



CHALMERS



Programmering och analys av nitningsprocess med hjälp av en UR robot

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Filip Larsson

Axel Wernestrand

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

www.chalmers.se

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik

Nitning kollaborativ robot

Filip Larsson

Axel Wernstrand



CHALMERS

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Avdelningen för Produktionssystem

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA Göteborg, 2021

Nitning kollaborativ robot

FILIP LARSSON

AXEL WERNESTRAND

© Filip Larsson, Axel Wernestrand, Sverige 2021

Examensarbete 2021

Institutionen för Industri- och materialvetenskap Avdelningen för Produktionssystem

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96, Göteborg

Sverige

Telefon +46 (0)31-772 1000

Handledare: Omkar Salunkhe, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Handledare: Jerry Olsson, Mattias Larsson, Skandia Elevator AB

Examinator: Åsa Fash Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Omslag: Bild från Chalmers SII-lab

Institutionen för industri- och materialvetenskap, Sverige 2021

Förord

Denna studie är utförd av Filip Larsson samt Axel Wernestrand, och utgör en del av vårt examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola med avseende på studier inom programmet Maskinteknik Högskoleingenjör. Examensarbetet har skett i samarbete med Skandia Elevator AB under vårterminen 2021.

Tack till

Stort tack till Jerry Olsson och Mattias Larsson på Skandia Elevator som under projektets gång försett oss med lämpliga resurser, och som har sett till att vi fått den stöttningen och hjälp som krävs för ett lyckat projekt. Även till Skandia Elevator för att vi har fått möjligheten att utföra vårt examensarbete hos er.

Vi vill också rikta ett stort tack till vår handledare Omkar Salhunke samt Sven Ekered forskningsingenjör vid Chalmers SII-Lab, som hjälpt oss och sett till att vi haft tillgång till all nödvändig teknik i form av robotik, verkstad och 3D-skrivare.

Sammanfattning

Företaget Skandia Elevator genomgår just nu en automationssatsning där man har som avsikt att köpa in en kollaborativrobot ifrån märket Universal Robots av modell UR3. Tanken med roboten är att den ska kunna utföra flera arbetsmoment genom att flyttas runt till olika stationer runt i verkstaden. Vi har fått i uppgift att kolla på ett av dessa moment som vi valt att döpa till nitning kollaborativ robot. Momentet ska ersätta en idag manuell nitningsprocess. Uppgiften bygger på att den kollaborativa roboten i samverkan med bin-picking ska kunna plocka två gångjärnshalvor ifrån en pall, för att sedan placera dem i en fixtur där de överlappas, för att slutligen ta ett omtag och sätta de båda detaljerna i nitmaskinen.

Projektet har utförts i samarbete med Chalmers SII-Lab, där studenterna under projektets gång haft tillgång till en UR3 med tillhörande 2D-kamera samt möjlighet att skriva ut fixturer och gripdon i labbets 3D-skrivare. Denna teknik har varit avgörande när det kommer till att besvara följande frågeställningar: *“På vilka olika sätt kan en kollaborativ robot utnyttjas i arbetsmomentet?”*, *“Vilka tekniker kan vara lämpliga att använda sig utav, tex bin-picking?”* *“Hur ser arbetsmomentet ut, kommer roboten behöva ta ett omtag?”*, *“Vad för fixturer och gripdon krävs?”* samt *“Vad för typ utav data och metoder krävs för att räkna på eventuella besparingar i form av tid?”* Projektet har avgränsats till att endast titta på momentet “nitning av gångjärn” där UR3 endast utvärderas som en möjlig lösning. Endast Eye-in-hand i kombination med en 2D-kamera kommer att användas, och projektet förutsätter även att detaljerna ligger utspridd med positionering i emballaget eller pallen de leverans i.

Den metod som främst legat till grund för detta arbete har varit DMIAC, men arbetet har även involverat HTA, riskanalys, intervju och funktionsanalys. I Chalmers SII-Lab har en station likt den manuella i fabriken återskapats. Utifrån den har flertalet tester och analyser gjorts, som legat till grund för vårt resultat. Sammanfattningsvis är det slutliga resultatet att bin-picking eller annan typ utav plockning med en 2D kamera inte är möjlig för denna typ utav detalj. Roboten har däremot möjlighet att plocka en detalj i taget, placera dem i en fixtur för att sedan ta ett omtag och placera båda i nitmaskinen. Detta ställer dock ett krav på att detaljerna ska ligga i samma utgångsposition varje gång roboten plockar dem.

Abstract

The company Skandia Elevator is currently undergoing an automation initiative with the intention to purchase a collaborative robot model UR3 from the brand Universal Robots. The purpose of the robot is that it should be able to perform several different work tasks at different stations around in the factory. The students have been given the task to look at one specific of these several work tasks, that has been given the name, riveting collaborate robot. The purpose is with the help of the collaborative robot to replace the current manual riveting process. The task based on the collaborative robot using bin-picking to pick the scattered hinge halves from the pallet, place them both individually in a fixture where they overlap each other, then finally pick them both up together and place them onto the riveting machine.

The project has been carried out in collaboration with Chalmers SII-lab, where the students during the project have been given access to a UR3 with an associated 2D camera as well as the opportunity to print fixtures and grippers in the lab's 3D printer. This cooperation has been crucial when it comes to answering the following questions regarding the given case: "In what different ways can a collaborative robot be used in the work step?", "Which techniques can be suitable to use, bin-picking for example?" "What does the work process and the involving steps look like, will the robot need re-grip the details?" "What kind of fixtures and fittings are required?" and "What kind of data is required to calculate any time savings?" The project has been limited to only looking at the part "riveting of hinges" where UR3 is only evaluated as a possible solution. Only eye-in-hand in combination with a 2D camera will be used, and the project also assumes that the hinges are spread out with different positioning in the packaging or pallet they are delivered in.

The method that was mainly the basis for this work has been DMIAC, but the work has also involved HTA, risk analysis, interview, and functional analysis. In Chalmers SII-lab, a station like the manual in the factory has been recreated. Based on this, tests, and analyzes have been performed, which formed the basis for our results. In summary, the result is that bin-picking or other type of picking with a 2D camera is not possible. The robot has the opportunity to pick two details, place them in a fixture and then take a turn and place them in the riveting machine. However, this requires that the parts be in the same starting position every time the robot picks them.

Innehållsförteckning

1. Inledning	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Syfte	11
1.3 Avgränsningar	12
1.4 Precisering av frågeställningen	13
2. Metod.....	14
2.1 DMAIC.....	14
2.2 Hierarkisk uppgiftsanalys.....	15
2.3 Riskanalys	15
2.3.1 Filmning av arbetsprocessen.....	15
2.3.2 Riskanalys (Mini-risk metoden)	15
2.4 Implementering av robot	16
3. Teori avsnitt	17
3.1 Automatisering	17
3.2 Kollaborativ robot – cobot	18
3.2.1 Universal Robots.....	19
3.2.2 Definition Industrirobot	19
3.2.3 Definition kollaborativa robot.....	19
3.2.4 Nivåer av kollaboration.....	20
3.2.5 Gripdon	21
3.2.6 CE-märkning.....	22
3.3 Grad av automation	23
3.4 Säkerhetsaspekt	23
3.5 Bin-picking.....	25
3.6 Vision system	26

3.6.1 Eye-in-hand.....	26
3.6.2 Eye-to-hand.....	27
3.7 Ekonomisk hållbarhet.....	28
3.8 Robotmontering och toleranser	29
3.9 Robotens precision	29
3.10 Robotens repeternoggrannhet.....	29
4. Resultat.....	30
4.1 Nulägesanalys.....	30
4.1.1 Grunddata.....	30
4.1.2 Funktionsanalys	30
4.1.3 Intervju	31
4.2 Riskbedömning.....	32
4.3 HTA.....	34
4.3.1 HTA Manuell nitning.....	34
4.3.2 HTA UR3 utan vision-system.....	35
4.3.3 HTA UR3 Vision-system.....	35
4.4 Man Maskin-schema	36
4.4.1 Manuell nitning.....	36
4.4.2 Utan UR3 vision-system	37
.....	37
4.4.3 Vision-system	37
4.5 Undersökning av uppgiften och eventuella problem.....	37
4.5.1 UR3 robot analys och testning. Test 1	38
4.5.2 Brister med 2D-kamera.....	39
4.5.3 Möjlig positionering.....	41
4.5 Verifiering av bin-picking med 2D-kamera. Test 2	44
4.6 Framtagning av alternativa koncept	50
4.6.1 Fixturer.....	50
4.6.2 Elimineringssmatris fixturer	55
4.6.3 Gripdon	56

4.6.4 Elimineringssmatris gripdon	60
4.7 3D-utskrift av valda koncept	61
4.8 Verifiering av koncept. Test 3	64
5. Diskussion	65
5.1 Val av metod	65
5.2 Vision-system	65
5.2.1 2D-kamera	66
5.2.2 3D-kamera	67
5.3 Gripdon	67
5.4 Fixtur	68
5.5 Tidsbesparing	68
5.6 Begränsningar med nitmaskin	68
5.7 Alternativa lösningar	69
5.8 Utvärdering kamerainplementering	70
6. Slutats	71
6.1 Svar på frågeställning	71
6.2 Fortsatt arbete	72
7 Källförteckning:	73

Beteckningar

HTA - Hierarkisk uppgiftsanalys

ISO – Internationella standardiseringsorganisationen

Cobot – Kollaborativ robot

SE – Skandia Elevator

SII-Lab – Stena Industry Innovation Lab

1. Inledning

Detta kapitel berör bakgrund och syfte, men går även in på avgränsningar och frågeställningar som hjälper att tydliggöra syftet med projektet.

1.1 Bakgrund

Företaget Skandia Elevator AB erbjuder idag ett brett sortiment utav olika produkter för hantering utav spannmål. En vanlig komponenten som förekommer på en spannmålsanläggning är ett rör som hjälper till att fördela ut spannmålet, och dessa rörsystem hålls ihop utav kopplingar. Dessa kopplingar monteras idag i fabriken, och hålls samman utav b.la ett gångjärn [Se bilaga A]. Gångjärnet tillverkas i fabriken som en delkomponent, en process där en montör jobbar tillsammans med en nitmaskin för att nita samman två gångjärnshalvor som tillsammans med niten utgör gångjärnet.

Årligen har gångjärnet en volym på 35 000, och arbetet i sig är mycket simpelt och repetitivt. Arbetsmomentet bygger på att de två komponenterna träs samman på en pinne där de överlappar varandra, montören styr sedan nitningen manuellt med hjälp av en fotpedal. Montören måste även hålla i båda komponenterna för att säkerställa centrering, vilket gör att tvåhandsfattning inte är möjligt och det ger upphov till en klämrisk.

Vi har därav fått i uppdrag av företaget att titta på och ta fram en kollaborativ robotlösning för arbetsmomentet nitning av gångjärn. Företaget har tidigare arbetat med UR-serien ifrån Universal Robots och har därav som avsikt att försätta använda sig utav UR-serien även för denna kollaborativa robotapplikation.

Det danska företaget Universal Robots är idag ett av de marknadsledande företagen när det kommer till att tillverka och sälja kollaborativa robotar. Under år 2020 levererade företaget sin 50 000:e cobot, och enligt en analys ifrån *Research and Markets* förväntas marknaden i framtiden att försätta växa med en beräknad årlig tillväxt på 30% under år 2020 - 2025 (Packnet, 2020). Robotar inom industrin är inte längre något som endast lämpar sig för de större företagen, minskade kostnader, kortare initieringsfas och mindre komplex programmering gör att allt fler företag ser värdet i att automatisera sin verksamhet med hjälp av kollaborativa robotar.

Examensarbetet bygger på att undersöka möjligheten att använda sig utav en kollaborativ robot för att automatisera och effektivisera arbetsmomentet nitning utav gångjärn men även med avsikt att skapa en säkrare arbetsmiljö. Projektet innefattar att undersöka vilka olika typer av teknik och utrustning som skulle kunna vara lämpligt att använda sig utav i form av fixturer, gripdon och vision-system som finns tillgängligt i samarbete med Chalmers SII-Lab.

1.2 Syfte

Detta projekt avser att testa och utvärdera möjligheten att ta fram en kollaborativ robotlösning till arbetsmomentet nitning gångjärn som idag utförs manuellt med hjälp utav en maskin. Slutresultatet ska leda till en lösning som innefattar tid och kostbesparingar i form av att arbetskraft frigörs, men som också bidrar till säkrare och mindre repetitiva arbetsförhållanden. Företaget har nyligen påbörjat en automationssatsning med avsikt att se hur de på olika sätt kan integrera kollaborativa robotar i den dagliga verksamheten.

1.3 Avgränsningar

- Detta arbete avser endast att studera eventuella kollaborativa robotlösningar för arbetsmomentet nitning av gångjärn.
- Projektet avgränsas till UR-serien ifrån Universal Robots, med anledning att företag idag redan använder sig utav UR-robotar och har som avsikt att i framtiden implementera flera artiklar inom UR-serien.
- Detaljerna kommer ligga utspridda med olika positionering i emballaget de levereras i.
- Endast Eye-in-hand vision-system kommer att undersökas
- Endast 2D-kamera kommer att undersökas
- Då vi i detta arbete endast tittar på alternativa koncept som kan bevisa att momenten nitning kollaborativ robot är genomförbart kommer vi inte beräkna på några ekonomiska besparingar.

1.4 Precisering av frågeställningen

- På vilka olika sätt kan en kollaborativ robot utnyttjas i arbetsmomentet?
- Vilka tekniker kan vara lämpliga att använda sig utav, tex binpicking?
- Hur ser arbetsmomentet ut, kommer roboten behöva ta ett omtag?
- Vad för fixturer och gripdon krävs?
- Vad för typ utav data och metoder krävs för att räkna på eventuella besparingar i form av tid?

2. Metod

Här presenteras de metoder som kommer ligga till grund för detta arbete. Det involverar DMAIC modellen som företaget tidigare använt sig utav i ett arbete med en kollaborativ robot. För att kunna mäta och analysera den arbetsmetod företaget idag använder sig utav idag kommer projektet att tillämpa en uppgiftsanalys, en funktionsanalys samt en riskanalys.

2.1 DMAIC

DMAIC består utav fem olika faser. Anledningen till att denna metod valts är då den idag används och är aktuell på företag där examensarbetet kommer utföras. Den har även nyligen använts utav företaget i ett liknande arbete, som ledde till ett lyckat resultat där företaget nu använder sig utav en kollaborativ robot för flexibel svetsning. Därav blir metoden fördelaktig då den underlättar samarbetet mellan studenter och företaget under arbetets gång.

Översatt till svenska blir den första fasen i DMAIC *Definiera*, och handlar om att definiera och förstå sig på problemet. Hur ser processen ut och vad är det som ligger till grund för vårt problem. Det är också viktigt att skapa sig en uppfattning utav projektets omfattning, så som tid och resurser. Den andra fasen heter *Mäta* och bygger på insamling av data. D.v.s. hur ser processen ut idag, hur lång tid tar arbetsmomentet, hur stora är volymerna o.s.v. Företaget använder sig idag utav ERP systemet monitor, där finns mycket lagrad data ifrån produktionen. (J. Antwiwaa Ottou, B. Kofi Baiden, G.Nani, 2020)

Därefter följer steget *Analysera*, där används den insamlade data till hjälp för att analysera och på en djupare nivå sätta sig in i problemet. Vad är det datan egentligen säger och hur kan den användas i arbetet för att förbättra processen. Detta är ett viktigt steg, då det lätt blir att projekt går för fort fram och direkt läggs fokus på lösningar, vilket är nästa steg som bygger på att *förbättra*. I vårt fall handlar det om att med hjälp utav skolans SII-Lab utvärdera och testa olika fixturer, 3D-printa gripdon med mera för att komma fram till vilken typ utav lösning som är den mest optimala. Därefter kommer det sista steget I modellen *Styra*, har projektets mål uppnåtts, hur har lösningen gynnat företaget och hur säkerställs att ändringar och den nya arbetsmetoden efterlevs. (J. Antwiwaa Ottou, B. Kofi Baiden, G.Nani, 2020)

2.2 Hierarkisk uppgiftsanalys

HTA står för hierarkisk uppgiftsanalys, men kan även gå under namnet uppgiftsanalys. Syftet med en HTA är som Å.Fast-Berglund samt S.Mattson 2017 beskriver att *skapa en tydlig struktur och ett flöde för de uppgifter som ska utföras vid en arbetsstation*. Operationerna bryts ner till uppgifter och deluppgifter som bildar ett träd-diagram. Träd-diagrammet avläses sedan genom att läsa av varje hierarkisk uppbyggd gren i den kronologiska ordningen från vänster till höger. Genom att analysera diagrammets bred och djup kan en bättre uppfattning fås om hur komplex operationen är, mer djup eller bredd innebär en komplexare arbetssituation. (Å.Fast-Berglund, S.Mattson 2017). Då denna rapport endast innefattar momentet nitning utav gångjärn och inte flera operationer ser studenterna inte något värde i att utföra en flödesanalys såsom exempelvis ett spagetti-diagram.

