalitén, bör det investeras i den. Därför var det en självklarhet att även undersöka programvaror som inte fanns i Semcons sortiment av programvaror.

De programvaror som har behandlats under projektet presenteras nedan. Hur ingående en programvara hanterats beror på hur lovande programvaran var på att utföra RE. I kapitel 3.5 framställs det hur processgenereringen har fortlöpt i fyra steg, och steg ett var att få reda på om programvaran eller kombination av programvaror kunde utföra RE. Följande programvaror har ingått i undersökningen:

- Catia V5
- Spaceclaim
- Geomagic Design X
- Geomagic Wrap
- Tebis
- AutoCAD
- Revit
- EdgeWise
- PointSense Plant
- PointSense Building
- PointSense for Revit
- SolidWorks
- Inventor
- Creo
- Rhinoceros
- NX
- GOM Inspect
- Meshlab
- SketchUp
- PolyWorks
- VXmodel
- Alias
- ICEM Surf
- Blender
- Maya
- Zbrush



De programvaror eller kombination av programvaror, d.v.s. processer, som tolkats vara kapabla att utföra RE framgångsrikast och som därför prioriterats högst presenteras nedan. Det var också dessa processer som testerna utfördes på. Övriga programvaror exkluderades i testerna och vidare i projektet.

#### 4.3.1 Tebis

Tebis är ett tyskt bolag som specialiserat sig på CAD/CAM och tillverkningsprocesser inom avlägsnande bearbetning, gjutning och tillverkning inom flygplans- och bilindustri(Newstex 2015). Mjukvaran som Tebis tillhandahåller har enligt dem själva det modernaste användargränssnittet på marknaden, med stora möjligheter till personliga inställningar. Utöver konstruktion i CAD innehåller Tebis beredning av svarvning, borring, fräsning, gjutning och offline-programmering av robotar(Tebis 2015).

Ur intervjun med Stedings Maskinbyrå framkom det att Tebis var duktig på att lägga friformsytor på mesher, och det bekräftades på en demonstration med programvarutillverkaren.

#### 4.3.2 Spaceclaim

Spaceclaim ägs av den amerikanska programvarutillverkaren ANSYS, och på Spaceclaims hemsida skriver dem att programvaran kan användas framgångsrikt av både veteraner och nybörjare, och att fokus ligger på kreativitet och design, istället för tekniken i programvaran(Spaceclaim 2016).

I dagsläget finns det en Spaceclaim-licens på Semcon, men har aldrig använts i syfte för RE. I den senaste utgåvan av Spaceclaim har det tillkommit verktyg som stödjer utförande av RE, vilka inte har funnits i tidigare versioner. Den senaste versionen var 2016 R17.0, och det var också på denna version som testerna utfördes på. Under demonstrationen av Spaceclaim med programvaruleverantör uppfattades Spaceclaim som en intuitiv programvara med smarta lösningar. På ett enkelt sätt kunde Spaceclaim konvertera mesher till solider.

#### 4.3.3 Geomagic Design X

År 2012 köpte det amerikanska bolaget 3D Systems den sydkoreanska CAD-programvaran Rapidform XOR, och döpte om programvaran till Geomagic Design X. 3D Systems var sedan innan en ledande aktör inom RP, och Geomagic Design X gjorde att dem kunde vara med i hela kedjan inom RE, från 3D-skanning till 3D-printad produkt(Rapidform 2012). Från den genomförda internetsökningen framstod Geomagic Design X som en lättförståelig programvara med goda exportmöjligheter till andra programvaror. Det är också den programvaran som nämnts flitigast på intervjuer och som det pratats väl om på internet.

#### 4.3.4 AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building

AutoCAD ingår i Autodesk's mångsidiga programkatalog, och är ett CAD-program ämnat för ingenjörer, arkitekter och formskapare. Enligt Holmudden<sup>7</sup> har AutoCAD ett gott stöd för punktmoln. AutoCAD är ett av många CAD-program som Semcon innehar licens till. Däremot har Semcon inte licens till PointSense Plant eller PointSense Building. I ett fåtal tidigare RE-projekt på Semcon har AutoCAD tillsammans med PointSense Plant använts, men då med testlicenser, med godkännande från programvarutillverkaren. PointSense Plant och PointSense Building ägdes fram till 2015 av den tyska programvarutillverkaren Kubit, tills bolaget blev uppköpta av Faro Technologies samma år (Faro 2015).

PointSense Plant kan generera balkar och rör, och PointSense Building kan konstruera 2D-ritningar av väggar. Efter genomförd internetsökning framstod PointSense Plant som duktig på att generera rör och balkar. Genom att klicka direkt i punktmolnet utplacerades rör och balkar.

#### 4.3.5 EdgeWise och AutoCAD

EdgeWise är utvecklat av den amerikanska programvaruutvecklaren ClearEdge3D. Då projektet var i kontakt med Xtura framställdes EdgeWise som ett potentiellt lösningsalternativ. Efter kontakt med ClearEdge3D framstod programvaran som tidsparande, då den på ett automatiskt sätt kunde generera solider av punktmoln. EdgeWise är inget renodlat CAD-program – fokus ligger på att på ett enkelt sätt generera solider av punktmoln. De soliderna som skapas i EdgeWise behöver exporteras till en annan programvara där soliderna kan kompletteras och redigeras ytterligare. EdgeWise kan exportera konstruktioner till AutoCAD och Revit. AutoCAD finns idag på Semcon medan Revit inte tillämpas på Semcon. Revit är ett arkitekt- och byggkonstruktionsverktyg, och Semcon har inte slagit sig in på byggbranschen. Därför konstaterades det att tester skulle utföras på EdgeWise i kombination med AutoCAD.

### 4.4 Tester på processer

De tester som utfördes inriktades åt lokal, mekanisk produkt och organisk produkt, vilka förklaras i kapitel 3.6.1. De processer som det utfördes tester på, och på vilka objekt, presenteras i tabell 5. Vilken utgåva av programvarorna som ingick i de testade processerna presenteras också i tabellen.

Varje test har tilldelats ett nummer, vilket motsvarar det nummer som står i processspecifikationen. Vissa kriterier från processspecifikationen finns inte representerade i testerna, då dessa kriterier inte var kopplade till utförandet av processen. I processspecifikationen tilldelades varje kriterium en kategori ur Pughs PDS. De kriterier som definierades tillhöra kategorierna prestanda, ergonomi och support är de kriterier som härletts till tester. Testerna finns uppräddade i tabell 6.

---

<sup>7</sup> Michael Holmudden, Design Engineer, Semcon, intervju den 12 april

Tabell 5

Process	Version	Test		
		Lokal	Produkt	
			Mekanisk	Organisk
Spaceclaim	2016 R17.0		X	X
Geomagic Design X	2016.0.1		X	X
Tebis	2016 R17.0			X
AutoCAD	2016			
PointSense Plant	16.5.17.18537	X		
PointSense Building	16.5.17.18537			
EdgeWise	5.0.1 SP1	X		
AutoCAD	2016			

Tabell 6

Nr	Test
1	Utföra processen för att se ifall det går att få en CAD-solid av punktmoln(för lokal) eller av mesh(för produkt)
2	Kontrollera avvikelse mellan solid och punktmoln i CloudCompare(för lokal) och mellan solid och mesh i GOM Inspect(för produkt)
6	Utföra processen och notera ifall programvara kraschar
7	Tidtagning på utförande av processen
8	Uppdragstagarens subjektiva bedömning av programvaras gränssnitt på en skala 1-5(där 5 är mycket bra)
9	Uppdragstagarens subjektiva bedömning av hur enkel programvara är att lära sig på en skala 1-5(där 5 är mycket bra)
10	Kontrollera att det finns kundsupport till programvara
13	I sista programvara i process: Spara/exportera i filformaten stp, igs och stl
14	I sista programvara i process: Spara/exportera i filformaten ply, obj, CATpart(Catia), ipt(Inventor), sldprt(SolidWorks), prt(Creo), dwg(AutoCAD)
15	I första programvara i process: Öppna/importera i filformaten e57, xyz eller pts (för lokal) och filformatet stl(för produkt)
16	Programvara ska kunna hantera punktmoln på 400 000 0000 (för lokal)
17	Tidtagning då programvara laddar
18	Kolla om det finns support inbyggt i programvara
19	Testa ifall det går att exportera features, d.v.s. kunna ändra parametrar i programvara efter processen
20	Testa ifall det går att avbryta kommandon
21	Testa ifall programvara kan ge förslag på beteckning på balkar och rör(för lokal)
22	Testa ifall programvara visar hur långt kommando kommit då kommandot exekveras

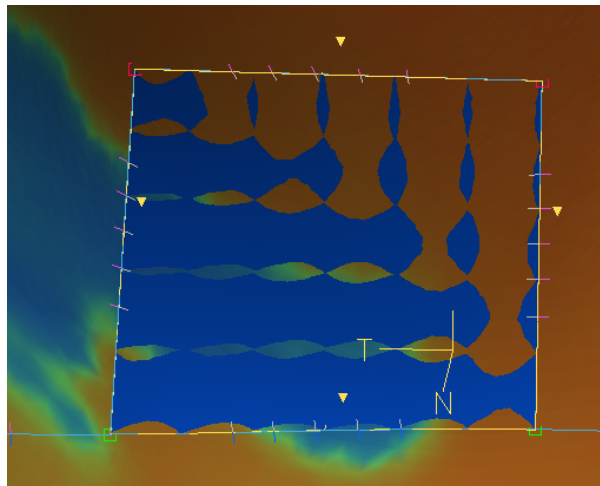
Nedan besvaras hur väl processerna har klarat av testerna. Vissa tester har delvis avklarats, vilket också beskrivs. Utförandet i processen, från 3D-skannad data till solid, redovisas också.

#### 4.4.1 Tebis

Testerna på Tebis utfördes endast på den organiska produkten. Till en början var tanken att även den mekaniska produkten skulle testas i Tebis. Men då Tebis föreföll ha ett komplext gränssnitt beslutades det att inte utföra RE på den mekaniska produkten med Tebis.

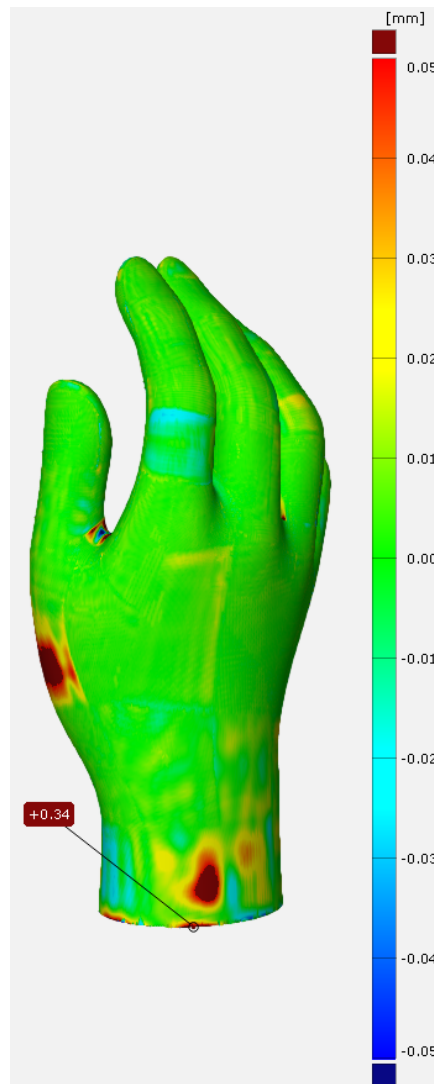
I Tebis utförs konstruktion i olika lager, där ett lager måste aktiveras för att kunna arbeta i det, och det måste lysas upp, för att kunna se innehållet i lagret. Efter att en stl-fil importerats i programvaran skapades ett nytt lager, där soliden skulle konstrueras. I det nya lagret skapades kurvor på meshen, vilket var tidskrävande. Då produkten var täckt med ett nät av kurvor användes kommandona Face och Surf för att lägga ytor i polygonerna som bildats mellan kurvorna. Se figur 21, där en Surf skapats. När ytorna inneslutit en volym kunde ytorna fyllas till solider. Det förekom öppna gap mellan många ytor, och för att täppa igen dessa användes inbyggda reparationsverktyg.

För att skapa en solid av den organiska formen i Tebis behövdes en tidsåtgång på ca fyra timmar. Det som tog upp den mesta av tiden var att placera ut kurvor på meshen.

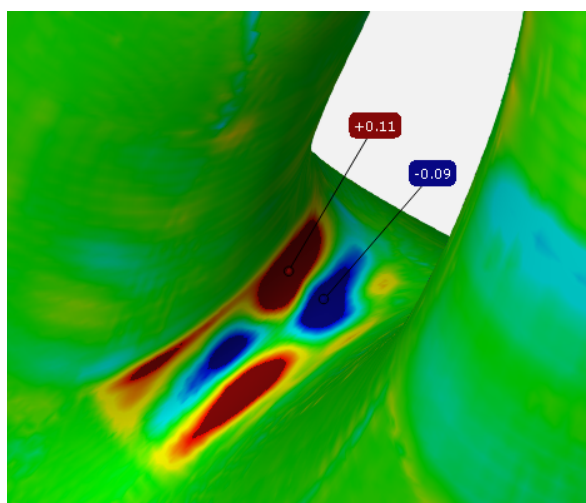


Figur 21 En yta skapas på den organiska produktens mesh i Tebis

Solidens största maxavvikels från meshen var + 0,34 mm, se figur 22. I sin helhet var det mesta av meshen innanför  $\pm 0,01$  mm. På ett område visade avvikelseanalysen ett märkligt utfall – I tumvecket måste det ha bildats en yta som inte alls placerat sig längs med meshen, se figur 23. Som mest var avvikelsern där +0,11 mm och precis intill var avvikelsern -0,9. Avvikelsen -0,9 mm var den största minavvikelsen för den organiska produkten.



Figur 22 Avvikelseanalys för den organiska produkten med Tebis. Skalan till höger är den skala som använts i alla avvikelseanalyser för produkt



Figur 23 Ojämn avvikelse på den organiska produkten i Tebis

Tebis visade sig vara ett stabilt program som inte laddade några längre stunder. Under genomförandet av testerna skedde inga programkraschar, och programvaran laddade som längst bara några få sekunder.

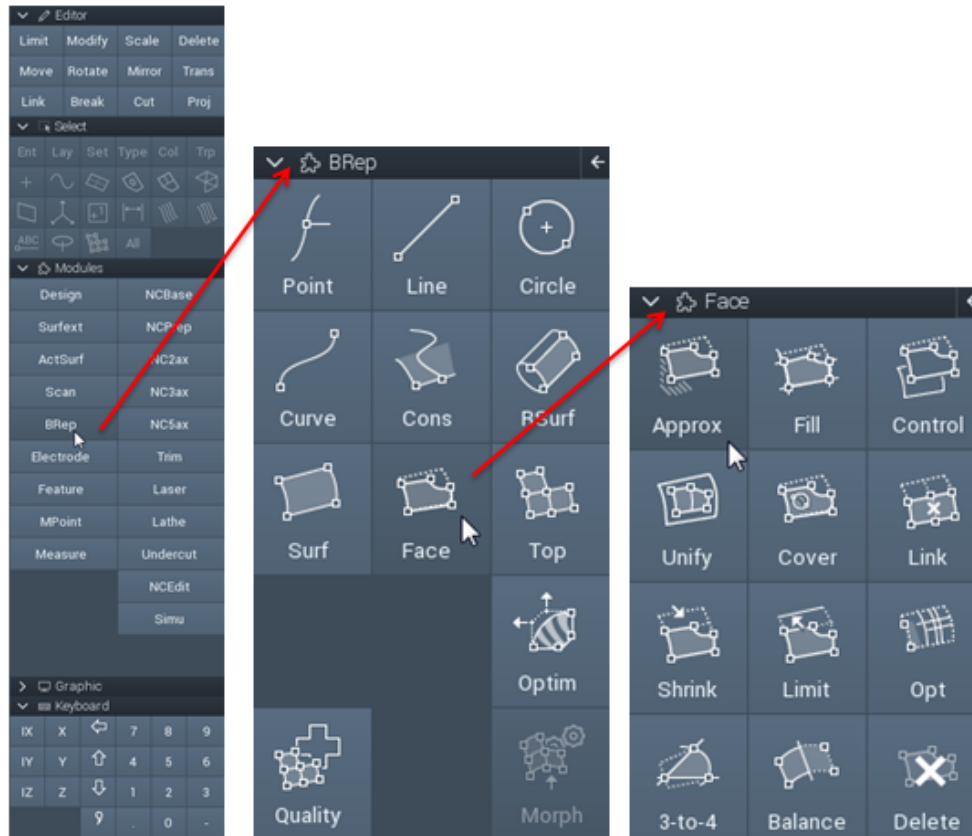
De flesta kommandona i Tebis var uppdelade i olika kategorier, och för att kunna navigera till önskat kommando var det tvunget att veta vilken kategori det efterfrågade kommandot tillhörde. Det blev ofta svårt att veta var uppdragstagaren skulle orientera sig, för att hitta rätt kommando. Därtill var det många kommandon vilkas ikoner var otydliga i att beskriva vad dem kunde utföra – det hade gärna fått finnas en utförligare beskrivning, t.ex. en förklarande text då musen hålls över en kommandoknapp.

