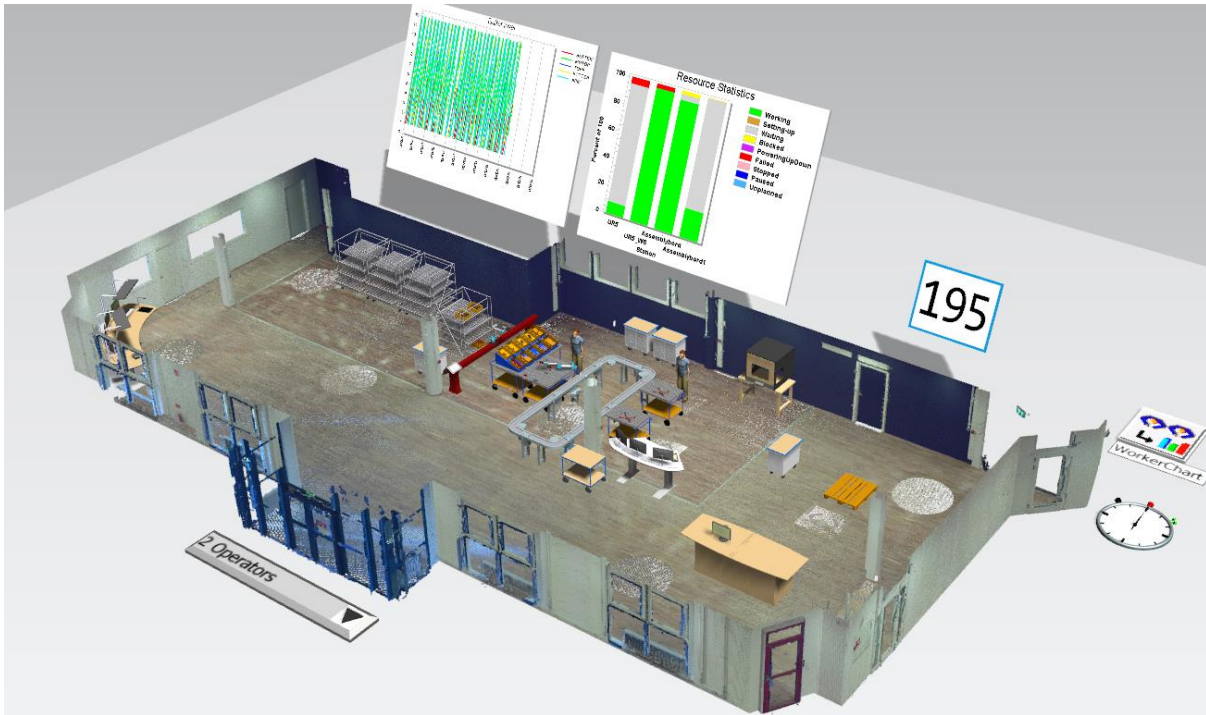




# CHALMERS



## Digital modell av Stena Industry Innovation Laboratory i Plant Simulation

Digital model of the Stena Industry Innovation Laboratory in Plant Simulation

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik

**Alexander Liljenvald**  
**Richard Palm**

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Avdelningen för Produktionssystem  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sweden, 2018  
Examinator: Åsa Fash Berglund



# Digital modell av Stena Industry Innovation Laboratory i Plant Simulation

Examensarbete inom högskoleingenjörsexamen Maskinteknik

ALEXANDER LILJENVALD  
RICHARD PALM

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
*Avdelningen för Produktionssystem*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sweden, 2018

Digital modell av Stena Industry Innovation Laboratory i Plant Simulation  
ALEXANDER LILJENVALD  
RICHARD PALM

© Alexander Liljenvald, Richard Palm, Sverige 2018

Examensarbete 2018  
Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Avdelningen för Produktionssystem  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige

Omslag: Rendering av slutprodukt

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Göteborg, Sverige 2018

# FÖRORD

Denna rapport är skriven av Alexander Liljenvald och Richard Palm som en del av vårt examensarbete på högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med Siemens PLM och Stena Industry Innovation Laboratory under vårterminen 2018.

## Tack till

Våra handledare Jonatan Berglund och Johan Nordling, för den entusiasm ni visat för projektet och för all bra kritik och hjälp vi fått under projektets gång. Även ett tack till Åsa Fasth-Berglund och Sven Ekered, för att alltid ha ställt upp med att svara på frågor och bistå med hjälp och material som krävdes för projektet.

Vi vill även tacka alla som jobbat med Stena Industry Innovation Laboratory, för den öppenhet ni har haft gentemot oss.

Slutligen vill vi tacka de människor från Siemens som också har hjälpt oss och låtit oss vara i era lokaler i Mölndal



# Sammanfattning

Syftet med examensarbetet var att skapa en grund att stå på för kursen IMS020 - Simulering och Visualisering av Produktionssystem vid Chalmers Tekniska Högskola, som ska använda mjukvaran Plant Simulation, som är en del av Siemens PLMs mjukvarulösningar för digital tillverkning. Plant Simulation är ett mjukvaruverktyg för att testa existerande och potentiella produktionslösningar för att identifiera och proaktivt arbeta med problem i produktion eller för att bygga helt nya produktionslösningar.

Kursen kommer att låta simulera en liten fabrik som ska ingå i det nya testlabbet Stena Industry Innovation Laboratory. Labbet kommer att drivas av Chalmers Tekniska högskola på campus Lindholmen, och är en praktisk testbed för både akademien och företag att testa nya innovativa lösningar för Industrie 4.0. Industrie 4.0 anses vara den fjärde industriella revolutionen där IT- och maskintekniska lösningar sammanfogas till ett system så att fabriker ska kunna vara självorganiserande.

Projektet inleddes med att göra en sammanställning av den utrustning som finns att tillgå i SII-Lab, vilken produkt som skulle produceras och dess ingående delar, samt vilka av dessa detaljer som det redan fanns CAD-modeller på och vilka som behövde skapas eller tas från tredje part. En layout för produktionslinan bestämdes genom att bedöma den grad av komplexitet som kunde tillåtas för ändamålet modellen skulle användas till, det vill säga som kursmaterial.

För att ge modellen en bättre visuell representation byttes all grafik ut på de grundobjekt som används vid modellskapande i Plant Simulation till dess motsvarighet i SII-Lab. Dessa objekt sparades i ett separat bibliotek för att kunna användas som studiematerial. För att ytterligare förstärka den visuella korrektheten samt att säkerställa att vår layout kunde byggas upp fysiskt i SII-Lab importerades ett punktmoln. Slutligen byggdes logiken för modellens styrsystem upp med villkorsbaserade skript och objekt som kontrollerade materialflödet.

Som verifikation av modellens funktions och som konceptbevis ställdes två fall upp för produktionsparametrarna och kördes med tydliga resultat för hur förändringar i produktionssystemet gör genomslag i flödet. Man kunde se att en konstruktionsförbättring som halverade monteringsstiden i en station inte ökade utgående volym i samma grad som man kunde förvänta sig utan att tillsätta ytterligare resurser senare i produktionskedjan.

## Summary

The goal with this thesis work was to create a foundation for the course, IMS020 - Simulering och Visualisering av produktionssystem, at Chalmers University of Technology, that are to use the software Plant Simulation, that is a part of Siemens PLMs software solution portfolio for digital manufacturing. Plant Simulation is a software solution used to test existing or potential production solutions to identify and proactively work with issues in the production or to build brand new production solutions.

The course will digitally simulate a small factory, that are to be a part of the new testlab Stena Industry Innovation Laboratory. The lab is to be run by Chalmers University of Technology on campus Lindholmen and is to be a practical testbed for both academia and the industry to test new innovative solutions for Industrie 4.0. Industrie 4.0 is considered the fourth industrial revolution where IT and machine technology work together in a system so that factories can be self-organizing.

The project started with doing a compilation of the equipment that are available in SII-Lab, what product that are to be manufactured and its components. In addition a compilation of which equipment and components already had CAD-models and which that had to be made or taken from a third party. A layout for the production line was decided on by judging the complexity that could be allowed for the application the model was to be used, in this case as course material.

To give the model a better visual representation the graphics were exchanged for all of the basic components used when creating a model in Plant Simulation to their equivalent in the SII-Lab. These objects were then saved in a separate library to allow them to be used as course material. To further enhance the visual representation and to ensure that our layout could be built in the physical SII-Lab a point cloud was imported into the model. Finally the logic controls for the model were built with condition based scripts and by objects to control the material flow.

As verification of the models function and as a proof of concept two cases were set up for the production parameters and were run with clear results as to how changes in the production system gives a rippling effect throughout the whole system. It was clear that a construction improvement that halved the assembly time for one station did not increase the output to the same extent as to be expected without implementing additional resources further down the production chain.

## **BETECKNINGAR**

CAD - Computer-aided design

FIFO - "First in, first out"

SII-Lab - Stena Industry Innovation Laboratory

Plant Simulation - En mjukvara som används för att modellera och simulera en process eller produktionssystem.

OEE - Overall Equipment Efficiency

Kanban - Beställningssystem för material, omnämns och används ofta i Lean sammanhang



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Mål.....	1
1.4 Avgränsningar .....	2
1.5 Precisering av frågeställning .....	2
2. Teoretisk bakgrund.....	3
2.1 Digital modell/Digital tvilling .....	3
2.2 Discrete event simulation .....	3
2.3 Punktmoln.....	4
3. Teknisk bakgrund.....	5
3.1 Tecnomatix Plant Simulation .....	5
3.1.1 Beskrivning av grundobjekt.....	6
4. Metod .....	8
5. Genomförande.....	10
5.1 Kartläggning av laborationsutrustning och lokal.....	10
5.1.1 Komponenter för produkt i fabriken s produktion.....	10
5.1.2 Materialtillförsel för fabriken.....	11
5.1.3 UR5-robot .....	12
5.1.4 UR3-robot .....	14
5.1.5 Gripdon .....	15
5.1.6 FlexLinkbana .....	15
5.1.7 Layout .....	16
5.1.8 Processbeskrivning .....	18
5.2 CAD-modellering av laborationsutrustning .....	18
5.2.1 CAD-modellering av drönare.....	19
5.2.2 CAD-modellering av flödesställ .....	20
5.2.3 CAD-modellering av UR5-robot .....	21
5.2.3 CAD-modellering av UR3-robot .....	22
5.2.4 CAD-modellering av FlexLinkbana.....	22
5.2.5 CAD-modellering av gripdon .....	23

5.2.6 CAD-modellering av materialfasader och enkel låda .....	24
5.3 Import av grafik i Plant Simulation .....	25
5.3.1 Grundläggande utbyte av grafik för objekt .....	25
5.3.2 Utbyte av grafik och kinematik för robot .....	29
5.3.3 Byte av grafik på FlexLink-bana .....	32
5.3.4 Import av punktmoln till Plant Simulation .....	35
5.4 Styrsystem .....	36
5.5 Simuleringsfall.....	37
6. RESULTAT .....	39
7. DISKUSSION .....	40
8. MILJÖ .....	41
9. ETIK.....	41
10. SLUTSATS .....	42
KÄLLOR.....	43
BILAGOR .....	44
Bilaga 1 .....	44
Bilaga 2 .....	45

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

På Chalmers campus Lindholmen utvecklas just nu Chalmers nya Stena Industry Innovation Laboratory (SIILab). I SIILab kommer det bland annat finnas en liten fabrik i form av en FlexLink-cell, och av denna vill Siemens och Chalmers ha en digital modell. Digitala modeller har stor potential för att förenkla och utveckla morgondagens produktionssystem, då dessa kan användas för att simulera flöden och göra produktionssystem mer flexibla. Utifrån en digital modell kan exempelvis slutsatser dras om nya robotar eller utökade produktionslinor lönar sig och vilka möjligheter de ger, innan de i själva verket köps in eller byggs ut. Med denna modell som Siemens och Chalmers efterfrågar skall en potentiell lösning tas fram i form av layout och nivå av automation. Modellen kommer därefter att användas för att visa studenter och industri hur digitala modeller kan användas och vilken potential de ger.

## 1.2 Syfte

Grundtanken med detta projekt är att utveckla en digital modell av Chalmers SII-laboratorium inom examensarbetets tidsram, vilket sträcker sig från 15/1-12/6 2018, med fokus på att göra modellen lämplig för utbildnings- och demonstrationssyften med tillhörande komponentbibliotek. Det huvudsakliga syftet är att ha skapat en digital modell som sedan kan återskapas i Chalmers SII-laboratorium, både visuellt och funktionsmässigt, vid färdigställandet av projektet. Eftersom modellen är tänkt att användas i utbildningssyften skall modellen vara i sin uppbyggnad tillåtande för förändringar för att på så sätt kunna simulera olika situationer.

## 1.3 Mål

Vid slutförandet av examensarbetet ska en digital modell av en fabrik ha presenterats vid invigningen av SII-Lab. Ett bibliotek av den utrustningen som återfinns i SII-Lab ska vara redo för användning i Plant Simulation samt en grundmodell för att användas i kursen IMS020 - Simulering och Visualisering av produktionssystem vid Chalmers Tekniska Högskola.

## 1.4 Avgränsningar

Examensarbetet kommer behandla det som rör framtagandet av en funktionell digital fabrik. Ett bibliotek för de maskiner och fasta installationer som finns i SII-Lab ska skapas för mjukvaran Plant Simulation för att kunna användas i utbildningssyfte och för förändringar av layouten. Modellen kommer vara en representativ illustration över hur en fabrik med samma utrustning och layout kommer att bete sig i avseende om utgående produkter, OEE och materialflöde. Den kommer inte vara en exakt mall för logiken, dvs. PLC-kod för de olika maskinerna. Den kommer inte heller att beskriva ett standardiserat arbetssätt för operatörerna. För modellen så antas obegränsat inflöde av material och obegränsad efterfrågan på producerad produkt.

## 1.5 Precisering av frågeställning

- Skapa en digital modell till invigningen av SII-Lab den 8 maj 2018.
- Bygga en digital modell som går att göra förändringar i med hänsyn till den tilltänkta målgruppens kunskap om programmet.
- Skapa ett komplett bibliotek med SII-Labs inventarier i FlexLink-cellen.
- Visuell representation genom punktmolnsmodell och korrekt grafik för all utrustning som ingår i den tilltänkta FlexLink-cellen.
- Programmet har stöd för att mäta i princip allt som har med produktion att göra, detta examensarbete kommer fokusera på genomflöde och linjebalansering.

## 2. Teoretisk bakgrund

Följande avsnitt ger en teoretisk bakgrund kring centrala ämnen som har behandlats då projektet har genomförts.

### 2.1 Digital modell/Digital tvilling

En digital tvilling är en virtuell kopia av en verklig produkt, process eller system. De ger organisationer och företag möjligheten att testa olika produktionsscenario, layouter och arbetssätt. Inte bara i design och planeringsfasen utan att även under drift för att optimera produktionen och som ett diagnostiseringsverktyg. Detta utan att göra intrång på den faktiska fabriks produktion med hög precision på den resulterande datan. Det resulterar i, till relativt låg kostnad, möjligheten att verifiera tänkta investeringar, produktionsplaner och arbetssätt på ett verklighetstroget sätt [1].

### 2.2 Discrete event simulation

Discrete event simulation är en metod för mjukvaror att simulera långt in i framtiden på kort tid i verkligheten. År i simuleringen kan vara så kort som ett antal minuter i verkligheten. Plant Simulation använder sig av den här metoden.

Det fungerar genom att programmet endast simulerar förändringar i systemets tillstånd och lägger på den tid som det tog för systemet att byta från ett tillstånd till ett annat. Som exempel så ligger en låda i början av en konvejer, det är tillstånd ett. Den ska transporteras till slutet av samma konvejer vilket är tillstånd två. Under transport mellan början och slutet på konvejern händer ingenting med systemets tillstånd. Det mjukvaran då gör att den endast registrerar tidpunkterna för tillstånd ett och tillstånd två och lägger till tiden det tar för lådan att färdas den givna distansen genom konvejerparametrerna hastighet och längd. Data för simuleringen sparas därför som diskreta värden i tiden istället för kontinuerliga värden i tiden. På så sätt blir simuleringshastigheten mycket hög då det blir en rad matematiska operationer som endast sker vid tillståndsförändringar i systemet [2].

## 2.3 Punktmoln

I den digitala modellen skall ett punktmoln av SII-Lab finnas med. Ett punktmoln är en 3D-skanning som består av ett stort antal punkter. Ett punktmoln fås genom att göra skanningar av en geometri. Instrumentet placeras ut på ett antal platser för att få en 360° inkludering av det objekt där mätdata önskas. Mätningen fungerar genom att laser skjuts mot objektets yta och reflekteras tillbaka vilket genererar en punkt i rymden. Detta görs ett stort antal gånger tills hela objektet har blivit kartlagt. En mjukvara tar sedan alla mätvärden tillsammans med mätparametrar och pusslar ihop bilderna till en fullständig bild av objektet med väldigt hög geometrisk noggrannhet [3]. För det punktmoln som finns i detta projekt har Faro Focus 3Ds utrustning använts.

### **3. Teknisk bakgrund**

Följande avsnitt ger en bakgrund kring hur den teoretiska bakgrunden omsätts i praktiken för projektet.