2.3 Riskanalys

Nedanför presenteras de metoder som använts för riskanalys

2.3.1 Filmning av arbetsprocessen

För att lättare kunna skapa en uppfattning av de arbetsmoment operatören utför i samarbete med nitningsmaskinen valdes det att filma arbetsprocessen. Filmen kommer vara ett av flera moment som ligger till grund för riskbedömningen. Men även vid jämförelse av det nya automatiserade arbetsmomentet, då det är viktigt att förbättra den nuvarande designen så att den i framtiden bli säker för operatören som kommer röra sig runt roboten.

2.3.2 Riskanalys (Mini-risk metoden)

För riskanalys använder sig företaget Skandia Elevator b.l.a sig utav en Excel-mall vid namn *Mini-risk metoden*. Metoden bygger på att de involverade i projektet tillsammans Brain stormar för att sedan skriva ner de tänkbara risker som associeras med projektet. Sedan viktas sannolikhet att risken uppstår och dess konsekvens på en skala 1–5. Sannolikheten multipliceras sedan med konsekvensen som utgör risktalet. Åtgärd och förväntat utfall kopplat till den specifika risken skrivs ner, samt vem som är ansvarig för punkten och utfärdat datum.

2.4 Implementering av robot

För att roboten ska kunna vara kompatibel att samarbeta med nitningsmaskinen krävs det en signal som säger åt maskinen när nitningsmomentet ska utföras. Detta är en typ utav problemlösning vi inte är klassificerade att göra, utan om det blir aktuellt något som överlåtes till Skandia Elevators intresseföretag Lidköpings Automationsteknik. Detta projekts uppgift bygger på att undersöka och utvärdera möjligheterna att använda sig utav olika gripdon, fixturer och vision-system i den uträkning som krävs för att roboten ska klara av att utföra arbetsmomentet

3. Teori avsnitt

I teori avsnittet nedan redovisas begrepp och teori som gör att läsaren kan ta till sig utav ämnet, för att sedan kunna tolka och skapa sig en egen uppfattning om resultat och diskussion.

3.1 Automatisering

Själva begreppet automatisering har förekommit sedan årtionden tillbaka, och är nu mer relevant än någonsin. I takt med att företag blir alltmer digitaliserade ökar efterfrågan på olika typer av automationslösningar. Robotik och avancerade datasystem var förr något som endast lämpade sig för de större företagen, men kortare initieringsfaser, billigare lösningar och mer användarvänliga program gör att allt fler företag kan ta del av tekniken. (C. P Janssen, S.F Donker, D.P Brumby, A.L, Kun 2019). Sett till en studie som utfördes utav International Federation of Robotics (IFR) 2017, var Korea det land som hade högst robotgrad med 631 robotar per 10 000:e anställd verksamma inom industrin. På femte plats kom Sverige med 223 tätt följt utav Danmark med 211 stycken, det genomsnittliga antalet sett till hela världen var vid denna tidpunkt 74 stycken (IFR, 2021) I studien framkom även att 2017 stod kollaborativa robotar för 2,8% av det totala antalet verksamma robotar gentemot de klassiska industrirobotarna, 2018 hade siffran ökat till 3.4%. (IFR, 2021)

Även om ny teknik kan vara lockande och vid första anblick verka som ett självklart val, är det viktigt att grundligt utvärdera hur passande det är för arbetsmomentet. Automatisering ses ofta som något som är till för att underlätta och förenkla arbetet, men samtidigt ställer det nya krav på operatören som nu måste ägna mer utav sin tid åt problemlösning (Wiener & Curry 1980). Beroende på vilken grad utav automatisering som väljs att använda sig utav, kan användaren själv behöva integrera med roboten.

Detta skapar en ny sorts arbetsbelastning som i värsta fall kan vara mer krävande än det tidigare arbetssättet, och som innebär att man tappar själva syftet med att introducera automationen till sin verksamhet (Bainbridge, 1983: Wienever, 1988). Därav är det viktigt att för företaget att undersöka vilken grad utav automation som är mest lämplig, ett exempel på ett verktyg som kan använda sig utav för att göra detta är en LOA-matris, mer om det i Kap 3.

3.2 Kollaborativ robot – cobot

Den första dokumenterade kollaborativa robotapplikationen tog plats i General Motors fabrik under hösten år 1999. Tack vare en bas som bestod av tre hjul kunde montören själv förflytta en robotarm, vars uppgift bestod av att hjälpa till och lyfta samt placera tunga komponenter i form av dörrar och vindrutor för montering på bilar som levererades av ett löpande band.

(Peshkin & J.E Colgate 1999) Precis som Michalos G med fler (2015) beskriver har det under de senaste åren inom industrin bedrivits mycket forskning kring hur robotar och människor på ett enklare och säkrare sätt kan samarbeta i den dagliga verksamheten. Tack vare mindre och mer flexibla robotar kan nu människa och maskin integrera på ett sätt som inte tidigare varit möjligt, då operatören normalt sett varit avskild ifrån roboten som vanligtvis arbetat inuti en cell. Själva begreppet *cobot* som är en vanligt förekommande förkortning är en sammanslagning utav *collaborative* och *robot*, med avsikten att förtydliga en cobots egenskaper att samarbeta med människa gentemot de mer traditionella industri-robotarna. (Peshkin & J.E Colgate 1999)

En högre önskad effektiviseringsgrad och krav på flexibilitet samt säkerhet är det som inom tillverkningsindustrin ligger till grund för den ökade efterfrågan utav kollaborativa robotar. Mindre batcher och mer kundspecifika ordrar ställer högre krav på flexibiliteten och möjligheten att snabbt ställa om i produktionen. En robots möjlighet att utföra monotont arbete, dess styrka samt precision i kombination med människans flexibilitet är vad som gör en kollaborativ robot-cell lämpligt i stora så väl som mindre företag. (George Michalos med fler 2015). Likt det (Fast-Berglund, Palmkvist, Nyqvist, Ekered & Åkerman 2016) beskriver är det också viktigt att se kollaborativa robotar som ett fysiskt hjälpmedel och ett verktyg som är till för att underlätta operatörens arbete, inte för att ersätta det.

3.2.1 Universal Robots

År 2005 grundades företaget Universal Robots utav Esben Østergaard, Kasper Støy och Kristian Kassow som alla träffades under sin studietid vid Danmarks Universitet.

Tillsammans delade de visionen om att göra robotteknik mer tillgängligt till mindre företag, då robotik var vanligast förekommande i de större industrierna där robotarna var stora, dyra och svårprogrammerade. Det dröjde inte längre än 3 år tills den första kollaborativa roboten, UR5 var såld. Det visade sig att det fanns en tydlig efterfrågan på marknaden för denna typ utav produkt, och tre år senare lanserades nästa robot UR10, med en ännu längre räckvidd och bättre lyftkapacitet än innan. (Universal Robots 2021, a) Företaget är idag ledande inom tillverkning och försäljning utav kollaborativa robotar, och hade som målsättning att under 2020 uppnå en global omsättning på över 3B\$. (Universal Robots 2021, b)

3.2.2 Definition Industrirobot

Under år 1994 introducerades in ISO standard vid namn ISO 8373:1994 med syftet att definiera vad det är som gör att en robot får klassas som en Industrirobot. År 2012 blev den reviderad och ersattes av den nya aktuella ISO 8383:2012, för att få klassas som en industrirobot måste följande kriterier utifrån roboten vara uppfyllda:

- Automatiskt kontrollerad
- Omprogrammerbar med manipulator
- Programmerbar i tre eller fler axlar
- Användas för industriella applikationer

(International Organization for Standardization, 2012)

3.2.3 Definition kollaborativa robot

Tidigare enligt standarden ISO 15066-1:2016 har en kollaborativ robot definierats som *området inom operationsområdet där robotsystemet (inklusive arbetsstycket) och en människa kan utföra uppgifter samtidigt under produktionsoperationen*. Under år 2021 kommer en revision att införas där termen "kollaborativ robot" inte längre kommer att används, i stället är det endast applikationen som kan utvecklas, verifieras och valideras som en samarbetsapplikation. (Swedish Standards Institute, 2016)

3.2.4 Nivåer av kollaboration

För att urskilja och klassificera de olika typerna utav interaktion som kan uppstå mellan människa och en kollaborativ robot utförde och släppte under 2016 W.Bauer, O.Scholtz, P.Rally, M.Braun och M.Bender en studie från Fraunhofer Institute for industrial Engineering. I studien nämner de utöver den traditionella robotcellen fyra olika nivåer utav kollaboration, som graden av interaktion sedan kan klassas utifrån. Se figur 3.1.

De följande fyra är (inklusive traditionella cellen):

- Cell

I en *cell* sker ingen samverkan utan roboten jobbar enskilt inuti en cell, cellen kan vara avgränsad utav fysiska staket.

- Coexistence / Samverkan

Med *coexistence* som översätts till samverkan menas att cellen inte längre är omringad utav ett staket, i stället jobbar roboten och operatören på enskilda detaljer och delar inte arbetsyta.

- Synchronized / Synkroniserad

Vid synkroniserat arbete jobbar roboten och montören på en delad arbetsyta, men det är endast en utav de båda som får jobba på detaljen enskilt.

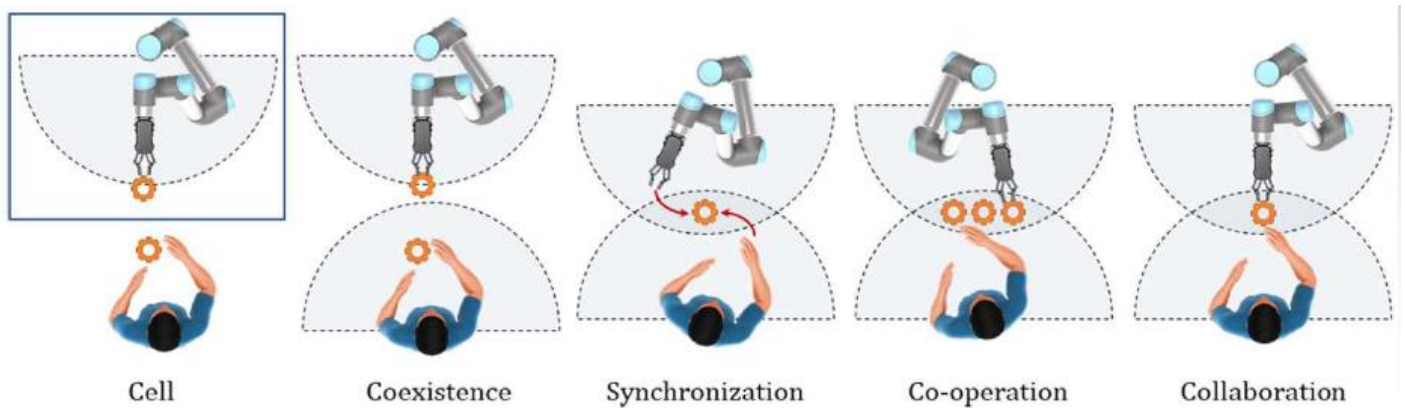
- Cooperation / Samarbete

Även här jobbar roboten och operatören på samma arbetsyta, men tillåts här istället att jobba på var sin detalj, men inte på samma samtidigt.

- Collaboration / Kollaboration

Robot och människa delar på arbetsyta, där de tillsammans jobbar på en detalj ihop.

(W.Bauer, O.Scholtz, P.Rally, M.Braun och M.Bender, 2016)



Figur 3.1. Bild med de fyra olika nivåerna av kollaboration. Malik, A.A., Bilberg, A. 2019. Återgiven med tillstånd.

3.2.5 Gripdon

De tre vanligast förekommande gripdonen som används i samband med kollaborativa robotar är: Elektriska, Pneumatiska och Vakuumdrevna.

Elektriska gripdon drivs utav en servomotor för att kunna styra gripdonets fingrar. Det som används mest är två- och trefingriga gripdon, tvåfingriga lämpar sig bra vid plockning av detaljer som har en fyrkantigare profil, medan trefingriga ger möjligheten att greppa runda och cylindriska objekt. Generellt sett är elektriska gripdon mycket fördelaktigt vid ömtåligare detaljer eller detaljer med mer komplicerad geometri. Det vanligaste användningsområdet är olika typer av pick-and-place operationer. Hastighet och kraft kan med hög precision regleras, de flesta gripdonen är även utrustade med sensorer som gör att gripdonet själv kan avgöra vilken kraft som krävs för att greppa ett objekt. (Universal robots, 2020, c)

Pneumatiska gripdon använder sig utav tryckluft för att styra en inre cylinder som i sin tur öppnar eller stänger fingrarna, detta gör att fingrarna endast har två lägen, ett öppet respektive ett stängt. Pneumatiska gripdon är mindre komplicerade, då de inte innehåller någon motor eller har några växlar. Många fabriker har idag redan tillgång till komprimerad luft, vilket gör att pneumatiska gripdon i många fall lämpar sig bäst i samband med att en ny robot introduceras. De är även billigare i jämförelse med elektriska gripdon, och kräver inte mycket underhåll. (Universal robots, 2020, d)

Vakuumdrevna gripdon får sin grepp styrka utav att luft drivs ur en sugkopp med hjälp av en elektrisk eller pneumatiskt driven pump, som i sin tur skapar ett vakuum. Det som avgör om vakuumdrevna gripdon lämpar sig bra är eller inte beror på geometri och vikt. Vakuumdrevna gripdon lämpar sig bra vid ytor som är stora och plana som exempelvis hantering utav plåtark, men är objektet för tungt kommer ett för stort tryck behöva skapas för att kunna upprätthålla vakuomet. (Robotics, 2019)

3.2.6 CE-märkning

Med en CE-märkning som står för *Conformité Européenne*, intygar tillverkaren eller importören av en produkt att den uppfyller EU:s (Europeiska unionens) hälso-, miljö- och säkerhetskrav. Beroende på vilken typ utav produkt som är aktuell faller den under ett speciellt direktiv med föreskrifter knyta till just den typ utav produkt. En CE-märkt produkt fungerar även som ett handelsmärke och produkten kan därför säljas fritt inom EU. Det är endast de produkter EU kommit överens om som får CE-märkas. (Svenska Institutet för standarder, 2021, a) Vid CE-märkning utav maskinsäkerhet så som kollaborativa robotar är det arbetsmiljöverket som är ansvarig myndighet. (Svenska Institutet för standarder, 2021, b)

Vid försäljning utav kollaborativa robotar är tillverkaren enligt svensk lag skyldig att följa de hälso- och säkerhetskrav som faller under maskindirektivet. Om tillverkaren inte följer de krav som ställs, har arbetsmiljöverket rätt att ingripa och tvinga tillverkaren att återkalla maskinerna eller behöva lämna ut kompletterande varningsinformation. I värsta fall kan det även bli aktuellt att införa försäljningsförbud utav maskinen i fråga.

(Arbetsmiljöverket, 2021, a)

Även om den kollaborativa robot som väljs för att användas inom verksamheten är CE-märkt, innebär det inte samma sak som att roboten kan börja vara verksam direkt. Först måste företaget göra en genomgående riskbedömning och därefter måste en till CE-märkning ske utifrån de arbetsuppgifter och arbetsmoment roboten ska utföra. I rapporten *Maskiner - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om maskiner samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna* publicerad av arbetsmiljöverket kan företag ta del av och läsa om hur man ska gå till väga när en ny maskin tas i drift. (Arbetsmiljöverket, 2021, b)

3.3 Grad av automation

Vanligtvis pratas det om att automatiseringsgraden är uppdelad i tre olika nivåer, manuellt arbete, semi automatiskt arbete och helt automatiskt. För att bättre kunna skapa sig en uppfattning av vilken grad utav automation som är mest lämplig för ett visst arbetsmoment kan man använda sig utav en LOA-matris (Levels Of Automation). Som delar in automationsgraden i sju olika nivåer, där Y-axeln representerar den kognitiva förmågan och X-axeln den fysiska. Utifrån de båda axlarna och inom det området dess gemensamma punkt hamnar kan den mest lämpliga metoden lokaliseras. Som (Fast-Berglund, Palmkvist, Nyqvist, Ekered & Åkerman 2016) nämner har matrisen funnits inom den svenska industrin i över 10 år och är vanligt förekommande när nuvarande och framtida tillstånd ska bestämma automatiseringsstrategier

3.4 Säkerhetsaspekt

Likt tidigare nämnt beskriver (Peshkin & J.E Colgate 1999) en kollaborativ robots egenskaper att samarbeta med människan gentemot de mer traditionella industri-robotarna. Genom att reglera hastigheten kan operatören på ett säkrare sätt samarbeta med roboten. I de fall då en ökad hastighet är önskad drivs robotarna vanligtvis utav en svagare motor som compensation. (W.Wannasuphoprasit m.fl. 1997) Skulle en kollision uppstå är den kollaborativa roboten utrustad med sensorer som känner av motståndet och roboten stannar. Området roboten är verksam i kan också vara utrustat med sensorer som med hjälp av olika zoner känner av hur nära andra objekt befinner sig, exempelvis en människa, och reglerar sedan hastigheten därefter. (Elektroautomatik, 2021)

För att säkerställa en säker utformning av den kollaborativ robotapplikation finns det en ISO standard vid namn ISO 10218-2:2011 och en teknisk specifikation vid namn ISO TS/15066:2016 som behöver efterföljas. Den tekniska specifikationen nämner *fyra* olika metoder där en eller flera måste väljas beroende på situationen för att säkerställa en säker arbetsplats för de involverade operatörerna. (SIS, 2011, 2016)

- Övervakat säkerhetsstop (SIS, 2011)
- Handstyrning (SIS, 2011)

Roboten utför vid de här två metoderna inga autonoma rörelser, utan stannar helt och står sedan still i samband med att operatören är närvarande. Vid *övervakat säkerhetsstop* står roboten still fram tills det att operatören lämnat området och roboten återigen är säker att starta. Med *handstyrning* styr operatören själv roboten genom att fysiskt guida den med sin hand. (F.Platbrood, O.Görnemann. 2018)

- Kraft- och effektbegränsning (SIS, 2011)
- Avstånds- och hastighetsövervakning (SIS, 2011)

Vid dessa två metoder integrerar operatören med roboten samtidigt som den arbetar, vilket utgör en säkerhetsrisk. Vid *kraft- och effektbegränsning* kan kontakten ske avsiktligt eller oavsiktligt. Den avgörande faktorn är den kraft och effekt roboten utsätter operatören för, som ska begränsas så att skador inte uppstår. Specifikationen vid namn ISO/TS 15066:2016 anger det maximala tillåtna värdet ifall att en kollision skulle uppstå. Vid *avstånds- och hastighetsövervakning* anpassas robotens hastighet och rörelsebanor i förhållande till operatörens hastighet. (F.Platbrood, O.Görnemann. 2018) (SIS, 2016)

3.5 Bin-picking

Arbetsmomentet som ska automatiseras sköts idag helt utav operatören och den flyttar arbetsmaterialet från emballaget där tusentals gångjärnshalvor är förvarade. Dessa gångjärnshalvor ligger inte i någon speciell ordning och det finns stor risk att vissa delar har hakat ihop, såväl som överlappar varandra. Att observera och plocka upp dessa delar är inget problem för en människa som kan utföra många olika greppningstekniker, men momentet visar sig vara komplicerat för en robotarm med ett specifikt gripdon att lösa. Men för att kunna skapa en helautomationslösning så introduceras projektet för begreppet “Bin picking” vilket många gånger kan refereras till som “Random bin picking”. Bin picking står för att ett system, många gånger en robotarm plockar upp detaljer ur en pall tex eller från ett bord och dessa detaljer behöver inte ligga i någon speciell ordning. Systemet ska kunna plocka upp detaljen oavsett detaljens position i pallen. (Moosmann m.fl.,2020).

Genom att roboten ska kunna känna igen rätt detalj och även känna av hur den är orienterad samt välja rätt greppningsmetod gör att bin-picking kräver extra utrustning utöver robotarmen och gripdonet. Det vanligaste lösningen på problemet är att implementera olika kameror eller lasersystem. Den mest moderna lösningen är användningen av 3d kameror som läser av hur detaljerna ligger och sedan beräknas plockningsproblemet med hjälp utav avancerade plockningsalgoritmer som bestämmer hur roboten ska greppa detaljen.

3.6 Vision system

Som nämnt i tidigare avsnitt så behövs extra utrustning för att kunna klara av plockningsproblemet och detta görs i form av olika vision system. Det finns en rad olika typer av lösningar där 3D laserkameror används för att skapa ett så kallat "point cloud" utav omgivningen. Det finns även 2D kameror och traditionella kameror men då används ofta två för att kunna skapa en 3D bild utav omgivningen. Dessa olika vision system kommer med flera olika typer av problem också. Det finns flera olika scenarions som gör det svårt att känna igen objekt och skapa en riktig bild utav verkligheten. Några exempel är objekt som ligger på varandra och detta gör så att objektet bakom skymms. Ljus kan också vara en stor problemfaktor då objekten kan skapa skuggor på varandra och detta gör att kameran får igenkänningssvårigheter. 2D kameror är mest känsliga för detta. Ett annat problem kan även vara kantigenkänning som försvårar det för kameran att kunna urskilja objekt från varandra. (Owen-Hill, 2019, 21 mars).

3.6.1 Eye-in-hand

Det finns två olika typer av positioneringssätt för kameran, beroende på vilken typ utav lösning som är aktuell. Ett av dem kallas *Eye-in-hand*, vilket innebär att kameran sitter på robotens handled och följer med dess rörelser, se figur 3.2. Fördelarna är att endast ett fåtal bilder behöver tas för att kalibrera, vilket är processen när scannern och robotens separata koordinatsystem kalibreras mot varandra. Då kameran rör sig i fas med roboten tillskillnad från *Eye-to-hand*, blir det möjligt att positionera scannern i samma utgångsläge respektive materialet varje gång, vilket underlättar för träning och analys av kamerasystemet. Det medför även en mindre och flexiblare station. Nackdelen är att kameran ökar robotens vikt, vilket resulterar i att den får en minskad lyftkapacitet. Det finns också risk för att roboten hamnar i obalans vid hastiga rörelser. (P.Fager, 2021)

3.6.2 Eye-to-hand

Det andra monteringsalternativet kallas Eye-to-hand, och innebär att kameran är separerad ifrån roboten, se figur 3.3. I stället kan kameran fritt positioneras och sättas i ett fixerat läge där den inte påverkas utav robotens rörelser. Detta gör att kameran blir mycket mer stabil, men samtidigt rör sig roboten relativt scannern vilket medför att det blir svårare att få till en bra kalibrering. Det minskar dock chanserna att kameran skadas i samband med en eventuell kollision och roboten blir inte lika begränsad utav kablage. Nackdelarna är att det behövs en fixtur som håller kameran på plats, i vissa fall kan den också behöva vara rörlig för att följa roboten, stationen blir även mindre flexibel. (P.Fager, 2021)



Figur 3.2, eye-in hand



Figur 3.3, eye-to-hand

P.Fager, personlig kommunikation, Automation in logistics, 2021-02-16. Återgiven med tillstånd

3.7 Ekonomisk hållbarhet

För att resultaten från detta Projekt ska kunna implementeras så är det viktigt att det inte bara löser problemet och frågeställningen med vilken lösning som helst. Det är även viktigt att de kostnader som kan tillkomma med robotlösningen analyseras och granskas. Genom att detta projekt ska utvidga användningsområdet för den redan befintliga UR roboten så är kostnader för roboten och mjukvaran egentligen ingenting som behöver studeras vidare. De extra kostnader som kan uppstå är eventuell extra utrustning som krävs för att förvekliga automatiseringen av det nuvarande automatiseringsproblemet.

Genom att UR roboten på Skandia Elevator är tänkt att jobba på flera olika ställen i fabriken och utföra varierande arbetsuppgifter så kan de investeringar som görs nu också användas till fler uppgifter. Det kan därför vara ekonomiskt hållbart för företaget att investera i ett visionssystem om det även kan användas till andra arbetsuppgifter och inte bara den station som undersöks i detta arbete. Hur mycket företaget kan tänka sig att spendera kommer dock att utvärderas utav handledaren på företaget.

UR roboten kommer även att frigöra arbetskraft och kompetens som kan användas på andra ställen i fabriken, vilket leder till att operatören i sin tur kan arbeta med mer kompetenskrävande och värdeskapande uppgifter. Det ligger därför i företagets intresse att undersöka hur mycket tid som faktiskt sparas och vad denna tid kan vara värd för att senare kunna avgöra om en lösning faktiskt är ekonomiskt hållbar.

3.8 Robotmontering och toleranser

För att den automatiserade processens ska vara robust och repeterbar så är det flera olika faktorer som spelar in och påverkar detta. Robotens precision och repetitionsförmåga har en stor del i hur kvalitetsutfallet blir på processen men även toleranser på gripdon, fixturer och i detta fall gångjärnshalvorna samt nitpinnarna kommer att påverka detta. Det är därför viktigt att processen blir optimerad efter gångjärnshalvornas toleransgrad utan att det påverkar resultatet negativt. Målet med processen är att den ska vara effektiv, kontrollerad, flexibel och robust. (Müller, Scholer, Schirmer & Blum, 2020)

3.9 Robotens precision

Enligt ISO 9283:1998 (International Organization for Standardization, 1998) så beskriver robotens precision hur precis robotens positionering är jämfört med önskad position. Detta mäts genom att en rad olika positioner testas och skillnaden mellan önskad position och verklig position mäts.

3.10 Robotens repeternoggrannhet

Repeternoggrannheten enligt ISO 9283:1998 (International Organization for Standardization, 1998) beskrivs som radien på en sfär som beräknas av medelvärdet på alla testpunkternas avstånd till punktmolnets tyngdpunkt. Båda dessa precisions värden är viktiga för att alla komponenter i processen ska kunna optimeras för optimal samverkan och pålitlighet.

4. Resultat

Här presenteras resultaten som erhållits från de presenterade metoderna.

4.1 Nulägesanalys

Nedanför presenteras en analys av det nuvarande läget

4.1.1 Grunddata

Årligen har gångjärnet en tillverkningsvolym på 35 000st, med en i monitor uträknad snittcykeltid på 6s. Totalt har gångjärnen en produktionskvantitet på 1000st/dag, dvs hur många gångjärn som kan producera per dag. Se bilaga B.

4.1.2 Funktionsanalys

Idag på så utförs hela uppgiften utav en operatör/montör. Det innefattar framplockning utav nödvändigt material, uppsättning av maskinen, nitning av gångjärnen och även packning utav gångjärnen. Idag finns ingen befintlig automationslösning för denna uppgift och den maskin som finns är även utav en äldre modell. På ett år görs cirka 35 000 gångjärn detta görs i batchstorlekar om 1000st per körning. Cykeltiden per nitat gångjärn ligger idag runt 6 sekunder. Hur många detaljer som produceras per dag skiljer sig åt en del så någon specifik frekvens finns inte men Skandia elevator räknar med att 225 arbetsdagar finns tillgängliga och detta resulterar i en daglig efterfrågan på 156 detaljer.

Vart denna uppgift utförs kan skilja sig åt från olika tillfällen då nitningsmaskinen är mobil och går att flytta utan större svårigheter. Det händer att stationer och olika processer flyttas runt för att skapa yta åt andra processer så detta gör att denna process inte har en bestämd plats i fabriken. Oberoende av vart i fabriken processen står så befinner sig processen i en Job-shoplayout där andra typer av monterings processer utförs i närheten. Miljön är neutral i fabriken och är ingenting som måste undersökas i detta arbete.

Arbetsuppgiften innefattar flera olika moment där material plockas och flyttas från pallar till arbetsbordet vid nitningsmaskinen och sedan placeras i maskinen för att nitas. Ett steg att belysa lite extra är momentet där gångjärnshalvorna placeras på styrpinne i maskinen för detta moment kräver ett tvåhandsgrepp då för att delarna ska kunna placeras på rätt sätt. Detta steg är det svåraste i processen då hålen i gångjärnen och diametern på styrpinnen är relativt lika i storlek. Efter att gångjärnen är placerade i maskinen så flyttas händerna bort. Maskinen nitar sedan gångjärnen när en fotpedal trycks ner av operatören. Händerna hålls borta från maskinen under själva nitningssteget för att undvika klämrisk.

Processen startas då en operatör stämplar in på en arbetsorder via en datorstation som beskriver vilken process som ska utföras och till vilken volym samt ställtider mm. Arbetet avslutas sedan med att det utförda arbetet rapporteras och då skrivs information i som hur många detaljer som faktiskt har producerats och även antal detaljer som kasserats under processen. När arbetet avslutas så skrivs även lagerplatsen där de färdigproducerade produkterna har blivit placerade och i vilket antal.

4.1.3 Intervju

Under projektets gång kommer vi ett tillfälle en ostrukturerad intervju att utföras med Sam Biermans, säljare på Pick-it för att diskutera möjligheterna kring bin-picking med hjälp utav 2D-kamera. Vid uppstart av examensarbete intervjuades våra handledare på SE där projektet i helhet diskuterades och vilka förväntningar som låg till grund för projektet. Detta följdes sedan upp av kontinuerliga möten och avstämningar.

4.2 Riskbedömning

Nedanför framkommer de eventuella risker som studenterna kan ställas emot under projektets gång. Genom att analysera riskanalysen framkommer det att vissa punkter har ett högre risktal än genomsnittet. Se figur 4

Nr	Risk	Sannolikhet (1-5)	Konsekvens (1-5)	Risktal	Åtgärd	Förväntat utfall	Ansvarig	Färdigdatum
1	Tillräcklig kompetens Bin picking	2	4	8	Utnyttja resurser och samarbetspartners. Eventuellt studiebesök	Optimal lösning hittas	Ex-jobbare/Mattias	2021-06-01
2	Tekniskt kunnande inte tillräckligt hos extern partner (cobots?) för visionsystem	1	3	3	Fortsatt diskussion med extern part eventuellt kolla på andra lösningar	Förtroende för samarbetspartner att det finns tillräcklig kompetens	Ex-jobbare/Mattias	2021-06-01
3	Att ekonomi inte tillåter önskade lösningar	2	3	6	Jämföra de olika lösningarna	Riktlinjer för budgetering sätt till investerings payback på 37 år, lösning kan väljas inom ramen	Jerry	2021-06-01
4	Material har inte rätt kvalitet för att hanteras av gripdon	2	3	6	Undersökning av andra potentiella gripdonslösningar	Gångjärmsalvorna kommer kunna greppas av gripdon	Ex-jobbare	2021-06-01
5	Tid för exjobb med hänsyn till övrigt skolarbete	1	2	2	Planera och lägg upp arbetet efter tidsramen	Projektet går i mål	Ex-jobbare	2021-06-01
6	Fixturering mer tekniskt invecklat än planerat	2	3	6	Diskutera projektet externt och internt för att utvärdera förslag på teknisk lösning	Att en lösning för fixtur tas fram	Ex-jobbare	2021-06-01
7	Osäkerhet i grunddata	1	3	3	Egna mätningar och observationer	Grunddaten ger en rättvis bild utav verkligheten	Ex-jobbare	2021-06-01
8	automationslösning inte får plats inom befintlig yta	1	4	4	Omplacering av arbetsstationen till en lämplig yta	Stationen blir flyttad till anpassad arbetsyta	Jerry/Mattias	2021-06-01
9	Brist på nödvändig utrustning i SIL-labbet	3	3	9	Titta på olika lösningar med andra samarbetspartner	Nödvändig utrustning finns tillgänglig	Ex-jobbare	2021-06-01
10	Begränsning av tillgång till SIL-labbet	2	4	8	Utnyttja tiden och prioritera	Vi kommer ha tillgång	Ex-jobbare	2021-06-01
11	Kompetens inom säkerhet (UR robot) inte är tillräcklig hos personalen på SE	3	4	12	Utbildna och instruera så att operatör får rätt kompetens	Operatören kommer ha den utbildning som krävs	SE	2021-06-01

Figur 4.1 riskanalys. [Egen bild]

Punkter med högst risktal i fallande ordning

Punkt 11

Med högst risktal 12, syftar denna punkt till att personalen på Skandia Elevator har med stor sannolikhet bristande kompetens inom säkerhet och hantering utav en UR-robot. Detta är dock väntat, och i samband med installation av robot ser företaget till att personalen får den utbildning som krävs.

Punkt 9

Därefter kommer punkt 9 med ett risktal på 9, som menar på att det finns en risk att den utrustning i form av vision-system och gripdon som finns tillgänglig i SII-labbet inte kommer vara tillräcklig för att användas som slutlig lösning. Däremot kommer den vara tillräckligt för att kunna testa och utesluta vilken typ utav utrusning som i slutändan kommer vara mest lämplig att använda sig utav.

Punkt 10

Punkt 10 har ett risktal på 8 och syftar till att det p.ga av den rådande pandemi finns en risk att åtkomsten och tillgängligheten till SII-labbet under våren kommer vara begränsad. Tiden har fördelats så att alla studenter som utför arbete i SII-labbet får lika stor tillgång, med då samhällsläget är fortsatt osäkert finns det en risk för att detta kan komma och ändras.

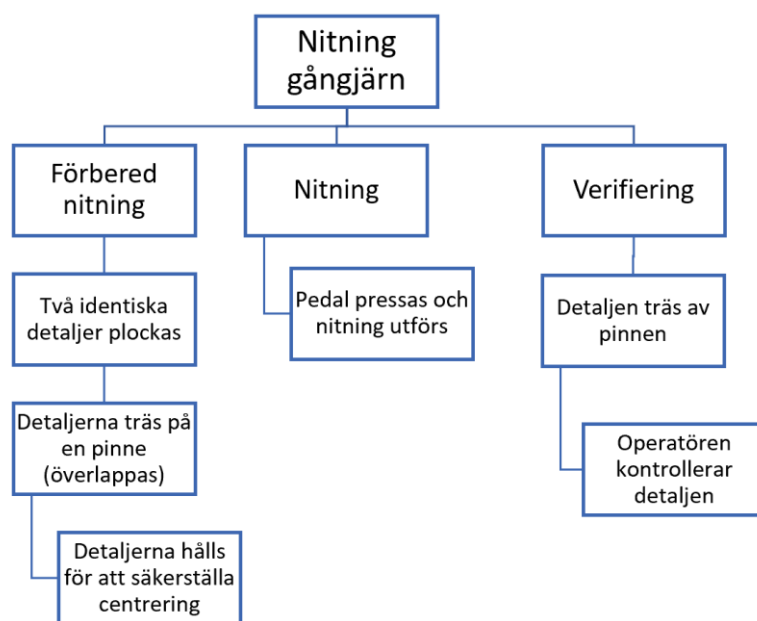
Punkt 1

Punkt 1 syftar till att det finns en risk för bristfällig kunskap inom området bin-picking och hantering av vision-system. Lösningen blir att ta hjälp utav våra handledare och andra tillgängliga resurser på skolan, men även att utnyttja andra kontakter och samarbetspartner inom företaget för att jämföra och utvärdera olika lösningar.

4.3 HTA

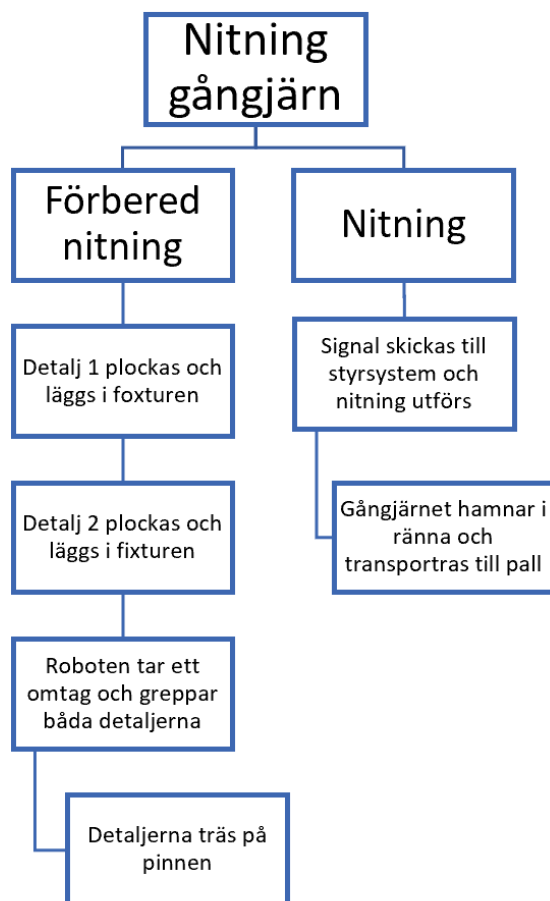
Nedanför presenteras en HTA för det nuvarande momentet manuell nitning, samt en HTA för det framtida momentet med en kollaborativ robot med resp. utan vision-system.

4.3.1 HTA Manuell nitning



Figur 4.2. HTA för manuell nitning. [Egen bild]

4.3.2 HTA UR3 utan vision-system



Figur 4.3. HTA för UR3 utan vision system. [Egen bild]

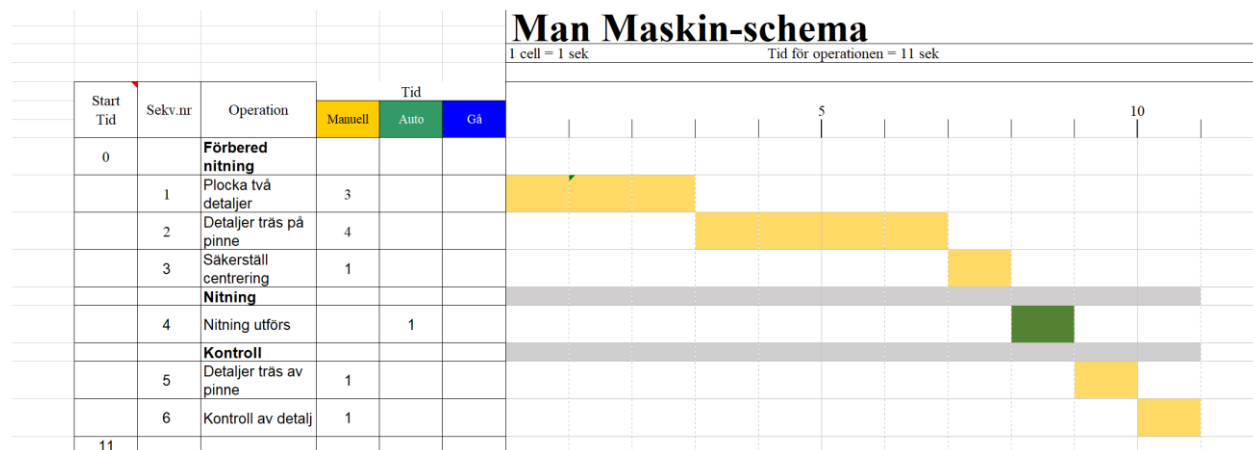
4.3.3 HTA UR3 Vision-system

På grund av resultatet i de kommande tester, är detta ett moment som senare inte kommer visa sig vara möjligt att utföra.

4.4 Man Maskin-schema

Syftet med Man-Maskin schemat är ett visuellt tidsschema över de aktiviteter och den ordning som presenterades i HTA-modellerna.

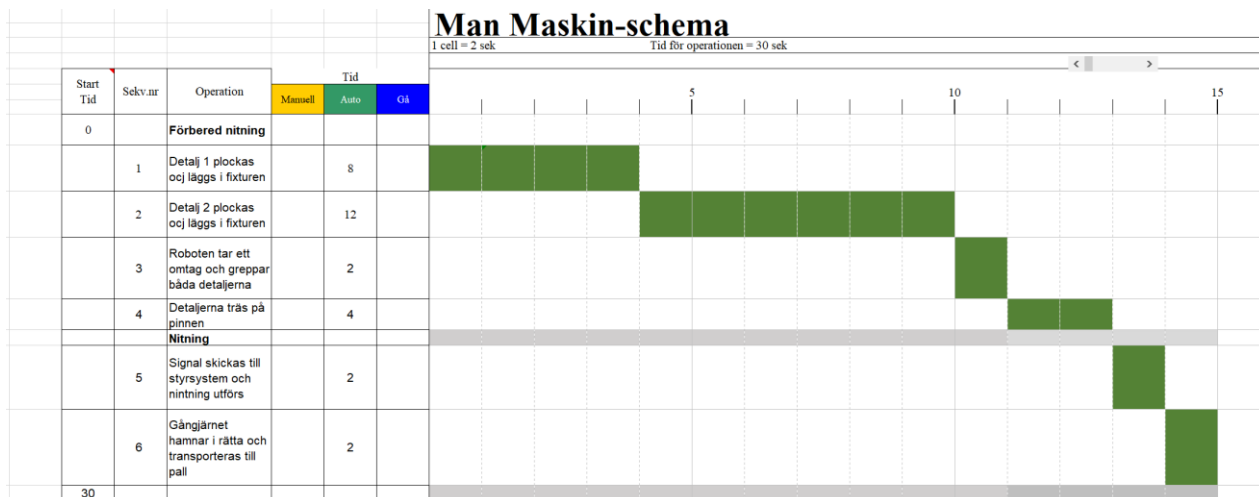
4.4.1 Manuell nitning



Figur 4.4. Man Maskin-schema för manuell nitning. [Egen bild]

Obs: 1 cell = 1 sek

4.4.2 Utan UR3 vision-system



Figur 4.5. Man Maskin-schema för UR3 utan vision system. [Egen bild]

Obs: 1 cell = 2 sek

4.4.3 Vision-system

På grund av resultatet i de kommande tester, är detta ett moment som senare inte kommer visa sig vara möjligt att utföra.

4.5 Undersökning av uppgiften och eventuella problem

Med hjälp utav projektets frågeställningar, avgränsningar, hierarkiska uppgiftsanalysen samt simulerade labb tester har problemet blivit analyserat och svårigheter samt begränsningar med processen har tagits fram. Målet med konceptframtagningen har sedan varit att hitta olika typer av lösningar på dessa problem.

4.5.1 UR3 robot analys och testning. Test 1

I SII-labbet finns flera olika typer av kameror som kan användas för bin-picking. Det system som finns tillgängligt för detta projekt är en gripdon- och kameralösning från företaget Robotiq och detta system är utvecklat för att fungera med Universal robots. Modellen på gripdonet går under namnet Robotiqs 2F-85 gripper (ROBOTIQ,UÅ,A) och kamerasytemet heter wrist camera (ROBOTIQ,UÅ,B). Robotiqs wrist camera är en 2D kamera som monteras över gripdonet. Kamerans scanningsområde är maximalt 36x27mm och den kan arbeta med delar som är 60-10% av scanningsområdets storlek. Kameran har integrerat ljus i form utav 6 vita LED lampor.

Detta test var menat både som ett inläringstillfälle för att införskaffa kunskap om hur ett visionssystem kan fungera, men testet visade även på att det är möjligt med relativt billig teknik att skapa en bin-picking lösning för gångjärnshalvorna som ingår i detta projektarbete.

Testningen av bin-picking lösningen genomfördes först genom kalibrering av kameran för det område som detaljerna skulle bli plockas. Detta sköttes med hjälp av en kalibreringsplatta som läggs på plocknings-området. Sedan förs roboten i position så att kameran har hela kalibreringsplattan i sitt synfält. När kameran sedan ser plattan kan en automatisk kalibreringssekvens köras. Denna process tog runt 5 minuter att genomföra. Steg två i processen var att lära vision systemet hur gångjärnshalvorna ser ut och hur de ska bli plockade. Inläringen av komponenterna kan göras genom att en CAD fil på detaljen laddas upp till roboten. En CAD fil på detaljen fanns inte tillgänglig så i stället så följdes en specifik inlärningsprocess som följs genom instruktioner på robot pedanten. Detaljen placerades under kameran och ett antal olika kalibrerings steg utfördes.

Detaljkalibreringen utfördes dock inte helt utan motgångar då kameran hade problem från början att kunna identifiera detaljen och dess kanter. Då kamerans LED lampor är mycket starka så skapade dessa reflektioner i bakgrunden och dessa kunde påverka kamerans scanningsmöjligheter. Den första arbetsytan fick bytas ut då den skapade för mycket reflektioner och en ny yta skapades då brunt icke reflekterande papper tejpades på en träskiva för att skapa en helt plan och icke reflekterande yta. Denna yta bidrog till ett bättre resultat på detaljscanningen.

Med hjälp av den nya kalibreringen av kameran så kunde detaljerna kännas igen av vision systemet och detta gjorde även så detaljerna kunde plockas upp oberoende av hur de var orienterade till en viss begränsning. 2D-kameran i detta vision system visade på ett flertal begränsningar. Kameran hade svårt att se skillnad på om gångjärnshalvan låg med ryggen ner eller ryggen upp. Konturen kunde i vissa vinklar vara mycket lik och detta gjorde att roboten kunde plocka upp en del som var fel orienterad och då även lyfta gångjärnet på fel sätt. Kameran kan inte heller känna igen delar som var orienterad med en sida upp. Detta är dock ett mindre allvarligt problem då denna orientering och en grepp-metod kan läras in separat. Det största problemet som observerades var när kameran feltolkade en position och orientering och plockade detaljen på fel sätt.

Om detaljerna låg mycket tajt så hade roboten problem att plocka upp en detalj utan att gripdonet tog i en närliggande detalj. Detta är inget som vision systemet tar hänsyn till. En lösning på detta kan vara att designa nya typer av greppfingrar som inte är lika tjocka och klumpiga som användes i detta test.

4.5.2 Brister med 2D-kamera

Vid testet av 2D bin-picking med Robotiqs 2F-85 gripper framgick det att roboten utan större svårigheter hade möjlighet att greppa detaljerna så länge dem alla var positionerade på samma sätt. När kameran skulle programmeras så gjordes detta utifrån att detaljerna var riktade upprätt. Även om det hade observerats brister tidigare hos kamerans igenkänningsfaktor och möjlighet att läsa av bilder ska kameran i ett senare test försöka programmeras så att den känner igen detaljer med utgångsposition ifrån de olika sidorna samt upp och ner vända detaljer. Det enda som kommer skilja sig åt är vinkeln som gripdonet får greppa detaljen ifrån. När detaljerna sedan ska placeras i fixturen kommer roboten tvingas få ta ett omtag för att kunna garantera att placeringen av detaljerna i fixturen blir likgiltigt varje gång. Men detta förutsätter då att detaljerna ligger utspridda och inte har fastnat i varandra för att 2D kameran ska ha möjlighet att känna igen dem.

Gångjärnshalvorna levereras idag i en pall med krage, p.g.a av dess symmetri och mindre storlek överlappar inte bara detaljerna varandra utan det är också vanligt förekommande att det hakar i varandra. Detta gör att det skulle krävas en 3D-kamera för att plocka detaljerna. Som tidigare beskrivit i teori avsnittet fungerar bin-picking med 3D på så sätt att med hjälp av ett laser-ljus fångar kameran en 3D bild, som även får med djupet av bilden. Ett punktmoln skapas sedan, dvs ett flertal punkter som definierar detaljerna och dess omgivning. (Robotiq, 2019) Det är detaljens geometri och dess placering som sedan avgör hur lätt systemet har att för att kunna identifiera och plocka upp detaljerna.

I en intervju med Sam Biermans, säljare på företaget Pick-it som erbjuder olika typer utav vision system redovisades detta projekt-caset. Sam förklarade då att vår detaljs geometri i kombination med dess storlek dessvärre inte gjorde den lämplig för 3D bin-picking. Då detaljerna överlappar varandra och även riskerar att haka i varandra kommer roboten inte ha möjlighet att plocka upp detaljerna enskilt. En ytterligare faktor som avgör hur väl kameran har möjlighet att känna igen enskilda detaljer beror på dess storlek, detaljer med större och tydligare konturer gör att kameran lättare kan lokalisera dem. (Sam Beirmans, 2021) I vårt fall är det även inte mycket som skiljer detaljen åt då den ligger upprätt så väl som nedåt vänd.

Sam förklarade även att det vanligaste användningsområdet för ett 3D-vision system är det som många idag känner till som pick-and-place. En pick-and-place operation är vanligt förekommande inom tillverkningsprocesser, packning samt vid omplockning och innebär som namnet antyder att roboten plockar och placerar. (Automate, 2018) Här spelar detaljens orientering eller hur den placeras ingen större roll, robotens uppgift är endast att plocka upp detaljen för att sedan omplacera den. (PickIt, U.Å) Exempelvis när det finns intresse att dela upp en detalj i mindre batcher eller exempelvis mata ett transportband. Detta betyder detaljens geometri inte heller har så stor betydelse, det enda viktiga är att roboten har möjlighet att greppa detaljen. Att endast en detalj greppas som sedan kan sedan verifieras med t.ex. vakuum genom ett förinställt lufttryck garanterar att endast en detalj fås med. Skulle roboten missa eller av någon anledning inte lyckas kan den i stället pröva på en annan detalj. Detta är något som styrs i robotens programmering, och kan regleras med hjälp av exempelvis en *if* sats.

Sam föreslog dock ett alternativ, att i vårt fall hade en möjlighet kunnat vara att först använda sig utav pick-and-place eller så kallad “fishing” där med hjälp av t.ex. vakuum eller en magnet först plockar upp en eller flera detaljer för att sedan placera dem på ett nytt bord där de separeras och sprids ut. En 2D-kamera likt den i vårt utförda test kan sedan användas för att identifiera och nu plocka detaljerna. Ett ytterligare alternativ skulle kunna vara ett skakbord där detaljerna på så sätt sprids ut. Något som ska utvärderas i nästa test då roboten ska försöka läras in på all fyra möjliga utfalls positioner och även testa med fler detaljer.

4.5.3 Möjlig positionering

Efter att exempelvis “fishing” utförts, där detaljerna med hjälp utav förslagsvis vakuum eller en magnet plockats ur pallen för att sedan släppas på en ny yta finns fyra möjliga utgångslägen som detaljen kan positionera sig i. Nedåtvänd (v.ö), Uppvänd (h.ö), Sido-vy 1 (v.n) samt Sido-vy 2 (h.n).



Figur 4.6 Möjlig positionering. [Egen bild]

Här presenteras detaljen med nedåtvänd orientering



Figur 4.7 [Egen bild]

I detta utgångsläge har gripdonet möjlighet att greppa detaljen längs med sidorna så att hålbilden blir fri.

Här presenteras detaljen med uppvänd orientering



Figur 4.8 [Egen bild]

Lika vid det nedåtvända läget har även här gripdonet möjlighet att greppa detaljen längs med sidorna så att hål-bilden blir fri.

Här presenteras detaljen enligt sido-vy 1



Figur 4.9 samt 4.10. [Egen bild]

I detta läge har gripdonet möjlighet att både greppa detaljen enligt bild 1 där detaljen smalnar av, men även över den bredare delen enligt bild 2.

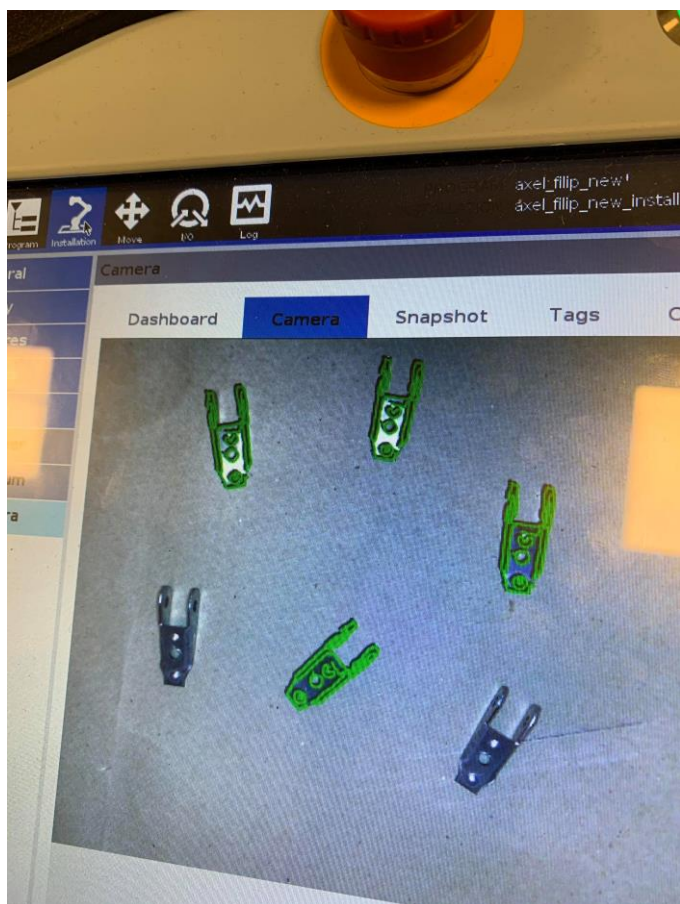
Här presenteras detaljen enligt sido-vy 2

Även i detta läge har gripdonet möjlighet att greppa detaljen enligt sido-vy 1 med enda skillnaden att detaljen är spegelvänd.

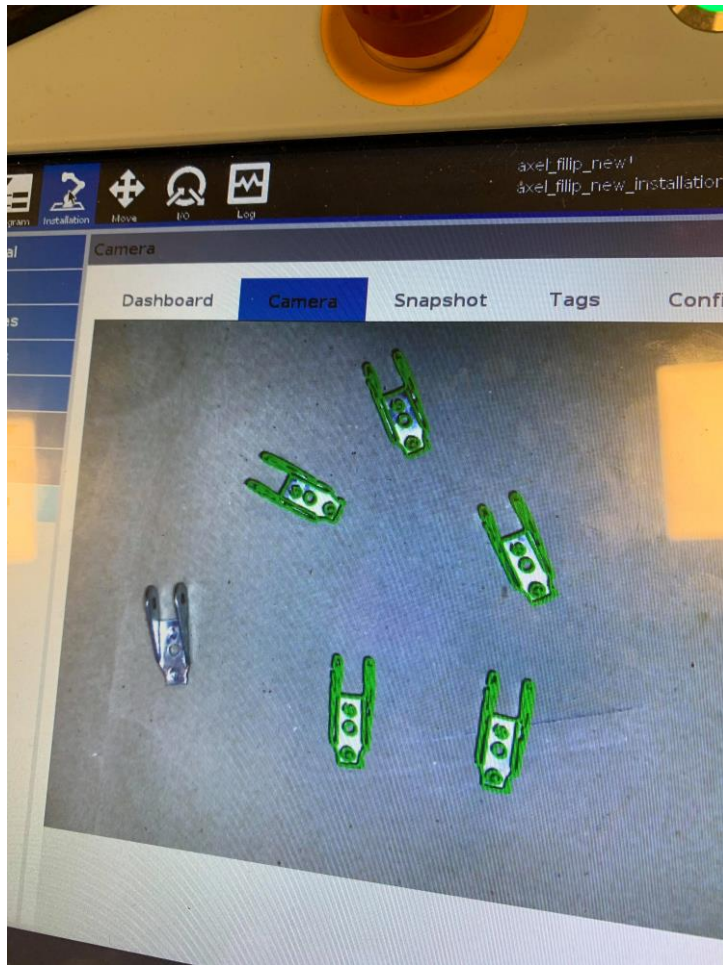
4.5 Verifiering av bin-picking med 2D-kamera. Test 2

Syftet med detta test är testa och utvärdera huruvida Robotiqs 2D wrist camera har möjlighet att urskilja detaljens fyra möjliga positioner (Se 4.4.3) efter att exempelvis “fishing” eller skakbord tidigare i processen har använts för att urskilja de olika detaljerna åt.

Det första testet gick ut på att testa om kameran har möjlighet att skilja detaljer som är positionerade nedåtvända liksom kapitel 4.5.3 gentemot uppåtvända detaljer. Nedanför kan resultatet ses av den bild som kameran tog av de nedåtvända detaljerna, se figur 4.11, respektive de uppåtvända, se figur 4.12. Den gröna markeringen betyder att kameran haft möjlighet att identifiera objektet och dess konturer, detaljer som saknar grön markering är för kameran “osynlig”.



Figur 4.11 Nedåtvända detaljer. [Egen bild]

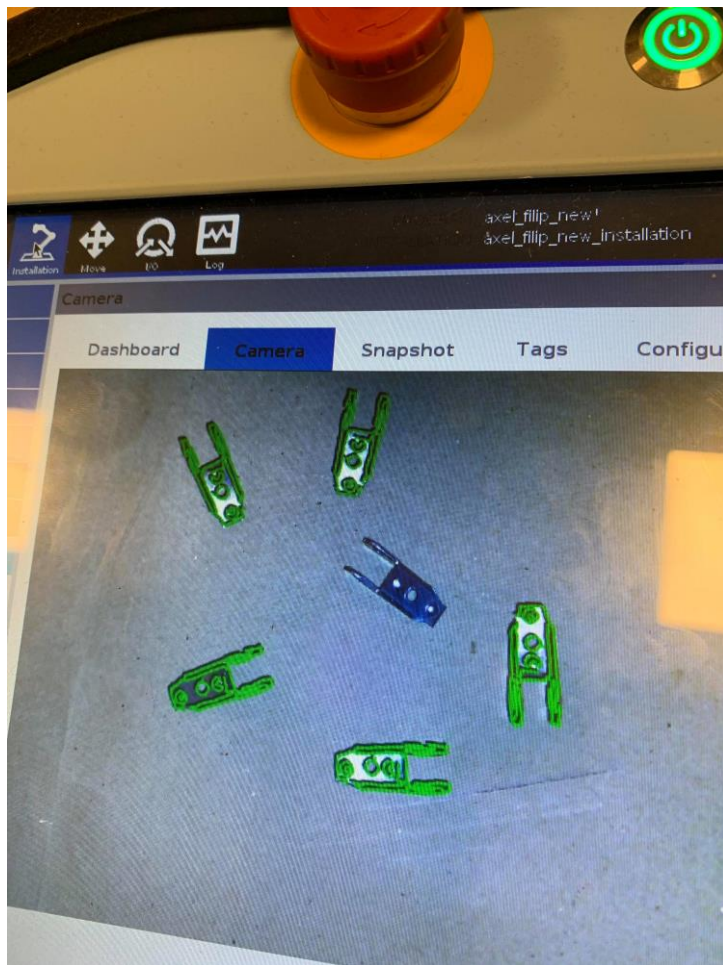


Figur 4.12. Uppåtvända detaljer. [Egen bild]

Genom att jämföra de olika bilderna kan snabbt en slutsats dras att det är mycket svårt att urskilja vilka konturer det är som skiljer detaljerna åt, ifrån ett 2D perspektiv ser de mer eller mindre identiska ut. Hål-bilden ändrar sig beroende på hur detaljerna ligger, men skillnaden är för liten för att kameran ska ha en möjlighet att urskilja det.

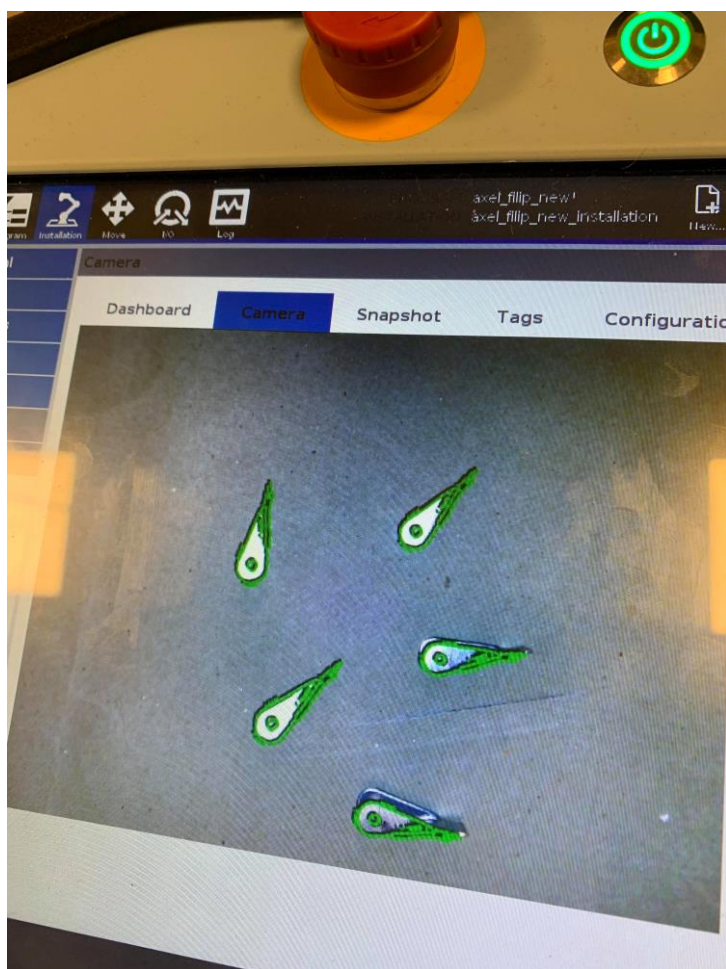
För att verifiera detta gjordes ett program där kamerans förmåga att se skillnad på de olika utgångspositionerna utvärderades. Ett program gjordes för nedåtvänd positionering, och ett för uppåtvända detaljer. Sex detaljer placerades sedan ut, varav tre var vända nedåt och tre var uppåtvända. En sekvens skapades sedan där roboten först skulle plocka endast nedåtvända detaljer, denna sekvens skulle upprepas till dess att alla nedåtvända detaljer var plockade, efter det skulle roboten plocka de resterande uppåtvända detaljerna. Då kameran som tidigare visat inte kan urskilja de olika positionerna åt, resulterade det i att roboten plockade detaljer

positionerade i båda lägena utan hänsyn till vilken ordning de skulle plockas i. I figur 4.13 kan den bild ses som kameran tog i det utförda testet, på bilden ska roboten enbart hitta detaljer med en nedåtvänd positionering, men som det framgår tror kameran att samtliga detaljer i grön markering ligger i samma utgångsposition.



Figur 4.13 Blandning av nedåtvända samt uppåtvända detaljer. [Egen bild]

I testet valdes också att titta på hur väl kameran kände igen detaljer med olika sido-vy. Då detaljerna inte är helt symmetriska skiljer sig även sidorna sig åt, beroende på vilken sida som är uppåtvänd respektive nedåtvänd. Nedanför visas kamerans bild med sido-vy 1 som presenterades i kap 4.5.3 samt sido-vy 2. Även här framgår det tydligt att kameran har stora svårigheter när det kommer till att urskilja detaljernas olika positionering. I bild Figur 4.14 kan detaljerna ses i sin placerade sido-vy 1 och i figur 4.15 presenteras dem utifrån sido-vy 2.



Figur 4.14. Sido-vy 1. [Egen bild]



Figur 4.15. Sido-vy 2. [Egen bild]

Likt tidigare valdes även här att göra en sekvens där roboten först skulle plocka enbart detaljer med position utifrån sido-vy 1 för att sedan plocka de resterande detaljerna i sido-vy 2. Men som figur 4.16 visar skulle kameran här bland båda typerna utav sido-vy endast identifiera detaljer med sido-vy 1, men i stället har kameran markerat detaljer i båda positionerna.



Figur 4.16. Blandad sido-vy. [Egen bild]

Detta test visar på att denna detalj inte är lämplig för bin-picking eller har möjlighet att identifiera detaljernas utgångsposition. För att roboten ska ha möjlighet att placera detaljerna i en fixtur krävs det att kameran kan se skillnad på vilken utgångsposition detaljen har. Resultatet blir att en 2D-kamera inte klarar av att se skillnad på dessa fyra lägen även om “fishing” i ett tidigare skede skulle utföras, och att bin-picking därav inte heller är möjligt. En 2D-kamera hade varit mer lämplig i en pick-and-place operation där syftet endast är att plocka och omlacera detaljer utan hänsyn till position, t.ex. vid om plockning till mindre batcher. En 3D-kamera hade här varit ett bättre alternativ för uppgiften, eller exempelvis ett skakbord med styrning som gör att detaljen hamnar i samma utgångsläge varje gång, men detta och mer utelämnas till diskussions kapitlet.

4.6 Framtagning av alternativa koncept

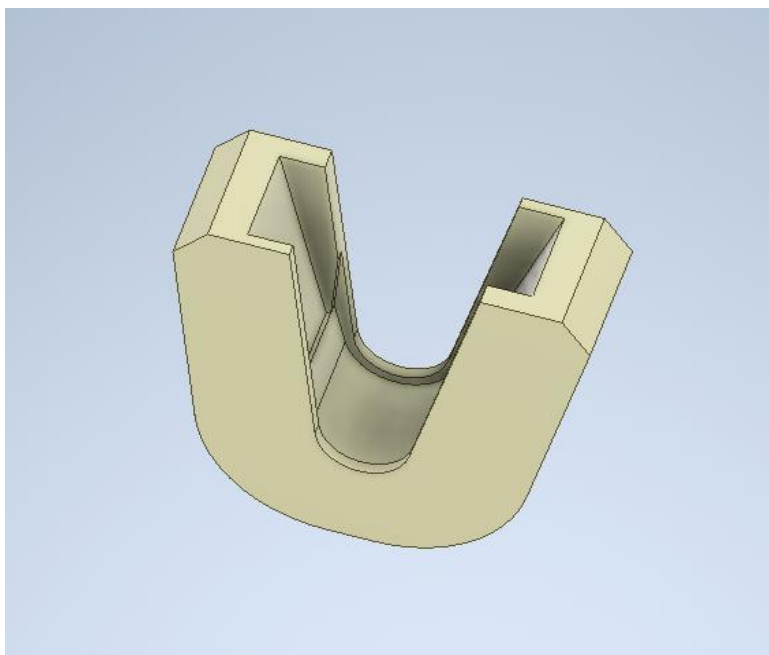
För att besvara frågeställningen: *Vad för fixturer och gripdon krävs?* genererades det olika typer av koncept utav fixturer och gripdon i CAD. Som baserades på Robotiqs 2F-85 gripper. Tack vare tillgången till Chalmers SII-Lab hade projektet möjligheten att med hjälp av en 3D skrivare skriva ut och verifiera hur väl de olika koncepten fungerade.

Gångjärnshalvor mättes och modellerades sedan upp för att på så sätt enklare ge en precis uppfattning av dess form och dimensioner, sedan genererades det fram idéer och koncept på olika typer utav lösningar som skulle kunna vara lämpliga.

4.6.1 Fixturer

De koncept som presenteras under fixturer bygger på att roboten tar ett omtag, det vill säga att roboten först plockar upp de båda komponenterna enskilt och placerar dem i fixturen. Roboten tar sedan ett omtag och greppar båda gångjärnshalvorna samtidigt för att sedan placera dem i nitmaskinen. De olika fixturerna utvärderas och jämförs sedan i elimineringsmatrisen.

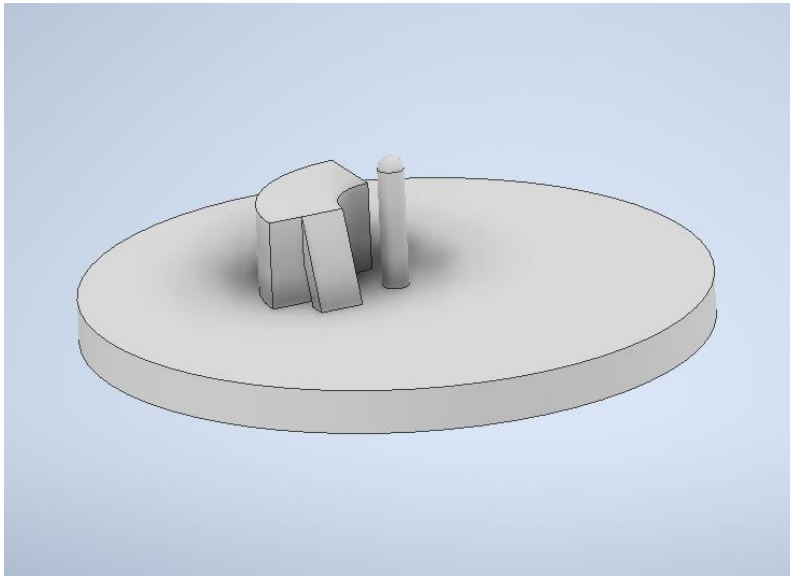
Fixtur 1



Figur 4.17. Fixtur 1. [Egen bild]

Kommentar: Denna fixturs funktion är sådan att gångjärnen placeras en och en i fixturen. När gångjärnen är placerade i fixturen så är de orienterade på samma sätt som de skulle varit om en montör hade placerat dem på styrpinnen. Sedan lyfts hela fixturen upp med gångjärnen i och med hjälp av fixturen så kan gångjärnen placeras på styrpinnen. Fixturen kan sedan dras bort från gångjärnen.

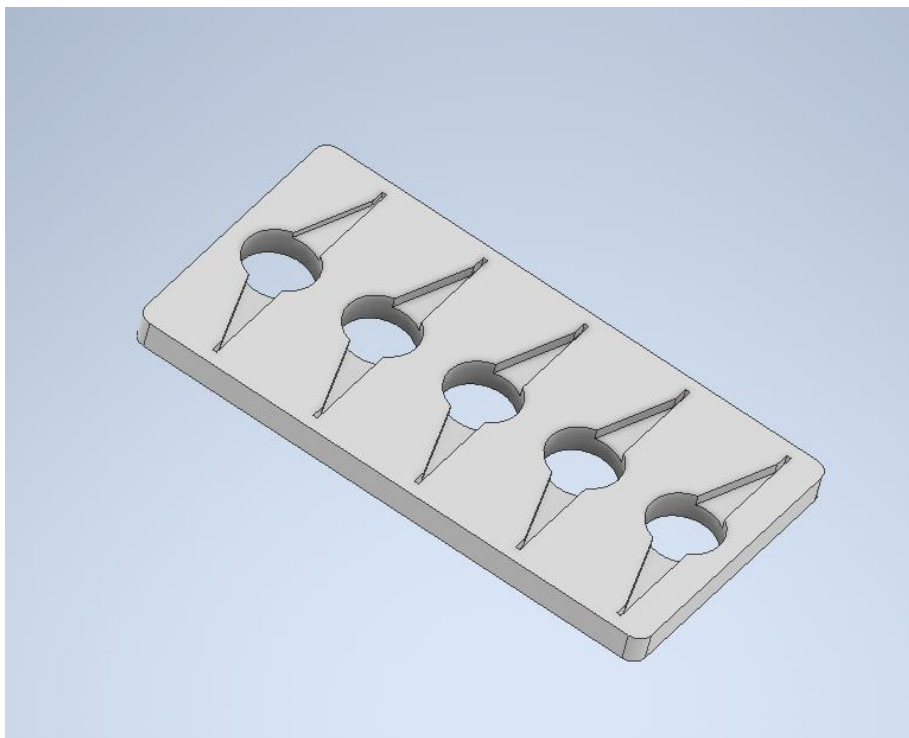
Fixtur 2



Figur 4.18. Fixtur 2. [Egen bild]

Kommentar: Ett gångjärn placeras uppe på fixturen och hålet guidas utav pinnen, när gångjärnet ligger på plats bildas ett spel mellan styrpinnen och gångjärnets över hål. Detta gör att nästa gångjärnshalva kan träs ifrån sidan och sedan ner på pinnen så att gångjärnshalvorna överlappas. Roboten petar sedan ner gångjärnshalvorna ifrån plattformen som styrs av en ramp. När de båda gångjärnshalvorna glider ner från plattformen trär styrpinnen igenom de översta hålen.

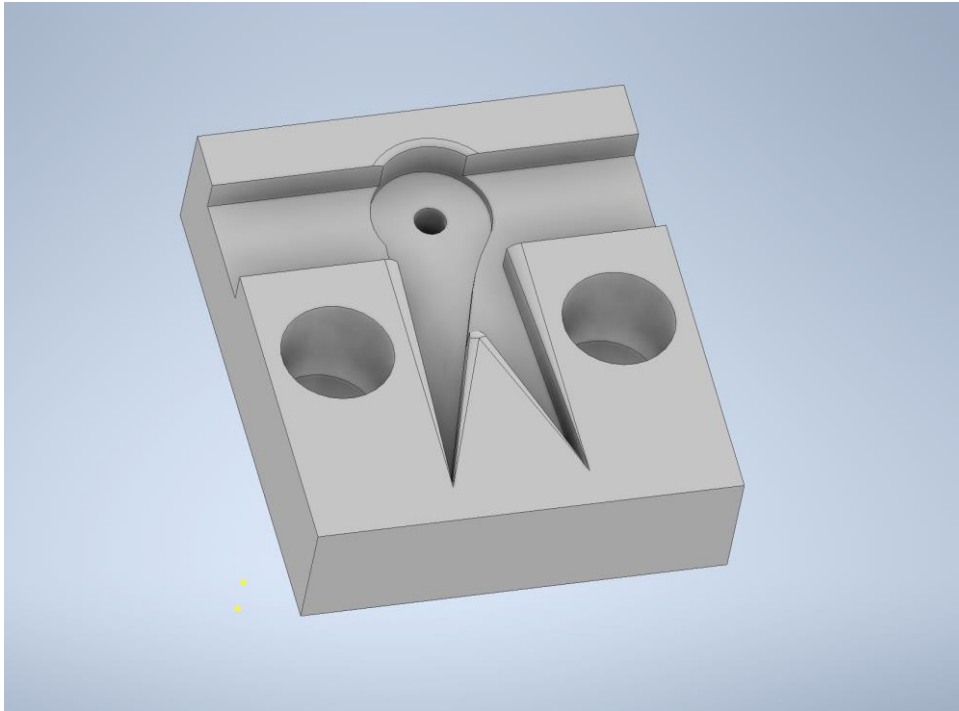
Fixtur 3



Figur 4.19. Fixtur 3. [Egen bild]

Kommentar: Detta koncept är designat som ett magasin. Fem par av gångjärn blir placerade i fixturen. Hela fixturen lyfts sedan upp och används genom nitningsprocessen. Gångjärnen blir alltså nitade när de ligger i fixturen. Detta görs möjligt genom hålen i botten på fixturen.

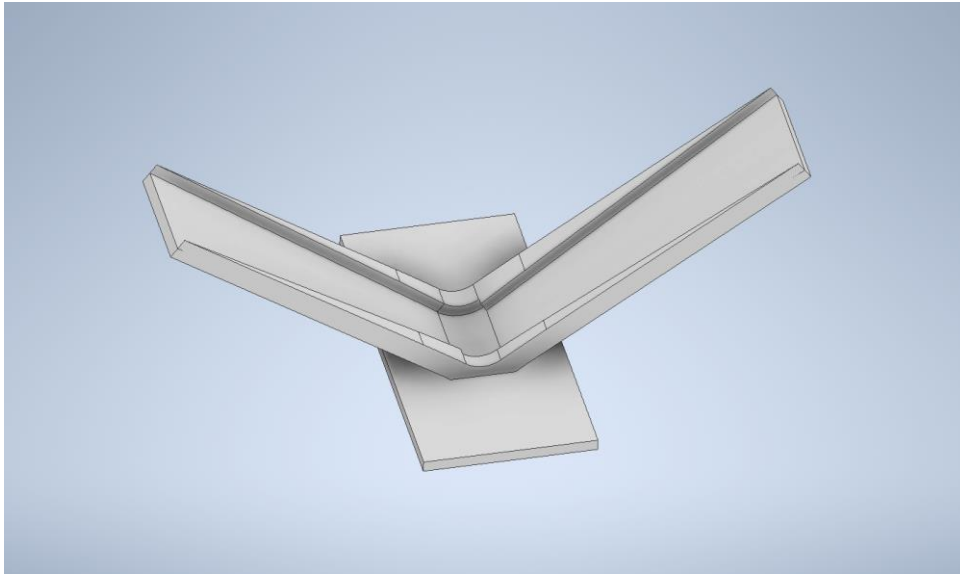
Fixtur 4



Figur 4.20. Fixtur 4. [Egen bild]

Kommentar: En gångjärnshalva placeras i fixturen och får guidning utav styrrpinnen. Sedan placeras den andra halvan, som tack vare en nivåskillnad överlappas och hamnar rätt. Gripdonet kommer sedan in ifrån sidorna för att greppa och lyfta ur komponenterna.

Fixtur 5



Figur 4.21. Fixtur 5. [Egen bild]

Kommentar: En gångjärnshalva släpps på vardera sida och tack vare avsmalningen får detaljen styrning och hamnar i samma utgångsposition varje gång. Roboten går sedan ner och plockar detaljerna ovanifrån.

4.6.2 Elimineringssmatris fixturer

Fixturer	Löser huvudproblemet	Realiserbar	Möjlighet för roboten att enkelt greppa detaljerna	Hålbilden stämmer överens efter omtag	Sammanfall av positioner vid varje placering	Gripdonet behöver ta ett omtag	Kommentar	Beslut
1	+	+	-	+	+	+	Svårt för gripdonet att greppa detaljerna	-
2	+	-	-	-	-	+	Detaljernas position varierar	-
3	-	+	+	+	+	+	Löser inte huvudproblemet	-
4	+	+	+	+	+	+	Det bästa lösningen	+
5	+	+	+	+	-	+	Detaljernas position kan variera	-

Figur 4.22. Elimineringssmatris fixturer. [Egen bild]

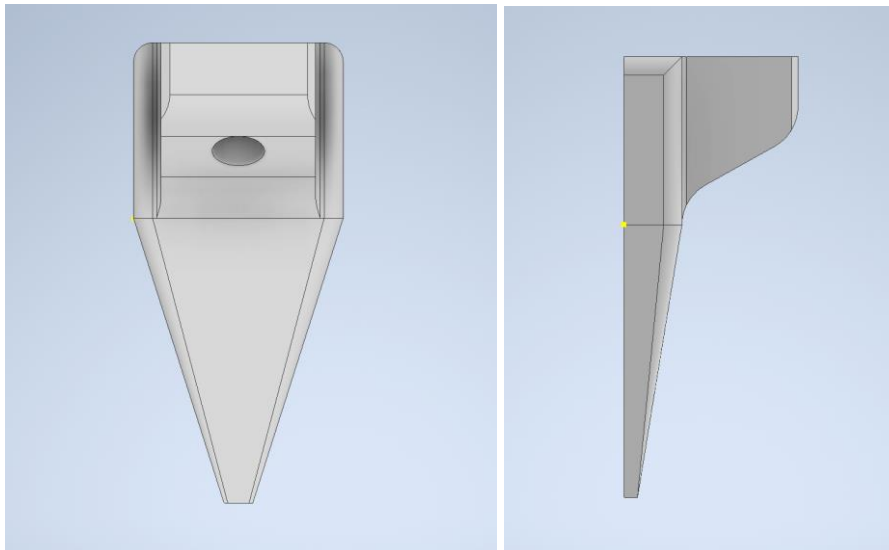
Kommentar till elimineringsmatris:

Fixtur 1 gör att detaljerna hamnar i samma utgångsposition och hålbilden stämmer överens efter omtaget, men gripdonet kommer få svårt att greppa detaljerna. I fixtur 2 hamnar inte detaljerna i samma utgångsposition och gripdonet kan därav inte ta plocka dem. Fixtur 3 är ett magasin och löser inte huvudproblemet. Fixtur 4 uppfyller alla krav och verkar vara den mest lovande lösningen. I fixtur 5 finns det risk att detaljerna får olika utgångsposition på grund av hastigheten i rännan.

4.6.3 Gripdon

Kravet på gripdonet är smala fingrar som tillåter hög precision och att roboten har möjlighet att på flera olika sätt greppa gångjärnshalvorna. Både enskilt när roboten plockar upp detaljerna ifrån emballaget men även parvis innan nitningsmomentet. De olika varianter på fingrarna är gjorda utifrån Robotiqs gripdon 2F-85 Gripper.

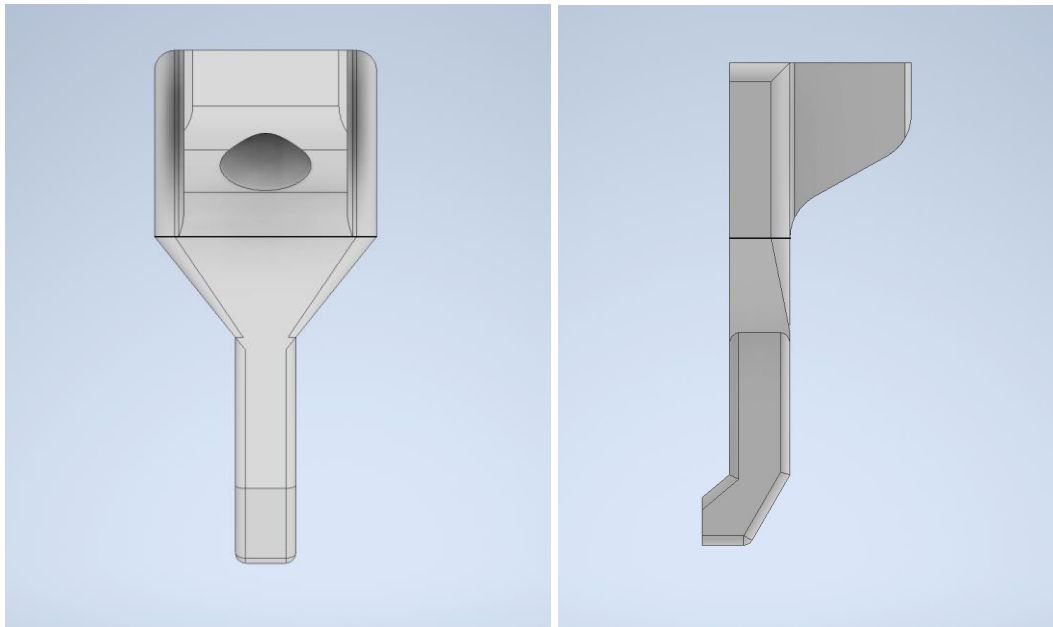
Gripdon 1



Figur 4.23. Gripdon 1. [Egen bild]

Kommentar: På denna variant har fingrarna har en större grepp area och en spetsig geometri som tillåter gripdonet att greppa mer komplexa detaljer med större precision ju längre ner på fingrarna gripningen sker.

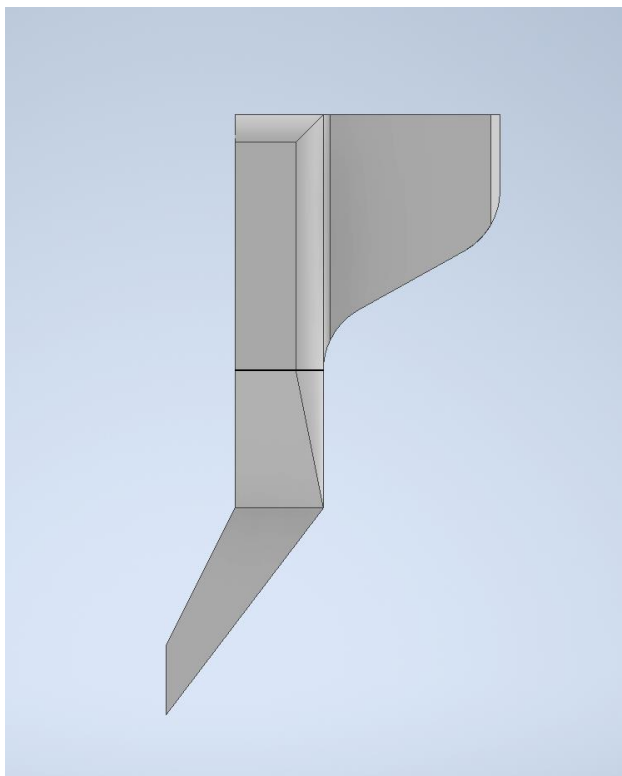
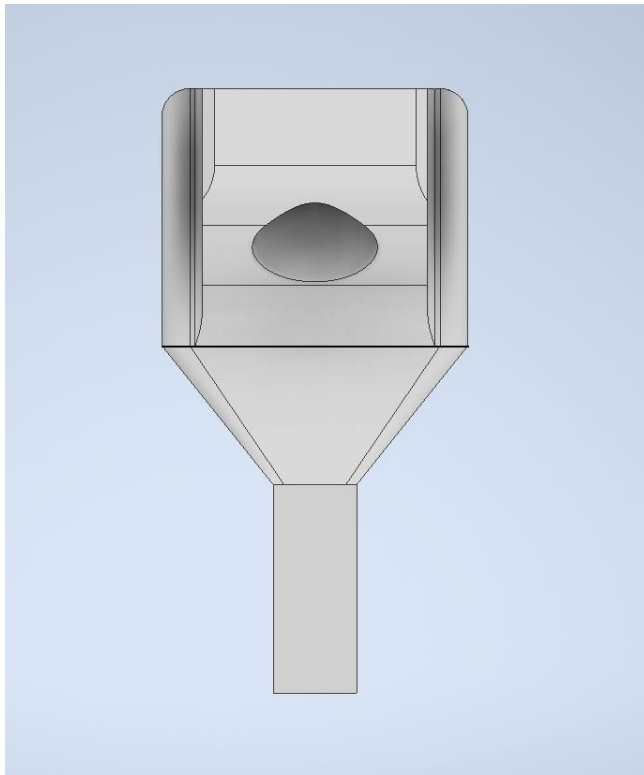
Gripdon 2



Figur 4.24. Gripdon 2. [Egen bild]

Kommentar: Här har fingrarna en mindre grepp area sett till föregående koncept, men istället ges möjligheten att få ett bättre och stabilare grepp kring detaljen som tack vare fingrarnas ingående profil bättre “nyper åt” detaljen.

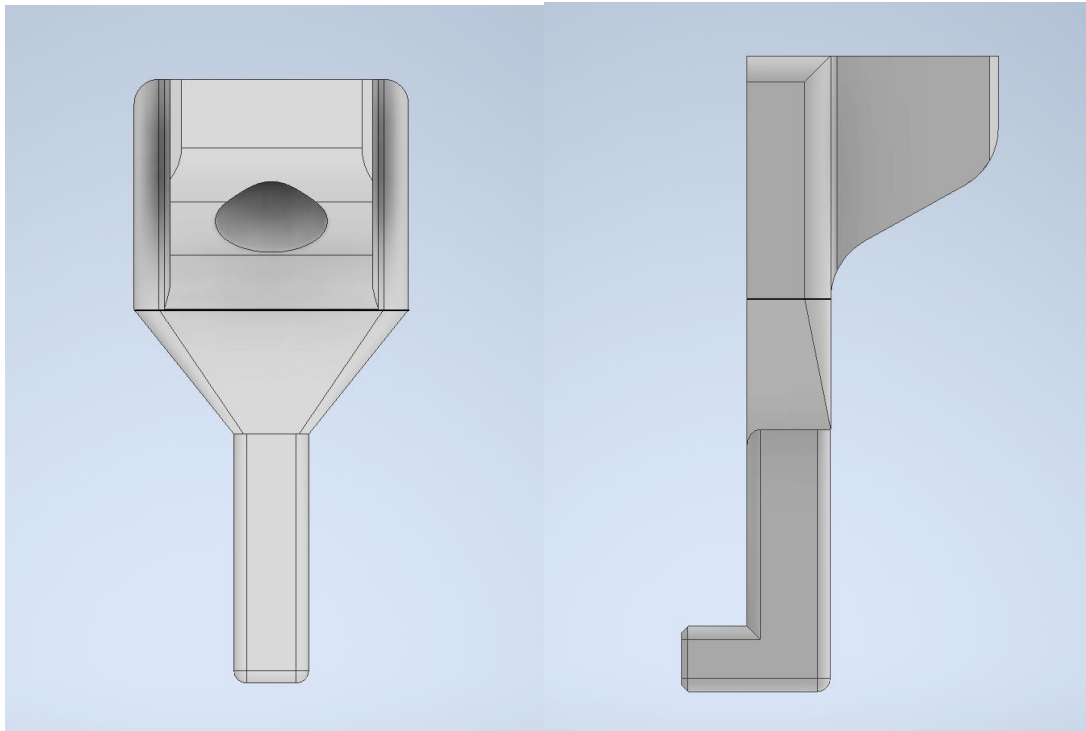
Gripdon 3



Figur 4.25. Gripdon 3. [Egen bild]

Kommentar: Likt de förra fingrarna har även detta koncept en mer ingående geometri som tillåter gripdonet att bättre “nypa åt” objektet.

Gripdon 4



Figur 4.26. Gripdon 4. [Egen bild]

Kommentar: En ytterligare variant på de andra typen utav fingrar.

4.6.4 Elimineringssmatris gripdon

Gripdon	Löser huvudproblemet	Realiserbar	Nyper åt bra	Bra anläggningssyta	Skadar inte detaljerna	Hög friktion mellan detaljerna och gripdonen	Kan lätt gå av/sönder	Kommentar	Beslut
1	+	+	+	+	+	+	-	Bäst anläggningssytan	+
2	+	+	+	-	+	+	-	Begränsad anläggningssytan	-
3	+	+	+	-	+	+	-	Begränsad anläggningssytan	-
4	+	+	+	-	+	+	-	Begränsad anläggningssytan	-

Figur 4.27. Elimineringssmatris gripdon. [Egen bild]

Kommentar elimineringssmatris:

Alla gripdon löser huvudproblemet och är realiserbara, men alternativ 1 har den bästa anläggningssytan och kan även på grund av den avsmalnade geometrin anpassas utefter hur mycket anläggningssyta som skall användas.

4.7 3D-utskrift av valda koncept

För att skriva ut de valda konceptens användes en 3D-skrivare av märket Markeforged tillgänglig i Chalmers SII-lab. Det gjordes även en utskrift baserat på styrpinnen som användes i den nuvarande nitningsprocessen, då detta var en kopia valdes det inte att ta med den i konceptgenereringen.

Fixtur vinnande koncept



Figur 4.28. Fixtur vinnande koncept. [Egen bild]

Gripdon vinnande koncept



Figur 4.29. Fixtur vinnande koncept. [Egen bild]

Grundfixtur



Figur 4.30. Grundfixtur. [Egen bild]

4.8 Verifiering av koncept. Test 3

I detta test konstaterades det snabbt att det val av gripdon som genererades fram i elimineringsmatrisen inte var helt optimalt. På grund av en för kort anläggningsyta gentemot Robotics gripper kunde fingrarna inte nypa åt detaljerna tillräckligt, då det i stället böjdes inåt, vilket resulterade i att detaljerna tappade sin position i gripdonet. Fingrarna som satt på gripdonet ifrån början valdes utav den anledningen att det visade sig att detta fungerade mycket bättre. Detta mycket tack vare den gummi-anläggning som finns på Robotics gripper, vilket medför att detaljerna inte förflyttar sig när roboten är i rörelse.

Fixturen fungerade som planerat, tack vare en rundning på styrpinnen kunde detaljerna träs på utan någon svårighet. Den första detaljen placerades rakt ovan ifrån med grepp-variant 2 som presenterades i kap 4.5.3. Den andra detaljen plockades spegelvänd med greppvariant 1 enligt kap 4.5.3 för att sedan kunna styras in ifrån sidan. Roboten plockade sedan detaljerna rakt ovanifrån för att placera dem i grundfixturen som baserades på nitmaskinen. Detta test krävde dock att detaljerna i det första steget plockas i samma utgångsposition varje gång, alltså har här roboten inte använts sig utav Robotiqs wrist-camera utan programmering består av MoveJ och MoveL-commands i form av utsatta punkter i rymden. Sammanfattningsvis ett mycket lyckat test som visar på att roboten har möjlighet att placera två gångjärnshalvor i en fungerande fixtur, för att sedan plocka dem och placera dem i nitmaskinen.

5. Diskussion

Nedanför diskuteras den valda metod och resultat, men även förslag på förbättringar samt idéer Skandia Elevator kan välja att överväga i sin egen utvärdering när det kommer till att implementera en kollaborativ robot i sin verksamhet.

5.1 Val av metod

Den valda metoden DMIAC som legat till grund för arbetsgången har visat sig vara mycket användbar och bidragit till en tydlig struktur och arbetsgång. Definiera fasen anses i detta arbete som en av det viktigaste, då det var här man fick möjlighet att samla in all nödvändig information gällande kollaborativa robotar, vision-system m.m. Denna djupare kunskap inom ämnet har lett till att kvalitén på arbetet ökat och till en större möjlighet att angripa olika typer utav problem utifrån flera olika vinklar. Tack vare ett mycket bra samarbete med Skandia Elevator har det funnits goda möjligheter att i mäta fasen samla in data ifrån SE monitor, men även möjligheten att fysiskt filma och befinna sig i verkstaden trots det rådande pandemiläge. Tack vare god tillgång till skolans SII-Lab analysera fasen fungerat mycket väl där studenter utvärderat och testat olika fixturer, 3D-printat gripdon m.m. för att komma fram till vilken typ utav lösning som är den mest optimala Den hierarkiska uppgiftsanalysen och funktionsanalysen har legat till grund för att bryta ner arbetsuppgiften och dess ingående moment, vilket har lett till ökat förståelse och medfört att metoder som exempelvis Man-maskinschema kunnat utnyttjats. Riskanalysen har bidragit till trygghet då det funnits en mindre handlingsplan för hur man ska åtgärda de risker som associerats med projektet.

5.2 Vision-system

Vår förhoppning och önskan ifrån Skandia Elevators sida var att vi i detta projekt skulle komma fram till att det är möjligt att använda sig utav ett vision-system för att med hjälp av bin-picking kunna plocka gångjärnshalvor direkt ur exempelvis en pall eller emballage för att sedan placera dem i en fixtur.

5.2.1 2D-kamera

Utifrån de utförda testerna i Chalmers SII-Lab med Robotiqs 2D wrist camera har vi kommit fram till att bin-picking eller annan typ utav plockning där en 2D-kamera används inte är möjlig för gångjärnshalvorna. Sett till bin-picking nämnde Sam Biermans ifrån Pick-it under en intervju att vår detalj inte var lämplig för bin-picking. Denna slutsats verifierades av studenterna under de tester som tog plats i labbet. Som tidigare nämnt har detaljen en geometri som gör att det finns stor risk att detaljer överlappar varandra samt hakar i varandra. Om detta är fallet har roboten inte möjlighet att plocka upp detaljerna. Ett tänkbart scenario hade istället vart att roboten endast plockade detaljer som låg enskilt. Men eftersom kamerans möjlighet till igenkänning och möjlighet att plocka detaljerna bygger på de positioner man lärt roboten, hade alternativet i så fall vart att lära roboten alla tänkbart möjliga positioner detaljen kan positionera sig i. Vilket hade vart en process som inte är möjlig. Det fanns även möjlighet att ladda upp en cad-fil till kameran och på så sätt lära upp den, men detta hade inte haft någon betydelse då som test 2 visade kunde kameran inte se skillnad på spegelvända detaljer med sido-vy såväl som nedåt liggande respektive uppåt liggande vy.

För att bin-picking ska vara möjligt med hjälp av en 2D-kamera krävs det som tidigare nämnt detaljer med stora och tydliga konturer, vilket gör att kameran lättare kan lokalisera dem. Detta är viktigt då det är avgörande för hur roboten ska greppa detaljen, för att sedan som i vårt fall lyckas placera den i en fixtur. En 2D-kamera har möjlighet att tillsammans med en robot plocka mindre detaljer, men detta är då mer vanligt förekommande i så kallade pick-and-place operationer där det inte spelar någon roll hur gripdonet greppar detaljer eller hur den släpper den. Vilket är vanligt förekommande vid ompackning eller matning av en transport, men i vårt fall lämpar det sig inte.

Sam nämnde även "fishing" som ett alternativ, men även om det hade vart möjligt och detaljerna alltid hade hamnat i ett av de fyra möjliga utgångslägena enligt kap 4.4.3, hade en 2D-kamera inte kunnat plocka detaljerna, vilket konstaterades i test 2 då den inte har möjlighet att se skillnad på dess sidoläge och uppvända position.

5.2.2 3D-kamera

Under detta projekt hade vi inte möjlighet att utföra några tester med en 3D-kamera. Skillnaden är som tidigare nämnt att en 3D-kamera till skillnad från en 2D-kamera har möjlighet att känna av djupet. Ifrån sido-vy hade en 3D-kamera i detta fall inte skilt sig ifrån en 2D-kamera, men när detaljen ligger uppåtvänd eller nedåtvänd hade här en 3D-kamera haft möjlighet att skilja detaljerna åt tack vare höjdskillnaden. Det är mycket möjligt att "fishing" som ett första steg följt av plockning hade fungerat med hjälp utav en 3D-kamera, men detta är som sagt inget vi har kunnat testa och utvärdera utan lämnar till Skandia Elevator för framtida undersökning.

5.3 Gripdon

Vid verifiering av det gripdon som var det vinnande konceptet sett till elimineringsmatrisen visade det sig att det inte fungera som tänkt. Den hårdplast gripdonen tillverkades i visade sig ha mycket sämre egenskaper än det gripdon som kom med roboten. Tack vare gummianläggningen på det ursprungliga gripdonet kunde roboten greppa detaljerna på ett mycket stabilare sätt. Även om tanken med vinnande gripdonkonceptet var en avsmalnad geometri som skulle leda till att roboten enklare kunde plocka detaljerna, visade det sig under test att detta inte var nödvändigt för den senare valda fixturen, där gripdonets geometri inte var av lika stor betydelse. Har Skandia Elevator däremot som avsikt att använda sig utav en typ utav gripdon för flera olika typer av arbeten är detta något som de själva får analysera, och inget vi har tagit hänsyn till i detta arbete.

5.4 Fixtur

Det vinnande konceptet i elimineringsmatrisen visade sig fungera mycket bra. Roboten kunde utan några svårigheter placera de båda gångjärnshalvorna i fixturen, för att sedan plocka upp dem och trä dem på nitmaskinens styrpinne. Detta test var mycket givande och visar på att roboten har möjlighet att med hjälp av en fixtur och ett omtag, kunna trä båda gångjärnshalvorna på styrpinnen i nitmaskinen, för att maskinen sedan ska utföra nitmomentet. Detta test utgick dock ifrån att detaljerna var placerade i samma utgångsläge varje gång, alltså användes här ingen kamera för plockning av detaljerna. Senare i diskussionskapitlet ges förslag på lösningar där detaljen alltid hamnar i samma utgångsläge, i stället för att använda sig utav en kamera för att plocka detaljerna.

5.5 Tidsbesparing

Om man jämför det båda Man Maskin-schemana å kan man se att den manuella nitningsprocessen tar 11 sekunder medan den med roboten tar 30 sekunder. Rent jämförelsevis kan man se att den manuella processen då är 19 sekunder snabbare gentemot den automatiserade, med utrymme att förbättra den automatiserade processen. Att räkna på tidsbesparing är dock mer avancerat än så, om man ersätter det manuella arbetet innebär det att en anställd frigörs och kan använda sin tid till mer krävande arbetsuppgifter. En robotstation kan stå och arbeta självständigt dygnet runt beroende på vilken typ utav lösning man väljer, dess tid är alltså inte lika värdefull kostnadsmissigt i jämförelse med en anställd. Den ekonomiska orderkvantiteten per dag var 1000, och den årliga volymen var 35 000. Detta innebär att man kan välja att fördela robottimmarna hur man vill, det viktiga är att den dagliga eller årliga volymen uppnås.

5.6 Begränsningar med nitmaskin

Nitmaskinen är idag utformad på ett sätt som begränsar antalet möjliga vinklar roboten kan trä på gångjärnshalvorna ifrån [se bilaga C]. Roboten måste i dagsläget föra in gångjärnshalvorna ifrån vänster sida, på grund av att niten endast har fri rörelse åt höger. Även gripdonet måste vara positionerat på ett sådan sätt att den inte kolliderar med maskinen, dvs roboten kan inte greppa detaljerna ovanifrån utan måste komma ifrån en viss vinkel. Ett förslag på en lösning där man underlättar processen för roboten är att bygga om den delen där den återfjädrande

styrpinnen sitter. Med hjälp av exempelvis en roterande skiva kan styrpinnens del rotera ut ifrån maskinen, därefter placerar roboten gångjärnshalvorna och skivan roterar sedan tillbaka till sitt utgångsläge och nitmomentet sker. Detta koncept går även göra med två styrpinnar, men då robotens hastighet är begränsad räcker det att använda sig utav en styrpinne för att processen ska vara effektiv.

5.7 Alternativa lösningar

Utifrån de slutsatser och resultat presenterade i diskussionen kommer det behövas utföras mer tester utav bin-picking men i stället med en 3D kamera, något som kommer vara betydligt mycket kostsamt än vad en 2D kameralösning skulle vara. Detta öppnar upp för möjligheten att titta på alternativa lösningar som skulle kunna lösa bin-picking problemet. I stället för att anpassa plockningsprocessen efter detaljerna så kan detaljernas orientering anpassas efter robotens process i stället. Vilket betyder att alla detaljer placeras med exakt likadant utgångsläge varje gång så roboten kan arbeta efter ett fast program och plocka detaljerna på samma sätt varje gång. Roboten behöver alltså inte anpassa sin gripnings-metod.

Detta skulle kunna lösas genom olika typer av mekaniska lösningar som tex ett skakbord eller tex en anpassad roterande matare [se bilaga D]. Dessa typer av lösningar har inte tagits upp i denna rapport då rapporten har varit avgränsad till just vision-system med en 2D kamera men dessa typer lösningar skulle kunna vara aktuella att undersöka vidare för Skandia elevator. En mekanisk lösning hade antagligen kostat mindre än vad en vision-system och bin picking lösning hade gjort. Dock så kommer en mekanisk lösning vara mer specifik för en viss typ av detalj och process och inte så flexibel som Skandia elevator hade önskat. Men detta är upp till företaget att undersöka vidare.

5.8 Utvärdering kameraimplementering

Som beskrivet tidigare har integrationen mellan roboten och kameralösningen samt greppverktyget varit en mycket smidig lösning i detta fall. Kamera och gripdonet från Robotiqs har varit helt integrerad med roboten från Universal robots. Hela programmeringen av både roboten och vision systemet har skett genom robotens pedant. Alla funktioner från vision systemet och även gripdonet är integrerade som funktioner i det vanliga Universal robots interfacet. Detta möjliggjorde en snabb inlärningsprocess för studenterna i projektet. Denna robot och kameralösning lämpar sig bra för ett företag där man vill utnyttja roboten och kameran i exempelvis en pick-and-place operation. Utifrån detta projekts resultat och användande av Robotiqs wrist camera samt UR3 roboten så är upplärningsperioden mycket kort och bara efter en dags användande så kan en operatör utan erfarenhet använda sig utav roboten samt vision-systemet och programmera den utan större svårigheter. Visionsystemets inlärningsprocess var mycket smidig då alla steg var tydligt beskrivna i pedanten och flera av stegen sköttes automatiskt av roboten. I vissa fall fanns det behov av finjusteringar från användaren, men dessa finjusteringar är också mycket enkla att utföra.

6. Slutats

Nedanför presenteras de slutsatser som kan dras utifrån resultaten i rapporten.

6.1 Svar på frågeställning

Nedanför presenteras slutsatsen utifrån de fem frågeställningar rapporten bygger på.

På vilka olika sätt kan en kollaborativ robot utnyttjas i arbetsmomentet?

Sett till avgränsningarna tittade vi här endast på UR-serien. Det finns i detta arbetsmoment möjlighet att använda en kollaborativ robot för nitningsmomentet, vilket presenteras i kap 4.7.2. Det har verifierats att roboten med hjälp av tillhörande gripdon har möjlighet att plocka och placera två detaljer i en fixtur, för att sedan ta ett omtag och placera dem i nitmaskinen. Detta dock utan stöd ifrån en 2D-kamera, i kap 4.5 presenterades de utmaningar en 2D-kamera står inför, när det kommer till igenkänning av detaljerna. Slutsatsen blev att bin-picking och ytterligare plockning av detaljerna inte är möjlig med en 2D-kamera, men förslaget ligger uppe för företaget att fortsätta titta på alternativa tekniker.

Vilka tekniker kan vara lämpliga att använda sig utav, tex binpicking?

Bin-picking och ytterligare plockning hade i detta fall varit en mycket fördelaktig teknik att utnyttja, men sett till detaljens geometri och vad som presenterades i Kap 4.4.2 samt 4.5 är detta dessvärre inte möjligt med en 2D-kamera.

Hur ser arbetsmomentet ut, kommer roboten behöva ta ett omtag?

Då bin-picking och plockning utgick, bygger arbetsmomentet på att detaljerna ständigt ligger i samma utgångsposition när roboten plockar dem. I kap 4.7.2 presenteras med hjälp av den valda fixtur ett förslag på hur arbetsmomentet ser ut där roboten med hjälp av tillhörande gripdon har möjlighet att plocka och placera två detaljer i en fixtur, för att sedan ta ett omtag och placera dem i nitmaskinen.

Vad för fixturer och gripdon krävs?

I Kap 4.6 samt 4.7 presenteras fixturer och gripdon med tillhörande elimineringsmatris.

Vad för typ utav data och metoder krävs för att räkna på eventuella besparingar i form av tid?

I kap 2.2 presenteras grunddata. I kap 4.3 presenteras Man Maskin-schema utifrån tillhörande HTA, där man kan se tidsbesparingen. För att ytterligare kunna räkna på effektivitet och besparingar krävs en mer genomgående analys, som kan ta plats om företaget väljer att implementera en ny robot för detta arbetsmoment. Vi kommer som det nämnts i avgränsningarna inte beräkna på några ekonomiska besparingar då detta endast är ett bevis på hur väl det tänkta konceptet fungerar.

6.2 Fortsatt arbete

Denna rapport har nu bevisat att en kollaborativ robot har möjlighet att utföra det grundläggande arbetsmomentet som krävs för att maskinen ska klara av att utföra nitningen. Dock utan stöd av bin-picking eller annan typ utav plockning i samverkan med en 2D-kamera, då detta inte är möjligt och kan uteslutas. Det fortsatta arbetet ligger nu hos företaget Skandia Elevator att med denna rapport som grund fortsätta utvärdera och titta på vilken typ utav kameralösning som skulle vara aktuell om man vill använda sig utav bin-picking eller annan typ av automatisk plockning. Om företaget anser att bin-picking inte längre är ett alternativ, kan företaget i stället utvärdera möjligheten att använda sig utav ett skak-bord eller roterande matare i den slutliga lösningen.

7 Källförteckning:

Artiklar

C. P Janssen, S.F Donker, D.P Brumby, A.L, Kun. History and future of human-automation interaction. Reader.elsevier.com (2019)

G. Michalos, S.Makris, P.Tsarouchi, T. Guasch, D. Kontovrakis, G. Chryssolouris. Design considerations for safe human-robot collaborative workplace. Reader.elsevier.com (2015)

J. Antwiwaa Ottou, B. Kofi Baiden, G.Nani. Six Sigma Project Procurement application in public procurement Emerald.com (2020)

Moosmann, M., Spenrath ,F., Kleeberger, K., Muhammad, U. K., Mönnig, M., Rosport. J., Bormann. R., (2020). Increasing the Robustness of Random Bin Picking by Avoiding Grasps of Entangled Workpieces. ScienceDirekt,volym(93), 1212-1214.

M.Petersson. Milstolpe för Universal Robots. Packnet.se (2020)

M.R. Endsley, R. Hoffman, D. Kaber E.Roth. Cognitive Engineering and Decision Making: An Overview and Future Course <https://www.researchgate.net/> (2014)

Müller, R., Scholer, M., Schirmer, L., Blum, A., (2020). Tolerance management in robot-bases assembly optimizes product, process and system deviations. Elsevier, volym(53), 1103-1108. Doi: doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.027

Peshkin, M & Colgate J.E. Industrial Robot: An International Journal. Emerald.com (1999)

W.Wannasuphoprasit, R.B Gillespie, J.E Colgate, M.A. Peshkin. (1997) Cobot control.

Å. Fasth-Berglund, F. Palmkvist, P.Nykvist, S.Ekered, M.Åkerman. Evaluating Cobots For Final Assembly. Publications.lib.chalmers.se (2016)

Rapporter

F.Platbrood, O.Görnemann. 2018. SAFE ROBOTICS – SÄKERHET I KOLLABORATIVA ROBOTSYSTEM. SICK AG

https://cdn.sick.com/media/docs/8/48/348/whitepaper_safe_robotics_sv_im0086348.pdf.

Malik, A.A., Bilberg, A. Developing a reference model for human–robot interaction. Int J Interact Des Manuf 13, 1541–1547 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00591-6>

W.Bauer, O.Scholtz, P.Rally, M.Braun och M.Bender. 2016. Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Fraunhofer.

https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-

[_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots](https://www.researchgate.net/publication/327744724_Lightweight_robots_in_manual_assembly_-/_best_to_start_simply_Examining_companies'_initial_experiences_with_lightweight_robots)

Undersökningar

Research and markets. GLOBAL COLLABORATIVE ROBOT (COBOT) MARKET: FOCUS ON PAYLOAD, APPLICATION SALES CHANNEL, COMPONENT, AND INDUSTRY - ANALYSIS & FORECAST, 2020-2025. WWW.RESEARCHANDMARKETS.COM (2020)

Hemsidor

Arbetsmiljöverket. (2021, a). Maskiner. Hämtad från Arbetsmiljöverket:

<https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/maskiner-och-arbetsutrustning/maskiner/#4> Hämtad den 04 03 2021.

Arbetsmiljöverket. (2021, b) Maskiner - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om maskiner samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna. Hämtad från Arbetsmiljöverket:

<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/maskiner-som-slappts-ut-pa-marknaden-efter-29-dec-2009-foreskrifter-afs2008-3.pdf> Hämtad den 04 03 2021.

Automate. (2018). Pick and Place Robots: What Are They Used For and How Do They Benefit Manufacturers?

Hämtad från <https://www.automate.org/blogs/pick-and-place-robots-what-are-they-used-for-and-how-do-they-benefit-manufacturers> Hämtad 22 04 2021

Elektroautomatik. (2021) Arbetsuppgifter och maskinsäkerhet för en kollaborativ robot

Hämtad från Elektroautomatik: <https://elektroautomatik.se/tjanster/kollaborativa-robotar-och-arbetsmiljoer/> Hämtad den 09 03 2021

Hill, A. O. (2019, 11 Mars). Bin picking the Easy Way vs the Hard Way with Robot Vision. [Blog].

Hämtad 2021-Mars-8 från <https://blog.robotiq.com/bin-picking-the-easy-way-vs-the-hard-way-with-robot-vision>

International Federation of Robotics. (2021) Robot density rises globally. Hämtad från

International Federation of Robotics: <https://ifr.org/news/robot-density-rises-globally/> Hämtad den 01 03 2021.

PickIt. (u.å) I know why you're confused about bin picking Hämtad från

<https://blog.pickit3d.com/confused-about-bin-picking> Hämtad 22 04 2021

Robotics. (2019) Is a Vacuum Gripper Right for Your Collaborative Robot Application?

Hämtad från [https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Is-a-Vacuum-Gripper-Right-for-Your-Collaborative-Robot-](https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Is-a-Vacuum-Gripper-Right-for-Your-Collaborative-Robot-Application/134#:~:text=Vacuum%20grippers%20work%20when%20the,create%20enough%20difference%20in%20pressure)

[Application/134#:~:text=Vacuum%20grippers%20work%20when%20the,create%20enough%20difference%20in%20pressure](https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Is-a-Vacuum-Gripper-Right-for-Your-Collaborative-Robot-Application/134#:~:text=Vacuum%20grippers%20work%20when%20the,create%20enough%20difference%20in%20pressure). Hämtad den 15 03 2021.

Robotiq. (2019) Bin Picking the Easy Way vs the Hard Way With Robot Vision

Hämtad från

<https://blog.robotiq.com/bin-picking-the-easy-way-vs-the-hard-way-with-robot-vision>

Hämtad 22 04 2021

ROBOTIQ.(UÅ).2F-85 and 2F-140 Grippers. Hämtad 2021-05-11 från
<https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>

ROBOTIQ.(UÅ).Wrist Camera. Hämtad 2021-05-11 från
<https://robotiq.com/products/wrist-camera>

Svenska Institutet för Standarder. (2021, a). CE-märkning. Hämtad från Svenska Institutet för Standarder: <https://www.sis.se/standarder/ce-markning/> Hämtad den 04 03 2021.

Svenska Institutet för Standarder. (2021, b). Maskinsäkerhet och maskindirektiv. Hämtad från Svenska Institutet för Standarder: <https://www.sis.se/en/konstruktion-och-tillverkning/maskinskerhet/> Hämtad den 04 03 2021.

Universal Robots. (2021, a). About Universal Robots Hämtad från Universal Robots:
<https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/our-history/> Hämtad den 02 03 2021

Universal Robots. (2021, b). The cobots. Hämtad från Universal Robots:
<https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/the-history-behind-collaborative-robots-cobots/> Hämtad den 02 03 2021

Universal Robots. (2021,d) INDUSTRIAL GRIPPER SHOWDOWN: PNEUMATIC GRIPPER VS. HYDRAULIC GRIPPER . Hämtad från <https://www.universal-robots.com/blog/industrial-gripper-showdown-pneumatic-gripper-vs-hydraulic-gripper/> Hämtad den 15 03 2021.

Universal Robots. (2021, c) ROBOT GRIPPER SHOWDOWN: AIR GRIPPER VS. ELECTRIC GRIPPER
Hämtad från <https://www.universal-robots.com/blog/robot-gripper-showdown-air-gripper-vs-electric-gripper/> Hämtad den 15 03 2021.

Litteratur

Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19, 775–779.

Peshkin, M & Colgate J.E. (1999) *Industrial Robot*. 26, 335-341.

Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1980). Flight deck automation: Promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995–1011.

Å.Fast-Berglund & Sandra Mattsson. (2017) *Smart Automation*. 31-38

Föreläsning

P.Fager, personlig kommunikation, Automation in logistics, 2021-02-16

Intervju

Intervju: Sam Biermans. Säljare, Pick-it. Teams möte den 20 April 2021.

Standarder

International Organization for Standardization. 2012. Robots and robotic devices — Vocabulary (ISO 8373:2012) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

International Organization for Standardization. 1998. Manipulating industrial robots – Performance criteria and related test methods (ISO 9283:1998)

<https://www.iso.org/standard/22244.html>

Swedish Institute for Standards. 2011. Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011)

<https://www.sis.se/en/produkter/maskinsakerhet-357f77b1/advanced-manufacturing-technologies/ssenis1021822011/>

Swedish Institute for Standards. 2016. Robots and robotic devices - Collaborative robots (ISO/TS 15066:2016, IDT) <https://www.sis.se/en/produkter/manufacturing-engineering/industrial-automation-systems/industrial-robots-manipulators/sisisots150662016/>

International Organization for Standardization. 2012. Robots and robotic devices —
Swedish Standards Institute. 2016. Robotar och robot utrustning – Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016, IDT) <https://www.sis.se/api/document/preview/8018834/>

Swedish Institute for Standards. 1998. Industrirobotar - Prestandaredovisning och motsvarande provningsmetoder (ISO 9283:1998, IDT) <https://www.sis.se/produkter/produktionsteknik/industriell-processtyrning/industrirobotar/ssiso92832012/>

8: Bilagor

Bilaga A - Gångjärn och dess ingående komponenter



Bilaga B – Grunddata hämtad ifrån SE monitor

Grunddata			
Efterfrågan (D)	35000	i volym per år	
Ordersärkostnad (S)	5	per tillverkningsorder	
Lagerhållningskostnad % (H)	10%	i procent av inköpspris per år	
Antal arbetsdagar	225	per år	
Produktpris	0,69	per enhet	
Produktionskvantitet (p)	1000	per dag (hur mycket som kan produceras per dag)	
Efterfrågan (d)	155,56	per dag	

Bilaga C – Nitmaskin



Bilaga D – Roterande matare



INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS