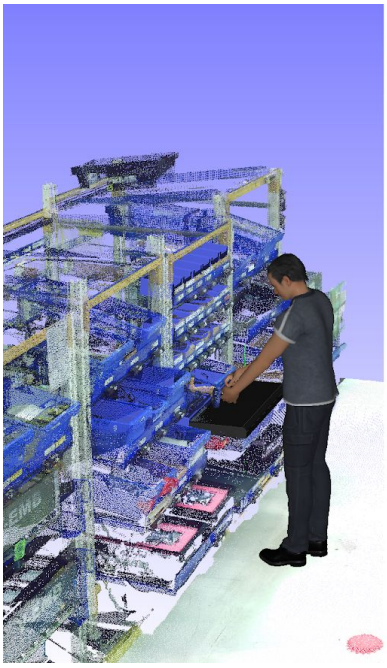
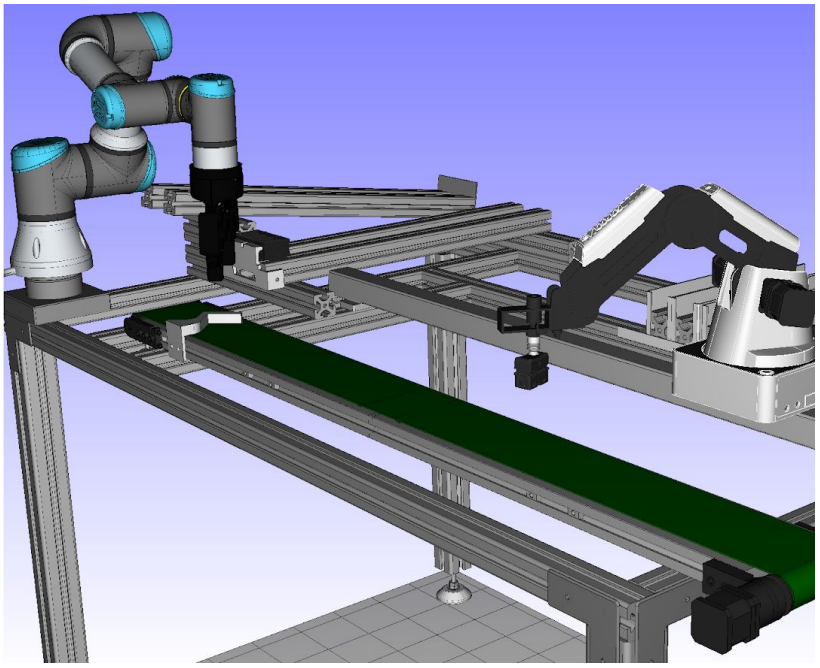
CHALMERS





# Simulering och visualisering av manuell och automatiserad montering

## Simulation and visualization of manual and automated assembly

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

FRIDA FALK

DANIEL TEGENMARK

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2020

# Simulering och visualisering av manuell och automatiserad montering

FRIDA FALK

DANIEL TEGENMARK




CHALMERS

Institutionen för industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sweden 2020

Simulering och visualisering av manuell och automatiserad montering

FRIDA FALK

DANIEL TEGENMARK

© FRIDA FALK, 2020

© DANIEL TEGENMARK, 2020

Handledare:

Åsa Fasth-Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Jonas Fuglås, Volvo Trucks

Examinator:

Åsa Fasth-Berglund, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telefonnummer +46 (0)31-772 1000

Omslag:

[Figurer av manikin- och robotsimulering i IPS (Industrial Path Solutions)]

Göteborg, Sweden 2020

# FÖRORD

Rapporten är skriven som en del av författarnas kandidatexamen i Maskinteknik 180 hp, vid institutionen för industri- och materialvetenskap. Examensarbetet utgör 15 hp och är genomfört på Chalmers tekniska högskola och SII-Lab (Stena Industry Innovation Laboratory). Medverkande företag i projektet är Volvo Trucks och FCC (Fraunhofer-Chalmers Centrum).

Vi vill tacka vår handledare och examinator Åsa Fasth-Berglund som har tilldelat oss arbetet och bidragit med vägledning under projektet. Tack till Peter Mårdberg och Domenico Spencieri från FCC, för stort stöd, hjälp och handledning. Vi vill även rikta ett stort tack till vår externa handledare Jonas Fuglås, processingenjör på Volvo Trucks, som har visat stort intresse och engagemang i projektet. Inte minst vill vi tacka våra opponenter Markus Kåreby och Kevin Lai.

Frida Falk och Daniel Tegenmark, Göteborg, Juni 2020

Simulering och visualisering av manuell och automatiserad montering

FRIDA FALK

DANIEL TEGENMARK

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

# SAMMANFATTNING

Inom dagens industrier är digitalisering, automatisering och smarta fabriker i fokus. Nya tekniker ersätter manuellt arbete och medför effektivare produktion. Traditionellt sett har automation främst tillämpats tidigt i produktflöden och ställt krav på exempelvis produktvolym och produktvariation. Den stundande fjärde industriella revolutionen, även "Industri 4.0", innebär nya tekniker och metoder som möjliggör högre automationsgrad inom slutmontering. Arbetet är en del av ett forskningsprojekt och syftar till att undersöka lågkostnadsautomation inom ett delmontage vid slutmonteringen på Volvo Trucks i Tuve, Göteborg. Delmontaget innefattar montering av tryckknappar till lastbilshyttens fronthylla. Behovet av att automatisera monteringen är främst kopplad till ergonomi, eftersom montaget innefattar monotont och finmotoriskt arbete. Arbetet är utfört i samarbete med Volvo Trucks, SII-Lab (Stena Industry Innovation Laboratory) och FCC (Fraunhofer-Chalmers Centrum). Uppdraget består av att simulera den aktuella och den framtida monteringsprocessen med programvaran IPS IMMA (Industrial Path Solutions - Intelligently Moving Manikin), som utvecklas av FCC. Ingen fysisk modell eller fysiska tester har skapats inom projektet. Vidare har inga ekonomiska aspekter för implementering av automatisering behandlats. Simuleringen av den aktuella monteringsprocessen användes till att utvärdera ergonomin för montaget och visade på att arbetsbelastningen är måttligt skadlig. Den andra simuleringen visar hur monteringen kan utföras med lågkostnadsautomation.

Nyckelord: Digitalisering, automatisering, smarta fabriker, industri 4.0, slutmontering, lågkostnadsautomation, ergonomi, simulering.

Simulation and visualization of manual and automated assembly

FRIDA FALK

DANIEL TEGENMARK

Department of Industrial and Materials Sciences

Chalmers University of Technology

## SUMMARY

In today's industries, digitalisation, automation and smart factories are the focus. New technologies replace manual work and result in more efficient production. Traditionally, automation has mainly been applied early in production flows and has set requirements on, for example, product volume and product variation. The fourth industrial revolution, also “Industry 4.0”, involves new techniques and methods that enable higher degree of automation in final assembly. The work is a part of a research project and aims to investigate low-cost automation within a subassembly at the final assembly at Volvo Trucks in Tuve, Gothenburg. The subassembly includes assembly of switches for the front shelf in the truck cabin. The need to automate the assembly is mainly linked to ergonomics, as the assembly includes monotonous work and fine motor skills. The work was carried out in collaboration with Volvo Trucks, the SII-Lab (Stena Industry Innovation Laboratory) and the FCC (Fraunhofer-Chalmers Centre). The project consists of simulating the current and future assembly process with the software IPS IMMA (Industrial Path Solutions - Intelligently Moving Manikin), developed by FCC. No physical model or physical tests have been created within the project. Furthermore, no financial aspects for implementing automation have been addressed. The simulation of the current assembly process was used to evaluate the ergonomics of the assembly and showed that the workload is moderately harmful. The second simulation shows how the assembly can be performed with low cost automation.

Keywords: Digitalisation, automation, smart factories, Industry 4.0, final assembly, low cost automation, ergonomics, simulation.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING


**BETECKNINGAR** **1**

**1 INLEDNING** **2**

1.1 Bakgrund 2

1.2 Syfte 3

1.3 Avgränsningar 3

1.4 Precisering av frågeställningen 3

**2 TEORETISK REFERENSRAM** **5**

2.1 Industri 4.0 5

2.2 Automatisering 5

2.3 Industrirobot och robotcell 6

2.4 Kollaborativ robotapplikation 6

2.8 Ergonomi 8

2.9 Simulering 8

2.10 Förstudie av montering med Dobots 9

2.11 DIPPA 9

2.12 IPS-IMMA 9

**3 METOD** **10**

3.1 Insamling av sekundärdata 10

3.2 Insamling av primärdata 10

3.3 Simuleringsmetod 11

3.5 Utbildning och handledning i IPS 12

3.6 Validering och verifiering av simulationer 12

3.7 Dokumentation 12

**4 SITUATIONSBESKRIVNING** **13**

**5 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT** **15**

5.1 Genomförande och resultat av nulägessimulering 15

5.2 Genomförande och resultat av nylägessimulering 21

**6 DISKUSSION** **27**

**7 SLUTSATSER OCH FRAMTIDA REKOMMENDATIONER** **30**

7.1 Svar på frågeställning 30

7.2 Rekommendationer till fortsatt arbete 31

**REFERENSER** **33**

# BETECKNINGAR

**3D** Tredimensionell

**CATIA** Computer Aided Threedimensional Interactive Application

**CAD** Computer-aided design

**DIPPA** DIgitalisering av Produktionsberedning och Produktionsdesign för ökad Automation

**FCC** Fraunhofer-Chalmers Centrum

**IMMA** Intelligently Moving Manikin

**IPS** Industrial Path Solutions

**LCA** Low Cost Automation

**RULA** Rapid Upper Limb Assessment

**SII-Lab** Stena Industry Innovation Laboratory

**TCP** Tool Center Point

**UR3** Universal Robot 3

# 1

# INLEDNING

Avsikten med kapitlet är att sätta arbetet i en tydlig kontext genom att beskriva arbetets bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställning.

## 1.1 Bakgrund

Automation, digitalisering och smarta fabriker är i fokus i det som kallas för den fjärde industriella revolutionen, även "Industri 4.0", se kapitel 2.1. Stora delar av dagens tillverkningsindustrier är helt eller delvis automatiserade och bedrivs med robotar, maskiner eller teknik. Det finns många fördelar med automation, däribland lägre produktionskostnader, ökad produktivitet, högre kvalitet, större flexibilitet och förbättrad ergonomi. Inom tillverkning och måleri är automation mycket vanligt men inom slutmontering är automationsgraden ännu låg.

Den svenska lastbilstillverkaren Volvo Lastvagnar Aktiebolag, även Volvo Trucks, har som mål att öka automationen inom slutmonteringen i produktionsanläggning i Tuve, Göteborg. Uppdraget består i att undersöka automatiserad montering av tryckknappar till lastbilshyttens fronthylla, genom att simulera nuläget och ett konceptuellt nyläge. Monteringen av tryckknapparna är en del av en monteringsprocess på hytt-trim-linjen, som tillhör slutmonteringen. Problematiken med nutida montering anses främst vara belastningsskador på hand, fingrar och handled. Förhoppningen är att genom lågkostnadsautomation begränsa den mänskliga inblandningen för att förbättra ergonomin och öka produktivitet, flexibilitet och kvalitet, samt bibehålla säkerheten.

Tryckknappsmonteringen som studeras i arbetet är ett delmontage men kommer betraktas som en fullständig monteringsstation.

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att undersöka lågkostnadsautomation för ett delmontage i en monteringsprocess genom att visualisera och simulera nuläget och ett konceptuellt nyläge i en virtuell CAD 3D-miljö.

Den virtuella representation av nyläget ska komplettera en fysisk demonstrationsmodell.

## 1.3 Avgränsningar

Följande avgränsningar tillämpas i projektet:

- En fysisk modell av automatiserat nyläge konstrueras och testas inte inom ramarna för det här projektet.
- Ett layoutförslag för nyläget tas inte fram, utan en fysisk demonstrationsmodell som byggts parallellt med arbetet används som underlag för utformningen.
- Nyläget skall hantera ett antal ordrar i verklig drift men endast en specifik order simuleras i projektet, eftersom simulering av alla ordrar resulterar i överflödig information i det här stadiet. Den order som valts är representativ och består av 4 olika tryckknappar som skall monteras i en modul.
- Inga ekonomiska aspekter betraktas i projektet, bortsett från att arbetet behandlar konceptet lågkostnadsautomation.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

Baserat på arbetets bakgrund och syfte har följande frågeställningar formulerats:

- Hur kan simuleringar användas som ett verktyg för att öka automation inom slutmontering?

- Hur kommer automatisering av nuläget påverka de förbättringsfaktorer som Volvo Trucks arbetar med?

  Faktorerna är: produktivitet, säkerhet, kvalitet och ergonomi.

# 2

# TEORETISK REFERENSRAM

I kapitlet redovisas relevant teori inom området. Den teoretiska referensramen är till för att understödja metod, resultat, diskussion och slutsats.

## 2.1 Industri 4.0

Den första industriella revolutionen innebar att mekaniska maskiner började användas. Den andra industriella revolutionen präglades av att elektricitet och maskiner av stål började användas. Under den tredje industriella revolutionen blev informationsteknik en del av industrin. Begreppet "Industri 4.0" myntades först år 2011 på Hannovermässan i Tyskland, som är en av världens främsta industrinationer. Den fjärde industriella revolutionen, eller Industri 4.0, innebär återindustrialisering. Industriella företag ska koppla samman sina maskiner, fabriker och lagerlokaler till ett gemensamt nätverk för att möjliggöra kommunikation mellan de olika delarna. Efter att den tyska regeringen tillkännagivit konceptet började fler länder ansluta sig för att inte halka efter i tekniksprånget. Den smarta fabriken kommer vara i centrum av Industri 4.0 [1]. Införandet av nya tekniker och metoder kommer kräva utbildning av befintligt anställda samt nyanställningar av service- och IT-tekniker. Det kommer även innebära att vissa arbetsroller kommer försvinna och ersättas av nya. Industri 4.0 kommer även innebära stor datalagring om företagens produktion, vilket kommer kräva mer omfattande arbete med riskanalyser för att säkerställa företagens integritet. En av de tekniker som kommer spela störst roll inom Industri 4.0 är simulationer. Datorsimuleringar kommer ligga till grund för hur fabriker ska utformas [2].

## 2.2 Automatisering

Automatisering handlar om att ersätta mänskligt arbete med hjälp av robotar, maskiner och teknik. Generellt kräver automatisering av en process eller ett system stora

kapitalinvesteringar eftersom det kräver datorer, industrirobotar och utbildade operatörer. De höga kostnaderna för implementering av automatisering medför att många medelstora och små företag inte har råd att välja automatisering. Däremot finns det olika nivåer av automatisering. Lågkostnadsautomation (eng. Low Cost Automation, LCA) är ett koncept med låg automationsgrad. Med lågkostnadsautomation görs mindre förändringar på den befintliga processen, vad gäller maskiner, människor och metoder. Istället för att exempelvis köpa in kostsamma industrirobotar kan skrivbordsrobotar (eng. low cost robots) användas, vilket innebär att inköpskostnaden och därmed återbetalningstiden är lägre [3].

## 2.3 Industrirobot och robotcell

Internationella standardiseringsorganisationen [4] definierar en industrirobot som: "automatically controlled, reprogrammable multipurpose manipulator, programmable in three or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications".

Vidare definieras en robotcell som: "one or more robot systems including associated machinery and equipment and the associated safeguarded space and protective measures" [5].

## 2.4 Kollaborativ robotapplikation

Vid en föreläsning i kursen LMT108 beskrev Wester-Odbratt [6] hur kollaborativa robotar tidigare definierades som: "robot designed for direct interaction with a human within a defined collaborative workspace". Men den här definitionen har reviderats till: "an application in which the robot system and a human can perform tasks, within the shared space, simultaneously during automatic operation". Orsaken till rättelsen är att endast applikationen kan utvecklas, verifieras och valideras som en kollaborativ robotapplikation, på grund av att säkerheten inte kan garanteras om roboten exempelvis används med ett vasst föremål.

## 2.5 Produktivitet

I kursen IMS020 förklarade Berglund [7] hur produktivitet kan mätas som produktionsresultatet dividerat med den produktionsresurs som använts för att nå fram till produktionsresultatet. Produktivitet kan även mätas genom antalet detaljer som tillverkas under en bestämd tidsperiod, exempelvis under ett dygns arbete, och är ett mått på effektivitet.

Simuleringar kan påvisa var i tillverkningen störst resursslöseri sker och följaktligen indikera vart åtgärder skall införas för att minska mängden resurser som krävs för att utföra arbetet. På så vis kan optimering för ökad produktivitet genomföras med hjälp av simuleringar [7].