#### **3.1 Tecnomatix Plant Simulation**

Mjukvaran Tecnomatix Plant Simulation är en av många mjukvaror som används för att undersöka existerande eller planerade processer. En styrka med en sådan mjukvara ligger i att på ett verklighetstroget sätt återskapa de förhållanden processen i fråga har eller kommer att ha. På så sätt erbjuds möjligheten att göra förändringar i processmiljön, utan att påverka eller störa befintlig produktion, eller ha behovet av att investera i utrustning för att göra provkörningar. Det ger en klar fördel för företag då de konstant kan testa nya sätt att förbättra sina processer innan de implementeras. På så sätt fås ett bättre beslutsunderlag vid införskaffandet av ny utrustning eller för processförändringar. Programmet erbjuder även möjlighet att simulera långt fram i tiden på kort tid tack vare användningen av Discrete event simulation. Detta tillsammans med att mycket av den statistik som kan samlas in med dagens maskiner går att flytta in i simuleringsmodellen, erbjuder möjligheten att med stor precision prediktera en ändrings genomslag för processens output för flera år fram i tiden.

### 3.1.1 Beskrivning av grundobjekt

Följande avsnitt förklarar närmare vad de objekt som använts till i modellen används till och hur de fungerar och kan kompletteras med skript. Alla objekt går att ställa in med olika parametrar, exempel på parametrar som kan ändras är bearbetningstider, chans för att fel ska uppstå och omställningstid. Objekten kopplas sedan samman med ett verktyg som heter “connector” för skapa en simuleringmodell.

#### 1. *Source:*

Förser en simuleringmodell med material.

#### 2. *Drain:*

Tömmer en simuleringmodell på material eller färdiga produkter.

#### 3. *AssemblyStation:*

Monterar komponenter till en ny komponent eller färdig produkt.

#### 4. *DismantleStation:*

Monterar isär en produkt eller underprodukt till dess underliggande beståndsdelar.

#### 5. *PickAndPlaceRobot:*

En fabriksrobot som förflyttar komponenter eller material från en plats till en annan. Den tar inte hänsyn till sina geometriska begränsningar för förflyttningen utan kommer flytta materialet även om dess hämtning- och avlämningsplatser ligger utanför dess fysiska arbetsområde. Ansvaret för att det inte överskrids ligger hos användaren.

#### 6. *Buffer:*

En buffert med ett visst antal platser. Hit kan material komma och ligga i väntan på att få komma in i nästa station i produktionsprocessen.

#### 7. *Conveyor:*

Ett transportband som kan formas och ställas in med lämplig storlek. Förflyttar material, komponenter eller produkter längs en bana med en viss hastighet.

#### 8. *Worker:*

En operatör som kan ställas in för att utföra olika arbetsuppgifter. Exempelvis kan en Worker bära komponenter mellan stationer och utföra reparationer av fabriksutrustning.

#### 9. *Workerpool:*

Förser en simuleringmodell med operatörer i ett definierat antal.

#### 10. *Workstation:*

Definierar en arbetsyta där en operatör kan utföra ett arbete.

### 11. Broker:

Förmedlar modellens behov, som reparation eller förflyttning av material, till Workerpool så att den kan förse modellen med de resurser som behövs.

### 12. Chart:

Används för att presentera statistik för de operativa enheterna i modellen. För projektets simuleringsmodell har Chart använts för att visa hur stor andel av tiden som går åt till att arbeta, vara ur funktion, vänta och vara blockerad från att utföra en ny arbetsuppgift.

### 13. Method:

Alla simuleringsmodeller kan kompletteras med skript som används för att påverka modellens logiska uppbyggnad. Exempelvis att när en buffert är full ska den enhet som förser bufferten med material vänta tills den blir tom innan den skickar nytt material. Detta krävs ofta då en logik som ligger som standard sällan överensstämmer helt korrekt med det beteende som modellen önskas ha.

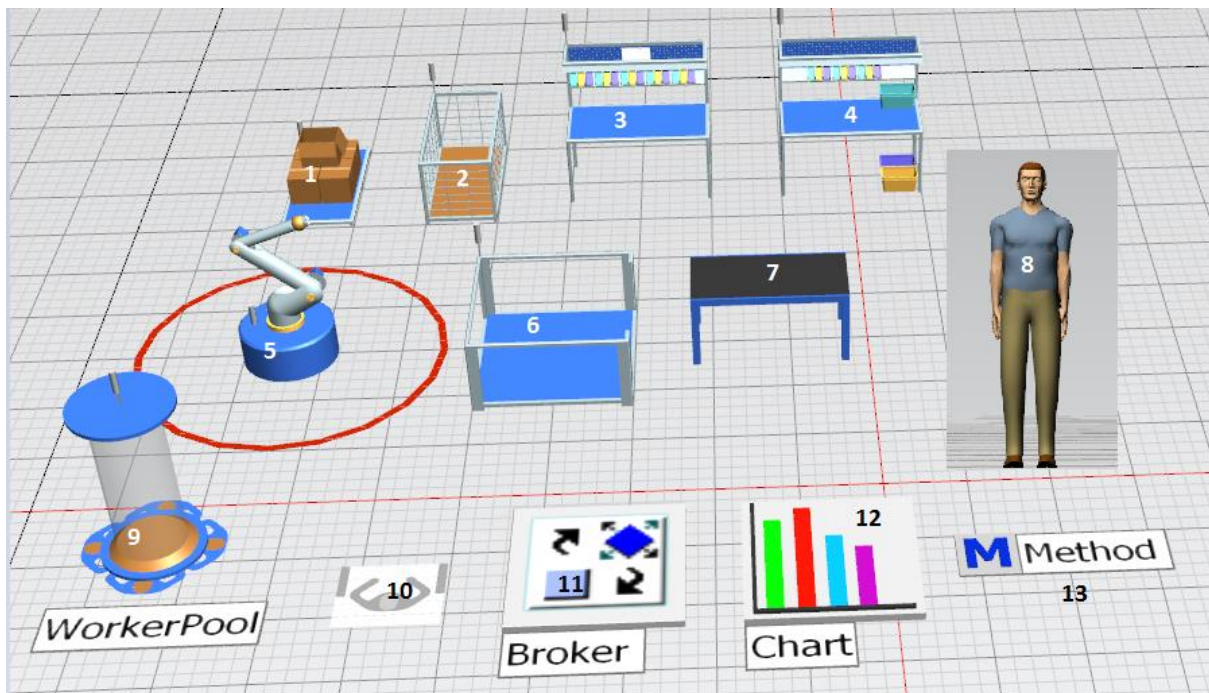


Fig 3.1. Grundobjekt i Plant Simulation som beskrivs i avsnitt 3.1.1

## 4. Metod

I figur 4.1 nedan visas hur projektet har angripits. Projektet startar med att dokumentera vad för utrustning och materiel som ska finnas i SII-Labs FlexLink-cell. Detta görs genom verbal kommunikation med Åsa Fasth-Berglund, projektledare för SII Lab, och Sven Ekered, driftansvarig av SII Lab, samt egna observationer. Utifrån det arbetet tas en lämplig layout för produktionssystemet fram som ska stå till grund för hur den digitala modellen ska byggas upp. Layouten beskriver hur materialet är tänkt att flöda genom fabriken och hur utrustning är tänkt att användas. Till detta bestäms om och vilka uppgifter en mänsklig operatör kan tänkas göra.

Nästa fas i projektet fokuserar på CAD-modellering av SII-Labs material och utrustning. Vid tredimensionell visualisering av objekt i ett flödesprogram som Plant Simulation stämmer oftast standardgrafiken inte stämmer överens med de verkliga objekten. En digital modell för ett produktionssystem behöver istället ha verklighetstroga 3D-objekt och därför CAD-modelleras den utrustning som ingår i SII-Lab. För att spara tid för projektet görs en undersökning av vilken utrustning och vilka komponenter som finns CAD-modellerade sedan tidigare. En stor portion av SII-Labs utrustning har Sven Ekered CAD-modellerat för tidigare projekt, medan en del objekt finns tillgängliga på olika hemsidor. För resterande objekt görs egna CAD-modeller.

Parallellt med med projektets första faser läggs en del tid på att lära känna programmet Plant Simulation. Enklare tester av flödesystem ställs upp med programmets standardobjekt för att få en förståelse för hur de samverkar, och för att få en känsla för dess potential. Det undersöks även hur programmets grafikkomponenter för standardobjekten är uppbyggda. Allteftersom CAD-modellerna blir färdigställda går arbetet vidare till att skapa ett komplett bibliotek med objekt som använder grafik för SII-Labs utrustning. Till detta tillkommer undersökningar och rådfrågning från erfarna Plant Simulation-användare om vad som är möjligt och rimligt att göra, dels via internetforum och dels via anställda på Siemens PLM i Mölndal.

För grafikobjekt som använder kinematik är grafikutbyte mer komplext. En digital modell ska ge en så realistisk bild som möjligt, och därför är det av stort värde om animationer även kan ändras så att de stämmer överens med det verkliga produktionssystemet. Det görs därför efterforskning kring möjligheter för detta.

SII-Labs lokaler är tänkta att visualiseras med ett punktmoln i den digitala modellen. En punktmolnsskanning har gjorts sedan tidigare av personal som jobbar kring SII-Lab. För att det ska fungera för Plant Simulation görs efterforskning kring hur det importeras och hanteras i programmet. För att ge en pedagogisk visualisering av fabriken används ett punktmoln av lokalen där taket är avkapat så att en användare enklare kan se hur den digitala modellen av fabriken blir uppställd.

I den sista fasen av projektet byggs en digital modell av fabriken upp inför SII-Labs invigning den 8 maj 2018. I denna modell används de nya objekten med utbytt grafik av SII-Labs

utrustning. Objekten kopplas samman med logisk styrningen och får attribut och tidsinställningar enligt undersökningar som görs.

För att visa den digitala modellens potential körs fabriken för att mäta genomflöde och linjebalansera. För att utforska de konsekvenser en förändring i produktionssystemet kan få, görs olika simuleringsfall med olika antal operatörer och olika monteringsstider. Detta med syfte att se hur systemets totala output förändras, vilket i verkligt fall skulle kunna ge underlag för en fabriks investeringsbeslut.

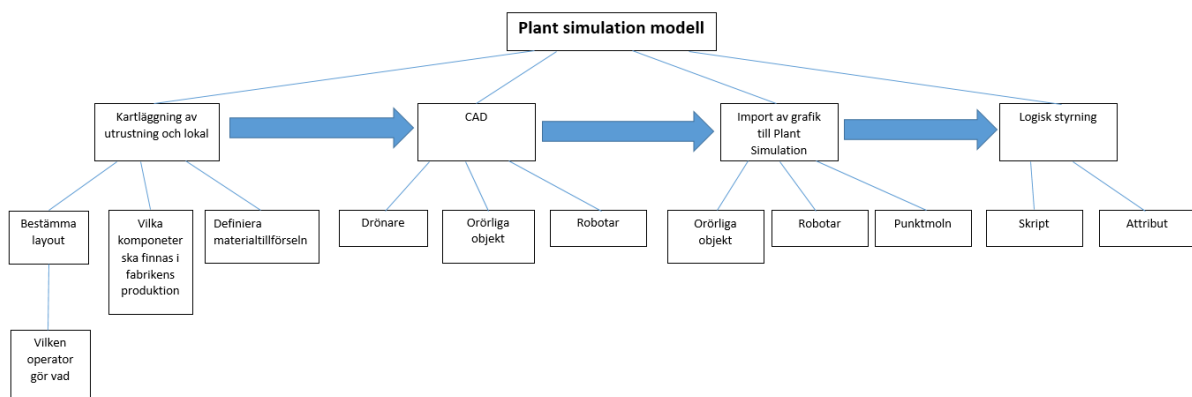


Fig 4.1. Processkarta för arbetsgången

## **5. Genomförande**

Följande avsnitt beskriver hur projekt har genomförts och information som har noterats för att nå fram till resultatet.

### **5.1 Kartläggning av laborationsutrustning och lokal**

Vid starten av projektet lades tid på att samla in information om vilka komponenter och vilken utrustning som skulle ingå i fabriken. För dessa togs det även reda på vilka som det behövdes skapa CAD-modeller av och vilka som Sven Ekered hade tillgång till, alternativt vad som kunde hittas hos tredje part.

#### **5.1.1 Komponenter för produkt i fabriken**

Anders Forslund, forskare på avdelningen för Produktutveckling, Institutionen för industri- och materialvetenskap på Chalmers Tekniska Högskola, har ansvaret för den tänkta produkten som ska tillverkas på fabriken. Produkten är en drönare av modell DJI Flamewheel F450, vilket består av en bottenplatta, topplatta, fyra armar med varsin motor respektive propeller, batteri, skruvar och diverse elektroniska komponenter. Bottenplattan, topplattan och de fyra armarna är tänkta att tillverkas av egna 3D-skrivare, som är tillverkningsutrustning som bygger på lager-på-lager princip vid tillverkning, i SII-labets lokaler. Övriga komponenter skall beställas av externa leverantörer.

### 5.1.2 Materialtillförsel för fabriken

Materialtillförseln för fabriken kan antas vara oändlig enligt projektets avgränsningar, och materialet skall tillföras via flödesställ som arbetar enligt FIFO-princip. Dessa består av en hylla där hyllplanen har en viss lutning. Lutningen har som funktion att låta material rulla fram på små hjul till ett stopp i form av en tröskel vid hyllplanets kant. Material som ställs fram först får därmed rulla fram först till kanten. I figur 5.1 nedan visas hur flödesställena i SII-Lab är konstruerade.



*Fig 5.1. Flödesställena som ska ingå i fabriken.*

### 5.1.3 UR5-robot

Enligt Sven Ekered skall en av SII-labets robotar åka längs en bom för att plocka material från flödesställen. Efter att ha plockat material ska roboten sedan kunna åka längs bommen med materialet för att leverera detta vidare [4]. I figur 5.2 nedan visas bommen (rödfärgad) som en robot ska åka längs.

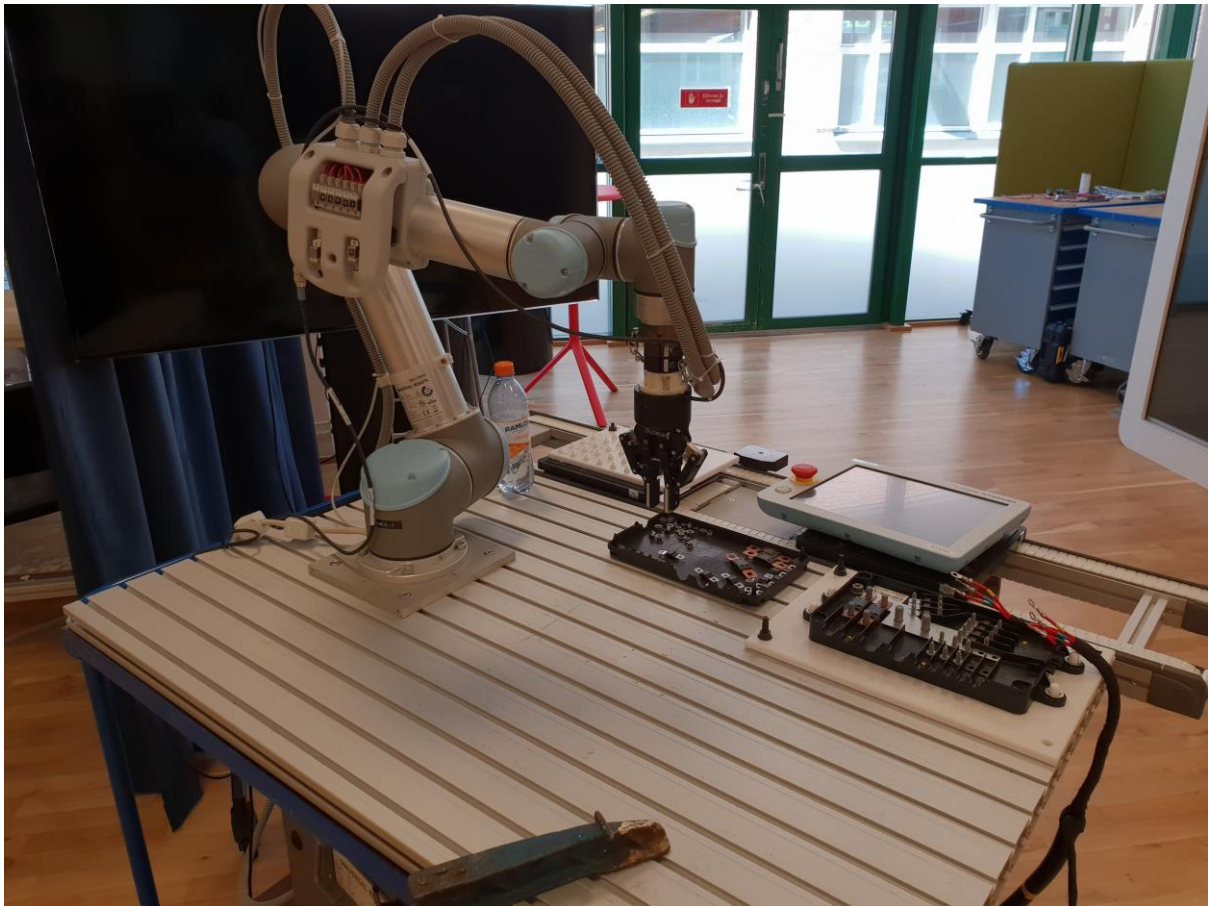


*Fig 5.2. Bomen (rödfärgad) som en av fabriken robotar ska åka längs.*

Roboten som ska användas för bomen är en kollaborativ robot av typen UR5 Robot som tillverkas av Universal Robots. En kollaborativ robot är formad och anpassad för att kunna arbeta i närheten av människor utan att riskera att en människa skadar sig. Traditionella robotar är annars ofta inhägnade i sina arbetsceller för att inte skada människor, eftersom de annars inte har något annat säkerhetssystem för att upptäcka och motverka att människor kan skadas.

