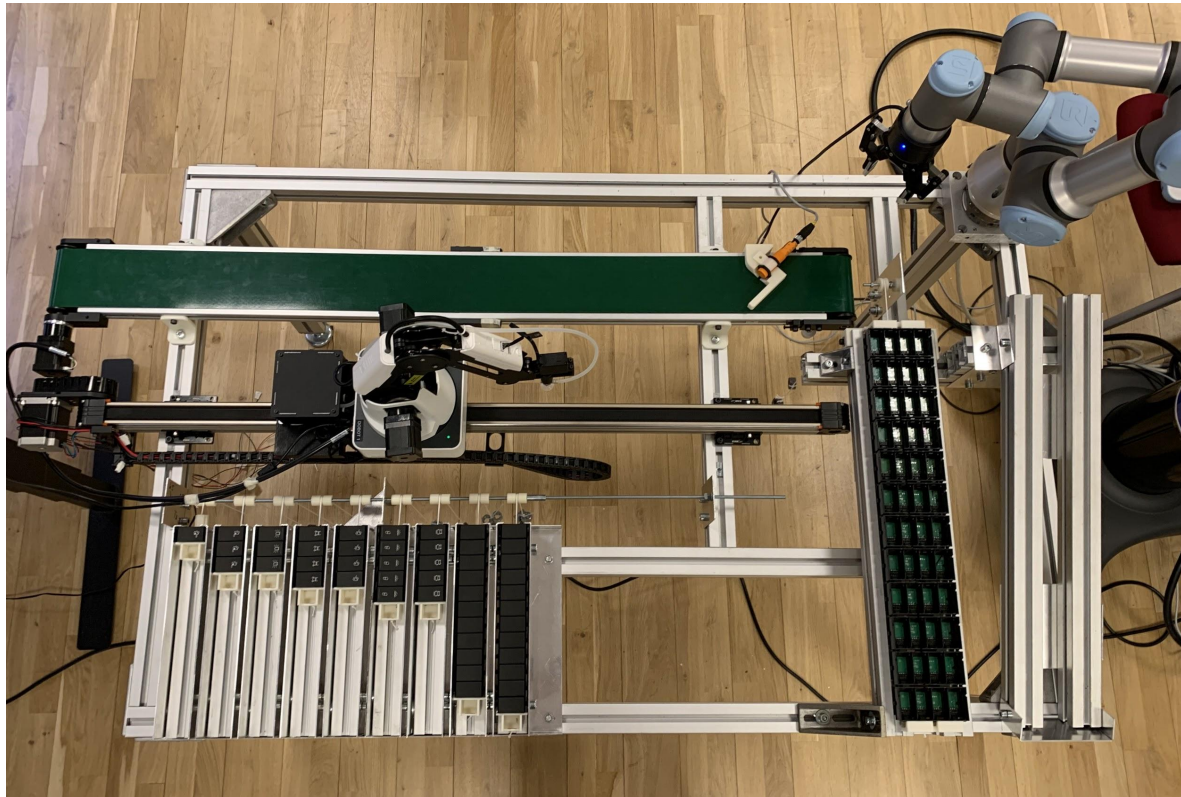




# CHALMERS



## Automatiserad knappmonteringsstation

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet, Maskinteknik

Felix Hille-Dahl  
Johan Semmingsson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2020  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Förord

Examensarbetet omfattar 15 HP och har utförts på Chalmers tekniska högskola, Maskiningenjör 180 HP vårterminen 2020. Examensarbetet har utförts i Chalmers SII-Lab på Lindholmen med Åsa Fasth Berglund som examinator och i samarbete med Volvo Group Trucks Operations i Tuve.Handledare från Volvo är Jonas Fuglås, Process Engineer, Automation Tooling and Equipment. Handledare från Chalmers är Omkar Salunkhe, Göran Stigler och Sven Ekered. Vi vill tacka Volvo Group Trucks Operations i Tuve, våra handledare och vår examinator för förtroendet och all assistans under arbetets gång.

# Sammanfattning

Volvo Trucks i Tuve är en fabrik som producerar 78 lastbilar per dag. Med denna låga produktionsvolym har de kommit fram till att många mindre monteringsmoment är för dyra att automatisera med stora industrirobotar. Detta skapade frågan om vissa monteringsarbeten kan automatiseras med en lägre kostnad. Därför har Volvo Trucks utfört två examensarbeten tillsammans med SII-Lab på Chalmers Lindholmen. Första examensarbetet är en förstudie som behandlar om och hur man kan automatisera monteringen av olika knappar i moduler. Dess knapparna monteras sedan in i instrumentpanelen inne i lastbilen. Förstudie kom fram till att monteringen ska kunna utföras med hjälp av en Dobot M1 och en Dobot Magician. Det andra examensarbetet är det här arbete som fortsätter utifrån förstudien och studerar vidare möjligheten att utveckla designen av stationen, få alla delar att fungera samt synkas ihop.

Arbetet har utgått från frågeställningen:

Går det att utföra ett monteringsarbete för 10 hårdkodade ordrar helt automatiserat med två “low cost” robotar?

Utöver denna fråga var Volvo Trucks även intresserade av hur kostnaderna ser ut och om stationen går att skala upp. Detta studerades i slutet av projektet.

Genom studiebesök och analys av förstudien skapades en kravspecifikation. Denna stod som grund under produktutvecklingsprocessen som resulterade i ett slutgiltigt koncept. Detta koncept byggdes sedan i SII-Lab och sedan programmerades robotarna att utföra dess önskade uppgifter. Resultatet för arbetet är att stationen klarar målet att utföra de 10 hårdkodade orderarna helt automatiserat.

Efter det positiva resultatet genomfördes en verifikation genom att kontrollera att alla krav från kravspecifikationen var uppfyllda. Då stationen klarade alla krav skapades ett “business case” som visade att kostnaden för hela stationen blev 94 940 kr. Stationen beräknas vara lönsam efter 2 månader och efter 1 år förväntas Volvo ha sparat in ungefär 470 000 kr. Detta är beräknat utan vissa omkostnader som förväntas minska. Till exempel minskar den ackumulerade belastningen på fabriken samtidigt som monteringsprocessen blir kvalitetssäkrad. Arbetet kom fram till att stationen går att skala upp, och till en låg kostnad.

Arbetet avslutades med rekommendationer för vidare utveckling av stationen. Bland annat uppskalning, större verifikation på längre produktionstider samt smartare kommunikation från order till station.

# Abstract

Volvo Trucks in Tuve is a factory that produces 78 trucks per day. With this low production volume, they have concluded that many smaller operations are too expensive to automate due to large industrial robots being too expensive for the task. Therefore, they have taken the help of the SII-Lab at Chalmers Lindholmen, a previous study and this thesis to study the possibility of using more cost-effective robots to do these relatively simple and monotonous tasks. This thesis studies the possibility of using low cost robots to automate the assembly of buttons on modules. These are the buttons that sit on the hat shelf in the cab of the truck.

The work has been based on the question:

Is it possible to carry out assembly work for 10 hard-coded orders fully automated with two low cost robots?

In addition to that question, Volvo Trucks were also interested in a business case looking at eventual costs if the station were scaled up and comparing it to the manual assembly used in the factory today. This was studied at the end of the project.

A visit to the factory and an analysis of the previous study created a requirement specification. This was the basis of the product development process, which resulted in a definitive concept. This concept was then built in the SII-lab and the robots were programmed to perform their specific tasks. The result of the work is that the station meets the goal of fully automating the 10 hard-coded orders.

After the positive result, a verification was performed by checking that all requirements for the station were met. It concluded that the station met all requirements which meant the first question were successful. Therefore, a business case was created. This showed that the cost for the entire station was SEK 94,940. The station is expected to be profitable after 2 months and after 1 year Volvo is expected to have saved approximately SEK 470,000. This is without some hidden costs that are expected to decrease using this automated station. For example, the accumulated load at the factory, sick leave and being injured or sick at work all would decrease. In addition, the thesis came to the conclusion that the station could be scaled up and at a low cost.

The work was concluded with recommendations for further development of the station. This includes scaling up the station, greater verification of longer production times and smarter communication from orders to the station.



# Innehållsförteckning

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Inledning.....</b>                       | <b>1</b>  |
| 1.1 Bakgrund.....                              | 1         |
| 1.2 Syfte.....                                 | 1         |
| 1.3 Avgränsningar .....                        | 1         |
| 1.4 Precisering av frågeställningen .....      | 2         |
| <b>2. Teoretisk referensram .....</b>          | <b>3</b>  |
| 2.1 Förstudie.....                             | 3         |
| 2.2 Industriell automation.....                | 4         |
| 2.3 Skrivbordsrobot (LCA).....                 | 5         |
| 2.4 Verkstadsteori .....                       | 5         |
| <b>3. Metod.....</b>                           | <b>7</b>  |
| 3.1 Datainsamling.....                         | 7         |
| 3.1.1 Förstudie.....                           | 7         |
| 3.1.2 Studiebesök och diskussion.....          | 7         |
| 3.2 Kravspecifikation .....                    | 7         |
| 3.3 Idégenerering .....                        | 8         |
| 3.3.1 Brainstorming.....                       | 8         |
| 3.3.2 Idégenereringsmetoden 6-3-5.....         | 8         |
| 3.4 Elimineringsmetoder .....                  | 8         |
| 3.4.1 Elimineringsmatris.....                  | 8         |
| 3.4.2 Pughs matris.....                        | 9         |
| 3.5 Bygget av slutligt koncept.....            | 9         |
| 3.6 Programmering .....                        | 9         |
| 3.6.1 Dobot Magician .....                     | 9         |
| 3.6.2 UR3 .....                                | 10        |
| 3.7 "Business case" .....                      | 10        |
| <b>4. Analys av situationen idag .....</b>     | <b>12</b> |
| 4.1 Studiebesök och samtal med handledare..... | 12        |
| 4.2 Arbetsstation från förstudie .....         | 14        |
| 4.2.1 Skrivbordsrobotar från DOBOT .....       | 15        |
| 4.2.1.1 Magician.....                          | 15        |
| 4.2.1.2 M1.....                                | 16        |
| 4.2.1.3 Verktyg/Tillbehör för Dobot .....      | 16        |
| 4.2.2 UR3 .....                                | 17        |
| 4.2.2.1 Verktyg/ Tillbehör för UR3 .....       | 17        |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 4.3 Analys av knappar och moduler .....       | 18 |
| 4.3.1 Knapparna .....                         | 18 |
| 4.3.2 Moduler .....                           | 20 |
| 4.4 Kravspecifikation .....                   | 21 |
| 5. Framtagning av konceptkatalog .....        | 23 |
| 5.1 Konceptkatalog .....                      | 23 |
| 5.1.1 Koncept 1 .....                         | 23 |
| 5.1.2 Koncept 2 .....                         | 24 |
| 5.1.3 Koncept 3 .....                         | 24 |
| 5.1.4 Koncept 4 .....                         | 25 |
| 5.2.5 Koncept 5 .....                         | 25 |
| 6. Framtagning av slutgiltigt koncept.....    | 26 |
| 6.1 Elimineringsmatrisen .....                | 26 |
| 6.2 Pughs matris.....                         | 27 |
| 7. Slutgiltigt koncept .....                  | 30 |
| 8. Programmering.....                         | 35 |
| 8.1 Dobot Magician.....                       | 35 |
| 8.2 UR3 .....                                 | 36 |
| 9. Genomgång av frågeställning .....          | 38 |
| 9.1 Genomgång av kravuppfyllelse.....         | 38 |
| 9.2 Genomgång av "business case" .....        | 39 |
| 10. Slutsats.....                             | 43 |
| 10.1 Diskussion .....                         | 44 |
| 11. Vidareutveckling.....                     | 46 |
| Referenser .....                              | 47 |
| Bilagor.....                                  | 49 |
| Bilaga 1: Ordrar från volvo.....              | 49 |
| Bilaga 2: Ritning på knapppressen.....        | 54 |
| Bilaga 3: Ritning på trissan.....             | 55 |
| Bilaga 4: Ritning på knappstoppet.....        | 56 |
| Bilaga 5: Ritning på modulpressen.....        | 57 |
| Bilaga 6: Ritning på modulstoppet.....        | 58 |
| Bilaga 7: Blocky program, en loop .....       | 59 |
| Bilaga 8: Programkod för Dobot Magician ..... | 60 |
| Bilaga 9: Programkod för UR3.....             | 66 |

# 1. Inledning

Detta är rapporten till examensarbetet som utförs av Felix Hille-Dahl och Johan Semmingsson med handledning av Göran Stigler, Omkar Salunkhe och Sven Ekered samt som examineras av Åsa Fasth Berglund. Arbetet görs som en studie åt AB Volvo, specifikt Volvo Trucks i Tuve där Jonas Fuglås är handledare från Volvos sida.

Detta kapitel beskriver projektets bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställningar.

## 1.1 Bakgrund

Med nutidens stora utveckling inom teknik och automation så är detta något företag utforska möjligheterna att automatisera tillverkningsprocessen. Detta är något Volvo Trucks i Tuve gör, bland annat med ett examensarbete via Chalmers, Ola Groth & Viktor Begntsson (2019) Montering med Dobots - En förstudie åt AB Volvo, Göteborg: Chalmers University of Technology. Arbetet behandlar om och hur man kan automatisera monteringen av olika knappar i moduler som sedan ska in i instrumentpanelen i en lastbil. Tidigare examensarbete kom fram till att processen ska kunna utföras med hjälp av en Dobot M1 och en Dobot Magician. På grund av problem med robotarna lyckades inte en färdig automatiserad station byggas. Förstudien testade om det gick att programmera och använda robotarna för att utföra uppgifterna, men mycket mer programmering krävdes för att automatisera hela processen. Dessutom krävdes fortsatt utveckling av in och utflödet av knappar och moduler. [1]

Volvos lastbilar kan fås i många olika varianter och med många olika funktioner, vilket gör att i stort sätt varje lastbil ser olika ut och har olika knappar/funktioner i förarhytten. I dagsläget monteras fyra knappar för hand i en modul. Denna process har både sina brister i produktkvalitet och i ergonomi för montören. Framförallt kan knapparna placeras fel vilket kan medföra att de inte fungerar alls eller fungerar på fel sätt. Om dessa fel upptäcks mycket sent i hela lastbilens tillverkningsprocess kan detta skapa både svåra och dyra problem att åtgärda.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utveckla och bygga en automatiserad monteringsstation som kan ersätta det monotona monteringsarbete som i dagsläget sker manuellt. Förändringen görs för att ge ekonomisk vinning, högre kvalitet samt minska ergonomisk belastning på montör. Målet är att skapa "low cost automation" där materialkostnaderna inte överstiger 100 000 kr.

## 1.3 Avgränsningar

Huvudfokus kommer ligga på bygget av stationen och programmeringen av robotarna dvs, djupare verifiering av stationen kommer endast genomföras i mån av tid (examensarbetet är på 15 Hp). Orderna kommer att hårdkodas i robotarnas egna programvara. Detta betyder att mjukvara som kan behandla alla löpande ordrar inte kommer utvecklas eller implementeras.

Detta arbete kommer enbart ta hänsyn till det som händer innanför systemgränsen, dvs monteringsstationen. Exempelvis antas det att knapparna är rätt sorterade vid inmatning till arbetsstationen. Till skillnad från förstudien så fokuserar detta arbete på hatthyllan istället för instrumentbrädan. Detta för att hatthyllan endast innehåller 1-2 moduler, istället för 4-6 moduler som på instrumentbrädan. Detta ansågs som en lämplig avgränsning från våra handledare på både Chalmers och på Volvo. Examensarbetet kommer inte försöka optimera produktionshastighet (cykeltid på hela processen). Det kommer inte genomföras någon djupare analys av stationens ergonomi jämfört med dagsläget.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Går det att utföra ett monteringsarbete för 10 hårdkodade ordrar helt automatiserat med två "low cost" robotar?

Om svaret på frågan är ja:

- Hur ser den automatiserade stationens "business case" ut?  
Exempelvis hur ser kostnadsutvecklingen ut vid uppskalning av stationen?

## 2. Teoretisk referensram

Detta kapitel beskriver den teoretiska referensram som arbetet och rapporten bygger på. Tidigare förstudie samt metoder och verktyg som kommer tillämpas under arbetets gång studeras och beskrivs.

### 2.1 Förstudie

Detta examensarbetet bygger vidare på ett tidigare examensarbete som genomfördes under våren 2019 av Ola Groth och Viktor Bengtsson i SII-Lab på Lindholmen. Deras rapport heter "Montering med Dobots - En förstudie åt AB Volvo" och undersöker om en monteringsprocess går att automatisera och om Dobot Magician och Dobot M1 är lämpliga verktyg för detta arbete. Volvo har genom åren insett att en fullskalig industrirobot i många situationer kan vara för kostsam för att utföra vissa enkla processer, framförallt då produktionsvolymen är relativt låg. Med detta i åtanke ansågs det vara mycket intressant att utforska om så kallade skrivbordsrobotar är ett möjligt alternativ. [1]

Problemet som undersöktes är montering av knappar i moduler. Dessa är alltså knapparna som sitter monterade på instrumentbrädan inne i lastbilens förarhytt. Knapparna monteras i dagsläget för hand vilket skapar problem såsom dålig ergonomi för personalen, monoton arbetsprocess och bristande produktkvalitet. Detta utöver att det är en dyr löpande kostnad att ha personal utför arbetet.

Förstudien blev avgränsad till att arbeta med en hårdkodad order eftersom Volvo Trucks mjukvara Switchcalc inte är kompatibelt med denna sorts system. (Switchcalc är företagets nuvarande programvara för att kommunicera ordrar till montörerna.)

Förstudien undersökte hur och varför automation och industri 4.0 var relevant för denna situation. Till exempel så kan det skapa en effektivare produktion och även öka produktkvaliteten vilket i sin tur kan behålla produktionen i landet. Förstudien undersökte även vad skrivbordsrobotar är och hur de skulle kunna användas enligt dess olika specifikationer, begränsningar och möjligheter.

Förstudien utfördes enligt följande:

- Nuvarande arbetsstation - besök på Volvo Trucks, insamling av data, analys av uppgiften/problemet.
- Kravspecifikation - kravspecifikation byggd utifrån analys av problemet samt krav från Volvo.
- Konceptgenerering - brainstorming och skapande av olika idéer och koncept.
- Konceptval - systematiskt samt via diskussion med handledare komma fram till ett koncept.
- Detaljkonstruktion och sammansättning - detaljerat konstruera delar som behövs samt bygga ihop stationen.
- Funktionellt test - test av de olika komponenterna, programmering av robotar och separata tester av dessa.

- Utvärdering och återkoppling - Kontrollera om mål och frågeställningar uppfyllts.

Efter denna process kom förstudien huvudsakligen fram till:

1. Processen går i hög grad att automatisera då detta löser problem med produktkvalitet och ergonomi samt kan minska mänskliga felfaktorn betydligt.
2. Dobot Magician och Dobot M1 är ett bra val av robotar för denna process, framförallt skrivbordsroboten Magician kombinerat med semi-industriroboten M1. Robotarna har då i kombination de egenskaper som krävs för att utföra uppgiften. Till exempel krävs den något kraftfullare roboten M1 för att klara av att trycka ner knapparna i modulerna.

## 2.2 Industriell automation

Generellt definieras automation som processen att följa en förutbestämd serie av operationer med liten till ingen mänsklig påverkan. Detta utförs med hjälp av olika robotar, sensorer, ställdon, datorer, verktyg och tekniker för att utföra, observera och kontrollera tillverkningsprocessen.

Automation kan se ut på många olika sätt och för olika ändamål, som exempelvis:

- Monteringsmaskiner/robotar - för montering av delar/komponenter.
- Maskinverktyg för tillverkning av delar. (Svarvar, fräsar och bormaskiner mm)
- Industriella robotar - kan utföra tunga lyft och farliga uppgifter.
- Materialhantering
- Lagrings- och återvinningssystem
- Inspektionssystem/kvalitetskontroll

Anledningen till den stora utvecklingen av automation som har skett de senaste åren är framförallt då det medför flertalet fördelar. Fördelarna varierar beroende på vad som automatiseras samt vilka av dessa fördelar som är huvudmålet för utvecklingen. Några av fördelarna kan vara:

- Ökad produktivitet
- Lägre produktionskostnad
- Färre fysiskt tröttande uppgifter för personal
- Mindre arbetsyta behövs i fabriken
- Bättre arbetsförhållanden
- Effektiv kontroll av tillverkningsprocess
- Förbättrad produktkvalitet
- Mindre risk för skador på personal.