## 2.6 Robotsäkerhet

Enligt Maskindirektivet [8] krävs att alla industriella robotar och robotceller blir CE märkta innan de tas i bruk, på grund av miljö-, hälso- och säkerhetsskäl. Tillverkaren eller importören är ytterst ansvarig för att den industriella roboten eller robotcellen CE-märks. Genom att en CE-märkning sätts garanterar tillverkaren eller importören att produkten lever upp till de lagkrav som finns inom EU, för industriella robotar och robotceller.

## 2.7 Kvalitet

Bergman och Klefsjö [9] definierar kvalitet som: “Kvaliteten på en produkt är dess förmåga att tillfredsställa, och helst överträffa, kundernas behov och förväntningar”.

En kontinuerligt god kvalitet inom tillverkning, rörande maskiner, material och personal, leder till högre produktivitet, mindre omarbetning av detaljer och minskar antal driftstopp.

## 2.8 Ergonomi

Enligt Arbetsmiljöverket [10] handlar ergonomi om att anpassa arbetet till människan. Arbetsbelastningen skall utvärderas med hänsyn till hur ofta arbetsmomentet utförs och under hur lång tid det utförs. Arbetsmiljölagen [11] säger att alla arbetsgivare ansvarar för att förebygga ohälsa och olycksfall på arbetsplatsen. Tillsammans med skyddsombud och arbetstagare skall arbetsgivaren med jämna mellanrum undersöka arbetsförhållandena för att upptäcka och avstyra risker.

Det finns olika metoder för kroppsställningsbedömning för manuella aktiviteter, däribland RULA (Rapid Upper Limb Assessment). RULA är en metod som fokuserar på övre extremiteter, bål och nacke vid sittande eller stående arbete. Metoden är vanlig vid ergonomianalys i simuleringsprogramvara, enligt Berlin [12] vid en föreläsning i kursen LMU055.

## 2.9 Simulering

Banks definierar begreppet simulering som:

> Simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time. Simulation involves the generation of an artificial history of the system and the observation of that artificial history to draw inferences concerning the operating characteristics of the real system that is represented. Simulation is an indispensable problem solving methodology for the solution of many real-world problems. Simulation is used to describe and analyze the behavior of a system, ask what-if questions about the real system, and aid in the design of real systems. Both existing and conceptual systems can be modeled with simulation [13, s. 3-4].

Simuleringar används för att utföra experiment med en modell av ett system istället för att utföra dem direkt på det faktiska systemet, enligt Berglund [7] vid en föreläsning i kursen IMS020. Simuleringar kommer att bli allt viktigare för att kunna utföra den omställning av industrin som industri 4.0 kommer kräva.

## 2.10 Förstudie av montering med Dobots

En förstudie av montering med kollaborativa robotar från företaget Dobot har gjorts av Groth och Bengtsson [14]. I arbetet undersöktes lågkostnadsautomation inom produktionen på Volvo Trucks, i Tuve. Slutsatsen av arbetet var att automatisering av stationen för montering av tryckknappsmoduler var möjlig och innebar högre produktkvalitet och förbättrad ergonomi, på grund av minskat manuellt arbete. Groth och Bengtsson menar att en kombination av två olika robotar från Dobot är ett bra val av verktyg för processen.

## 2.11 DIPPA

DIPPA (DIgitalisering av Produktionsberedning och Produktionsdesign för ökad Automation) [15] är ett pågående forskningsprojekt som syftar till att öka automationen i slutmonteringen genom att öka interaktionen mellan produkt- och produktionsdesign och användandet av kollaborativa robotapplikationer. Chalmers tekniska högskola, Volvo Group och FCC är samarbetande organisationer i projektet. Fyra industrifall skall byggas upp i en virtuell värld för att analysera nu- och nyläge. Ett av fallen är undersökning av automatisk montering av tryckknappar med kollaborativ robot, på Volvo Trucks.

## 2.12 IPS-IMMA

IPS (Industrial Path Solutions) är ett simuleringsverktyg som används för att utföra banplanering i en virtuell miljö. Med tilläggsmodulen IMMA (Intelligently Moving Manikin) kan ergonomiska belastningar analyseras genom att en realistisk biomekanisk modell används, refererad till som “manikin”. Manikinen kan återspegla en mångfald av människor. Med hjälp av mjukvaran fås information om hur den mänskliga kroppen kommer belastas under simulerade rörelser [16]. I IPS går det även att utföra simuleringar för robotoptimering.

# 3

# METOD

Här beskrivs hur projektet är genomfört genom att redogöra för de metoder och tillvägagångssätt som använts. I kapitlet *Genomförande och resultat* beskrivs genomförandet av simuleringar mer ingående.

## 3.1 Insamling av sekundärdata

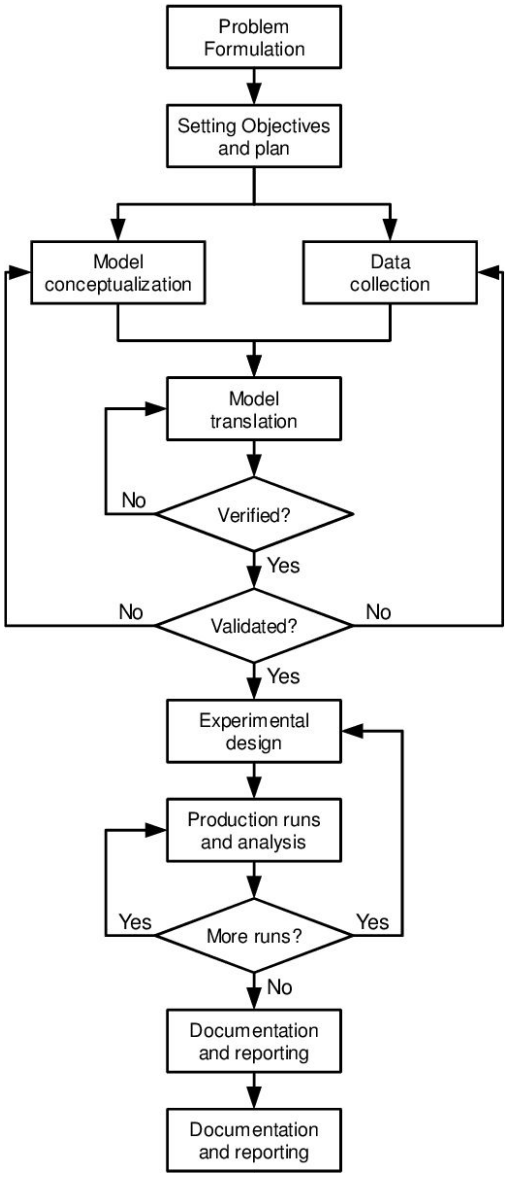
Projektet inleddes med att söka efter tillgänglig information och relevant teori. Databaserna Chalmers bibliotek och Google Scholar användes. Information har även hämtats från Arbetsmiljöverket, Internationella standardiseringsorganisationen och andra pålitliga källor. Resultatet av litteratursökningen presenteras i kapitlet *Teori*.

## 3.2 Insamling av primärdata

Insamling av ny information krävdes för att besvara projektets frågeställning. Information samlades in genom observationer och semistrukturerade intervjuer, som formades efter förutbestämda frågor och följdfrågor på kandidatens svar. Intervjuerna genomfördes via telefon- och videosamtal med företrädare för Volvo Trucks, i syftet att utreda hur Volvo arbetar med automatisering och ergonomi. Information om dagens montering erhölls i form av bilder, videomaterial och genom ett fabriksbesök på Volvo Trucks i Tuve, Göteborg. Syftet med besöket var att observera produktflödet och monteringsstationen för att skapa en fullständig och verklighetsenlig bild av nuläget. I kapitlet *Situationsbeskrivning* beskrivs arbetsprocessen utförligt.

## 3.3 Simuleringsmetod

Den simuleringsmetodik som använts i arbetet är Banks [13] simuleringsmetod, se figur 3.3.1.




*Figur 3.3.1: Banks simuleringsmetod.*

Simuleringarna skapades i programvaran IPS. Orsaken till att IPS användes som simuleringsverktyg var att det innehåller moduler som ansågs lämpliga för simuleringarna.

## 3.4 Virtuell representation av monteringsstationer

Virtuella CAD-geometrimodeller av nuvarande och framtida monteringsstation har skapats i CATIA (Computer Aided Threedimensional Interactive Application). Modellerna är förenklade och representerar endast de viktigaste komponenterna och sättet som de interagerar med varandra.

## 3.5 Utbildning och handledning i IPS

Projektet krävde kunskap om simuleringsverktyget IPS. En heldags utbildning i IPS genomfördes på FCC. Utbildningen syftade till att lära ut grundläggande begrepp och arbetssätt i programvaran. Ett utbildningskompendium erhölls vid utbildningstillfället och har använts i arbetet med programvaran. Även den inbyggda användarmanualen i IPS har använts. Till följd av rådande Coronapandemi gavs löpande handledning av simuleringar via videosamtal och mailkonversation, istället för på plats.

## 3.6 Validering och verifiering av simulationer

För att säkerställa rätt beteende hos simuleringsmodellerna validerades och verifierades de kontinuerligt under arbetsprocessen, med den data som fanns tillgänglig. För att verifiera att simuleringsmodellerna återspeglar verkligheten utvärderades de både funktionellt och visuellt.

## 3.7 Dokumentation

Alla delar av arbetet har dokumenterats strukturerat för att underlätta vid vidare arbete med projektet.

# 4

# SITUATIONSBESKRIVNING

Avsikten med kapitlet är att ge en djupare förståelse för företagets situation och beskriva hur monteringen av tryckknappar utförs.

Automationspotentialen i Tuve-fabriken är stor och Volvo arbetar kontinuerligt med att hitta områden att automatisera, med utgångspunkt i antingen produkt eller process. Allt automatiseringsarbete utgår ifrån fyra förbättringsfaktorer: produktivitet, säkerhet, kvalitet och ergonomi, enligt Volvo.

Knappmonteringen är ett delmontage på hytt-trim-linjen som är en del av slutmonteringen på Volvo Trucks i Tuve. Montören tar emot ordrar i pappersformat. Ordrarna är unika och beror på vilka funktioner som väljs av kund. Ordern scannas och med hjälp av plock informationssystemet *pick-by-light* plockas tryckknapparna, en åt gången, och monteras i modulen. För en montör tar det ungefär 20 sekunder att plocka och montera alla fyra tryckknapparna. Figur 4.1 visar modul och tryckknappar.



*Figur 4.1: Knappmodul och tryckknappar.*

Färdigmonterad modul, se figur 4.2, skickas sedan vidare för att monteras i lastbilens fronthylla.



*Figur 4.2: Knappmodul med monterade tryckknappar.*

Behovet av att automatisera monteringsstationen är främst kopplad till ergonomi, eftersom montaget innefattar monotont och finmotoriskt arbete. Det sker även en del felmontage av tryckknappar som är kostsamma att åtgärda, enligt Volvo.

Volvo Group arbetar med företagsinterna ergonomimetoder, enligt Schröder [17], ergonom på Volvo Trucks i Tuve. År 2017 lanserades ergonomiska riktlinjer, som framtagits av ett nätverk med interna ergonomer. Riktlinjerna är utgångspunkten för ergonomibedömningar i tillverkningen inom Volvo Group. År 2018 tillkom två checklistor – MEC (Montering Ergonomi Checklista) och LEC (Logistik Ergonomi Checklista). Checklistorna består av ett antal frågeställningar, poängsättning och färgkodning. Syftet med checklistorna är att underlätta vid den ergonomibedömning som utförs på egen hand av avdelningarna.

Det finns ingen tidigare ergonomisk utvärdering av monteringsmomentet som behandlas i det här projektet. Däremot har utvärderingar utförts av liknande monteringsmoment i slutmonteringen i Tuve-fabriken, som har bekräftat att det är lämpligt att vidta åtgärder för att förebygga skador [17].

# 5

# GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT

I kapitlet beskrivs arbetsgången för simuleringarna, steg för steg, och resultaten som har framkommit under projektet presenteras.

En slumpmässig order valdes ut för simuleringarna. Figuren nedan visar ett urklipp från orderbladet för den specifika ordern, se figur 5.1. Fyra olika tryckknappar skall plockas och monteras i modulen.




*Figur 5.1: Urklipp från order som visar vilka tryckknappar som skall monteras - med figur och artikelnummer.*

## 5.1 Genomförande och resultat av nulägessimulering

### Layout för nuläge

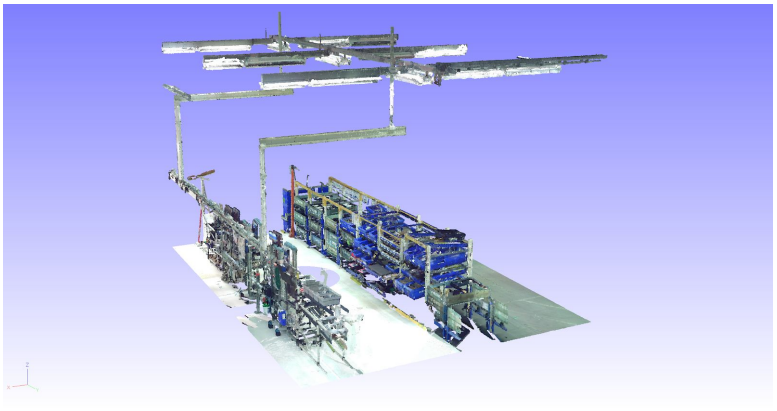
Den virtuella representationen av nuläget är baserad på den fysiska monteringsstationen i Tuve-fabriken, se figur 5.1.1.



*Figur 5.1.1: Nuvarande arbetsyta i Tuve-fabriken.*

### Importering av punktmoln till IPS

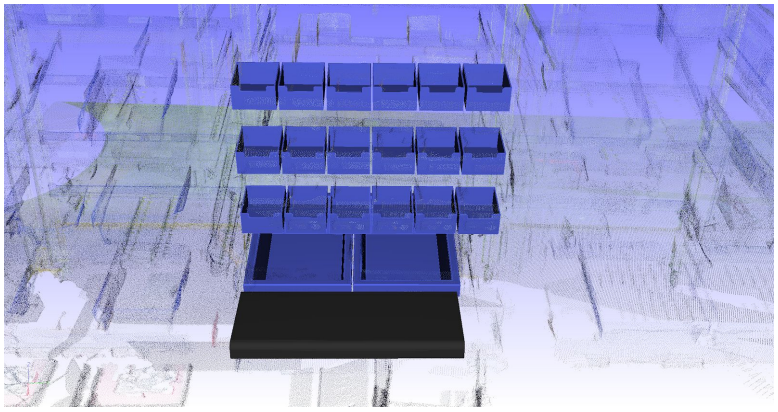
Simuleringen av nuläget skapas i en virtuell 3D CAD-miljö. Ett punktmoln från en 3D-scanning av monteringsstationen i Tuve-fabriken importerades till IPS, se figur 5.1.2, för att återskapa den verkliga miljön virtuellt. Punktmolnet erhölls från Volvo Trucks.



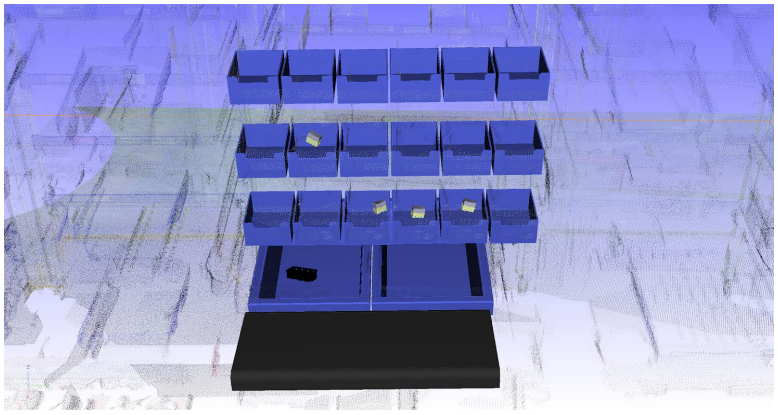
*Figur 5.1.2: Punktmoln från 3D-scanning av monteringsstation i Tuve-fabriken.*

### Importering av CAD-modeller till IPS

CAD-modeller skapades i programvaran CATIA och importerades till IPS. Redan befintliga CAD-modeller av tryckknappar och moduler erhölls från Volvo Trucks. CAD-modeller av lådor placerades in på korrekt position i punktmolnet, se figur 5.1.3. Därefter placerades fyra olika tryckknappar och en modul i sina respektive lådor, se figur 5.1.4.



*Figur 5.1.3: Placering av lådor för tryckknappar och moduler i den virtuella miljön.*

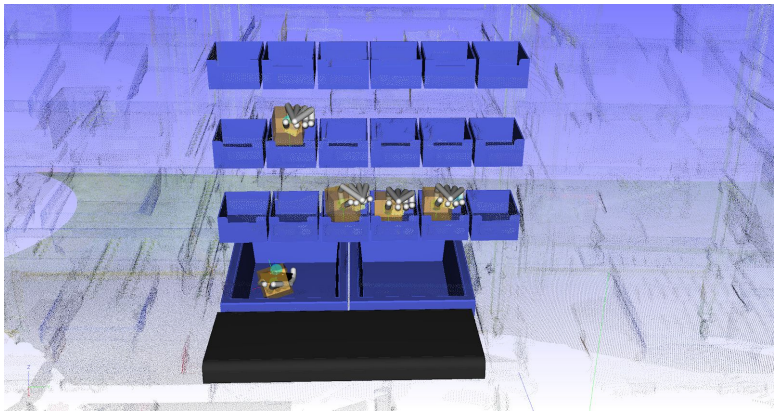


*Figur 5.1.4: Placering av tryckknappar och modul i lådor. Tryckknapparna är placerade i fyra separata lådor. Modulen visas i den nedre vänstra lådan.*

### Utplacering av grepp- och tittpunkter

Grepp- och tittpunkter (eng. View points) placerades ut på modul och tryckknappar, för att instruera en manikin vart den ska plocka objekten och även följa dem med blicken,

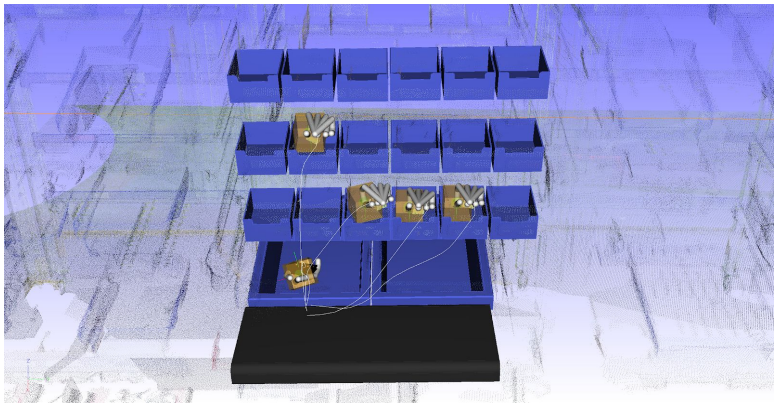
se figur 5.1.5.



*Figur 5.1.5: Grepp- och tittpunkter placerade i den virtuella miljön. Greppunkter visas som vita händer och tittpunkter visas som ljusblå cirklar.*

### Banplanering för modul och tryckknappar

För att utföra monteringsmomentet skapades banplanering (eng. Path planning) för vardera objekt. I banplaneringen väljs start- och slutpunkt för objektet, och en bana mellan punkterna kalkyleras av programvaran, se figur 5.1.6. Banplaneringarna sparades som simuleringssegment.



*Figur 5.1.6: Banplanering för objekten visas som vita linjer.*

### Utplacering av och sammankoppling med manikin

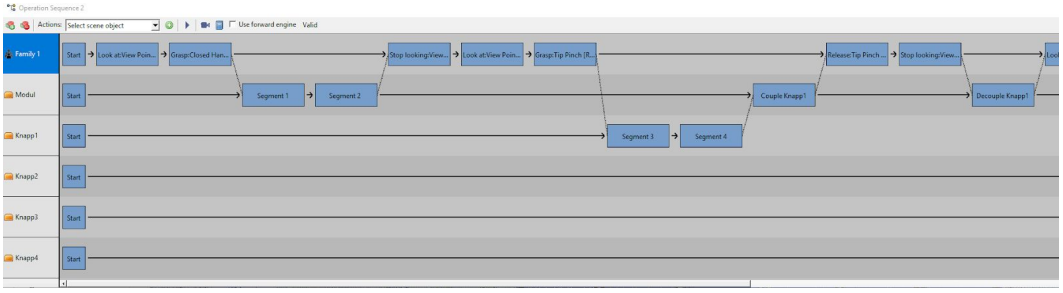
En manikin placerades i den virtuella miljön och kopplades samman med utplacerade grepp- och tittpunkter, se figur 5.1.7. Med hjälp av banplaneringen skapades automatisk rörelsegenerering för manikinen.



*Figur 5.1.7: Placering av manikin och sammankoppling med grepp- och tittpunkter.*

### Operationssekvens

När alla ovanstående steg var utförda skapades en operationssekvens (eng. Operation Sequence) som inkluderade alla simuleringssegment i rätt ordningsföljd, se figur 5.1.8. Sekvensen spelades sedan upp, se figur 5.1.9, och en video sparades.




*Figur 5.1.8: Del av operationssekvens (Operation Sequence) som inkluderar manikin, objekt, grepp- och tittpunkter samt alla simulerringssegment.*

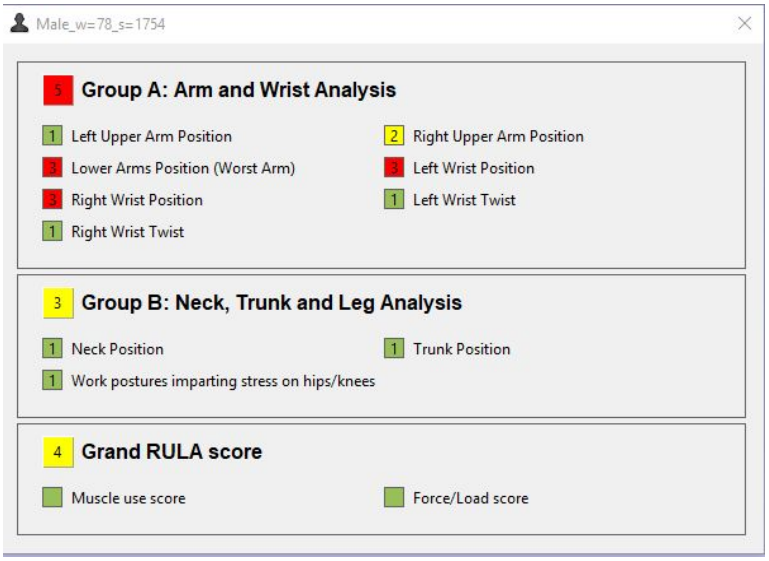


*Figur 5.1.9: Simuleringsuppspelning (Simulation Replay).*

Videon som sparades från uppspelning av operationssekvensen finns under filnamnet *Manikinsimulering* på följande Google Drive länk: https://drive.google.com/open?id=1yi5s4FvufM6Jx_H4Lxhv9IlqW4sVfqmq

## Ergonomianalys

Simuleringssekvensen användes för att göra en ergonomisk utvärdering. IPS IMMA har stöd för flera ergonomiska bedömningsmetoder. Den eller de ergonomiutvärderingsmetoder som är tillgängliga för den typ av kroppsarbete som ingår i simuleringen listas [18]. RULA var den metod som användes för nulägessimuleringen. Det är möjligt att utföra en statisk analys eller inkludera frågekriterier för att räkna in faktorer som inte kan beräknas från simuleringen [18], det senare alternativet valdes. Kriterierna att monteringen utförs färre än fyra gånger per minut och med en lägre vikt än två kilo (för objekten) inkluderades. Den ergonomiska utvärderingen av simuleringen visas i figur 5.1.10.




*Figur 5.1.10: Ergonomisk utvärdering (Ergonomic Evaluation) av simulering med manikin i IPS.*

Grön färgkodning innebär att arbetsmomentet är acceptabelt och att ingen förändring behöver ske. Gul färgkodning innebär att vidare utvärderingar behöver utföras. Röd färgkodning innebär att arbetsmomentet är olämpligt och rekommenderas ej. Den ergonomiska utvärderingen visar att handleder och underarmar utsätts för störst belastning. Resultatet tolkas som att risknivån för montaget är måttlig. Resultatet stöds av de utvärderingar som utförts av liknande monteringsmoment i slutmonteringen i Tuve-fabriken.