En UR5-robot har sex axlar som kan roteras och tillsammans kan de uppnå en räckvidd på 850 mm från dess fästpunkt. Den angivna nyttolasten är 5 kg, och roboten kan anpassas för olika sorters gripdon [5].

Vid besökstillfällena har SII-labets UR5-robot varit fastmonterad och installerad på en arbetsvagn. I figur 5.3 nedan visas hur denna robot ser ut, och UR5-roboten har under projektets gång aldrig varit monterad på den tänkta bomen. Data och funktion för den planerade anordningen har därför inte helt kunnats fastställas.

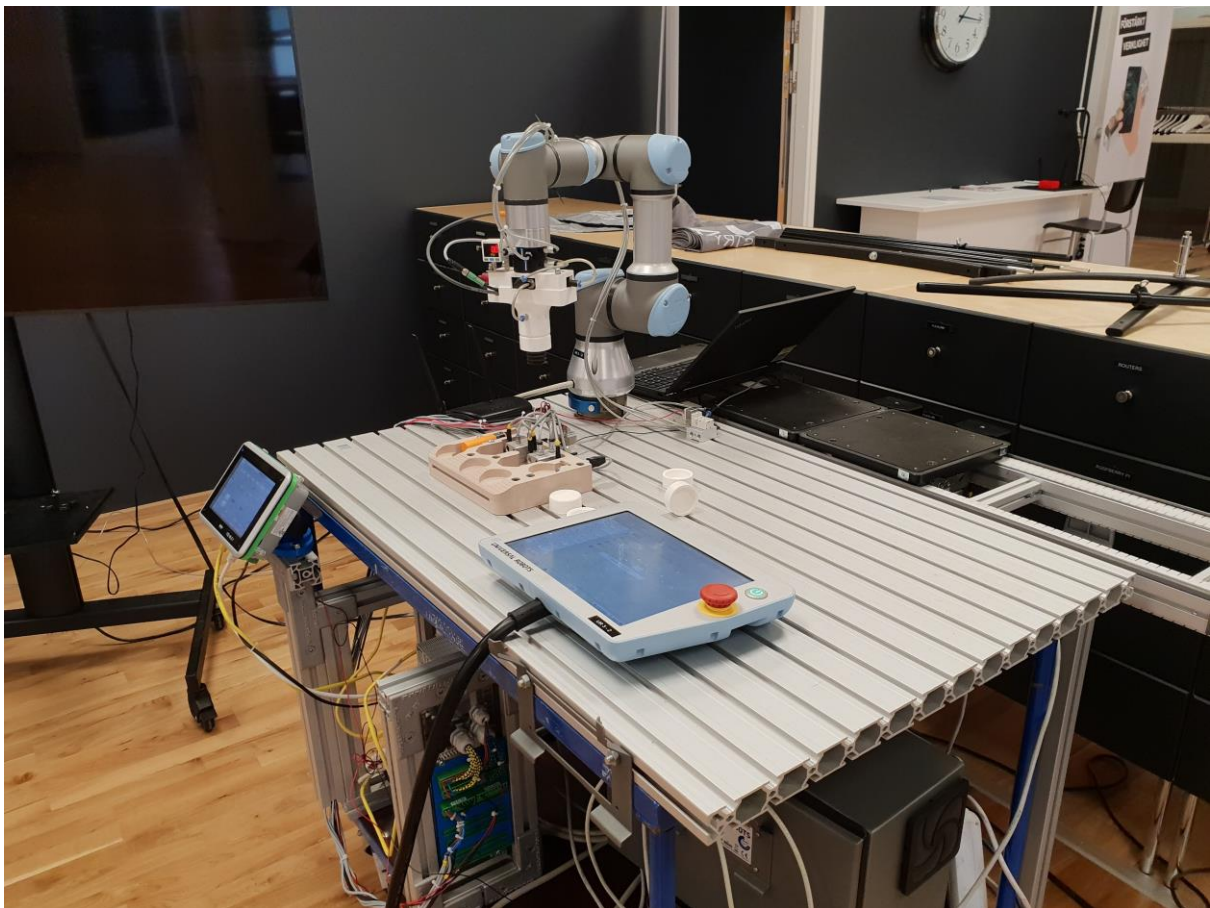


*Fig 5.3. UR5-roboten som ska ingå i fabriken*

### 5.1.4 UR3-robot

I SII-Lab fanns det även två robotar av typen UR3 Robot som tillverkas av Universal Robots. Denna modell är väldigt lik UR5-modellen, skillnaden är i stort sett endast storleken. UR3-roboten kan bära lägre nyttolast på 3 kg och har en kortare räckvidd på 500 mm från dess fästpunkt. Även denna har sex axlar som robotens armar kan rotera kring, är anpassad för att kunna arbeta kollaborativt med människor och kan anpassas för olika sorters gripdon [6].

Vid besökstillfällena har UR3-robotarna varit monterade på varsin arbetsvagn. Dessa två anordningar har under projektets gång använts till andra projekt och har i detta projekt inte funktionsanalyserats närmare. Data och funktion för de planerade UR3-anordningarna har därför inte helt kunnats fastställas.



*Fig 5.4. En av de två UR3-robotarna som ska ingå i fabriken.*

### 5.1.5 Gripdon

Alla tre robotar som ska ingå i fabriken är utrustade med varsitt gripdon. För att spara tid i projekt ansågs det vara tillräckligt om CAD-modellerna för projektet använde samma sorts gripdon då de endast ska bidra med en grafisk representation. Gripdonet som var monterat på UR5-roboten ansågs vara lämplig och var av modellen 2-finger 85, och visas i figur 5.5 . Denna tillverkas och säljs av Robotiq som specialiserar sig inom området robotverktyg.



*Fig 5.5. Gripdonet för UR5-roboten.*

### 5.1.6 FlexLinkbana

En av SII-Labs mest centrala komponenter är en liten transportbana tillverkad av FlexLink. Denna kan anses kunna bidra med två funktioner. Huvudfunktionen är att förflytta komponenter och material mellan olika stationer genom att låta dem åka med på transportbandet. Som tilläggsfunktion verkar transportbandet också som en buffert vilket gör materialflödet stabilare för störningar som när exempelvis en operatör arbetar långsammare än den tänkta taktiden. Banan ska stå på golvet och har ett slutet arrangemang som gör att material transporteras cykliskt runt banan.

Vid besökstillfällena har SII-labets FlexLinkbana aldrig varit i drift, och data och funktion för den planerade anordningen har därför inte helt kunnat fastställas.



*Fig 5.6. Fabrikens transportbana tillverkad av FlexLink.*

### **5.1.7 Layout**

För att bekanta sig med Plant Simulation testades olika potentiella layouter som kunde vara av intresse för fabrikscellen och hur den skulle fungera för att möta målgruppen. Det slutade med att arbeta utifrån en layout, enligt figur 5.7, som kretsar kring FlexLink-banan och innehåller en UR5-robot, en UR3-robot och en till två slutmonteringsstationer. UR5 roboten plockar material ur ett flödesställ och UR3 roboten monterar alla strukturella delar samt motorer, medan slutmonteringen med en mänsklig operatör står för kabeldragning och montering av propellrarna. De tre stationerna arbetade i ett rakt flöde med buffertar mellan varje station. Materialet i flödesstället antas vara obegränsad, materialfasad för plock fungerar enligt två-binge system med elektronisk kanban som beställningsmetod. Konvejern har dubbel funktion, huvudfunktionen är att förflytta material och den sekundära funktionen är att fungera som en buffert mellan robot- och slutmontering.

Detta val gjordes då det ansågs, med tanke på modellens syfte, att användas senare i utbildning så skulle en modell med flera parallella monteringsstationer kräva mycket mer bakomliggande logik och kodning som inte skulle vara passande för att göra förändringar i för den kunskapsnivå som bedömdes att en elev hinner skaffa sig inom programmet under en 7,5hp kurs.

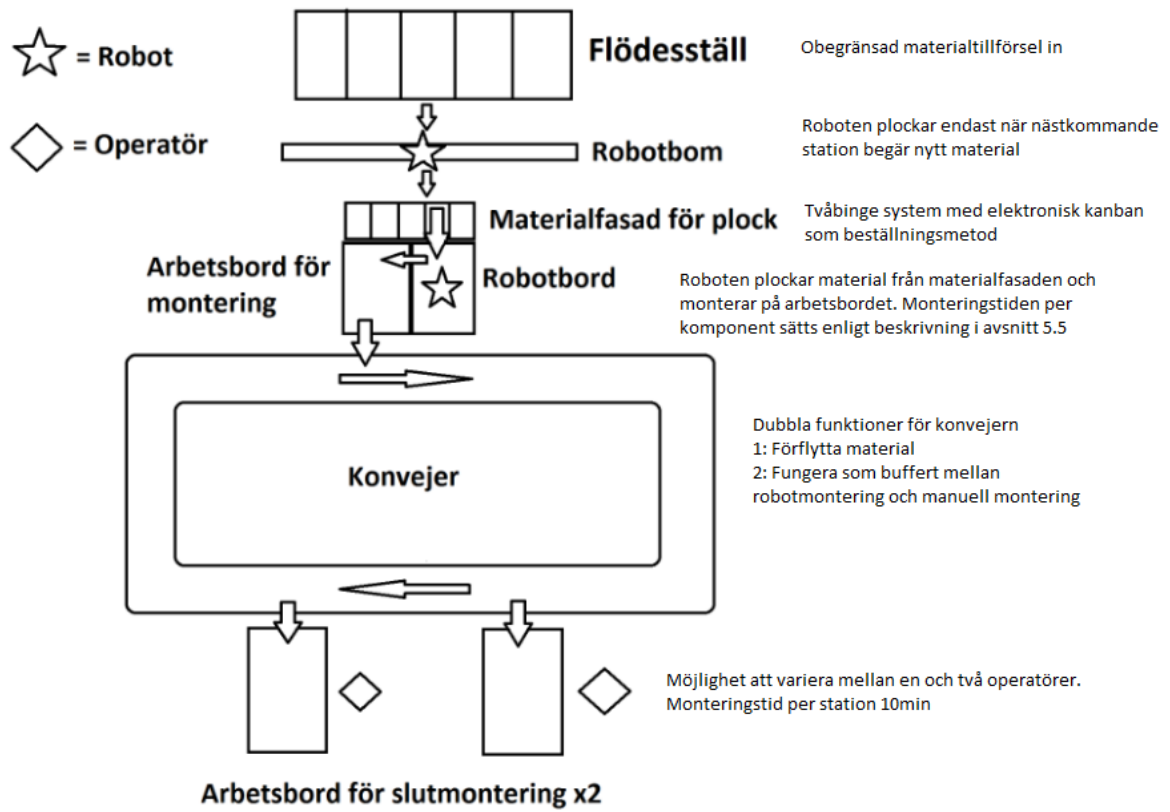


Fig 5.7. Figuren visar en skiss över en fabriks layout samt kort beskrivning av flödet.

### **5.1.8 Processbeskrivning**

Simuleringen ämnar att visa på de systemtäckande effekter en förändring på en station får för flödet och antalet utgående produkter för en produktion som har ett antal parametrar att förhålla sig till.

Grundtanken i denna modell är att material tillförs bara när det efterfrågas av efterkommande station, så kallad "pull-strategi", för att undvika en systemlåsning. För att exemplifiera beskrivs här relationen mellan monteringsrobot och plockrobot.

Roboten som flyttar material från flödesstället till materialfasaden gör det endast när ett villkor uppfyllts, nämligen att det endast finns en, av möjliga två, lådor med material kvar.

Hade så kallad "push-strategi" använts hade följande med stor sannolikhet inträffat.

Föregående station fyller på framförvarande oberoende av lagernivå, roboten försöker fylla på material ett, men att det inte finns någon plats i materialfasaden samtidigt som material fyra tar slut. Resultatet blir att eftersom roboten inte själv kan prioritera om kommer att stå med material ett utan att kunna lämna av det, samtidigt som det redan liggande materialet inte kan bli förbrukat då material fyra är slut vilket leder till att hela produktionen stannar.

När väl logiken för systemet är fastställd kan produktionsparametrar som tid, benägenhet till maskinstopp, reparationstid och antalet operatörer varieras. Beroende på ingående parametrar kommer systemet få varierande effektivitet med avseende på utgående produkter.

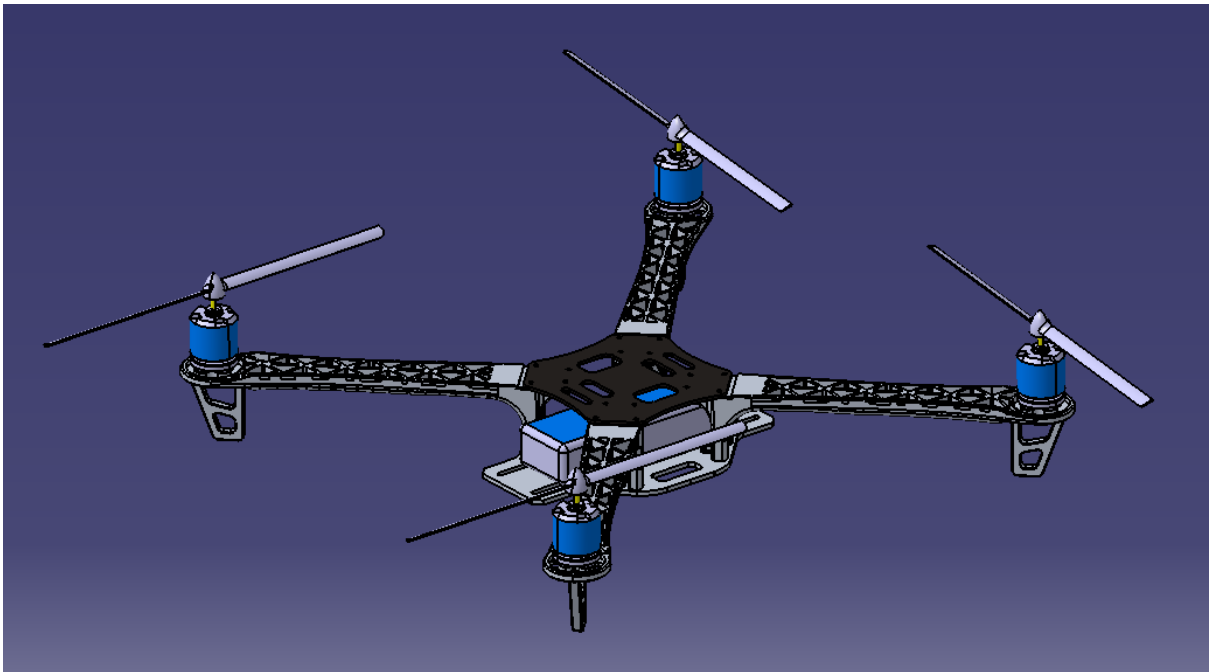
Detta beskrivs mer i detalj i avsnitt 5.5

## **5.2 CAD-modellering av laborationsutrustning**

Av den kartlagda fabriksutrustningen undersöktes vad Sven Ekered hade CAD-modellerat sedan tidigare. För de komponenter som inte fanns tillgängliga gjordes istället efterforskning på diverse hemsidor för att på så sätt försöka bespara tid i projektet. Utrustning som inte gick att finna som CAD-modeller gjordes det egna modeller av i CATIA V5, då denna mjukvara är bekant att arbeta med.

### 5.2.1 CAD-modellering av drönare

På hemsidan <https://grabcad.com> hittades en länk där en användare sedan tidigare har laddat upp en närmast komplett CAD-modell av en drönare av modellen F450. I figur 5.8 visas en denna CAD-modell. Den består av en bottenplatta, topplatta, batteri, armar, motorer och propellrar, men är utan andra detaljer som skruvar och elektroniska komponenter. Med upphovsmannens, Alaa Elhamrawy, tillstånd [7] valdes denna eftersom att den ansågs vara lämplig för projektet. CAD-modellen sparades i en fil där drönarens komponenter sitter ihop för att bilda en komplett drönare, samt i filer där drönarens komponenter ligger som enskilda CAD-modeller.



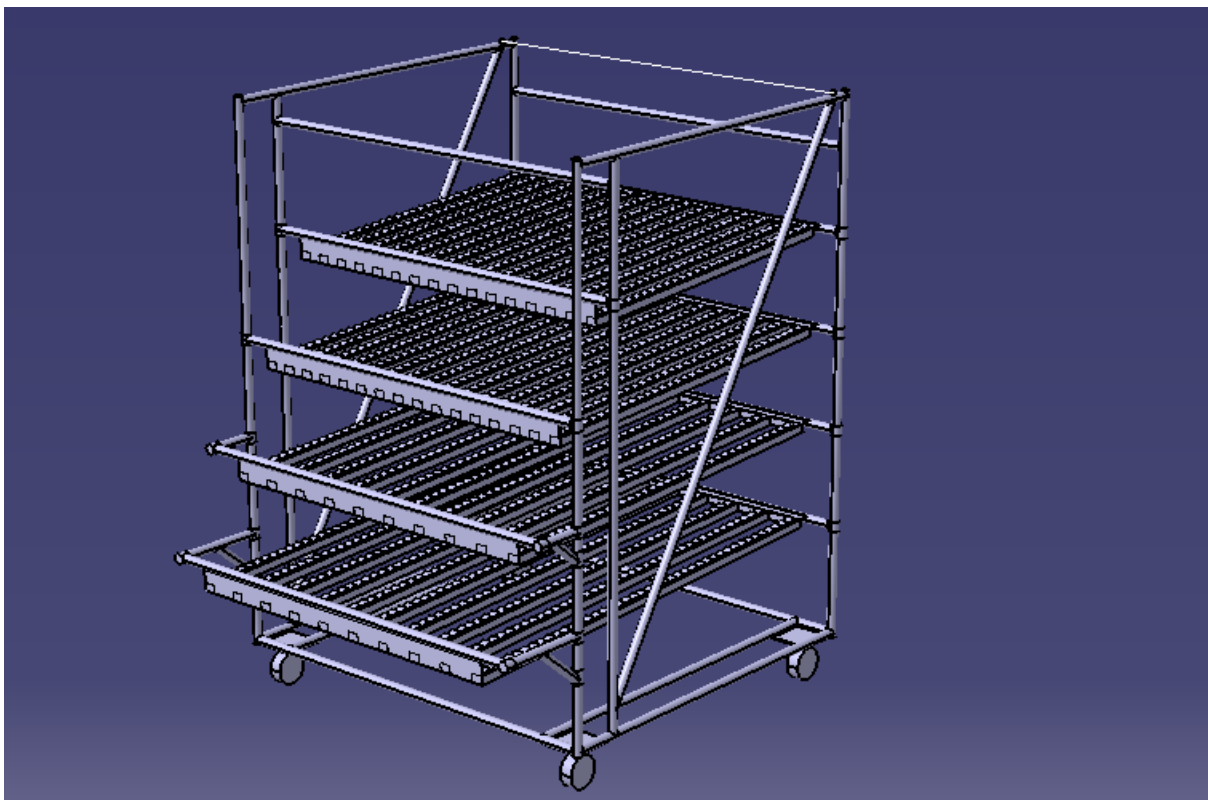
*Fig 5.8. CAD-modell av drönaren.*

## 5.2.2 CAD-modellering av flödesställ

Flödesställerna i SII-Lab finns som två varianter där enda skillnaden är bredden. Ingen av dem fanns tillgängliga som CAD-modeller och eftersom att storleksskillnaden i bredd endast var ett par centimeter och det fanns fler flödesställ av den bredare varianten, valdes endast denna till att CAD-modelleras.

Innan CAD-modellering startades gjordes en del längdmätningar av flödesställningen. Det lades ingen större vikt på att mäta ut alla mått med särskilt stor noggrannhet då CAD-modellen endast skall ge en enklare grafisk representation, och behöver därmed inte vara detaljerad för andra sorters analyser. De flesta måtten avrundades därför till närmaste halva centimeter, medan några mått, som exempelvis rörtjockleken, avrundades till närmaste millimeter.

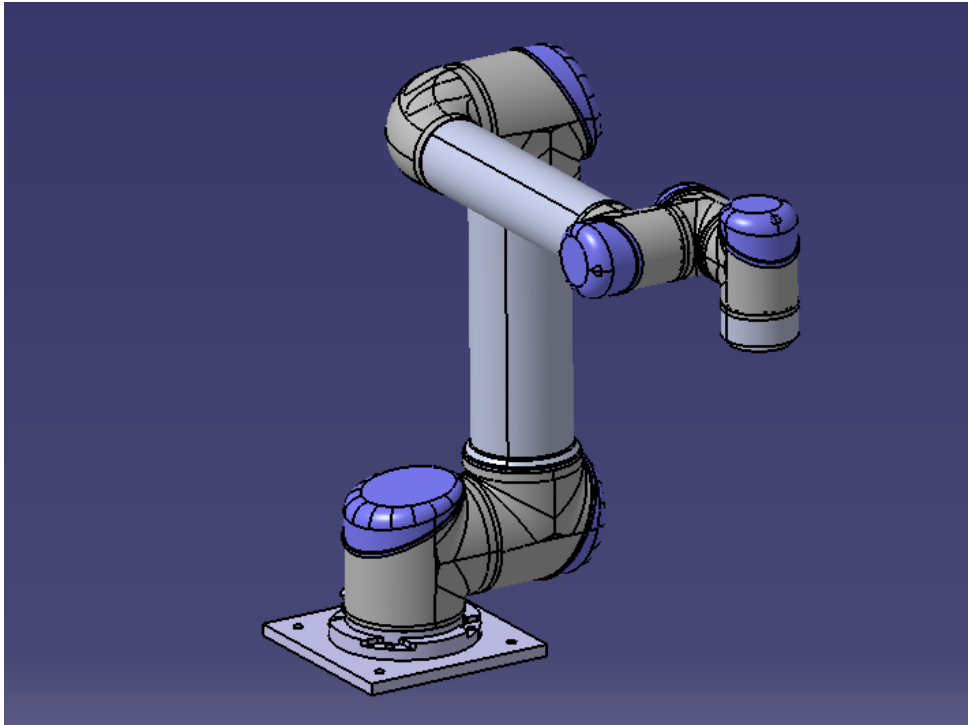
Flödesställningarnas hyllplan har som funktion att vid behov och för ett visst ändamål kunna anpassas och justeras till en viss höjd och lutning. För att vid behov även kunna göra liknande ingrepp på ett smidigt sätt i en CAD-modell, skapades hyllplanen och ramen i enskilda CAD-komponenter. Vid behov finns möjligheten att även lägga till eller ta bort enstaka hyllplan, men för detta projekt valdes att bygga upp flödesstället med hyllplanen arrangerade som flödesställerna i SII-Lab. I figur 5.9 visas en CAD-modell av flödesstället som sparades för senare användning i projektet.



*Fig 5.9. CAD-modell av flödesställ.*

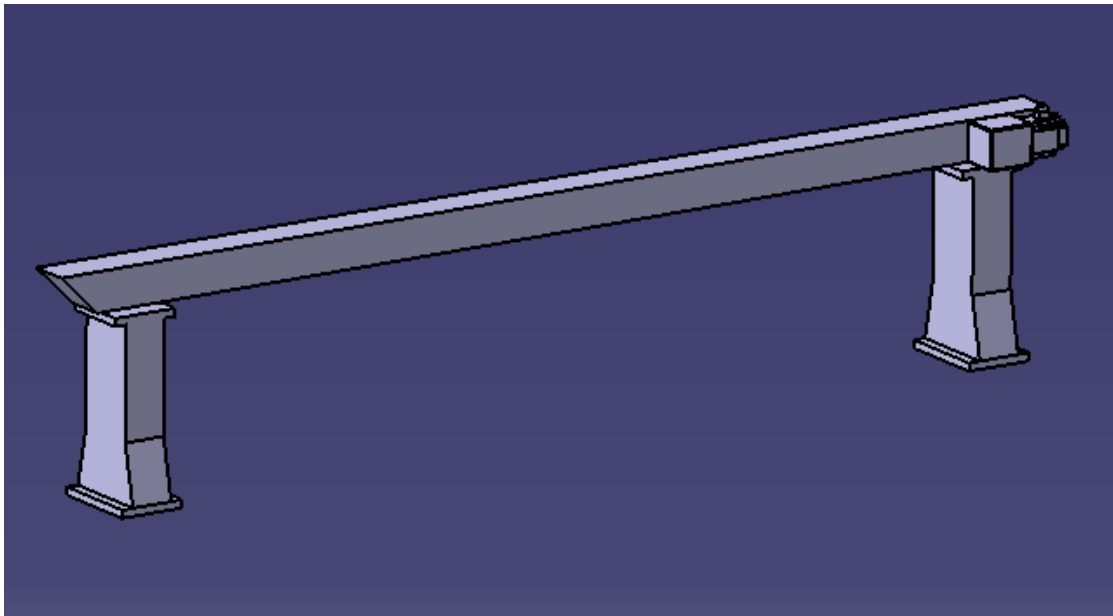
### 5.2.3 CAD-modellering av UR5-robot

För UR5-roboten i SII-Lab hade Sven Ekered en komplett samling av CAD-modeller som motsvarade robotens komponenter. Dessa komponenter var endast färdiga som enstaka bitar av roboten, som dess armar, monteringsfäste och gripdonsfäste. Detta utnyttjades senare i Plant Simulation då armarna inte ska vara stelt infästa i varandra, utan skall kunna tillåtas röra sig enligt vissa krav. I figur 5.10 visas hur CAD-komponenterna tillsammans bildar en UR5-robot.



*Fig 5.10. Fullständig monterad UR5-robot i CATIA V5.*

Bomen som UR5-roboten skulle sättas fast på hade Sven Ekered också en CAD-modell av. Modellen var dock något felaktig då den var en modell av en tidigare anordning och vid en närmare granskning av modellen gick det att se att höjden på bomen var felaktig och att benen som bomen stod på därmed var felaktiga. Det gjordes därför försök med att redigera CAD-modellen, men utan framsteg då modellen var uppbyggd på ett sådant sätt som det saknades teknisk kunskap och tid för att lyckas med. Det beslutades istället att skapa en ny CAD-modell från grunden, med motsvarande storlek på bomen och med nya ben där höjden istället blev korrekt. På begäran av Sven Ekered gjordes det även en enkel CAD-modell som motsvarar bomens motor. Denna modell monterades ihop med bomen och sparades tillsammans i en ny CAD-modell som visas i figur 5.11.



*Fig 5.11. CAD-modell av robotbom med motor.*

### **5.2.3 CAD-modellering av UR3-robot**

För SII-Labs UR3-robotar hade Sven Ekered även tillgång till ett liknande bibliotek med CAD-modeller av robotens huvudkomponenter. Eftersom att UR3-robotarna var monterade på varsin arbetsvagn ansågs det lämpligt att de även skulle monteras med det i CAD-modellerna. En CAD-modell på arbetsvagnarna, som Sven Ekered sedan tidigare har skapat, kompletterar detta. De komponenter som skall kunna röra sig fritt i förhållande till varandra används senare i Plant Simulation på ett liknande sätt som för UR5-roboten.

### **5.2.4 CAD-modellering av FlexLinkbana**

Sven Ekered hade även tillgång till en CAD-modell för transportbanan som används i SII-Lab. Modellen bestod från början endast av själva banan utan några andra komponenter, så efter en begäran kompletterade Sven Ekered CAD-modellen så att den även hade ben med rätt längd.

### 5.2.5 CAD-modellering av gripdon

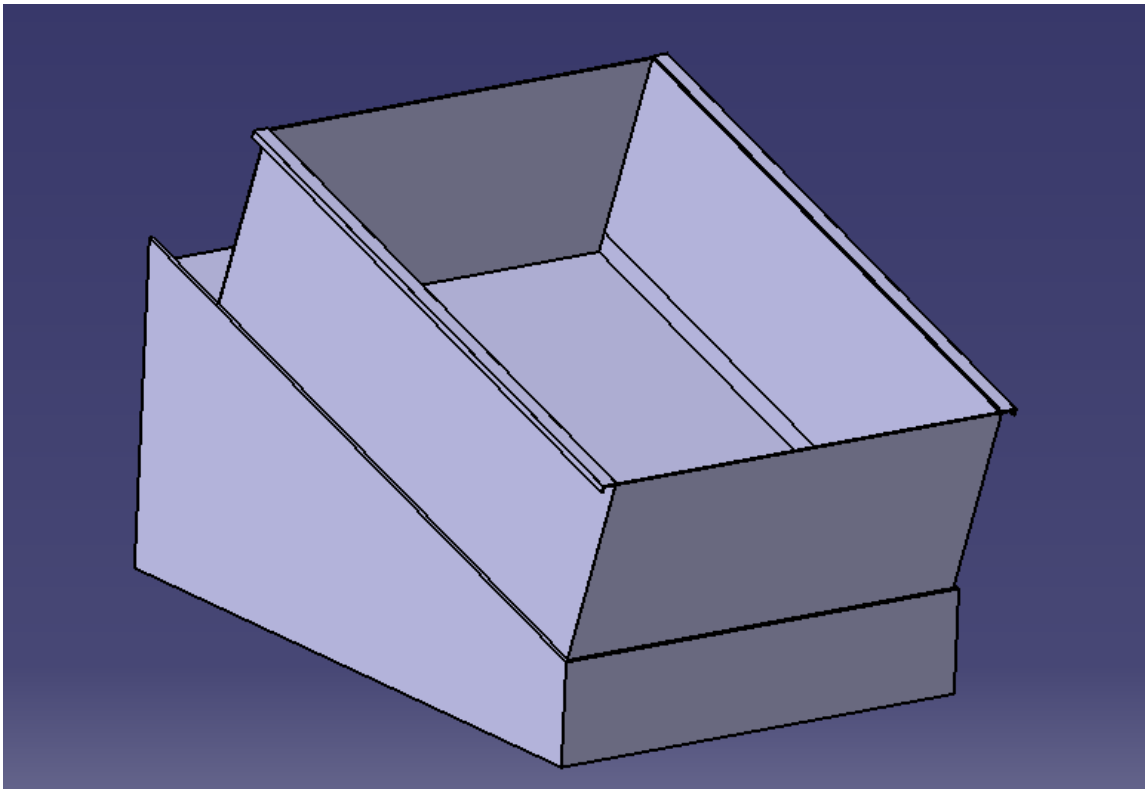
En CAD-modell för gripdonet fanns att tillgå på tillverkaren Robotiqs hemsida, och användes med deras medgivande [8]. Denna kompletterades med en CAD-modell av en adapter för UR5- och UR3-robotar som också fanns tillgänglig på tillverkarens hemsida.



*Fig 5.12. CAD-modell av gripdonet 2-finger 85 från Robotiq.*

### 5.2.6 CAD-modellering av materialfasader och enkel låda.

De materialfasader som ansågs kunna vara nödvändiga för fabriken, skall ge den monterande roboten möjlighet att enkelt plocka det nödvändiga materialet som behövs vid en produktion. Eftersom att dessa materialfasader inte fanns ansågs det lämpligt att dessa kunde CAD-modelleras med en simpel konstruktion. Konstruktionen formades som ett enkelt två-buffertssystem som med ett lutande plan förlitar sig på att gravitation förflyttar material. Dessa materialfasader skulle enkelt kunna tillverkas om så skulle önskas när den verkliga fabriken tas i drift. För att, vid simulering i Plant Simulation, få en verklighetstrogen animering CAD-modellerades även en enkel låda där materialkomponenter kan förflyttas i. I figur 5.13 visas hur materialfasaden och lådan CAD-modellerades.



*Fig 5.13. En CAD-modell för en tänkt materialfasad, här tillsammans med en enkel låda.*

## 5.3 Import av grafik i Plant Simulation

En mjukvara som Plant Simulation har som huvudsakligt syfte att analysera processflöden. En enkel metod för att göra detta och snabbt få fram resultat är att göra det med 2D-objekt som representerar ett produktionssystemets olika funktioner. För att hjälpa ovana användare att lättare förstå vad som sker i en flödessimulering kan Plant Simulation även visa en tredimensionell motsvarighet utifrån en 2D-modell. Om en 3D-modell ändå kan anses avvika mer än önskat från den verkliga miljön och de verkliga objekten, kan mjukvaran låta 3D-objekt istället använda grafik som stämmer bättre överens med de verkliga objekten. Det är därför intressant att se hur långt en modell i slutändan liknar och även animeras enligt ett verkligt scenario. All sorts grafikutbyte kräver mer jobb. Det kan däremot resultera i att tilltala fler användare och åskådare som kan få bättre förståelse, vilket kan bidra till bättre slutsatser.

### 5.3.1 Grundläggande utbyte av grafik för objekt

I Plant Simulation finns det flera metoder för att lägga in eller byta ut grafik för objekt. En del av CAD-modellerna har skapats med CATIA V5 och har således sparats i CATIA V5:s filformat *.CATPart* respektive *.CATProduct*. Dessa format stöds inte av Plant Simulation, och kopior sparades därför i filer som Plant Simulation kunde läsa.

Ett format som användes i början av projektet var *.stp*. Detta format ansågs vara ett smidigt alternativ då både CATIA V5 kunde spara i det och Plant Simulation kunde öppna det, samt att en del av de färdiga CAD-modellerna redan var sparade i detta format. En nackdel som däremot uppstod var att CAD-modellernas färg inte sparades. I Plant Simulation blev alla CAD-modeller vita och färg fick istället läggas på i efterhand.

En efterforskning i projektets senare fas uppdagade att filformatet *.jt* är att föredra. Detta filformat hanteras inte av CATIA V5, men med programmet *JT Bi-Directional Translator for CATIA V5*, som tillhandahålls av Siemens, konverteras *.CATPart* och *.CATProduct* till formatet *.jt*. En fördel med detta format jämfört med *.stp* var att färger från CATIA V5-filerna bibehölls, och *.jt*-formatet användes därför vid import av grafik under resterande del av projektet.

Att byta grafik på alla orörliga objekt utfördes relativt enkelt i Plant Simulation. För att kunna skapa ett objekt i Plant Simulations komponentbibliotek som har ersatts med önskad grafik, gjordes först en kopia av ett objekt i komponentbiblioteket. I figur 5.14 nedan visas hur en kopia av objektet *AssemblyStation* har bildats och ska öppnas i ett 3D-fönster.

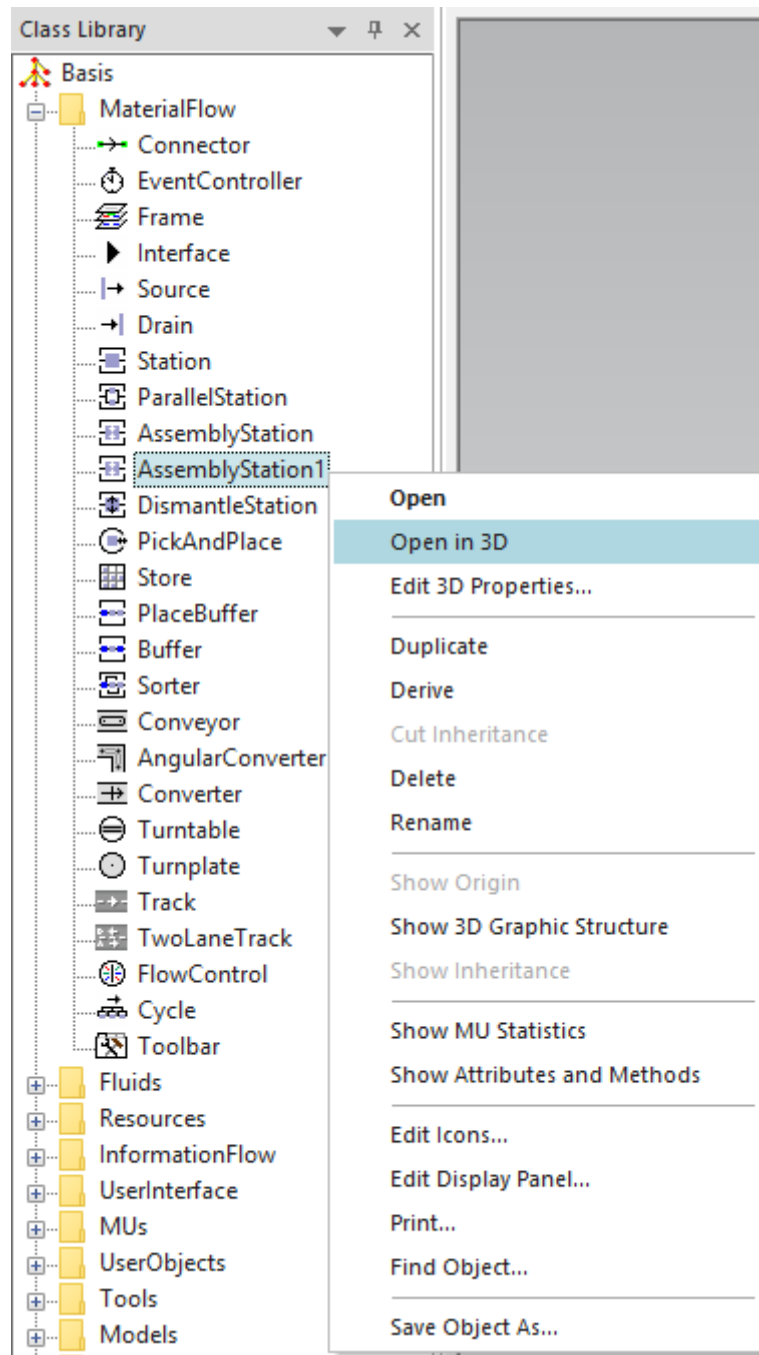
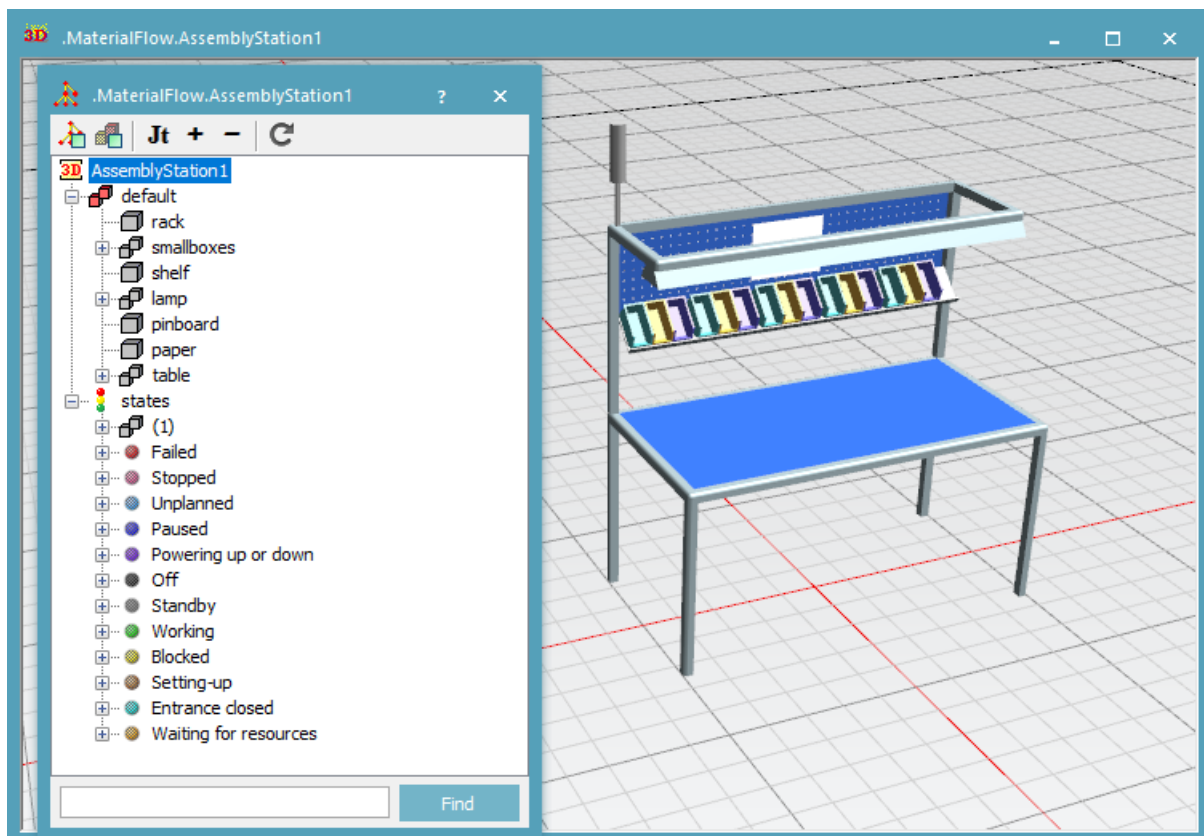


Fig 5.14. En kopia av objektet *AssemblyStation* öppnas i ett eget 3D-fönster.

När ett objekt öppnas i ett eget 3D-fönster kan olika grafiska inställningar göras. I figur 5.15 nedan visas ett fönster i Plant Simulation med standardgrafiken för en AssemblyStation. I figuren syns även en ruta över dess grafikstruktur.



*Fig 5.15. Ett programfönster med standardgrafik av AssemblyStation visas tillsammans med en ruta med tillhörande grafikstruktur.*

Genom att infoga en CAD-modell till 3D-fönstret kommer CAD-modellen i fortsättningen alltid att ligga i detta objekt i Plant Simulation och därmed även finnas med i grafikstrukturen. I figur 5.16 nedan visas hur ett objekt av typen AssemblyStation har fått sin standardgrafik ersatt och positionerad med grafik av en arbetsvagn. I fönstret visar en ruta den nya grafikstrukturen där standardgrafikens komponenter har raderats och det enda som återstår är en komponent med arbetsvagnens grafik. Denna grafik gäller därför för alla objekt i simuleringens modell som använder denna kopia av AssemblyStation.

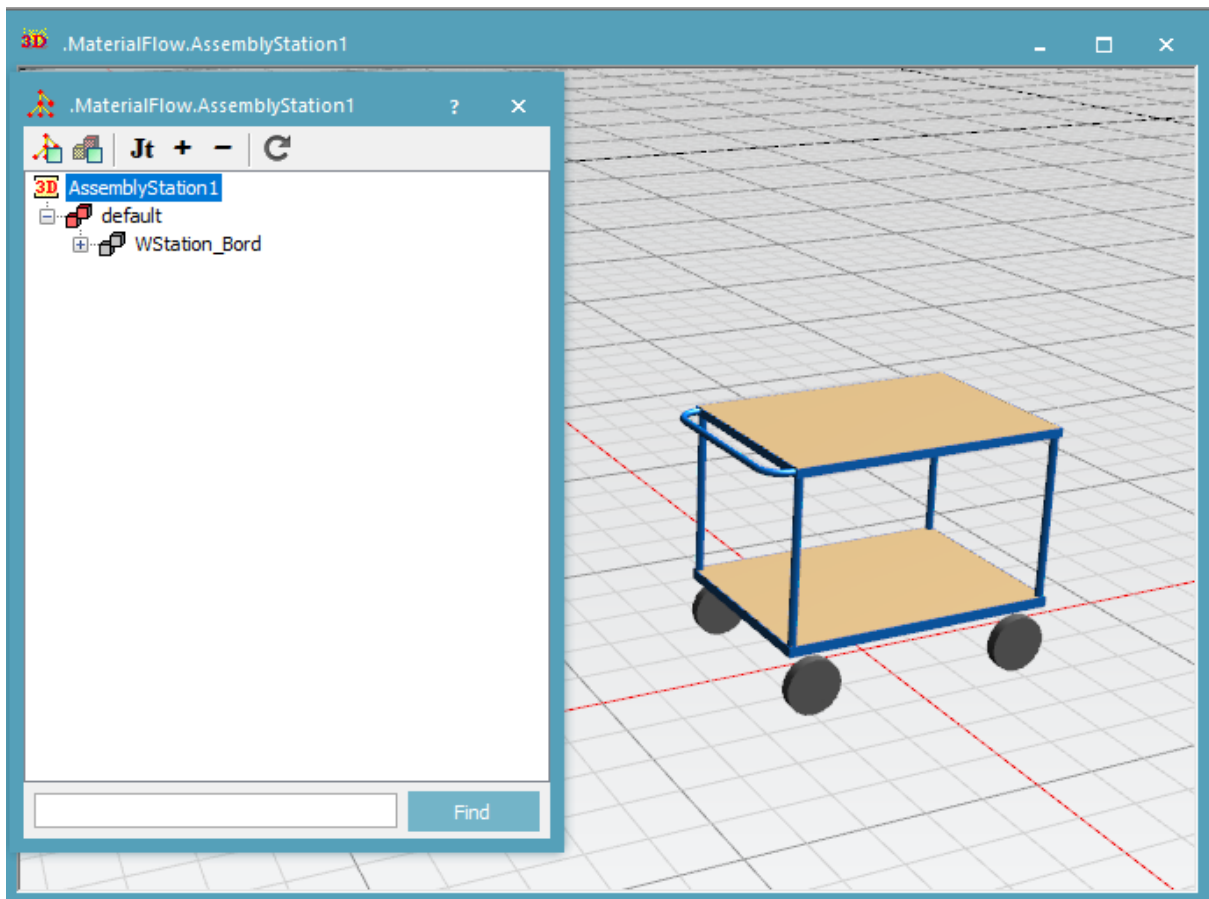


Fig 5.16. En AssemblyStation med grafik utbytt till en arbetsvagn som motsvarar SII-Labets arbetsvagnar. I figuren syns en ruta med objektets nya grafikstruktur.

### 5.3.2 Utbyte av grafik och kinematik för robot

För PickAndPlace-robotar är processen för grafikutbyte mer komplex. Eftersom att grafiken för detta objekt kan animeras måste grafikutbytet ske stegvis i grafikstrukturen. Ett problem med detta är att standardgrafiken för ett PickAndPlace-objekt inte har lika många roterande led som en UR5- och UR3-robot och rör sig därför olika. Dessutom är PickAndPlace-robotens sista led en kullad, vilket inte UR5- och UR3-robotarna använder. I figur 5.17 visas hur standardgrafiken för ett PickAndPlace-objekt är uppbyggt och hur grafikstrukturen är uppbyggd. Notera hur grafiken är uppbyggd i undernivåer för kinematik för varje roterande led.

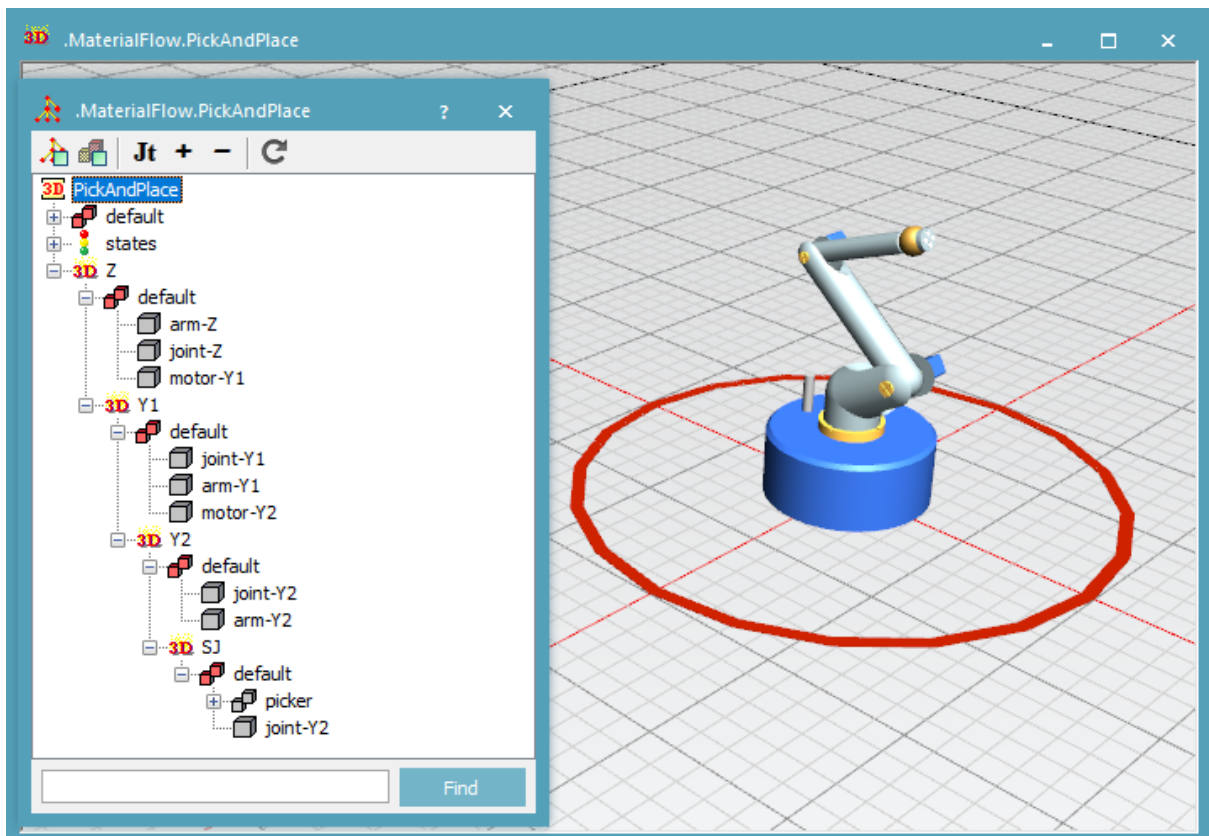


Fig 5.17. Ett programfönster med standardgrafik av PickAndPlace visas tillsammans med en ruta med tillhörande grafikstruktur.

Vid efterforskning testades en metod som gör att de roterande lederna i robotanimationerna bättre stämmer överens med UR5- och UR3-robotarna. I Plant Simulation finns det paket med grafikalternativ som är färdigpassade för objekten i Plant Simulation. Där finns en annan robotgrafik som motsvarar en robot från robottillverkaren KUKA. Denna har en annan kinematisk struktur där de roterande leden är fler jämfört med standardgrafiken. I figur 5.18 visas ett programfönster med grafik för en KUKA-robot. I den syns det hur kinematiknivåerna har fem nivåer istället för fyra som för standardroboten. KUKA-roboten har inte heller en kullad i slutet av sin arm utan en led som roterar kring en Z-axel.

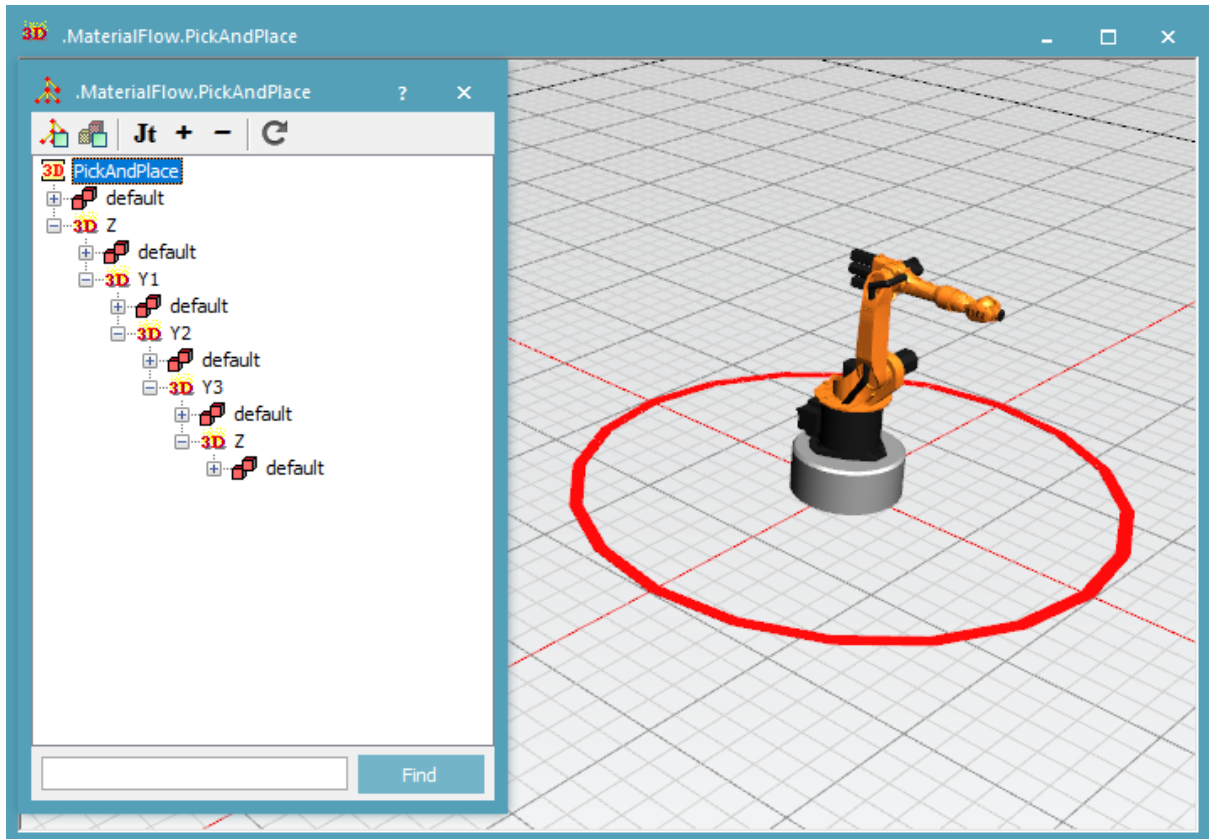
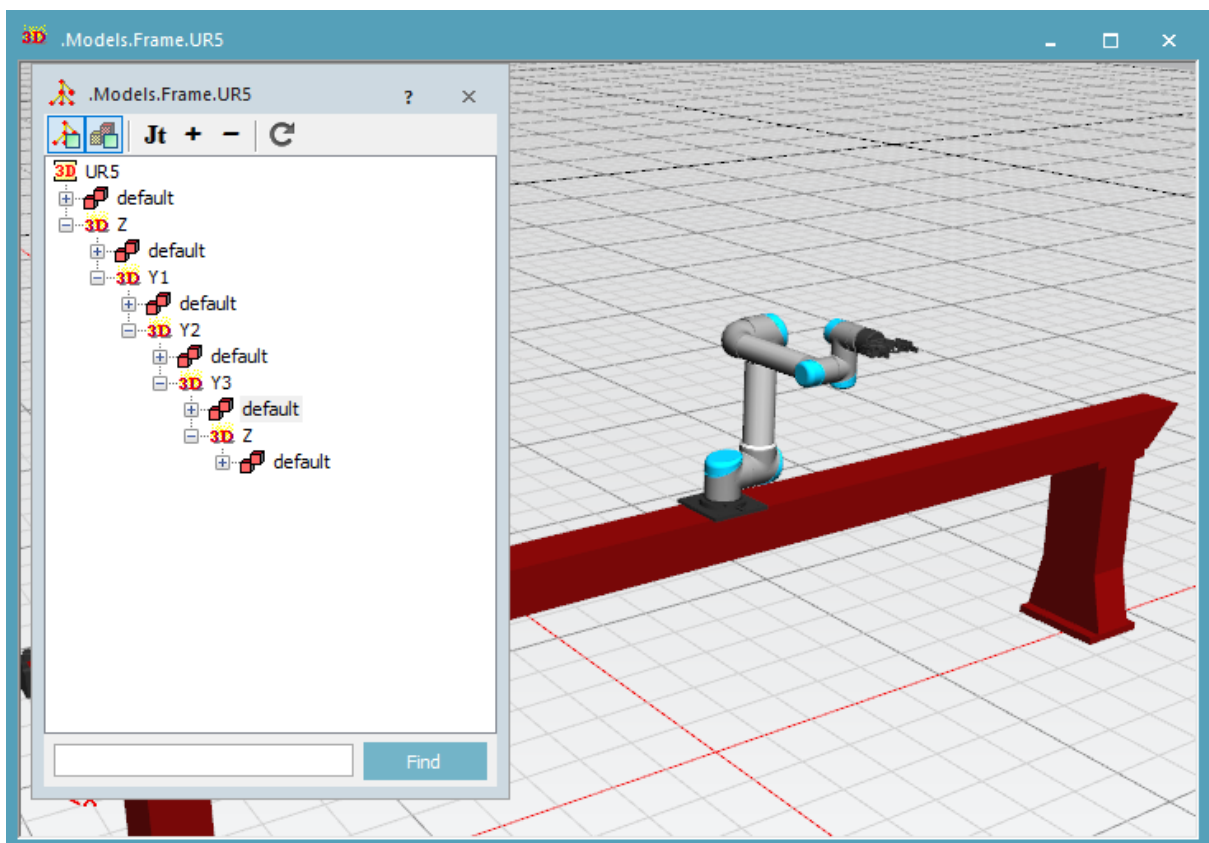


Fig 5.18. PickAndPlace med grafik för en KUKA-robot samt dess grafikstruktur.

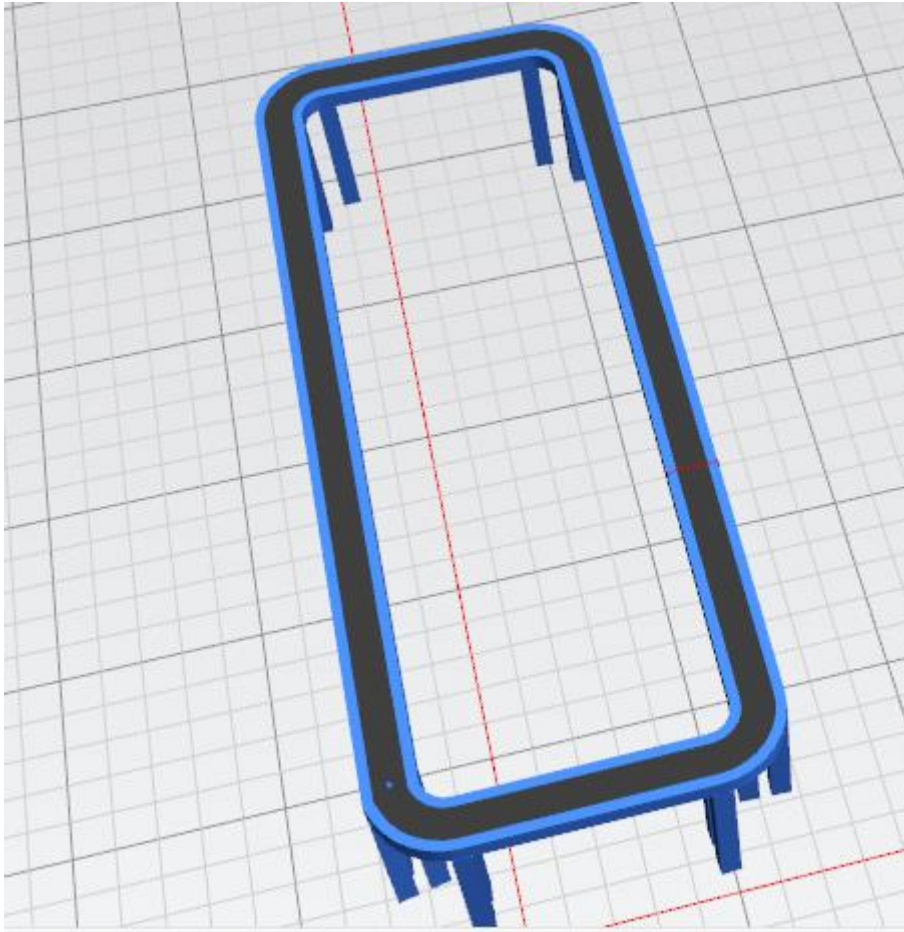
Lederna är dock inte helt lika som för UR5- och UR3-robotarna som har sex leder. För att underlätta grafikutbytet konstaterades det att UR5- och UR3-robotarna i den tänkta Plant Simulation-modellern inte behöver kunna roteras kring samtliga av sina axlar. Grafiken skall endast animeras på ett sätt som ger en trovärdig bild. Genom att sätta ihop några utvalda robotkomponenter i förväg i CATIA V5, kunde KUKA-robotens grafik ersättas med grafik för en UR5- respektive UR3-robot. Dessa komponenter var sådana som ansågs kunna vara stela relativt varandra, och resultatet blir att animationerna kan anses vara trovärdiga. I figur 5.19 nedan visas hur en PickAndPlace-robot, som från början ersattes med en KUKA-robot, har fått sin grafik ersatt med grafikkomponenter för en UR5-robot på en bom. Eftersom att komponenterna för UR5-roboten inte har samma dimensioner som KUKA-roboten, har varje kinematiskt rotationsled i grafikstrukturen förflyttats för att komponenterna ska passa in och röras kring varandra.



*Fig 5.19. PickAndPlace med grafik för en UR5-robot monterad på en bom, samt dess grafikstruktur.*

### 5.3.3 Byte av grafik på FlexLink-bana

För att få den visuella representationen av FlexLink banan krävdes extra steg. För alla andra modeller har objekten en viss storlek men för verktyget conveyor ges användaren möjlighet att skapa en bana med valfri geometri i avseendet längd, höjd, vidd och svängar. Därför krävdes det att skapa en bana med det inbyggda verktyget med samma geometri som SII-Labs FlexLink-bana och i fig 5.20 visas hur en Conveyor har skapats i Plant Simulation utifrån uppmätta längdmått.



*Fig 5.20. Transportbana gjord med conveyor-verktyget med FlexLink-banans geometri.*

I figur 5.21 visas en dialogruta som har öppnats med 3D-inställningar och där fliken “Graphics” ger möjlighet till att lägga till en grafikgrupp i “Graphic groups”.

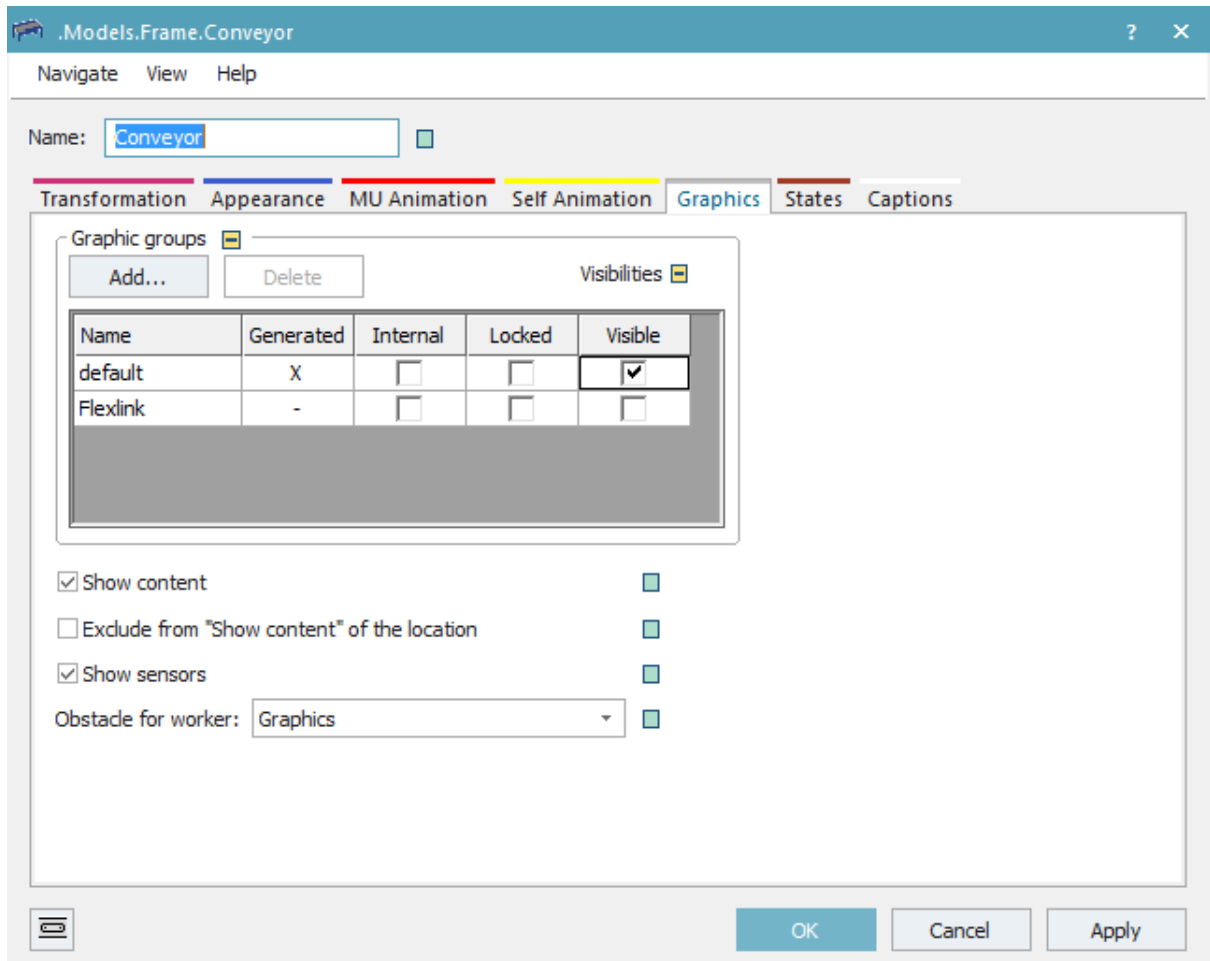


Fig 5.21. Dialogruta för att lägga till en grafikgrupp i “Graphic groups”.

Efter att ha lagt till en grafikgrupp öppnas modellen i ett nytt 3D-fönster och grafik importereras. Mjukvaran kommer välja den nyskapade grafikgruppen Flexlink. Denna passas in i den önskade grafiken så den överlappar med standardgrafiken som conveyor-objektet har skapat. Nu finns möjligheten att visa och gömma grafikgrupperna. Detta görs genom att bocka ur default och bocka i den nyskapade Flexlink och därmed visas bara den grafik som önskas medan modellen bibehåller sin funktion. I figur 5.22 visas hur en transportbana har fått sin standardgrafik utbytt till en CAD-modell med FlexLink-banan.

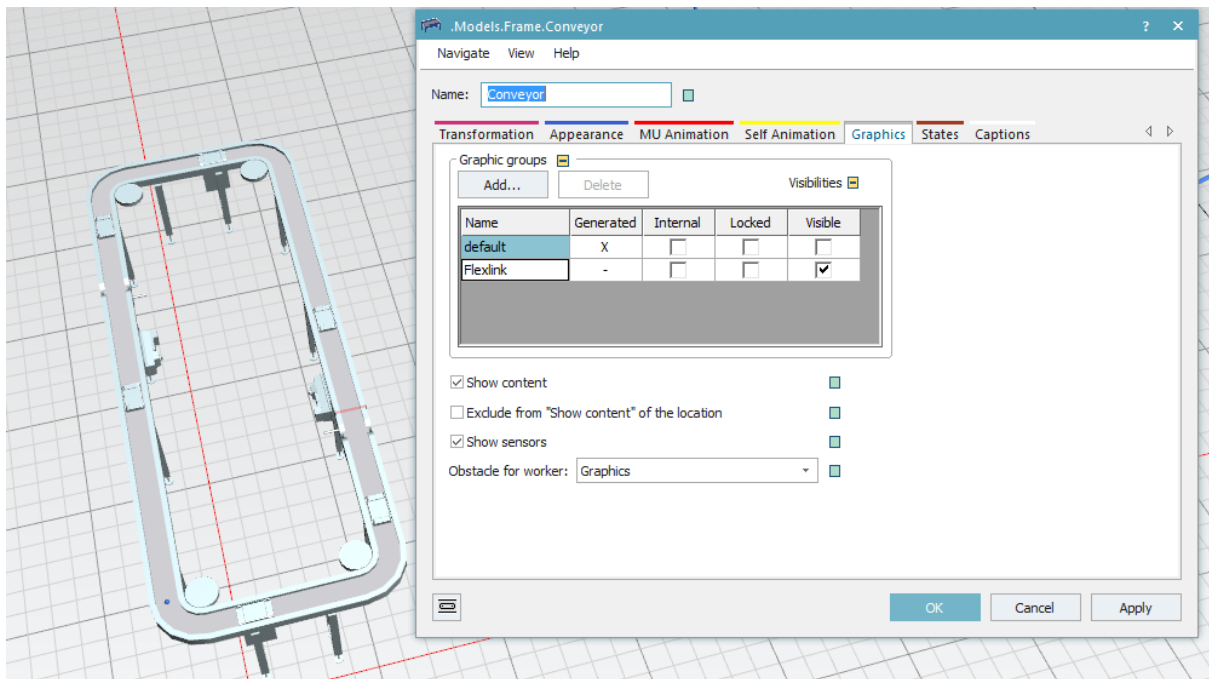


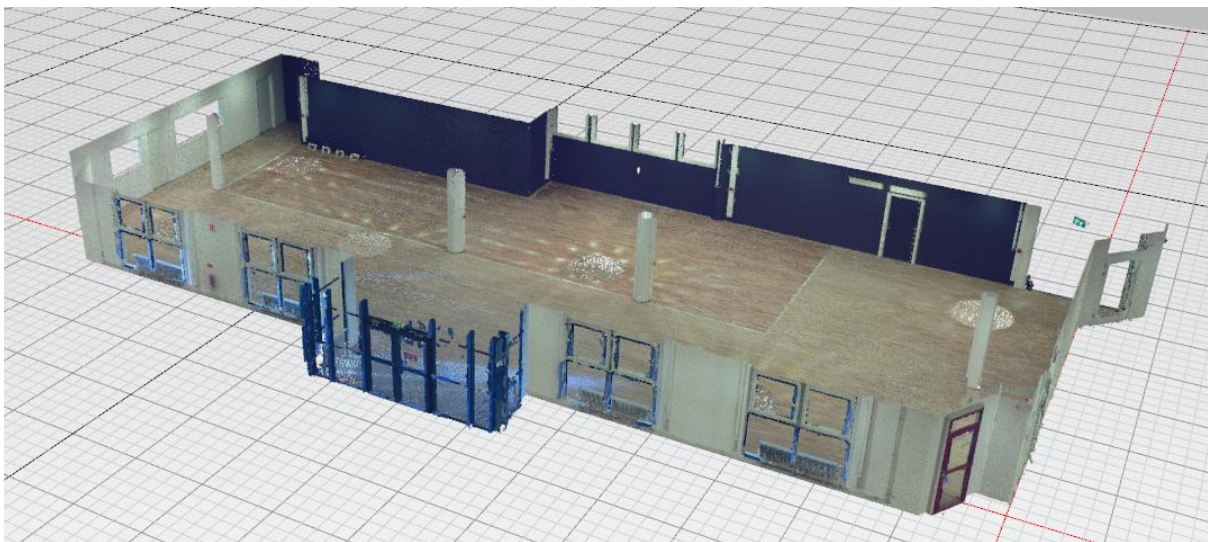
Fig 5.22. En transportbana med utbytt grafik till en FlexLink-bana.

### 5.3.4 Import av punktmoln till Plant Simulation

Jonatan Berglund, doktorand på avdelningen för Produktionssystem, Institutionen för industri- och materialvetenskap på Chalmers Tekniska Högskola, hade sedan tidigare under byggnationen av det nya SII-Lab fått lokalen punktmolnskannad då de fortfarande var omöblerade av Liang Gong och Maja Barring.

Resultatet blev bra då skanningen ger en realistisk bild av SII-Lab utan några allvarliga defekter, och där skanningen inte inkluderade utrustning eller verktyg som inte skulle finnas vid färdigställandet av labbet. Det ger en möjlighet att bygga modeller vart och hur man önskar utan att behöva ta hänsyn till några andra geometrier än lokalens.

På begäran levererades en skräddarsydd version av punktmolnet, där taket var bortklippt och där filformatet var .pod, vilket är ett filformat för punktmoln som Plant Simulation stödjer. Molnet importerar i programmet genom att ändra 3D-inställningar för hela modellen. Väl inne i programmet högerklickar man på en tom plats i modellen, väljer "Edit 3D properties". En dialogruta kommer upp och fliken "Point Cloud" väljs. Väl inne där finns möjlighet för att importera en .pod fil från hårddisk, här återfinns också inställningar för att flytta punktmolnet i X-, Y-, och Z-riktning om det skulle önskas. När det gjorts trycker man på "Ok" i dialogrutan, väljer fliken "View" i programmets meny och lokaliserar och trycker på knappen "Point Cloud" vilket laddar in molnet i miljön.



*Fig 5.23. Punktmolnet utan utrustning*

## 5.4 Styrssystem

När komponentbiblioteket var komplett och punktmolnet hade importerats passades all ingående utrustning in i rumden för en simuleringsmodell, enligt den bestämda layouten. När allt stod på sin plats skulle den logiska styrningen för modellen implementeras. För modellen som skulle visas upp under invigningen för SII-Lab bestod styrningen av 13 stycken scripts, som kallas metoder i mjukvaran, som styrde och användes av ett eller flera objekt. Metoderna finns att läsa i Bilaga 2.

Utöver det användes en stor mängd objekt för att skapa förutsättningarna nödvändiga för logiken och korrekt visuell representation. Totalt finns 57 stycken objekt varav endast 21 stycken finns för betraktaren. Till det tillkommer ytterligare 8 stycken objekt som är nödvändiga för att de simulerade operatörerna skall uppföra sig som önskat.

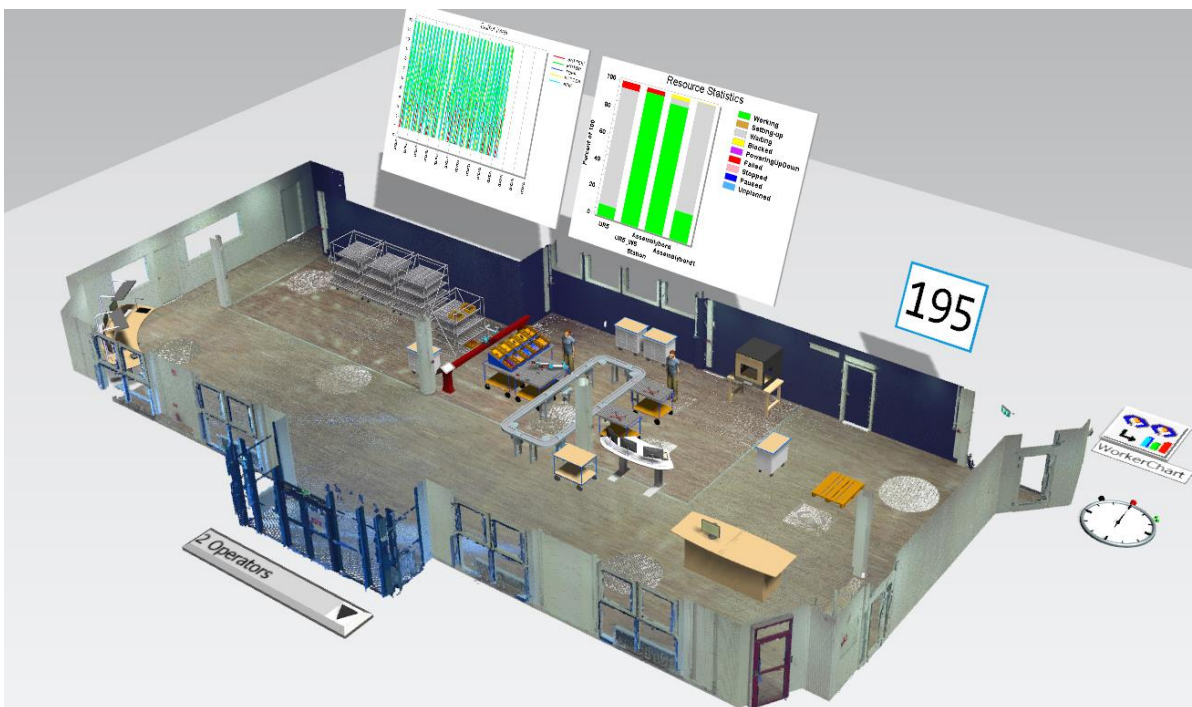


Fig 5.24. Färdig modell med punktmoln och utrustning

## 5.5 Simuleringsfall

Två stycken produktionsfall, där monterings tiden och antalet operatörer var variablerna, ställdes upp. Utgångspunkten för monterings tiden var 24 sekunder vilket togs fram genom att anta hur lång tid en skruv tar att dra. Tiden sattes till 8 sekunder, det multipliceras med antalet skruvar som ska dras och delat med antalet komponenter avrundat uppåt till hela sekunder för att få genomsnittlig tid. Antalet skruvar är 32 stycken, fyra stycken per arm och motor. Antalet komponenter som roboten skulle montera var elva stycken, fyra armar, fyra motorer, en bottenplatta, topplatta respektive batteri.

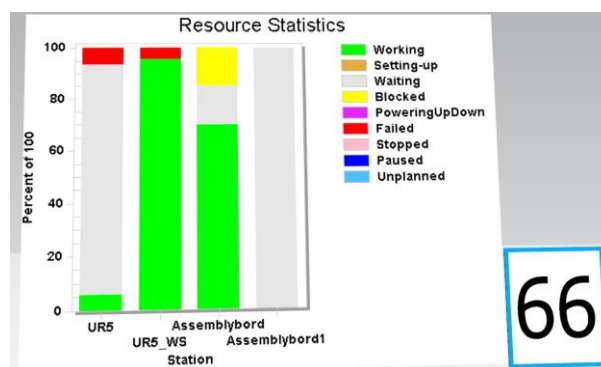
Slutmonteringen sköts av operatörer där slutmonterings tiden ha antagits vara tio minuter. Produktionsfallen sattes som en fråga: “Vad händer om en konstruktör kommer på hur hen kan halvera antalet fästpunkter för produkten och bibehålla alla mekaniska egenskaper?”

Utfallet för fyra stycken produktionsfall där följande parametrar var satta:

- Total arbetstid: 8 timmar.
- Monterings tid robotstation: Varierade 12- respektive 24 sekunder.
- Monterings tid operatörsstation: 10 minuter
- Antalet operatörer: Varierade en respektive två stycken.

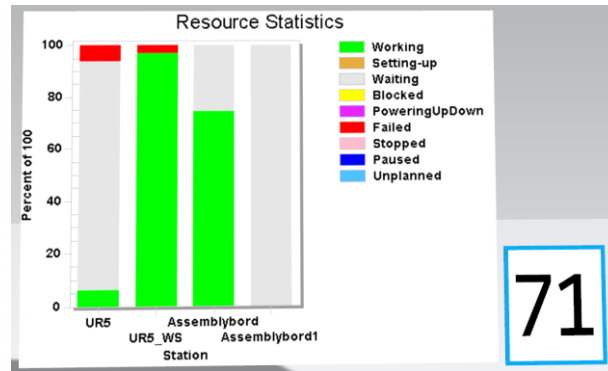
Från detta visar Plant Simulation följande:

### Fall 1



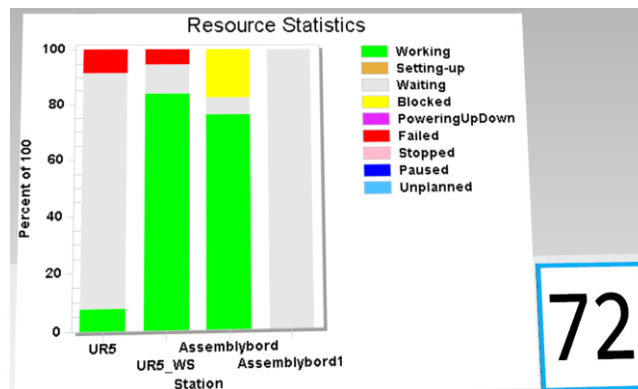
*En operatör 24 sekunders monterings tid vid robotstation: 66 st*

**Fall 2**



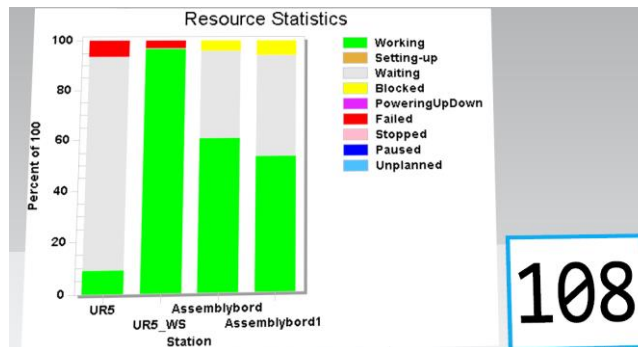
*Två operatörer 24 sekunders monterings tid vid robotstation: 71 st*

**Fall 3**



*En operatör 12 sekunders monterings tid vid robotstation: 72 st*

**Fall 4**



*Två operatörer 12 sekunders monterings tid vid robotstation: 108 st*

## 6. RESULTAT

Vid avslutande av projektet har frågeställningarna som ställdes upp i början av projektet besvarats.

En fungerande modell levererades till invigningen av SII-Lab som fångade uppmärksamheten av ett flertal människor från svensk industri.

Ett komplett bibliotek för alla vitala komponenter i SII-Lab har skapats så att en användare av mjukvaran kan skapa helt fristående modeller från vår modell med den utrustning som finns tillgänglig i SII-Lab om denne skulle önska. Till detta har också en punktmolnscanning passats in för att ge en visuell representation.

Slutligen gjordes en linjebalansering för två förutsättningar i produktionen för att visa på vilken effekt en förändring någonstans i produktionen kan få för konsekvenser. De produktionsfall som testades är samma som de som beskrivs i kapitel 5.5 Simuleringsfall. Det man kunde se var att genom att halvera robotstationens monteringsstid, var att en ensam operatör inte kunde möta upp efterfrågan på deras tjänster vid halvering av monteringsstiden vid robotstationen.

Detta visar tydligt på hur en konstruktion- eller processförbättring kan kräva förändringar i övriga delar av systemet för att kunna tillgodoräkna förbättringen som gjorts på någon komponent eller station för att på så vis öka systemets totala output. Genom att tillsätta ytterligare en operatör för att hjälpa till med slutmonteringsarbetet ökade output med nästan 64 %, varför ökningen inte var 100 % är inte fastställt men tros ha att göra med den manuella förflyttningen och behovet av reparation för stationer som gått sönder.

Redan vid 24 sekunders monteringsstid visade sig att en operatör inte kunde möta upp efterfrågan på dennes tjänster. Här är dock orsaken att maskiner går sönder och att planlösningen inte är optimal som leder till onödigt mycket förflyttning, som i sin tur påverkar output, och inte att produktionens takt är för hög.

## 7. DISKUSSION

Den bakomliggande komplexiteten för en verklighetstrogen simulering, även för en så pass liten fabrik som behandlats under detta examensarbete, har visat sig problematisk för att skapa en modell anpassat för studenter. En modell utifrån de önskemål som sattes upp av beställaren, Chalmers Tekniska Högskola, var att den skulle vara enkel att göra förändringar i för studenter. Modellen anses fortfarande vara anpassningsbar för olika produktionsscenario och layoutförändringar. Dock krävs en relativt hög förståelse av mjukvaran och dess struktur i form av när den kallar på och exekverar skript. Av denna anledning rekommenderas modellen, som gjorts under detta arbete, att användas i demonstrationssyfte och längre gående studentprojekt.

Värt att notera är att vanligtvis görs inte en sådan här simulering i 3D, än mindre med verklighetstrogen grafik. Oftast görs en sådan här simuleringsmodell i 2D då man oftast inte är intresserad av utseende utan fokus ligger på att analysera vilket beteende ett system har och hur det kan förbättras.

I detta arbete har mycket fokus lagts på det estetiska och det finns två anledningar till det. Den första är då modellen ska komma användas i utbildningssyfte, och användes som demo vid invigningen av SII-Lab, ansågs att en grafiskt utsmyckad modell fångar ett större intresse hos mottagaren än ett ark med ikoner. Detta har varit med som mantra genom hela arbetet.

Den andra anledningen blev mer påtaglig desto längre projektet fortgick. Vanligtvis görs fabriksdesign i ett program och simuleringen i ett annat. Görs designen digitalt med de objekt som ska finnas i fabriken kommer arbetsbördan vara ganska jämlig om ett konventionellt layout-verktyg används eller om det görs i simuleringsmiljön då CAD-filer måste föras in i bägge mjukvarorna. Slutsatsen som kan dras av det är att alla kan ha tillgång till samma information konstant, de som ansvarar för layout kan sätta begränsningar och möjligheter för de som ansvarar för funktion och vice-versa. Det leder teoretiskt till en effektivare arbetsprocess då informationsöverföringen mellan de två arbetslagen blir tätare sammankopplad.

## 8. MILJÖ

I ställningstagandet om den här formen av teknologi bidrar till positiv eller negativ påverkan på planetens miljö anser vi att det kommer ha en positiv inverkan. Den här formen av simuleringar kommer ge möjligheten att ta välgrundade beslut vid investeringar och på så sätt öka effektiviteten för användningen av planetens resurser. Detta har en stark koppling till miljön genom att färre överflödiga produkter produceras vilket får genomslag genom hela processkedjan för produkten i form av växthusgasutsläpp. Från anskaffandet av råmaterial till fabrik där produkten produceras [9].

## 9. ETIK

I frågan om det är etiskt försvarbart med den här typen av teknologi råder skilda meningar. Från näringsliv- och forskningssidan anses det som en nödvändighet för Sveriges fortsatta konkurrenskraft på den globala marknaden [10]. På den andra sidan finns de som är oroliga för att teknologin kommer att resultera i att de inte längre har ett jobb att gå till. På kortare sikt kommer troligtvis teknologin vara positiv för svensk industri och svenska jobb då en konkurrenskraftig industri medför att företag vill ha sin produktion här. Givet är att arbetsuppgifterna kommer att se annorlunda ut gentemot idag men det anser vi inte är av vikt i resonemanget.

På lång sikt kan det vara så att maskiner och robotar gör alla de saker vi har mänskliga arbetare till idag inom industrin. Dock så är det för tidigt att uttala sig om hur det kommer påverka oss i samhället annat än med en ren gissning. Som människor har vi gått igenom många banbrytande skiften i hur vårt samhälle fungerar, industriella revolutionen för att nämna ett sådant skifte, och ska man döma av historien kommer vi kunna gå igenom ytterligare ett skifte genom smarta tekniska lösningar och intelligent samhällsdesign.

## 10. SLUTSATS

Vid slutförande av examensarbetet har vi levererat enligt det syfte och den frågeställning vi satte upp i början av projektet. En punkt visade sig omöjlig att leva upp till utan att göra intrång på de andra. Punkt nummer två dikterar att modellen ska göra det möjligt att göra förändringar i modellen anpassat för den tilltänkta målgruppen, det vill säga studenter som aldrig använt programmet innan. Slutmodellen är fullt möjlig att göra förändringar i men kräver mer kunskap om programvaran än vad målsättningen var.

Utöver det har examensarbetet resulterat i en höjd förståelse för de fördelar digitala tvillingar medför, men även respekt för den teknologiska höjd och komplexitet ett sådant system besitter. I linje med vad Chalmers Tekniska Högskola och näringsdepartementet har även detta projekt kommit till slutsatsen att teknologi och innovation är nyckeln till svensk industris fortsatta konkurrenskraft på den globala marknaden. Därför tror vi att simuleringar av produktionssystem på både stor och liten skala kommer vara ett nödvändigt steg för en förbättrad och konkurrenskraftigare industri.

Vad vi hade velat se vid fortsatt arbete med den här modellen är att man integrerar ett affärssystem som till exempel SAP. Detta skulle ge möjlighet att virtuellt testköra serier för att i realtid se hur mycket mer som kan produceras vid varje given tidpunkt och därigenom kunna dra slutsatser om när en produkt kan levereras till en kund.

## KÄLLOR

1. "About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of ...."  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003808>.
2. "What is discrete event simulation, and why use it? - Right cot, right ...."  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK293948/>
3. "What Is 3D Scanning | Laser Design." <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>.
4. Samtal med Sven Ekered under perioden 2018-02-01 - 2018-05-08
5. "Universal Robots Technical Details." [https://www.universal-robots.com/media/1801303/eng\\_199901\\_ur5\\_tech\\_spec\\_web\\_a4.pdf](https://www.universal-robots.com/media/1801303/eng_199901_ur5_tech_spec_web_a4.pdf)
6. Universal Robots Technical Details" [https://www.universal-robots.com/media/1801288/eng\\_199901\\_ur3\\_tech\\_spec\\_web\\_a4.pdf](https://www.universal-robots.com/media/1801288/eng_199901_ur3_tech_spec_web_a4.pdf)
7. Engineer Alaa Elhamrawy <https://grabcad.com/library/001-quadrotor-frame-1>  
*För medgivande av användning se bilaga 1*
8. Robotiq produkt 2F-85 <https://robotiq.com/support/2f-85-2f-140>  
*För medgivande av användning se bilaga 1*
9. Hållbar ekonomi - Ekonomi och planetens gränser - WWF." 5 okt.. 2017,  
<http://www.wwf.se/wwfs-arbete/hallbar-ekonomi/ekonomi-och-planetens-granser/1593596-hallbar-ekonomi-ekonomi-och-planetens-granser>.
10. Stenas framtidslabb för industrin är igång Det var ... - Dagens industri." 8 maj. 2018,  
<https://www.di.se/nyheter/stenas-framtidslabb-for-industrin-ar-igang/>.

# BILAGOR

## Bilaga 1



**Alaa Elhamrawy** 5 days ago Report spam

Hello Eng.Richard

Feel free to use any model on my page.  
I hope great success to your team

Thanks to you,  
Sincerely, A.Elhamrawy

---

### *Drönar CAD-filer*

Hi Richard,

Thank you for your inquiry and your interest in Robotiq.

You can use the CAD files available on our Support site as per link you have indicated (<https://robotiq.com/support/2-finger-adaptive-robot-gripper>).  
Hope this helps.

If you have any other questions, please contact me directly.

Best regards,

Adina

**Adina Teusan**

**Inside Sales Specialist, Northern and Central Europe**

1-888-ROBOTIQ (762-6847) ext. 248

1-418-380-2788 (outside US and Canada) ext. 248

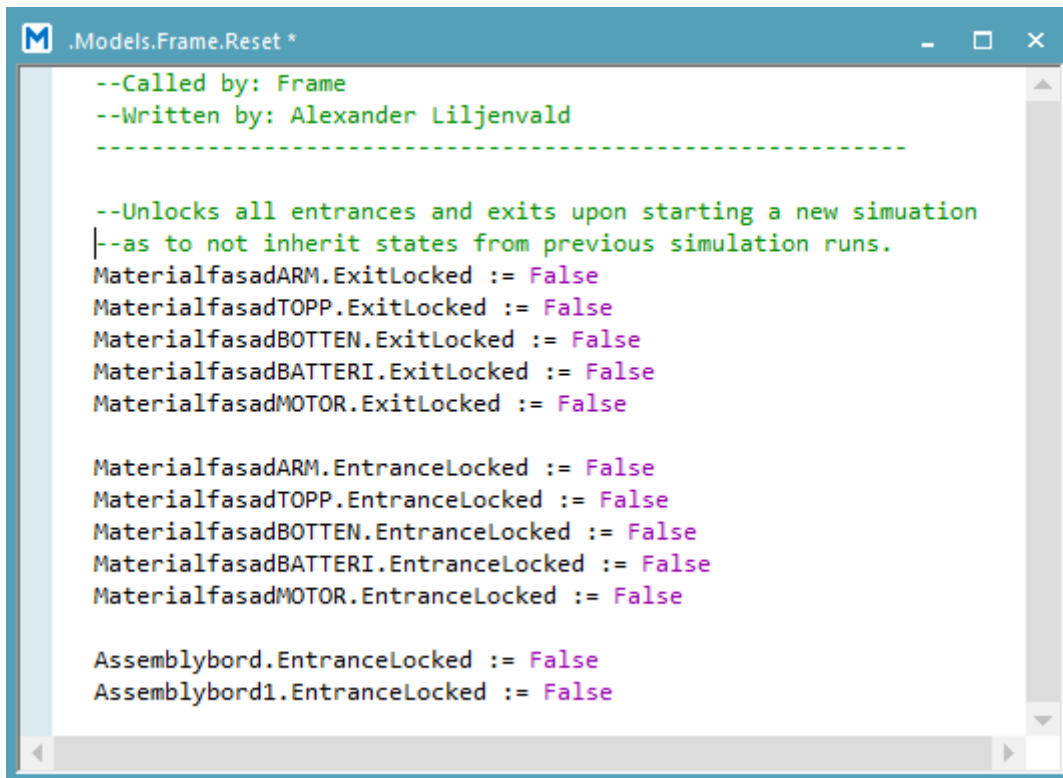
[a.teusan@robotiq.com](mailto:a.teusan@robotiq.com)

---

### *Robotverktyg CAD-filer*

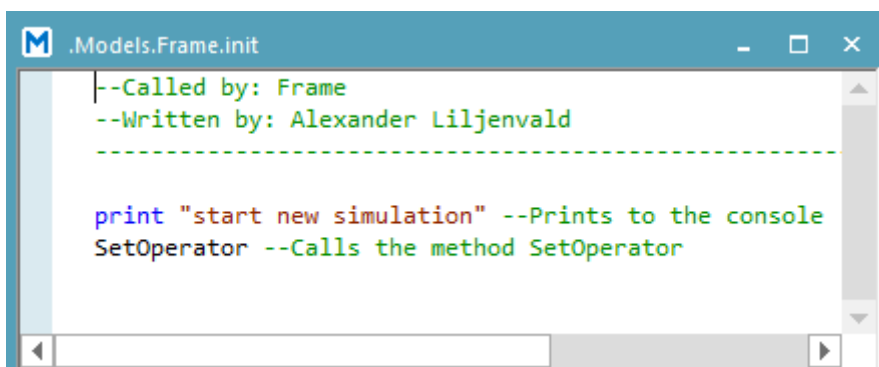
## Bilaga 2

### Reset



```
.Models.Frame.Reset *  
  
--Called by: Frame  
--Written by: Alexander Liljenvald  
-----  
  
--Unlocks all entrances and exits upon starting a new simulation  
|--as to not inherit states from previous simulation runs.  
MaterialfasadARM.ExitLocked := False  
MaterialfasadTOPP.ExitLocked := False  
MaterialfasadBOTTEN.ExitLocked := False  
MaterialfasadBATTERI.ExitLocked := False  
MaterialfasadMOTOR.ExitLocked := False  
  
MaterialfasadARM.EntranceLocked := False  
MaterialfasadTOPP.EntranceLocked := False  
MaterialfasadBOTTEN.EntranceLocked := False  
MaterialfasadBATTERI.EntranceLocked := False  
MaterialfasadMOTOR.EntranceLocked := False  
  
Assemblybord.EntranceLocked := False  
Assemblybord1.EntranceLocked := False
```

### Init



```
.Models.Frame.init  
  
|--Called by: Frame  
--Written by: Alexander Liljenvald  
-----  
  
print "start new simulation" --Prints to the console  
SetOperator --Calls the method SetOperator
```

## PullPart

```
.Models.Frame.Pullpart *
--Called by: UR5
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
var blockList: table;
var obj : object
UR5.fwBlockList(blockList)

for var i := 1 to blockList.yDim
  if str_to_obj(blockList[1,i].tp).empty
    obj := blockList[1,i]
    i := blockList.yDim
  end
end
next

if obj /= void
  print "pulling " + obj.name
  UR5.unblock(obj)
end
```

## PlacePart

```
.Models.Frame.PlacePart *
--Called by: UR5
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
var targetplace : object

if ?.occupied then
  print "placing " + @.name
end

targetplace := str_to_obj(@.tp)
--Sets the values to the variable
--targetplace by reading the attributes of the part
--here defines as tp

?.setDestination(targetplace,false) --Sets the destination of the part the robot are to move
```

## PullPart1

```
.Models.Frame.Pullpart1 *
--Called by: UR5_WS
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
var blockList: table;
var obj : object
    UR5_WS.fwBlockList(blockList)

for var i := 1 to blockList.yDim
    if NOT str_to_obj(blockList[1,i].tp).full
        obj := blockList[1,i]
        i := blockList.yDim
    end
end
next

if obj /= void
    print "pulling " + obj.name
    UR5_WS.unlock(obj)
end
--Checks if the material is in supply
--Allows the robot to access the material
--and remove it from its picking list
--Searches the table, BlockList, to locate the material
--that is not at maximum allowed quantity at the target
--station and sets it as its next object to move
```

## Lock

```
.Models.Frame.Lock
--Called by: BufferBord[NAME]
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
if ?.NumMU = ?.Capacity-1
    if @.Name = "Arm"
        MaterialfasadARM.ExitLocked := True
    elseif @.Name = "Botten"
        MaterialfasadBOTTEN.ExitLocked := True
    elseif @.Name = "Topp"
        MaterialfasadTOPP.ExitLocked := True
    elseif @.Name = "Batteri"
        MaterialfasadBATTERI.ExitLocked := True
    else
        MaterialfasadMOTOR.ExitLocked := True
    end
end
end
--Checks the capacity level of the object with a condition
--Checks the name of the incoming material
--Locks the exit to the object if the conditions of the statement are met
```

## Unlock

```
.Models.Frame.Unlock
--Called by: Materialfasad[NAMN]
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
if ?.NumMU = 1
  if @.Name = "Arm"
    MaterialfasadARM.ExitLocked := False
  elseif @.Name = "Botten"
    MaterialfasadBOTTEN.ExitLocked := False
  elseif @.Name = "Topp"
    MaterialfasadTOPP.ExitLocked := False
  elseif @.Name = "Batteri"
    MaterialfasadBATTERI.ExitLocked := False
  else
    MaterialfasadMOTOR.ExitLocked := False
  end
end
@.move
```

## ToAssy1

```
.Models.Frame.ToAssy1
--Called by: SensorID=1
--Written by: Alexander Liljenvald
param SensorID: integer, Front: boolean
if AssemblyBord1.occupied = False
  Buffer5.EntranceLocked := False
  SourceDrone.ExitLocked := False
  @.move(Buffer5)
else
  Buffer5.EntranceLocked := True
  SourceDrone.ExitLocked := True
  @.move(Conveyor,4.4)
end
```

## ToAssy2

```
.Models.Frame.ToAssy2
--Called by: SensorID=2
--Written by: Alexander Liljenvald
param SensorID: integer, Front: boolean
if AssemblyBord1.occupied = False
  Buffer51.EntranceLocked := False
  SourceDrone2.ExitLocked := False
  @.move(Buffer51)
else
  Buffer51.EntranceLocked := True
  SourceDrone2.ExitLocked := True
  @.move(Conveyor,6.1)
end
```

## ConveyorLoadControl

```
.Models.Frame.ConveyorLoadControl *
--called by: Conveyor
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
if Conveyor.NumMU > 20 --Checks the amount of parts on the conveyor
  Animering.ExitLocked := True --If more than 20, lock the exit for
else --the station preceding it
  Animering.ExitLocked := False --If less than 20, unlocks the exit
end --for the station preceding it
```

## Pullnew

```
.Models.Frame.PullNew
--Called by: Dismantle[NAME]
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
@.move
if ?.empty --Checks if object is empty
  PullPart --Calls method PullPart
end;
```

## Move2box

```
.Models.Frame.Move2box *
--Called by: Materialfasad[NAME]
--Written by: Alexander Liljenvald
-----
if ?.Full --Checks if object is at its maximum capacity
  ?.EntranceLocked := True --Locks the entrance to the object
  waituntil ?.Empty prio 1 --Waits for the object to become empty
  --and sets its priority to 1, default is 0
  ?.EntranceLocked := False --Unlocks the entrance to the object
end
```

## SetOperator

```
.Models.Frame.SetOperator *
--Called by: DropDownList
--Written by: Johan Nordling
-----

--Set the number of operators and active assembly tables

var tab : table
WorkerPool.getCreationTable(tab) --Read the Worker Creation table from the Workerpool
|
--Delete all old sensors

if Conveyor.existssensorid(1) --Check if there is a sensor with ID=1
  Conveyor.DeleteSensor(1) --Delete sensor ID=1
end
if Conveyor.existssensorid(2) --Check if there is a sensor with ID=2
  Conveyor.DeleteSensor(2) --Delete sensor ID=2
end

--Create new sensors
if DropDownList.Value = 2 --2 operators
  tab["Amount",1] := 2 --Write to local variable tab the amount of workers to be employed by the model
  Conveyor.createSensor(4.3,"Length","ToAssy1",true,false,VOID,false) --Create sensor ID=1
  Conveyor.createSensor(6.0,"Length","ToAssy2",true,false,VOID,false) --Create Sensor ID=2
else --One operator
  tab["Amount",1] := 1 --Write to local variable tab the amount of workers to be employed by the model
  Conveyor.createSensor(4.3,"Length","ToAssy1",true,false,VOID,false) --Create sensor ID=1
  Assemblybord1.EntranceLocked := True --Lock the entrance to Assebybord1
end

WorkerPool.setCreationTable(tab) --Write in WorkerPool CreationTable the values of local variable tab
WorkerPool.opendialog(true) --Opens dialogwindow and closes it to apply changes
WorkerPool.closedialog
```