Det upplevdes som att Tebis hade många funktioner, vilket i förlängningen kanske kan innebära stor kontroll, men det medför också en förvirring för den som inte är bekant med programvaran. Under utförandet av processen, från mesh till CAD-solid, krävdes hjälp från Tebis support flera gånger. Efter vägledning kunde tillslut en solid konstrueras.

Vid utförandet av processen upptäcktes ett störningsmoment – vid kurvkonstruktion på meshen kunde det inträffa att kurvan kopplades ihop med en kurva på meshens andra sida. Alltså, då en kurva placerades ut kunde kurvan snappas upp av en redan konstruerad kurva som låg på andra sidan meshen, fastän de kurvorna var nedsläckta. Således var det tvunget att tända upp de kurvor som var på andra sidan meshen för att inte av misstag selektera dessa kurvor. På grund av det blev det många kurvor att hålla ordning på, vilket ibland kunde leda till förvirring i kurvkonstruktionen. För att trivas med gränssnittet krävs en hel del övning för att bekanta sig med programmets logik, och därför är den subjektiva bedömningen att test nr 10 tilldelas betyg 2 och test nr 11 tilldelas också betyg 2.

Det gick inte att avbryta kommandon i programvaran. Det gick inte heller att se hur långt ett kommando kommit i sin exekvering.

Programvaran var kompatibel med att spara solider i filformaten stp, igs och stl. Den kunde även spara i filformaten catprt, sldprt och prt. Den kunde dock inte spara i filformaten ipt, dwg, ply eller obj.



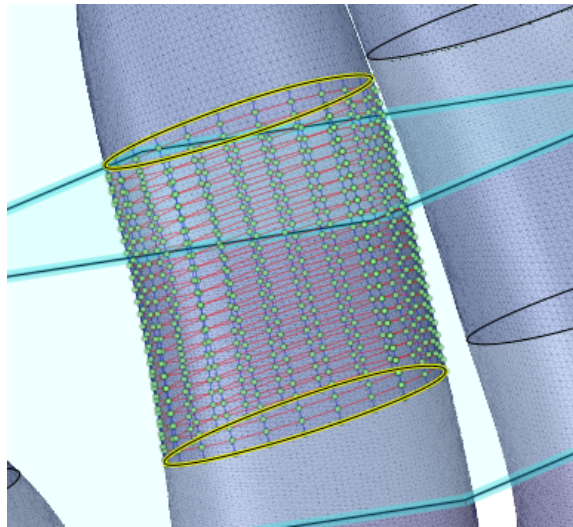
Figur 24 Illustrering av kommandon som gömmer sig bakom kategoriappar

#### 4.4.2 Spaceclaim

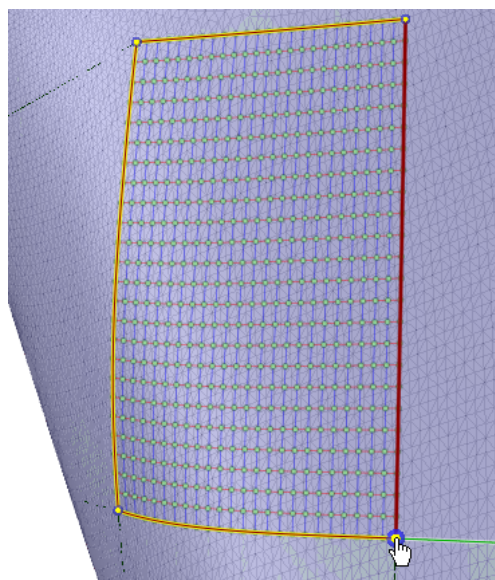
För att kunna generera solider i Spaceclaim av den organiska meshen fanns det två olika alternativ på tillvägagångssätt, att endast med några få knapptryck göra om meshen till en solid eller på ett mer manuellt vis. Den korta vägen innebar att först högerklicka på Facet mesh i strukturträdet, och därefter klicka på Convert to solid som var ett av de alternativen som kom fram i undermenyn. Denna metod var enligt programvaruleverantören oerhört noggrann, och menade på att varje individuell triangulering i meshen gjordes om till enskilda ytor, som i sin tur skapade en solid av volymen innanför ytorna. Dess stp-fil hade en storlek på 0,8 GB, och detta kunde ha en inverkan i att GOM Inspect inte kunde öppna stp-filen för att kontrollera avvikelserna.

Den mer manuella metoden gick ut på att lägga ut tvärsnitt i meshen, och placera ytor mellan snitten, med meshen som referens, se figur 25. Denna ytläggningss metod tillämpades på former som var utåtstående, t.ex. lemmar. Då lemmarna, som i det här fallet var fingrarna och handleden, täckts över av ytor behövde den centrala delen av handen bli belagd av ytor. Lemmarna bands ihop av ytor med fyra hörn, vilka konstruerades genom att klicka ut fyra linjer på meshen, och binda ihop den första utplacerade linjen med den sista. Per automatik bildades en yta i den inneslutna fyrhörningen, se figur 26. Ytorna med fyra hörn och ytorna mellan tvärsnitten kunde skapas med ett och samma kommando, Skin Surface. När hela meshen var fylld av ytor bildades en solid av den volym som inneslutits av ytorna.

Men bara om det inte fanns några öppna gap mellan ytorna. Ifall det fanns gap gick det att reparera ytmodellen med solidifieringsverktyg för att på så sätt få en solid.



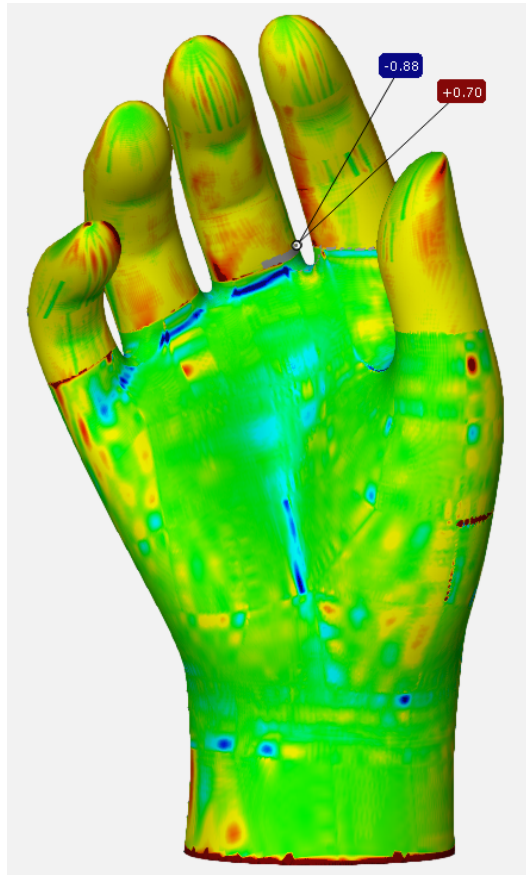
Figur 25 Ytkonstruktion mellan två tvärsnitt



Figur 26 Konstruktion av yta med fyra hörn

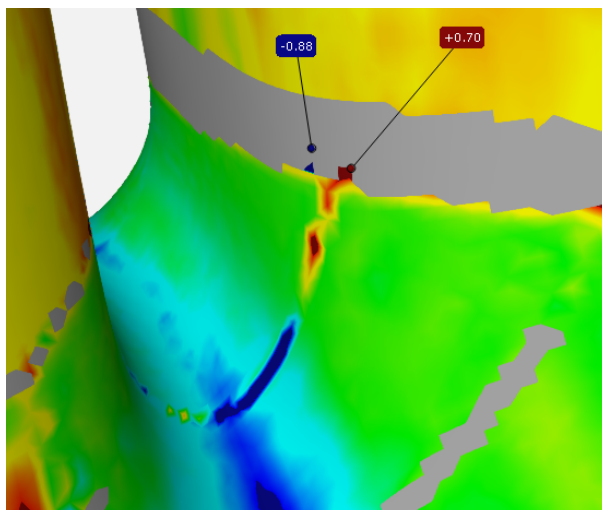
För den mekaniska produkten var det första steget att skapa plan i meshen, och således kunna använda skärningen i meshens som stödlinjer vid framtagning av en sketch. Då ritningen gjordes kunde sketchverktygen snappas till stödlinjerna. När sketchen var sammankopplad, d.v.s. när linjerna var slutna, bildades en yta av sketchen automatiskt, men bara om det inte fanns håligheter i sketchen. För att upptäcka och täppa igen sketchens luckor kunde användarvänliga reparationskommandon användas. Den färdigställda ytan kunde sedan extruderas till önskad längd. För mer ingående beskrivning av utförandet av processen för både organisk och mekanisk produkt, se HTA i bilaga J.



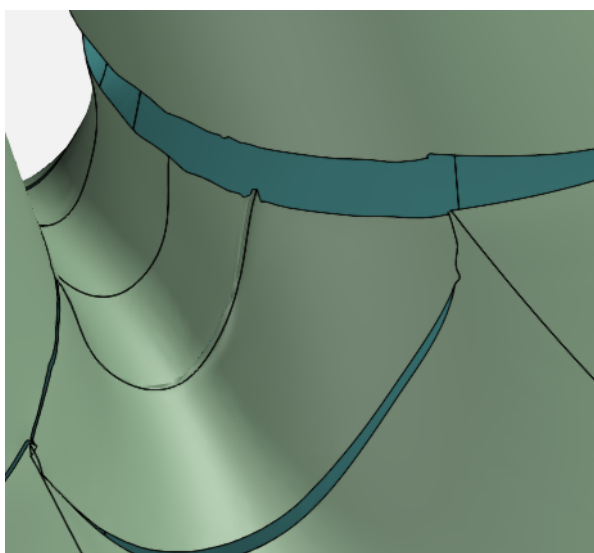


Figur 27 Avvikelseanalys för den organiska produkten med Spaceclaim

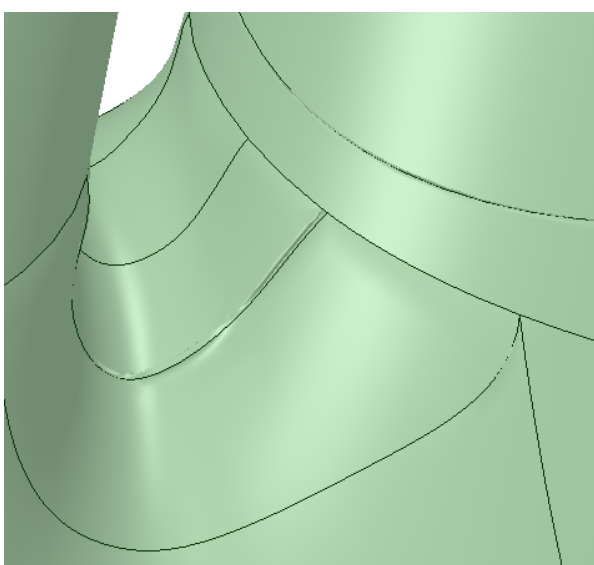
Avvikelsen för den organiska produkten var som mest  $-0,88$  mm och  $+0,70$  mm, på två punkter precis bredvid varandra. Det visade sig att det skapades stora håligheter mellan några ytor då Spaceclaim sparade den organiska formen som en stp-fil. Att soliden konverterades till illa sammanhängande ytor var troligtvis anledningen till att avvikelsen var av sådan omfattning i just detta område, se figur 28, 29 och 30. I avvikelseanalysen gick det också att utläsa en tydlig linje i övergången från finger till handflata, se figur 27. Avvikelsen är större på fingrarnas solider, vilka är framtagna med ytor som lagts mellan tvärsnitt.



Figur 28 Den största avvikelser för den organiska produkten i avvikelseanalysverktyget GOM Inspect

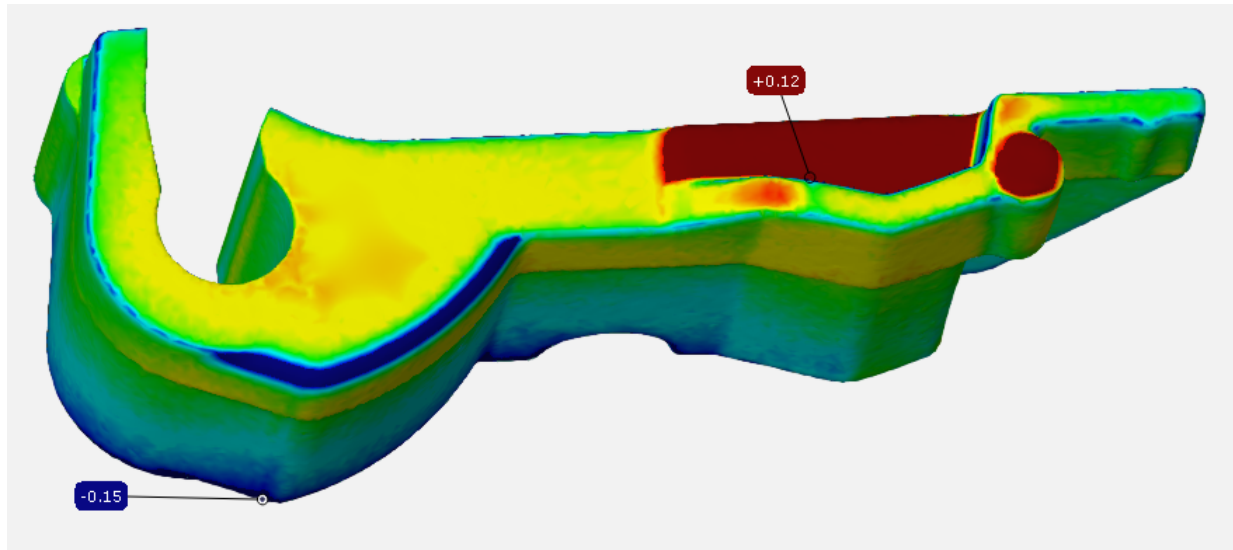


Figur 29 Den organiska produkten som stp-fil i avvikelseanalysverktyget GOM Inspect



Figur 30 Den organiska produkten som scdoc-fil i Spaceclaim

I figur 31 presenteras den mekaniska produktens avvikelse för Spaceclaim. Den största maxavvikelsen var +0,12 mm och den största minavvikelsen var -0,15. Maxavvikelsen fanns på ett upphöjt plan, se rött parit i figur, och minavvikelsen befann sig i en avrundad kant, se blått område i figuren.



Figur 31 Avvikelseanalys för mekanisk produkt i Spaceclaim

Den totala tidsåtgången för att skapa den manuella organiska formen var ungefär 2 timmar och det tog ungefär 1 timme att konvertera den mekaniska formen. Att konvertera den organiska formen på det enklare och snabbare sättet, med kommandot Convert to solid, tog bara några få minuter.

Det moment i utförandet som tog längst tid var då den organiska formens mesh skulle konverteras till en solid med kommandot Convert to solid. Det tog ca en minut för programvaran att konvertera formatet.

Programvarans gränssnitt var härledande och enkelt att förstå. Upplägg på menyer och kommandon liknade konventionella CAD-program. Det gick dessutom ganska lätt att lära sig programvaran. Test 10 och 11 tilldelades således betyg 4. Det fanns en stoppfunktion som gjorde att det gick att avbryta kommandon och hur långt kommandot kommit i sin exekvering visualiserades i programvaran.

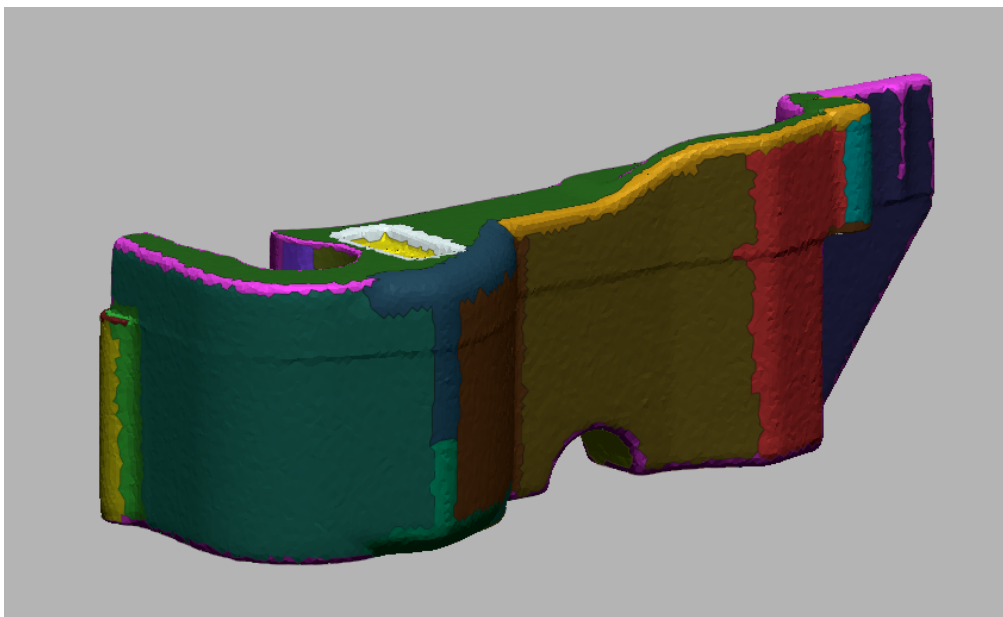
Under testförloppet inträffade aldrig något programvaruhaveri.

Spaceclaim kunde spara i filformaten stp, igs och stl, vilket var ett krav. Programvaran kunde spara i filformaten obj, CATpart och dwg, men kunde inte spara i filformaten i ply, ipt, sldprt eller prt. Test 14 uppfylldes därför bara delvis.

#### 4.4.3 Geomagic Design X

För att skapa en solid av handen, den organiska produkten, i Geomagic Design X krävdes endast några få knapptryck. Det fanns ett kommando, Auto Surface, som konverterade meshen till en solid på ca 5 minuter, se HTA i bilaga I för hela förloppet.

Arbetsgången för den mekaniska produkten började med att först segmentera en importerad meshen i stl-format. Att segmentera meshen innebar att dela upp meshen i olika symmetriska former, se figur 32. Det andra steget var att skapa en s.k. Mesh sketch på ett segmenterat platt plan. Sketchen skapades i ett önskat tvärsnitt i meshen. Då sketchplanet skapats selekterades linjer som frambringats av tvärsnittet i meshen. De selekterade linjerna överfördes då till sketchen, se figur 33. När sketchen såg ut att vara sammansluten aktiverades ett inbyggt avvikelseprogram, Accuracy Analyzer(TM), som detekterade håligheter i sketchen. De upptäckta luckorna behövde sedan sammanfogas med sketch-verktyg. Utifrån dessa sketcher gick det sedan att extrudera solider till önskad längd. Se bilaga I för fullständigt tillvägagångssätt i en HTA.

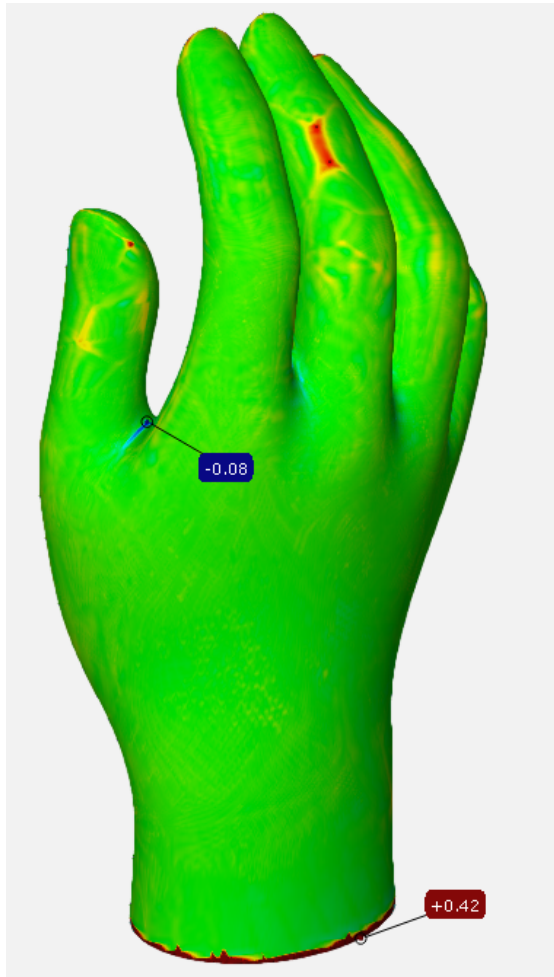


Figur 32 Segmenterad mesh i Geomagic Design X

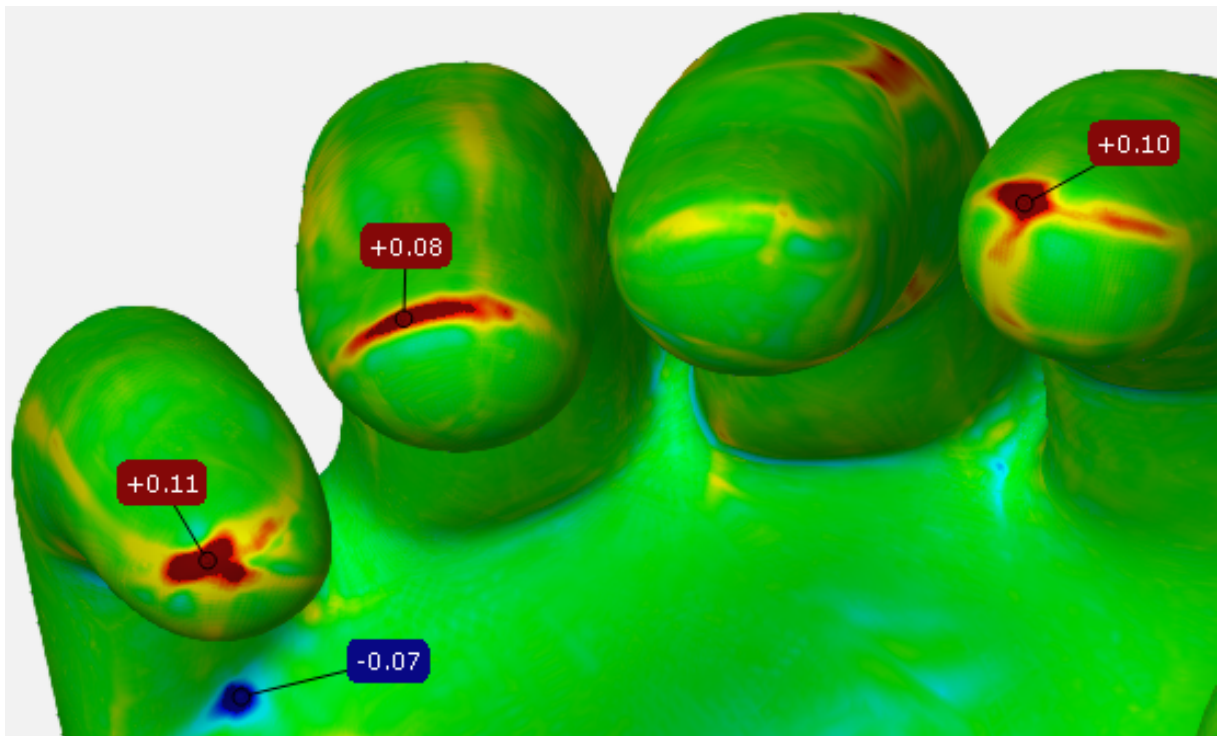


Figur 33 Selektion av en mesh-linje för att skapa en sketch-linje

Soliden för den organiska produkten hade största maxavvikelse på +0,42 mm vid handledens kant och hade största minavvikelse på -0,08 mm, i vecket mellan tummen och pekfinger, se figur 34. Det förekom också sämre noggrannhet på fingertopparna, samt ett veck i övergången mellan lillfinger och handflata, se figur 35. I övrigt visade soliden liten avvikelse.

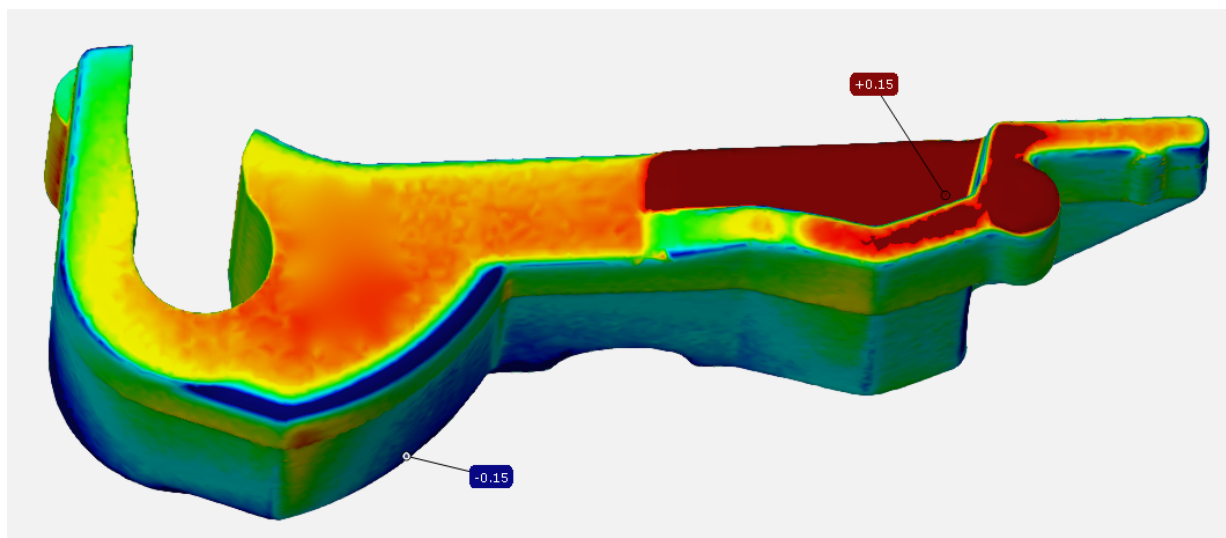


Figur 34 Avvikelseanalys för den organiska produkten för Geomagic Design X



Figur 35 Avvikelseanalys på fingrarna för Geomagic Design X

I figur 36 gestaltas avvikelsen för den mekaniska produkten. Avvikelsen för den mekaniska produkten hade kunnat vara mindre, om mer tid hade lagts på att rätta till detaljer, så som avrundningar och mindre upphöjningar. Som mest var avvikelsen +0,15 mm och -0,15 mm.



Figur 36 Avvikelseanalys för den mekaniska produkten för Geomagic Design X

Programvaran kraschade en gång under testförloppet. Det inträffade då den mekaniska produkten skulle lysas upp som segmenterad. Sedan tidigare hade meshen segmenterats. Segmenten hade släckts ned och en grå mesh visualiserades istället. Då segmenteringen skulle lysas upp igen inträffade programvaruhaveriet.

För att konvertera den organiska formen med kommandot Auto Surface till en solid tog det strax över 5 minuter. Det mer manuella arbetet som krävdes för att framställa en solid av den mekaniska meshen tog ca 1 timme.

Gränssnittet i Geomagic Design X var likt ett traditionellt CAD-program, och på ett pedagogiskt vis beskrev programvaran vad som krävdes för att utföra ett visst kommando. Uppdragstagaren upplevde och att programvaran var enkel att lära sig. Test nr 10 och 11 tilldelades betyg 4.

Det fanns möjlighet att avbryta kommandon då kommandon exekverades. Men programvaran visade inte hur långt ett kommando kommit under sin exekvering.

Geomagic Design X kunde spara i filformaten stp, igs och stl. Därtill kunde programvaran spara i filformaten ply, obj och CATpart. De övriga filformaten, ipt, sldprt, prt och dwg, som ingick i test nr 14 kunde ej sparas i Geomagic Design X. Men, det gick att med programvarans inbyggda exportverktyg överföra solider i Geomagic Design X till respektive filformats programvara. Det gick alltså att överföra data till Inventor, SolidWorks, Creo och AutoCAD.



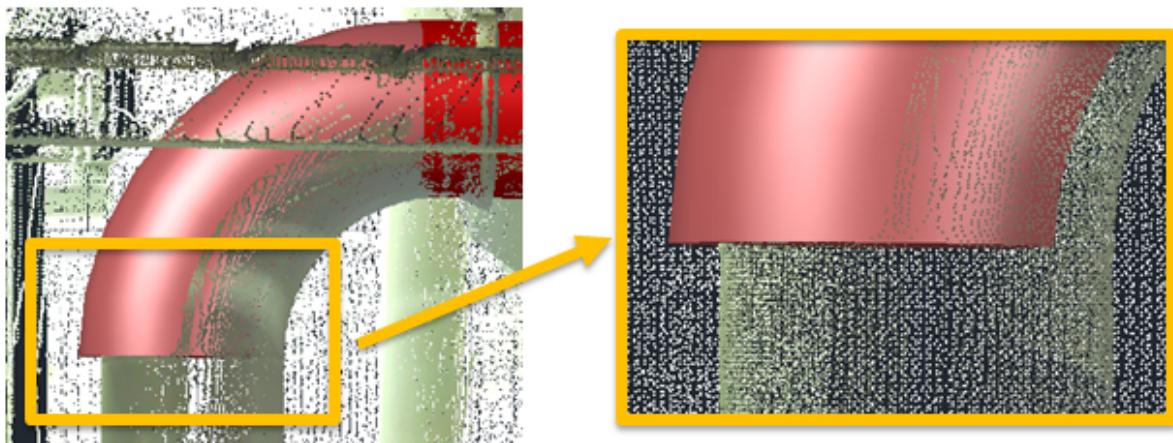
Ingen laddning ansågs vara långsam, förutom då den organiska produktens mesh konverterades till solid, som tog ett par minuter, men då ska det finnas i åtanke att den totala tidsåtgången för den processen endast var lite mer än 5 minuter.

#### 4.4.4 AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building

PointSense Plant och PointSense Building är två plug-ins till AutoCAD. PointSense utökar möjligheten att importera andra filformat än bara rcs och rcp, som är Autodesk's egna filformat för punktmoln. Vid initiala övningar i processen kunde programvaran importera e57-format, men av någon anledning slutade den funktionen fungera. För att komma runt detta gick det att importera e57-formatet i programvaran ReCap och därifrån spara punktmolnen i filformatet rcs. PointSense gjorde det också möjligt att importera ASCII-baserad punktmolnsdata.

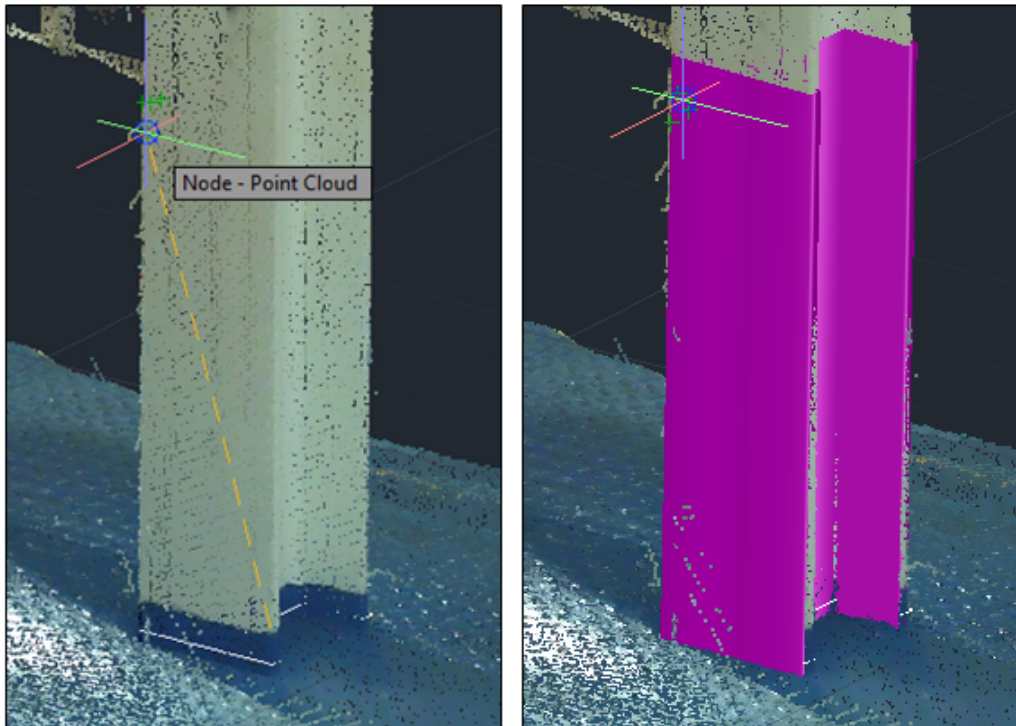
Då punktmolnet importerats var första momentet att dela upp punktmolnet i skivor, för att således enklare kunna komma åt punkter i punktmolnet som skulle hanteras. Innan punktmolnet skulle konverteras till solider behövde standarder för rör- och balkbeteckningar laddas in i PointSense. I PointSense Plant genererades rör och i PointSense Building ritades väggarnas konturer.

När beteckningarna hämtats genererades rör med verktyget Walk the Run, vilket innebar att en rörledning skapades genom att "vandra" genom rörledningen, från ena änden till den andra änden av röret. I figur 37 gestaltas hur ett böjt rör skapats, och som figuren förtydligar var solidrörets passform till punktmolnet förskjutet. Det var ett återkommande problem att placera ut just böjda rör i punktmolnet, med anledningen att det föregående röret som skapats varit för långt eller för kort.



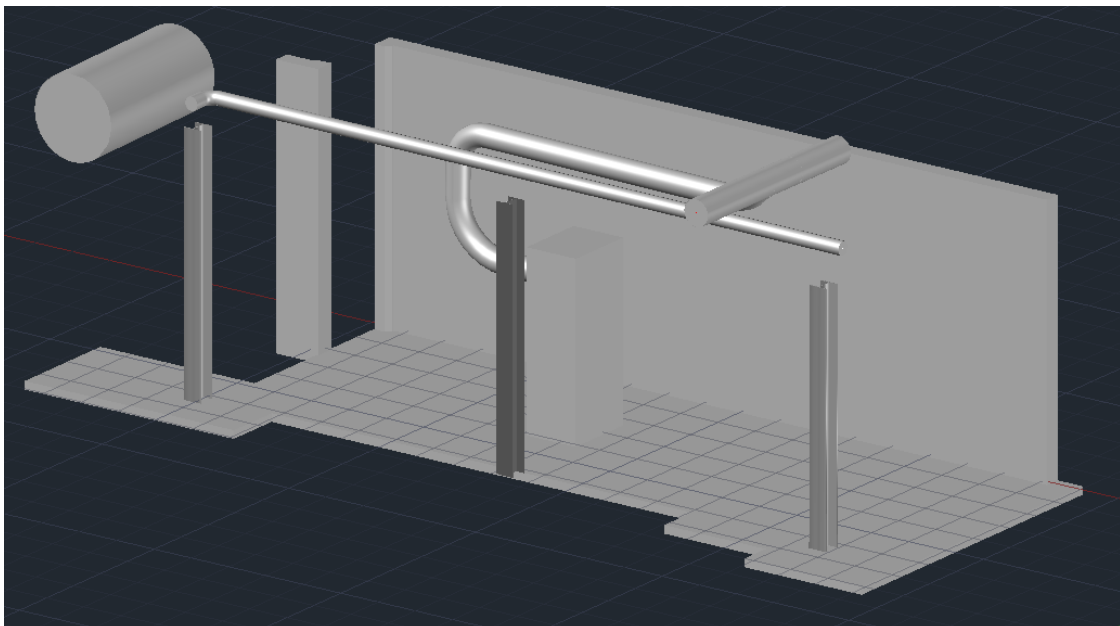
Figur 37 Ett rör som konstruerats utanför punktmolnet

Balkarna konstruerades med kommandot Fit Beam för att passa in solida balkar i punktmolnet. I figur 38 visas hur en balk konstrueras. Den genererade balken kunde sedan förlängas till önskad längd. Om balken skulle inpassas fel gick det att genomföra en ny iteration, så att soliden hittade rätt punkter och således rätt läge i punktmolnet. Det fanns också kommandon som gjorde det möjligt att redigera balkens placering, lutning och rotation.



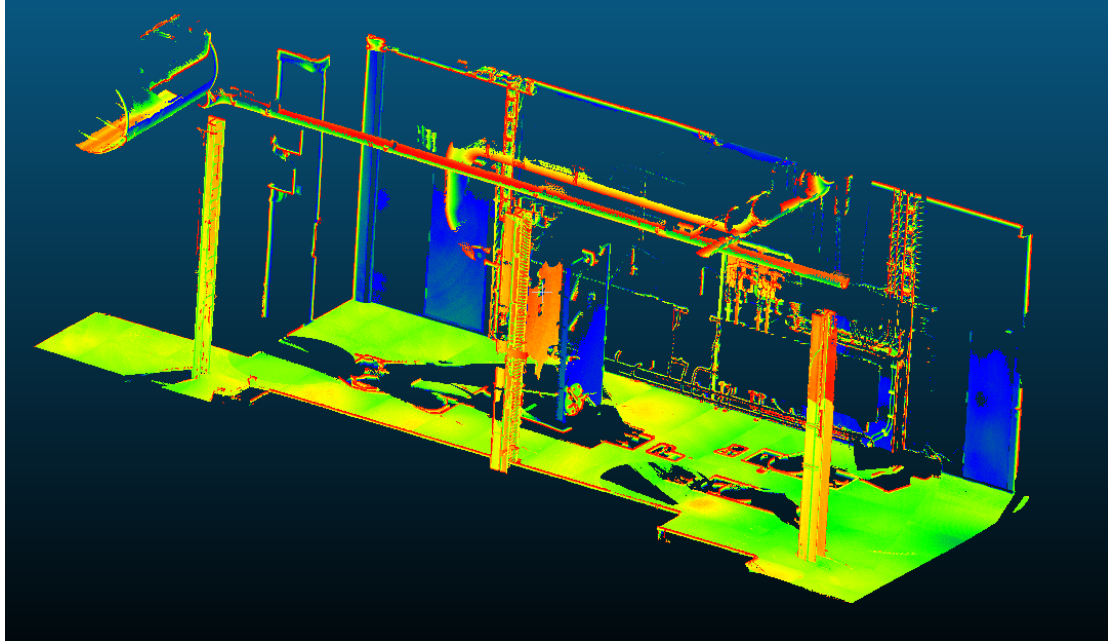
Figur 38 En balk som genereras i punktmolnet med PointSense Plant

I PointSense Building fanns det ett kommando, Fit Outline, som enklast kan beskrivas som ett vanligt polyline-verktyg. Kommandot placerade ut linjer i väggarnas konturer i punktmolnet. För att placera konturlinjerna var det tvunget att vyn var normal mot lokales golv. Utifrån linjerna gick det sedan att extrudera väggar. Därefter extruderades väggar och golv med verktyget Presspull i AutoCAD. Det gick åt ungefär 3 timmar att generera soliderna som gestaltas i figur 39. För att skapa rör och balkar var det måste att konstruera standardiserade rör och balkar.



Figur 39 Solider som skapats med AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building





Figur 40 Avvikelse mellan solid och punktmoln i AutoCAT, PointSense Plant och Pointsense Building. De blåa punkterna är - 30 mm i förhållande till soliden och de röda punkterna ligger + 30 mm i förhållande till soliden.

Avvikelsen mellan soliderna och punktmolnet visualiseras i figur 40. Endast de punkter som var inom  $\pm 30$  mm visas i figuren. Näst intill alla solider var innanför  $\pm 30$  mm. Men stora delar av röret i mitten av lokalen samt väggen på långsidan var ej inom gränsvärdet  $\pm 30$  mm.

Fem programvaruhaverier inträffade under testerna – om det beror på Pointsense eller AutoCAD gick inte att tyda. Som redan nämnt gick det att importera e57-filer till en början. Men helt plötsligt började programvaran krascha när detta filformat skulle öppnas. Ett annat programvaruhaveri inträffade då en polyline raderades, men AutoCAD hade sparat backup-filer, vilket gjorde att data inte gick förlorad.

AutoCADs gränssnitt och hur enkelt det var att lära sig programvaran tilldelades ett betyg 3. Det fanns otaligt många funktionaliteter och det var lätt att virra bort sig i det stora utbudet av kommandon. För att utföra vissa kommandon var det tvunget att söka efter hjälp på AutoCADs internetsida för support, och där fanns det alltid svar på frågorna. PointSense Plant och PointSense Buildings gränssnitt och logik var inte alltid självklar – ibland när ett kommando skulle utföras förväntades det att ett antal punkter skulle klickas ut i punktmolnet, utan att programvaran talade om hur många punkter som skulle selekteras. Det blev också tydligt att PointSense var en plug-in då de flesta kommandona i PointSense öppnade dialogrutor vid klick på kommandoknapp. Ett störningsmoment i AutoCAD var då Point Cloud Manager, ett träd som gjorde det möjligt att släcka och tända punktmoln, stängdes ned då det skiftades mellan dem olika arbetsbänkarna Drafting & Annotation, 3D Basics och 3D Modeling.

I AutoCAD gick det att exportera stl- och igs-format. För att kunna exportera filer i stp-format var det ett måste att överföra filerna till Inventor, för att därifrån exportera filerna som stp. Om en kund vill få stp-format levererat till sig måste processen ske

genom två större steg, d.v.s. genom AutoCAD och Inventor. PointSense Plant och PointSense Building är plug-ins i AutoCAD och innebär inget extra steg i processen.

Programvaran var inte anpassad för att kunna avbryta kommandon, och det visades inte hur långt ett kommando kommit i sin exekvering då programvaran arbetade.

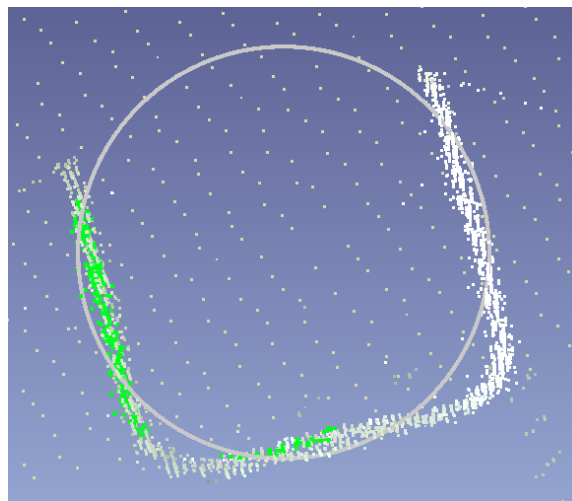
I Pointsense fanns det en knapp på ett frågetecken som öppnade en pdf med instruktioner för arbetsgången med Pointsense. Om det behövdes mer support fanns det möjlighet till personlig support.

AutoCAD kunde hantera 400 000 000 punkter. Punktmolnet importerades i filformatet rcp av en storlek på 1 MB. 15 fls-filer, bestående av 2 GB data, konverterades till rcp-filformat via ReCap till en fil på storleken 1 MB.

#### 4.4.5 EdgeWise och AutoCAD

Processen i EdgeWise inleder med att importera ett punktmoln, och samtidigt som punktmolnet läses in autogenereras solider av rör och ytor i punktmolnet. För att kunna autogenerera rör och plan i EdgeWise behövde det importerade punktmolnet vara av filformaten fls, ptg, tzf, zfrj, zfs, dp, ptx, e57 eller rsp. ASCII-filformat som pts kunde inte autogenerera rör eller ytor.

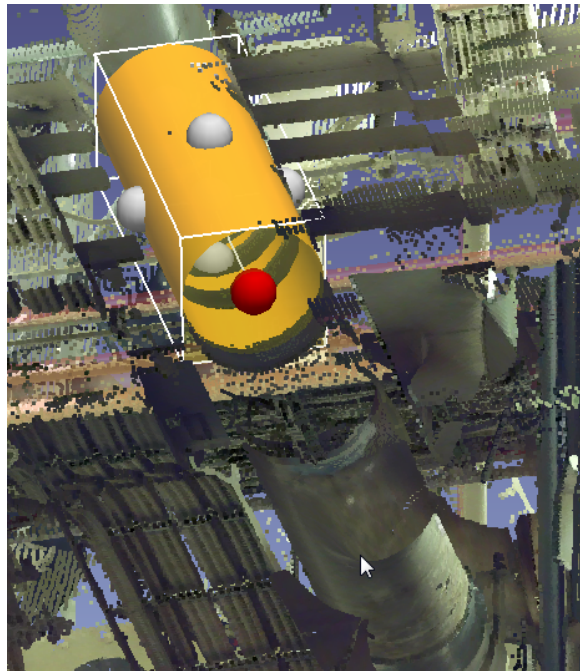
I utförandet av processen importerades ett punktmoln i e57-format, vilket i programvaran konverterades till ett ptx-format, för att kunna autogenerera. Då rören och ytorna skapats i punktmolnet kan soliderna uppfattas som en stor röra, då det skapades många rör och ytor med olika riktning och storlek. Flera av rören som hade genererats hade bildats felaktigt, bl.a. i balkar, se figur 41, och för att radera dessa, behövde alla rör kontrolleras.



Figur 41 Ett rör som autogenererats felaktigt i en balk

Det fanns ett funktionellt inspektionsverktyg, Smart Sheet, som gjorde det enkelt att kontrollera alla rör. I Smart Sheet gick det dessutom att ändra rörens diameter, om den skulle vara fel. Om ett rör skulle vara för kort eller för långt kunde detta också

redigeras, se figur 42. Ifall det saknades rör i punktmolnet gick det att på egen hand infoga rör.



Figur 42 Redigering av ett för kort rör

Efter att alla rör hade redigerats och nya skapats kunde dem sammanfogas med varandra. Med några få knapptryck eller på ett mer manuellt vis sammankopplades rören. Rören som sammanfogades kunde vara förskjutna i förhållande till varandra, kunde vara olika stora, kunde T-kopplas och kunde bilda krökta rör. I figur 43 har ett krökt rör skapats. Då rören var sammankopplade kunde rören tillgivas en standardbeteckning.

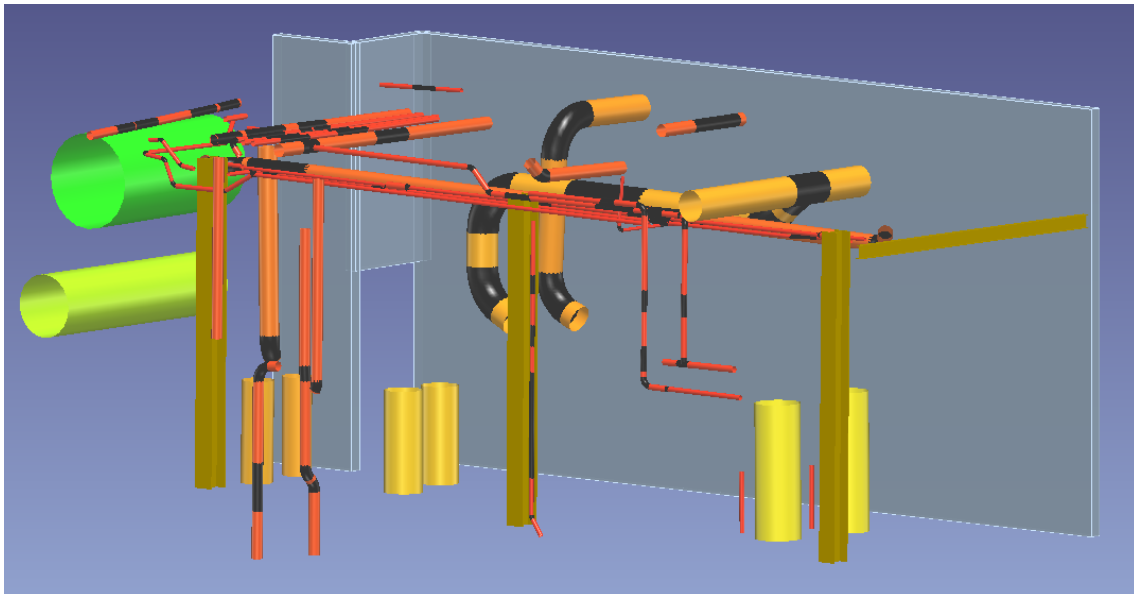


Figur 43 Ett krökt rör i ett punktmoln

Nästa moment i konverteringsprocessen var att skapa väggar, och för att göra detta användes de ytor som skapades i importen av punktmolnet. Några av de plan som

autogenererats i XY-planet användes för att placera ut tvärsnitt genom lokalen. Ett tvärsnitt placerades i XY-plan i höjd med golvet och ett andra tvärsnitt placerades i ett XY-plan i takets höjd. Mellan de två tvärsnitten genererades sedan väggar, där det fanns punkter som avbildade en vägg mellan tvärsnitten. Väggarna kunde därefter redigeras eller raderas.

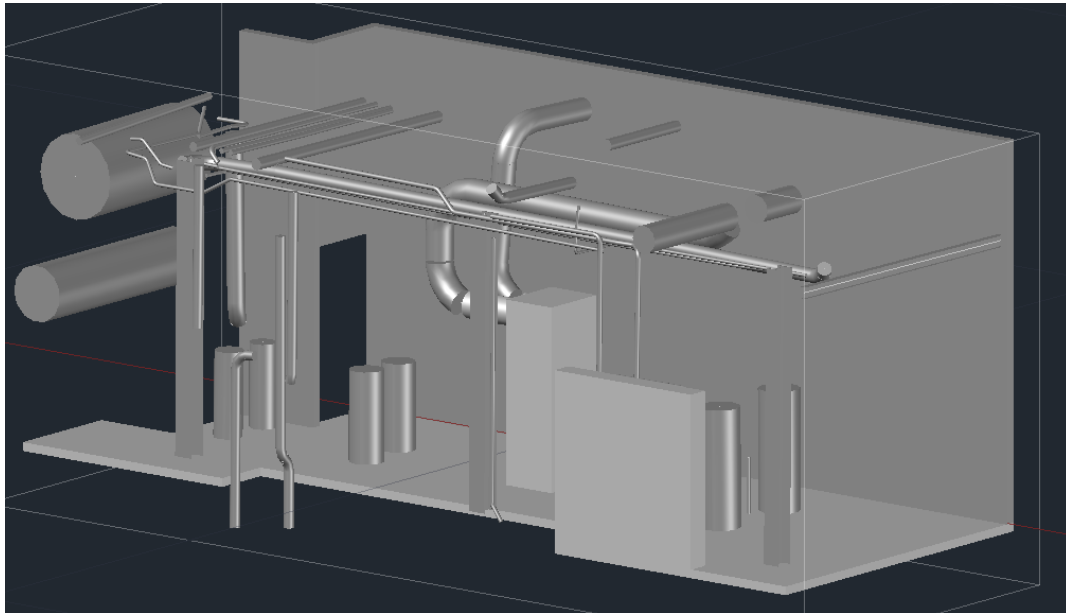
Som tredje steg i EdgeWise skapades balkar i punktmolnet, och för att konstruera dessa behövde först en standard anges. För att placera ut solida balkar i punktmolnet behövde balken som gestaltades i punktmolnet markeras med en polygon. Därefter kunde balkens längd, lutning och orientering ändras.



Figur 44 Genererade rör, balkar och väggar i EdgeWise

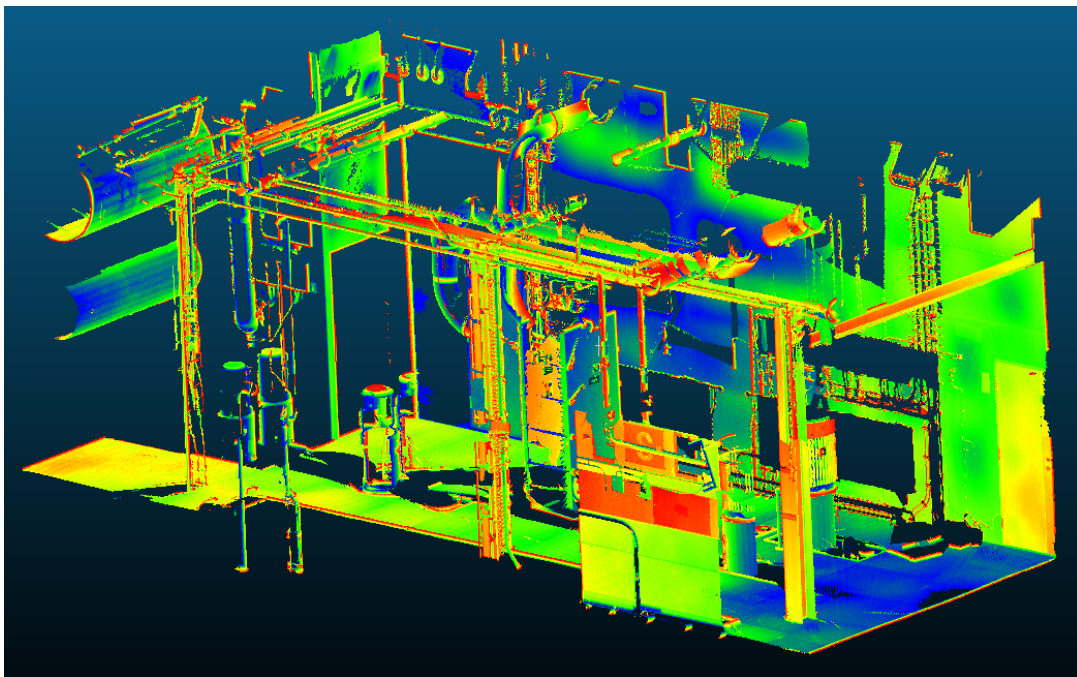
Då de tre stegen genomförts i EdgeWise var det dags att exportera data till AutoCAD. Rören, väggarna och balkarna lagrades i separata filer, och behövde sparas i filformatet coe för att kunna importeras i AutoCAD. För att kunna importera dessa coe-filer i AutoCAD behövde en plug-in installeras till AutoCAD, nämligen Leica COE for AutoCAD, version 6.0.6. Denna plug-in är framtagen av Leica Geosystems, i syfte att kunna exportera data från deras egna mjukvaror, till bl.a. AutoCAD.

För att få kompletta väggar krävdes det komplettering i AutoCAD, där väggar först behövde solidifieras, och sen redigeras till rätt dimensioner. För att veta att soliderna dimensionerades till rätt storlek behövde samma punktmoln som användes i AutoCAD importeras, med ändringen att det importerade filformatet var rcs, d.v.s. ReCaps format, då AutoCAD inte kan läsa e57-format. Det går att grovt konstruera maskiner i AutoCAD med flera olika sketch- och extruderingsverktyg. Hela förloppet från 3D-skannat punktmoln till konstruerade solider, se figur 45, tog ungefär 2 timmar.



Figur 45 Solider från EdgeWise har kompletterats med golv och maskiner i AutoCAD

Avvikelseanalysen för EdgeWise och AutoCAD framställs i figur 46. De punkter som visas i figuren är de som ligger innanför gränsvärdet  $\pm 30$  mm. Enligt avvikelseanalysen ligger de flesta punkter inom  $\pm 30$  mm. De solider som ligger inte uppfyller gränsvärdet är främst delar av rör och väggarna till vänster och höger om dörren.



Figur 46 Avvikelse mellan solid och punktmoln för EdgeWise och AutoCAD. De blå punkterna är - 30 mm i förhållande till soliden och de röda punkterna ligger + 30 mm i förhållande till soliden.

Under utförandet av processen inträffade aldrig något programhaveri vad det gäller EdgeWise, däremot havererade AutoCAD två gånger.

EdgeWises gränssnitt var enkelt att förstå. Varje enskilt steg, d.v.s. generering av rör, väggar eller balkar, hade kommandon i egna menyer. Det fanns dessutom inte så många kommandon som i ett konventionellt CAD-program, vilket gjorde det enkelt att orientera sig och välja bland kommandon. EdgeWises enkelhet imponerade. Därför tilldelas EdgeWise betyg 4 vad det gäller sitt gränssnitt. Det gick dessutom fort att lära sig EdgeWise och således tilldelas detta också betyg 4. AutoCAD får betyg 3 för både sitt gränssnitt och med tanke på vad som krävdes för att lära sig programmet. Även i denna process ansågs det vara frustrerande att Point Cloud Manager stängdes ner då det skiftades arbetsbänk.

AutoCAD kan spara i filformaten igs och stl, vilket var ett krav. Vilket också var ett krav var att kunna exportera i filformatet stp, men för att göra detta måste filerna importeras i Inventor, och därifrån sparas i stp-format.

I EdgeWise gick det att avbryta kommando om det behövdes. De flesta kommandon hade en kort exekveringstid. Det som tog lång tid var import av data och omformatering av filformat. Att ladda in punktmolnet samt autogenerera rör och ytor tog ungefär 15 minuter. För att konvertera e57-formatet till ptx-format tog ca 30 minuter.

Det finns support till både EdgeWise och AutoCAD – i programvarorna fanns det kappar som länkade till support på deras hemsida, där det fanns både tutorials och tips. Om detta inte skulle vara tillräckligt med hjälp kunde deras respektive kundsupport kontaktas.

För att skapa rör i EdgeWise är det inget krav på att inrätta beteckningar på rören, däremot är det ett krav att ange beteckningar på balkar vid konstruktion av balkar.

EdgeWise klarade av att hantera 400 000 000 punkter. Punktmolnet importerades i filformatet fls som bestod av totalt 15 skanningsomgångar. Den totala filstorleken var 2 GB.

## 4.5 Analys av testade processer

I kapitlet analyseras processernas testresultat. Syftet med analyserna var att ge en bild av hur de olika processerna står sig mot varandra.

### 4.5.1 Relativ beslutsmatris

De systematiska inleder med Pughs relativa beslutsmatris, där de testade processerna ställdes mot en referens. Referensen var den process som tolkats som den framgångsrikaste processen i testerna. De kriterier som hanteras i matriserna är tagna från processspecifikationen.

Efter att alla processer behandlat alla kriterier sammanställs processernas nettovärde. Ett negativt nettovärde innebär att det lösningsalternativet, den processen, var ett sämre koncept än referensen.



I den relativa beslutsmatrisen för lokal var EdgeWise och AutoCAD referens och alternativ 2 representerades av AutoCAD tillsammans med PointSense Plant och PointSense Building.

Tabell 7

Relativ beslutsmatris för lokal			
Kriterium	Vikt	Alternativ	
		1 ref.	2
Process ska kunna konvertera punktmoln till CAD-solid	10	DATUM	0
Process ska frambringa en CAD-solid som ska addera ett så litet fel som möjligt vid utförande av test	5		0
Programvara ska följa <i>IS/IT Guidelines and directives</i> , bl.a. annat att programvara ska vara laglig att använda	10		0
Process ska ej använda programvara som Semcon för tillfället inte har licens för	1		0
Process ska bestå av samma programvara eller kombination av programvaror för både produkt och lokal	2		0
Programvara ska ej krascha vid utförande av test	4		-
Tidåtgång för process ska vara så liten som möjligt vid utförande av test	5		-
Programvara ska ha ett lättförståeligt gränssnitt	4		-
Programvara ska vara enkel att lära sig	4		-
Support till programvara ska finnas tillgänglig	4		0
Process ska kräva maximalt tre programvaror, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk Recap	10		0
Process ska kräva maximalt en programvara, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk Recap	4		0
Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera lokal i filformaten stp, igs och stl	10		0
Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera lokal i filformaten ply, obj, CATpart(Catia), ipt(Inventor), sldprt(SolidWorks), prt(Creo) och dwg(AutoCAD)	3		0
Första programvara i processen ska kunna öppna/importera filformaten e57, xyz eller pts	10		0
Programvara ska kunna hantera så många punkter som möjligt vid utförande av test	3		0
Programvara ska ladda så lite som möjligt vid utförande av test	4		+
Support ska finnas i programvara	3		0
Få med features vid export av data, d.v.s. kunna ändra parametrar i programvara efter processen	5		0
Kunna avbryta kommando i programvara ifall exekvering av kommando tar lång tid	3		0
Programvara ska ge förslag på beteckning på balkar och rör	3	0	
Programvara ska visa hur långt kommando kommit då kommando exekveras	3	0	
Summa +			1
Summa 0			17
Summa -			4
Viktad summa +			4
Viktad summa -			17
Nettovärde av viktad summa		0	-13
Rangordning		1	2
Vidare analys		Ja	Ja

Enligt den relativa beslutsmatrisen för lokal gjordes det klart att referensen, EdgeWise och AutoCAD, var den bättre processen. Nettovärdet för AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building blev -13. De kriterier som skiljer sig mest signifikant mellan de två processerna var att EdgeWise och AutoCAD var snabbare på att generera solider och hade ett tydligare gränssnitt. De båda processerna analyserades mer i efterföljande analysmetod i kapitel 4.5.2.

Som referens i den relativa beslutsmatrisen för produkt valdes Geomagic Design X. Geomagic Design X har framstått som den framgångsrikare av processerna och valdes därför som referens. Alternativ 2 representerades av Spaceclaim och alternativ 3 representerades av Tebis. Den relativa beslutsmatrisen för produkt utvärderade både den mekaniska produkten och den organiska produkten. Summorna i matrisen har delats upp i två stycken – en för mekanisk produkt och en för organisk produkt.

Tabell 8

Relativ beslutsmatris för produkt				
Kriterium	Vikt	Alternativ		
		1 ref.	2	3
Process ska kunna konvertera mesh till CAD-solid	10	DATUM	0	0
Process ska frambringa en CAD-solid som ska addera ett så litet fel som möjligt vid utförande av test av mekanisk produkt	5		0	
Process ska frambringa en CAD-solid som ska addera ett så litet fel som möjligt vid utförande av test av organisk produkt	5		-	+
Programvara ska följa <i>IS/IT Guidelines and directives</i> , bl.a. annat att programvara ska vara laglig att använda	10		0	0
Process ska ej använda programvara som Semcon för tillfället inte har licens för	1		0	0
Process ska bestå av samma programvara eller kombination av programvaror för både produkt och lokal	2		0	0
Programvara ska ej krascha vid utförande av test	4		+	+
Tidåtgång för process ska vara så liten som möjligt vid utförande av test av mekanisk produkt	5		0	
Tidåtgång för process ska vara så liten som möjligt vid utförande av test av organisk produkt	5		-	-
Programvara ska ha ett lättförståeligt gränssnitt	4		0	-
Programvara ska vara enkel att lära sig	4		0	-
Support till programvara ska finnas tillgänglig	4		0	0
Process ska kräva maximalt tre programvaror	10		0	0
Process ska kräva maximalt en programvara	4		0	0
Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera lokal i filformaten stp, igs och stl	10		0	0
Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera produkt eller lokal i filformaten ply, obj, CATpart(Catia), ipt(Inventor), sldprt(SolidWorks), prt(Creo), dwg(AutoCAD)	3		-	-
Första programvara i processen ska kunna öppna/importera filformatet stl	10		0	0
Programvara ska ladda så lite som möjligt vid utförande av test	4		0	0
Support ska finnas i programvara	3		0	0
Testa ifall det går att exportera features, d.v.s. kunna ändra parametrar i programvara efter processen	5		-	-
Kunna avbryta kommando i programvara ifall exekvering av kommando tar lång tid	3	0	-	



	Programvara ska visa hur långt kommando kommit då kommando exekveras	3		+	-
Organisk produkt	Summa +			2	2
	Summa 0			14	11
	Summa -			4	7
	Viktad summa +			7	9
	Viktad summa -			18	27
	Nettovärde av viktad summa		0	-11	-18
	Rangordning		1	2	3
Mekanisk produkt	Summa +			2	
	Summa 0			16	
	Summa -			4	
	Viktad summa +			7	
	Viktad summa -			18	
	Nettovärde av viktad summa		0	-11	
	Rangordning		1	2	
	Vidare analys		Ja	Ja	Nej

Den relativa beslutsmatrisen för produkt visar tydligt att Tebis inte var ämnad för RE på Semcon. Nettovärdet för Tebis på den organiska produkten blev totalt -18 och processen fallerar framförallt eftersom gränssnittet var avancerat och för att processen krävde två timmar mer i utförandet än Spaceclaim. Testerna på den organiska produkten påvisade att Tebis avvikelse var marginellt bättre än Geomagic Design X. Tebis hade 0,07 mm mindre avvikelseintervall än Geomagic Design X. Men det övriga genomgående nederlaget för Tebis innebar att Tebis inte analyserades vidare.

Nettovärdet för Spaceclaim var -11, för både organisk produkt och mekanisk produkt. Det som Geomagic Design X gjorde bättre än Spaceclaim var att avvikelsen med mesh och solid var mindre, kortare tidsåtgång och exportmöjligheterna till andra CAD-program.

#### 4.5.2 Hierarchical Task Analysis

De processer som enligt de relativa beslutsmatriserna skulle analyseras vidare sammanställdes i var sin Hierarchical Task Analysis.

För AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building fanns det sex deluppgifter på nivå två, de uppgifterna på nivån direkt under huvuduppgiften. Det maximala djupet i HTA:n var fyra deluppgifter. Antalet handlingar uppkom till 81 st. Se bilaga G för HTA.

I processen EdgeWise och AutoCAD fanns det sju deluppgifter på nivå två. Som mest bestod HTA:n av ett djup på fem deluppgifter. Totalt antal handlingar uppkom till 107 st. Se bilaga H för HTA.

I Geomagic Design X för den mekaniska produkten uppkom antalet handlingar till totalt 21 st. För den organiska produkten krävdes endast sex handlingar. Se bilaga I för HTA.

Antalet handlingar för utförandet av den mekaniska produkten i Spaceclaim räknades till 20 st. Den snabba konverteringen av den organiska produkten bestod av sju handlingar. Det mer manuella tillvägagångssättet vid konstruktion av organisk produkt bestod av 23 handlingar. Se bilaga J för HTA.

I diagram 1 sammanställs antalet handlingar för respektive process. Ur stapeldiagrammet går det att utläsa att Edgewise och AutoCAD kräver 26 mer handlingar än AutoCAD, PointSense Plant och PointSense Building. Diagrammet påvisar också att det inte är någon märkbar skillnad i antal handlingar mellan Spaceclaim och Geomagic Design X.

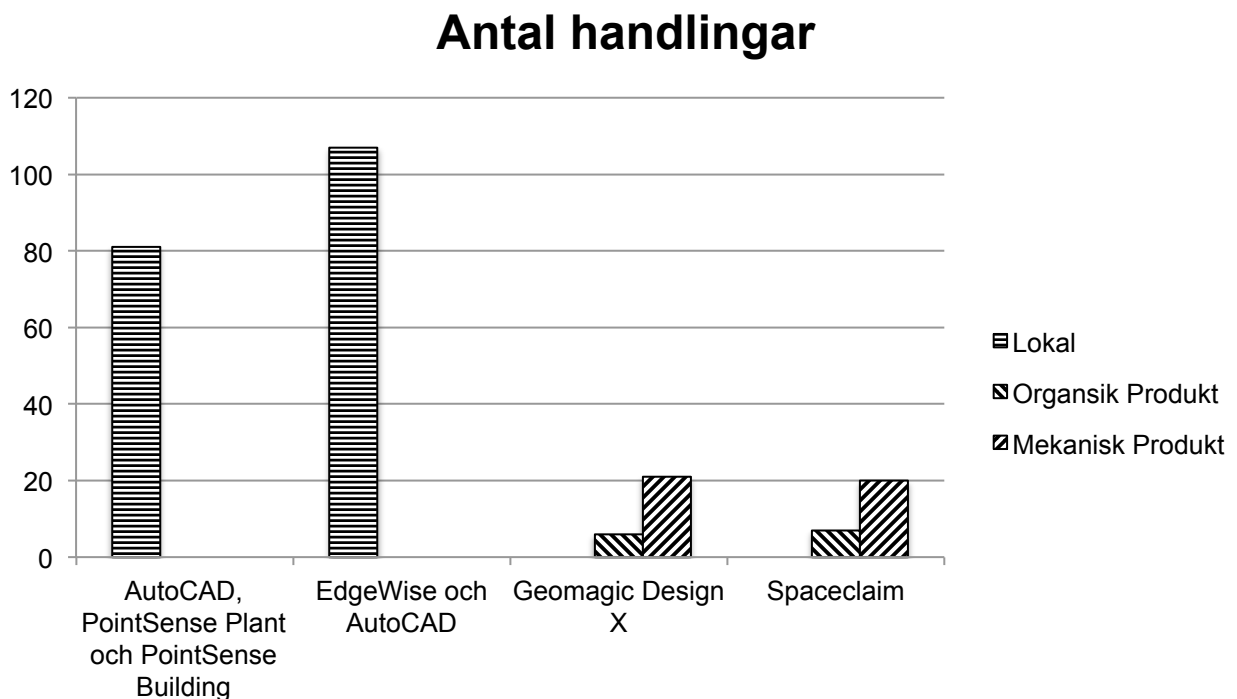


Diagram 1

## 5 Diskussion

I diskussionskapitlet utvärderas de metoder använts och de resultat som erhöles under projektet.

### 5.1 Datainsamling

Utförandet av intervjuerna blev bättre ju fler intervjuer som genomförts, dels för att uppdragstagaren kände sig mer och mer bekväm i rollen som intervjuare och då mer information kring RE erhöles under perioden som intervjuerna genomfördes. Intervjuerna ägde rum inom ett spann på tre veckor, och ju längre kommen i intervjuperioden, desto säkrare blev uppdragstagaren på RE och dess process, eftersom uppdragstagaren erhölet mer förståelse från intervjuer och annan datainsamling. En påföljd av detta skulle kunna vara att viktig data gick till spillo i de inledande intervjuerna, som inte hade missats om intervjuerna genomförts i slutet av intervjuperioden då uppdragstagaren var mer kunnig inom ämnet. Således var förutsättningarna för intervjuerna olika, men då intervjuerna spelades in gick det att lyssna på intervjuerna i efterhand.

Inför intervjuerna med utvalda ingenjörer på Semcon sammanställdes en preliminär processspecifikation. Kriterierna i processspecifikationen utformades som påståenden eller frågor i en enkät, vilka intervjudeltagarna fick uttrycka sina åsikter om. Alla kriterier efterfrågade ett svar kring om kriteriet var ett krav eller önskemål, och om det ansågs vara ett önskemål skulle det anges hur viktigt önskemålet var. Vissa av kriterierna efterfrågade gränsvärden, vilka kan ha varit svåra för intervjudeltagarna att besvara, vilket kan ha inneburit att vissa svar inte är legitima, då intervjudeltagaren kanske angett något utan att egentligen vara insatt i ämnet. Det bör tilläggas att intervjudeltagarna valdes ut med eftertänksamhet och att intervjudeltagarna fyllde i enkäten med uppdragstagarens närvaro, för att undvika att frågor skulle misstolkas. Flera av deltagarna ansåg att dem inte kunde ange vissa gränsvärden då dem inte hade tillräcklig inblick i ämnet. Efter intervjuerna utvärderades inkomna åsikter och det konstaterades att det även för uppdragstagaren var problematiskt att ange gränsvärden på flera av frågorna, och således på kriterierna. Anledningen var att det saknades tillräcklig med information för att kunna ställa gränsvärden på vissa kriterier. Därför valdes det att omformulera många kriterier, som hade gränsvärden, och istället ställa de olika processerna mot varandra. Således, den slutliga processspecifikationen skiljde sig till viss del från den preliminära, och det innebar att en del frågor som formulerades i enkäterna inte överensstämmer med den slutliga processspecifikationen. Som ett resultat av detta kunde viss indata från intervjuerna och enkäterna inte föras vidare till den slutliga processspecifikationen.

Vid intervjuer och kontakt med programvarutillverkare/-leverantörer och/eller företag som arbetar med RE kan en del indata ha varit partisk, och vissa kontakter kan ha varit mer säljande än andra. Programvarutillverkarna/-leverantörerna har varit olika medgivande, hjälpsamma och olika tillgängliga som support inför och under utförandet av tester. De programvarutillverkare/-leverantörer som varit mer till hands kan ha påverkat datainsamlingen och kan ha vållat ett bättre testresultat för de processer där deras programvara ingått.

Ibland har det varit svårt att veta om källor från forskningsprojekt inom RE och 3D-skanning varit relevanta eftersom utvecklingen inom programvaruutveckling och 3D-skanning sker i hög takt. För att undvika irrelevant och inkorrekt data till projektet har källorna granskats, och i vissa fall har det framkommit att vissa källor inte stämmer, då den tekniska utvecklingen har genererat effektivare lösningar sedan källan publicerades. Dessa källor har det inte refererats till i rapporten. De källor, som berör RE, och som det refererats till har inte publicerats tidigare än år 2008.

## 5.2 Tester på processer

De processer som det genomfördes strategiska tester på består av programvaror som uppdragstagaren aldrig hade tillämpat tidigare, vilket innebar att förutsättningarna för att kunna utföra sakliga tester var goda. Programvarorna Spaceclaim, Geomagic Design X och AutoCAD hade logik och gränssnitt som liknade de CAD-program som uppdragstagaren sedan tidigare hade erfarenhet av. Tebis kan vara den programvara som kan ha missgynnats mest, då uppdragstagaren aldrig innan utfört CAD i ett liknande gränssnitt.

Det var okänt vilken standard det var på de balkar och rör i den lokal som det utfördes tester på, och detta kan ha missgynnats processen AutoCAD, Pointsense Plant och Pointsense Building. Denna process grundar sig i att frambringa standardiserade rör och balkar direkt i punktmolnet. När det saknades information om vilken standard som skulle användas fick uppdragstagaren testa sig fram för att se vilken standard som det skulle kunna vara, genom att bedöma ifall de genererade och standardiserade soliderna var jämnstora med punktmolnet. Således kan det förekomma mer avvikelse i denna process.

Två bedömningar i testerna har varit subjektiva då uppdragstagaren själv angett betyg på hur enkel programvara var att lära sig och på hur programvarans gränssnitt uppfattas. Det var på tal att utföra någon form av workshop eller utvärdering i grupp för att betygsätta UX i programvarorna, men då det fanns brist på tid genomfördes inte detta. Att uppdragstagaren inte hade några tidigare erfarenheter i någon av programvarorna kan anses vara tillräckliga skäl för att bedömningen ska vara befogad.

Om projektet genomförts av en person som var expert i respektive programvara som testats skulle resultatet på testerna utformat sig annorlunda. Processerna hade antagligen sett ut på ett annorlunda sätt. Troligtvis hade även tidsåtgången reducerats och avvikelsen mellan skannad data och solid hade varit mindre. Detta faktum gällde alla processer, vilket innebar att detta förhoppningsvis inte skulle haft någon betydelse för inbördes resultat mellan processerna. Som redan nämnt var uppdragstagaren, tillika testutföraren, nybörjare i samtliga programvaror. För att erhålla ett så rättvist resultat som möjligt mottog uppdragstagaren support från experter, d.v.s. programvarutillverkare/-leverantörer, innan och under testerna.

Under projektet har det funnits begränsat med tid och det har inte varit möjligt eller meningen att erhålla djupgående förståelse för programvarorna, vilket kan ha inneburit att utförandet av processen, från 3D-skannad data till solid, kunde ha gjorts

snabbare och med andra kommandon, vilket hade kunnat resultera i en bättre noggrannhet. För att erhålla så effektiva processer som möjligt kontaktades programvarutillverkare/-leverantör innan testerna, för att ge förslag på hur tillvägagångssättet i programvarorna skulle se ut.

Att det endast utfördes tester på totalt fem processer grundar sig i att det fanns begränsat med tid under projektets gång. Ur ett tidsperspektiv var det orimligt att utföra tester på alla detekterade programvaror. Därför prioriterades de programvaror som tolkades ha högst sannolikhet att utföra RE framgångsrikt och som skattades att uppfylla ställda krav och önskemål.

För att Semcon ska kunna leverera CAD som är inom kundens accepterade avvikelse, och som Semcon kan ta betalt för, behöver CAD-soliderna bli verifierade att dem ligger inom kundens godkända avvikelse. I projektet analyserades soliderna i gratisprogramvarorna GOM Inspect, för produkter, och CloudCompare, för lokaler. I flera av de testade programvarorna fanns det inbyggda avvikelseanalysverktyg, men för att få en så objektiv avvikelseanalys som möjligt användes fristående programvaror. Både GOM Inspect och CloudCompare var för uppdragstagaren innan detta projekt obekanta programvaror. Semcon har sedan tidigare arbetat med geometrisäkring i GOM Inspect och med assistans från ingenjörer på Semcon erhöles god förståelse för hur en korrekt avvikelseanalys skulle genomföras. CloudCompare introducerades till uppdragstagaren av handledare på högskolan, som även tillförde råd för hur en avvikelseanalys skulle genomföras. Avvikelseanalyserna för processerna för lokal kan vara något missvisande. I CloudCompare gick det inte att linjera punktmolnet med meshen till exakt samma läge som dem hade i förhållande till varandra då soliderna genererades. Det kan vara önskvärt att det finns en inbyggd avvikelseanalys, i den sista programvaran, i den processen som väljs som den optimala processen.

Tidsåtgång för utförandet av processen beror på komplexiteten på produkten och lokalen. För att göra en rättvis bedömning av utförandet av processen genomfördes testerna på samma produkt eller lokal. För produkt importerades filerna alltid i stl-format, till skillnad för lokal, där filerna importerades i det filformat som var mest lämpat för programvaran. Vissa programvaror för lokal presterade bättre ifall dem fick ett visst filformat importerat, vilket bör anses som en berättigad åtgärd för att uppnå så gott resultat som möjligt på testerna.

Den lokal och de produkter som det utfördes tester på valdes noggrant ut för att representera projekt som skulle kunna vara möjliga i framtiden. I efterhand kan det anses att testerna även skulle utförts på en produkt som bestod av både mekanisk och organisk form. På så sätt hade programvarornas funktionalitet testats ännu mer.

Den 3D-skanningsutrustning som tillämpas, och utförandet i den programvara som registrerar och redigerar punktmoln eller mesh, avgör vilken tidsåtgång som krävs i de processer som utvärderats i det här projektet. 3D-skanningsutrustningen och programvaran som registrerar och redigerar skannad data kan generera låg kvalitet på punktmoln eller mesh. Låg kvalitet kan förknippas med hål i mesh, dubbla lager av mesh, ojämn mesh eller brus i punktmoln. Detta kan påverka avvikelsen mellan framställd CAD-solid och 3D-skannad data. Visserligen avviker soliden bara några tiondels mm då den jämförs med meshen, för produkt, och avviker endast några cm

då den jämförs med punkmolnet, för lokal. Men den totala avvikelsen mellan verkligt 3D-skannat objekt och CAD-solid kan bli ännu större om 3D-skanningsproceduren genomförts felaktigt eller om fel 3D-skanningsteknologi tillämpas. Ett exempel på en defekt från skanningsproceduren kan vara en ö av mesh, som i fallet med den mekaniska produkten i det här projektet, se figur 16. Totalt sett över hela förloppet från 3D-skanningsprocedur till färdig solid bildas en kedja av fel, själva 3D-skanningen ger en avvikelse och konverteringen av 3D-skannad data till CAD-solid genererar också en avvikelse. I detta projekt ingick inte att analysera den avvikelse som uppkommer av 3D-skanningsproceduren. Projektet har utfört tester på 3D-skanningsdata som motsvarar den kvalitet som Semcon har utfört RE på och kommer utföra RE på.

### 5.3 Analys av testade processer

För att tydliggöra resultaten från testerna och för att sälla processerna genomfördes analyserna. I den relativa beslutsmatrisen visade det sig att kraven, som viktades till 10, spela någon roll då alla processer uppfyllde ställda krav. Den relativa matrisen är en erkänd metod för att utvärdera lösningskoncept.

Vid uppställning av HTA kan strukturen i trädet blivit disponerad subjektivt, utefter uppdragstagarens åsikter kring hur en HTA ska struktureras. Men då samma tankesätt efterföljdes i uppställningen för varje HTA bör HTA anses vara ett befogat analysverktyg. Resultatet av HTA för respektive process skiljde sig inte markant mellan processerna och därför hade HTA ingen avgörande betydelse för valet av process.

## 6 Slutsats

För att RE ska vara lönsamt behöver ledtid, arbetssätt och solidens avvikelse vara definierat. Det är svårt att förutse ledtiden i en konvertering av 3D-skannad data till CAD-format. Ledtiden beror på kvalitet på erhållen 3D-skanningsdata och beror på vilken noggrannhet som kunden vill ha levererad. Kvaliteten på 3D-skanningsdata påverkar också vilken noggrannhet som kan uppnås. Ett systematiskt arbetssätt har dokumenterats i form av en HTA för de processer som fastställts som de mest lämpade processerna för Semcon.

### 6.1 Besvarade frågeställningar

*Hur ser dagens övergripande process ut, från 3D-skannad data till CAD-format?*

Enligt en nulägesanalys av de två referensprojekten går det att utföra RE med Catia V5 för lokal och med Catia V5 för produkt. Assistans från GOM Inspect underlättade redigering och reparation av produktens mesh, men det kunde också åtgärdas i Catia V5, men med sämre funktionalitet. RE av 3D-skannad data fungerar i Catia V5 för lokal och för produkt, med eller utan GOM Inspect, men det är en hög kunskapströskel för att kunna utföra RE i Catia V5, jämförelsevis med de processer som fastställts som de mest lämpade i processen.

*Vilka krav och önskemål har Semcon-anställda och uppdragstagaren på processen och programvaror?*

En nulägesanalys och en datainsamling, där Semcon-anställda intervjuades, utgjorde en stomme för en processspecifikation. I processspecifikationen redogjordes vilka krav och önskemål som ställdes på den process som skulle genereras. I kapitel 4.2 presenteras processspecifikationen.

*Vilken programvara eller kombination av programvaror är mest optimal utifrån testade programvaror?*

De parametrar som spelat stor roll i valet av de testade processerna har varit tidsåtgång för genomförandet av processen, solidens avvikelse mot 3D-skanningsdata och programvarornas användargränssnitt. Efter genomförda tester och analyser kunde det konstateras att en process för lokal respektive produkt kan utföra RE med liten avvikelse, kort tidsåtgång och med användarvänligt gränssnitt.

Den process som utförde RE på produktionsanläggningar framgångsrikast var EdgeWise och AutoCAD. Övertaget hos processen ligger i att EdgeWise kan autogenerera väggar och rör vid import av 3D-skannade punktmoln. Därtill kan EdgeWise infoga balkar med endast några få musklick. På så vis reduceras tidsåtgången. Användargränssnittet var genomtänkt och noggrannheten godtagbar. Om framtida projekt inom RE för lokaler kommer innehålla väggar, rör och balkar är EdgeWise och AutoCAD lösningen, förutsatt att kunden vill få leverans i dwg-, step-

eller igesformat. Om kunden vill få leverans i CATpart fungerar processen med Catia V5 också.

RE av produkt, för både organisk produkt och mekanisk produkt, genomfördes förmånligt med Geomagic Design X. Men det var jämnt mellan Geomagic Design X och Spaceclaim. Användargränssnittet sinsemellan de båda processerna var jämbördigt. Avgörandet grundades i att Geomagic Design X har goda exportmöjligheter till andra programvaror. Geomagic Design X kan exportera parametriserade solider, vilket skulle innebära att Semcon kan leverera solider i fler filformat, som kunden själv kan ändra parametrar i. Således kan Semcon leverera en mer kundanpassad tjänst inom RE, vilket skulle kunna öka Semcons kundkrets inom RE. Därtill visade testresultaten att Geomagic Design X genererar mindre avvikelse i jämförelsen mellan skanningsdata och solid.



## 7 Rekommendationer

Semcon bör kontakta Geomagic Design X och EdgeWise och fråga vad en licens till respektive programvara kostar. Ifall Geomagic Design X eller EdgeWise införskaffas bör det återblickas till denna rapport, och bilagade HTA:s som beskriver arbetsgången. Som det ser ut idag finns redan AutoCAD i Semcons programvarusortiment, men kompetensen i AutoCAD på avdelningen är tämligen måttlig. Därför bör konstruktörer öka sin kompetens i AutoCAD.

Förhoppningen var att kunna utföra RE för lokal med Geomagic Design X. Under datainsamlingen framkom det att RE för lokaler i Geomagic Design X var möjligt. Under processgenereringen importerades stora punktmoln med framgång, men att triangulera punktmolnet till en mesh misslyckades och programvaran havererade. En dator med bättre prestanda hade kanske mäktat med trianguleringen. Därför bör Semcon utvärdera ytterligare ifall Geomagic Design X kan utföra RE för lokaler.

Semcon bör analysera hur stor marknaden är inom RE, och om det finns pengar att tjäna inom RE-verksamhet. Om det finns möjlighet till att ta marknadsandelar, vilket inte borde vara helt omöjligt med tanke på Semcons stora kontaktnät, är rekommendationen att det läggs fram ett förslag på någon form av satsning inom RE. Ett första steg skulle kunna vara att investera i ett par licenser för de programvaror som i den här rapporten definierats som de mest lämpade processerna i utförandet av RE.

## Referenser

Annett, J. och Duncan, K.D. (1967) Task Analysis and Training Design, *Occupational Psychology*, vol. 41, ss. 211-221.

Annett, J., Duncan K.D., Stammers, R.B., Gray, M.J., Task Analysis. Department of Employment Training Information Paper 6. London: HMSO.

ASCII. (2016) I *Britannica Academic Online*.

<http://academic.eb.com.proxy.lib.chalmers.se/EBchecked/topic/37933/ASCII> (2016-05-02)

Bhandarkar, M.P., Downie, B., Hardwick, M. och Nagi, R. (2000) Migrating from IGES to STEP: one to one translation of IGES drawing to STEP data, *Computers in Industry*, vol. 41, nr. 3 ss. 261-277.

Binary code. (2016) *Britannica Academic Online*.

<http://academic.eb.com.proxy.lib.chalmers.se/EBchecked/topic/681536/binary-code> (2016-05-02)

Bohgard, M. (2011) *Arbete och teknik på människans villkor*. 2. uppl. Ss. 496-497. Stockholm: Prevent.

Böllinghaus et al. (2009) Reverse Engineering Technologies. I *Springer Handbook of mechanical engineering*, red. Grote, K. och Antonsson, E.K. ss. 753-760. New York: Springer.

Conrad – DAVID Structured Light skanner SLS-2 DAVID SLS-2 (2016)

[http://www.conrad.se/?websale8=conrad-swe&pi=1209136&ws\\_tp1=cp&ref=PLA\\_KOMPONENTER&subref=1209136&utm\\_source=PLA\\_KOMPONENTER&utm\\_medium=PLAfeed&utm\\_campaign=PLA\\_KOMPONENTER\\_feed&utm\\_content=1209136&gclid=CjwKEAjwubK4BRC1xczKrZyj3mkSJA C6ntgr859KEAkTBrF6glz6q3w4lccKGYSOVyb3OTxqY\\_Nb5xoCOBbw\\_wcB%20](http://www.conrad.se/?websale8=conrad-swe&pi=1209136&ws_tp1=cp&ref=PLA_KOMPONENTER&subref=1209136&utm_source=PLA_KOMPONENTER&utm_medium=PLAfeed&utm_campaign=PLA_KOMPONENTER_feed&utm_content=1209136&gclid=CjwKEAjwubK4BRC1xczKrZyj3mkSJA C6ntgr859KEAkTBrF6glz6q3w4lccKGYSOVyb3OTxqY_Nb5xoCOBbw_wcB%20) (2016-04-12)

Choi, S.H. och Cheung, H.H. (2008) A versatile virtual prototyping system for rapid product development, *Computers in Industry*, vol. 59, nr. 5, ss. 477-488.

Danhof, M., Schneider, T., Laube, P., & Umlauf, G. (2015) | A Virtual-Reality 3d-Laser-Scan Simulation; 2015-09-13 *BW-CAR| SINCOM*, Konstanz, s. 68-73.

*David-SLS-2*. [fotografi] Göteborg: Semcon

Davis, P., (2014) Autodesk ReCap. *CADalyst*, 2016-01-31.

<http://search.proquest.com.proxy.lib.chalmers.se/docview/1610986730?OpenUrlReflid=info:xri/sid:summon&accountid=10041> (2016-05-10)

*David 3D Scanner – SLS-2* (2016)

<http://www.david-3d.com/en/products/sls-2> (2016-04-12)

*Fabbers* – The Stl Format(2016) [http://www.fabbers.com/tech/STL\\_Format](http://www.fabbers.com/tech/STL_Format) (2016-05-02)

*Faro* – Faro Focus 3D (2016) <http://www.faro.com/en-us/products/3d-surveying/faro-focus3d/overview> (2016-04-12)

*Faro Focus 3D*. [fotografi] Göteborg: Semcon

*Faro* – FARO® Expands Presence in Architecture, Engineering and Construction with Acquisition of kubit (2015) <http://www.faro.com/en-us/news-events/news/2015/03/03/faro-expands-presence-in-architecture-engineering-and-construction-with-acquisition-of-kubit> (2016-05-20)

*FileFormat.Info* – Wavefront OBJ File Format Summary (2016) <http://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm>(2016-04-20)

*FileFormat.Info* – IGES File Format Summary (2016) <http://www.fileformat.info/format/iges/egff.htm> (2016-04-20)

GOM – ATOS Triple Scan – Revolutionary scanning technique (2016) <http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-triple-scan.html> (2016-04-14)

*GOM ATOS Triple Scan 3D-skannar en bildörr*. [fotografi] Göteborg: Cascade

Horton, S. (2014) FARO Scene 5.3 - Cloud to Cloud Registration [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=d6sCEFue6-Q> (2016-03-10)

Huber, D (2011), The ASTM E57 file format for 3D imaging data exchange

*ISO* – ISO 10303-21:2016 (2016) [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=63141](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=63141) (2015-05-18)

Kirwan, B. & Ainsworth, L.K. (1992) *A guide to task analysis*. London: Taylor & Francis.

Lindskog, E., Berglund, J., Vallhagen, J. & Johansson, B. (2016) Layout Planning and Geometry Analysis Using 3D Laser Scanning in Production System Redesign, *Procedia CIRP*, vol. 44, ss. 126-131.

*Laser Design* – 3D Scanning – Hard Work That Looks Like “Magic” (2016) <http://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> (2016-04-11)

Leica Geosystems – Cyclone pointcloud export format - Description of ASCII .ptx format (2015) <http://w3.leica-geosystems.com/kb/?guid=5532D590-114C-43CD-A55F-FE79E5937CB2> (2016-05-20)

Luhman, T., Robson, S., Stephen, K. och Harley, I. (2011) *Close Range Photogrammetry: Principles, techniques and applications*. Dunbeath: Whittles Publishing.

Paul Bourke – PLY – Polygon File Format (2009)  
<http://paulbourke.net/dataformats/ply/> (2016-05-05)

Pugh, S. (1990) *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Wokingham: Addison-Wesley.

Pugh, S. (1990) Elements of the PDS [elektronisk bild]  
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=26092718> [2016-04-21]

*Products in the news: TEBIS CAD/CAM software purchased by design, engineering and manufacturing firm* (2015). Chatham: Newstex.  
<http://proxy.lib.chalmers.se/login?url=http://search.proquest.com/docview/1649118937?accountid=10041>

Raja, V. och J.Fernades, K. (2008) Introduction to Reverse Engineering. I *Reverse engineering: an industrial perspective*, red. Raja, V. och J.Fernades, K. ss. 1-9. London: Springer.

*Rapidform* – 3D Systems Buys Rapidform (2012) <http://www.rapidform.com/about-us/press-news/3d-systems-buys-rapidform/> (2016-05-10)

SemconGlobal (2015) Virtual Reality for Industrial Settings. VirDa software by Semcon [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=uXLTiEydJUY> (2016-04-10)

*Semcons verksamhet i världen*. [elektronisk bild] Göteborg: Semcon

Stanton, N.A. (2006) Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions, *Applied Ergonomics*, vol. 37, ss. 55-79.

*Spaceclaim* – Early Concept Design For product Design and Development (2016)  
<http://www.spaceclaim.com/en/Solutions/Design/ConceptModeling.aspx> (2016-05-10)

*Tebis* – Tebis Version 4.0 Release 1 (2015)  
[http://www.tebis.com/ecomaXL/files/en\\_ca\\_Tebis\\_V40\\_R1\\_A4\\_2015.pdf](http://www.tebis.com/ecomaXL/files/en_ca_Tebis_V40_R1_A4_2015.pdf) (2016-05-10)

Tobler, R.F., och Maierhofer S. (2006) A mesh data structure for rendering and subdivision

Um, D. (2016) Introduction to CAD I *Solid Modeling and Applications: Rapid Prototyping, CAD and CAE Theory*. Cham: Springer International Publishing.

Um, D. (2016) Rapid prototyping I *Solid Modeling and Applications: Rapid Prototyping, CAD and CAE Theory*. Cham: Springer International Publishing.

Wilson, C. (2014) *Interview techniques for UX practitioners: a user-centered design method*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.

## Bilaga A – Intervjuunderlag: Ingenjörer på Semcon

<b>Intervjuunderlag</b>		
<b>Aktivitet</b>	<b>Frågor</b>	<b>ca Tid</b>
Introduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentation av mig själv</li> <li>• Beskriv målet med examensarbetet</li> <li>• Förklara syftet med intervjun</li> <li>• Fråga om det är acceptabelt att spela in intervjun</li> </ul>	10 min
Ämnen	<p><b>Ämne 1: Bakgrund</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vad är din titel och dina ansvarsområden på Semcon?</li> <li>• Hur länge har du arbetat i CAD-program?</li> </ul> <p><b>Ämne 2: Produkt och lokal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilka produkter är eller skulle kunna vara ämnade för RE?</li> <li>• Vilka lokaler eller delar i lokaler är eller skulle kunna vara ämnade för RE?</li> </ul> <p><b>Ämne 3: Krav och önskemål på process</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan du rangordna tre CAD-program som du föredrar att arbeta i?</li> <li>• Har du arbetat i någon programvara/insticksmodul där du hanterat 3D-skannad data? I så fall, vilka/vilket? Hur upplevde du gränssnittet och arbetsgången?</li> <li>• Har du hört talas om programvara/insticksmodul som kan utföra RE framgångsrikt?(för produkt, lokal eller för både produkt och lokal)</li> <li>• Vilka krav och önskemål anser du bör ställas på processen? (Förklarar enkät för deltagare och fyller i den tillsammans med deltagare)</li> </ul>	30 min
Följdfrågor och diskussion	Följdfrågor och diskussion kring frågorna med deltagaren	15 min
Avslutande kommentarer		5 min

## Bilaga B – Intervjuunderlag: Externa företag

<b>Intervjuunderlag</b>		
<b>Aktivitet</b>	<b>Frågor</b>	<b>ca Tid</b>
Introduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentation av mig själv</li> <li>• Beskriv målet med examensarbetet</li> <li>• Förklara syftet med intervjun</li> <li>• Fråga om det är acceptabelt att spela in intervjun</li> </ul>	10 min
Ämnen	<p><b>Ämne 1: Bakgrund</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilket företag arbetar du på?</li> <li>• Vad är din titel och dina ansvarsområden på företaget?</li> <li>• Hur länge har du arbetat i RE-program/CAD-program?</li> </ul> <p><b>Ämne 2: Produkt och lokal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilka produkter är eller skulle kunna vara ämnade för användning av RE?</li> <li>• Vilka lokaler eller delar i lokaler är eller skulle kunna vara ämnade för användning av RE?</li> </ul> <p><b>Ämne 3: Krav och önskemål på process</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kan du rangordna tre CAD-program som du föredrar att arbeta i?</li> <li>• Har du arbetat i någon programvara/insticksmodul där du hanterat scan-data? I så fall, vilka/vilket? Hur upplevde du gränssnittet och arbetsgången?</li> <li>• Har du hört talas om någon programvara/insticksmodul som kan utföra RE på ett framgångsrikt sätt?</li> </ul>	30 min
Följdfrågor och diskussion	Följdfrågor och diskussion kring frågorna med deltagaren	15 min
Avslutande kommentarer		5 min

## Bilaga C – Intervjuunderlag: Programvarutillverkare/-leverantörer

<b>Intervjuunderlag</b>		
<b>Aktivitet</b>	<b>Frågor</b>	<b>ca Tid</b>
Introduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentation av mig själv</li> <li>• Beskriv målet med examensarbetet</li> <li>• Förklara syftet med intervjun</li> <li>• Fråga om det är acceptabelt att spela in intervjun</li> </ul>	10 min
Strukturerade ämnen	<p><b>Ämne 1: Bakgrund</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilket företag arbetar du på?</li> <li>• Vad är din titel och dina ansvarsområden på företaget?</li> <li>• Hur länge har du arbetat på företaget?</li> <li>• Hur länge har du arbetat i RE-program/CAD-program?</li> </ul> <p><b>Ämne 2: Produkt och lokal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilka produkter är eller skulle kunna vara ämnade för användning av RE?</li> <li>• Vilka lokaler eller delar i lokaler är eller skulle kunna vara ämnade för användning av RE?</li> </ul> <p><b>Ämne 3: Programvara</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vilken av er programvara/insticksmodul hanterar scan-data från lokal(större mängd data) framgångsrikast?(med avseende på tid, möda och uppfyllande av behov)</li> <li>• Vilken av er programvara/insticksmodul hanterar scan-data från produkt(mindre mängd data) framgångsrikast?(med avseende på tid, möda och uppfyllande av behov)</li> <li>• Vilken av er programvara/insticksmodul hanterar scan-data från produkt och lokal framgångsrikast?(med avseende på tid, möda och uppfyllande av behov)</li> </ul>	30 min
Följdfrågor och diskussion	Följdfrågor och diskussion kring frågorna med deltagaren	15 min
Avslutande kommentarer		5 min



# Bilaga D – Processpecifikation

## Del 1

<b>Processpecifikation</b>		
Nr	Kriterium	Krav = K Önskemål = Ö
1	Process ska kunna konvertera punktmoln(för lokal) och mesh(för produkt) till CAD-solid	K
2	Process ska frambringa en CAD-solid som ska addera ett så litet fel som möjligt vid utförande av test	Ö,5
3	Programvara ska följa <i>IS/IT Guidelines and directives</i> , bl.a. annat att programvara ska vara laglig att använda	K
4	Process ska ej använda programvara som Semcon för tillfället inte har licens för	Ö, 1
5	Process ska bestå av samma programvara eller kombination av programvaror för både produkt och lokal	Ö, 2
6	Programvara ska ej krascha vid utförande av test	Ö, 4
7	Tidåtgång för process ska vara så liten som möjligt vid utförande av test	Ö, 5
8	Programvara ska ha ett lättförståeligt gränssnitt	Ö, 4
9	Programvara ska vara enkel att lära sig	Ö, 4
10	Support till programvara ska finnas tillgänglig	Ö, 4
11	Process ska kräva maximalt tre programvaror, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk ReCap	K
12	Process ska kräva maximalt en programvara, exklusive programvara som hanterar rådata från 3D-skanner, d.v.s. Faro Scene och Autodesk ReCap	Ö, 4
13	Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera produkt eller lokal i filformaten stp, igs och stl	K
14	Sista programvara i processen ska kunna spara/exportera produkt eller lokal i filformaten ply, obj, CATpart(Catia), ipt(Inventor), slpprt(SolidWorks), prt(Creo) och dwg(AutoCAD)	Ö,3
15	Första programvara i processen ska kunna öppna/importera filformaten e57, xyz eller pts (för lokal) och filformatet stl(för produkt)	K
16	Programvara ska kunna hantera så många punkter som möjligt vid utförande av test(för lokal)	Ö,3
17	Programvara ska ladda så lite som möjligt vid utförande av test	Ö,4
18	Support ska finnas i programvara	Ö,3
19	Få med features vid export av data, d.v.s. kunna ändra parametrar i programvara efter processen	Ö,5
20	Kunna avbryta kommando ifall exekvering av kommando tar lång tid	Ö,3
21	Programvara ska ge förslag på beteckning på balkar och rör(för lokal)	Ö,3
22	Programvara ska visa hur långt kommando kommit då kommandot exekveras	Ö, 3

# Bilaga D – Processspecifikation

## Del 2

---

<b>PDS-kategori</b>	<b>Intressent</b>
Prestanda	Semcon
Prestanda/Kvalité och trovärdighet	Semcon, Konstruktörer på avdelningen
Legitimitet	IT-avdelningen
Process	Konstruktörer på avdelningen
Process	Konstruktörer på avdelningen
Prestanda/Tid/Ergonomi/Kvalité och trovärdighet	Konstruktörer på avdelningen
Process/Prestanda/Tid	Semcon, Konstruktörer på avdelningen
Ergonomi	Konstruktörer på avdelningen
Ergonomi	Konstruktörer på avdelningen
Support	Programvarutillverkare/-leverantör
Process	Konstruktörer på avdelningen
Process	Konstruktörer på avdelningen
Process/Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Process/Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Process/Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Prestanda/Tid/Ergonomi	Konstruktörer på avdelningen
Support	Programvarutillverkare/-leverantör
Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Prestanda	Konstruktörer på avdelningen
Ergonomi	Konstruktörer på avdelningen

# Bilaga D – Processpecifikation

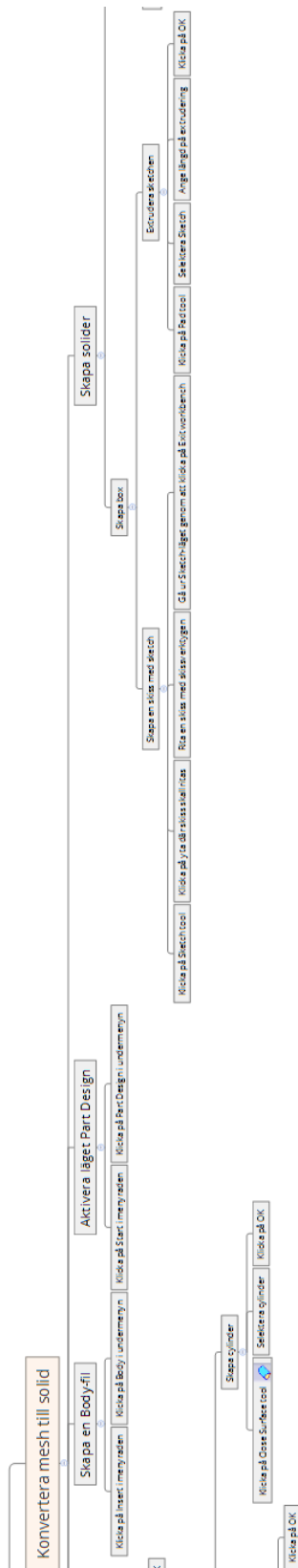
## Del 3

<b>Verifieringsmetod</b>
Kontakt med programvaruleverantör, Demonstration från programvaruleverantör eller extern aktör, Egna tester
GOM Inspect, CloudCompare
Kontakt med programvaruleverantör, Läsa i licensavtal, Processgenerering
Kontakt med IT-avdelningen, Processgenerering
Kontakt med externa företag, Processgenerering
Egna tester
Egna tester
Egna tester
Egna tester
Kontakt med programvaruleverantör
Processgenerering
Processgenerering
Egna tester
Egna tester
Egna tester
Kontakt med programvaruleverantör, Demonstration från programvaruleverantör eller extern aktör, Egna tester
Kontakt med programvaruleverantör, Demonstration från programvaruleverantör eller extern aktör, Egna tester
Egna tester
Egna tester
Egna tester
Kontakt med programvaruleverantör, Demonstration från programvaruleverantör eller extern aktör, Egna tester
Egna tester

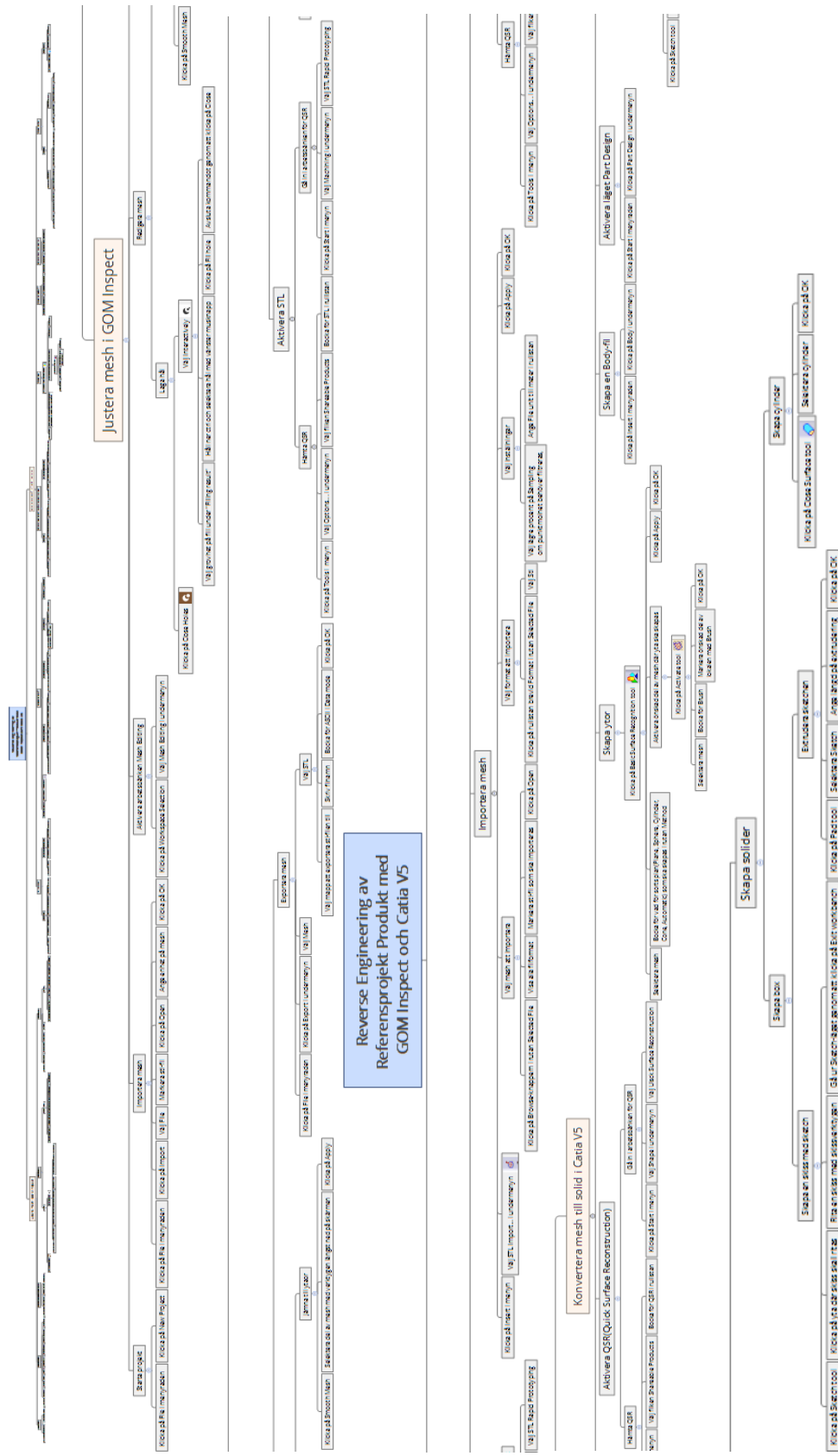


# Bilaga E – HTA: Referens lokal

## Del 2



# Bilaga F – HTA: Referens produkt









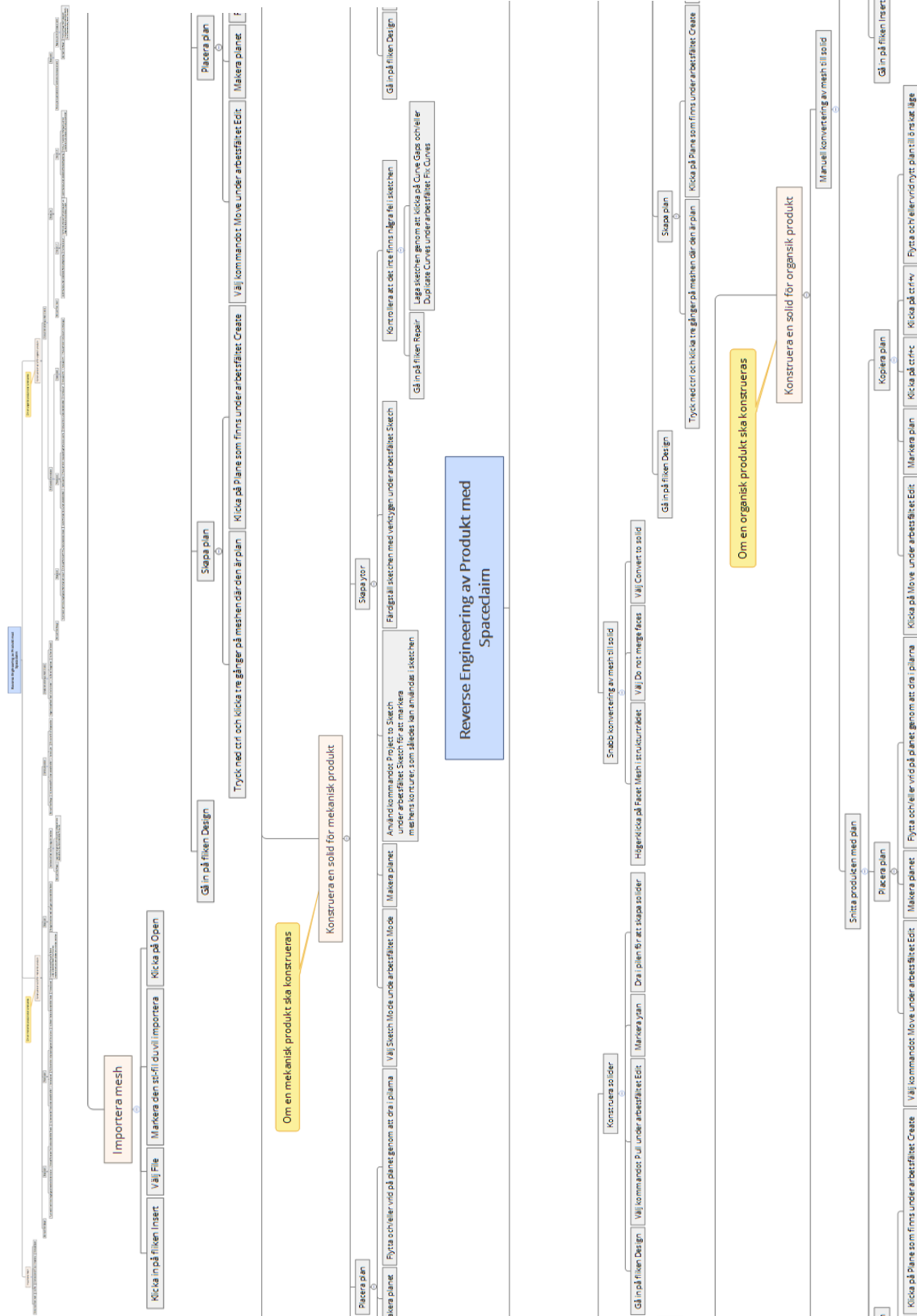






# Bilaga J – HTA: Spaceclaim

## Del 1



# Bilaga J – HTA: Spaceclaim

## Del 2