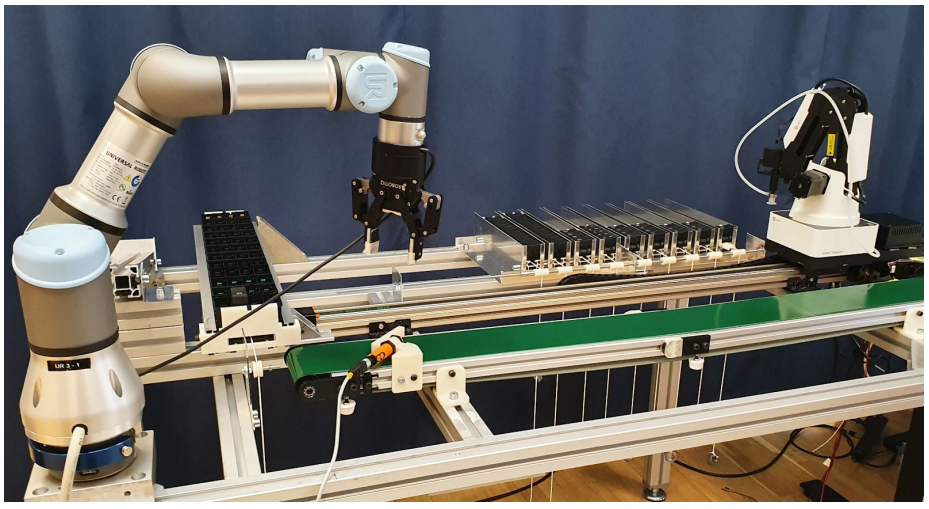
### Validering

Simuleringsmodellen speglar verkligheten, det vill säga den fysiska monteringen, både visuellt och fysiskt. Videomaterial som visar ett verkligt montage har använts som referens.

## 5.2 Genomförande och resultat av nylägessimulering

### Layout för nyläge

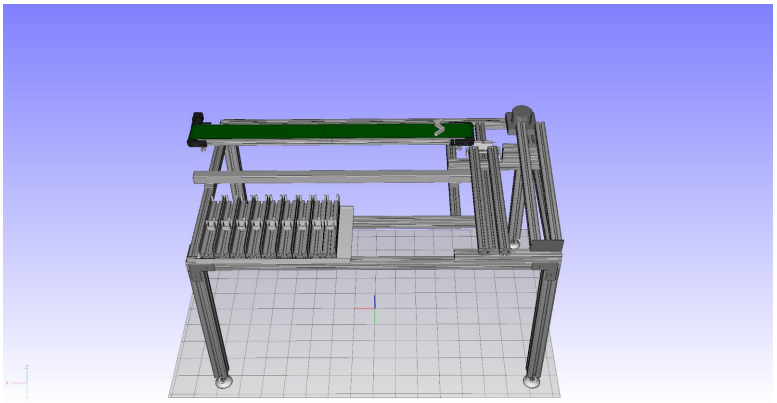
Den virtuella representation av nyläget är baserad på en fysisk demonstrationsmodell som har byggts i SII-Lab, se figur 5.2.1. I bilaga 1 listas komponenter som ingår i robotcellen.



*Figur 5.2.1: Fysisk demonstrationsmodell av nyläget för monteringen. Robot av modellen UR3 visas till vänster i figur och Dobot Magician till höger i figur. Transportbandet (eng. Conveyor) är placerat mellan robotarna.*

### Importering av CAD-modeller till IPS

Simuleringen av nyläget skapas i en virtuell 3D CAD-miljö, som för simuleringen av nuläget. Monteringsstationen modellerades i CATIA och importerades till IPS. Modellen, se figur 5.2.2, innehåller alla komponenter som ska vara orörliga i simuleringen. Simuleringen har förenklats genom att skena (eng. Rail) och transportband inte är rörliga objekt.

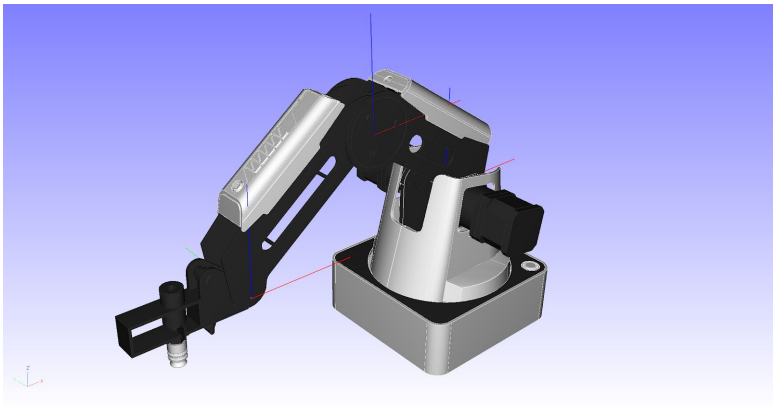


*Figur 5.2.2: Virtuell modell med samtliga orörliga komponenter.*

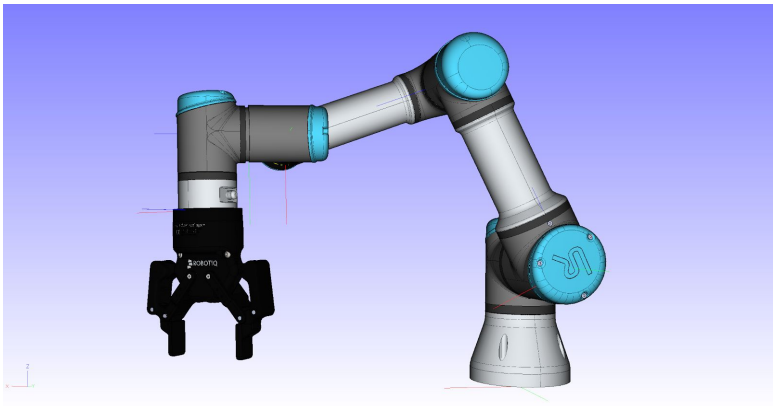
### Konstruering av robotar i CATIA och IPS

CAD-modeller av robotarna Dobot Magician och UR3, som ska användas i simuleringen av nyläget, erhölls färdiga från respektive tillverkare. Specifikationer för robotarna återfinns i bilaga 2 och bilaga 3.

Programvaran CATIA användes för att dela upp robotarnas leder i separata objekt eftersom CAD-filerna av robotarna var låsta, vilket betyder att det inte gick att röra på robotarnas leder. Robotarna konstruerades därefter led för led i IPS för att applicering av kinematik skulle vara möjligt. Koordinatsystem placerades i ledernas rotationspunkt. Den inbyggda funktionen TCP (Tool center point) gick inte att använda med robotar från tredje part. TCP är en funktion som används som verktygets greppunkt och behövs för att plocka upp ett objekt. Men på grund av att den här funktionen inte gick att använda behövdes det ett nytt sätt att få en centrumpunkt för verktygen. Det löstes genom att ett koordinatsystem placerades på verktygets spets. Figur 5.2.3 och figur 5.2.4 visar Dobot Magician och UR3 i IPS.



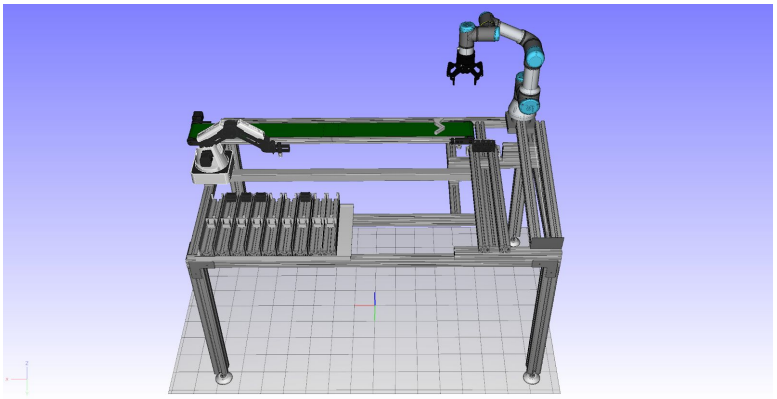
*Figur 5.2.3: Dobot Magician konstruerad led för led i IPS.*



*Figur 5.2.4: UR3 konstruerad led för led i IPS.*

### Utplacering av robotar, modul och tryckknappar

Robotar, modul och tryckknappar, som är rörliga objekt i simuleringen, placerades på korrekt position i den virtuella monteringsstationen i IPS, se figur 5.2.5.



