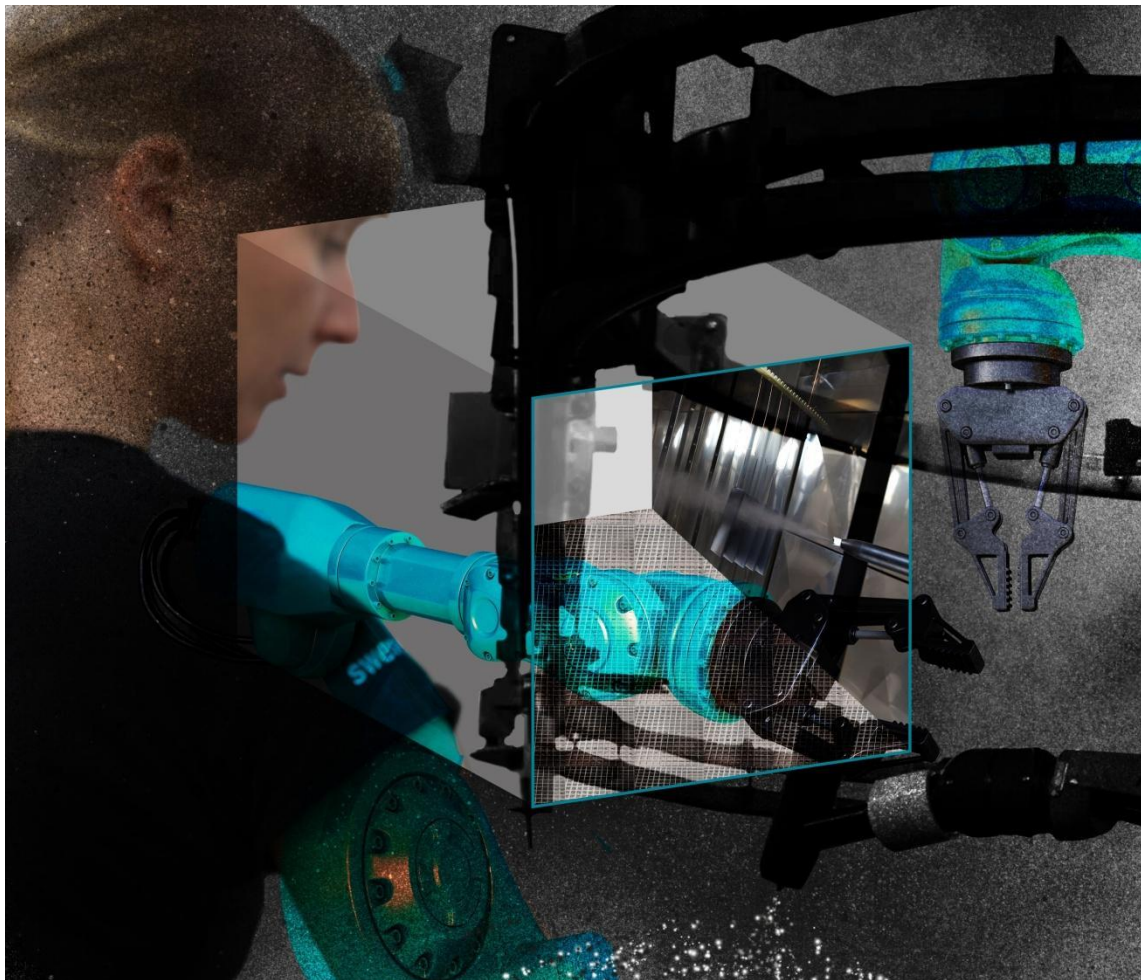




# CHALMERS



## Upp- och nedhängning med hjälp av en kollaborativ robot

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Alexander Svensson

Kevin Wedin

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik

# Upp- och nedhängning med hjälp av kollaborativ robot

Alexander Svensson  
Kevin Wedin



**CHALMERS**

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
*Avdelningen för Produktionssystem*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA Göteborg, 2019

Upp- och nedhängning med hjälp av en kollaborativ robot  
ALEXANDER SVENSSON  
KEVIN WEDIN

© Alexander Svensson, Kevin Wedin, Sverige 2019

Examensarbete 2019  
Institutionen för Industri- och materialvetenskap Avdelningen för Produktionssystem  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon +46 31 772 1000

Handledare: Magnus Åkerman, Institutionen för industri- och materialvetenskap  
Handledare: Björn Backman, RISE IVF  
Examinator: Åsa Fasth Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Omslag: Bild från forskningsprojektet Digi-load  
Institutionen för Industri- och materialvetenskap Göteborg, Sverige 2019

## **Förord**

Denna rapport är skriven av Alexander Svensson och Kevin Wedin som en del av vårt examensarbete på högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik på Chalmers tekniska högskola i samarbete med RISE IVF under vårterminen 2019.

## **Tack till**

Vår handledare Magnus Åkerman för all bra kritik och hjälp vi fått under projektets gång. Även till RISE IVF att vi fått möjligheten att genomföra vårt examensarbete hos er. Särskilt tack till Björn Backman och Charlotte Ireholm från RISE IVF som har sett till att vi haft alla lämpliga resurser för att genomföra vårt projekt och även har fungerat som en stöttepelare under hela projektets gång.

## Sammanfattning

För att stärka Sveriges konkurrenskraft inom ytbehandling har forskningsprojektet Digi-load bildats. Forskningsprojektet går bland annat ut på att höja automationsgraden inom branschen och därigenom höja konkurrenskraften. På RISE IVF i Mölndal har en av fyra testbäddar förlagts där möjligheterna för upp- och nedhängning av detaljer med hjälp av en kollaborativ robot skall undersökas. Denna rapport syftar därför till att undersöka detta automationsmoment.

Projektet har utförts i RISE IVF:s lokaler i Mölndal. Där har projektgruppen haft tillgång till en Universal Robot UR10, kraftsensor från OnRobot, gripdon från OnRobot samt ett kamera-system från SICK. Med denna utrustning har sedan projektgruppen kunna besvara följande frågeställning: “Är det möjligt att med hjälp av en kollaborativ robot kunna automatisera upp- och nedhängning av detaljer?” samt “Vilken teknik lämpar sig för att automatisera momentet?”. Projektet har avgränsats sig till att enbart innefatta denna utrustning.

Genom ett flertal företagsbesök har en nulägesanalys genomförts och olika detaljer har inhämtats från företaget. Med dessa detaljer har sedan flera olika varianter av upp- och nedhängningsprogram simulerats och därefter utvärderats. Det viktigaste resultatet som rapporten presenterar är att det är möjligt att automatisera de efterfrågade momenten. Projektgruppen vill därför med denna rapport bidra med kunskap inom ämnet, vilket underlättar för företaget att öka automationsgraden för liknande moment.

## **Abstract**

To strengthen Sweden's competitiveness in surface treatment, the research project Digi-load has been formed. The research project is aimed at increasing the level of automation in the industry and thereby increasing competitiveness. At RISE IVF in Mölndal, one of four test beds have been placed where the possibilities for hanging details with the help of a collaborative robot are to be examined. This report is therefore aimed at examining this automation step.

The project has been performed in RISE IVF's premises in Mölndal. There, the project team had access to a Universal Robot UR10, force/torque sensor from OnRobot, gripper from OnRobot and a vision system from SICK. With this equipment, the project team has been able to answer the following questions: "Is it possible to use a collaborative robot to automate hanging of parts?" and "What technology is suitable for automating this specific moment?". The project has been limited to the inclusion of this equipment.

Through several company visits, an analysis of the market has been carried out and various details have been obtained from companies. With these details then several different variants of hanging have been simulated and then evaluated. The main result presented by this report is that it is possible, to automate the requested elements. The project team therefore wants to contribute with knowledge in the subject with this report, which will make it easier for companies to increase the level of automation for similar operations.

# Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål .....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
1.4 Precisering av frågeställningen.....	2
2. Metod .....	3
2.1 Marknadsanalys.....	3
2.2 Fallstudier .....	3
2.2.1 Studiebesök.....	3
2.2.2 Semistrukturerade intervjuer .....	4
2.3 HTA.....	4
2.4 Robotimplementering.....	4
3. Teoretisk referensram .....	6
3.1 Automation .....	6
3.1.1 Förtroende till automation .....	7
3.2 Kollaborativa robotar .....	8
3.2.1 Universal Robots.....	8
3.3 Inbyggda funktioner i UR10 .....	9
3.3.1 Mönster-funktionen.....	9
3.4 Gripdon .....	9
3.4.1 RG6 .....	10
3.5 Skena.....	10
3.6 “AGV” .....	10
3.7 Sensorer.....	10
3.8 Kameranystem .....	11
3.8.1 Definiera detaljens geometri i kamerans mjukvara .....	12
3.8.2 “MoveToCamPos” .....	13
3.9 Kraftsensorer .....	13
3.9.1 F/T-Flytta.....	14
3.9.2 F/T-Mitten.....	14
3.9.3 F/T-Spår .....	14
3.10 Säkerhet .....	15
3.11 Material för 3D-utskrift .....	15

<b>4. Resultat</b> .....	17
<b>4.1 Marknadsanalys</b> .....	17
<b>4.2 Fallstudie Bodycote</b> .....	17
4.2.1 Detalj 1 .....	18
4.2.2 Detalj 2 .....	19
<b>4.3 Fallstudie EI-yta</b> .....	19
4.3.1 Detalj 3 .....	19
<b>4.4 Arbetsgången vid upp- och nedhängning av detaljer i nuläget</b> .....	20
4.4.1 Arbetsgång upphängning.....	21
4.4.2 Arbetsgång nedhängning.....	21
<b>4.5 Robotimplementering</b> .....	22
4.5.1 Konstruera en arbetsstation.....	22
4.5.2 Fastställa detaljens position .....	24
4.5.3 Fingrar till detalj 1 från Bodycote.....	25
4.5.4 Fingrar till detalj 2 från Bodycote.....	25
4.5.5 Fingrar till detalj 3 från EI-yta .....	26
<b>4.6 Upphängningsimplementering</b> .....	26
4.6.1 Definiera detaljens geometri i kamerasytemets mjukvara .....	26
4.6.2 Definiera detalj 1 .....	27
4.6.3 Greppa detalj med gripdon.....	27
4.6.4 Tre olika program för upphängning.....	28
<b>4.7 Nedhängningsimplementering</b> .....	29
4.7.1 Placera gripdonet utefter de positionerna som krokarna har .....	30
4.7.2 Identifiera detalj med kraftsensor och greppa .....	30
4.7.3 Placera detaljerna utefter de förprogrammerade positionerna i pallen.....	30
<b>5. Diskussion</b> .....	32
5.1 Fastställa krokarnas position.....	32
5.2 Flexibilitet för arbetsstation .....	32
5.3 Kamerasystem .....	33
5.4 Val av utrustning.....	33
5.5 Robotimplementering .....	34
5.5 Påverkan på företagets nuvarande situation .....	35
6.1 Svar på frågeställning .....	37
6.2 Fortsatt arbete .....	37
<b>7. Källförteckning</b> .....	38





## **Beteckningar**

Tvärstag - Den stång med krokar på som finns applicerad på en lackeringsram.

Strömledare - Den del av lackeringsramen som håller upp alla rader av tvärstag.

HTA - Hierarkisk uppgiftsanalys

CAD - Computer aided design

ISO - Internationella standardiseringsorganisationen.

Cobot - Kollaborativ robot.

F/T-sensor - Force/Torque- sensor.

AGV - Automated guided vehicle.

Legotillverkare - Ett företag som tillverkar eller bearbetar produkter på uppdrag av ett annat företag.

Programmeringsträd - Kodningen binds ihop och byggs vidare i lodrät led som ett träd.

Kamerasystem - Den kamera som ger en robot möjlighet att känna igen geometri.

Rummet - Det tredimensionella området som roboten kan röra sig i.

Pendant - En kontrollenhet från där man styr roboten.

Helautomation - Ett arbetsmoment som helt automatiseras direkt.

Automation av Delsystem - Utför delar av en helautomation.

# 1. Inledning

Detta kapitel kommer introducera bakgrund och projektets syfte, men även beröra dess frågeställningar och avgränsningar.

## 1.1 Bakgrund

I Sverige finns det drygt 400 stycken företag som utför ytbehandling. Branschen är mycket hårt konkurrensutsatt av låglöneländer. Projektet Digi-load undersöker möjligheten att med hjälp av att höja automationsgraden på det mest personalkrävande momenten. Kunna sänka personalkostnaden och stärka Sveriges konkurrenskraft [1].

Ytbehandlingsföretagen som är involverade i Digi-load har observerat att momenten som cirkulerar kring upp- och nedhängningen av detaljer är de mest personalkrävande, och kan ta upp till 60 % av produktionspersonalen i anspråk. Mot bakgrund av detta kommer RISE IVF undersöka möjligheterna att med hjälp av en kollaborativ robot kunna automatisera detta moment. Då flera av företagen är så kallade legotillverkare med upp till 2000 stycken olika produkter att hantera, är flexibiliteten väldigt viktig för dessa företag. För att inte ta upp ett för stort utrymme, som är fallet med en inhägnad industrirobot, är tanken att upp- och nedhängning skall ske med hjälp av en kollaborativ robot. Dessa robotar är framtagna för att hantera längre produktionsvolymmer och en större blandning av applikationer. Deras design är mer anpassad för en flexibel tillverkningsmiljö och kan enkelt flyttas från ett jobb till ett annat [2]. Roboten är tänkt att utrustas med ett kamerasystem, en kraftsensor och ett gripdon. Den skall därefter placeras på en vagn. Detta för att på ett enkelt sätt placera och omplacera roboten till de stationer där den behövs.

Pionjärerna inom marknaden för kollaborativa robotar är företaget Universal Robots. Universal Robots står för cirka 60 % av marknaden när det gäller kollaborativa robotar och har under 2016 infört Universal Robots+, vilket tillåter företagets robotar att samarbeta med tredjepartsutvecklades produkter, såsom sensorer, kamerasystem, gripdon och annan programvara. BIS Research som utför marknadsundersökningar och forskning inom teknikens trender, har tagit fram att Universal Robots har en global andel på 60 % för alla cobots. [3]

Examensarbetet går även ut på att undersöka vad för typ av teknik som lämpar sig för denna typ av automation. Detta är något som är viktigt för projektet för att se vilka möjligheter som finns, förutom den teknik som redan valts. Utrustning och forskning kring detta är något som ständigt uppdateras, vilket gör att produkter med bättre specifika delar kommer alltid att finnas tillgänglig. Trots detta kommer ett paket med flera olika tekniker sättas samman för att illustrera vad som lämpas bäst för automatisering av upp- och nedhängningsmomentet. Uppdraget som projektgruppen erhållit av RISE IVF är att i första hand undersöka möjligheten att med den utrustning som de tillhandahåller, automatisera upp- och nedhängning.

## 1.2 Syfte och mål

Projektet Digi-load har för syfte att öka automationsgraden inom ytbehandlingsindustrin, vilket examensarbetet berör genom att automatisera upp- och nedhängning av detaljer.

Målet med examensarbetet är att undersöka möjligheten att utföra upp- och nedhängning med hjälp av en kollaborativ robot. Utöver detta utförs en undersökning kring annan möjlig teknik vilket kan utveckla den befintliga lösningen av detta moment.

## 1.3 Avgränsningar

- Projektet avgränsar sig till en kollaborativa robot, Universal Robots UR10, kraftsensor från OnRobot, RG6 Gripdon från OnRobot, kamerasystem PIM60 från SICK och ram från Epifatech.
- Projektet undersöker tre stycken detaljer som erhålls från två stycken företag som är delaktiga i Digi-load.
- Projektet förutsätter att de krokarna som sitter på tvärstagen inte är defekta.
- Projektet förutsätter att alla detaljer ligger med samma sida upp när de kommer in i sina pallar.

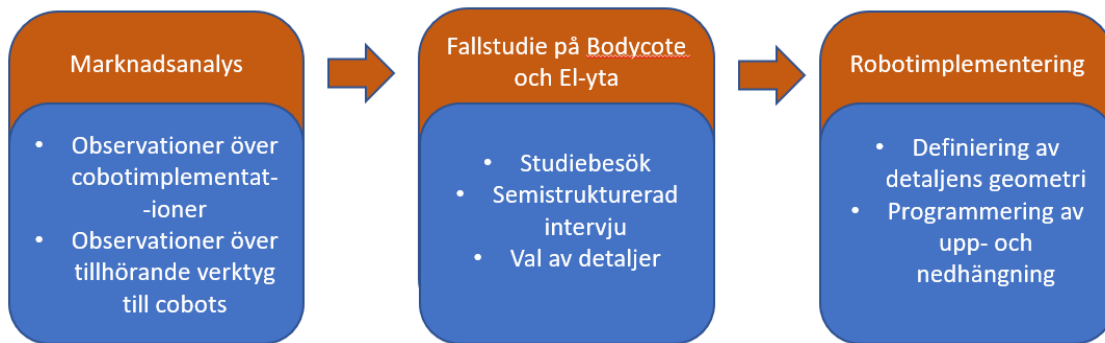
## 1.4 Precisering av frågeställningen

Rapporten strävar efter att ge svar på frågeställningarna som redovisas nedan.

- *Är det möjligt att med hjälp av en kollaborativ robot kunna automatisera upp- och nedhängning av detaljer?*
- *Vilken teknik lämpar sig för att automatisera momentet?*

## 2. Metod

Denna del presenterar projektets upplägg samt tillvägagångssätt. Genom en marknadsanalys kan fallstudier utföras på de företag som är involverade i Digi-Load. Av informationen som fås från fallstudierna kan en robotimplementering utföras. Denna robotimplementering involverar en automation av arbetsmomenten, vilka skall ersättas.



*Figur 2.1* Relationer mellan genomförandets olika uppgifter. Här utförs en robotimplementering av detaljer från fallstudierna som utförs.

### 2.1 Marknadsanalys

För att få en heltäckande bild över vad som tidigare har gjorts inom området utförs en marknadsanalys. Detta för att inhämta nödvändig information kring hur den nuvarande marknaden ser ut för ytbehandlare gällande upp- och nedhängning av detaljer. Marknadsanalysen kommer även undersöka liknande projekt med olika typer av robotimplementeringar. Även vad det finns för olika robotar med tillhörande kamera- och kraftsensordata. Marknadsanalysen kommer genomföras genom internet-sökningar för att finna relevanta vetenskapliga artiklar och teori till projektet.

### 2.2 Fallstudier

För att på ett tydligt sätt kunna visa på hur en upp- och nedhängning kan utföras med hjälp av en cobot kommer examensarbetet byggas upp runt olika fallstudier. En fallstudie är en kunskapsdrivande process kring företagets lösning av arbetsmomenten, samt ett resultat av lärandet inom dess utförande [4]. Fallstudie är en vanlig typ av kvalitativ undersökning [5]. De olika detaljerna vilka är involverade i företagen, kommer noga väljas ut från den information som fås från de observationer, studiebesök samt semistrukturerade intervjuer som utförs. Varje fallstudie kommer bidra med information kring en eller flera detaljer, vilka företagen har som mål att automatisera dess upp- och nedhängningsmoment.

#### 2.2.1 Studiebesök

I projektets startfas kommer det genomföras ett antal företagsbesök på några av de involverade företagen i Digi-load. Detta för att få en bättre överblick över hur nuläget ser ut och få en klarare bild över målet med projektet. En viktig del av studiebesöken kommer vara att observera vilka produkter som lämpar sig för den typ av automatisering som skall utföras, samt

om omgivningen för dennes upp- och nedhängning lämpas för implementationen. I den utsträckning det är möjligt kommer produkter tas med från företagen.

### **2.2.2 Semistrukturerade intervjuer**

Genom semistrukturerade intervjuer erhålls den typ av information som är väsentlig för projektet, men även har utrymme till eventuella följdfrågor. Detta då en semistrukturerad intervju består flertalet grundfrågor, vilka skall besvaras, men utrymme för följdfrågor finns. Det viktigaste är att det mål vilket intervjuaren sätter uppnås under intervjun. Vägen till detta mål är olika beroende på vilka som intervjuas och vilken väg följdfrågorna tar. Semistrukturerad intervju är inte lämplig för storskaliga studier, utan används lämpligast för småskaliga studier, vilket en fallstudie är. [6] Grunden i denna semistrukturerade intervju ligger på tre olika rubriker, bestående av: "Produkter", "Ramar" samt "Automatisering" [se bilaga A]. Från detta fås en snabb överblick hur skillnaderna mellan företagen ser ut på materiell nivå. Detta är också ett bra sätt som minner om företagens situation vid arbete med fallstudierna. För att få en klarare bild av företagen kommer intervjuer genomföras med personal på arbetsplatsen.

### **2.3 HTA**

HTA är en förkortning av hierarkisk uppgiftsanalys och innebär att en produkt bryts ner i arbetsstationer, operationer och arbetsuppgifter. Att utföra en HTA är ett bra första steg i en automationsanalys då det på ett tydligt sätt framgår vilka uppgifter som skall utföras på de olika arbetsstationerna. [7]

Formen på en HTA liknar ett träd-diagram, där arbetsstationerna innehåller vissa operationer och operationerna innehåller arbetsuppgifter. I träd-diagrammet kan därför en arbetsgång följas genom att läsa av varje gren som är uppbyggd i hierarkisk och kronologisk ordning. Följd-ordningen är kronologisk och går från vänster till höger i diagrammet. Hierarkisk uppgiftsanalys ligger till grund för att avgöra komplexiteten av en operation. Detta görs genom att analysera dess bredd och djup. [7]

Från den representation vilket HTA:n utgör underlättar för att peka ut vilka delmål som är problematiska eller har behov av omstrukturering. Genom att lyfta dessa dessa problem möjliggörs att förbättra hela processen. [8]

Ett tydligt exempel på detta illustreras i figur 4.5, vilket beskriver arbetsgången gällande förberedning för upphängning.

### **2.4 Robotimplementering**

För att en robotimplementering skall vara möjlig krävs det bland annat en viss typ av utrustning. Den kollaborativa robot som projektet innefattar är som nämnt tidigare utrustad med gripdon, kraftsensor och ett kamerasystem. Denna utrustning behöver justeras och programmeras för att kunna användas på korrekt sätt. Robotens olika funktioner tillsammans med de olika tillbehör som den är utrustad med gör att en robotimplementering kan utföras på flera

olika sätt. Projektet kommer därför handla om att testa olika infallsvinklar och funktioner för att utvärdera på vilket sätt en upp- och nedhängning av detaljer kan utföras.

### 3. Teoretisk referensram

Nedan kommer eventuella begrepp, programvaror och olika beståndsdelar i projektet att redovisas. Detta för att läsaren av rapporten skall kunna läsa och tolka resultat och diskussion på rätt sätt.

#### 3.1 Automation

Det klassiska målet med en automation är att ersätta det manuella arbetet, planering och problemlösning med hjälp av datorer eller annat automatiserad teknik [9]. Definitionen av automation är när en maskin utför en funktion som tidigare utfördes av en människa. Vad som anses att vara automation kommer med tiden att förändras. När implementationen av maskinen är permanent och omfördelning av funktionen har flyttats från människa till maskin. Då kommer arbetsmomentet så småningom ses som en maskinoperation och inte en automation[10].

En lyckad automation är svår att uppnå om inte dess design och arbetsmoment utvärderas i ett tidigt stadie. De är dessa två punkter som ofta är bristfälliga eller saknas helt vid ett misslyckat automationsprojekt. Det är viktigt att vara uppdaterad vid alla eventuella förändringar som sker under projektets gång. Om problem åskådliggörs i ett tidigt stadie kan effektivitetsgraden av automatiseringens olika delar snabbare behandlas och lösas. Vid avancerade automationssystem kan ett tidigt missat problem ha stor påverkan och kan i många fall ge en följetong av andra problem. [11]

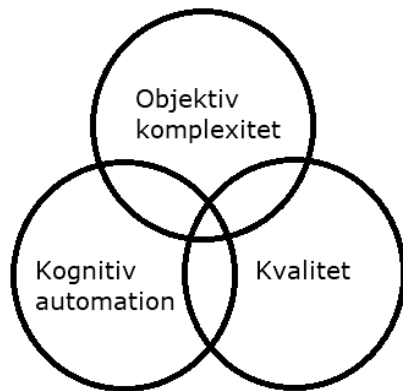
En viktig punkt att veta är vilken nivå företaget vill lägga sin automation på. Då helautomatiserade moment oftast innebär mer avancerade lösningar än mindre delsystem som automatiseras, där människan är mer involverad på något plan. Automationer av delsystem är också en bra början för något som i senare skede skall övergå till något helautomatiserat. [11]

Det finns flera olika typer av strategier gällande hantering av automation, som med fördel kan användas beroende på vilken situation som företaget är i. Sådan typ av automation kan vara den som är baserad på kvalitet. Stora kostnader för företagen kan uppstå vid bristande kvalitet på komponent eller slutprodukt. Dess påverkan på den totala kostnaden kan uppgå till procentsatser mellan 20 och 30 procent. Många företag valde på 1980-talet att certifiera sig enligt en standard som heter ISO 9000, som är en kvalitetsstandard. Standarden satte som krav på företagen att implementera kvalitetssystem. Ett sådant kvalitetssystem innefattar regler och metoder för hur kvalitetssäkring och ledning till denna kvalitet kommer bedrivas i företaget. [7] Nu finns en ny standard vid namn ISO 9001: 2015, som är en uppdatering av ISO 9000 standard och används i dagens industri [12].

Figur 3.1 illustrerar hur objektiv komplexitet och kognitiv automation påverkar kvalitet och varandra. Den objektiva komplexiteten beror på hur många produktvarianter som finns på en arbetsstation. Mätvärdet som den objektiva komplexiteten baseras på är den sannolikhet för hur omfattande slump och osäkerhet som innefattas i operatörens val. [7]



Kognitiv automation är huruvida information kring monteringsmomentet finns för de involverade produkterna i undersökningen. Resultat finns på att hela 60 % av de uppgifter operatörerna utförde, använde de endast deras erfarenhet för att lösas uppgifterna och inte extern information. Kognitiv automation kan då vara lösningen för att motarbeta svårigheterna vid en produktion med hög varians på produkter. [7]



*Figur 3.1* Exempel på relation mellan objektiv komplexitet, kvalitet och kognitiv automation [Smart Automation, Fast-Berglund. Å och Mattson S, 2017, s.90].

### 3.1.1 Förtroende till automation

Automation är ett sätt att överföra ny eller gammal teknologi till arbete. Under teknologins utveckling överförs allt mer arbete från manuellt till automatiserat. Automation är en bra lösning för repetitiva och återkommande arbetsmoment. Men ny teknologi ger nu möjlighet att översätta mer flexibla arbetsmoment till automatiserade. Exempel på sådan teknologi berörs nedan under följande rubriker. [13]

Förtroende är något som alltid kommer vara en viktig faktor att ta med i beräkningen vid stora förändringar i en organisation eller företag. Automatisering är en sådan typ av förändring. Detta då förändringar sker när flera arbetsposter tillkommer såsom övervakning av system, underhåll och konstruering av den nya automationen. Sedan kommer även flera arbetspositioner försvinna när automatiseringen är utförd. [13]

Operatörernas inställning till automation påverkar hur de använder dess funktioner. Inställningen till automation styrs ofta av antingen tillförlitligheten eller dess noggrannhet. Till exempel tenderar äldre personer att inte använda bankomater i samma utsträckning som den yngre generationen på grund av dess mer generella negativa syn på datateknik. Den äldre generationen tenderar till att föredra social interaktion istället. Attityden mot automation varierar kraftig mellan person till person. En viktig del i att förstå människors användning av automation är att lära sig förstå denna attityd och vad som driver en positiv- och negativ attityd.[10]

Förtroende är något som uppnås då förväntan angående beteende och resultat under automatiseringens gång överensstämmer med det slutgiltiga resultatet. Detta betyder att förtroende för sådana förändringar har en koppling med förväntan eller attityd gentemot sannolikheten för ett lyckat resultat. [13]

## 3.2 Kollaborativa robotar

Industrirobot har en lång historia inom tillverkningsindustrin. Utformade för att bland annat öka produktiviteten inom ett företag genom att automatisera ett visst arbetsmoment. Det vanliga förfarandet med en industrirobot är att en ingenjör förprogrammerar en robot och sedan tar och bygger in den innanför säkerhetsgaller, för således undvika att fysisk kontakt skall kunna ske mellan människa och robot. Med andra ord är en traditionell industrirobot utformad för statiska miljöer. För att kunna möjliggöra en mer flexibel och användarvänlig robot behöver samspelet mellan robot och människa bli betydligt bättre. [14]

Under de senaste åren har stora forskningsinsatser gjorts för att möjliggöra kollaborativa robotceller där människa och robot arbetar sida vid sida. Det är ett resultat av att försöka uppnå hög produktanpassning genom att implementera flexibla och anpassningsbara produktionssystem. Dessa produktionssystem skall vara enkla att anpassa efter produkt och partistorlek. Synergieffekter av en robots precision, repeterbarhet och styrka tillsammans med en människas intelligens och flexibilitet har visats sig mycket god. Framförallt när det gäller småskalig produktion där flexibilitet är väldigt viktig. [15]

### 3.2.1 Universal Robots

Företaget grundades av tre stycken studiekamrater vid det danska universitetet i Odense. De ville skapa en robot som var enkel att installera och programmera. De hade analyserat marknaden och såg hur tunga, dyra och svårhanterliga robotar dominerade marknaden. De såg att det fanns en marknad för mer användarvänliga robotar. År 2005 grundar de företaget med målet att tillverka robotteknik till små- och medelstora företag [16]. Deras första robot introduceras tre år senare. En UR5-robot med en lyftkapacitet på fem kilogram och en räckvidd på 850 millimeter [17]. Det dröjde fram till år 2012 till de introducerade en större robot, UR10, med en lyftkapacitet på tio kilogram och en räckvidd på 1300 millimeter [17]. Detta var den första industriella robot som säkert kunde arbeta sida vid sida med de anställda. Idag är företaget fortfarande marknadsledande inom sitt segment och har fler sålda kollaborativa robotar än alla sina konkurrenter tillsammans [18].

UR+ är en produktplattform skapad av Universal Robots, som tillåter andra industriledande produkter att samarbeta med dess robotar. Produkterna testas och godkänns av Universal Robots med målet att samarbetet av produkterna får en snabb driftsättning, tillförlitlig drift samt en enkel programmering. De produkter som involveras i denna produktplattform sträcker sig från gripdon, kamerasystem, kraftsensorer och andra tillbehör [19].

### 3.3 Inbyggda funktioner i UR10

Universal robots har olika funktioner inbyggda i coboten som underlättar programmeringen.

#### 3.3.1 Mönster-funktionen

Att med bestämt avstånd utföra ett frivilligt antal stopp som det finns krokar att fylla på tvärs-taget, kommer funktionen "Mönster" användas. Denna typ av mönstertillverkning kommer använda sig av UR-robotens inbyggda funktion "Mönster" i kombination med kraftsensorn från OnRobots "F/T - Sök" funktion.

Det finns flera olika varianter av mönster inom mönster-funktionen såsom "linje", "ruta", "box" samt "lista". Linje-funktionen har två hörnpunkter, ruta-funktionen har 4 hörnpunkter, box-funktionen har 8 hörnpunkter. Rörelsemönstret sker utefter förutbestämda siffror på de olika punkterna, så ordningen vilket hörnpunkterna läggs in på har stor påverkan. Detta då prioriteringen av rörelse mellan olika punkter är helt baserade på dess sifferordning. Styrenheten på roboten utför sedan en beräkning av de olika mönsterpositionerna, genom att proportionellt lägga ihop de olika kantvektorerna. Om det krävs ett oregelbundet mönster kan funktionen "lista" användas till fördel, då programmeraren kan skapa en lista med alla punkter. [20]

Vid varje stopp kommer ett program utföras som hänger upp eller plockar av detaljen i fråga. Under detta program är "F/T -Sök" funktionen som aktiveras. Denna funktion går mellan två inställda punkter med namn "F/T-Delmål". Känner kraftsensorn av en viss förinställd maxkraft, för en viss förinställd riktning är sessionen över vilket annars slutar då slutpunkten är nådd.

Det går även att utföra denna funktion i flera rader, då behövs endast det avstånd som roboten behöver förflyttas till för att utföra nästa rads upphängning. Dessa mönster-funktioner minskar programmeringsträdets längd markant, då upprepade koder annars förekommer. [21]

### 3.4 Gripdon

Det finns många olika typer av gripdon såsom vakuumbgripdon och fingerbgripdon. Dessa kan se ut på många olika sätt, som till exempel ett fingerbgripdon med tre stycken fingrar istället för två. Vakuumbgripdonen kan ha en utformning med flera stora sugproppar eller färre men som då är större. Användningsområdet skiljer då till exempel större sugproppar ger möjligheten att styra vardera sugpropp på ett lättare sätt, vilket kan vara bra då gripdonet har greppat två produkter, men endast vill släppa en av dem. [22]

Vakuumbgripdonens används främst vid paketering, då de behandlar platta produkter. Det finns även varianter som OnRobots "Gecko" gripdon som kan ta hänsyn till en platt produkt som innehåller flera hål utan problem [23]. Genom användning av vakuumbgripdon kan gripdonet på ett delikat sätt hantera ömtåliga produkter då denna typ av gripdon fördelar ut trycket över en större yta, vilket är fördelaktigt vid hantering av ömtåliga material likt glas.

Det finns flera typer av gripdon som rör sig i endast linjära riktningar, såsom gripdonet "EOA-UR3510-KGG 100-80" som med flera infästningar underlättar för skapandet av egna 3D-printade fingrar. [24]

### **3.4.1 RG6**

Den funktion som öppnar och stänger gripdonets fingrar tillkommer när OnRobot-gripdonet RG6 appliceras på coboten. Här ställs gripkraften in som gripdonet kommer utföra, samt vilket avstånd som är bäst lämpat när coboten går ner för att greppa en detalj [21].

### **3.5 Skena**

En skena är ett verktyg som tillåter en vanlig 6-axlig robot att tilldelas en extra linjär axel. Beroende på vilken vikt och hastighet roboten klarar av så kan skenans hastighet ändras, så att den robot som är placerad på skenan hanterar alla yttre krafter som tillkommer. Många robotar har dock svårt att utföra sina program när tillhörande skena är i rörelse. Det påverkar även svårigheten i programmeringen av roboten. En skena tillåter även en robot att utföra flera processer då sträckan som roboten når blir markant större. [25]

### **3.6 "AGV"**

AGV står för Automatic Guided Vehicle och används inom industrin för att med förbestämda koordinater transportera detaljer mellan stationer. Dessa stationer har ofta möjlighet att fästa AGV-bordet för att bordet skall bli fixerad. Med detta kan automatiserade hel- eller delsystem hantera produkter utan att en människa behöver ingripa. [26]

### **3.7 Sensorer**

En sensor kan definieras som en enhet som är kapabel att omvandla en fysisk icke-elektrisk indata till en elektrisk utdata och processa den till data som kan bearbetas av ett kontrollsystem, ofta bestående av en dator [27].

Robotar har blivit ett allt vanligare inslag i människans vardag och används idag i stor utsträckning inom industrin. De allra flesta robotar kan, med hög precision, repetera rörelser om och om igen med en hög hastighet. De blir heller aldrig trötta och behöver en paus. Detta gör det väldigt lämpligt att integrera en robot på arbetsuppgifter som upplevs som monotona och tråkiga. [28]

En robot har dock vissa begränsningar som behöver tas i beaktande. Vanligtvis programmeras en robot till att röra sig mellan förutbestämda punkter och utföra vissa aktiviteter. Detta går bra så länge omgivningen alltid ser ut på samma sätt. Problem uppkommer när omgivningen ser annorlunda ut från gång till gång. En robot kan betraktas som en blind och döv människa utan känsel. För att göra en robot mer flexibel och komma runt dessa begränsningar kan en robot utrustas med olika sensorer. Dessa sensorer gör så att en robot får de sinnen som

en människa besitter. Det kan till exempel bestå i en kamera för synen och en kraftsensor för känseln. [28]

Att använda sensorer tillsammans med en robot för att antingen kontrollera dem, inspektera eller verifiera en operation kan vara väldigt kostnadseffektivt inom vissa delar inom en industriautomation. Exempel på dessa områden kan vara känselsystem för att övervaka verktygets kondition, kraftsensor för monteringslinor eller kamerasystem för inspektion. Många tror att dessa sensorer kommer utgöra basen i den framtida industrin. [27]

### **3.8 Kamerasystem**

I över 30 år har människan arbetat för att kunna ge robotar ett av det viktigaste sinnet, nämligen synen. Att se är ingen enkel process, och människans syn har utvecklats i flera miljoner år för att kunna bli till den kapacitet den är idag. Idag försöker människan få robotar att göra mycket av arbetet åt dem. För enkla mekaniska uppgifter är detta inga problem. Men för mer komplexa problem behöver roboten utrustas med synen som sinne. [29]

En robot som guidas med hjälp av ett kamerasystem gör det möjligt att revolutionera en tillverkningsprocess. Genom att förbättra repeterbarheten, cykelhastighet och tillförlitligheten samtidigt som kostnader för arbetskraft minskar. Denna möjlighet har gjort att flera industrier har kunnat höja sin produktivitet och konkurrenskraft. [30]

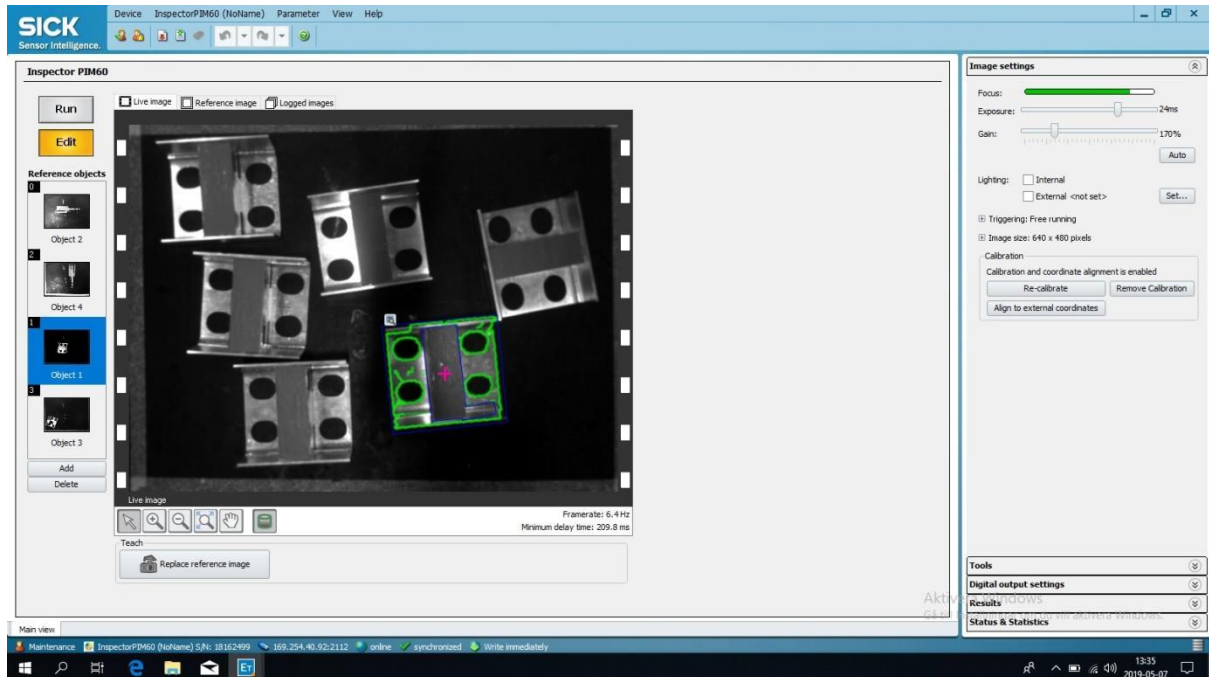
Det typiska kamerasystemet består av en kamera, dator och mjukvara. Kameratekniken går ut på att en kamera tar en bild och sedan låter mjukvara behandla och analysera den tagna bilden. Idag används tekniken i stor utsträckning när det bland annat kommer till mätning, närvarokontroll, räkna antalet komponenter, läsa text och streckkoder etc. [31]

På marknaden finns både två- och tredimensionella kamerasystem. Möjligheterna att kontrollera och identifiera form, volym och position hos produkter blir betydligt fler vid användning av tredimensionella kamerasystem. Därför väljs oftast tredimensionell lösning vid mer avancerade applikationer, istället för den mer traditionella tvådimensionella kameran. [31]

Vanliga uppgifter för en tvådimensionell kamera är att plocka detaljer från ett bord eller transportband medan tredimensionell kamera kan plocka produkter som ligger huller om buller i en pall [30]. Utan ett kamerasystem behöver detaljen som roboten skall plocka upp presentera sig på exakt samma sätt och med samma position varje gång. Att sätta upp en sådan fabrikslina är något som är väldigt kostsamt för ett företag. Att istället utrusta en robot med ett kamerasystem möjliggör för produkten att kunna presentera sig på olika sätt vilket eliminerar stopp i produktionen relaterade till att roboten missar detaljen [32].

### 3.8.1 Definiera detaljens geometri i kamerans mjukvara

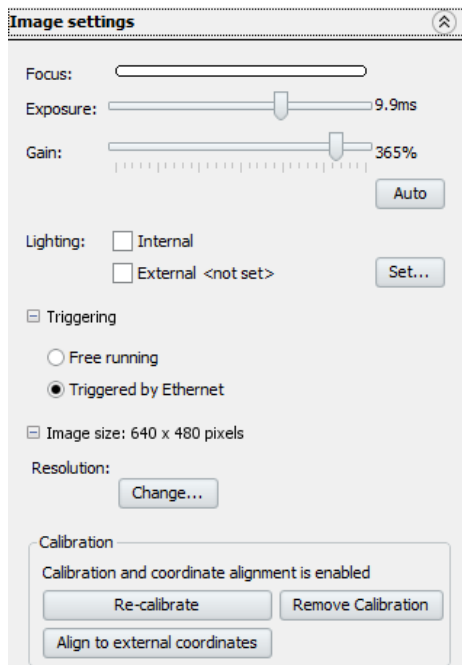
En vanligt förekommande uppgift för ett kamerasystem är objektigenkänning. I det flesta fallen används ett foto av objektet för att definiera fram en modell som kameran skall leta efter [33]. SICK använder sig av mjukvaran SOPAS Engineering Tool för denna uppgift. På bilden nedan visas hur gränssnittet ser ut.



Figur 3.2 Skärmbild från programmet SOPAS Engineering Tool [Egen bild]

De olika aktörerna när det kommer till kamerasystem har sina egna programvaror. Till exempel använder SICK mjukvaran SOPAS Engineering Tool medan Cognex, vilket är en annan leverantör av kamerateknik, använder sig av mjukvaran PatMax [34].

För att ett kamerasystem skall fungera optimalt behöver det omgivande ljuset vara jämnt och tillfredsställande. Detta är något som måste kontrolleras, utvärderas och därefter justeras beroende på vilken miljö roboten arbetar i. Ett ojämnt ljus kan påverka tillförlitligheten hos kameran. För de allra flesta miljöer som roboten kan verka inom är en extern ljuskälla att föredra [35]. Gällande SICK Inspector PIM60 går det att köra kameran i tre olika lägen. Ett läge där omgivningsljuset agerar ljuskälla. Det andra läget är ett blixtläge där integrerade led-lampor blinkar till precis när kameran tar sin bild. Det tredje läget gör det möjligt att koppla in externa lampor som mjukvaran i kamerasystemet styr över. I instruktionsboken över PIM60 skriver företaget SICK att de rekommenderar att användaren antingen använder de interna led-lamporna eller en extern ljuskälla. Detta för att upprätthålla ett robust system [36]. Dock bör "Exposure" och "Gain" justeras för att erhålla en så bra bild som möjligt. På bilden nedan visas hur menyn för "image settings" ser ut för mjukvaran SOPAS Engineering Tool.



Figur 3.3 Skärmbild av Image settings från SOPAS Engineering Tool

Under fliken “Object locator” väljs med vilken känslighet som roboten skall leta efter det specifika objektet. Det är en skala från 0-100%. Om denna känslighet sätts till cirka 80% betyder det att om kamerasystemet finner en detalj som stämmer överens med 80% eller mer kommer den sända en signal till roboten att den funnit den eftersökta detaljen.

### 3.8.2 “MoveToCamPos”

Denna funktion tillkommer vid applicering av SICK-kameran på coboten. Funktionen i sig skall startas vid den höjd som kamerasystemet kalibrerades ifrån och den höjd detaljens geometri laddades in ifrån. Startas inte funktionen från denna specifika höjd kommer kamerasystemet ha problem med att känna igen detaljerna.

I funktionen förs in vilken detalj som kamerasystemet skall leta efter. Det går alltid att dubbelkolla så rätt geometri är inmatad. Detta genom att vid installationsinställningarna välja SICK-kameran och köra “Live view” för att sedan se om kameran känner igen den geometri detaljen har.

När rätt geometri är vald så väljs sedan på vilket sätt coboten skall plocka upp detaljen. När detaljen ligger på bordet, laddas dess koordinater in. Därefter väljs den position där coboten skall plocka upp detaljen genom att röra coboten på frihand. Det är viktigt vid detta moment att detaljen i sig inte förflyttas vid inmatning av upplockningspositionen.

## 3.9 Kraftsensorer

Utöver synen har människan fler viktiga sinnen som är användbara för en robot. Att till exempel sätta på batteriluckan på en mobiltelefon är inga problem för en människa, trots att

händerna är dåliga på att gå till bestämda positioner. Istället används följsamheten och känslan för att guida batteriluckan på rätt plats. Det en kraftsensor gör är att ge roboten möjlighet att känna sig fram. Det möjliggör för roboten att klara utföra operationer som annars inte hade varit möjliga med enbart positions-kommandon. [28]

Den typ av sensor som ofta används i samband med kollaborativa robotar och dess rörelser är en sex-axlig kraftsensor, som då känner av tre stycken normalkrafter samt tre stycken momentkrafter. Dessa sex krafter kommer att registreras via sex stycken kapacitativa sensorceller. Av detta utförs sex stycken cellavläsningar vilka blir konverterade till information för kraftsensorn via kalibrering och transformation av den avlästa datan. [37]

### **3.9.1 F/T-Flytta**

Kommandot "F/T-Flytta" är en funktion som sätter gränser för hastighet och krafter för de kraftsensorfunktioner programmeraren vill använda. "F/T-Flytta" används tillsammans med "F/T Delmål", "F/T-Spår" eller "F/T-Mitten". "F/T Delmål" används för att förflytta roboten längs en fördefinierad väg medan "F/T Spår" istället förflyttar roboten längs ett fördefinierat spår. "F/T-Mitten" placerar gridonets fingrar fördelat, så sträckan mellan vardera finger och föremålet som skall plockas är densamma. Om det gränsvärde som sätts på "F/T-Flytta" uppnås under förflyttningens gång kommer rörelsen att avbrytas och en operatör behöver starta programmet igen. [21]

OnRobot skriver i sin användarmanual att det är viktigt att kommandot "F/T Nollställ" används i början av kommandon som innefattar kraftsensorn. Det "F/T Nollställ" gör är att nollställa alla värden för kraft och moment. Kraftsensorn kan i värsta fall inte utföra det ändamål som den aktiverade funktionen har, då yttre minsta lilla förändring av yttre krafter mellan körningarna av programmet kan påverka utloppet. Speciellt i de situationer då roboten greppat en detalj och sedan skall utföra en kraftsensorfunktion. [21]

### **3.9.2 F/T-Mitten**

Funktionen möjliggör för det monterade gripdonet att beräkna mittpunkten mellan två hinder och förflytta fingrarna till denna position. Funktionen fungerar på så sätt att robotfingrarna förflyttar sig längs en given axel tills den möter ett hinder. Efter kollision med ett hinder går roboten i motsatt riktning tills den kolliderar återigen. Därefter beräknar roboten mittpunkten mellan detaljen och förflyttar sig till denna punkt. [21]

### **3.9.3 F/T-Spår**

"F/T Spår" är en funktion som låter användaren spela in en sekvens medan kraftsensorn är aktiverad under hela sessionen. Detta innebär att om tillhörande gripdon till roboten stöter i något under sekvensens genomkörning, kommer programmet att stoppas. Denna funktion tillåter roboten att röra sig på exakt det sätt som roboten gjorde då sekvensen spelades in. [21]



Stannar användaren upp någon gång under sekvensens inspelning, så går det att ta bort dessa efter själva inspelningen är gjord. Detta via en funktion som heter "Ta bort pauser". [21]

### 3.10 Säkerhet

En fråga som tillverkare av kollaborativa robotar behöver svara på är hur säker en robot är. För att en kollaborativ robot ska kunna klassas som säker behöver den uppfylla vissa krav som ISO 10218 del 2 står för [38].

ISO 10218 och ISO/TS 15066 tar upp fyra stycken olika sätt på hur en säker människa-robot interaktion kan utföras. De första två, "säkerhetsövervakat stopp" samt "handstyrning", finns det inga autonoma rörelser av roboten när människan är i dess närhet. Det vill säga att roboten kommer stanna så fort en människa hamnar innanför dess arbetszon. De övriga två, "kraft- och effektbegränsning" samt "hastighet- och separationsövervakning", gör det möjligt för människan att beträda detta område, medan roboten fortfarande är i drift. De är dessa två människa-robot interaktioner som är den stora säkerhetsutmaningen. "Kraft- och effektbegränsning" tillåter en fysisk kontakt mellan robot och människa. Det viktiga är då att roboten inte kan utsätta den mänskliga kroppen för krafter vilka överstiger de specifika gränser som finns. [39]

Industrirobotar har under sin levnadstid alltid bestått av beskrivningen starka, robusta och effektiva. Vilket är något som motverkar en kollaboration med en människa. För att en människa ska kunna arbeta på samma yta som en robot behöver hastigheten på roboten sänkas till en nivå som gör roboten ofarlig. Behövs istället en robot med högre hastighet kompenseras detta med en svagare robot. [40]

Bara för att en robot är klassificerad som kollaborativ betyder det inte att den kommer fortsätta att vara det när ett gripdon monteras på dess arm. Det gäller även alla typer av produkter som denna robot ska plocka upp och placera [41].

Sensorer är något som alltid har underlättat en industrirobot att öka sin säkerhet. Numera placeras kollisionssensorer som vid angiven maxgräns av yttre kraft kan antingen reducera hastigheten eller stanna helt och hållet, likt Doosan Robotics F/T- sensorer vilka är placerade på varje axel av de sex existerande [42].

### 3.11 Material för 3D-utskrift

Det finns flertalet material som är involverade vid olika typer av 3D-printningar. Vissa material skall vara lättare att hantera och forma, medan andra skall vara hårda och tåliga, vilket ofta bidrar till svårare formgivning. Det finns fem olika typer av processer för 3D-printning. [43]

1. "Spritsning" är en av dess processer där det spritsas ut ett segflytande material, såsom silikon, lera och termoplast förs genom ett litet hål från en verktygsspets. [43]

2. “Fotopolymer över bädd” är en typ av 3D-printning där maskinen härdar flytande plast i en bädd. Därefter belyses materialet med en viss våglängd över selektiva delar, där materialet börjar hårdna. Verktyg som används för exponeringen av ljus är t.ex. en laserstråle eller en pixelprojektor. [43]

3. “Fotopolymer genom selektiv placering” är en liknande process som för “Fotopolymer över bädd”. Här härdar skrivaren den flytande plasten genom ljusexponering av rätt våglängd. Dock sker detta genom användning av mikroskopiska droppar av flytande plast som passerar genom ett bläckstrålehuvud, vilket fördelar ut plasten över lagerytan. Härdning sker delvis av deponering på byggytan, men behöver i vissa fall efterhärdas. [43]

4. “Pulver”-processen används genom att skrivaren fördelar ut pulvret över en bädd vilket ofta består av material som gips, metall och plaster/polymerer. Områden väljs sedan ut för härdning, vilket sker via limning eller smältning. [43]

5. “Folie” är den sista processen, vilket utförs genom att skrivaren skär ut lagerprofilerna av ett foliematerial, vilket sedan limmas ihop lager för lager. Vanliga material att använda i denna process är trä, plast och vanligt papper. [43]

En av dessa material som kan användas är Formlabs Clear material, som är ett genomskinligt material som består till större delen av Metakrylat Olligomer och till mindre delen av metakrylat monomer [44].

Materialet är en blandning av metakrylsyraestrar och fotoiniatorer. Metakrylsaetrar är en färglös vätska som lätt polymiferas vid inverkan av värme, ljus eller peroxider [45]. När materialet polymiferas så innebär det att materialet hårdnar då dess monomer sammanfogas [46]. Fotoiniatorer är en molekyl som absorberar UV-ljuset och bildar fria radikaler [47]. Därefter polymifieras materialet och resultatet blir en torr och härdad yta [47].

## 4. Resultat

Här presenteras resultaten som erhållits från de presenterade metoderna.

### 4.1 Marknadsanalys

Från den marknadsanalys som utförts kan det tydligt observeras att det företag som ligger i framkant, sett till antalet sålda robotar är Universal Robots. De har i nuläget sålt fler cobotar än vad deras konkurrenter gjort tillsammans. [18]

Ett annat projekt de lyckats bra med är UR+, vilket tillåter roboten att samarbeta med andra företag som till exempel Onrobot, vilka tillverkar gripdon och kraftsensorer. Den stora fördelen med detta är att produkterna blir så kallat "plug-and-play". Det vill säga att det bara är att sätta in kablarna och sedan är utrustningen redo att användas.

Nedan presenteras en sammanställning av några av de vanligaste kollaborativa robotarna på marknaden.

Företag	Modell	Pris	Lyftkapacitet (Kilogram)
Universal Robots	UR3	260.000:-	3
Universal Robots	UR5	335.000:-	5
Universal Robots	UR10	383.000:-	10
Rethink Robotics	Sawyer	350.000:-	4
KUKA	LBR iiwa	670.000++ :-	7-14
ABB	Yumi	380.000:-	0.5
Fanuc	CR-35i	835.000:-	35

*Figur 4.1* Sammanställning av några av de vanligaste kollaborativa robotar [48].

### 4.2 Fallstudie Bodycote

En fallstudie har utförts på Bodycote genom ett studiebesök samt en semistrukturerad intervju [se bilaga A], för att se över möjligheterna för eventuellt samarbete i form av olika fall.

Studiebesöket gav intryck över vilka områden som har goda möjligheter för denna typ av automatisering. Bodycote introducerade vilka områden och detaljer de helst vill att projektet skall hantera. Dessa områden har bra utrymme för UR-robotens rörelser, där de kan stå för sig själva utan att vara ett hinder för produktionen.

Bodycote har flera detaljer där de vill automatisera dess upp- och nedhängning. Dock för dem är prioriteten som högst på två detaljer som båda hängs upp och plockas ner på samma om-

råde. Genom att samma typ av ramar och område används för dessa detaljer, är det ett bra exempel att visa olika typer av upp- och nedhängning på samma ramar och krokar. Med deras öppna ytor och möjlighet för roboten att rotera och röra sig i stora mönster utan risk för kontakt, är deras miljö anpassningsbar för robotimplementation.

### 4.2.1 Detalj 1

Detalj 1 består av en detalj från Bodycote. Se bild nedan.



*Figur 4.2* Bild över detalj 1 som kommer från Bodycote.

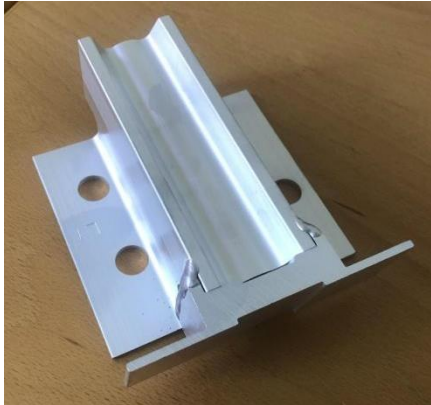
Att detaljen valdes berodde på flera faktorer. Med tanke på dess något säregna design kommer detaljen bli en enkel produkt att definiera i kamerasytemets mjukvara. Bodycote kom även med ett önskemål om att den specifika detaljen skulle automatiseras. Detta berodde på att det var en återkommande produkt med stora kvantiteter.

Ramarna på Bodycote har en liknande utformning likt Epifatechs ram som används i testmiljön på Rise (se figur 4.9). Ramarna som används på Bodycote har dock mer robusta krokar, vilket är fördelaktigt för att motverka defekta krokar.

Fler fördelar som kan identifieras är att detaljerna kommer från kunden till Bodycote sorterade i en pall, vilket är ett krav med tanke på det kamerasytem som projektet avgränsas till. Detaljen skall även placeras på ett specifikt sätt i en plastlåda efter ytbehandlingsprocessen, vilket en robot är bra lämpad för att utföra.

## 4.2.2 Detalj 2

Detalj 2 kommer även den från Bodycote. Se bild nedan.



*Figur 4.3* Bild över detalj 2 som kommer från Bodycote.

Att denna detalj valdes beror på samma faktorer som de för detalj 1. Enkel geometri att definiera, kommer till Bodycote sorterade på pall och skall placeras på ett specifikt sätt i en plastlåda efter ytbehandlingen.

Detaljen hängs även både på samma station och krokar som detalj 1 gör på Bodycote. Detta medför att denna detalj också har likadan miljö gällande krokar, som den ram arbetsstationen på Rise använder (se figur 4.9).

## 4.3 Fallstudie El-yta

En fallstudie har även utförts på El-Yta genom ett studiebesök samt en semistrukturerad intervju, för att se över möjligheterna för eventuellt samarbete i form av olika fall.

El-yta har sin hängning i anslutning med ytbehandlingsprocessen. Det här medför att ytan att arbeta på för automatisering har större risker för kontakt med personalen i fabriken. Det här eftersom detaljer som inte skall automatiseras hanteras på samma arbetsstation. Det här medför att fler riskfaktorer behöver behandlas för att automatiseringen skall kunna utföras på just det området.

Istället för att placera den automatiserade upp- och nedhängningen i anslutning till ytbehandlingsprocessen är tanken att den skall placeras på ett mer avskärmat ställe. Vid detta ställe är tanken att de tomma och fyllda ramarna flyttas fram och tillbaka till ytbehandlingsprocessen.

### 4.3.1 Detalj 3

Detalj 3 kommer från El-yta. Se bild nedan.



*Figur 4.4* Bild över detalj 3 som kommer från El-yta

Under studiebesöket på El-yta genomfördes en semi-strukturerad intervju. Från intervjun framkom det att det var väldigt få detaljer som förekom frekvent och med stora kvantiteter. Den enda detaljen de hade på plats och som förekom i större kvantiteter var detalj 3.

Detaljerna kommer från kunden osorterade i en stor pall. Detaljerna skall dock efter ytbehandling placeras på ett specifikt sätt i pallen.

I jämförelse med övriga detaljer kommer denna detalj ställa högre krav för att robotimplementeringen skall vara möjlig. Eftersom detaljerna kommer som nämnt innan, osorterade i sina pallar. Kraven blir då att detaljerna kommer till automatiseringsstationen på ett sorterat sätt. Då kamerasystemet som används endast hanterar 2D-bilder och kan ej urskilja produkter som ligger på varandra.

Att detaljen valdes trots att krav behövde införas, var på grund av dess säregna geometri. Med flertalet hål och förändring i tjocklek, är varianterna att greppa produkten på många. Detta är bra för att kunna utföra en annorlunda upp- och nedhängning i jämförelse med detalj 1 och detalj 2.

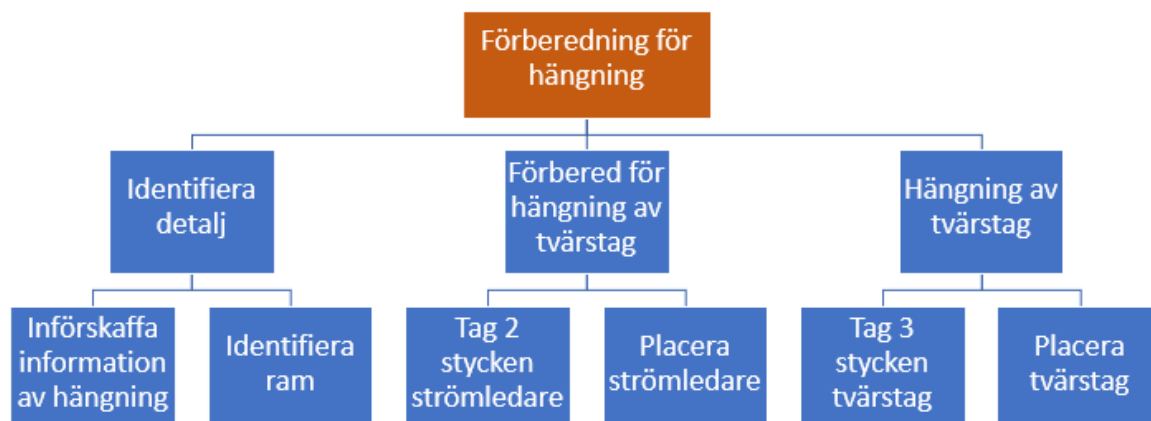
En annan anledning för att välja denna detalj är att ramarna för denna upp- och nedhängning har liknande utformning som Epifatechs ram, vilket används till arbetsstationen på Rise (se figur 4.9).

#### **4.4 Arbetsgången vid upp- och nedhängning av detaljer i nuläget**

Här kommer tillvägagångssättet illustreras hur El-yta och Bodycote utför sina hängningar av deras olika detaljer.

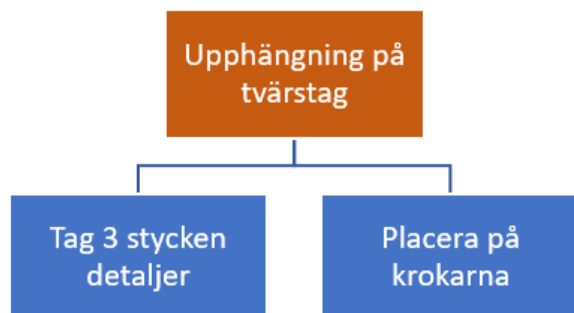
#### 4.4.1 Arbetsgång upphängning

Vid upphängning av detaljer finns flera varianter på tillvägagångssätt på hur företagen väljer att hänga upp sina detaljer. Företagen El-yta och Bodycote har en liknande utformning på sina upp- och nedhängningar, när det gäller de valda detaljer fallstudierna berör.



Figur 4.5 HTA över förberedningen för hängning.

Figur 4.5 illustrerar arbetsgången över alla förberedelser som skall utföras innan en upphängning av detalj är möjlig. Detta är en procedur som gäller för fler detaljer än de involverade i de olika fallen som nämns i rapporten.



Figur 4.6 HTA över upphängning av detalj.

Arbetsmomentet som "Upphängning av detalj" illustrerar handlar enbart om upphängning av tre stycken detaljer, som illustreras i figur 4.6. Medan det behöver hängas upp så många detaljer så varannan krok på tvärstaget fylls i den demo detaljerna kommer illustreras i. Denna HTA:n som figur 4.6 visar kommer utföra alla arbetsuppgifter som HTA:n består av, vilket processen sedan börjar om tills alla krokarna som skall fyllas har fyllts.

#### 4.4.2 Arbetsgång nedhängning

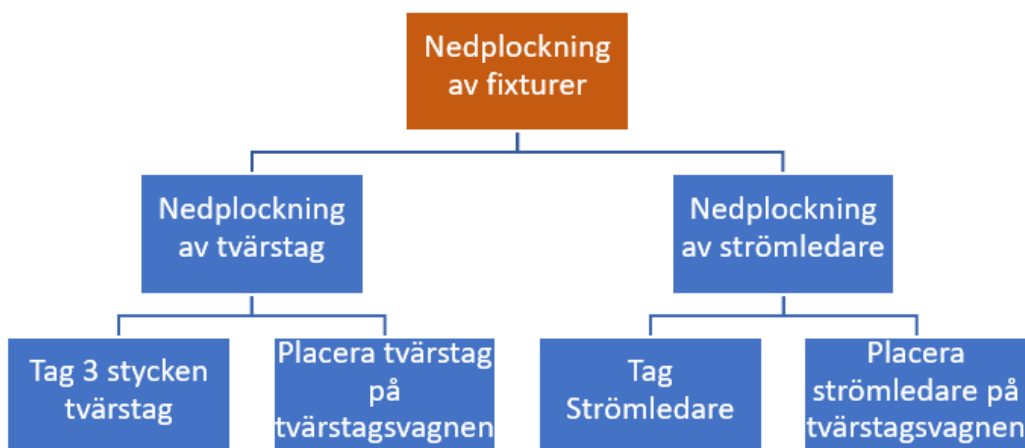
Nedhängning av detaljer är en långsammare process, då detaljerna behöver hanteras mer varsamt när de är ytbehandlade. Detta illustreras i figur 4.7 där endast två stycken detaljer plockas av från krokarna åt gången och inte tre stycken, som upphängningen plockar.

Sedan kommer svårigheten att placera de ytbehandlade detaljerna på ett effektivt sätt i pallan. Här är det viktigt att detaljerna ej skall kunna repa varandra, både under och efter placeringsmomentet är utfört.



Figur 4.7 HTA över nedhängning av detalj.

Nästa steg är att återställa situationen för hängarna som visas i figur 4.8, då alla detaljerna inte har samma typ av utformning. Detaljerna behöver därmed en annan typ av både strömledare, samt tvärstag och tillhörande krok. De tvärstag och strömledare som plockas ner placeras sedan i sina tillhörande positioner i tvärstagsvagnen [se bilaga E].



Figur 4.8 HTA över nedplockning av fixturer.

## 4.5 Robotimplementering

Här nedan kommer resultatet från robotimplementeringen presenteras.

### 4.5.1 Konstruera en arbetsstation

Det första som gjordes var att konstruera och bygga en arbetsstation. Det första som tillverkades var en ram i aluminium, som skall sitta på UR-robotens vagn. Genom detta placeras ramen för upphängning med högre precisionssäkerhet, än vad den gjorde vid extern hållare. Den ram som aluminiumprofilen skall hålla är ett universalt hängsystem från Epifatech med möjlighet att hänga på sex stycken rader med tvärstag. Krokarna har ett mellanrum på fem



centimeter från varandra och avståndet mellan varje tvärstag är 15 cm [49]. Ramen är 100 cm hög och 83 cm bred [49]. Ramen placeras i en kil som löper längs med hela bottenstaget. Därefter lutar ramen något mot en ställning bakom ramen, vilket kan observeras i figur 4.9. Med detta system kan ramen avlägsnas på ett smidigt sätt. Samtidigt blir hängningssystemet även fixerat, vilket gör att de definerade platserna för krokarna alltid förblir densamma.



*Figur 4.9* Bild över robotens arbetsstation.

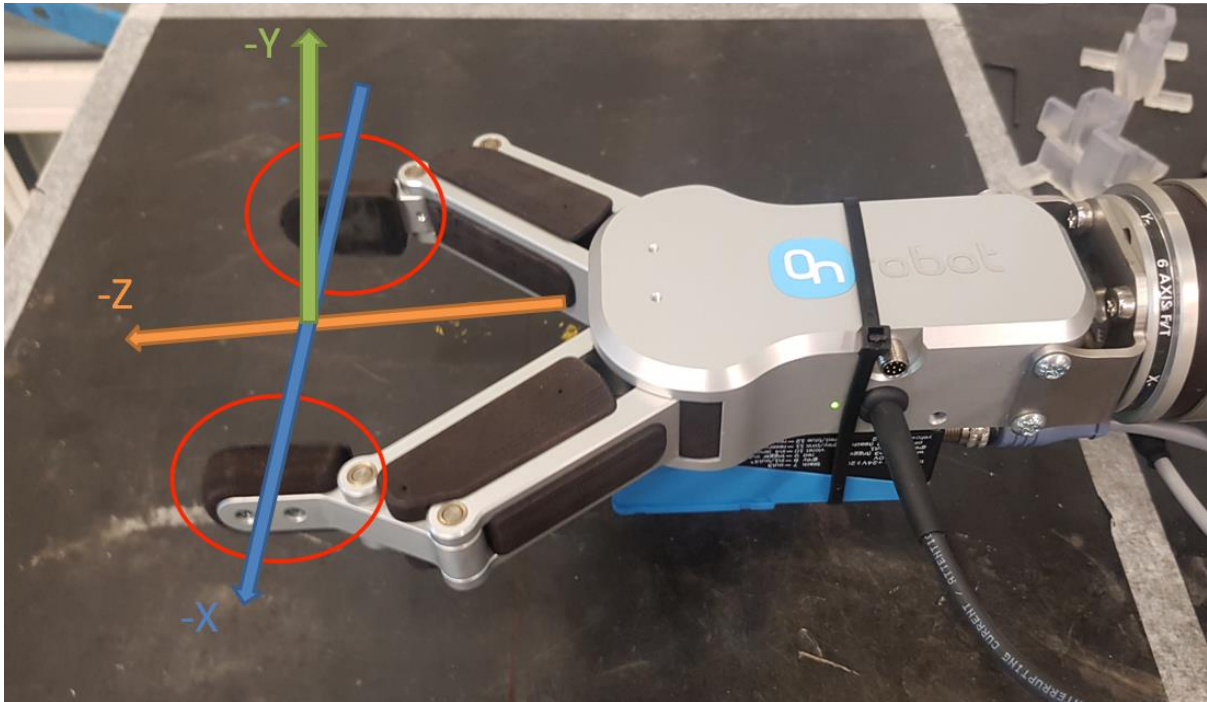
Utöver detta blir precisionen för upphängningen av detaljer på de befintliga krokarna markant bättre. Med detta upplägg har programmering utförts så att detaljer från både Bodycote och El-yta kan urskiljas, samt placeras ut på ramen.

Ett program för nedhängning med tillhörande detaljer har programmerats där detaljerna placeras i dess tillhörande låda, på ett säkert och effektivt sätt.

Kamerasystemet kan då urskilja detaljerna som placeras på bordet samt vilken produkt som skall plockas och hur den skall plockas. Gripdonet används för att greppa detaljerna, antingen med 3D-printade fingrar, eller med originalfingrarna.

## 4.5.2 Fastställa detaljens position

I nuläget sitter de tillhörande fingrarna på gripdonet som bilden nedan visar.



*Figur 4.10* Bild på gripdonet med de tillhörande fingrarna och pilarna motsvarar gripdonets alla negativa riktningar.

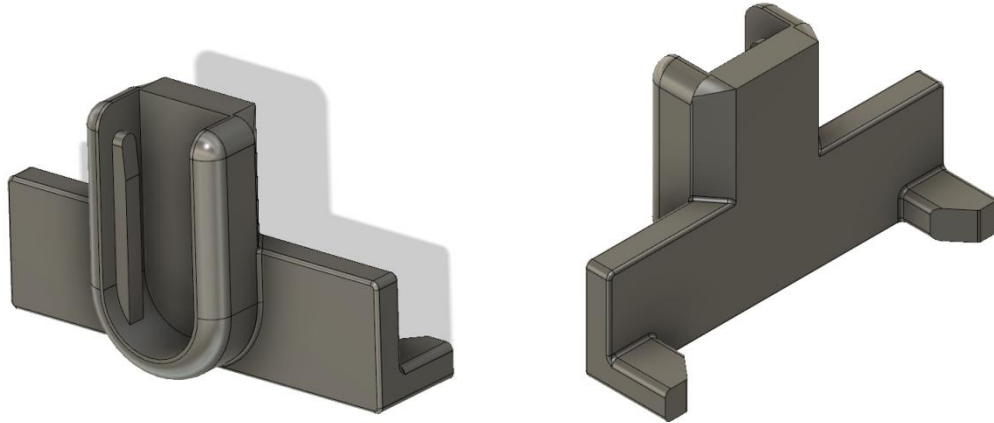
För att säkerställa att roboten plockar upp detaljer på samma ställe utan större skillnad i positionering krävs för vissa detaljer en annan typ av fingrar. Tanken är att tillverka unika fingrar för varje komponent, som är designade att passa detaljen på enbart ett möjligt sätt. Dessa fingrar utformas i CAD-programmet Autodesk Fusion 360 och 3D-printas. Fingrarna testas i plast och modifieras utefter gripdonets möjligheter att greppa detaljerna. Krafterna som plastfingrarna skall hantera vid dessa arbetsmoment överstiger aldrig dess maxgräns i styrka. Detta medför att inget behov av stålfingrar finns för de olika detaljerna.

3D-modellen av gripdonet RG6 finns att ladda ner på OnRobots hemsida. Med hjälp av deras ritningar över gripdonets fingrar tillverkas fingrarna utefter detaljernas behov för att uppnå en bra upp- och nedhängning.

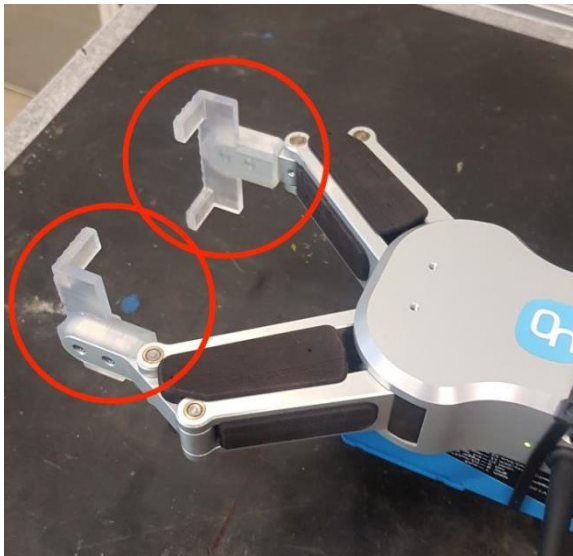
Det plastmaterial som används vid utskrift av detaljernas olika fingrar är "Formlabs - Clear Catridge". Det är ett genomskinligt material som behöver efterbearbetning bestående av en UV-härdning. Materialet kan efter UV-härdningen hantera dragkrafter som uppnår 65 MPa samt hanterar en elasticitetsmodul upp till 2,8 GPa [50]. Materialet är en blandning av metakrylsyraestrar och fotoiniatorer och kommer därmed använda processen "Fotopolymer genom selektiv placering", då materialet behöver efterbearbetas med UV-ljus [44].

### 4.5.3 Fingrar till detalj 1 från Bodycote

För att kunna isolera och låsa fast detalj 1 skapas fingrar med två stycken skivor på. Dessa möjliggör för roboten att rotera och förflytta detaljen, utan att positioneringen ändras. Målet med skivorna är att mötas i mitten av detaljen. När de 3D-printade fingrarna testades uppstod kollision med detaljen, vilket medförde behovet av en modifiering. Figur 4.11 nedan illustrerar hur dessa fingrar ser ut nu när modifieringen utförts, samt hur dess infästning ser ut. Utförda modifieringen består av en sänkning från 17,5 mm till 10 mm, samt att änden riktas mer åt yttre delarna av skivorna. Figur 4.12 visar hur dessa fingrar ser ut när de väl är monterade på gripdonet. Ritningen över denna detalj finns under bilaga B.



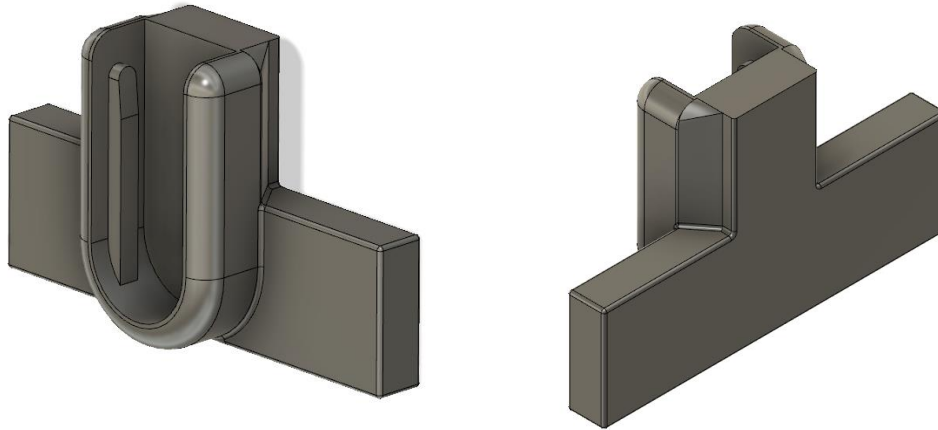
Figur 4.11 Vyer över 3D-modellen som skapats för detalj 1.



Figur 4.12 De 3D-printade fingrarna för detalj 1 monterade på gripdonet.

### 4.5.4 Fingrar till detalj 2 från Bodycote

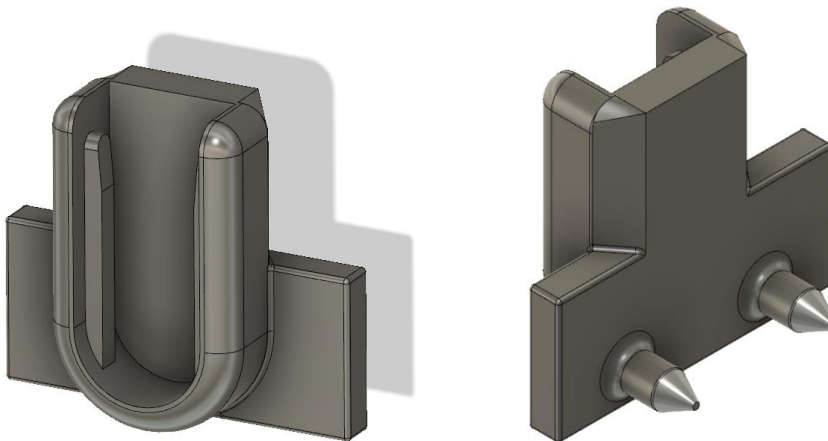
Den stora skillnaden mellan detalj 1 och detalj 2 är antalet hål de besitter. Detalj 2 har fler plana ytor och de hål denne besitter är främst de som används för att hänga på krokar. Detta medför att fingrarna som skapas har större greppyta. Utseendet på dessa fingrar går att observera i figur 4.13 och dess ritning finns i bilaga C.



*Figur 4.13* Vyer över 3D-modellen som skapats för detalj 2.

#### 4.5.5 Fingrar till detalj 3 från EI-yta

Detalj 3 hängs på krokarna med det stora hålet vilket är placerat högst upp på handtaget [se figur 4.4]. Detaljen lyfts därmed nära detta hål för att på enklast sätt isolera detaljen. Genom detta greppar fingrarna från figur 4.14 de två mindre hålen som är placerade på sidan av handtaget i figur 4.4. Av de tre hålen som finns på sidan så greppar fingrarna i de två närmast mitten på handtaget. För att finna dess ritning se bilaga D.



*Figur 4.14* Vyer över 3D-modellen som skapats för detalj 3.

### 4.6 Upphängningsimplementering

För att upphängning av detalj med hjälp av en cobot skall vara möjlig, är det bland annat vissa delsteg som är nödvändiga att utföras. De presenteras här nedan.

#### 4.6.1 Definiera detaljens geometri i kamerasystemets mjukvara

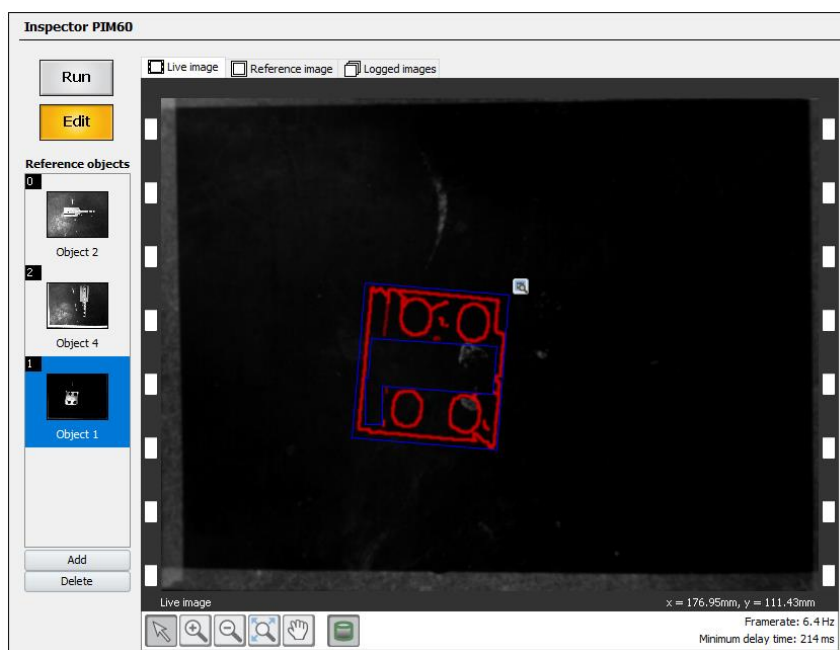
Det första som behöver göras vid en cobotimplementering är att definiera detaljen i kamerasystemets mjukvara. Det kamerasystem som projektet tillhandahåller är av märket SICK som använder mjukvaran SOPAS Engineering Tool. Då kameran är placerad på robotarmen kan den således inta olika positioner och höjd. Det viktiga att tänka på är att kameran alltid skall

fota från samma höjd som den blivit kalibrerad ifrån. Nedanstående punktlista presenterar arbetsgången när en detalj definieras i SOPAS Engineering Tool:

- Säkerställ att kamerasystemet är på samma höjd som den kalibrerats ifrån.
- Anslut kamerasystemet till datorn.
- Placera detalj under kameran.
- Justera bildinställningar.
- Ta ett kort av detaljen.
- Markera detaljens geometri som skall definieras.
- Spara den nya definierade detaljen i kamerasystemet.

### 4.6.2 Definiera detalj 1

I figur 4.15 presenteras hur den definierade detalj 1 ser ut i SOPAS Engineering Tool. Programmet letar därmed efter geometrier som överensstämmer med bilden. I det aktuella fallet nedan väljs en “överensstämmelse-grad” på ca 80 %.



Figur 4.15 Skärmbild från SOPAS Engineering Tool där detalj 1 blir definierad.

### 4.6.3 Greppa detalj med gripdon

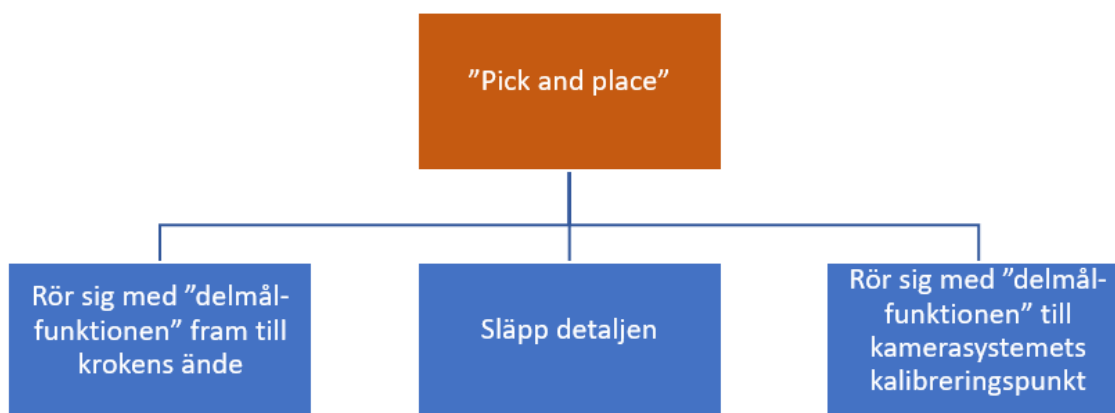
När detaljen väl är identifierad, går roboten sedan ner till en förinställd position som valts ut i funktionen “MoveToCamPos”. Här greppar gripdonet detaljen med dess 3D-utskrivna gripfingrar. Gripfingrarna greppar detaljen genom att funktionen RG6 sätts till 0. Därefter förflyttar roboten sig rakt upp för att motverka kollisioner som annars lätt uppstår mellan detaljerna. Denna förflyttning rakt upp sker genom att en variabel aktiveras. Variablens funktion är att vid given startpunkt förflytta sig 0,1 inch i +Z-led (se figur 4.10), vilket motsvarar vinkelrät upp från bordet.

#### 4.6.4 Tre olika program för upphängning

Här nedan kommer tre program illustreras i form av HTA:er. Dessa HTA:er börjar vid momentet då gridonet håller detaljen vid kroken den skall hänga upp på. Detta då alla tre program startar på samma sätt, vilket involverar:

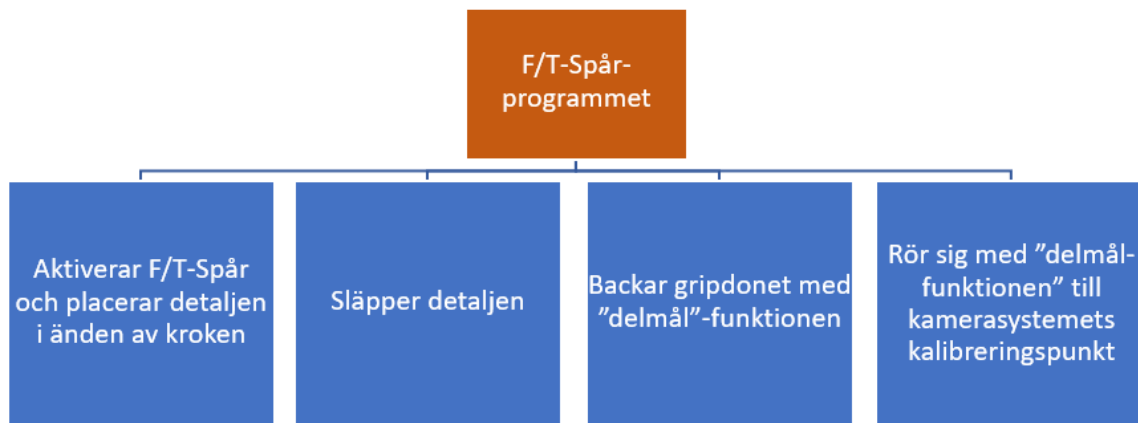
1. Identifiering av detalj med kameran systemet.
2. Greppa detalj.
3. Flytta den greppade detaljen till mitten av "Mönster"-funktionens mittpunkt, med hjälp av funktionen "Delmål".
4. Aktiverar "Mönster"-funktionen, som sedan tar detaljen till de programmerade krokarna i funktionen.

Figur 4.16 illustrerar det mest enkla programmet där roboten rör sig mellan bestämda punkter och placerar detaljerna utefter förbestämda koordinaterna. Detta utan att säkerhetsåtgärder används med kraftsensorn.



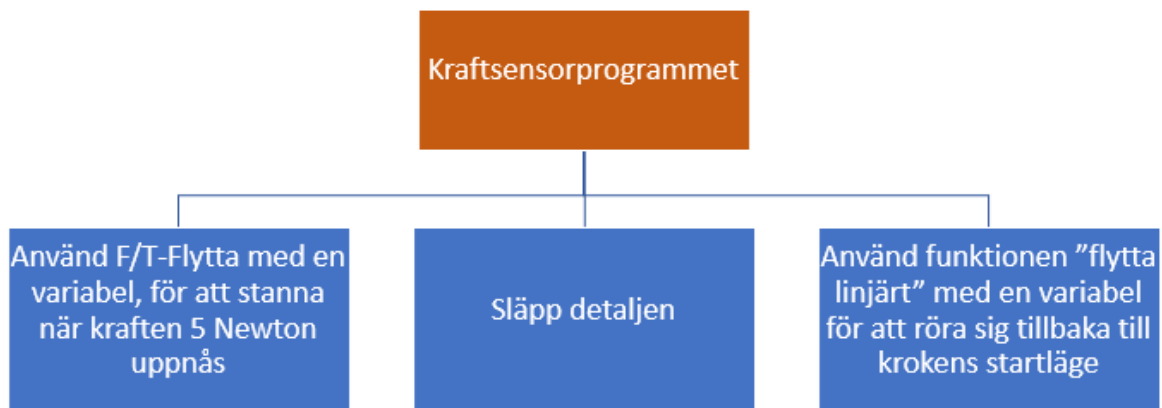
Figur 4.16 HTA över programmet för "Pick and place".

Det andra programmet består av ett inspelat rörelsemönster för att på ett smidigt sätt placera detaljer på krokar med hjälp av kraftsensorns funktion "F/T-Spår" i kombination med "F/T-Flytta", vilket illustreras i figur 4.17.



Figur 4.17 HTA över programmet för användning av F/T-Spår-funktionen.

Genom användning av “F/T-Flytta” i kombination med “F/T-Delmål” kan roboten röra sig mellan två punkter tills kraftsensorn upplever en förutbestämd kraft. Denna kraft bestämdes till fem Newton. Den förutbestämda kraften kommer uppfyllas av krockens motståndskraft. När kraften är uppnådd befinner sig detaljen i krockens bottenposition och gripdonet kommer då att släppa detaljen. Sista delen består av att funktionen “flytta linjärt” aktiveras. Denna funktion för gripdonet bort från ramen genom att sätta +Z riktningen i rörelse (se figur 4.10). Detta program illustreras i figur 4.18.



Figur 4.18 HTA över programmet för användning av kraftsensorns kraftsbegränsningar.

## 4.7 Nedhängningsimplementering

För att nedhängning av detalj med hjälp av en cobot ska vara möjligt är det bland annat vissa delsteg som är nödvändiga att utföras. De presenteras här nedan.

### 4.7.1 Placera gripdonet utefter de positionerna som krokarna har

För att på ett enkelt och strukturerat sätt plocka ner de detaljer som är involverade i projektet, används "Mönster-funktionen" för att roboten skall utföra samma plockningsmoment vid varje krok, samt att krokarna blir bestämda i rummet. "Mönster-funktionen" använder sig även av det kvadratiske mönster som bestämmer robotens rörelseområde när funktionen aktiveras.

Eftersom att det är 18 stycken detaljer som skall plockas ner på tre rader, fördelas de ut så att sex stycken plockas ner från första raden och likadant för resterande rader. Genom detta utförande markeras i programmet att roboten skall stanna sex gånger vid varje rad, samt att det är tre rader.

### 4.7.2 Identifiera detalj med kraftsensor och greppa

När gripdonet väl har placerats framför kroken, skall funktionen "F/T-Flytta" aktiveras med underfunktioner bestående av två olika "F/T-Delmål". På detta sätt vet roboten när den slår i den detalj roboten skall plocka. Innan "F/T-Flytta" placeras i programmet sätts en "F/T-nollställ" in i programmet för att nollställa alla krafter. "F/T-Flytta" sätts med en hastighet på 50 mm/s samt en acceleration på 20 mm/s<sup>2</sup>.

Vid detta läge kommer "F/T-Mitten" aktiveras och se till att gripdonets fingrar är jämnt fördelade utanför detaljens mittendel. Sökdistanzen sätts för dessa detaljer till 20 millimeter, sökhastigheten: 30 mm/s, flytthastigheten: 30 mm/s, acceleration: 50 mm/s<sup>2</sup> samt deceleration: 600 mm/s<sup>2</sup>. För denna sökning krävs endast 0,5 Newton som stoppgräns för sökningen av kanter i x-led, F(x) sätts till 0,5 Newton, då verktyget sätts till "koordinatsystem". Underlättar att se över gripdonets koordinatsystem som illustreras i figur 4.10.

Vid detta läge är det nu möjligt att greppa detaljen, vilket utförs med funktionen "RG6" och gripkraften ställs in på 120 Newton, samt att avståndet mellan fingrarna skall vara noll. Gällande detalj 1 och detalj 2, sätts deras extravikt som tillkommer till 0,4 kg, medan detalj 3 sätts som 0,65 kg. Detta då detalj 1, detalj 2 och detalj 3 väger motsvarande 388,9 gram, 364,2 gram och 627,9 gram.

### 4.7.3 Placera detaljerna utefter de förprogrammerade positionerna i pallen

Detaljen greppas och nästa mål är att förflytta detaljen på ett sätt så den ytbehandlade detaljen inte slår i någon krok eller del av ramen. För att uppnå detta mål så skall funktionen "F/T-Spår" användas, som ser till att varje detalj plockas ut genom likadant rörelsemönster.

När det inspelade "F/T-Spår-programmet" gått färdigt, befinner sig detaljen precis utanför kroken. Vid detta skede skall en variabel aktiveras som förflyttar detaljen i gripdonets +Z-riktning med sträckan 1 inch. Detta blir då i realtid att detaljen rörs bort från ramen. Uttrycket på den variabel som används blir: p[0,0,0.1,0,0,0].



Nästa steg är att nästa "Mönster-funktion" skall aktiveras, som i detta fall också är kvadratformad. Denna kvadrat är placerad utefter det arbetsbord som finns på arbetsstationen. Även denna "Mönster-funktion" får tre stycken stopp på varje rad och består av två rader.

Vid varje stopp aktiveras gripdonets funktion "RG6" med avstånd mellan fingrarna på 60 mm och utan extra tyngdkraft från detaljerna.

## 5. Diskussion

Nedan kommer metoden och resultatet diskuteras och möjligheter till förbättringar.

### 5.1 Fastställa krokarnas position

Ramen i arbetsstationen har en viss lutning bakåt då den vilar mot en aluminiumprofil. I korrelation med verkligheten stämmer inte detta överens. Dock är det den smidigaste lösningen att göra för just den arbetsstation projektet vill uppnå. Detta för att genom sidoväggar av aluminiumprofiler, uppnås en högre säkerhet när det gäller positionering av de krokar som sitter på ramen. Om skillnaden i positioneringen skulle vara för stor, finns risken att upp- och nedhållningsprogrammen inte fungerar fullt ut. Ramen är mer placerad åt robotens vänstra sida, vilket underlättar när krokarna på tvärstagen lutar åt höger.

Genom att välja hängning av ramen istället för placering mellan aluminiumprofiler borde högre krav ställas på positionssäkerheten av ramen. Detta eftersom högre risk finns att en hängande ram ändrar position än en fixerad ram. När alla av ramens delar hamnar i rörelse behövs större marginaler användas vid placering och greppning av detaljer.

Defekta krokar är något som avgränsas för projektet. Detta beror på de svårigheter som uppstår vid automatisering med krokar av olika utseende. Positioneringen i rummet för krokarna blir då annorlunda om de skulle vara defekta, vilket är något som bör undvikas [28]. Då blir inte programmeringen av coboten lika enkel och smidig som ytbehandlingsföretagen gärna vill uppnå, då de behandlar dagligen olika detaljer med annorlunda geometrier.

### 5.2 Flexibilitet för arbetsstation

Placeras roboten på en skena istället för på ett bord skulle roboten kunna hänga upp detaljer på flera ramar. Detta möjliggör för roboten att greppa detaljer som både är för långt ifrån och för nära placerade för roboten. Under projektets gång har projektgruppen stött på problem att få roboten att plocka detaljer nära basen av roboten. Detta på grund av UR-10:ans långa arm som då blir i vägen. Detta kan observeras i figur 4.9. Med en skena, ökas även automatiseringsgraden, eftersom roboten kan förflytta sig på egen hand till nästa ram. Denna linjära skena möjliggör för en sex-axlig robot att besitta rörelsemöjligheter i sju stycken axlar. [25]

Frågan är om detta projekt kan ta mer fördel av en UR-5 robot än den befintliga? Det är mycket möjligt att använda en UR5 robot eftersom detaljerna som förflyttas inte överstiger fem kilogram. Därmed överstigs inte robotens maximala lyftkraft, samt att avståndet mellan ram och robot är av det kortare laget. Denna ändring skulle underlätta möjligheten att hänga detaljer med sina krokar nära robotens bas, samt underlätta placering på raden längst ner.

Förbättringspotential och fortsättning av detta kan utföras på många sätt. Ett fortsättningsprojekt kan vara att använda ett AGV-bord med två stycken stationer där bordet kan fästas. Väl där kan en annan robot plocka produkter från pallarna och placera på bordet. Med AGV:n kan

bordet förflyttas till stationen där UR-roboten med tillhörande system från detta projekt och kan utföra upp- och nedhängning av de placerade detaljerna.

Flera säkerhetsåtgärder kan utföras i form av variabler. Detta ifall defekta krokar tas bort från avgränsningar. Vid aktivering av variablerna känner kraftsensorn ifall en krok är defekt och därmed övergår till nästa krok att hänga på.

### 5.3 Kamerasystem

SICK skriver i sin manual att för ett robust system rekommenderar de att antingen använda det integrerade ljuset eller en extern ljuskälla. Att det är osäkert att enbart förlita sig på omgivande ljus.[36]

Under början av projektet var det vissa svårigheter att både definiera en detalj och även känna igen respektive detalj med kamerasystemet. Problemet kunde senare härledas till att det var den interna ljuskällan som skapade problem. Den interna ljuskällan består av ledlampor som sitter i kamerahuset. När dessa blixtrade till skapade de stora reflektorer, både i detaljen men även i arbetsbordet. På grund av detta bländade kameran sig själv. Med tanke på att SICK själva rekommenderar användarna att använda denna funktion kändes det dumt att avaktivera denna. Trots det blev bilden betydligt bättre när denna funktion avaktiverades. I boken “Image and Vision Computing” skriver de att valet av kameraljus och framförallt positioneringen av detta ljus är en av de viktigaste stegen i ett lyckat kamerasystem [35].

De största reflektionerna erhöles precis under ljuskällan där de studsade upp både från detaljens blanka yta men även arbetsbordet. Slutsatsen som kan dras från detta är att först och främst ljuskällan var felplacerad. Även att arbetsbordet borde antingen utformas eller täckas med ett anti-reflekterande material om de rekommenderade föreskrifterna skall efterföljas.

De tre detaljerna som projektet kommit att handla om har olika geometriska förutsättningar. En utmaning med detalj 1 från Bodycote är att den är väldigt symmetrisk. Den är enkel att definiera i SOPAS Engineering Tool då den har en någorlunda säregen design. Dock ser den nästintill likadan ut på baksidan. Detta gör att kamerasystemet har svårt att urskilja om detaljen ligger med fram- eller baksidan uppåt. På det sätt robotprogrammet utformades i projektet måste detaljen ligga med framsidan uppåt för att gripdonet skall kunna plocka upp den. Det är därför alltid viktigt att se till att de hamnar på rätt sida. För projektets del gör inte detta något men kan ute på en arbetsplats få en stor betydelse om detaljens läge inte går att säkerställa.

### 5.4 Val av utrustning

Utrustningen som varit tillgänglig i projektet har inte valts ut av en slump. Universal Robots har gjort det enkelt för sina kunder att utrusta sina robotar efter de behov kunderna har. På deras hemsida har de en specifik plattform, “UR+-lösningar”, där de hjälper kunder att automatisera deras tillämpningar på ett enklare sätt [19]. Där finns mängder av tillbehör som direkt kan integreras tillsammans med roboten. Den stora fördelen med att utrusta en Universal Robots med just dessa komponenter är att de är så kallade “plug and play-produkter” [19]. Det

betyder att komponenten direkt kan kopplas in i roboten och är sedan redo att användas. Till exempel det kamerasystem som valdes till projektet, PIM60 från SICK. Installationen för den var att sätta in två stycken kablar i roboten och därefter ett USB som automatiskt installerade mjukvaran i roboten. Ett väldigt enkelt och smidigt sätt. Den stora fördelen med att produkterna är kompatibla med Universal Robots är att de finns tillgängliga i robotens pendant och kan därför direkt användas vid robot-programmeringen.

## 5.5 Robotimplementering

De tre olika programmen som valdes vid upphängning har olika förutsättningar. Det första programmet, "Pick and place", är det mest enkla programmet som i enkelhet består i att roboten plockar detaljen, går till en förutbestämd position och där släpper detaljen. Fördelen med detta program är att den går väldigt fort att programmera och att det heller inte behövs någon kraftsensor. Nackdelen är dock att roboten inte har någon möjlighet att känna efter om den faktiskt har placerat detaljen på kroken eller inte.

Det andra programmet som gjordes, "F/T Spår", möjliggör för roboten att på ett "snyggare" och mer exakt sätt placera detaljen på kroken. Med tanke på att funktionen möjliggör för användaren att spela in en kort sekvens där roboten kan röras i alla leder, kan denna funktion med fördel användas om upphängningen kräver stor precision. Dock har även denna upphängning nackdelen med att kraftsensorn inte används för att säkerställa att detaljen hänger på kroken.

Det tredje programmet, "Kraftsensorprogrammet", är likt det första programmet i sin helhet. Dock använder sig "Kraftsensorprogrammet" av just kraftsensorn för säkerställning att den hängt detaljen på kroken. Denna funktion kan i många fall vara väldigt viktig då den säkerställer att roboten inte släpper en detalj där det inte finns en krok. Den sammantagna uppfattningen från de olika programmen är att alla tre program går att använda för att utföra upphängningen. Företaget som skall automatisera en upphängning behöver ta sig en funderare över vad som är viktigt för dem och vilka behov som finns. Med tanke på att detalj 1 har stora hål att hänga upp i krävs ingen noggrann precision. Sedan har även projektet avgränsats till att det inte finns några defekta krokar. Därför är heller inte behovet lika stort att känna efter med kraftsensorn om den faktiskt hänger upp detaljen på kroken. Det hade i detta fall gått utmärkt att enbart använda "Pick and place" för att hänga upp detaljerna. Men för att göra en mer robust och pålitlig automatisering kan det vara klokt att använda fler funktioner, till exempel "F/T Spår" eller kraftsensorn.

När programmet för nedhängning skulle programmeras gick det till på ett annat sätt än hur upphängningen hade gått till. Istället för att prova tre stycken olika program för att lösa uppgiften sammanställdes den erfarenheten som erhöles från upphängningen för att skapa enbart ett nedhångningsprogram. Vid jämförelse av upp- och nedhångningsprogrammen som skapats, är den största skillnaden mellan dessa att programmet för nedhångning använder sig av fler program-funktioner. Att programmet har utformats på det sättet beror på att detaljen nu är

ytbehandlad och därför bör behandlas mer varsamt. De olika funktionerna som används i programmet hjälper därför roboten att plocka och hantera detaljen på ett mer varsamt sätt.

Nästa steg inom paketering av detaljerna är vid användning av "Mönster"-funktionen med box-mönstret, som då placerar detaljer i flera lager. Att denna funktion inte har använts beror på att detaljerna som skall placeras ovanpå varandra har ytbehandlats. Ett system för att avskärma de olika raderna med detaljer hade varit nödvändigt.

Något som skapade problem vid användandet av 3D-printade fingrar på roboten, var det att RG6:ans gripfunktion är en kombination av rörelser i z- och x-led. Detta medför att svårigheter uppstår då fingrar behöver material som går ut i y-led, då detta material har stor risk att slå i andra delar av detaljen. Något som hade behövts i detta läge var ett gripdon som endast hade griprörelser för nuvarande gripdonets x-led, då det stora problemet är rörelserna som sker i z-led. Ett sådant gripdon skulle kunna vara "EOA-UR3510-KGG 100-80". På detta sätt hade inte fingrarna som skapats behöva ändras från 17,5 mm till 10 mm för detalj 1.

## 5.5 Påverkan på företagets nuvarande situation

En undersökning behöver göras på hur stor skillnad det blir ekonomiskt att implementera detta projektets system hos dessa lego-tillverkare.

Om alla automatiseringsfunktioner som nämnts inom ämnet för fortsatt arbete eller förbättringspotential implementerats samtidigt leder detta till ett helautomatiserat system, vilket inte är att rekommendera. Istället är det bra att successivt öka sin automationsgrad, för att personalen ska kunna hantera utvecklingen, samt att minska felen som kan uppstå vid för snabb implementering. [11]

Något som vidare kan undersökas är hur tidsaspekten påverkas på en arbetsplats, där upp- och nedhängning blir automatiserat. En stor fråga för företag vid införskaffning av robotar är om de tjänar på denna implementering eller inte. Men för att kunna göra en bra uppskattning kring denna faktor, krävs flera undersökningar. Dessa undersökningar utförs med fokus gällande tidsaspekten där arbetare utför denna uppgift kontra en robot. Här krävs det också att alla moment vid upp- och nedhängning tas upp, såsom momenten när roboten är färdig med upphängning och behöver nya ramar eller förflyttas till en annan position.

Den HTA som presenteras i figur 4.5 är över arbetsmomentet då detalj 3 hängs på krokar. När en anställd hos dem idag hänger detaljer tar de tre stycken på samma gång och hänger därefter dessa. Det är ett moment som går väldigt fort. När roboten skall göra detta kan den enbart plocka en detalj åt gången. Själva upphängningsmomentet för roboten blir långsammare. Men en viktig kvalite en robot har är att den aldrig behöver gå på rast eller gå hem för dagen. Den kan arbeta på så länge det finns arbetsuppgifter att utföra, som den självklart då är kapabel till att göra. Denna aspekt är viktig i en lönsamhetskalkyl.

Den övergripande bilden som erhållits från studiebesöken är att momentet kring upp- och nedhängning av detaljer har en väldigt låg automationsgrad. Att det inte tidigare har skett

några framsteg inom detta området går att försvara med att de robotar som varit tillgängliga har inte haft den flexibilitet som marknaden efterfrågat. Då syftat till framförallt små- och medelstora ytbehandlare. Men tillsammans med cobots, som är designade för att hantera lägre kvantiteter i en högre produktmix är denna automation fullt möjlig[2]. Det resultat som rapporten visar är att med den teknologi som finns tillgänglig går det relativt enkelt att definiera en detalj i kameran systemet och därefter programmera en robot att utföra en upp- och nedhängningssekvens. Något som en anställd skulle kunna göra efter en kortare utbildning i de olika programmen.

## 6. Slutsats

Nedan berörs de slutsatser vilket kan tas från rapportens olika delar.

### 6.1 Svar på frågeställning

I början av rapporten presenterades två frågeställningar som arbetet skulle beröra. Dessa frågor besvaras här nedan.

*Är det möjligt att med hjälp av en kollaborativ robot kunna automatisera upp- och nedhängning av detaljer?*

Från tester på olika typer av detaljer kan det fastslås att upp- och nedhängning av de involverade detaljerna är fullt möjligt. Detta kan fastställas genom resultatet från kapitel 4.6 och 4.7.

När detaljerna skall hängas upp är det till sin fördel att använda sig av "kraftsensorprogrammet", vilket introduceras i kapitel 4.6.4, då denne hanterar både detaljen och krokarna på ett säkrare sätt. Detaljerna är ytbehandlade och skall hängas av från sina krokar, vilket kräver större krav på att detaljerna hanteras varsamt, vilket från tidigare nämnda resultat använder till fördel av ett kraftsensorprogram. Ett sådant program beskrivs i kapitel 4.7.

*Vilken teknik lämpar sig för att automatisera momentet?*

Detaljer i behov av en annan utformning på gripdonsfringarna än originalvarianten från RG6:an (se figur 4.10) använder med fördel en annan typ av gripdon än den nämnda. Typen av gripdon som rekommenderas är den med rörelser endast i ett koordinatled (likt x-led i figur 4.10), då rörelser i flera koordinatled kan medföra högre risk för oönskade kollisioner med detaljen, vilket beskrivs under kapitel 5.5.

### 6.2 Fortsatt arbete

Arbete med automatisering av fyllda ramar och dess transport till och från ytbehandlingsmoment, vilket kan utföras till exempel med ett AGV och tillhörande bord. Se hur det påverkar att använda en annan typ av gripdon med rörelsemönster i ett koordinatled, vilket beskrivits ovan. Tidsaspekten för en robot i korrelation till en montör.

## 7. Källförteckning

### Hemsidor:

- [1] <https://www.swerea.se/digi-load> *Digi-Load* (Charlotte Ireholm)
- [2] <https://miqpartners.com/the-importance-of-flexibility-in-automation-and-manufacturing/>(2015) information hämtad 2019-05-24
- [16] <https://www.universal-robots.com/se/om-universal-robots/vaar-historia/> (information hämtad 26/3-2019)
- [18] <https://www.universal-robots.com/se/om-universal-robots/nyheter/cobotarnas-historia/> (information hämtad 26/3-2019)
- [19] <https://www.universal-robots.com/se/plus/> (information hämtad 2019-04-29)
- [22] <https://robotiq.com/products/vacuum-grippers> (information hämtad 2019-05-21)
- [23] <https://onrobot.com/en/products/gecko-gripper> (information hämtad 2019-05-21)
- [24] [https://schunk.com/de\\_en/gripping-systems/product/65828-1327748-eoa-ur3510-kgg-100-80/](https://schunk.com/de_en/gripping-systems/product/65828-1327748-eoa-ur3510-kgg-100-80/) (Information hämtad 2019-05-14)
- [31] <https://www.mabema.se/vision/om-visionteknik> (information hämtad 25/3-2019)
- [34] <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-tools/pattern-matching/patmax-object-location> (information hämtad 2019-04-29)
- [36] [https://www.sick.com/media/docs/6/36/836/Operating\\_instructions\\_In-spector\\_PIM60\\_ver\\_2.0\\_en\\_IM0048836.PDF](https://www.sick.com/media/docs/6/36/836/Operating_instructions_In-spector_PIM60_ver_2.0_en_IM0048836.PDF) (Information hämtad 2019-04-29)
- [42] <http://www.doosanrobotics.com/en/product/> Doosan Robotics (2018)
- [43] <https://www.creativetools.se/about-3d-printing> (information hämtad 2019-04-29)
- [45] [http://www.webapps.kemi.se/flodesanalyser/Amnesinformation/akrylmetakryl\\_sv.htm](http://www.webapps.kemi.se/flodesanalyser/Amnesinformation/akrylmetakryl_sv.htm) (uppdaterad 2011)
- [46] <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/polymerisation> (information hämtad 2019-04-29)



[49] <https://www.epifatech.se/sv/produkter/pulverlackering/universalt-hangsystem-1254/> (2015)

### **Böcker:**

[5] R.E. Stake, *Qualitative Case Studies*(2005), In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Sage handbook of qualitative research* (pp. 443-466). Thousand Oaks, CA, : Sage Publications Ltd

[6] E. Drever, *Using Semi-Structured Interviews in Small-Scale Research. A Teacher's Guide* (1995), Scottish Council for Research in Education, Edinburgh.

[7] Fast-Berglund.Å, Mattson.S (2017), “*Smart Automation: Metoder för slutmontering*” Lund: Studentlitteratur AB s. 90-91

[9] L. Bainbridge, *Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems* (1983), Department of Psychology, University College London, London

[27] S. R. Ruocco, *Robot sensors and transducers* (1987), Open University Educational Enterprises Limited, Milton Keynes, England

[29] Davies, R. (2012). *Computer and Machine vision: theory, algorithms, practicalities*. 4: e uppl. USA: Elsevier Inc.

[41] Béllanger.Barrette.M(2016), “*Collaborative robots: risk assessments, an introduction*” , Robotiq

### **Artiklar:**

[3] <https://www.packnews.se> *Danska UR jubilerar med sina kollaborativa robotar* (Jerry Pettersson, 2018-12-05)

[4] R. Johansson, *Ett bra fall är ett steg framåt Om fallstudier, historiska studier och historiska fallstudier*, arkitekturforkning.net (2013).

[8] Neville A. Stanton, Paul M. Salmon, Laura A. Rafferty, Guy H. Walker, Chris Baber, Daniel P. Jenkins, *Human factors methods: a practical guide for engineering and design* (2017), 2:a utgåvan, London, CRC Press.

[10] R. Parasurman, V. Riley, *Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse* (1997), Catholic University of America, Washington, D.C. Honeywell Technology Center, Minneapolis, Minnesota

- [11] Mica R. Endsley (1996), “*Automation and Situation Awareness*”, Department of Industrial Engineering Texas Tech University
- [13] John D. Lee and Katrina A. See (2004) “*Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance*”, University of Iowa, Iowa City, Iowa
- [14] Weiss, A. Buchner, R. Fischer, H. Tscheligi, M. (2011). Exploring Human-Robot Cooperation Possibilities for Semiconductor Manufacturing, CDL on Contextual Interfaces, University of Salzburg, Sigmund-Haffner-Gasse 18, 5020 Salzburg, Austria
- [15] Michalos, G. Makris, S. Tsarouchi, P. Guasch, T. Kontovrakis, D. G, Chryssolouris. (2015) Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces, Laboratory for Manufacturing Systems and Automation, Department of Mechanical Engineering and Aeronautics, University of Patras, Patras 26500, Greece
- [17] Universal Robots. Press Kit (2017)
- [20] Universal Robots. *Bruksanvisning UR10/CB3* (2017), version 3.4.1 s II 92- 93
- [21] Opto Force (2017), *User Guide for the Universal Robots OptoForce Kit*, Version 2.4, sida 24-26 och 42-44
- [25] Wood.R, Bonaire. A, *How to make your robots move* (2017) Machine design, Electric Automation. Inc.
- [26] KUN-HSIANG WV, CHIN-HSING CHEN AND JUING-MING Ko, *Path Planning and Prototype Design of an AGV* (1999), Department of Electrical Engineering National Cheng Kung University Tainan, Taiwan 701, R.O.C.
- [28] Linderoth, M. (2013). *On Robotic Work-Space Sensing and Control*. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund University
- [30] Del Ciancio, M., (2007) Vision-guided robotics - Examining the technology's impact on the plant floor, Manufacturing Automation, [www.automationmag.com](http://www.automationmag.com)
- [32] Ehrenman, G., (2005), Eyes on the line, Mechanical engineering- Magazine online, [www.memagazine.org](http://www.memagazine.org)
- [33] Ulrich, M and Steger, C. (2002) Performance Evaluation of 2D Object Recognition Techniques, Ulrik= Chair for Photogrammetry and Remote Sensing Technische Universität München, Germany. Steger= MVTec Software GmbH, München, Germany.

[35] Kopparapu, S. (2006) *Lighting design for machine vision application*. Cognitive Systems Research Laboratory, Tata Consultancy Service Limited, India.

[37] K. Uikyum, L. Dong-Hyuk, K. Yong Bum, S. Dong-Yeop, and H. Hyouk Ryeol (2017), *A Novel Six-Axis Force/Torque Sensor for Robotic Applications*, Vol. 22, No. 3, IEEE

[39] P. Švarney and Matěj Hofmann “Safety of human-interaction through tactile sensors and peripersonal space representations”, Department of cybernetics, Prague: Czech Technical University, 2018.

[40] Witaya Wannasuphoprasit, R. Brent Gillespie, J. Edward Colgate and Michael A. Peshkin, *Cobot Control* (1997), Department of Mechanical Engineering Northwestern University Evanston, IL 60208–3111.

[44] Formlabs, *CLEAR Photoreactive Resin for Formlabs 3D-printer*, version 1, säkerhetsdatablad, 2017.

[47] Isuu inc. (2016), *Billes nya LED-UV-tryck*, sid 22.  
[https://issuu.com/billes/docs/p37336\\_by\\_billes\\_optimerad/22](https://issuu.com/billes/docs/p37336_by_billes_optimerad/22)

[48] ROBOTIQ. Collaborative Robots Buyer’s Guide (2017), 7th Edition Update

[50] Formlabs (2017), *Material Data Sheet Standard- Materials for High-Resolution Rapid Prototyping*.

### **Standarder:**

[12] Svensk standard ISO 9001: 2015

[38] Svensk standard ISO 10218-2: 2011: Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotssystem och integration

## 8. Bilagor

### Bilaga A - Semistrukturerad intervju

- Produkter

-Antal varianter av produkter?

-Vilka är vanligast? (går denne ständigt)

-Finns några produkter med högre svårighetsgrad att hänga?

-Har ni någon produkt som ni själva vill att vi ska automatisera?

- Ramar

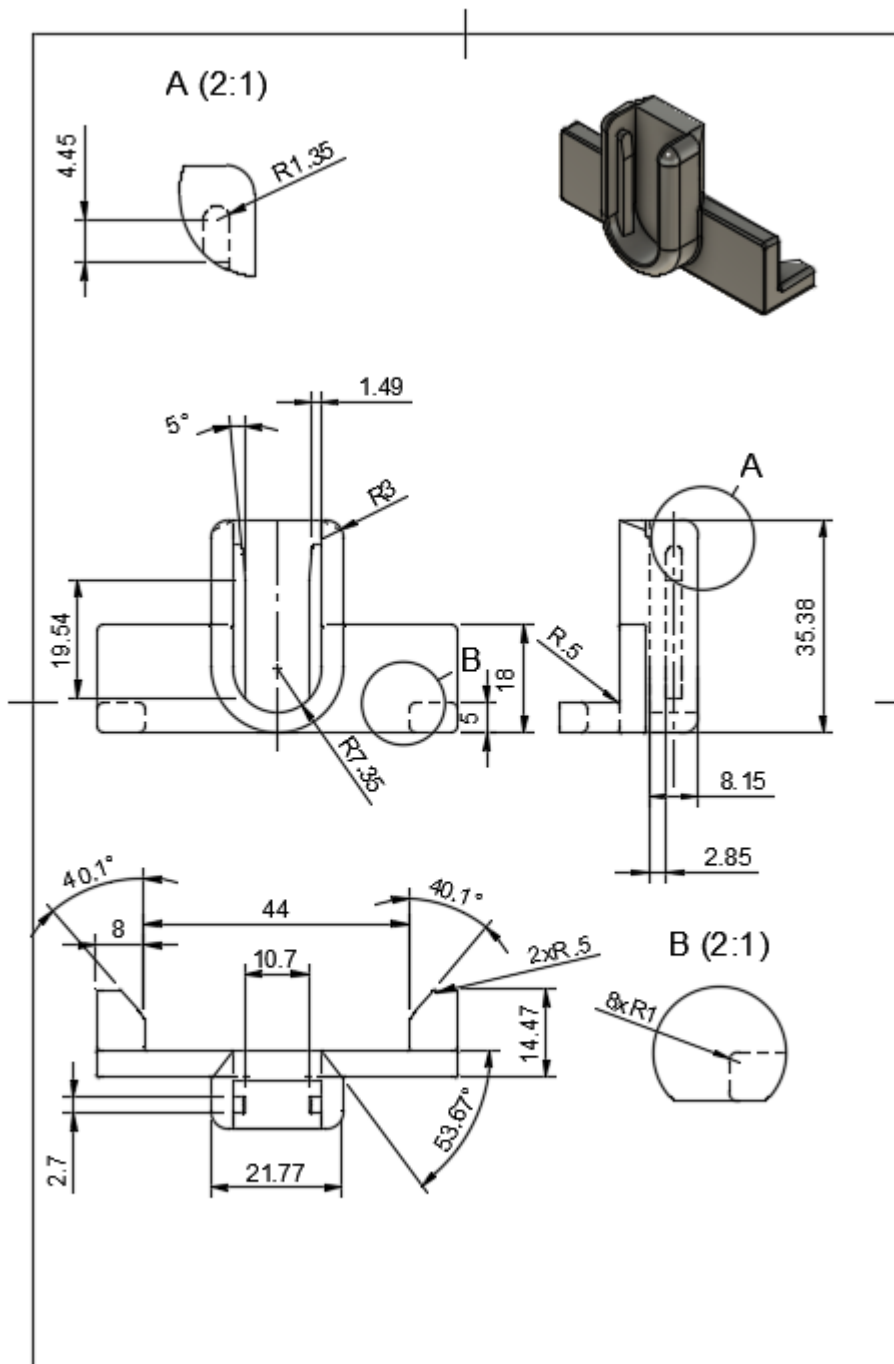
-Vilka typer av ramar finns?

-Finns det någon ram som används till flera produkter?

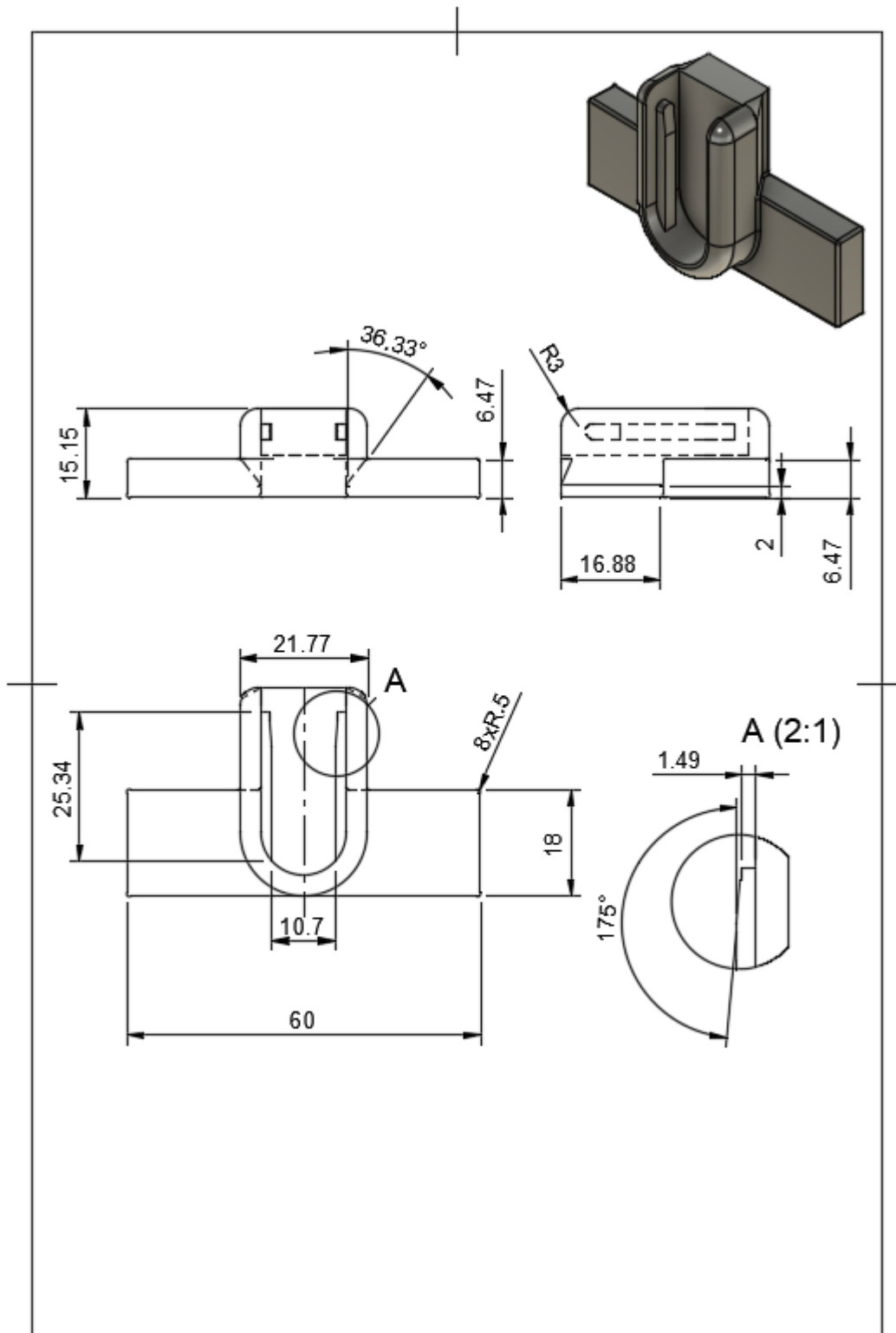
- Automatisering

-Hur ligger ni till gällande detta?

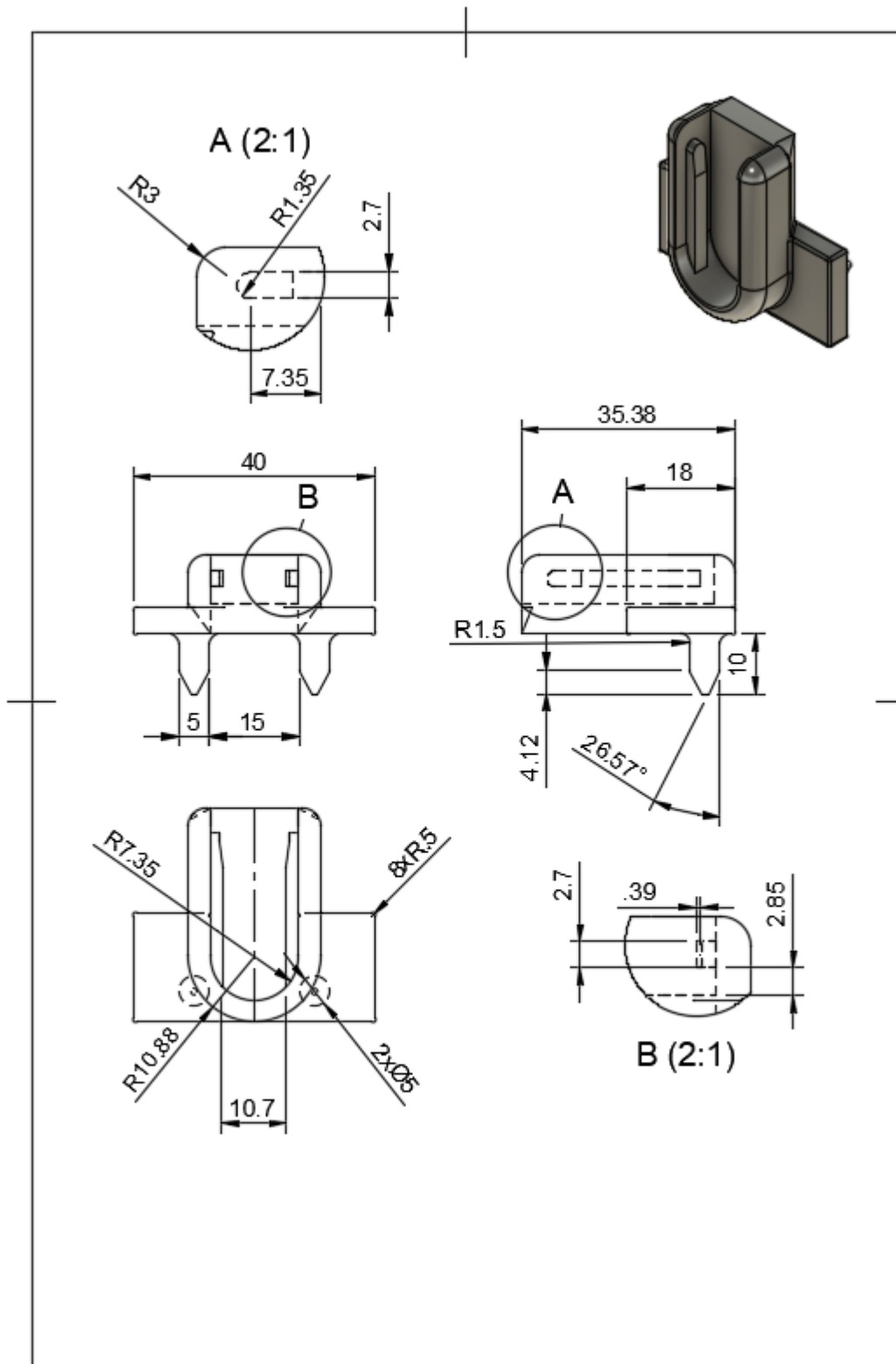
# Bilaga B - Ritning på fingrarna till detalj 1



# Bilaga C - Ritning på fingrarna till detalj 2



# Bilaga D - Ritning på fingrarna till detalj 3



## Bilaga E - Bild över tvärstagsvagnen