Ett möjligt ändamål för automation är montering. Detta är processen där olika komponenter sätts ihop till antingen en färdig produkt eller till en större komponent som senare monteras på slutprodukten. Att automatisera monteringsprocessen kan skapa både flexibla och skalbara



system som tillsammans med kollaborativa robotar och 3D-printing kan ge lägre produktionskostnader, förbättrad produktionsfunktion och bättre ergonomi för personalen. Detta är huvudsakliga ändamålet med automatiseringen av detta projekt. Utöver montering utförs även så kallad "pick & place" som går ut på att plocka upp rätt del och placera denna på önskad plats. [12] [13]

## 2.3 Skrivbordsrobot (LCA)

"Low cost Automation" (LCA) är en teknik som fokuserar på kostnaden då automation i tillverkningsprocesser skapas. Det utgår från vissa befintliga redskap, verktyg, metoder och personer utav en processen och skapas genom att använda standardkomponenter som finns tillgängliga på marknaden, med låga inköpspriser, för att automatisera processen. Detta kan skapa stora ekonomiska möjligheter som exempelvis kort återbetalningstid av investeringen. Tekniken har många av fördelarna som beskrevs ovan för industriell automation. Stora skillnaden är den stora ekonomiska potential som finns, möjligen på bekostnad av till exempel hastighet, precision, rörlighet och möjlig belastning. En mängd olika system (mekaniska, hydrauliska, pneumatiska, elektriska och elektroniska) finns tillgängliga för användning i LCA-system. Alla har sina fördelar och nackdelar. För mindre komplexa situationer kan enkla LCA-enheter byggas med hjälp av något eller några av systemen ovan. [12]

Arbetet har utgått från användning av så kallade skrivbordsrobotar. Framförallt då de är inom arbetsstationens kostnadskrav men även då förstudien är byggd med dessa samt då de enligt förstudien är ett lämpligt verktyg för processen. Skrivbordsrobotar är små robotar som rör sig på plana ytor eller skrivbord. De är populära bland hobbyister och används även i utbildningssyfte. De kan även användas inom industrin för att testa och analysera robotnätverk dvs stationer där flera robotar samverkar. Robotarna kan användas till flertalet applikationer som 3D-printing, lasergraving, rita och skriva samt använda gripdon eller vakuumsug. Den stora fördelen med dessa mindre robotar är det relativt låga priset samt den enkla styrningen. Däremot styrs de ofta av stegmotorer vilket kan kräva extrautrustning som rörelsesensorer eller färgsensorer för att roboten ska kunna orientera sig bättre.

DOBOT är ett företag som är en ledande leverantör av intelligenta robotar. De fokuserar på smarta robotarmar och har specialiserat sig på små, säkra och framförallt prisvärda robotar. Robotarna Magician samt M1 är bra exempel på just mindre, säkra och användbara skrivbordsrobotar som kan användas i hemmet samt i utbildningssyfte. Dobot M1 är en relativt ny produkt från företaget och som även är ämnad att kunna användas inom industrin. [2]

## 2.4 Verkstadsteori

När det är dags att bygga den automatiserade knappmonteringsstationen är det viktigt att ha god verkstadsteori. Under alla byggmoment är säkerheten alltid av högsta prioritet, speciellt vid användning av stora maskiner. Innan maskinen börjar användas är det extremt viktigt att undersöka:

- Vart är närmaste nödstopp.
- Start- och stoppknappar fungerar som förväntat.
- Underspänningsskydd måste finnas så att inte maskinen återstartar av sig själv.
- Hur maskinens bromsfunktion används.

Vid bygget av den automatiserade stationen kommer främst borrar, sågning och böjning av metall att utövas med hjälp av detta säkerhetstänk. Vid alla tre moment är nyckeln till goda resultat hur bra/noga infästningen av materialet gjorts och vilket verktyg som använts för att utöva dessa moment. Vid borrar är det exempelvis mycket smartare att klämma åt plåten med två träbitar eftersom då minimeras risken att plåten rycks loss och orsakar skada på person eller omgivning. Resultatet med denna teknik är att det också blir lättare att putsa metallplåten eftersom det blir färre grader. Verkstadsteorin har erhållits via referenser och från dialog med handledare i SII-Lab. [11] [14] [15]

3D-printing är en relativt ny process framförallt för att skapa mer komplicerade figurer och former samt för att bygga prototyper. Delarna printas ofta i plaster som ABS, som kostar ungefär 4 kr/cm<sup>3</sup>, men vissa 3D-printers klarar även att skriva ut i olika metaller. En nackdel för 3D-printing är att delarnas materialegenskaper kan försämrats jämfört med vissa äldre traditionella tillverkningsmetoderna, framförallt i den riktning som lagren läggs i. Men för vissa uppgifter och med genomtänkt design samt utskrivningsmetod kan mycket användbara delar skapas. [15] [16]

## 3. Metod

I detta kapitlet presenteras och beskrivs arbetets olika metoder. De presenteras i kronologisk ordning utefter hela arbetet.

### 3.1 Datainsamling

En stor del av arbetet utförs genom analys och observationer av stationen och förstudien, intervjuer med volvopersonal och dialoger med handledare. Detta för att en stor del av arbetet påbörjats tidigare så denna information och erfarenhet är värdefull. Handledarnas stora erfarenhet inom ämnet har också bidragit med värdefulla idéer som både förbättrar och förenklar vissa metoder och resultatet av stationen.

#### 3.1.1 Förstudie

Arbetet påbörjades med att läsa igenom och analysera förstudien som skapats året innan. Detta är en praktisk start för att skapa större förståelse för vad uppgiften är samt diverse olika problem som behöver lösas. Ett möte hölls med Ola Groth, en av författarna av förstudien. Detta för att få större förståelse för vad som genomfördes under och efter förstudien. Detta gav lite mer detaljinformation om hur de tänkt och hur långt de kommit. Förstudien är analyserad och beskriven under kapitel 2.1 Förstudie och kapitel 4.2 Arbetsstationen från förstudie.

#### 3.1.2 Studiebesök och diskussion

Tidigt under arbetets gång genomfördes ett studiebesök på Volvo Trucks i Tuve. Studiebesöket hölls av Peter Praetorius och Jonas Fuglås. Examinator Åsa Fasth Berglund och handledare Omkar Salunkhe medverkade på studiebesöket för att tillsammans sätta upp målen för arbetet samt ge klarhet i vad som förväntas ingå i examensarbetet. Studiebesöket var till för att få en bättre bild av hela processen samt mer specifikt se hur den manuella monteringsstationen ser ut vid arbetets start. Studiebesöket var även ett bra tillfälle att ställa eventuella frågor och skapa kontakt med handledare.

Under arbetets gång har diskussioner och möten hållits med examinator Åsa Fasth Berglund, handledare Jonas Fuglås, Omkar Salunkhe, Göran Stigler och Sven Ekered.

### 3.2 Kravspecifikation

Utifrån förstudie, dialog med handledare och information som tilldelats genom besök hos Volvos fabrik i Tuve sammanställdes en kravspecifikation. Detta för att på ett enkelt sätt visualisera och tydliggöra förväntade krav och önskemål som finns på projektet.

Kravspecifikationen gjordes avsiktligt avskalad med ett fokus på huvudfunktionen. Syftet med detta var att främja nytänkande dvs vara så lite begränsad som möjligt.

Kravspecifikationen delades in i olika kriterier som sedan värderades i antingen krav eller önskemål beroende på hur viktiga dessa var i förhållande till huvudfunktionen. Önskemålen

rankades sedan från 1 - 5, där 5 är högst och viktigast, för att ge en tydligare bild av prioritering. Kravspecifikationen kommer att användas som anvisning under resterande arbetsgång. I slutet av projektet kommer även en kravuppfyllelse att göras på det slutgiltiga konceptet för att kontrollera att alla krav är uppfyllda. [8]

### 3.3 Idégenerering

Här beskrivs metoderna som används under arbetet för att generera idéer till produktutvecklingsfasen av arbetsstationen.

#### 3.3.1 Brainstorming

Metoden brainstorming går ut på att individuellt spåna fram flera lösningsförslag, utan några speciella regler eller begränsningar, under ca 15 minuter som sedan redovisas och diskuteras gemensamt med minnesteckningar och skisser som underlag. Denna metod används för att få fram ett brett spann med olika idéer. [8]

#### 3.3.2 Idégenereringsmetoden 6-3-5

6-3-5 metoden går ut på att sex personer (i detta fall två personer som gör två versioner var, dvs nu 4-3-5) spånar fram tre olika lösningsförslag på ett papper med minnesteckningar och skisser under en tid på ca fem minuter. När det är gjort byts papper med konceptförslag och den andra i gruppen skall ta fram tre nya lösningsförslag utefter de tre befintliga idéerna på pappret. Med en grupp på två deltagare som gör två versioner var genererar denna idégenereringsmetod teoretiskt 48 olika lösningsförslag (vid genomförande visade det sig att det snarare rörde sig om ca 15 unika lösningsförslag). [8]

### 3.4 Elimineringmetoder

Här nedan beskrivs metoderna som används för att eliminera bort koncept i avsnittet "Framtagning av slutgiltigt koncept".

#### 3.4.1 Elimineringsmatris

I denna metod listas alla koncept från konceptkatalogen och utvärderas metodiskt en och en baserat på om ett koncept klarar av kraven som har satts på produkten. I gruppens elimineringmetod finns det tre olika steg (klarar funktioner, uppfyller alla krav och realiserbar) som måste uppfyllas för att ett koncept skall gå vidare i urvalsprocessen. Bedöms det att ett koncept klarar ett steg markeras ett (+) i den rutan och konceptet går vidare till nästa steg. Men om ett koncept inte uppfyller ett steg markeras ett (-) och konceptet elimineras direkt. Om inte ett tydligt beslut går att fatta markeras ett (?) och då behövs en djupare analys göras. Denna metod används eftersom den effektivt urskiljer vilka koncept som klarar produktens nödvändiga krav och vilka som inte gör det. [8]

### 3.4.2 Pughs matris

Denna metod tar fram det bästa av många alternativa konceptförslag på ett problem på ett objektivt och systematiskt vis. Koncepten som jämförs i Pughs matris är de som klarade alla steg i elimineringsmatrisen. Matrisen bygger på att ett koncept används som referenskoncept och sedan jämförs det mot de övriga koncepten. Kriterierna som jämförs i denna metod är önskemålen från kravspecifikationen. Om konceptet uppfyller kriteriet bättre än referenskonceptet markeras ett (+) och om konceptet uppfyller kriteriet sämre än referenskonceptet markeras ett (-). Om konceptet uppfyller ett kriterium lika bra som referenskonceptet markeras ett (0). När alla koncept har jämförts med referenskonceptet summeras alla (-), (0) och (+) och ett nettovärde räknas ut. Det koncept med det högsta nettovärdet rankas som nummer ett och koncept med näst högst nettovärde rankas som nummer två och så vidare. När alla koncept är rankade beslutas det slutligen om konceptet skall vidareutvecklas eller inte. Denna metod kan upprepas ett antal gånger med olika koncept som referenskoncept för att ge ett bättre perspektiv på koncepten och problemet. Att upprepa denna process ett antal gånger med flera olika referenskoncept minimerar alltså risken att ett sämre koncept vidareutvecklas. [8]

## 3.5 Bygget av slutligt koncept

Bygget av det slutliga konceptet gjordes genom några olika metoder beroende på funktion, tid och kostnad. Komplexa delar ritades upp i CAD och skickades sedan på 3D-printning. Då 3D-printing tar ganska lång tid, har begränsningar på storlek samt materialegenskaper, byggs större och enklare komponenter ihop med olika standardprofiler, standardskruvar och muttrar. Dessa delar sågas, borrar och bockas till rätt form för att kunna utföra önskad uppgift. Under byggets gång används säkerhetsåtgärderna beskrivna i kapitel 2.4 Verkstadsteori.

Bygget utfördes framförallt i SII-Lab på Lindholmen, men då vissa moment kräver större och kraftfullare såg utfördes de i en metallverkstad på Campus Johanneberg. Stora delar av bygget har skett med assistans av Göran Stigler och Sven Ekered.

## 3.6 Programmering

Flera olika delar av stationen är delar som behöver någon sorts programmering. Detta kan i vissa fall utföras med ett flertal olika programvaror. Dessa går översiktligt igenom för Dobot Magician samt UR3.

### 3.6.1 Dobot Magician

Dobot Magician kan programmeras på många olika sätt och med många olika program. De program detta arbete använt är "Teaching & playback" samt Dobot Blockly.

"Teaching & playback" är ett enkelt program där man lägger in punkter som roboten ska åka till, antingen via dator och mus eller genom att för hand flytta på robotarmen till önskad position. Programmet är dock ganska avskrapat och har inte många funktioner, men är

praktiskt för att testa andra komponenter eller testa om roboten är stark, snabb eller rörlig nog för vissa uppgifter.

Ett lite mer avancerat program är Dobot Blockly. Detta är ett visuellt programmeringsprogram som har en del funktioner som loopar, variabler samt kan styra andra komponenter. Programmet används i detta arbete för att programmera Dobot Magician, skenan, transportbandet och vakuumsugen. Detta program passar mycket bra för detta arbete då relativt avancerade funktioner kan programmeras trots begränsade programmeringskunskaper. Programmet är byggt av rektangulära boxar med lite olika utseenden beroende på funktion. Dessa kopplas ihop i önskad ordning för att styra roboten.

Samma programvara fungerar att använda på Dobot M1 i M1 studio.

### 3.6.2 UR3

Roboten UR3 programmeras via sin egen programvara som är förinstallerad på en styrplatta kopplad direkt till roboten. Via denna kunde robotens rörelser, verktyg och givare styras och användas för att programmera roboten. Detta programmeringsprogram har många olika funktioner och har möjlighet att använda flertalet sensorer och givare. Roboten kan programmeras genom att jogga armen och verktyget till önskade koordinater, alltså med pilar på styrplattan styra roboten till önskade positioner. Hastigheten för roboten kan lätt ändras så finjusteringar kan göras i låg hastighet med högre precision, vilket är mycket praktiskt.

## 3.7 “Business case”

Efter intervju med handledare Jonas Fuglås framgick att Volvo är intresserade av ett “business case” för stationen. De viktigaste och mest intressanta frågorna som Jonas anser bör besvaras är:

1. Hur mycket kostar stationen?
2. Är den automatiserade stationen mer lönsam än nuvarande situation?
3. Hur ser utvecklingen ut när stationen skalas upp med fler magasin/ fler varianter av knappar?

Fråga 1 kommer utföras genom att ta fram kostnader på alla delar av stationen och summera dessa till en total kostnad för monteringsstationen. Då inga personalkostnader är medräknade här kan detta anses som den materiella investering som stationen kostar.

Fråga 2 utförs genom att jämföra kostnaderna för de två olika scenarion under första året. På så vis skapas en siffra för hur mycket man sparar in i kostnader på ett år samt hur lång tid det tar att tjäna in investeringen. Då Volvo framförallt vill ha en översikt på kostnader och lönsamhet så ansågs inte vissa omkostnader relevanta att applicera på denna beräkning. Vissa av dessa omkostnader nämns och beskrivs men kräver för mycket data och information från Volvo för att studeras i detta arbete.

Fråga 3 besvaras genom en hypotetisk utveckling/ uppskalning av det slutgiltiga konceptet som byggs i projektet. Där kommer kostnaderna för att skala upp stationen undersökas. Först genom att se hur fråga 1 ovan ändras, alltså hur stor den totala materialkostnaden vid uppskalning blir. Sedan undersöks hur priset per möjlig knapp på stationen ser ut när antalet magasin ökar. (Alltså, om det totalt finns plats för 100 knappar på stationen kanske priset per knapp är 1000 kr/st, men när det skalas upp till exempelvis 200 knappar så kan priset per knapp ändras.) [8] [9] [10]

## 4. Analys av situationen idag

I detta kapitel analyseras problemet med hjälp av ett studiebesök på Volvos fabrik i Tuve och via samtal med handledare. Kapitlet beskriver också stationen från förstudien och vad skrivbordsrobotar är och specifikationer på Dobot Magician och M1 samt dess tillbehör. Dessutom beskrivs även roboten UNIVERSAL ROBOT UR3e (förkortas UR3 vidare i rapporten). I kapitlet analyseras även knapparna och modulerna. Detta mynnar ut i en kravspecifikation för att få en tydlig bild över situationen och sätta krav och önskemål som användas i senare skeden av arbetet.

### 4.1 Studiebesök och samtal med handledare

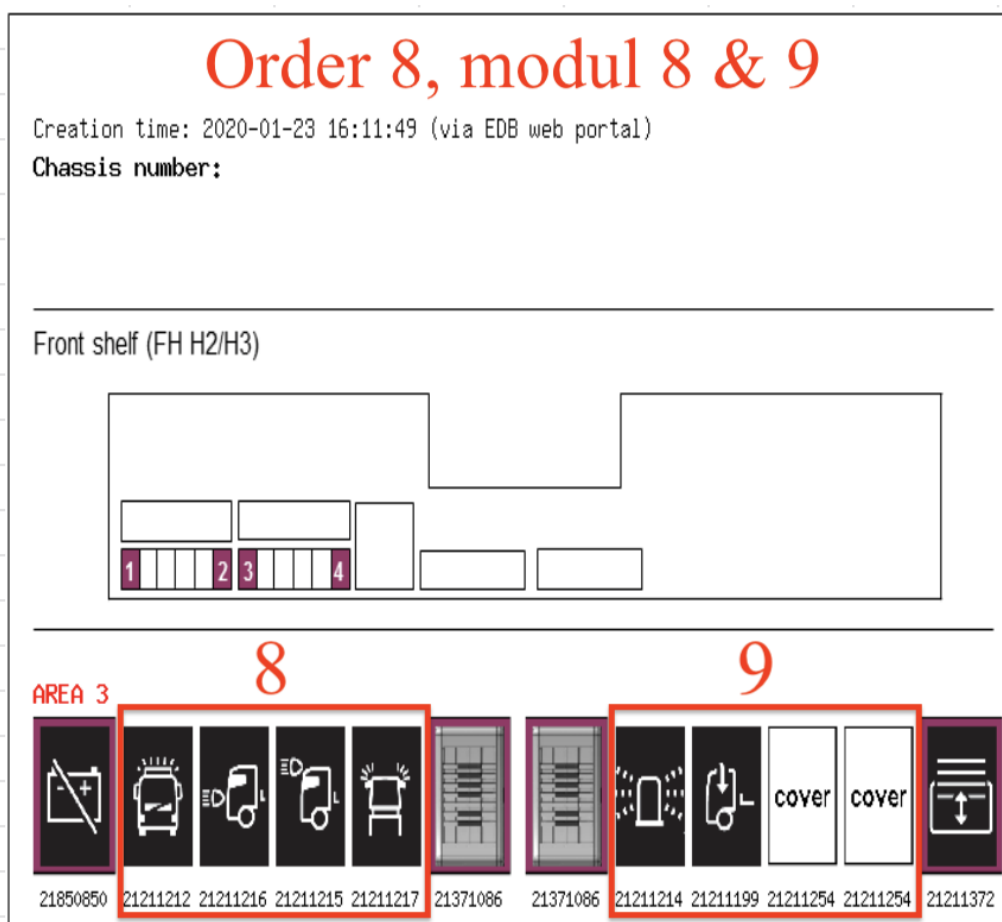
Måndag 27 januari 2020 utfördes ett studiebesök på Volvo Trucks i Tuve. Det startade med en rundvandring runt om i fabriken för att se hela processen från start till slut. Sedan studerades just den station som detta arbete avser att förbättra. Via observationer ser processen ut såhär:

Montören startar och får sin order från Switchcalc, se figur 1. Utifrån denna order lyser lampor framför rätt kartonger med knappar. Montören plockar fram de knappar som behövs samt modulen de ska monteras på. Sedan monteras knapparna utefter Switchcalc och knapparna trycks ned med handflatan. Operatören har under arbetspasset flera uppgifter på samma station, där montering av knappar på moduler är en av dem. Den färdiga modulen plockas ihop tillsammans med de andra delarna som är specifika till samma lastbil. Operatören skickar sedan vidare dessa delar som ett kit.

En order kan se mycket olika ut mellan olika lastbil. Ibland är orderarna på 1 modul och ett blankt lock som sätts över platsen för andra modulen och ibland har orderarna två moduler/order. Efter studiebesöket utgick arbetet utifrån 10 ordrar, se bilaga 1: Ordor från Volvo. Dessa skall enligt Jonas Fuglås vara ett ungefärligt genomsnitt på hur orderarna ser ut på större skala. Dessa 10 ordrar består av 12 moduler och 48 knappar. En exakt tid det tar för montören att montera 1 order, eller 1 modul är svår att sätta i och med att denna montering är en del av fler uppgifter. Från studiebesöket framgick att Volvo Trucks producerar 78 lastbilar per dag, varav 62 på dagskiftet och 16 på kvällsskiftet. Från detta samt utgående från relationen 12 moduler/10 ordrar kan uppskattningen göras att ungefär 75 moduler monteras under ett dagspass. Detta användas senare för att studera lönsamheten av stationen och är en intressant utgångspunkt då eventuell uppskalning av stationen studeras.

På grund av sekretess fick inga foton tas från nuvarande station.





Figur 1: En order från systemet Switchcalc, denna ordern innehållande två moduler.

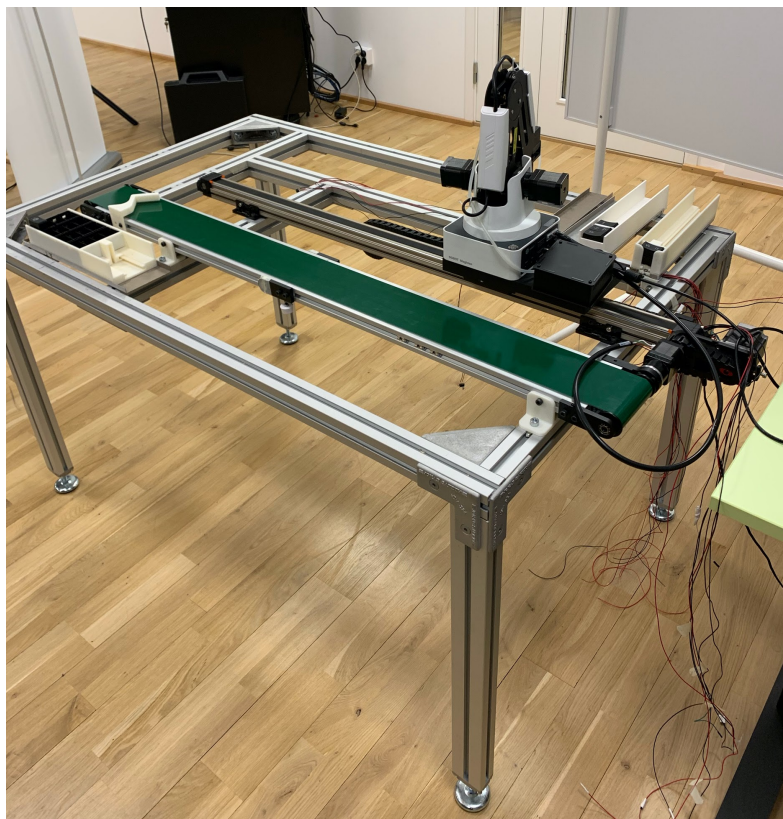
Figur 1 visar hur en order kan se ut i Switchcalc. Just denna ordern benämns till order 8, som bestod av modul 8 och 9. Modulerna i de 10 orderarna är döpta med nummer efter kronologisk ordning. Från figur 1 framgår även att det är andra knappar och detaljer som har platser runt om modulerna. Dessa behandlas ej i detta arbete.

Under arbetets gång hölls fler möten med handledare samt personal på SII-Lab. Från dessa möten och diskussioner har allt från rapportskrivning och planering till fysiskt bygge av stationen diskuterats.

2020-05-07 hölls ett möte med handledare Jonas Fuglås och Volvos ergonomiexpert Michael Schröder. Detta möte beskrivs djupare i Kap 9.3 Genomgång av "Business case". Kortfattat handlade mötet om hur stor faktor ergonomi har på stationen samt vilka eventuella kostnader som kan dras därifrån. Från detta möte framgick även ungefärlig yta som används för montören vid denna process. Ytan mättes till 11 m<sup>2</sup> vilket då även innehåller andra delar som skickas vidare i samma kit. I dessa 11 m<sup>2</sup> ingår även ytan framför stationen där montören rör sig.

## 4.2 Arbetsstation från förstudie

Arbetsstationen såg vid start av detta examensarbete ut som figur 2 visar nedan. Dobot M1 (som skulle sitta i hörnet till vänster) var fortfarande på service. Arbetsstationen bestod av två 3D-printade prototyper av knappmagasin (uppe till höger) där ena sköt fram knapparna med hjälp av en spiralfjäder och den andra med hjälp av snöre och vikter. I mitten satt Dobot Magician som var monterad på en skena. Framför Dobot Magician var ett transportband som flyttade fram knappen till en specifik position, där Dobot M1 skulle plocka upp knappen och sedan trycka ner den i modulerna som satt i mobilhållaren (nere till vänster på bordet). Dessa delar var placerade på ett bord byggt av 44x44 mm aluminiumprofiler från FlexLink. Arbetsstationens dimensioner var 1450x940x800 mm (längd x bredd x höjd), men med rullband och skenan stickandes ut blev längden 1640 mm.



Figur 2: Station från förstudie med ingående delar som Dobot Magician, skenan, transportbandet, knappmagasin och modulpress.

## 4.2.1 Skrivbordsrobotar från DOBOT

Denna del beskriver robotarna och verktygen som använts från företaget DOBOT.

### 4.2.1.1 Magician

DOBOT Magician är en liten robot som är lätt att styra samt ligger lågt i pris, se figur 3. Roboten har en maximal räckvidd på 320 mm. Den kan rotera 180 grader runt sin vertikala axel, bära en last på upp till 500g samt repetera sina positioner med 0,2 mm noggrannhet. Via diskussion med handledare antas roboten kosta 13 000 kr. Roboten har flertalet funktioner bland annat verktygen gripdon, lasergraving, 3D-printing, rita och skriva samt vakuumsug med vakuumpump. Detta gör att den klassas som en multifunktions skrivbordsrobot. Praktisk utbildning är ett av de tänkta användningsområdena för roboten. Detta framförallt då den enkelt kan styras via 13 olika programvaror där många av dem är avsedda för personer utan utbildning inom robotteknik. Roboten har även stöd för över 20 programmeringsspråk. En av de enklaste programvaror är Dobot's egna "Dobot Studio" där man kan styra den via "Teaching & playback", Dobot Blockly (baserat på Google Blockly), via datormus samt script. Ytterligare tekniska specifikationer finns på dobot's hemsida. [3]



Figur 3. Dobot Magician på skenan monterad med sugpropp samt kopplad till vakuumpumpen monterad på vänster sida.

#### 4.2.1.2 M1

Dobot M1 är en intelligent robotarm som kan användas för lättare industriarbeten. Roboten har en räckvidd på 400 mm och kan röra ändpunkten på armen ungefär 280 grader runt sin vertikala axel. M1:an har en precision och positionsreproducerbarhet på 0,02 mm och en maximal last på 1500 g. Via diskussion med handledare antas roboten kosta 59 000 kr. Som Magician är den kompatibel med många olika verktyg men några som sticker ut från Magician är att M1 kan löda, användas för defektdetektering och visuell sortering samt automatisk paketering. Då den är snabbare än tidigare versioner av Dobots robotar är den perfekt att testa för mer industriliknande uppgifter, som montering. Den har likt Dobot Magician stöd för flertalet programvaror och programmeringsspråk, där dess egna programvara "M1 studio" är motsvarande den för Dobot Magician i simplicitet samt möjligheter. Ytterligare tekniska specifikationer finns på dobots hemsida. [4]

#### 4.2.1.3 Verktyg/Tillbehör för Dobot

Robotarna har som beskrivits ovan ett flertal olika funktioner och några av dessa kräver lite olika verktyg. Verktyg som kommer användas i detta arbete är listade nedan.

##### **Skena**

Skena är ett verktyg som används för att flytta hela robotens position längs en linjär axel. Detta utförs med hjälp av en stegmotor som klarar en maximal last på 5 kg. Den har en maximal hastighet på 150 mm/s och kan repetera sin position med 0,01 mm precision. Skenan har en effektiv arbetslängd på 1000 mm. [5]

##### **Transportband**

Transportband är ett verktyg som används för att förflytta produkter i en bestämd riktning. I detta arbete används transportband från Dobot. Det har en maximal last på 500g, maximal hastighet på 120mm/s och en effektiv förflyttning på 600 mm. [6]

Transportbandet som användes i detta arbete är samma som lämnades efter från förstudien. Under förstudien så sattes två transportband ihop till ett längre. Detta gjorde att maximala hastigheten har sjunkit till ungefär 70-75 mm/s, men den effektiva förflyttningen har fördubblats.

##### **Vakuumsug och Gripdon**

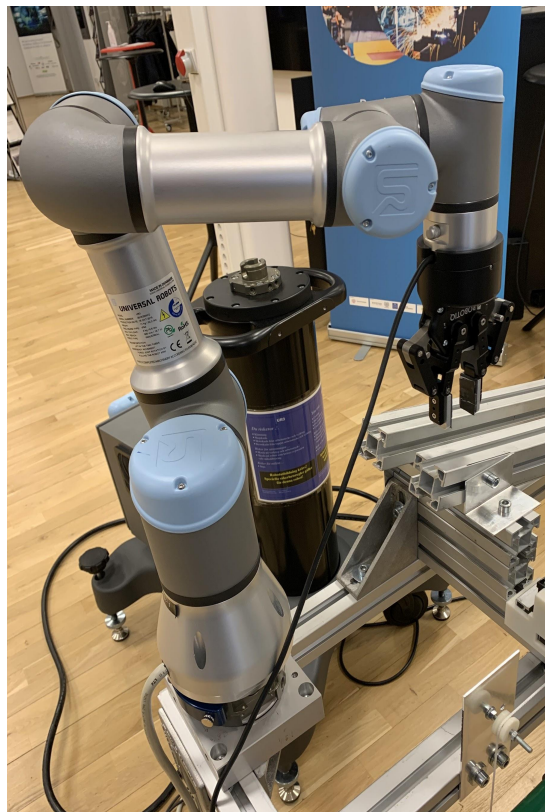
Medföljande till både Dobot Magician och Dobot M1 är både en vakuumsug och ett gripdon. Båda verktygen styrs enkelt via Dobot studio/M1studio eller de andra programvarorna.

Vakuumsugen drivs av en Vakuumpump som enkelt kan kopplas in i respektive robots I/O portar. DOBOT har dock ej specificerat hur stark och effektiv denna vakuumsug är. Gripdonet drivs med pneumatik där dess gripkraft beror på styrkan av luftkällan som ansluts till gripdonet.



## 4.2.2 UR3

UR3 är en industrirobot från företaget Universal Robots, se figur 4. UR3 är företagets minsta robot, där 3:an i namnet står för maxlasten på 3 kilo. Roboten har en räckvidd på 500 mm och kan monteras på ytan 128x128 mm, vilket är litet för denna storlek av robot. Roboten är byggd på 6 kopplingar mellan 6 axlar och slutverktyget där alla axlar kan rotera 360 grader. Detta gör att roboten har mycket stora möjligheter för rörelse.



Figur 4. Roboten UR3 monterad på stationen med gripdonet på.

### 4.2.2.1 Verktyg/ Tillbehör för UR3

UR3 kan också monteras med olika verktyg och tillbehör för att kunna utföra olika uppgifter. De som används i detta arbete är listade nedan.

#### **Gripdon**

Roboten UR3 är i detta arbete monterad med ett gripdon.

#### **Kapacitiv givare, KG6000**

Kapacitiva beröringsfria givare används för just beröringsfri detektering av alla typer av objekt till skillnad från induktiva givare som enbart detekterar objekt av metall. Med denna teknik kan man programmera robotar att till exempel vänta med nästa rörelse tills ett föremål detekteras på önskad punkt. Detta kan få flera rörliga delar att synkas och kan skapa större säkerhet.

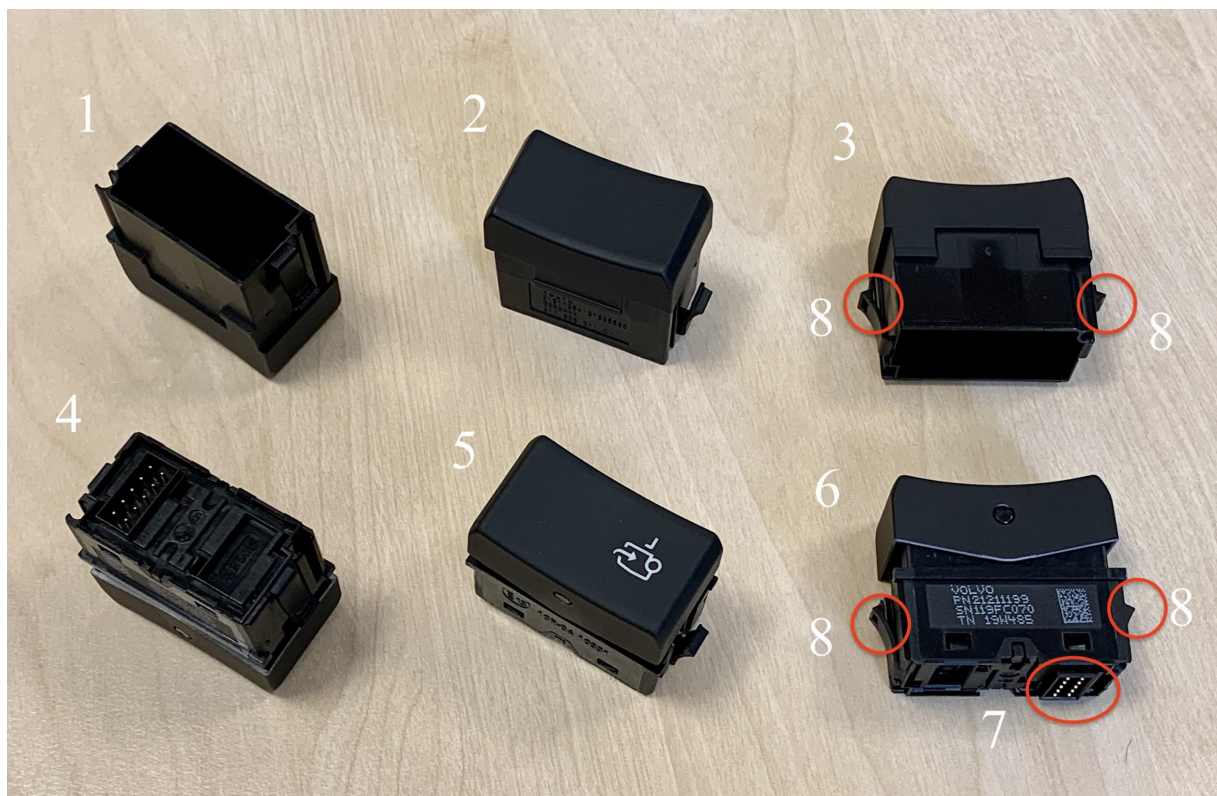
Kapacitiva Givaren KG6000 från leverantören ifm har en inställningsbar styrka så att föremål kan detekteras på 0.5-30 millimeters avstånd. Givaren ser ut som en avlång cylinder med M18 gängor på främre halvan för att fästa givaren. [7]

## 4.3 Analys av knappar och moduler

Hela arbetsstationen går ut på att montera knappar i en modul. Därför var det logiskt att studera dessa knappar och moduler för att få en större förståelse för hur delarna ser ut och hur de monteras ihop.

### 4.3.1 Knapparna

Till en början gjordes en indelning av knapparna; knappar med funktion och knappar utan funktion. Då lastbilarna ska ha möjlighet att ha många olika funktioner så används även knappar utan funktion. Dessa knappar kallas i detta arbete för “blanka” knappar. Skillnaden mellan dessa två olika sorters knappar är att de blanka är som ett yttre skal, alltså ihåliga och ingen bottendel, se figur 5, markering 1 och 4. De blanka knapparna är även helt styva, alltså de har ingen inbyggd funktion för att kunna röra sig på något sätt. Knapparna med funktion är designade så att när man trycker på kanten av knappens ovansida så trycks överdelen ned, se figur 6. Detta för att sluta eller öppna en krets och på så vis starta eller avsluta en funktion.



Figur 5: Blanka knappar och funktionsknappar från olika vinklar.

I figur 5 är markering 1, 2 och 3 på blanka knappar, underifrån, ovanifrån och från sidan. Markering 4, 5 och 6 är på knappar med funktion, också underifrån, ovanifrån och från sidan.

7:an är delen på funktionsknapparna som kopplas till modulen. 8:orna visar vart hakarna sitter på knapparna.



Figur 6. Funktionsknappar i dess två lägen.

Knapparna med funktion var något längre på ena kortsidan, där knappen fick kontakt med modulen, syns tydligast i figur 5, markering 7 och figur 6, markering 1. Detta gör att knappen vid uppställt läge inte står perfekt vertikalt, vilket de blanka knapparna gör. Detta kan skapa problem som behöver lösas.

Två detaljer på knapparna som var lika för de två olika sorters knappar var:

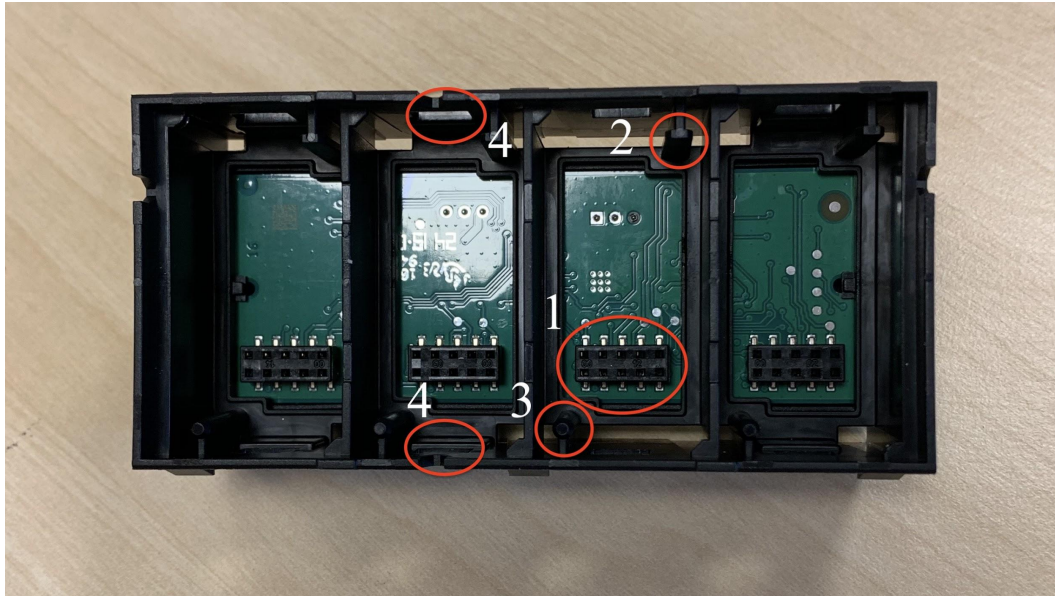
De var båda designade med två formstyrda “skenor”, se figur 5 markering 1 och 4. Ena skenan är rektangulär och den andra cirkulär. Modulen är designad med motsvarande delar som passar in i dessa skenor och på så sätt säkerställs att knapparna sitter i exakt rätt position samt är korrekt orienterade. Dessa skenor tillsammans med problemet som beskrevs i stycket ovan kan skapade ett större problem där de två olika sorters knappar behövde två olika rörelser för att kunna tryckas ned i modulen. Detta kan göra hela uppgiften mycket större och mer komplexa utan en bra lösning.

Den andra funktionsbärande detalj som är lika på de båda sorters knappar är att de är designade med två hakar som passar in i två hål i modulen, se figur 5, markering 8. När knappen trycks ned till max i modulen så trycks dessa hakar ut i hålen och därmed hakar fast knappen i modulen.



### 4.3.2 Moduler

Modulerna och knapparna är designade utifrån varandra, därför hör delar av modulen direkt ihop med knapparnas form och funktion. Figur 7 visar en modul uppifrån där de viktigaste detaljerna har ringats in med cirklar. 1:an är där knapparna med funktion får kontakt med modulen. Detta är alltså via denna kopplingen som knappen styr de olika funktionerna i lastbilen. 2:an och 3:an är de formstyrande stift som passar in i knapparnas skenor, 2:an är rektangulär och 3:an cirkulär. 4:an visar hålen som hakarna på knapparna trycks in i och fäster knappen i modulen. Dessa hål syns bäst på figur 8.



Figur 7: Modul ovanifrån med inringade viktiga delar som styrande stift och hål för att fästa hakarna från knapparna.



Figur 8: Modul underifrån/från sidan.



## 4.4 Kravspecifikation

Utifrån förstudien, dialog med handledare och information efter besök på Volvos fabrik i Tuve skapades kravspecifikationen. De viktigaste kriterierna som arbetsstationen måste uppfylla för att uppfylla huvudfunktionen är specificerade som krav (K) och övriga som önskemål (Ö). Önskemålen är rankade från 1-5, där 5 är högst och därmed det viktigaste bland önskemålen.

Kravspecifikationen, tabell 1 nedan, innehåller en huvudfunktion: Arbetsstationen skall automatiserat montera knappar i moduler efter tio givna hårdkodade ordar. Alla andra kategorier är uppbyggda efter att uppfylla den. Kategorierna innehåller en rad olika kriterier, både krav och önskemål, och är numrerade 1-4. Kategorierna i kravspecifikationen är:

1. Hela systemet
2. Moment A. Inmatning av knappar till Dobot
3. Moment B. Montering via Dobot
4. Moment C. In- och utmatning av färdiga moduler

Kravspecifikationen är utformad på detta viset för att på ett tydligt sätt visa var och vilka krav/önskemål som gäller i vilken del på arbetsstationen.

| Chalmers                                            | Dokumenttyp                                                                                   | Kravspecifikation                                  |      |                   |                         |       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|-------------------|-------------------------|-------|
|                                                     | Projekt                                                                                       | Examensarbete: Volvo Trucks Switches               |      |                   |                         |       |
| Utfärdare:                                          |                                                                                               | Skapad: 2020-02-05                                 |      |                   |                         |       |
|                                                     |                                                                                               | Modifierad: 2020-04-29                             |      |                   |                         |       |
| Kriterier                                           | Målvärde                                                                                      | K/Ö                                                | Vikt | Verifieringsmetod | Referens (kravställare) |       |
| <b>Huvudfunktion</b>                                | Arbetsstationen skall automatiserat montera knappar i moduler efter 10 givna hårdkodade ordar | K                                                  |      | Test              | Volvo                   |       |
| <b>1. Hela systemet</b>                             |                                                                                               |                                                    |      |                   |                         |       |
| 1.1                                                 | Montera knappar i moduler                                                                     | Klara 10 ordrar utan mänsklig inblandning          | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 1.2                                                 | Materialkostnad                                                                               | Arbetsstationen får max kosta 100 000 kr           | K    |                   | Utvärdering             | Volvo |
| 1.3                                                 | Area                                                                                          | Maximal area får arbetsstation 1,6 m2              | Ö    | 4                 | Test                    | Volvo |
| 1.4                                                 | Säkerhet                                                                                      | Systemet skall vara helt ofarligt för operatören   | Ö    | 4                 | Utvärdering             | Volvo |
| <b>2. Moment A. Inmatning av knappar till Dobot</b> |                                                                                               |                                                    |      |                   |                         |       |
| 2.1                                                 | Inmatning av knapparna till robotens bestämda koordinater                                     |                                                    | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 2.2                                                 | Mata fram knapparna                                                                           | En och en till rätt koordinat 10 gånger i följd    | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 2.3                                                 | Kapacitet                                                                                     | Ett magasin skall få plats med 10 knappar          | Ö    | 3                 | Test                    | Volvo |
| 2.4                                                 | Konstruktion                                                                                  | Arbetsstationen skall rymma 10 magasin i bredd     | Ö    | 2                 | Test                    | Volvo |
| <b>3. Moment B. Montering via Dobot (nu UR3)</b>    |                                                                                               |                                                    |      |                   |                         |       |
| 3.1                                                 | Plocka upp rätt knapp och montera i rätt plats i rätt modul                                   |                                                    | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 3.2                                                 | Skjuta ut färdiga moduler åt sidan för sortering                                              |                                                    | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 3.3                                                 | Prestanda                                                                                     | Klara att utföra 10 ordrar                         | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 3.4                                                 | Prestanda                                                                                     | Utföra 10 ordrar i följd utan mänsklig inblandning | Ö    | 3                 | Test                    | Volvo |
| 3.5                                                 | Kalibrering                                                                                   | Kunna köra en dags arbete utan kalibrering         | Ö    | 2                 | Test                    | Volvo |
| <b>4. Moment C. In- och utmatning av moduler</b>    |                                                                                               |                                                    |      |                   |                         |       |
| 4.1                                                 | Inmatning av moduler till given koordinat för Dobot (nu UR3)                                  |                                                    | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 4.2                                                 | Placerar färdigmonterade moduler i ordning                                                    |                                                    | Ö    | 3                 | Test                    | Volvo |
| 4.3                                                 | Kapacitet                                                                                     | Skall ha plats för moduler till 1 order            | K    |                   | Test                    | Volvo |
| 4.4                                                 | Kapacitet                                                                                     | Ha plats för moduler till 10 ordrar                | Ö    | 2                 | Test                    | Volvo |

Tabell: 1 Kravspecifikation.

**1. Hela systemet.** Här listas kriterier som gäller hela systemet dvs hela arbetsstationen. Denna kategori har två krav och två önskemål. Det första kravet är att arbetsstationen ska kunna montera knappar i moduler och då gäller det att den ska kunna klara 10 ordrar i följd utan mänsklig inblandning. Det andra kravet är att materialet till hela arbetsstationen inte får kosta mer än 100 000 kr. Önskvärt är att arbetsstationens area inte överstiger 1,6 m<sup>2</sup> och att systemet skall vara helt ofarligt för operatören. Anledningen till varför inte önskemålet gällande säkerhet rankas högre eller ändras till ett krav är att det skulle vara i princip omöjligt att tillverka en helt ofarlig arbetsstation, speciellt med denna budget.

**2. Moment A. Inmatning av knappar till Dobot Magician.** Denna kategori är uppbyggd kring en kravsatt delfunktion som i sin tur har fyra kriterier kopplade till sig, två krav och två önskemål. Delfunktionen är att arbetsstationen ska kunna mata in knappar till robotens bestämda koordinater. Detta för att roboten ska kunna plock upp given knapp enligt ordrar upprepade gånger. För att denna delfunktion ska kunna utföras finns kravet att arbetsstationen ska mata fram en knapp åt gången till rätt koordinat 10 gånger i följd. Önskvärt är att kapaciteten på knappmagasinet är 10 stycken knappar och att det skall få plats 10 stycken magasin på arbetsstationen.

**3. Moment B. montering via Dobot.** I kategori nummer tre finns två stycken delfunktioner som är kravsatta. Den första är att plocka upp rätt knapp och montera på rätt plats i rätt modul. Delfunktion nummer två är att skjuta/lyfta ut färdiga moduler åt sidan för sortering. Ett krav kopplat till detta moment är att systemet ska kunna utföra 10 stycken ordrar. Önskvärt är att det ska gå att utföra dessa ordrar i följd utan mänsklig inblandning. Önskvärt är också om det går att köra en dags arbete utan att stationen eller roboten behöver kalibreras.

**4. Moment C. In- och utmatning av färdiga moduler.** Denna kategori handlar om arbetsstationens sista moment. I denna kategori finns en kravsatt delfunktion och en önskvärd. Den som är kravmarkerad är att systemet ska mata in moduler till given koordinat till roboten. Den önskvärda är att placera färdigmonterade moduler i ordning. Krav för detta moment är att det minst ska få plats med moduler till en order men önskvärt är att det får plats med moduler till 10 stycken ordrar.

Denna kravspecifikation kommer under hela arbetsgången användas som anvisning för arbetet. Den kommer också ligga till grund för detaljkonstruktion av det slutgiltiga konceptet samt den kontroll angående kravuppfyllelse som görs i slutet av projektet.

## 5. Framtagning av konceptkatalog

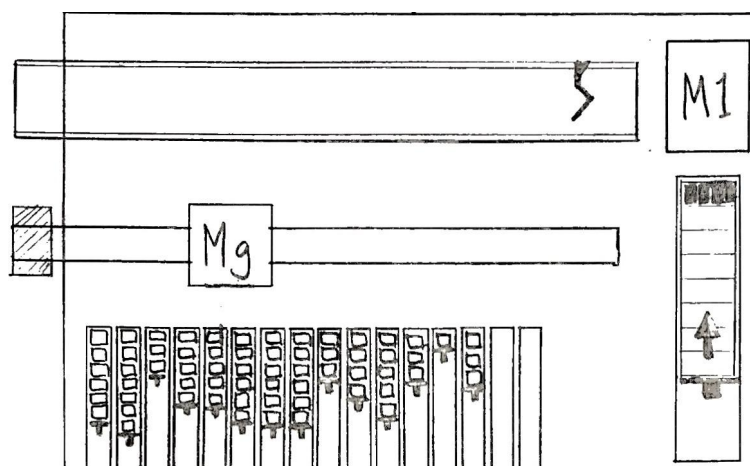
Utifrån projektets beskrivning och slutgiltiga mål genomfördes en omfattande konceptgenerering. Den genomfördes via användning av två kreativa idégenereringsmetoder: brainstorming och idégenereringsmetoden 6-3-5. Efter idégenereringsstadiet diskuterades och analyserades alla framtagna lösningsförslag, ca 20 stycken. Många förslag var lika varandra, några kombinerades ihop till ett och andra fick strykas helt på grund av att de inte klarade projektets krav från kravspecifikationen. På så vis reducerades antalet lösningsförslag till ca 8 stycken. Efter ytterligare analys av lösningsförslagen, dialog med handledare och förfining av kravspecifikation skapades fem stycken genomarbetade koncept på totallösning av arbetsstationen.

### 5.1 Konceptkatalog

Nedan kommer de fem framtagna koncepten för arbetsstationen att presenteras. Samtliga konceptförslag av arbetsstationen har formen av en rektangel.

#### 5.1.1 Koncept 1

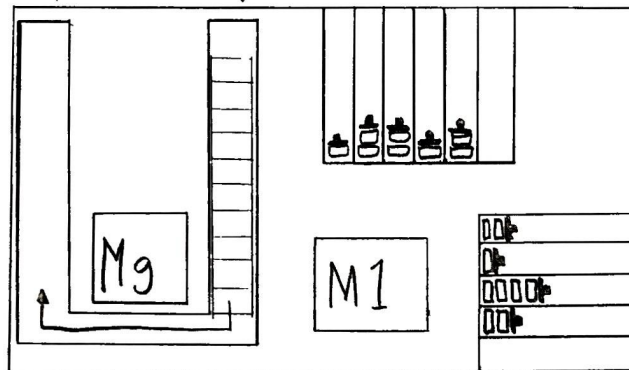
Koncept 1, se figur 9 nedan, är utformad med knappmagasin längs ena långsidan där knapparna ligger sorterade och matas fram en och en till Dobot Magician (förkortas Mg i figurerna). Dobot Magician går på en skena och kan på så vis plocka upp knappar längs hela långsidan. Efter upplockning av knapp vrids Dobot Magician sig 180 grader och placerar knappen på transportbandet som går längs den andra långsidan av arbetsstationen. Transportbandet förflyttar sedan knappen till Dobot M1. Dobot M1 plockar upp knappen och monterar den i en knappmodul. När modulens alla knappar är monterade plockar montör upp den färdigmonterade modulen och nästa modul pressas fram för montering.



Figur 9: Skiss på koncept 1.

### 5.1.2 Koncept 2

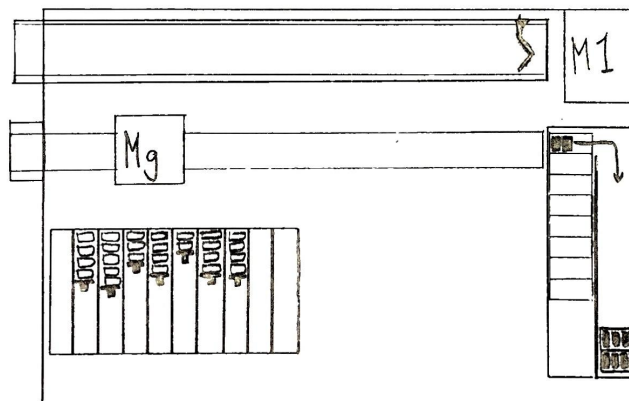
Detta koncept är designat utan varken ett band eller en skena för Dobot Magician. Koncept 2, se figur 10, har knappmagasin på både ena långsidan och ena kortsidan. Dobot M1 är placerad på ett sätt så att den kan både plocka upp knappar från alla knappmagasin och montera i moduler. Modulerna är placerade i en U-bana och matas fram till monteringspunkten med hjälp av en vikt. När modulerna är färdigmonterade förflyttar Dobot Magician dem i en L-rörelse och på så vis hamnar alla moduler i ordning längs ena kortsidan av arbetsstationen utan att en montör behöver ingripa.



Figur 10: Skiss på koncept 2.

### 5.1.3 Koncept 3

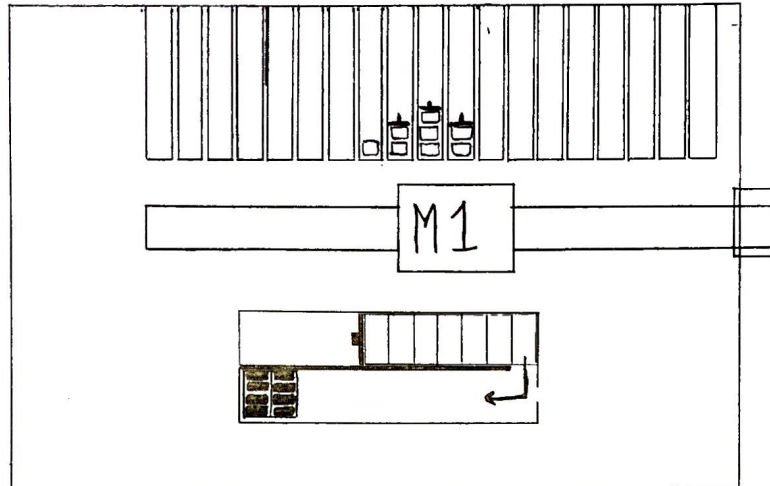
Koncept 3 liknar koncept 1 ganska mycket i de första två momenten dvs modulmagasin, Dobot Magician på en skena och ett band som levererar knappar till Dobot M1. Skillnaden är att detta konceptet har en tvåfilig modulbana, se figur 11 nedan. I den ingående filen pressas moduler in en och en till Dobot M1 och när roboten har monterat alla knapparna i en modul lyfts hela modulen upp och placeras i den yttre filen, som är lutad nedåt. På så vis åker färdigmonterade moduler ut till stationens ena ända och är även sorterade så som orderarna kom in till stationen.



Figur 11: Skiss på koncept 3.

#### 5.1.4 Koncept 4

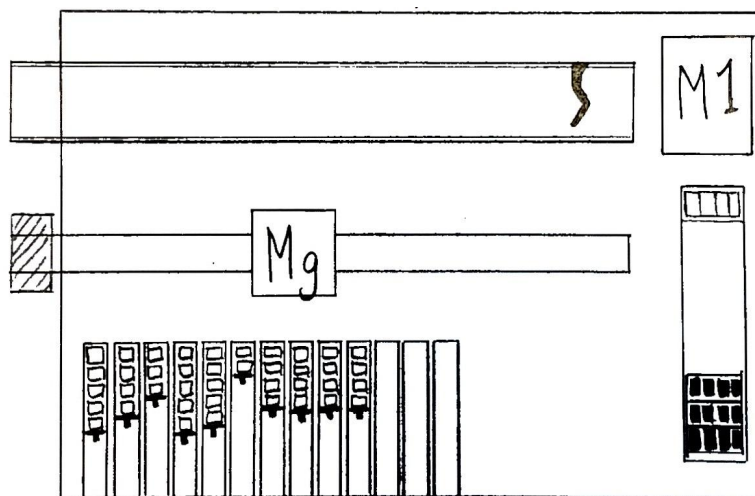
Detta konceptet är uppbyggt med knappmagasin längs hela långsidan, se figur 12. I mitten av arbetsstationen är Dobot M1 placerad på en skena och på andra sidan finns en tvåfilig modulbana, samma som används i koncept 3. Detta koncept bygger på att en Dobot M1 utför alla moment på denna arbetsstation dvs upplockning av knappar, montering av knappar och sortering av färdiga moduler efter att alla knappar är monterade.



Figur 12: Skiss på koncept 4.

#### 5.2.5 Koncept 5

För bild av Koncept 5 se figur 13 nedan. Detta koncepts två första moment är identiska med koncept 1 och koncept 3. Skillnaden är att detta koncept har en inbyggd hissordning som pressar modulerna underifrån, en och en, upp till stationen och Dobot M1. När Dobot M1 har monterat alla knapparna i modulen stöter den de färdiga modulerna bortåt till stationens ände och på så vis fördelas de färdiga modulerna.



Figur 13: Skiss på koncept 5.



## 6. Framtagning av slutgiltigt koncept

Utifrån de fem koncepten i konceptkatalogen inleds en elimineringsprocess där metodiken som används bygger på att koncept väljs bort tills bara ett slutgiltigt koncept återstår. Denna gallringsprocess utförs med hjälp av två elimineringsmetoder, först elimineringsmatrisen och sedan Pughs matris.

### 6.1 Elimineringsmatrisen

Den första metoden som används för att utvinna ett slutgiltigt koncept är elimineringsmatrisen. Denna matris är bra för att den på ett enkelt och tydligt vis direkt eliminerar ett koncept om det inte uppfyller något av kriterierna. Elimineringsmatrisen används alltså som en grov sil för att urskilja vilka som faktiskt kan uppfylla alla nödvändiga kriterier som finns på arbetsstationen. Kriterierna som används i denna matris är: klarar funktionerna, uppfyller alla krav och om det konceptet är realiserbart. Funktionerna och kraven som syftas på i matrisen är dem från kravspecifikationen, se tabell 2 nedan för elimineringsmatris.

| Elimineringsmatris            |                     |                     |             |                        |                           |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------------|---------------------------|
| <b>Elimineringskriterier:</b> |                     |                     |             | <b>Beslut:</b>         |                           |
| (+ ) Ja                       |                     |                     |             | (+) Fullföljer lösning |                           |
| (-) Nej                       |                     |                     |             | (-) Eliminerar lösning |                           |
| (?) Djupare analys behövs     |                     |                     |             |                        |                           |
| Koncept                       | Klarar Funktionerna | Uppfyller alla krav | Realiserbar | Beslut                 | Kommentar                 |
| 1                             | -                   |                     |             | -                      | Konceptet går inte vidare |
| 2                             | +                   | +                   | +           | +                      | Konceptet går vidare      |
| 3                             | +                   | +                   | +           | +                      | Konceptet går vidare      |
| 4                             | +                   | +                   | +           | +                      | Konceptet går vidare      |
| 5                             | +                   | +                   | -           | -                      | Konceptet går inte vidare |

Tabell 2: Elimineringsmatris.

Efter att alla koncept har analyserats i elimineringsmatrisen kan det fastställas att koncept 1 och koncept 5 inte klarar alla kriterierna.

**Koncept 1.** Kravet att ett koncept måste vara helt automatiserat för 10 ordrar klarar inte koncept 1 helt och hållet. En montör måste hela tiden flytta bort färdigmonterade moduler så att en ny modul ska kunna pressas fram till monteringspunkten för Dobot M1. Därmed elimineras koncept 1.

**Koncept 5.** Vid djupare analys och efterforskning drogs slutsatsen att den inbyggda hissanordningen som pressar modulerna underifrån, en och en, upp till stationen och Dobot M1 inte är helt realiserbar med våra medel och kunskaper i dagsläget. Därmed bedöms hela koncept 5 som icke realiserbart och därför elimineras konceptet.

Resterande koncept i konceptkatalogen, 2, 3 och 4, klarade alla kriterierna i elimineringsmatrisen och går därmed vidare till nästa metod i processen som är att gallra fram ett slutgiltigt koncept.

## 6.2 Pughs matris

Med Pughs matris utförs den andra fasen i gallringsprocessen för att utvinna ett slutgiltigt koncept. Matrisen bygger på att ett koncept används som referenskoncept och sedan jämförs det mot de övriga koncepten. Kriterierna som jämförs i denna metoden är skapade efter önskemålen från kravspecifikationen. De kriterier som jämförs är: säkerhet, area på arbetsstationen, kapacitet för knappar och moduler, prestanda för utförande av order, kalibrering av stationen, placera färdigmonterade moduler i ordning och utvecklingspotential. Koncept 2 användes först som referenskoncept, se tabell 3 nedan.

| <b>Pughs matris</b>                        | <b>Alternativ</b>                    |           |           |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Kriterium                                  | Koncept 2                            | Koncept 3 | Koncept 4 |
| Säkerhet                                   | R<br>E<br>F<br>E<br>R<br>E<br>N<br>S | +         | 0         |
| Area på arbetsstationen                    |                                      | -         | -         |
| Kapacitet för knappar och moduler          |                                      | +         | +         |
| Prestanda för utförande av ordrar          |                                      | +         | +         |
| Kalibrering av station                     |                                      | 0         | +         |
| Placerar färdigmonterade moduler i ordning |                                      | 0         | 0         |
| Utvecklingspotential                       |                                      | +         | +         |
| $\Sigma +$                                 |                                      | 4         | 4         |
| $\Sigma 0$                                 |                                      | 2         | 2         |
| $\Sigma -$                                 |                                      | 1         | 1         |
| Nettovärde                                 | 0                                    | 3         | 3         |
| Rangordning                                | 2                                    | 1         | 1         |
| Vidareutveckling                           | Ja                                   | Ja        | Ja        |

Tabell 3: Pughs matris nr 1.

Med koncept 2 som referens fick koncept 3 och 4 högst nettovärde. Nettovärdet räknas ut via summering av alla (+) och (-) efter likhetsgranskning mot referens. (0) påverkar inte nettovärdet negativt eller positivt eftersom det betyder att ett koncept uppfyller kriteriet lika

bra som referenskonceptet. Rangordningen visar hur bra konceptets nettovärde förhåller sig mot de andra koncepten, där rangordning 1 är bäst. Till nästa omgång av Pughs matris gick samtliga koncept vidare, detta för att undvika att "fel" koncept elimineras.

Denna metod bör upprepas ett antal gånger med olika koncept som referenskoncept för att ge ett bättre perspektiv på koncepten och problemet. Att upprepa denna process ett antal gånger med flera olika referenskoncept minimerar också risken att ett sämre koncept vidareutvecklas. Därmed skiftas koncept 3 till referens, se tabell 4. Samma kriterier används som i tabell 3 ovan.

| Pughs matris                               | Alternativ |                                      |           |
|--------------------------------------------|------------|--------------------------------------|-----------|
|                                            | Koncept 2  | Koncept 3                            | Koncept 4 |
| Säkerhet                                   | -          | R<br>E<br>F<br>E<br>R<br>E<br>N<br>S | -         |
| Area på arbetsstationen                    | +          |                                      | +         |
| Kapacitet för knappar och moduler          | -          |                                      | 0         |
| Prestanda för utförande av ordrar          | -          |                                      | 0         |
| Kalibrering av station                     | 0          |                                      | +         |
| Placerar färdigmonterade moduler i ordning | 0          |                                      | 0         |
| Utvecklingspotential                       | -          |                                      | -         |
| $\Sigma +$                                 | 1          |                                      | 2         |
| $\Sigma 0$                                 | 2          |                                      | 3         |
| $\Sigma -$                                 | 4          |                                      | 2         |
| Nettovärde                                 | -3         | 0                                    | 0         |
| Rangordning                                | 2          | 1                                    | 1         |
| Vidareutveckling                           | Ja         | Ja                                   | Ja        |

Tabell 4: Pughs matris nr 2.

Efter jämförelse med koncept 3 som referens fick koncept 3 och koncept 4 bäst nettovärde och högst rangordning. Eftersom det blev helt oavgjort görs nu processen om en ytterligare gång fast nu med koncept 4 som referens. Fast koncept 2 fick sämst nettovärde och rangordning i båda matriserna elimineras konceptet inte, detta av säkerhetsskäl för att inte ett förhastat beslut fattas. Samma kriterier används återigen, se tabell 5 för Pughs matris nr 3.

Med koncept 4 som referens blev utfallet likadant som i Pughs matris nr 2, alltså att koncept 3 och koncept 4 fick bäst nettovärde och högst rangordning. Koncept 2 blev återigen det sämsta konceptet och det kan nu fastställas med säkerhet att det inte är det bästa konceptet ur konceptkatalogen. Därmed elimineras koncept 2.

| <b>Pughs matris</b>                        | Alternativ |           |                                      |
|--------------------------------------------|------------|-----------|--------------------------------------|
| Kriterium                                  | Koncept 2  | Koncept 3 | Koncept 4                            |
| Säkerhet                                   | 0          | +         | R<br>E<br>F<br>E<br>R<br>E<br>N<br>S |
| Area på arbetsstationen                    | +          | -         |                                      |
| Kapacitet för knappar och moduler          | -          | 0         |                                      |
| Prestanda för utförande av ordrar          | -          | 0         |                                      |
| Kalibrering av station                     | -          | -         |                                      |
| Placerar färdigmonterade moduler i ordning | 0          | 0         |                                      |
| Utvecklingspotential                       | -          | +         |                                      |
| $\Sigma +$                                 | 1          | 2         |                                      |
| $\Sigma 0$                                 | 2          | 3         |                                      |
| $\Sigma -$                                 | 4          | 2         |                                      |
| Nettovärde                                 | -3         | 0         | 0                                    |
| Rangordning                                | 2          | 1         | 1                                    |
| Vidareutveckling                           | Nej        | Ja        | Ja                                   |

Tabell 5: Pughs matris nr 3.

Återigen fick koncept 3 och koncept 4 bäst nettovärde och högst rangordning. Nu kan det alltså med säkerhet konstateras att koncept 3 och 4 är de två bästa koncepten från konceptkatalogen.

Mitt i denna gallringsprocess fick Covid-19 sitt stora utbrott i världen och förutsättningarna för våra koncept förändrades. En av våra tilltänkta robotar, Dobot M1, som var på service och behövde delar från Kina kunde inte längre användas i projektet. Därmed fick koncept 4, som bygger helt och hållet på Dobot M1, stryka. Även Koncept 3 har Dobot M1 i sig men inte i en lika avgörande del. I samråd med examiner och handledare på Chalmers och Volvo gjordes koncept 3 om och ett rakt byte gjordes där Dobot M1 byttes ut mot roboten UR3 från Universal Robots. Överenskommelsen var att använda UR3 på ett liknande sätt som en Dobot M1 kan antas användas. Till exempel kan UR3 röra sig i 360 grader på alla axlar samt vinkla verktyget så det inte bara är vertikalt. Detta är rörelser Dobot M1 inte kan utföra så dessa rörelser kommer inte heller att användas.

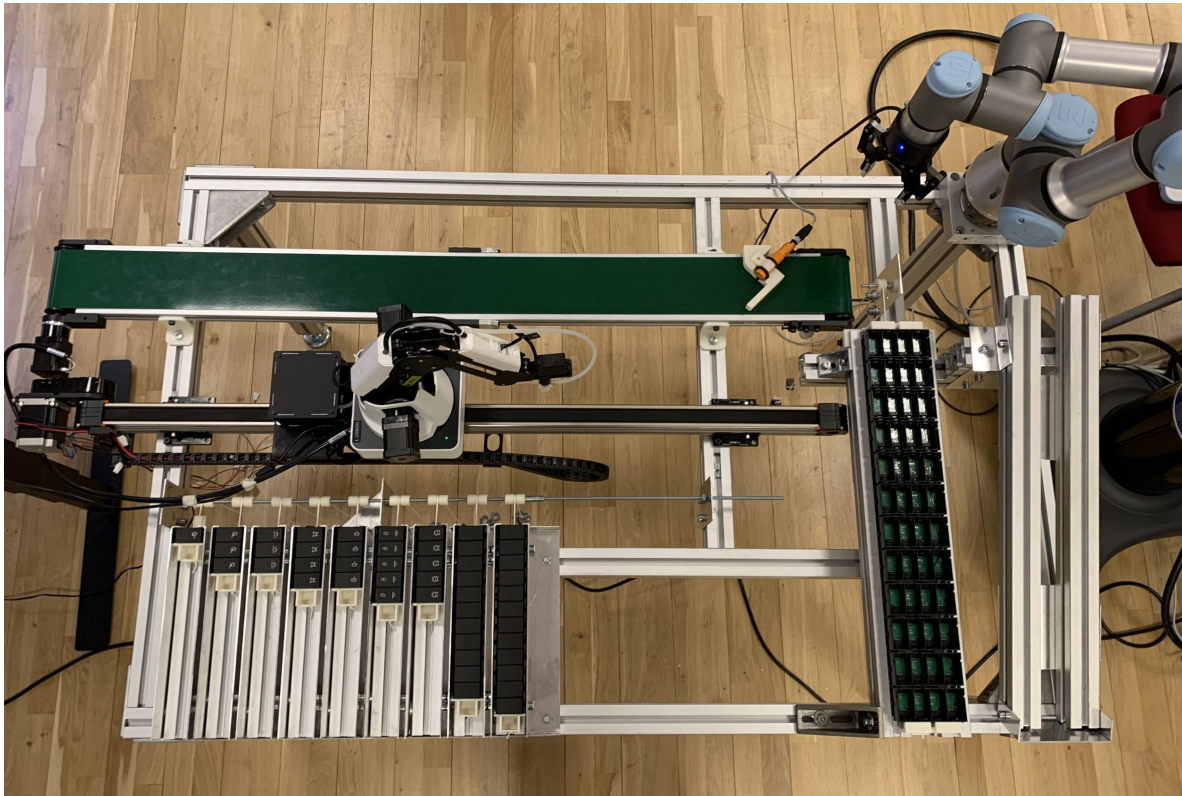
Därmed är koncept 3 det slutgiltiga konceptet efter gallringsprocessen.



## 7. Slutgiltigt koncept

Efter gallringsprocessen stod det klart att koncept 3 blev projektets slutgiltiga koncept. I detta kapitel kommer nu koncept 3 att beskrivas djupare med fler detaljer på delarna.

I figur 14 som är tagen rakt uppfifrån kan konceptet ses i sin helhet. Tanken med denna bild är att ge en god helhetsvy över hela stationen och för att ge en verklig bild av konceptets skiss som visades i konceptkatalogen. Den automatiserade arbetsstationen har en area på ca 1,5 m<sup>2</sup>.



Figur 14: Stationen i helhetsvy rakt uppfifrån och från montörens sida.

Längst ner till vänster i bild är stationens nio knappmagasinen. Knapparna är sorterade var för sig i magasinen och via knappress, lina, trissa samt vikter matas knapparna fram, en och en, då Dobot Magician plockar upp dem. För framtida programmering numrerades magasinen från ett till nio, från vänster till höger i figur 14. För närbild av delsystemet och dess delar se figur 15, 16, 17 och 18 på nästa sida. Knappressen och trissan är ritade i CAD och utskrivna via 3D-printer, för ritningar se bilagor 2 och 3.

Magasinen är 300x44x80 mm (längd, bredd, höjd) och har en maxkapacitet på 12 stycken knappar. Underredet i magasinet är av färdiga aluminiumprofiler av märket FlexLink 44x44 mm (exakt samma som stationens bas och övriga regler) och väggarna är av aluminiumplåt. Aluminiumväggarna är 310x2x80 mm och viks runt magasinets framkant 10 mm, se figur 16. Samtliga magasin står på en aluminiumplåt för att fästa delsystemet på stationen. Den plåten är 600x330 mm och viks upp 10 mm baktill och 20 mm längst fram. Magasinen har tillverkats i Chalmers metallverkstad på Johanneberg och Lindholmen.



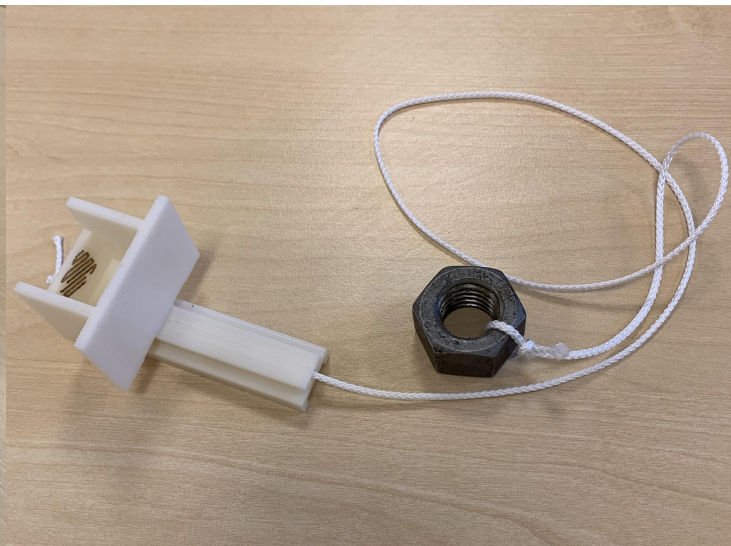
Figur 15: Stationens alla knappmagasin



Figur 16: Knappmagasin i närbild



Figur 17: Knappmagasin utan knappar



Figur 18: Knapppress med lina och vikt

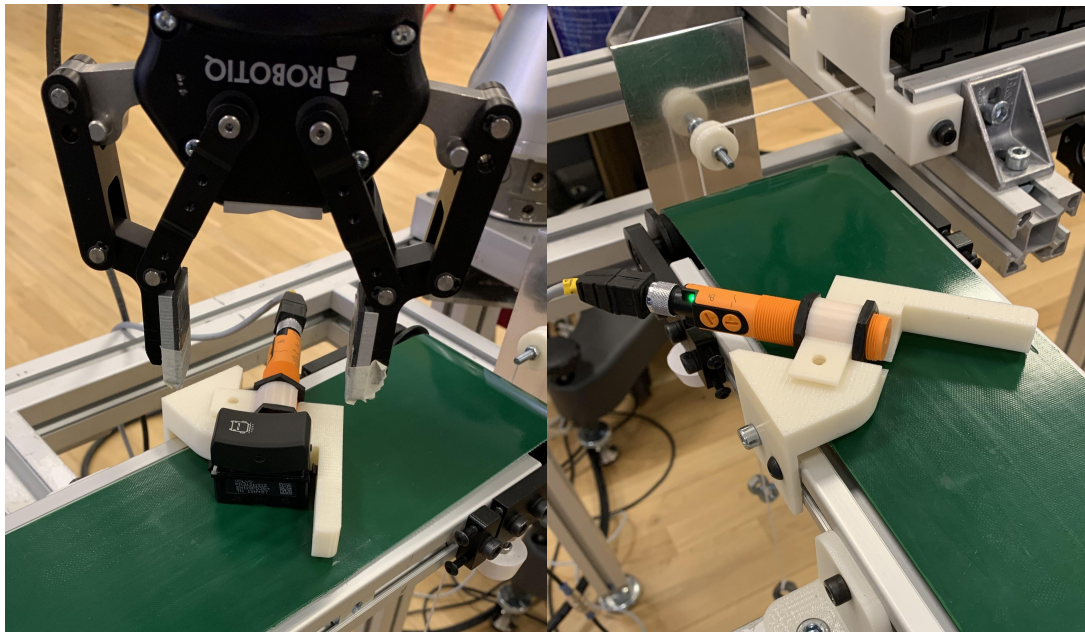
I mitten av stationen är robot Dobot Magician placerad på en skena så att den kan röra sig och nå alla knappar på hela stationen, se figur 19 och figur 20. För att plocka upp knappar på ett smidigt vis används munstycket vakuumsug och tillhörande vakuumpump. Både munstycket vakuumsug och vakuumpumpen kan ses i figur 20 i anslutning till roboten.





Figur 19 och Figur 20: Dobot Magician på skenan med vakuumpump och vakuumsug påmonterat.

När Dobot Magician har plockat upp en knapp från ett magasin vrider den sig ca 180 grader och placerar klappen på det gröna transportbandet. Bandet förflyttar knappen från ena sidan av stationen till den andra med en hastighet på 73 mm/s. Längst ut på andra sidan av bandet finns ett knappstopp med en kapacitiv givare som fångar upp knappen och skickar en signal till UR3 att knappen är framme. För bild av knappstopp och kapacitiv givare se figur 21 och figur 22. För ritning på knappstopp se bilaga 4.



Figur 21: Knapp i rätt position vid knappstopp.

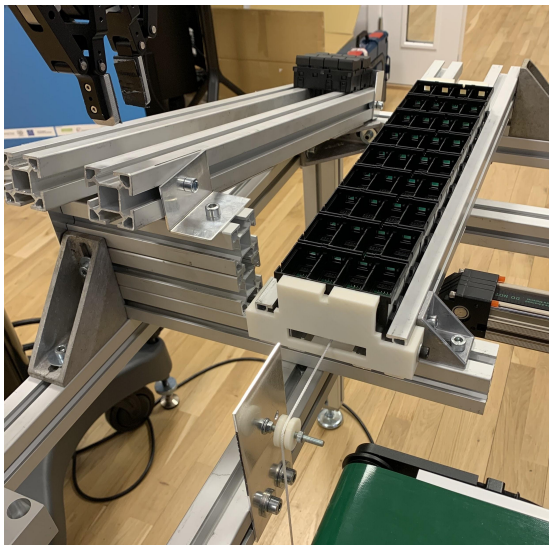
Figur 22: Knappstopp med givare.

När UR3 har fått en signal från knappstoppets kapacitiva givare plockar UR3 upp knappen och monterar den i modulen. När UR3 har monterat alla fyra knapparna i modulen lyfter UR3 upp hela modulen och placerar den i den lutande ytterfilen av modulbanan. På så vis sorteras alla färdigmonterade moduler i samma ordning som orderarna kommer in samt på samma sida som alla ingående knappar och moduler. I modulsystemets in-del pressas tomma moduler fram en och en till UR3 med en modulpress, lina, trissa och vikt. Modulerna stoppas med ett modulstopp. Modulpressen och modulstoppet behövde designas utefter modulerna och hur fler moduler agerar då de pressas ihop. Pressas modulerna ihop på fel sätt eller för hårt så hamnar de ur position vilket gör monteringen av knapparna omöjlig. Lösningen var att designa delarna så att modulpressen och modulstoppet trycker på modulernas övre del, se ritningar av modulpress och modulstopp i bilagor 5 och 6. För bild på UR3, modulsystem, modulstop, lina, trissa och modulpress se figurer 23, 24, 25, 26 och 27.

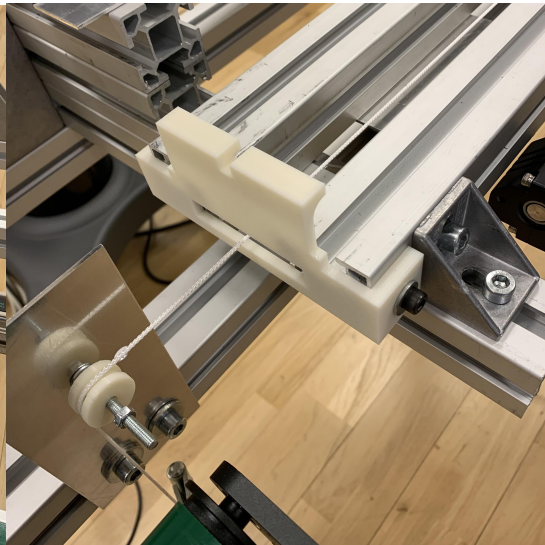


Figur 23: UR3.

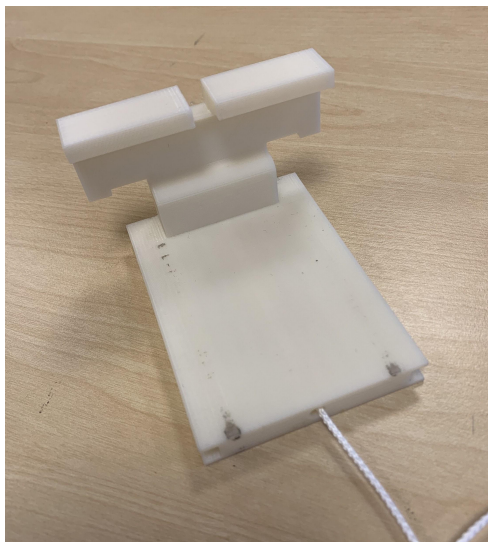




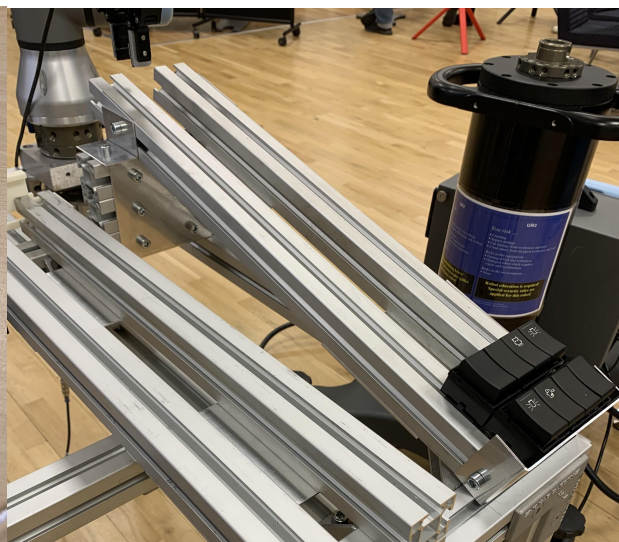
Figur 24: Tvåfilig modulsystem bakifrån.



Figur 25: Modulstopp med trissa och lina.



Figur 26: Modulpress.



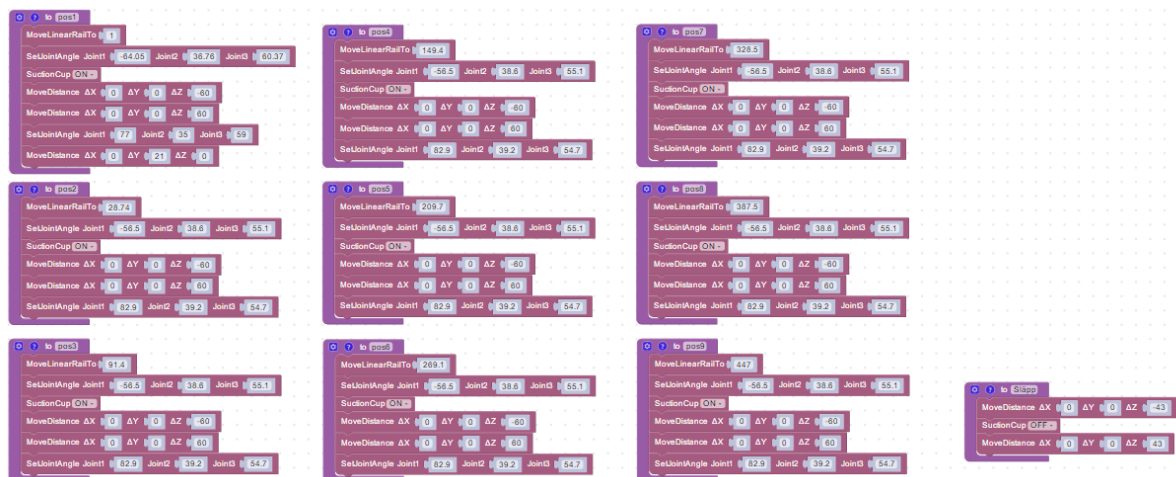
Figur 27: Modulsystem från operatörens plats

## 8. Programmering

Under byggets gång pågick även en del programmering av robotarna för att kunna testa de olika komponenterna som byggdes. Till slut designades det slutliga programmet som styrde alla komponenter att arbeta synkat. De komponenter som programmerades var Robotarna Dobot Magician och Universal robots UR3 samt tillbehören som skena, transportband, vakuumsug, gripdon och kapacitiv givare. Hur detta program designades beskrivs i detta kapitel.

### 8.1 Dobot Magician

Dobot Magician programmerades med sin egen programvara Dobot Studio. Samma programvara används även för skenan, som Dobot Magician åker på, transportbandet samt vakuumsugen som var monterad på Dobot Magician. Programmeringsverktyget som användes var först “Teaching & playback” för att utföra tester på de nya knappmagasinen. Senare då alla 10 ordrar skulle kodas användes istället verktyget Dobot Blockly. Detta då det hade fler funktioner och var lättare att använda för större arbeten och processer.



Figur 28: Dobot blocky i Dobot studio, tio olika funktioner.

I Dobot Blockly skapades tio olika funktioner. Nio av funktionerna gick ut på att plocka upp rätt knapp från rätt magasin. Vad som bestämde vilken knapp som skulle plockas upp styrdes av skenan. Detta då skenan har högst precision samt arbetar i just den led som knapparna är sorterade i. Skenan flyttar alltså Roboten till rätt koordinat i X-led (L-led för skenan och längs stationens långsida). Därefter utförde alla nio funktionerna samma rörelse. Först roterar roboten kring sin vertikala led, så att vakuumsugen är rakt ovanför knappen. Sedan startas vakuumpumpen och munstycket åker ner för att plocka upp knappen och sedan rakt upp med knappen. Sist roterar roboten tillbaka runt sin vertikala axel till ovanför transportbandet för att avsluta funktionen. Dessa nio funktioner döptes till “pos1”, “pos2” till och med “pos9”, utefter hur knapparna var sorterade och benämnda, se figur 28.

I den sista tionde funktionen styrdes roboten att sänka knappen till precis ovanför transportbandet, stänga av vakuumsugen så knappen släpps och sedan åka tillbaka upp. Denna funktion döptes till "Släpp".

Sedan skapades fyra variabler. Alla fyra variabler kan anta de naturliga talen mellan 1 till 9, vilket motsvarar de 9 olika funktionerna. Dessa fyra variabler är alltså de som bestämmer vilken funktion som väljs och därigenom vilken knapp som väljs.

Till exempel, om man skriver in 2, 4, 5, 7 i de fyra variabelernas boxar i programmet kommer knappar från magasin 2, 4, 5, 7 plockas i den ordningen och även monteras i den ordningen på modulen. Se bilaga 7, där dessa variabler är bestämda till 6, 9, 8, 9 i de blå boxarna längst upp.

För att utföra det som variabeln bestämts till så skapades loopar. Ytterst placerades en "Repeat while true - do ..." loop. Detta är den yttre huvudloopen. Då hela denna loop gått igenom så har 4 knappar valts ut och plockats till en modul. Inuti denna yttre loop är första steget att starta transportbandet och köra det på en viss hastighet. Sedan skapades 4x9 mindre "if-do" loopar. Till exempel:

om knapp1 = 1, så utförs funktion 1,  
om knapp1 = 2, så utförs funktion 2,  
om knapp1 = 3, så utförs funktion 3, osv.

Då knapp1 endast antar ett värde in till yttre loopen så är en av de 9 looperna för knapp1 sanna och resterande 8 falska. Detta gör att den som är sann plockas för första platsen i modulen. Detta fortsätter för knapp2, knapp3 och knapp4. Längst ner i loopen placerades en "break out of loop" som stoppade loopen. Då har de 4 knappar som ska på modulen plockats av Dobot Magician.

Hela den loopen kopierades till totalt 12 stycken så totalt 12 moduler, vilket i vårt fall är 10 ordrar, kan köras i ett program. Hela programkoden redovisas i bilaga 8.

## 8.2 UR3

Roboten UR3 programmerades utefter att utföra en loop bestående av 5 huvuduppgifter.

- Plocka upp och trycka i knapp 1 i modulplats 1.
- Plocka upp och trycka i knapp 2 i modulplats 2
- Plocka upp och trycka i knapp 3 i modulplats 3
- Plocka upp och trycka i knapp 4 i modulplats 4
- Plocka upp en hel färdig modul och placera modulen i utgående del av modulsystemet.

De första fyra uppgifterna är mycket lika varandra, då UR3 plockar upp knapparna på samma plats, men skillnaden är vilka koordinater i modulen som den trycker ner knapparna i. Dessa är ganska enkelt programmerade då man joggar roboten (manuellt styra den) till de positioner som önskas och sparar dem som en "Waypoint" (en bestämd koordinat som sparas, så roboten kan repetera rörelsen). Sedan sätts styrning av verktyget (gripdonet) in vid önskade tid och



plats och med önskad styrka och hastighet. För att få UR3 roboten att synka ihop med Dobot Magician så programmerades den kapacitiva givaren att ge signal då en knapp var placerad på rätt plats och om den var kvar efter 0.5 sekunder kunde roboten fortsätta med nästa uppgift. Huvuduppgifterna är placerade i kronologisk ordning i loopen. Detta gör att UR3 är synkad med knapparna som Dobot Magician placerar på bandet och rätt knapp kommer placeras på rätt position i modulen.

Den sista huvuduppgiften i loopen är att plocka upp den färdig modulen och placera den i lutande ut-delen av modulsystemet. Detta programmerades också genom jogga, “waypoints” och öppna/stäng gripdonet.

Denna loop fortsätter för alla 12 moduler, men kan lätt förlängas till önskat antal moduler. Hela programkoden redovisas i bilaga 9.

## 9. Genomgång av frågeställning

I detta kapitel kommer arbetets två frågeställningar att gås igenom.

- Går det att utföra ett monteringsarbete utefter 10 hårdkodade ordrar helt automatiserat med två “low cost” robotar?
- Hur ser den automatiserade stationens “business case” ut?

Den första frågeställningen kommer att utredas via jämförelse mot kravspecifikationen. Om stationen uppfyller kraven från kravspecifikationen kommer också den andra frågeställningen att utredas och sedermera redovisas i detta kapitel.

### 9.1 Genomgång av kravuppfyllelse

Efter att stationen är färdigbyggd och programmerad är det nu dags att undersöka huruvida det slutgiltiga konceptet uppfyller alla krav från uppdragsgivaren Volvo. Denna undersökning görs via kontroll mot alla krav från kravspecifikationen.

**1. Hela systemet.** Denna kategori innehåller två krav. Det första är att stationen ska klara att montera knappar i moduler och dessutom kunna utföra 10 ordrar i följd utan mänsklig inblandning. Efter upprepade test kan det klart avgöras att stationen klarar detta krav utan några problem. Det andra kravet som hela stationen har är att kostnaden inte får överstiga 100 000 kr. Även detta krav uppfyller stationen eftersom dess totala materialkostnad uppgår till 94 940 kr. Mer utförligt om kostnaden kommer i avsnittet 9.3.

**2. Moment A. Inmatning av knappar till Dobot.** Denna kategori innehåller också två krav. Kategorins första krav är funktionen att stationen ska mata in knappar till Dobotens bestämda koordinater. Kategorins andra krav, som är till för att stötta upp kategorins funktion, är att stationen ska mata fram knappar en och en till rätt koordinater 10 gånger i följd. Båda dessa krav uppfylls med knappmagasinen och dess tillhörande delar.

**3. Moment B. Montering via Dobot.** Moment B innehåller tre krav varav två är funktioner. Första kravet är funktionen att stationen ska plocka upp rätt knapp och montera i rätt plats i rätt modul och andra funktionen är att stationen sedan ska skjuta ut färdiga moduler för sortering. Det sista kravet berör momentets prestanda dvs stationen ska klara att utföra tio ordrar. Dessa krav har i det slutgiltiga konceptet delats upp på en Dobot Magician, ett band, ett knappstopp med givare och en UR3. Efter upprepade tester kan det klart avgöras att stationen klarar dessa krav utan några problem.

**4. Moment C. In- och utmatning av moduler.** Det sista momentet har två krav, varav ett är en funktion. Funktionen är att stationen ska mata in moduler till en given koordinat för monteringroboten. Det andra kravet rör momentets kapacitet där stationen ska ha plats för moduler till 1 order. Båda dessa krav uppfylls av den tvåfiliga modulbanan och dess tillhörande delar.

**Huvudfunktion.** Efter lyckade test och att alla underliggande kategorier och dess tillhörande krav uppfylls kan det därmed avgöras att stationens huvudfunktion, arbetsstationen skall automatiserat montera knappar i moduler efter 10 givna hårdkodade ordrar, uppfylls.

## 9.2 Genomgång av “business case”

**1. Hur mycket kostar stationen?** Kostnaderna för de olika delarna har diskuterats med handledare och Sven Ekered som köpt in delarna till SII-Lab. Nedan i tabell 6 redovisas kostnaderna för samtliga delar som köpts in och används i stationen. Som det kan utläsas i tabellen blev den totala materialkostnaden för stationen 94 940 kr och därmed är kravet att stationen inte får överstiga 100 000 kr uppfyllt.

Överenskommelsen var att använda UR3 likadant som en Dobot M1 kan antas användas och därmed använder vi kostnaden för en Dobot M1 i denna kalkyl.

|                            |                                           |            |
|----------------------------|-------------------------------------------|------------|
| Plåt                       | 1,1 m <sup>2</sup> ≈ 6 kg, 50kr/kg        | 300 kr     |
| Aluminiumprofil (Flexlink) | 17 m                                      | 3 740 kr   |
| 3D-printing                | 150 cm <sup>3</sup> , 4kr/cm <sup>3</sup> | 600 kr     |
| skruvar + muttrar          | 100+100 st                                | 500 kr     |
| Dobot magician             | 1 st                                      | 13 000 kr  |
| Linear rail (skena)        | 1 st                                      | 12 300 kr  |
| Transportband              | 1 st                                      | 5 500 kr   |
| Dobot M1                   | 1 st                                      | 59 000 kr  |
| Totalt:                    |                                           | =94 940 kr |

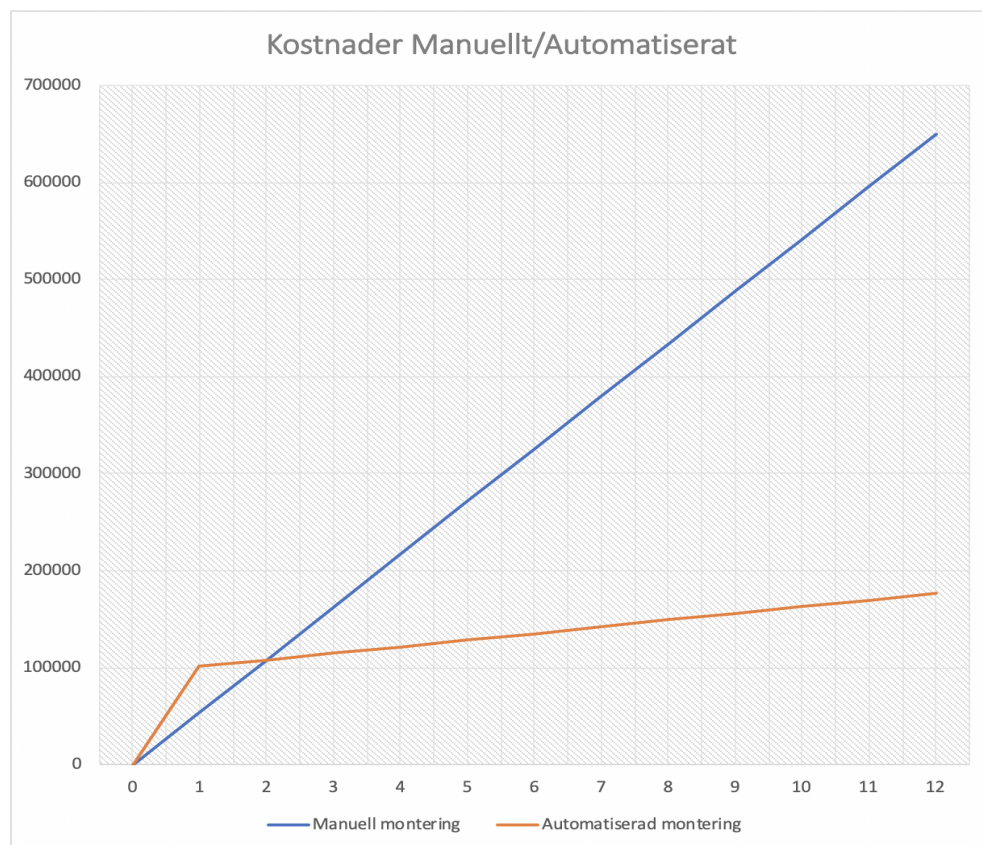
Tabell 6: Totala materialkostnaden.

**2. Är den automatiserade stationen mer lönsam än nuvarande situation?** Denna fråga studerades genom att summera kostnaderna och jämföra nuvarande manuella monteringen med den nya automatiserade monteringen. För att besvara denna fråga hölls ett möte med vår handledare Jonas Fuglås samt Michael Schröder, ergonomiexpert anställd på Volvo. Från mötet framgick de värden som är relevanta att applicera på denna uträkning. För den nuvarande manuella monteringen så är den stora kostnaden för personalen. Från mötet framgick antagandet att en montör alltid står vid stationen under ett arbetspass och att kostnaden för en montör kan antas till 650 000 kr/ år. Detta är värdena bakom den blåa linjen i graf 1 (Kostnad Manuellt).

Kostnaden för den automatiserade stationen ser ut som den orangea linjen visar i graf 1, (Kostnad Automatiserat). Denna är byggd på engångskostnaden för investeringen av stationen som enligt tidigare uppkom till 94 940 kr. Utöver denna kostnad tillkommer kostnad för

personal att starta igång stationen samt fylla på med knappar och moduler. Denna tid uppskattas till 1 timma/arbetspass, vilket motsvarar 12,5 % av en montörs arbetspass. 12,5 % har tagits fram genom egna tester på den automatiserade arbetsstationen. Kostnaden för den automatiserade stationen är då investeringskostnaden samt 12,5% av årslönen.

Ur graf 1 och beräkningarna fås “break even” efter ungefär 2 månader och efter 1 år har arbetsstationen sparat in  $650\,000 - 176\,190 = 473\,810$  kr.

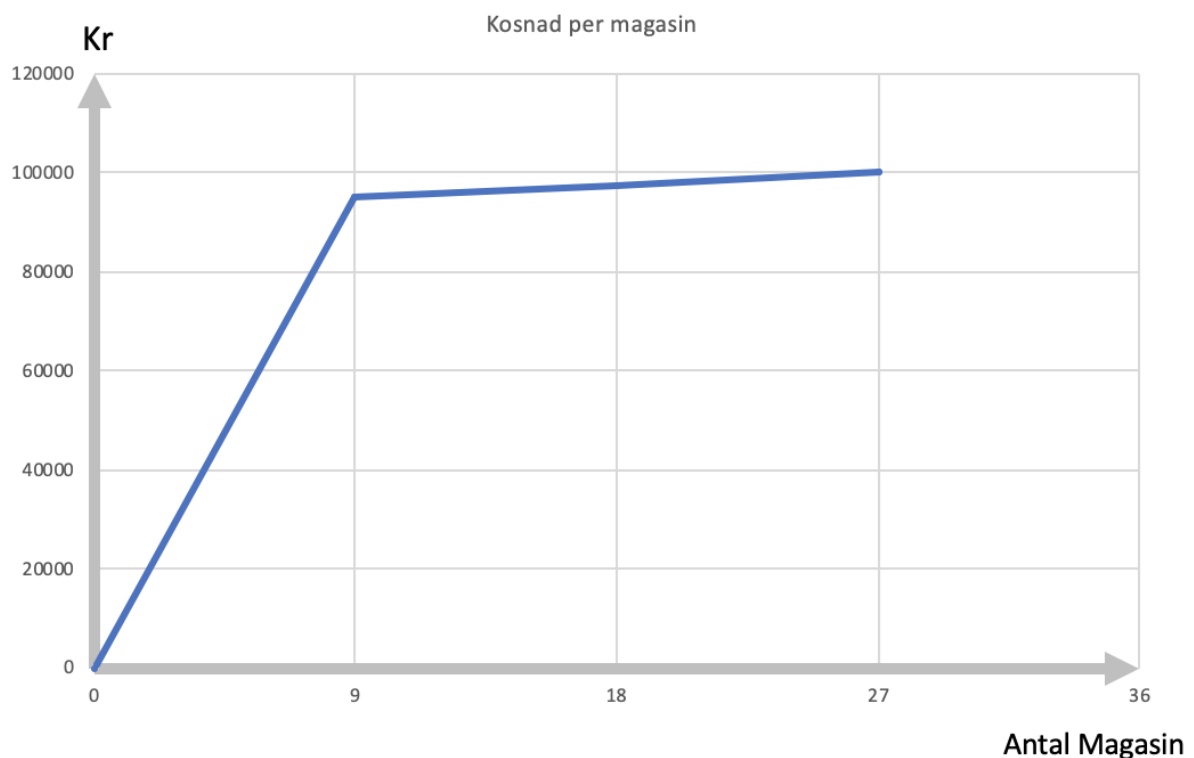


Graf 1: Kostnaden idag jämfört med den automatiserade stationen.

Ur graf 1 kan det tydligt utläsas att den automatiserade stationen är mer lönsam än dagens situation. Under mötet med Jonas Fuglås och Michael Schröder framkom det också att den automatiserade stationen borde minska vissa omkostnader. Med stationen blir monteringsprocessen kvalitetssäkrad och fel relaterade till den mänskliga faktorn uteblir. Stationen är till ytan mindre än vad som krävs för dagens manuella montering. Den automatiserade stationen är ca  $1,5\text{ m}^2$  och kräver ca  $3\text{ m}^2$  till med förvaring. Det är  $6,5\text{ m}^2$  mindre än vad den manuella monteringen upptar idag ( $1,5 + 3 - 11 = 6,5\text{ m}^2$ ). Utöver detta finns det även en stor vinning relaterat till ergonomi. Med den automatiserade arbetsstationen skulle hela denna balansen i Volvos fabrik avlastas vilket i sin tur skulle leda till att den ackumulerade belastningen för hela fabriken skulle minska. Detta skulle vidare leda till att både sjukfrånvaron och sjuknärvaron hos montörerna i fabriken skulle minska. Alla dessa faktorer har en omkostnad som kan appliceras till denna station och tillför ytterligare lönsamhet för den automatiserade stationen.

**3. Hur ser utvecklingen ut när stationen skalas upp med fler magasin/ fler varianter av knappar?** Examensarbetet är avgränsat till att utföra 10 ordrar. Dessa 10 ordrar innehåller 12 moduler, 48 knappar var av 8 olika sorters knappar. Där utefter byggdes en station som klarar att lagra de 8 olika knapparna. Då de blanka knapparna används 23 gånger utav de 48 är det nödvändigt att ha extra magasin för dessa knappar. Totalt behövs 9 magasin för att hålla knapparna som behövs för de 10 orderarna.

Som beskrevs i kap 4.1 är Volvos nuvarande produktion 62 lastbilar per dagspass vilket motsvarar ungefär 75 moduler. Dessa 75 moduler innehåller fler sorters funktioner än de som använts i detta arbetes 10 ordrar. Därför är det intressant att studera kostnader vid eventuell uppskalning av antalet magasin. Den utvecklade automatiserade monteringsstationen består i detta projekt av 9 magasin. Efter mätningar och idéer för uppskalning anses det rimligt att 27 magasin kan få plats på stationen. Skillnaden i kostnad för stationen med 9 magasin jämfört med 18 eller 27 magasin är materialkostnader för bygget av de nya magasinerna. Kostnaden för att bygga 9 nya magasin beräknas, avrundat uppåt, till 2500 kr. Detta betyder att kostnaden för stationen med 27 magasin ligger på 100 000 kr. Detta visas i graf 2.

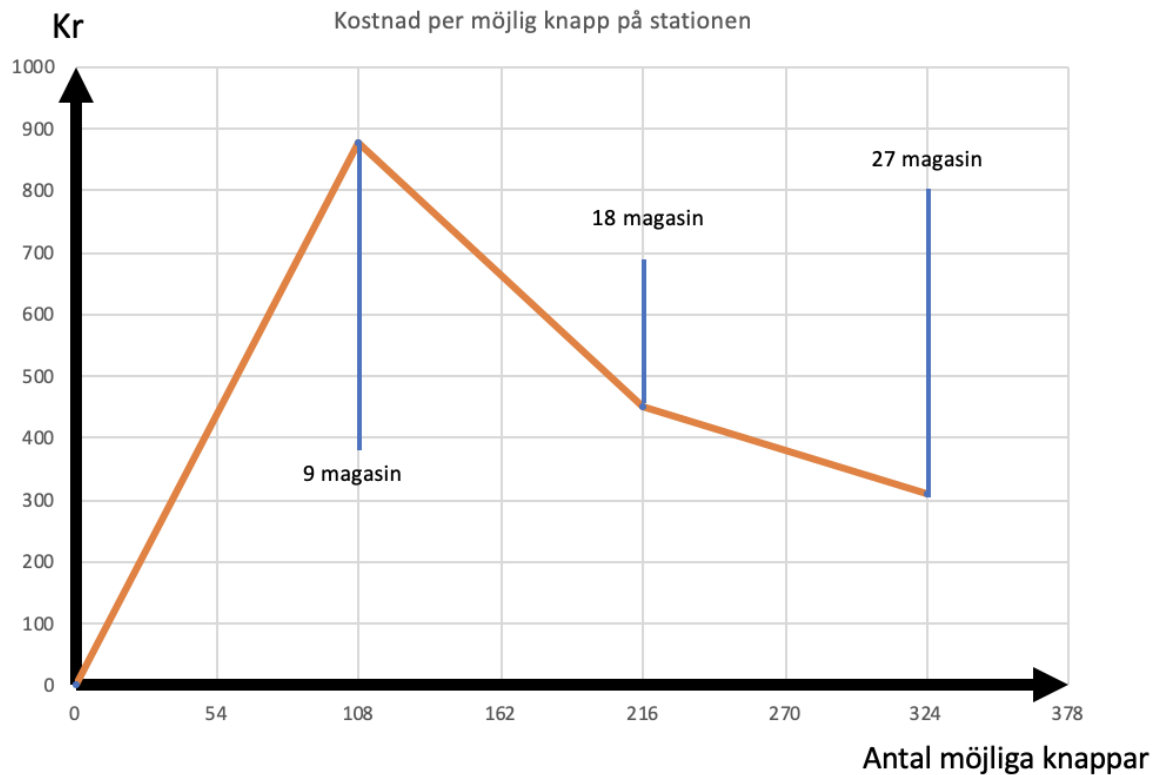


Graf 2: Investeringskostnad för olika antal magasin.

Vidare plottades en graf som visar hur kostnaden sjunker vid uppskalning. Stationen med 9 magasin har plats för 108 knappar, då kostar varje plats för en knapp 879 kr. Skalar man upp till 18 magasin kostar varje plats 451 kr/st. För 27 magasin, alltså plats för 324 knappar, kostar varje plats 309 kr/st, se graf 3.



Det intressanta med 324 möjliga knappar är jämförelsen med hur många moduler som produceras per dag. De 75 modulerna motsvarar då 300 knappar (4 knappar per modul), vilket ger en teoretisk möjlighet att alla 75 moduler kan produceras, med endast en påfyllning vid start av dagen. Ännu mer rimligt är att hela dagens 78 lastbilar (dag och kvällspass), kan utföras med påfyllning på morgon och halvvägs genom dagens ordrar.



Graf 3: Kostnad per plats för knapp vid uppskalning.

## 10. Slutsats

I detta kapitel kommer ett kort och koncist svar på genomgången av frågeställningen från föregående kapitel och en diskussion om arbetets kritiska moment.

Arbetets första frågeställning:

- Går det att utföra ett monteringsarbete utefter 10 hårdkodade ordrar helt automatiserat med två “low cost” robotar?

Ja, det går alldeles utmärkt att utföra ett monteringsarbete utefter 10 hårdkodade ordrar helt automatiserat med två “low cost” robotar. För inspelad video av det automatiserade monteringsarbetet utefter 10 hårdkodade ordrar, se:

<https://youtu.be/46MJtaASja4>

Arbetets andra frågeställning:

- Hur ser den automatiserade stationens “business case” ut?

Detta “business case” delades in i tre delar för att på ett tydligt sätt gå igenom stationens kostnad, lönsamhet och vidareutvecklingspotential.

**1. Hur mycket kostar stationen?** Den totala materialkostnaden för den automatiserade arbetsstationen är 94 940 kr.

**2. Är den automatiserade stationen mer lönsam än nuvarande situation?** Den automatiserade arbetsstationen uppnår “break even” efter ungefär 2 månader och efter 1 år har arbetsstationen sparat in 473 810 kr ( $650\,000 - 176\,190 = 473\,810$  kr). Dessutom tillkommer ännu mer besparingar eftersom stationen tar upp mindre yta i fabriken, hela monteringsarbetet blir kvalitetssäkrat och alla problem relaterade till ergonomi minskar kraftigt eller försvinner helt.

**3. Hur ser utvecklingen ut när stationen skalas upp med fler magasin/ fler varianter av knappar?** Vid uppskalning till 27 magasin skulle totalkostnaden för den automatiserade knappmonteringsstationen bli 100 000 kr. Med denna uppskalning skulle fabriken totala dagstillverkning på 78 lastbilar (dag- och kvällspass) teoretiskt kunna utföras med endast en påfyllning efter halva dagens ordrar.

## 10.1 Diskussion

Projektet började med en inlärningsperiod där det tidigare examensarbetet från Ola Groth och Viktor Bengtsson samt besöket på Volvos fabrik i Tuve var grogrunden. Efter det skapades en planeringsrapport, tydliga avgränsningar och en kravspecifikation som används som anvisning under hela arbetsgången. Det skulle visa sig vara bra att ha tydliga ramar då förutsättningarna för arbetet förändrades.

Under den första månaden var det sagt att Dobot M1 skulle komma tillbaka efter service men så blev inte fallet eftersom robotens delar fastnade i Kina på grund av Covid-19. Det resulterade i bytet till UR3 med överenskommelsen att använda UR3 på samma sätt som en Dobot M1 kan antas användas. Utmaningen här blev att få de två robotarna att kommunicera, vilket blev mycket svårare eftersom stationens två robotar inte längre använde samma programvara. Lösningen blev att installera en kapacitiv givare till UR3 vid knappstoppet. Nästa kritiska moment uppkom under den slutliga fasen när monteringsprocessen skulle programmeras. Som beskrevs i kapitel 4.2 har alla knappar inte samma form. Då knapparna med funktion har en lite utskjutning på undersidan blev vinkeln som de plockades upp med lite annorlunda jämfört med de blanka knapparna. Detta gjorde nedtryckningen av knapparna mycket svår för UR3 roboten. Eftersom UR3 bara fick användas enligt överenskommelsen blev lösningen att göra processen i flera steg. Först placeras knappen i rätt position i modulen och trycks ungefär halvvägs ned. Sedan släpper gripdonet knappen vilket gör att knappen automatiskt justeras till horisontell och vertikal vinkel. Sist stängs robotens gripdon och trycker ner knappen rakt ovanifrån. Detta var faktiskt en bra ändring då detta med större säkerhet fick hakarna från knappen att haka i modulen ordentligt, vilket var lite av ett problem innan. Detta var sista justering som krävdes på stationen för att frågeställningen skulle uppfyllas.

När det slutgiltiga konceptet var framtaget och bygget av den automatiserade knappmonteringsstationen skulle inledas var det tänkt att alla knappmagasin och det tvåfiliga modulsystemet skulle ritas i CAD och sedan 3D-printas. Men efter diskussion med handledare valdes det alternativet bort då 3D-printing tar lång tid samt då det är stora delar. Det skulle även uppkomma större friktion mellan knapp/knappmagasin och modul/modulbana samt att konstruktionen inte är lika robust.

Ett "business case" kan genomföras på många olika vis men efter dialog med Jonas Fuglås konstaterades de tre mest intressanta frågorna för Volvo. I kostnadskalkylen kan det utläsas att arbetsstationen klarade kravet på att arbetsstationen inte fick överstiga 100 000 kr. Noterbart är att Dobot M1 utgör över 60% av den totala kostnaden. Men det är fråga 2 i "business case" som är mycket intressant. Vid jämförelse bara mot vad en montör kostar sparar stationen 473 810 kr/år. Dessutom tillkommer ännu mer besparingar eftersom stationen tar upp mindre yta i fabriken, hela monteringsarbetet blir kvalitetssäkrat och alla problem relaterade till ergonomi minskar kraftigt.

Sedan är en stor fråga för framtiden hur stationen går att skala upp. Detta är något vi anser är mycket möjligt och väldigt kostnadseffektivt. Stationen beräknas få plats med 27 magasin

samt finns möjligheter att förlänga magasinen. Kostnaden för denna förbättring är bara några tusenlappar för materialet, detta då inga andra delar av stationen behöver ändras. Med denna uppskalning kan en dags produktion av färdiga moduler göras helt automatiserat med 1-2 påfyllningar per dag.

## 11. Vidareutveckling

Förslag på områden att vidareutveckla:

- Utforma en tydlig manual, likt en checklista, på vad en montör måste gå igenom för att starta stationen. Det är till exempel viktigt att knapparna och modulerna ligger exakt så som det är tänkt och att robotarna är korrekt kalibrerade innan stationen startas.
- Testköra stationen och undersöka grundligt hur mycket den verkligen klarar av att producera under en längre period.
- Bygga ut stationen till 27 knappmagasin för att maximera kapaciteten för stationen.
- Utforma emballage som knapparna levereras till fabriken i så att det går snabbare att ladda stationen med knappar.
- Undersöka bättre lösningar på kommunikation från order in till monteringsstationer. Alltså byta ut det gamla systemet Switchcalc med något som är smartare och effektivare.



# Referenser

- [1] Ola Groth & Viktor Begntsson (2019) Montering med Dobots - En förstudie åt AB Volvo, Göteborg: Chalmers University of Technology
- [2]. DOBOT, hämtad 2020-03-04 från <https://www.dobot.cc>
- [3] DOBOT, DOBOT Magician, hämtad 2020-03-04 från <https://www.dobot.cc/dobot-magician/product-overview.html>
- [4] DOBOT, DOBOT M1, hämtad 2020-03-04 från <https://www.dobot.cc/dobot-m1/product-overview.html>
- [5] DOBOT, Sliding Rail Kit, hämtad 2020-05-08 från <https://www.dobot.cc/products/sliding-rail-kit-specification.html>
- [6] DOBOT, Conveyor belt kit, hämtad 2020-05-08 från <https://www.dobot.cc/products/conveyor-belt-kit-overview.html>
- [7] ifm, KG6000, hämtad 2020-05-08 från <https://www.ifm.com/se/sv/product/KG6000>
- [8] Hans Johannesson, Jan-Gunnar Persson & Dennis Pettersson (2013) Produktutveckling - Effektiva metoder för konstruktion och design, Stockholm: Liber AB
- [9] Björn Lantz, Hans Löfsten & Anders Isaksson (2018) Industriell Ekonomi - Grundläggande ekonomisk analys, Lund: Studentlitteratur AB
- [10] Christian Ax, Christer Johansson & Håkan Kullvén (2015) Den Nya Ekonomistyrningen, Stockholm: Liber AB
- [11] Prevent, Maskinsäkerhet - Risker, säkerhet och skydd, hämtad 2020-05-20 från <https://www.prevent.se/bransch/industri/verkstadsindustrin/risker-sakerhet-och-skydd/>
- [12] A.K. Gupta, S.K. Arora & Jean Riescher Westcott (2016) Industrial Automation and Robotics, USA: Mercury Learning and Information
- [13] Automation, Belönades med Monteringspriset 2019, hämtad 2020-05-20 från <https://automation.se/nyheter/1227-belonades-med-monteringspriset-2019>
- [14] SKIL, Borra i metall, hämtad 2020-05-20 från <https://www.skil.se/anvisningar-steg-for-steg/borra-i-metall.html>
- [15] Lennart Hågeryd, Stefan Björklund & Matz Lenner (2018) Modern produktionsteknik 1, Stockholm: Liber AB

[16] Mikell.P. Groover (2017) Groover's principles of modern manufacturing, Singapore:  
John Wiley & Sons Inc

# Bilagor

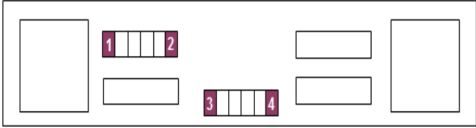
## Bilaga 1: Ordrar från Volvo

Detta är orderarna som stationen har hårdkodats utefter. De ligger i ordning från order 1 till 10. Orderna är från Volvo Trucks system Switchcalc.

Creation time: 2020-01-23 08:27:42 (via EDB web portal)  
Chassis number:

---

Front shelf (FM H1 with digital tachometer)



---

AREA 3

cover



cover

cover

cover

cover

cover plate

82303552 21211201 21211254 21211254 21211254 82303552

Creation time: 2020-01-23 08:15:16 (via EDB web portal)  
Chassis number:

---

Front shelf (FH H2/H3)



---

AREA 3

cover





cover

cover





module cover



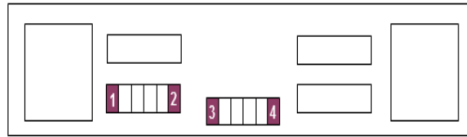
82303552 21211212 21211199 21211254 21211254 21371086 21371086 21211372

49

Creation time: 2020-01-23 08:29:43 (via EDB web portal)

Chassis number:

Front shelf (FM H1)



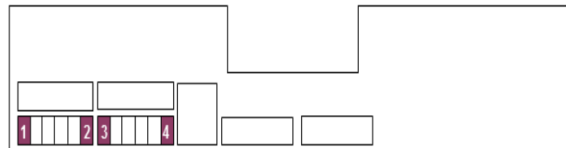
AREA 3



Creation time: 2020-01-23 16:06:48 (via EDB web portal)

Chassis number:

Front shelf (FH H2/H3)

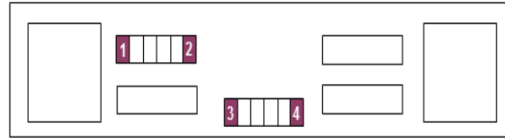


AREA 3

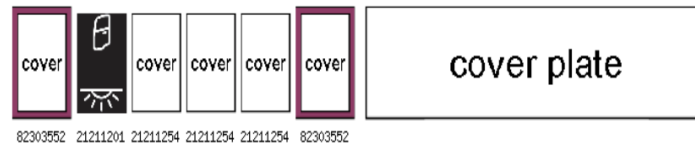


Creation time: 2020-01-23 16:07:55 (via EDB web portal)  
Chassis number:

Front shelf (FM H1 with digital tacho )



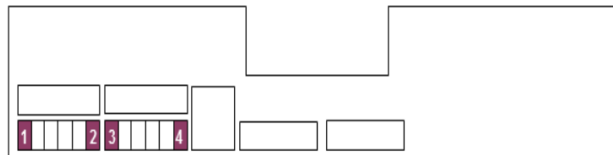
AREA 3



82303552 21211201 21211254 21211254 21211254 82303552

Creation time: 2020-01-23 16:09:08 (via EDB web portal)  
Chassis number:

Front shelf (FH H2/H3)



AREA 3



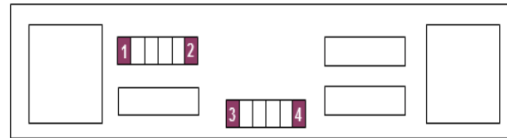
82303552 21211212 21211215 21211217 21211214 21371086 21371086

21211372

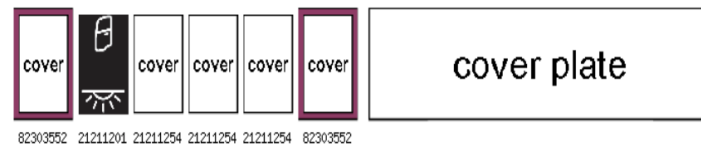


Creation time: 2020-01-23 16:11:02 (via EDB web portal)  
Chassis number:

Front shelf (FM H1 with digital tachometer)



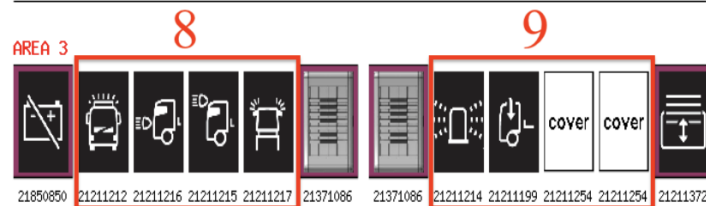
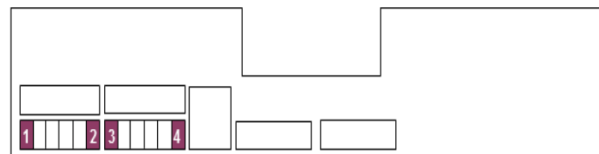
AREA 3



## Order 8, modul 8 & 9

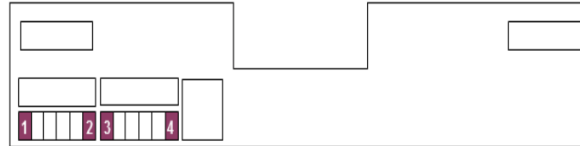
Creation time: 2020-01-23 16:11:49 (via EDB web portal)  
Chassis number:

Front shelf (FH H2/H3)



Creation time: 2020-01-23 16:13:17 (via EDB web portal)  
Chassis number:

Front shelf (FH H1)

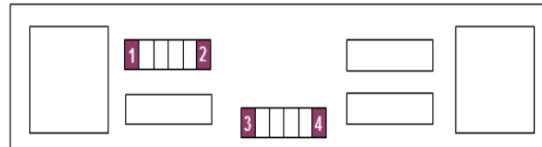


AREA 3

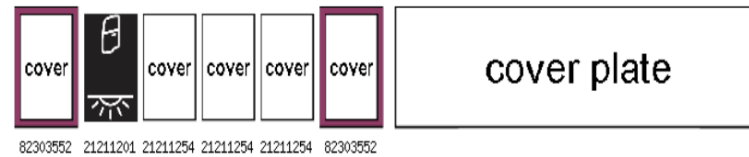


Creation time: 2020-01-23 16:15:05 (via EDB web portal)  
Chassis number:

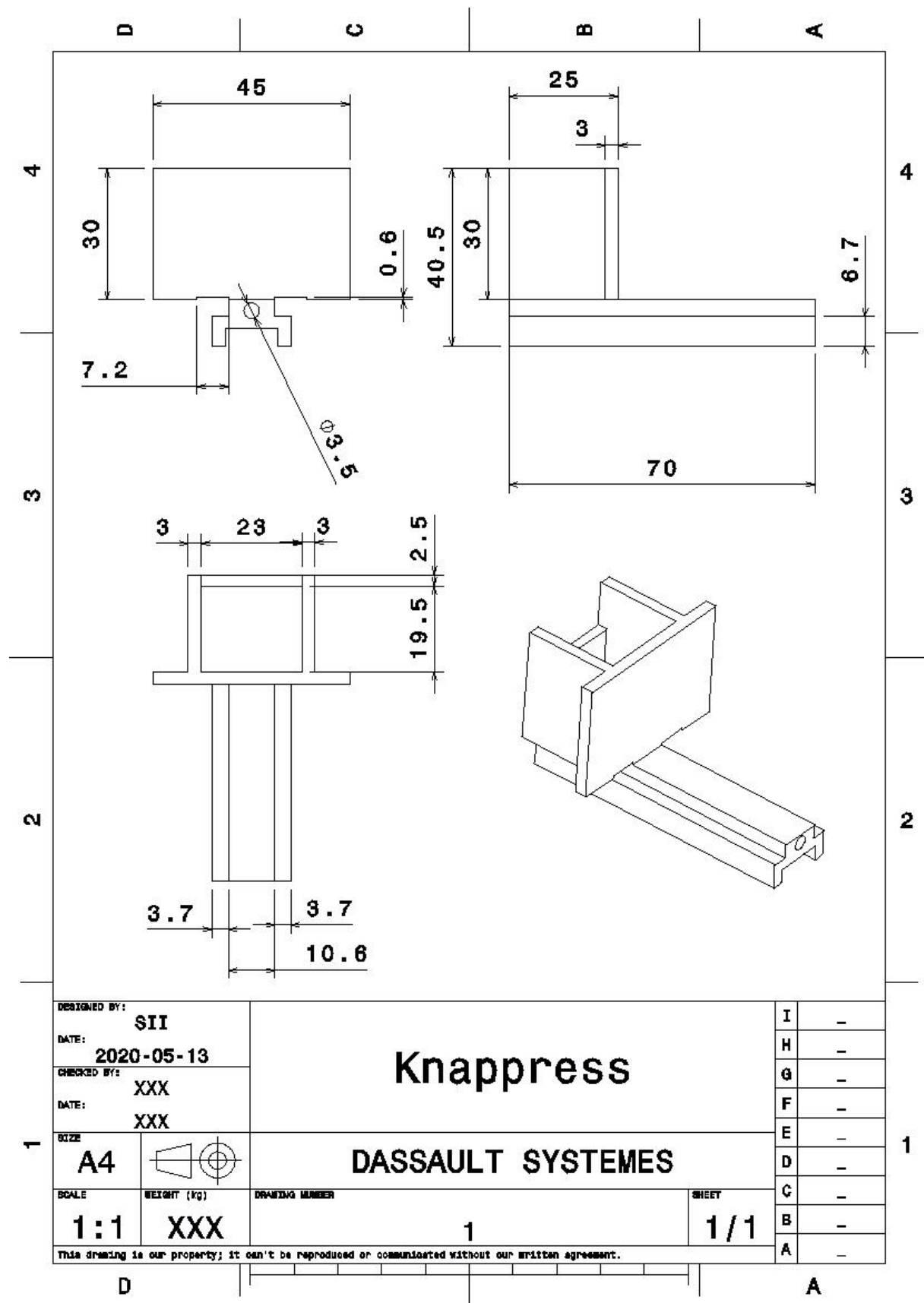
Front shelf (FM H1 with digital tacho )



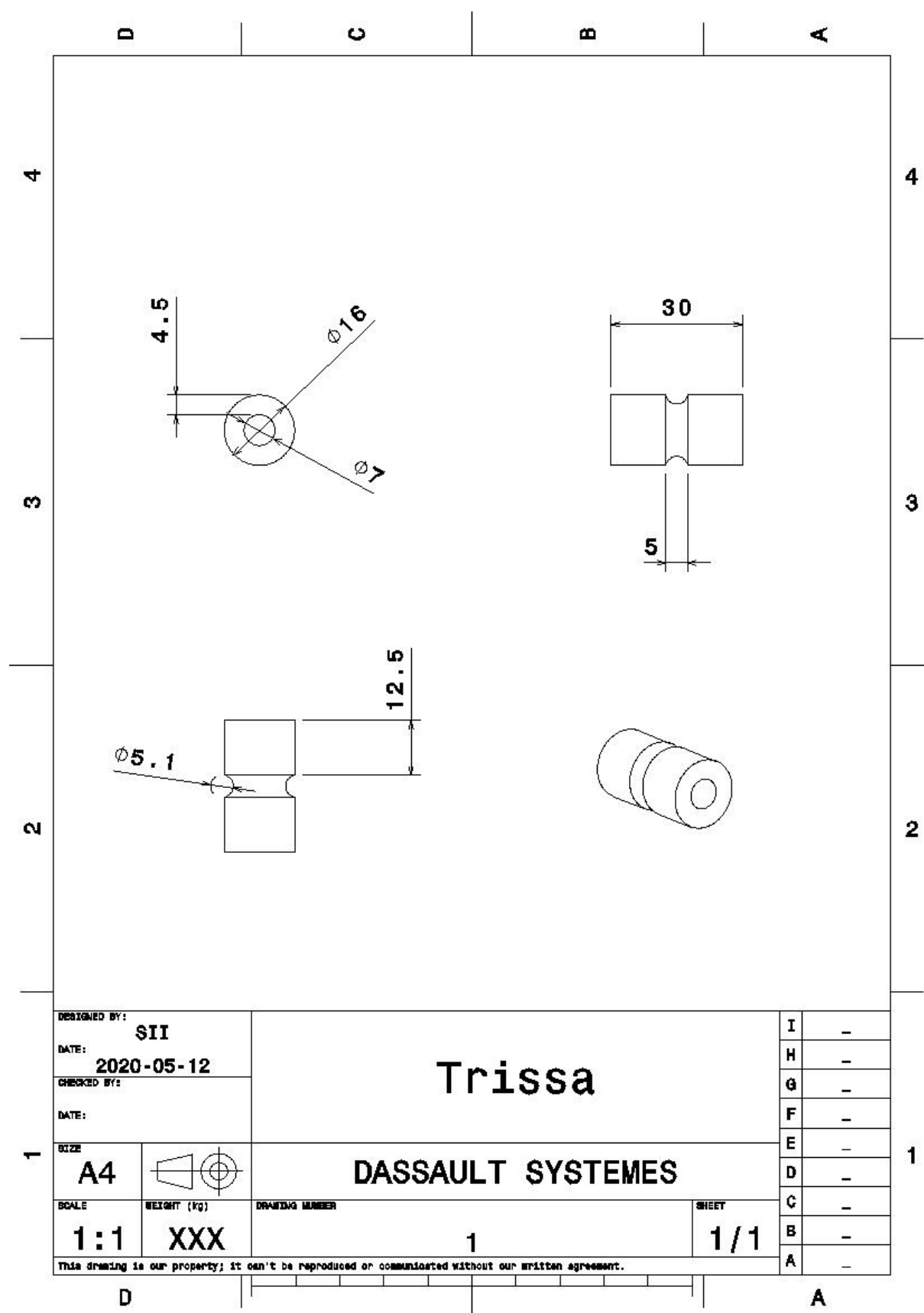
AREA 3



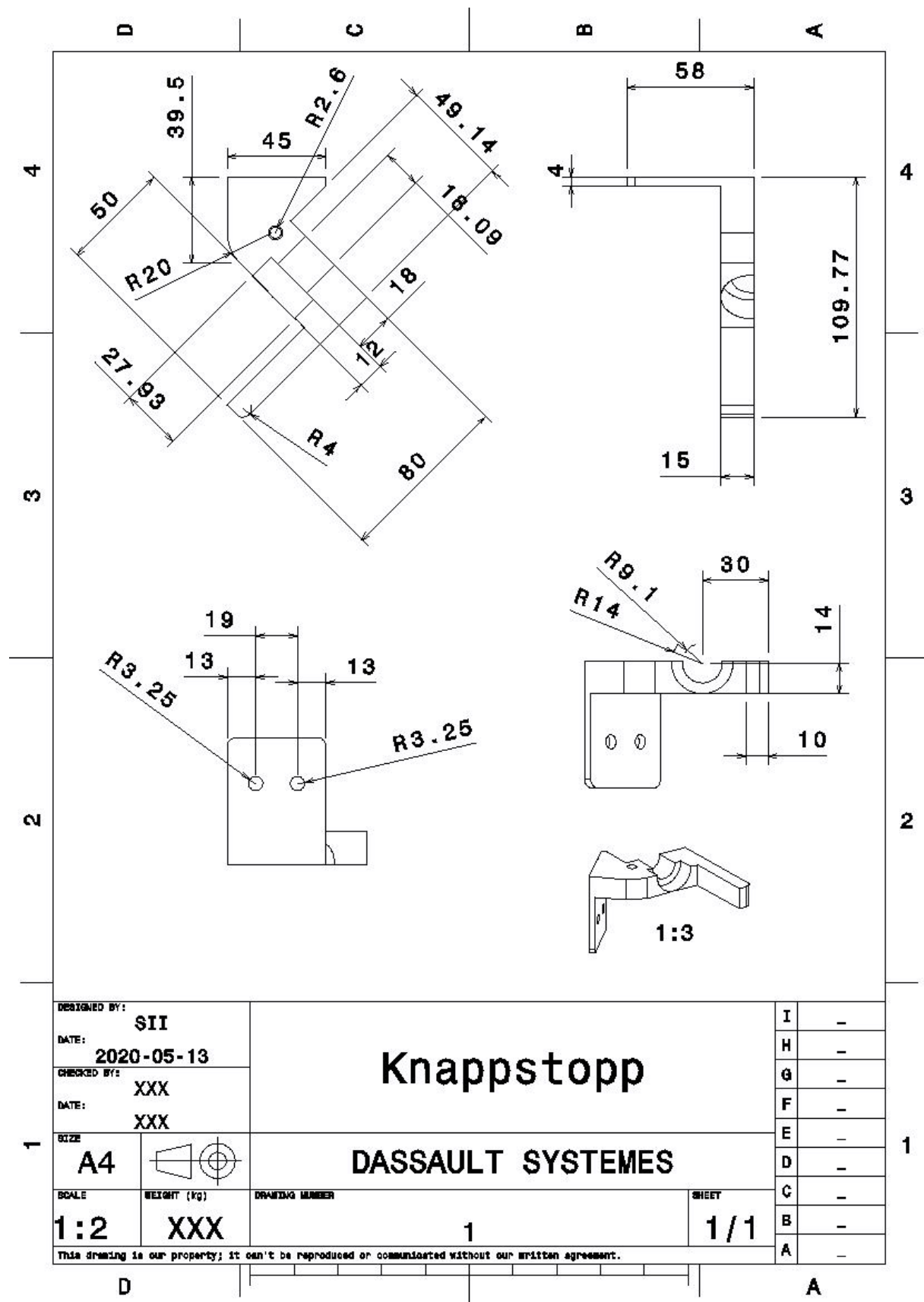
## Bilaga 2: Ritning på knapppressen



## Bilaga 3: Ritning på trissan

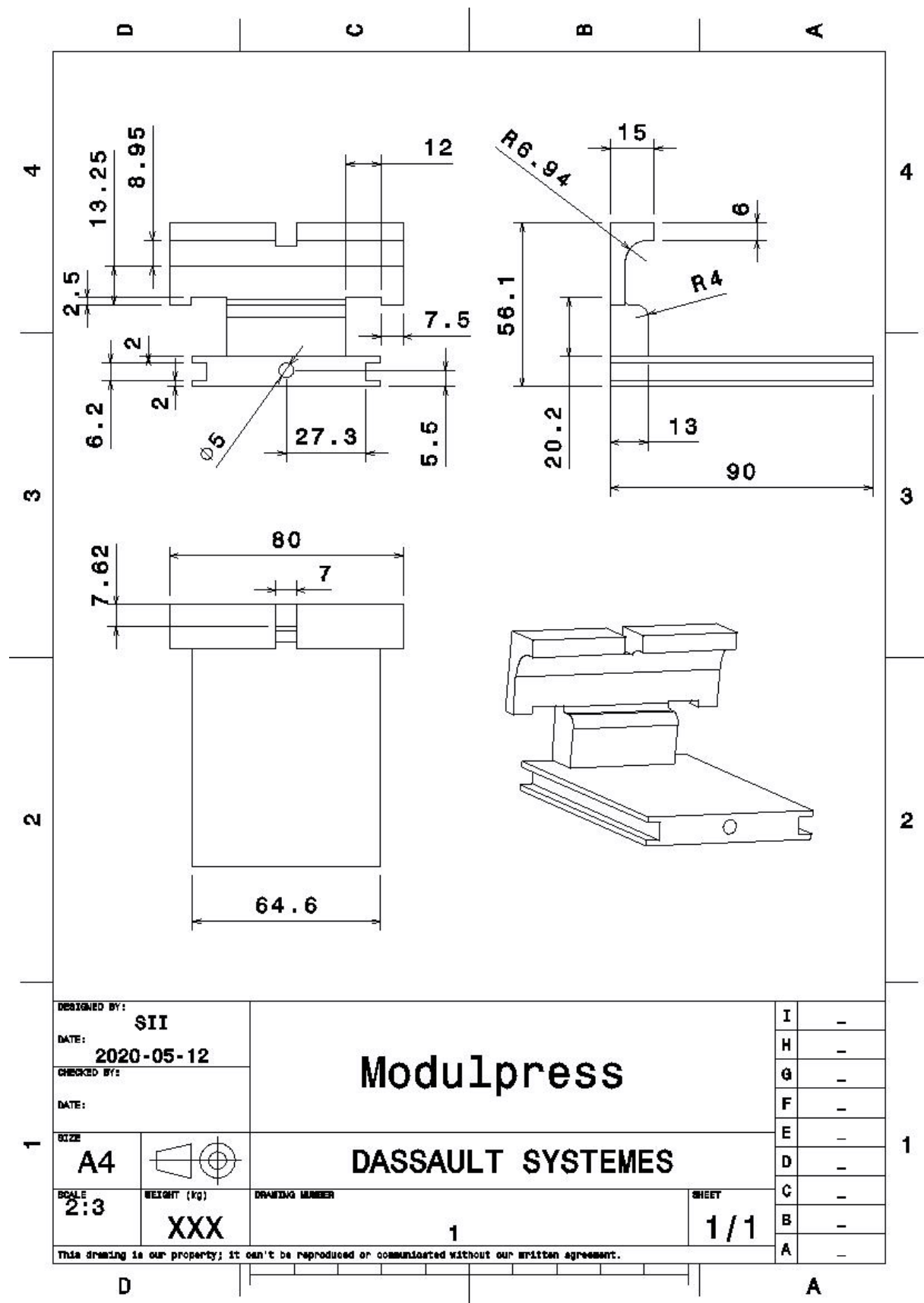


## Bilaga 4: Ritning på knappstoppet

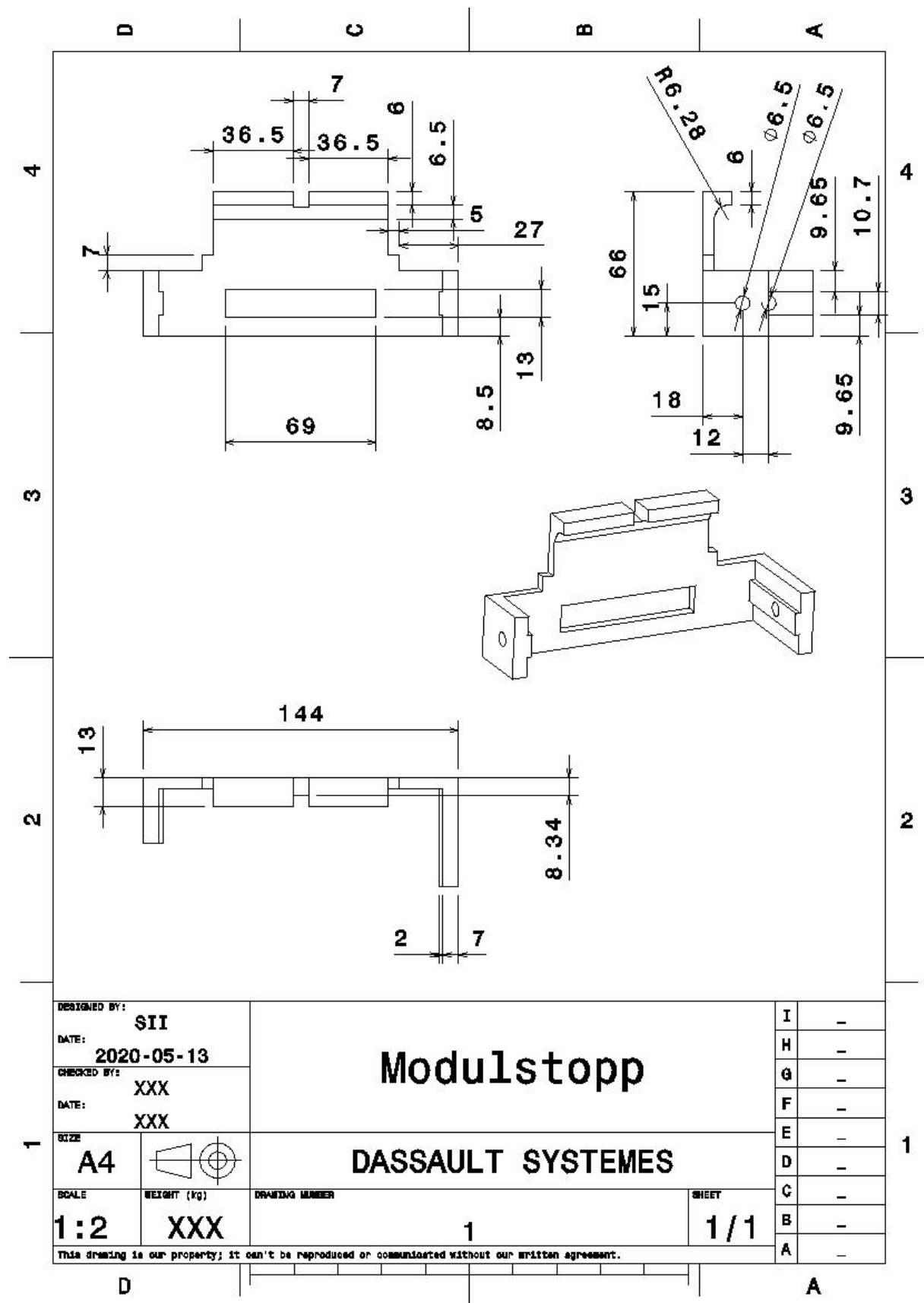




## Bilaga 5: Ritning på modulpressen

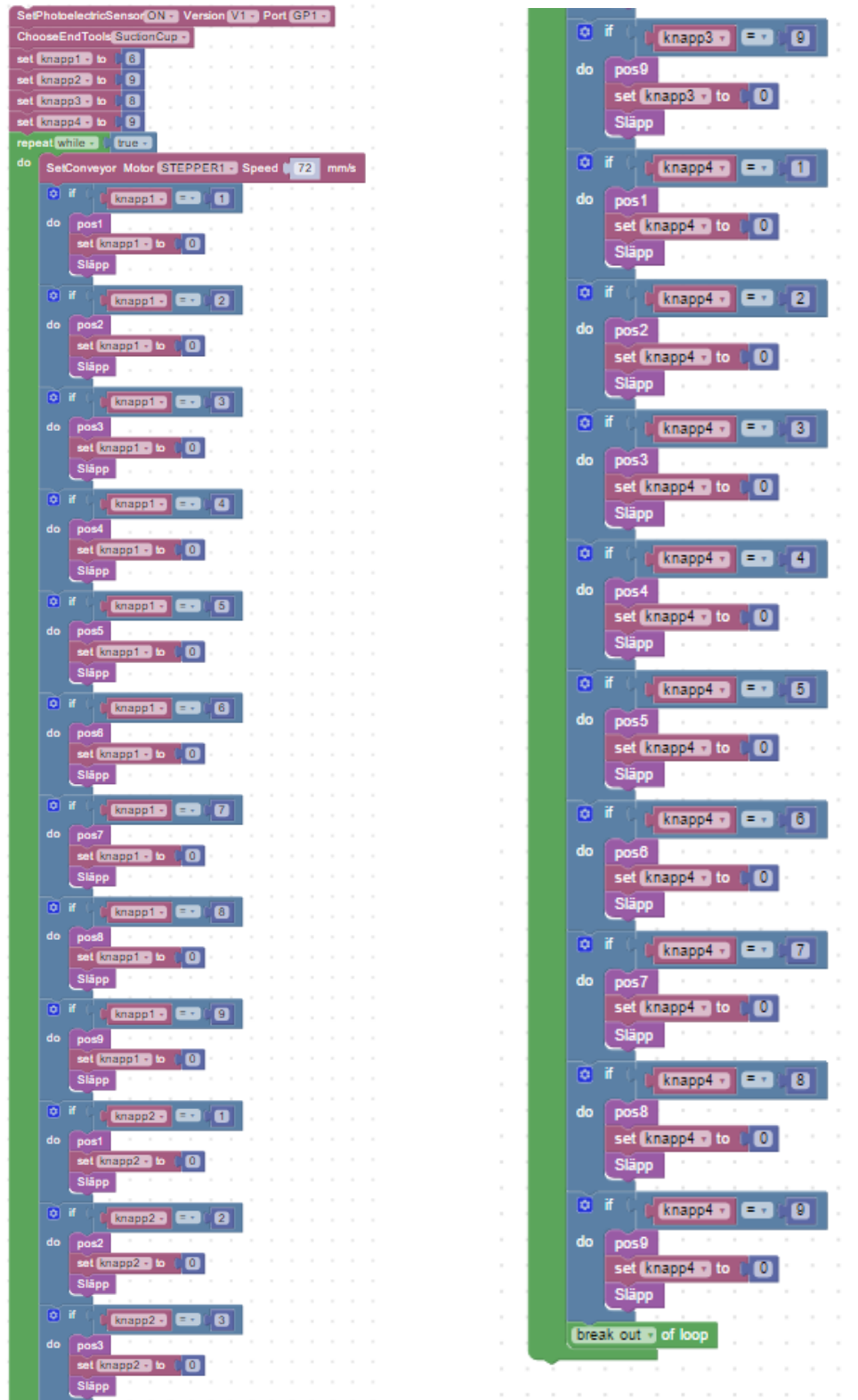


## Bilaga 6: Ritning på modulstoppet



## Bilaga 7: Blockly program, en loop

Detta visar större delen av en loop i programmet blocky, vilket får Dobot Magician att plocka upp 4 knappar till en modul.



## Bilaga 8: Programkod för Dobot Magician

Detta är programmeringen för Dobot Magician. Koden nedan är robotens baskod och första loop. Denna loop upprepas sedan 12 gånger, där variabeln (koordinaten för de olika magasinerna) ändras utefter ordena. Sista 11 looparna har medvetet valts bort i rapporten pga upprepning och för att koden blev totalt 85 sidor lång.

```
knappknapp1 = None
knapp2 = None
knapp3 = None
knapp4 = None

"""plocka knapp
"""
def pos1():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 1, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-64.05), 36.76, 60.37, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 77, 35, 59, current_pose[7], 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 21, 0, 0, 1)

"""plocka knapp
"""
def pos4():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 149.4, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""
def pos7():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 328.5, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)
```

```

"""plocka knapp
"""

def pos2():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 28.74,
    1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""

def pos5():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 209.7,
    1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""

def pos8():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 387.5,
    1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""

def pos3():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 91.4, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

```

```

"""plocka knapp
"""

def pos6():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 269.1,
    1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""

def pos9():
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPWithLCmdEx(api, 1, current_pose[0], current_pose[1], current_pose[2], current_pose[3], 447, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, (-56.5), 38.6, 55.1, current_pose[7], 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-60), 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 60, 0, 1)
    current_pose = dType.GetPose(api)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 4, 82.9, 39.2, 54.7, current_pose[7], 1)

"""plocka knapp
"""

def Sl_C3_A4pp():
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, (-43), 0, 1)
    dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 0, 1)
    dType.SetPTPCmdEx(api, 7, 0, 0, 43, 0, 1)

dType.SetInfraredSensor(api, 1, 0, 0)
dType.SetEndEffectorParamsEx(api, 59.7, 0, 0, 1)
knapp1 = 6
knapp2 = 9
knapp3 = 8
knapp4 = 9
while True:
    STEP_PER_CRICLE = 360.0 / 1.8 * 10.0 * 16.0
    MM_PER_CRICLE = 3.1415926535898 * 36.0
    vel = float(72) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
    dType.SetEMotorEx(api, 0, 1, int(vel), 1)
    if knapp1 == 1:
        pos1()
        knapp1 = 0
        Sl_C3_A4pp()
    if knapp1 == 2:
        pos2()
        knapp1 = 0
        Sl_C3_A4pp()

```



```

if knapp1 == 3:
pos3()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 4:
pos4()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 5:
pos5()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 6:
pos6()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 7:
pos7()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 8:
pos8()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp1 == 9:
pos9()
knapp1 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 1:
pos1()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 2:
pos2()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 3:
pos3()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 4:
pos4()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 5:
pos5()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 6:
pos6()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 7:
pos7()
knapp2 = 0

```

```

Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 8:
pos8()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp2 == 9:
pos9()
knapp2 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 1:
pos1()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 2:
pos2()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 3:
pos3()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 4:
pos4()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 5:
pos5()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 6:
pos6()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 7:
pos7()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 8:
pos8()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp3 == 9:
pos9()
knapp3 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 1:
pos1()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 2:
pos2()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 3:
pos3()

```

```
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 4:
    pos4()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 5:
    pos5()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 6:
    pos6()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 7:
    pos7()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 8:
    pos8()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
if knapp4 == 9:
    pos9()
knapp4 = 0
Sl_C3_A4pp()
break
```

## Bilaga 9: Programkod för UR3

Program

Robot Program

Loop

MoveL

start

Gripper Move26% (1)

overknappband

Wait clampmaxptn=HI

Wait: 0.5

Wait clampmaxptn=HI

nertillknapp

Gripper Close (1)

overmedknapp

overmodul1

knapp1mont

Gripper Move25% (1)

overknapp1

Gripper Close (1)

tryckner1

upp1

Gripper Move25% (1)

overknappband

Wait clampmaxptn=HI

Wait: 0.5

Wait clampmaxptn=HI

nertillknapp

Gripper Close (1)

overmedknapp

overmodul2

knapp2mont

Gripper Move26% (1)

knp2fardig

Gripper Close (1)

tryckner2

upp2

Gripper Move25% (1)

overknappband

Wait clampmaxptn=HI

Wait: 0.5

Wait clampmaxptn=HI

nertillknapp

Gripper Close (1)

overmedknapp

overmodul3

knapp3mont

Gripper Move26% (1)

knp3fardig

Gripper Close (1)

tryckner3

upp3

Gripper Move25% (1)

overknappband

Wait clampmaxptn=HI  
Wait: 0.5  
Wait clampmaxptn=HI  
nertillknapp  
Gripper Close (1)  
overmedknapp  
overmodul4  
knapp4mont  
Gripper Move26% (1)  
over4  
Gripper Close (1)  
tryckner4  
upp4  
Gripper Move26% (1)  
mittmodul  
Gripper Close (1)  
lyftmodul  
overavfart  
ov2  
Gripper Move26% (1)  
start

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2020

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**