*Figur 5.2.5: Komplett virtuellt nyläge av monteringsstation.*

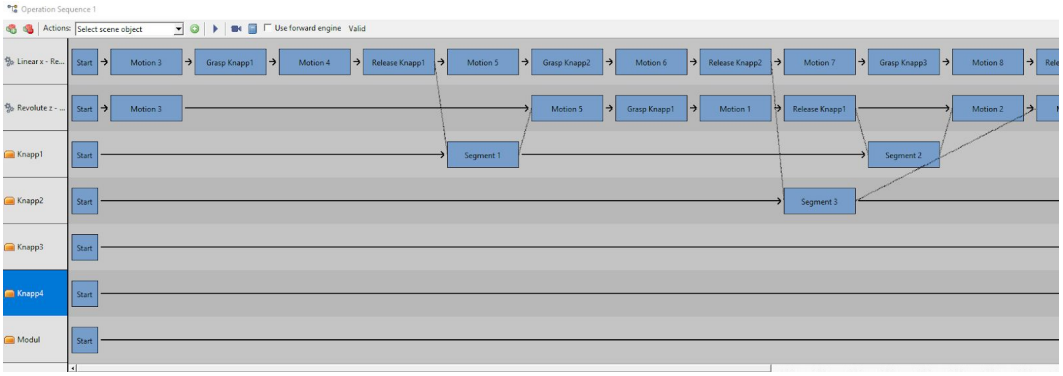
### Banplanering för robotar

För att utföra monteringsmomentet skapades banplanering för robotarna. Banplaneringen utfördes i flera steg, vilket krävdes för att operationsekvensen skulle utföras som tänkt.

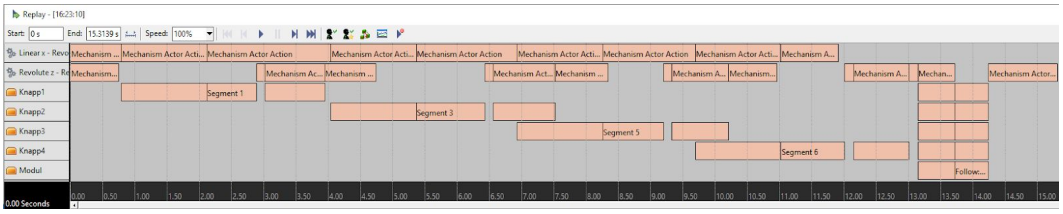
För banplanering av Dobot Magician krävdes att rörelsen delades upp i två delar. I den första rörelsen förs robotens sugkopps verktyg till en position över den knapp som ska plockas upp. I den andra rörelsen förs verktyget med den upplockade knappen till transportbandet. För banplanering av UR3 krävdes att rörelsen delades upp i fyra delar. I den första rörelsen förs robotens gripverktyg till en väntposition. I nästa rörelse sänks verktyget för att plocka upp en knapp. I följande rörelse plockas knappen upp och förs till modulen samt monteras. I den sista rörelsen förs verktyget tillbaka till väntpositionen. En avslutande banplanering skapades för UR3, som består av att modulen plockas upp och förflyttas till en ny position, när alla knappar har monterats. Alla banplaneringar sparades som simuleringssegment.

### Operationssekvens

När alla ovanstående steg var utförda skapades en operationssekvens som inkluderade alla simuleringssegment i rätt ordningsföljd, se figur 5.2.6. Sekvensen spelades sedan upp, se figur 5.2.7, och en video sparades.




*Figur 5.2.6: Del av operationssekvens som inkluderar robotar, objekt och simuleringssegment.*




Figur 5.2.7: *Simuleringsuppspelning (Simulation Replay).*

Videon som sparades från uppspelning av operationssekvensen finns under filnamnet *Robotsimulering* på följande Google Drive länk: https://drive.google.com/open?id=1yi5s4FvufM6Jx_H4Lxhv9IlqW4sVfqmq

## Tidsanalys

I modulen Robot Optimization i IPS finns möjlighet till att utföra tidsstudier för att kontrollera hur lång tid monteringen tar att utföra, genom att välja vilken hastighet roboten arbetar i och om alla leder ska röra sig samtidigt [18]. Hastighet för robotar och transportband går att reglera för att möta efterfrågan.

Enligt simuleringsmodellen är tidsåtgången för montaget 15 sekunder, vilket är 5 sekunder snabbare än för den manuella monteringen.

### Validering

Simuleringsmodellen har jämförts med videomaterial från den fysiska demonstrationsmodellen i SII-Lab. Modellen speglar verkligheten både visuellt och fysiskt.

# 6

# DISKUSSION

I kapitlet framförs diskussioner kring resultat och erfarenheter.

### Säkerhet

I arbetet tillämpas robotar av märkena Dobot magician och UR3, som ej är klassade som kollaborativa robotapplikationer. Robotarna måste därmed avskärmas med fysiskt hinder eller endast brukas med sänkt hastighet för att människor inte ska skadas, om de används inom industrin som kollaborativa robotapplikationer.

### Flexibilitet

Automatisering av monteringen kommer frigöra resurser i form av arbetsstyrka. Däremot kräver det framtida tillståndet för monteringsstationen viss mänsklig inblandning. Det kommer krävas att en operatör sköter materialpåfyllning av tryckknappar och moduler samt bortförsel av monterade moduler, vilket innebär att det krävs närmare undersökning av samspel mellan robot och människa.

Förhoppningen är att implementera den automatiserade monteringsprocessen i andra delar av Tuve-fabriken, bland annat för knappmontering till instrumentpanelen. Modellen är flexibel på så vis att den är adaptiv och kan tillämpas för olika användningsområden och produktvariationer.

### Projektupplägg

Parallellt med arbetet har bygget av en fysisk demonstrationsmodell med ny design pågått. Den virtuella världen som har byggts upp kan betraktas som en digital tvilling av den fysiska modellen. Ett mer optimalt upplägg hade varit att simuleringsmodellen gjorts klart innan den fysiska modellen och att alla tester utfördes i simuleringen, inte tvärtom. Arbetet med den

fysiska modellen borde således ha påbörjats efter det att simuleringarna var utförda, verifierade och validerade.

### För- och nackdelar med simulering

Fördelarna med att simulera är att det går att undersöka flera scenarier, vilket inte hade varit möjligt med fysiska modeller. Det går även att genomföra tester med befintliga robotceller i simuleringar, vilket annars hade krävt ett produktionsstopp.

Det finns även nackdelar med simuleringar. Simuleringar kräver erfarenhet och är tidskrävande. Det är svårt att besluta om vilken detaljnivå som krävs för modeller. Dessutom finns mycket enklare verktyg och lösningar för exempelvis ergonomibedömningar.

### Programvaran IPS

Programvaran IPS som har används i arbetet är under utveckling och det har krävts många försök enligt principen *trial-and-error.* Problem har behövt kringgås på sätt som inte är helt optimala. Under projektet har de robotar som finns inbyggda i programmet inte använts, utan istället har robotar från tredje part använts. Det förorsakade att många olika funktioner som finns tillgängligt i programmet behövde tillämpas för att robotarna skulle röra sig som planerat i simuleringen.

En stor fördel med IPS är att det finns många tilläggsmoduler och verktyg i programmet, som robotoptimering och IMMA samt punktmolnsverktyg. Vilket gör det smidigt att utföra banplanering i kombination med ergonomisimulering.

### Hållbar utveckling

I samband med att allt fler företag byter ut manuellt arbete till fullt automatiserat skapas problematik med hur de automatiserade systemen ska se ut och verka. Alla företag ställer olika krav på sina system vilket leder till oklarheter i hur de ska konstrueras. Fysiska experiment i full skala kräver mycket materiella resurser och energi, vilket inte är hållbart varken ekonomiskt eller ur miljösynpunkt. Genom att simulera verkligheten sparar man in på resurser. Samtidigt är social hållbarhet viktigare än någonsin. Personer som påbörjar sitt

yrkesliv idag ska klara av att arbeta lägre än tidigare generationer. Miljö, hälsa och säkerhet för anställda kan säkerställas med hjälp av ergonomi utredningar. Simuleringar av verkligheten kan ge mer information och noggrannare analyser.

# 7

# SLUTSATSER OCH FRAMTIDA REKOMMENDATIONER

I kapitlet redogörs arbetets slutsatser, svar på frågeställningen och framtida rekommendationer.

Syftet med att simulera nuläget var att delvis att utvärdera ergonomi och delvis att utvärdera resultatet av automatiseringen i ett senare skede. Ergonomiutvärderingen visade att handleder och underarmar utsätts för störst belastning.

Syftet med att simulera nyläget var att visualisera automatisering av monteringsmomentet och komplettera en fysisk demonstrationsmodell. Simuleringsverktyget IPS saknade en del funktionalitet för simulering av externa robotar. En tillfredsställande simulering kunde skapas genom att jobba runt problemen.

## 7.1 Svar på frågeställning

Nedan ges svar på arbetets frågeställningar.

**Hur kan simuleringar användas som ett verktyg för att öka automation inom slutmontering?**

Datorsimuleringar kan användas för att arbeta effektivare med olika typer av automationslösningar. Simulering och virtuell utveckling medför att kostsamma fysiska modeller under utvecklingsarbetet kan elimineras. Simulering kan även användas för att analysera huruvida systemet uppfyller ställda krav. Det är dessutom möjligt att testa flera olika koncept utan att behöva påverka den befintliga produktionen.

Viktigt att ha i åtanke är att simuleringsmodellerna är modeller av verkligheten och ger information om hur modellerna beter sig och inte hur ett fysiskt system beter sig.

Visualisering med hjälp av geometrimodellering och punktmoln kan användas för att öka förståelsen för systemet. Det kan även användas för att testa och kontrollera placering av utrustning i den befintliga fabriksmiljön.

**Hur kommer automatisering av nuläget påverka de förbättringsfaktorer som Volvo Trucks arbetar med?**

Simulering av monteringsmomentet tyder på att automatisering kommer att ha positiv påverkan på företagets förbättringsfaktorer: produktivitet, säkerhet, kvalitet och ergonomi.

Produktiviteten kommer att öka med automation av monteringen. Säkerheten går att bibehålla genom att robotcellen avskärmas eller utrustas med sensorer som känner av om en människa kommer innanför en säkerhetszon. Kvaliteten förväntas höjas till följd av minskat manuellt arbete och misstag orsakade av den mänskliga faktorn. Ergonomin kommer att förbättras till följd av att automatisering av monteringsmomentet reducerar kroppsarbetet. Dessutom kommer automatisering innebära förhöjd flexibilitet.

## 7.2 Rekommendationer till fortsatt arbete

Rekommendationer till fortsatt arbete är att:

- Genomföra en riskanalys av det automatiserade monteringsmomentet.
- Undersöka vart i fabriken den nya monteringsstationen ska placeras, vilket enklast kan göras med hjälp av den virtuella modellen och 3D-scanningar av fabriken.
- Närmare undersöka samspelet mellan robot och människa vid automatiserad montering.
- Undersöka hur automatisering av monteringen kan underlättas ytterligare genom att exempelvis undersöka hur produkten (dvs tryckknappar och modul) kan designas för att underlätta monteringen. Tryckknapparna är inte plana undertill vilket innebär att de inte står plant på transportbandet vilket gör att både upplockning och montering

med UR3-roboten försvåras. Även emballage för tryckknappar och modul bör designas för att underlätta vid materialpåfyllning i stationen.

# REFERENSER

[1] A. Gilchrist, *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Berkley, USA: aPress, 2016. [Online]. Tillgänglig: https://link-springer-com.proxy.lib.chalmers.se/book/10.1007%2F978-1-4842-2047-4#about, hämtad: 2020-03-04.

[2] Murat M. Gunal, *Simulation for Industry 4.0*, Cham, Schweiz: Springer, 2019

[Online]. Tillgänlig: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3, hämtad: 2020-05-21.

[3] A.K. Gupta, S.K. Arora och J.R. Westcott, *Industrial Automation and Robotic*, VA, USA: Mercury Learning and Information, 2017. [Online]. Tillgänglig: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIAR00001/viewerType:toc/root_slug:industrial-automation?kpromoter=federation, hämtad: 2020-03-04.

[4] *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 1: Robotar*, ISO 10218-1:2011, 2011.

[5] *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration*, ISO 10218-2:2011, 2011.

[6] A. Wester Odbratt, privat kommunikation, mars. 2020.

[7] J. Berglund, privat kommunikation, sep. 2019.

[8] Arbetsmiljöverket, "CE-märkning", mars. 2020. [Online]. Tillgänglig: https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/produktutformning-och-ce-markning/, hämtad: 2020-03-31.

[9] B. Bergman och B Klefsjö, *Kvalitet: Från behov till användning*. 5. [rev.] uppl. Lund, Sverige: Studentlitteratur AB, 2012.

[10] Arbetsmiljöverket, "Arbetsställning och belastning - Ergonomi", sep. 2018. [Online]. Tillgänglig: https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/arbetsstallning-och-belastning---ergonomi/?hl=ergonomi, hämtad: 2020-03-16.

[11] Arbetsmiljöverket, “Arbetsmiljölagen (AML)”, feb. 2002. [Online]. Tillgänglig: https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/lagar-och-regler-om-arbetsmiljo/arbetsmiljolagen/, hämtad 2020-03-16.

[12] C. Berlin, privat kommunikation, sep. 2019.

[13] J. Banks, *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, Hoboken, USA: Wiley, John & Sons, Inc., 1998. [Online]. Tillgänglig:

https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=dMZ1Zj3TBgAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=+jerry+banks&ots=osMGcvTn3q&sig=rilJJGM-U0xljFfevhGq-FIZ-l0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true, hämtad: 2020-03-16.

[14] O. Groth och V. Bengtsson, “Montering med Dobots: En förstudie åt AB Volvo”, examensarbete för kandidatexamen, Institutionen för industri- och materialvetenskap, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, 2019. [Online]. Tillgänglig: https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/257137/1/257137.pdf, hämtad: 2020-02-03.

[15] Chalmers, “DIPPA (DIgitalisation of Product- and Production design to increase Automation)”, 2020. [Online]. Tillgänglig:

https://www.chalmers.se/sv/projekt/Sidor/DIPPA-QDIgitalisation-of-Product--and-Production-design-to.aspx, hämtad: 2020-05-04.

[16] IPS, “IPS IMMA”, 2020. [Online]. Tillgänglig: https://industrialpathsolutions.com/ips-imma, hämtad: 2020-03-02.

[17] M. Schröder, privat kommunikation, maj. 2020.

[18] IPS, “User Manual for Industrial Path Solutions 351”, opublicerat, maj, 2018.

# Ingående komponenter i nylägesmodell

I tabellen nedan listas ingående komponenter i nylägesmodellen.

| Ingående komponenter i nylägesmodell | |
|---|---|
| **Komponent** | **Funktion** |
| Tryckknappsdon (9 st) | Lagring av tryckknappar |
| Robot: Dobot Magician | Plockning av tryckknappar (Pick-and-place) |
| Räls (Rail) | Förflyttning av Dobot Magician |
| Transportband (Conveyor) | Förflyttning av tryckknappar, från Dobot Magician till UR3 |
| Robot: UR3 | Montering av tryckknappar i moduler |
| Modulskenor (2 st) | Lagring av tryckknappsmoduler |

# Specifikationer för DOBOT Magician

Nedanstående specifikationer för DOBOT Magician är hämtade från Dobots webbsida: https://www.dobot.cc/dobot-magician/specification.html

| Specifikationer DOBOT Magician | |
|---|---|
| Antal axlar | 4 |
| Nyttolast | 500g |
| Maximal räckvidd | 320mm |

| Axelrörelse DOBOT Magician | | |
|---|---|---|
| **Axel** | **Räckvidd** | **Maxhastighet** |
| Led 1 bas | -90° till +90° | 320°/s |
| Led 2 bakarm | -0° till +85° | 320°/s |
| Led 3 framarm | -10° till +95° | 320°/s |
| Led 4 rotationsservo | -90° till +90° | 320°/s |

| Specifikationer för vakuum sugkopp (Vacuum Suction Cup) till DOBOT Magician | |
|---|---|
| Diameter | 20mm |
| Tryck | -35Kpa |

# Specifikationer för UR3

Nedanstående specifikationer för UR3 är hämtade från Universal Robots och Robotiq webbsidor: https://www.universal-robots.com/media/240772/ur3_se.pdf, https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper

| Specifikationer UR3 | |
|---|---|
| Antal axlar | 5 |
| Nyttolast | 3000g |
| Maximal räckvidd | 500mm |
| Maximal hastighet planleder | 360°/s |
| Maximal hastighet övriga leder | 180°/s |

| Specifikationer för gripdon 2F Adaptive Gripper till UR3 | |
|---|---|
| Grip bredd | 85mm |
| Max lastvikt | 5kg |
| Min/Max gripkraft | 20/235N |
| Maximal hastighet | 1m/s |

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2020

www.chalmers.se




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY