



CHALMERS

# Simulering av produktionssystem

Examensarbete genomfört hos Elektroautomatik i syfte att analysera deras serieproduktion genom simulering



Felix Waldeck

Sixten Hed

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

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

# **Simulering av produktionssystem**

Examensarbete genomfört hos Elektroautomatik i syfte att analysera deras  
serieproduktion genom simulering

Felix Waldeck  
Sixten Hed

Technology CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Göteborg, Sweden 2025

# Förord

Examensarbetet som gjordes i samarbete med Elektroautomatik (EA) har varit extremt givande. Trots svårigheter att arbeta i en ny produktion där rutiner inte alltid finns, vilket kanske speglar verkligheten ganska ofta, har vi lärt oss arbeta och anpassa oss efter förutsättningarna. Framför allt har vi lärt oss hur ett simuleringsprojekt drivs och hur en produktion kan fungera. En viktig lärdom som vi tar med oss är tidsuppskattning för varje moment som görs under ett simuleringsprojekt och hur den bör fördelas.

Stort tack till Elektroautomatik för möjligheten att utföra vårt examensarbete hos er. Även tack till alla montörer som bidragit med estimering av tider och intervjuer under projektet. Ett extra stort tack till vår handledare på Elektroautomatik Peter Wolak som hjälpt oss under simuleringsprojektet samt handledning i FlexSim. Avslutningsvis vill vi även tacka vår examinator och handledare från skolan Torbjörn Ylipää.

# Simulering av produktionssystem

Examensarbete genomfört hos Elektroautomatik i syfte att analysera deras serieproduktion genom simulering

FELIX WALDECK

SIXTEN HED

Department of industry and material science

Chalmers University of Technology

## Summery

The main objective of this project was to create a simulation model of Elektroautomatiks (EA) new production system that resides on their factory floor in Gothenburg, in order to test its capabilities and investigate improvement areas. Recently EA switched their production from batch- to line production in order to keep up with new customer demands, four machines needed to be assembled and tested every week. It's a specific type of machine that is assembled in many different process steps to then be shipped off to the customer. A lot of things were unknown when it came to the performance of the new production system and a study needed to be done in order to find out how well it could perform and if there was room for improvement. Three questions were posted at the beginning of the project that needed to be answered regarding: the balance and staffing of the system, the lead time and where the bottlenecks were located. First, a conceptual model was created in order to map out the production and to be used as a base for the simulation model. Not a lot of data had been taken regarding the process times and needed to be collected. When enough data were collected and the system mapped out, a simulation model was created that mimicked the real system using the simulation software Flexsim. A series of experiments were then conducted on the model in order to find answers to the questions that were posted at the beginning of the project. The experiments involved the number of operators working on the final assembly step of the production line. All data from the experiments were then collected, analyzed and presented along with improvement measures to finalize the project.

The report is written in Swedish.

Keywords: Simulation, Bottleneck analyzes, FlexSim, Production line, Discrete Event Simulation, Flowchart

# Innehåll

1. Introduktion .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Problemformulering.....	1
1.3 Syfte .....	2
1.4 Frågeställning.....	2
1.5 Avgränsningar .....	2
2. Teori.....	4
2.1 Banks 12 stegs metod .....	4
2.2 Simulation .....	7
2.3 Discrete Event Simulation (DES).....	7
2.4 FlexSim .....	8
2.4.1 Begrepp och funktioner i FlexSim.....	8
2.5 Lean filosofi .....	9
2.5.1 Toyota Produktion System (TPS).....	9
2.5.2 Lean vidareutveckling.....	11
2.6 Datainsamling .....	11
Värdeskapande tid (VA-tid).....	11
Icke värdeskapande tid men nödvändig (IVN-tid).....	11
Icke värdeskapande tid (IV-tid).....	11
2.7 Flödesschema.....	12
2.8 Spagettidiagram.....	12
2.9 Tekniska begrepp.....	13
2.9.1 Flaskhals (analys).....	14
2.9.2 Steady-state.....	14
2.9.3 Simuleringshorisont.....	14
2.9.4 Repetitioner .....	15
3. Metod.....	16
3.1 Konceptuell modell.....	16
3.1.1 Layout.....	16
3.1.2 Flödesschema .....	17
3.1.2.1 Beskrivning av flödesschema.....	18
3.1.3 Spagettidiagram.....	22
3.2 Datainsamling .....	23
3.2.1 Mätning processtider .....	23

3.2.2 Intervju för tidsestimering .....	25
3.3 Kodning .....	26
3.3.1 Layout.....	26
3.3.2 Process flow .....	28
3.3.3 Process flow och layout integrering.....	29
3.3.4 Process time .....	30
3.3.5 Verifiering.....	30
3.3.6 Validering .....	31
3.4 Experimentell design .....	33
3.5 Beskrivning av experiment .....	34
4. Resultat .....	36
4.1 Resultat experiment .....	36
5. Diskussion.....	41
5.1 Flaskhalsanalys.....	41
5.2 Tilltänkta bemanningen för produktionen.....	42
5.3 Balansering och förbättringsåtgärden .....	42
5.4 Övriga förbättringsåtgärder .....	43
5.4.1 El förmontage direkt på vagn .....	43
5.4.2 FAT-test kund.....	44
5.4.3 Lager slutmontering.....	45
5.5 Felkällor .....	46
6. Slutsats .....	47
Referenslista.....	49
Bilagor.....	51

# 1. Introduktion

Det första kapitlet beskriver varför arbetet har utförts och vilka mål som ska uppnås. Bakgrunden beskriver vilka uppdragsgivarna är samt varför de vill ha arbetet utfört och syftet skildrar sedan vad arbetet går ut på. Det gjordes både avgränsningar initialt samt under projektets gång i samtal med företaget och utifrån all information skapades tre frågeställningar som skulle besvaras.

## 1.1 Bakgrund

Elektroautomatik (EA) är ett etablerat och ledande företag inom automationsbranschen som har sitt ursprung i Skövde men sitt huvudkontor Göteborg. De är ledande inom att vara helhetsleverantörer av automatiseringslösningar men erbjuder även produkter och tjänster såsom: AGV:er, maskiner, konsulter, service och utbildning. EA jobbar med kunder från hela världen men har störst fokus på Sverige.

Att starta upp en ny produktion som EA gjort i sin fabrikslokal i Göteborg kommer med många utmaningar. Det är mycket som är osäkert kring hur väl systemet kommer fungera och var i produktionen det finns brister och vilka förbättringar som kan åtgärdas. För att testa systemet utan att göra tidskrävande och dyra ändringar kan man använda sig av en simulerad modell av den verkliga produktionen.

Enligt Banks (2000) är simulering en väsentlig problemlösningsmetod för många praktiska problem som existerar i verkligheten. Det finns många fördelar med att simulera en produktion, det ger möjligheten att testa implementeringar, optimera produktionsprocesser och identifiera problem.

## 1.2 Problemformulering

Under hösten har Elektroautomatik gjort en omstrukturering i sin montagehall i Göteborg för att möjliggöra ett byte från batch- till serieproduktion för att öka produktionen av en specifik maskintyp till fyra maskiner i veckan. Tanken är att producera en maskin per 7,2

timmar, från måndag till torsdag och sedan använda fredagar för att förbereda och packa. Komponenter beställs från leverantörer som monteras i olika steg för att skapa en maskin som sedan testas, packas och läggs på lager i väntan på distribuering till kund. Även om dessa maskiner har byggts tidigare i batchproduktion är det en stor omställning att byta till serieproduktion och det finns många frågetecken kring funktionaliteten och kapaciteten för det tänkta systemet. Processerna är i stora drag de samma som utfördes när det var batchproduktion. Utmaningarna ligger istället i att takta processerna i serieproduktionen så att en puls genomsyrar systemet.

### 1.3 Syfte

Syftet med arbetet var att skapa en modell av produktionssystemet i simuleringsprogrammet flexsim för att fastställa produktionens flaskhalsar, ledtid och balansera bemanningen. För att kunna generera en simuleringsmodell behövdes en datainsamling göras då historiska data inte existerade, även en konceptuell modell skulle skapas för att användas som grund till simuleringsmodellen. Efter som det inte fanns tidigare referenser så gjordes en plan för validering och verifiering av modellen. Produktionsanläggningen skulle sedan analyseras med hjälp av simuleringsprogrammet och de väsentliga nyckeltalen, förslag på eventuella förbättringar och resultat presenteras.

### 1.4 Frågeställning

Under projektet skulle dessa frågor först undersökas för att sedan besvaras.

- Var finns det flaskhalsar i systemet?
- Vad har systemet för ledtid, hur genomsyrar det produktionen?
- Hur är bemanningen och balanseringen i produktionssystemet?

### 1.5 Avgränsningar

Arbetet innehåller flera avgränsningar för att det inte skulle bli för omfattande och istället fokusera på frågeställningen. Den största avgränsningen är att modellen inte testades i verkligheten i samband med projektet, modellen utvärderas istället genom FlexSim.

Komponentval och tillvägagångssätt gällande processer utvärderas inte under arbetet. Produktionen analyserades utifrån materialflödet och inte ur ett administrativt perspektiv, inköp och saldon för systemet ingick inte i projektet.

Simuleringsmodellen innefattar ej FAT-testerna som sker i klimatkammaren då det inte fanns tillräckligt med tid att samla in data för dessa, processerna är dock illustrerade i flödesschemat. Även processen märkning är utesluten från simuleringsmodellen i brist av tid.

Simuleringsmodellen representerar endast ett kontinuerligt flöde av arbetet som utförs från måndag till torsdag. Arbetsuppgifter som utförs på fredag som packning och förberedelser av chassi samt okulärbesiktning av elskåp ingår ej i simuleringsmodellen.

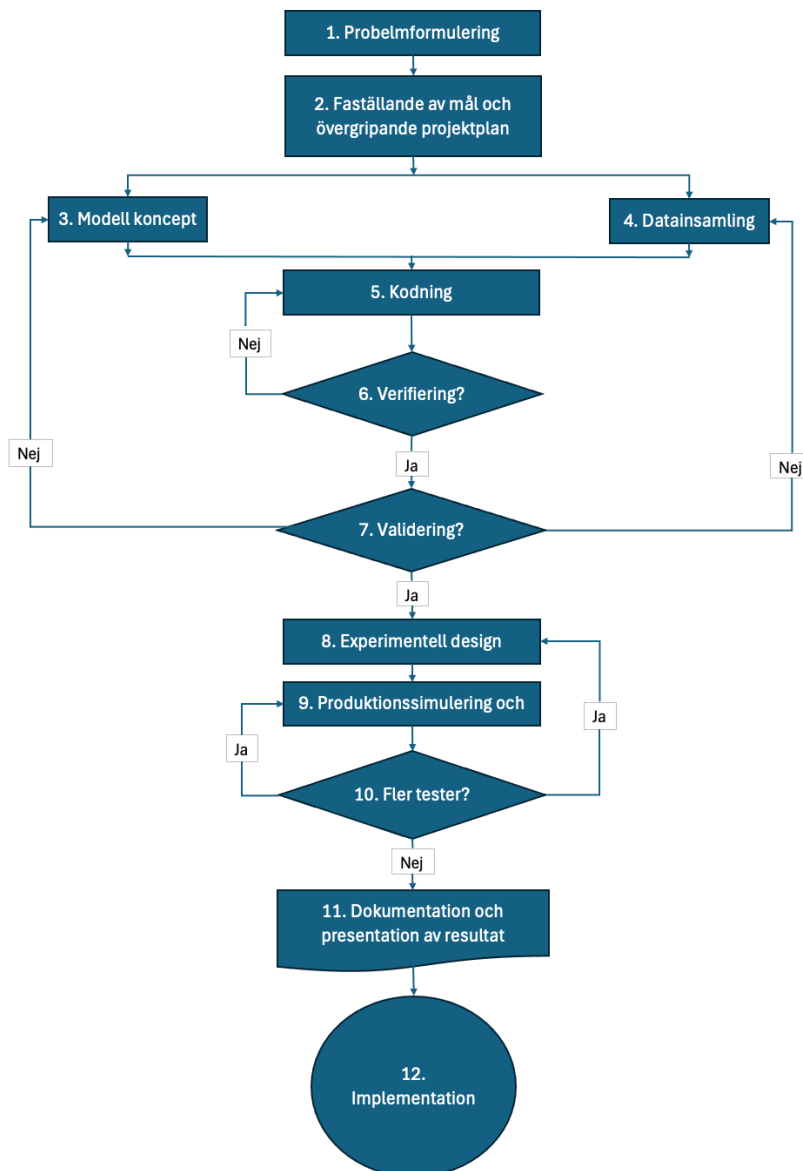
Godsmottagarens huvuduppgifter är att ansvara för inkommande leveranser, avemballera leveranser och lagerhanteringen. I modellen förser godsmottagaren endast produktionen med komponenter genom att flytta dessa mellan olika lager och inga mätningar gjordes på de verkliga processerna.

## 2. Teori

Kapitlet beskriver och förklarar de olika filosofierna, teknikerna och verktygen som användes under arbetets gång. Även tekniska begrepp och en djupare förklaring till hur simuleringsverktyget FlexSim är uppbyggt inkluderas.

### 2.1 Banks 12 stegs metod

Arbetet kommer att struktureras enligt Banks 12 steg för simuleringsprojekt där alla steg förutom steg 12 (implementation) är relevanta i arbetet. Figur 1 visar hur Banks modell är uppbyggd. Banks m.fl. (2005) ger följande beskrivning av de 12 stegen.



Figur 1. Illustrering av Banks 12 steg metod för simuleringsarbete, Banks (2005).

### *Steg 1: Problemformulering*

Det inledande steget i en studie är problemformuleringen, beslutfattarna eller de som är innehavare av problemet och analytiker måste båda tydligt förstå vad problemet är. Det ska inte finnas några tveksamheter och det kan krävas omformulering under arbetets gång.

### *Steg 2: Fastställande av mål och övergripande projektplan*

För projektplanen är målet att presentera vad som ska undersökas, vilka frågor som ska besvaras och utreda om simulation är den mest lämpliga metoden att använda. Denna del ska även innehålla en tidsplan, projektets personalbehov och de tekniska behoven.

### *Steg 3: Modell koncept*

Syftet i det tredje steget är att skapa en modell som illustrerar det essentiella i problemet och de karaktärsdrag som kännetecknar systemet. En första modell bör vara simpel för att sedan kunna addera mer komplexitet vid behov. Detaljnivån ska inte överstiga den grad som krävs för att uppfylla ändamålet med modellen.

### *Steg 4: Datainsamling*

I detta steg samlas all nödvändig data för att skapa en simuleringsmodell som speglar det verkliga systemet. Datainsamling är den processen som tar längst tid att utföra och man ska därför börja samla in så tidigt som möjligt, ofta görs insamlingen i samband med att den konceptuella börjar skapas.

Insamlade data kan exempelvis vara processtider som i detta arbete, cykeltider och lagersaldon. Det är av stor vikt att samarbeta med inkluderade parter för att kolla vilken data som redan finns och vilken som behövs tas fram.

### *Steg 5: Kodning*

När den konceptuella modellen och datainsamlingen är klar skapas den virtuella modellen av produktionssystemet som senare kommer användas för att utföra experimenten.

Kodningen görs efter den konceptuella modellen och all data matas in. Nivån på förarbetet är direkt kopplat till resultatet av den virtuella modellen och dess likhet med det fysiska produktionssystemet.

### *Steg 6: Verifiering*

Verifiering handlar om den operativa modellen och att ställa sig frågan om modellen uppträder på ett korrekt sätt. Om inputen och den logiska strukturen är representerade på ett korrekt sätt i simuleringsprogrammet är verifieringen klar.

För att verifiera modellen kan man visa kodningen och in-data för insatta parter, använda de-bugging/run controller inbyggt i programvaran och analysera animeringen under testkörningar. Det är rekommenderat att verifiera modellen under processens gång och inte vänta tills den anses vara klar.

### *Steg 7: Validering*

Validerings steget finns för att avgöra om modellen är tillräckligt lik det riktiga systemet och går att använda som ersättning vid experimenten. In och output data i modellen ska jämföras med den historiska data som existerar.

### *Steg 8: Experimentell design*

Vilka experiment som ska simuleras bestäms i steg åtta, ofta beror beslutet på körningar som gjorts i tidigare skede. Beslut måste även tas angående, warm-up time/steady-state, längden på simuleringen (simuleringshorisont) och antalet testkörningar (repetitioner) som ska göras för de olika scenarios så testerna går att förlita sig på.

### *Steg 9: Produktionssimulering och analys*

Produktionssimulering och analys görs för att se hur bra systemet presterar under de olika experimenten. Det är viktigt att vänta tills den simulerade produktionen är uppe i normalt läge innan data samlas in, i början är simuleringen tom och föreställer inte det verkliga systemet.

### *Steg 10: Flera tester?*

Baserat på experimenten som utförts och analyserats avgörs det om ytterligare tester bör utföras eller om nya scenarion ska sättas upp.

### *Steg 11: Dokumentation och presentation av resultat*

Dokumentation är nödvändig av många olika anledningar, om modellen ska användas av utomstående analytiker eller samma måste de kunna förstå hur simuleringsmodellen

fungerar. God dokumentation kommer även skapa förtroende för modellen och göra det mer troligt att beslut tas baserat på analysen av modellen. Det är även viktigt att dokumentera hela processen, vilka beslut som togs, ändringar och andra viktiga händelser.

### *Steg 12: Implementation*

En framgångsrik implementering beror på hur väl de föregående 11 stegen har utförts, har kunden följt med under projektets gång ökar det sannolikheten att förändringarna implementeras.

## 2.2 Simulation

Enligt Banks (2000) är en simulation en imitation av en process eller system i den verkliga världen. Med korrekt indata för att skapa en artificiell historia för en process eller system kan historien användas för att dra slutsatser om dess verkliga egenskaper. Simulation kan vara lösningen på många problem och har därför blivit ett bra verktyg för att hitta lösningar i komplexa system.

Genom en välfungerande modell kan simulering göra det möjligt att förutspå ett systems kapacitet och brister. Detta medför även möjligheten att undersöka dess prestanda under varierande förhållanden och testa olika potentiella scenarios utan att behöva ändra systemet i verkligheten. Simulering är därför ett perfekt koncept för att kunna besvara frågeställningen för projektet.

Med hjälp av simuleringsprogrammet FlexSim gjordes en flakhalsanalys utifrån den uppbyggda modellen. Utan ett simuleringsprogram hade en flakhalsanalys inte varit lika tillförlitligt samt tagit längre tid att utföra. Förutom en flakhalsanalys gjordes även en analys av bemanningen och balanseringen i systemet.

## 2.3 Discrete Event Simulation (DES)

Discrete Event Simulation är en väldigt användbar modelleringsmetod för att analysera system där förändring sker vid specifika tidpunkter och inte kontinuerligt. Dessa tidpunkter är betydande händelser i simuleringen och kan även kallas "events". Systemets status uppdateras endast när en diskret händelse inträffar, annars anses systemet vara oförändrat. Detta medför att intervallet mellan händelserna varierar beroende på vilken tidpunkt det

händer, därför kan även längre tidsperioder simuleras effektivt, detta enligt Banks m.fl. (2005).

Användningsområdena för metoden är stora och medför många fördelar. Inom områden som produktion, logistik, transport och lagerhantering används ofta DES. Metodens egenskaper gör den effektiv i att analysera system och identifiera flaskhalsar.

## 2.4 FlexSim

Simuleringsmodellen byggdes upp i FlexSim som erhöles av Elektroautomatik. FlexSim var en passande programvara då programmet har ett simpelt tillvägagångssätt för att skapa layout bestående av arbetsstationer, lager och operatörer. Programmet erbjuder också flertalet sätt att skapa relationer mellan arbetsstationer och operatörer, ett sätt är genom verktyget *Process Flow*. Process Flow används för att skapa relationer och logik mellan objekt, operatörer eller arbetsstationer. Verktyget erbjuder ett enklare sätt att skapa egen logik jämfört med FlexSim 3D modellerings verktyg.

I programmet finns även möjligheten att utföra experiment, då kan flera scenarion sättas upp för att se hur systemet reagerar med vissa förändringar. Till exempel kan man ändra antalet operatörer eller maskiner och sedan ta ut statistik för alla olika scenarion. All simulering i FlexSim är även i 3D vilket ger en visuell beskrivning av det verkliga systemet och det blir därför enklare att tolka modellen.

### 2.4.1 Begrepp och funktioner i FlexSim

FlexSim erbjuder flera funktioner och verktyg för att underlätta modellskapandet, I FlexSim Software Products (Version 25.1) beskrivs några av dem på följande sätt.

*Source* – Genererar produkter/enheter till modellen genom definierad ankomst och distribution. Alla komponenter som används i en simulering skapas i source.

*Sink* – Har uppgiften att ta bort färdiga produkter/enheter från systemet när de gått igenom hela produktion. När objektet landar i sinken är det även möjligt att läsa av data från produktens resa genom systemet.

*Token* – Ett objekt som används i funktionen Process Flow för att representera en process eller aktivitet. En token kan även innehålla data om objektet som den ska representera.

*Operatör (task executer)* - Består av en människa (operatör) eller maskin (AGV, truck eller robot) som utför en uppgift. Uppgifterna kan vara transport av material eller utförandet av en arbetsprocess.

*Arbetsstation (workstation)* - En arbetsplats där en operation utförs på ett objekt. En arbetsstation kan representera flera olika aktiviteter som bearbetning, packning, slipning eller inspektion.

*Combiner* – Med en combiner kan komponenter sammanfogas till en produkt, motsvarar oftast en montering i ett produktionssystem.

*Lager (storage)* - Lagerutrymme där objekt kan placeras tillfälligt innan nästa moment i produktionssystemet.

*Buffert (buffer)* - Är ett tillfälligt lagerutrymme mellan arbetsstationer, används för att hantera flödet i produktionen.

*Process Flow* – En visuell funktion som FlexSim erbjuder där logik används för att bygga ett flödesschema, vilket sedan kan kopplas till 3D-modellen.

## 2.5 Lean filosofi

Lean är både en samling metoder samt en filosofi som många företag använder sig av i olika delar av organisationen. I detta avsnitt förklaras Lean filosofin, dess utveckling samt var konceptet har sitt ursprung.

### 2.5.1 Toyota Produktion System (TPS)

Teich och Faddoul (2013) förklarar hur filosofin har sitt ursprung från Japan och *Toyota Production System (TPS)* med Taiichi Ohno i spetsen. I en tid av massproduktion var Toyota tvungna att hitta ett annat tillvägagångsätt på grund av bristande resurser. Detta resulterade i att fokuset landade på att minimera slöseri, även kallat “waste” eller “muda”.

Enligt Petersson (2015) syftar slöseri på följande åtta områden som är viktiga att minimera eller eliminera för att öka produktion.

*Vänta* - Innefattar tiden arbetare står sysslösa då deras arbete inte kan fortsättas, detta kan bero på att till exempel material eller verktyg saknas.

*Transport* – Med transport menas tiden som spenderas på transporterering av material eller komponenter inom produktionen. Transportering är inget som höjer värdet på varan utan ökar endast ledtiden.

*Överarbete* - Överarbete anses vara tiden som spenderas på arbete som inte kunden betalar för. Det som anses onödigt kommer ofta som en följd av en tidigare process som inte är tillräckligt pålitlig.

*Lager* – Lager kan anses vara en form av slöseri, när färdiga produkter och material inte ger eller skapar något värde utan istället bara ökar ledtiden innan de lämnar anläggningen.

*Rörelser* - Det finns många delar som kan innefattas i rörelseslöseri, ofta är det enkla saker som är lätta att återgå. Om till exempel verktyg involverade i en process är placerade långt ifrån arbetsstationen gör det att operatören måste förflytta sig längre än vad som kanske är nödvändigt.

*Defekter* – Innebär att produkten är defekt och antingen behöver bearbetas eller rent av kasseras. Att ha många defekta produkter i en produktion kan skapa stora kostnader och slöseri med tid.

*Överproduktion* - Följderna av överproduktion är oftast att det leder till slöseri i andra former, vilket gör det väldigt kostsamt.

*Outnyttjad kreativitet* – Genom att inte ta vara på personalens kompetens och input går arbetsgivaren miste om dyrbar kunskap som potentiellt skulle kunna tillföra värde.

## 2.5.2 Lean vidareutveckling

Utifrån TPS har sedan Lean utvecklats för att kunna optimera produktioner. Trots att Lean är väl dokumenterat tillkommer flera svårigheter vid implementering. Enligt Liker och Franz (2011) misslyckas många organisationer på grund av att de ser Lean som en process när det ska betraktas som en filosofi. Denna filosofi ska sedan genomsyra hela organisationen för att öka möjligheten till framgång.

## 2.6 Datainsamling

Datainsamlingen i arbetet utfördes genom mätningar utifrån tre kategorier: värdeskapande, icke värdeskapande men nödvändig och icke värdeskapande. Dessa tre kategorier beskrivs nedanför.

### *Värdeskapande tid (VA-tid)*

Enligt Liker (2004) är värdeskapande tid sådant att det tillför värde på produkten ur kundens perspektiv. Detta motsvarar även tiden som kunden är villig att betala för eftersom det tillför värde i form av förbättrande egenskaper, funktionalitet och kvalitet. Exempel på värdeskapande aktiviteter är montering och bearbetningsprocesser.

### *Icke värdeskapande tid men nödvändig (IVN-tid)*

Icke värdeskapande men nödvändig tid motsvarar moment som inte adderar värde för produkten men fortfarande behövs för att slutföra produkten. Dessa moment bör minimeras eftersom det inte medför värde till produkten men är svårare att eliminera, Liker (2004). Exempel på detta är ställtid, förebyggande underhåll, transport av produkten och inspektionstid.

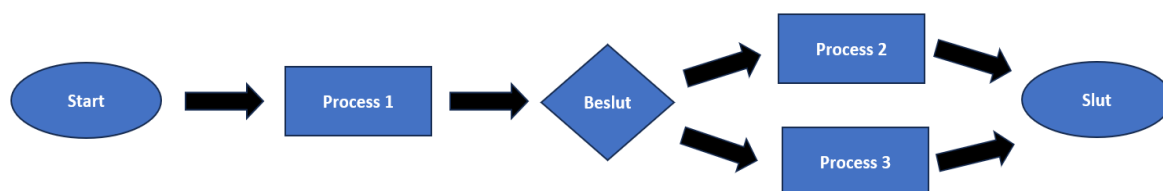
### *Icke värdeskapande tid (IV-tid)*

Liker (2004) förklarar att icke värdeskapande tid inte ger något värde till kunden och bör därför elimineras, tiden som spenderas på dessa moment anses vara slöseri. Exempel på icke värdeskapande moment är dötid och onödiga förflyttningar.

## 2.7 Flödesschema

Ett flödesschema är en bild som visar olika steg i en process i den ordningen de ska utföras liksom schemat i Figur 2. Schemat kan innehålla inputs och outputs av material eller tjänster länkat till en process, personer som är involverade, beslut som måste tas, processtider och annan relevant processdata. Verktöget är mångsidigt och kan beskriva det mesta såsom tillverkningsprocesser, administrativa processer och projektplaner, Tague (2023).

Fortsättningsvis förklarar Tague (2023) att det finns flera typer av flödesschema, en av dem är makroflödesschema som beskriver de större processtegen i ordning. Detaljerat flödesschema är en annan typ som innehåller både större och mindre aktiviteter, den fokuserar på att fånga detaljer som är viktiga för att exakt beskriva en specifik produktion. Det viktigaste med ett flödesschema är inte att göra det på "rätt sätt" eller att den måste innehålla viss information eller tillhöra en specifik kategori. Utan det viktiga är att personer involverade i projektet kan läsa av och förstå systemet samt att informationen som visas är relevant för projektet.



Figur 2. En enkel illustration av ett flödesschema med vedertagna symboler.

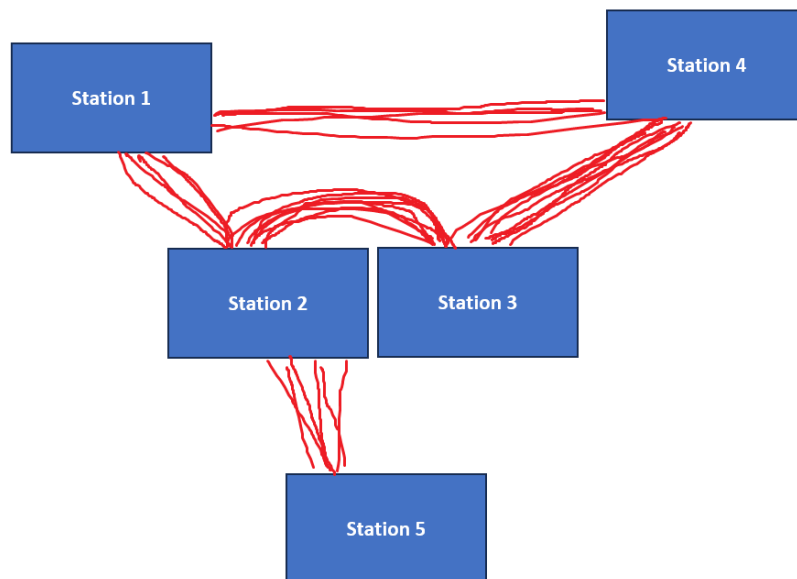
## 2.8 Spagettidiagram

Ett spagettidiagram visar rörelse under en process som i exemplet i Figur 3. Tague (2023) förklarar att rörelsen bland annat kan utgöras av material, information och människor. För att göra ett diagram krävs någon form av en karta till exempel en layout över det området som processen utförs, sedan dras linjer på kartan vid valt objekts förflyttning.

Tillvägagångssättet kan se ut som följande enligt Tague (2023):

1. Bestäm vilken typ av rörelse som ska följas. Material, information, människor, etc.
2. Fastställ vilket område som är relevant vid rörelsen och antingen skapa eller tillhandahåll en karta över området.

3. Ta fram en lista över processtegen, det bästa är att skapa eller tillhandahålla ett flödesschema.
4. Rita sedan ett streck varje gång objektet är i rörelse. Även om objektet gör samma förflyttning flera gånger ritas ett nytt streck varje gång.
5. Identifiera distans och tid vid rörelse, detta steg är frivilligt.
6. Analysera spagettidiagrammet och försök korta ner eller eliminera förflyttningar.



Figur 3. Ett enkelt exempel på ett spagettidiagram.

## 2.9 Tekniska begrepp

I följande avsnitt beskrivs flertalet tekniska begrepp som används i resterande delar av rapporten.

*Ledtid* - Den tid det tar för hela processen att utföras, totala tiden från start till slut. Detta inkluderar saker som produktionstiden och tiden en produkt väntar på att en operatör eller maskin ska bli ledig.

*Taktid* - Är den tiden som en produkt måste bli färdig för att möta kundens efterfrågan. För att få fram taktiden tar man den tillgängliga produktionstiden genom kundens efterfrågan.

*Processtid* - Den tid det tar att utföra en specifik uppgift eller aktivitet, avbrott som pauser är inte inräknat. I detta arbete är det till exempel den tid det tar att utföra mek-förmontag.

*Genomströmning (throughput)* - Är antalet produkter ett företag kan producera över ett visst tidsspann. I detta arbete beskriver genomströmningen hur många maskiner som blir färdigmonterade per tidsenhet.

### 2.9.1 Flaskhals (analys)

Ett produktionssystem kan ses som en stor kedja med olika delsystem, prestandan på ett system bestäms av det svagaste delsystemets högsta förmåga. En flaskhals är alltså det delsystem som limiterar kapaciteten för hela produktionen. Att förbättra flaskhalsen förmåga kommer öka hela systemets kapacitet väsentligt, därför är det viktigt att börja med att identifiera flaskhalsar, Tang (2019).

Genom att studera simuleringsmodellen och använda programmets verktyg kan man identifiera och analysera systemets flaskhalsar. Om parametrar ändras kan flaskhalsen röra sig från en del av systemet till en annan.

### 2.9.2 Steady-state

I början av en simulering står den virtuella fabriken tom och är inte representativ av en vanlig dag i en produktion. Man ska därför låta den simulerade produktionen komma upp i så kallat steady-state innan man börjar extrahera data, enligt Cherry, Sorenson och Phelps (2012). För att se om steady-state har uppnåtts kan man skapa en graf som är beroende av tid för att kolla när den uppvisar ett mönster och uppvärmningsperioden är passerad.

### 2.9.3 Simuleringshorisont

Det finns två huvudkategorier av simuleringshorisonter enligt Rossetti (2021) ändlig- och oändlig horisont. En simulering med en ändlig horisont har en väldefinierad slutpunkt i simuleringen, det kan vara en specifik tid eller villkor som avgör när simuleringen avslutas.

Den andra huvudkategorin, oändlig horisont och användas i detta projekt. Rossetti (2021) fortsätter förklara att en oändlig horisont inte har en naturlig start och slutpunkt, det finns

inga väldefinierade villkor eller tider som avgör när simuleringen avslutas. Oändlig horisont kallas även steady-state simulation eftersom man är intresserad av den långvariga inverkan på ett system under steady-state. Denna typ av horisont kan användas om man till exempel vill kolla på genomströmning i en fabrik under steady-state. Självklart måste en slutpunkt definieras då simuleringen inte kan pågå i all evighet, den ska dock vara tillräckligt avlägsen så att tiden ej är en faktor i hur simuleringen beter sig.

#### 2.9.4 Repetitioner

Rossetti (2021) skriver att en repetition eller replikation är en generering av en specifik sample path (provbana) som beskriver utvecklingen av ett system från simuleringens startpunkt till slutpunkt. Om man gör ett experiment med flertal repetitioner har alla repetitioner en individuell sample path trots att startpunkten och inputen är den samma.

Anledningen till att ha flera repetitioner är att simulering beter sig annorlunda varje gång den körs, vilket leder till variation i de resultat som uppmäts. Man ska därför köra en simulering flera gånger för att resultaten inte ska beror på slumpen och är statistiskt säkerställda.

## 3. Metod

Kapitlet beskriver hur projektet utfördes, från insamling av data och genereringen av konceptuella modeller till skapande av en simuleringsmodell och experimenten som utfördes.

### 3.1 Konceptuell modell

För att förstå hur produktionen fungerar och ser ut i dagsläget gjordes en konceptuell modell. En uppdaterad layout gjordes tillsammans med ett flödesschema för att använda som mall vid skapandet av simuleringsmodellen i FlexSim.

#### 3.1.1 Layout

För att kunna göra en simuleringsmodell krävs en förståelse av utrymmet produktionen utförs på, vilka arbetsobjekt som existerar och var de är utplacerade i förhållande till varandra. En simpel layout på produktionsytan fanns tillgänglig och den användes som mall för att skapa en ny uppdaterad version. Det fanns ett mått i den gamla layouten samt grundläggande delar som rum, arbetsstationer och vissa lager. Måttet användes för att räkna ut resterande distanser och nytillkomna objekt lades in i den nya versionen av layouten. Figur 4 visar layouten, vissa distanser och arbetsobjekt mättes manuellt ute i produktionen.



För att göra flödesschemat mer användbart för projektet samt mer informationsrikt adderades vissa element som lager, processansvarig och var i byggnaden processen utfördes. Förklaring av symboler visas i bilaga H och färger visas i bilaga I.

#### *3.1.2.1 Beskrivning av flödesschema*

När transporten med komponenter kommer in till montagehallen kan processen påbörjas, godsmottagaren tar emot och ser till att komponenter hamnar på rätt plats. El och mek förmontage görs i elverkstaden, dessa delar hamnar på vagnar för respektive kategori och körs in till slutmonteringen. Chassi och elskåp sätts samman i montagehallen och rullas in i slutmonteringen. Först görs mek slutmonteringen som sedan följs av de sju dagarna av el slutmontering. De färdigmonterade maskinerna rullas in till klimatkammaren där tester utförs. När maskinerna är godkända åker de in till testlagret där de står tills packningen utförs och maskinerna skickas iväg till slutlagret.

*Transport:* Chassin, elskåp och övriga komponenter levereras till EA för att starta hela processen. En leverans innehåller fyra chassin och elskåp som tas emot i montagehallen av godsmottagaren.

*Inleverans:* När godset kommer med transport är det godsmottagarens uppgift att ta emot och ställa av pallar och övriga paket i montagehallen. Det finns en designerad avställningsplats för större paket/pallar, mindre paket kan gå direkt till avsedd plats.

*Avemballering och lagerhantering:* När paketet ställts av inne i montagehallen är det godsmottagaren som avemballerar majoriteten av dem. Individuella komponenter eller mindre paket avemballeras av montör vid användning av komponenten. Godsmottagaren transporterar sedan paketet till pallställaget eller annan designerad lagerplats.

*Pallställage:* Många av de komponenterna som används till förmontaget och slutmontering förvaras någon gång under processen i pallställaget. Godsmottagaren är ansvarig för ställaget och övriga komponenter i montagehallen, det är även godsmottagarens uppgift att transportera vidare komponenter till andra lager vid behov. Chassi och elskåp förvaras vid sidan av ställaget innan de går vidare in till slutmonteringen, det samma gäller produkter

som ska användas vid mek förmontage. Komponenter behövs vid vissa tillfällen hämtas från pallställaget under mek förmontaget av montör.

*Lager, märken:* Märken som används för att identifiera bland annat sladdar, luftslangar och noder har ett eget lager i utskrivningsrummet (Elverkstaden). Där förvaras både färdigutskrivna och blanka märken, majoriteten av dessa märken utgörs av partex-skyltar.

*Utskrivning av märken:* El förmontör ansvarar för utskrivningen, märken sitter på kartor och skrivs ut enligt förutbestämda mallar. Runt varje skylt träas en plastficka, även in- och utgångar på vissa komponenter märks. Dessa skrivs ut till 10 maskiner åt gången.

*Lager, ej förmonterat:* Komponenter som används till el förmontage sätts i lagerhyllor och fylls på från det större lagret i pallställaget av godsmottagaren. Lagret består av lagerhylla C-H som innehåller komponenter som kablar och noder. Mindre komponenter till el förmontaget förvaras i lagerhylla A. Det finns även ett flertal bobinställ som innehåller el kablar och luftslangar på rulle i olika storlekar. Mindre komponenter som används till mek förmontage återfinns i lagerhylla B.

*Lager, förmonterat:* Alla Komponenter som monteras under el förmontaget hamnar på lager förmonterat. Det inkluderar alla kablar, luftslangar och noder. Komponenterna tas sedan från hyllorna och placeras på el vagnen eller mek vagnen beroende på var de ska användas.

*Förberedelse elskåp:* En okulär besiktning görs av elskåpen i montagehallen innan de kan skickas vidare till slutmonteringen, även vissa komponenter monteras på skåpen av el montör.

*Fästa chassi och elskåp:* Chassi och elskåp fästs i montagehallen och körs sedan in till ett ledigt lyftbord i slutmontaget.

*Insamling av material Mek:* Innan förmontage mek utförs flyttar den ansvariga mek montören komponenter som ska förmonteras från pallställaget till mek vagnen. Denna vagn körs sedan in till elverkstaden där monteringen sker.

*Mek vagn:* När den packade vagnen kommer in till elverkstaden tas ej förmonterade komponenter direkt från vagnen till arbetsstationen. Förmontaget utförs och komponenter placeras åter på vagnen, några komponenter som behandlats i el förmontage t.ex. noder tas från lager förmonterat och läggs på vagnen innan den körs ut.

*Förmontage mek:* Komponenter från mek vagnen och lager B i elverkstaden används vid förmonteringen, vissa komponenter hämtas även under förmonteringen från pallställaget. Färdigmonterade komponenter läggs sedan åter på mek vagnen och körs ut till slutmontaget.

### ***El förmontage***

De tre olika delarna som ingår i el förmontage är el kablar, luft och material. Alla de olika delarna är samlade i samma pärm: *kabeltillverkning* som en lista och följer den tidigare nämnda ordningen. En el förmontör ansvarar för att göra alla delarna på listan.

*Förmontage material:* I förmontage material monteras komponenter som går till lager förmonterat och sedan vidare till mek vagn. Saker som noder märks upp och även lödning av en komponent utförs.

*Förmontage luft:* Luftslangar kapas vid bobinställ och tas till arbetsstationen tillsammans med komponenter från lager ej förmonterat (lagerhylla A) tillsammans med märken. Luftslangarna monteras, märks och läggs sedan i lager förmonterat.

*Förmontage el-kablar:* Alla kablar som ska monteras på maskinen görs i förmontage för el kablar. Kablar hämtas från ej förmonterat lager eller kapas vid bobinställ och tas till arbetsstationen tillsammans med märken och andra komponenter från lagerhylla A.

*El-vagn:* En el vagn innehåller alla elkablar och luftslangar som monteras. Vagnen fylls på i elverkstaden av godsmottagaren från lager förmonterat och körs ut till slutmonteringen. Vagnens hyllplan är uppdelade i dagar och komponenter som behövs för en specifik dag läggs på bestämd plats. När alla komponenter från vagnen är monterade körs den tillbaka till elverkstaden och processen kan börja om.

### *Slutmontage El*

Slutmonteringen för el är uppdelad i 7 dagar, det kallas dagar men de tar inte en hel arbetsdag, flera dagar utförs samma dag eller i alla fall påbörjas och kan därför mer ses som moment. En slutmontör utför alla 7 på en maskin, momenten bygger på varandra och måste därför göras i ordning. Kablar ska kopplas både på komponenterna som satts på chassit i mek slutmontering och elskåpet.

*Dag 1–4:* Dessa dagar går till största delen ut på att ta kablar och luftslangar från el-vagnen och montera på chassit.

*Dag 5–6:* Det finns inga kablar på el-vagnen till dessa två moment utan största delen av dagarna rör elskåpet och att koppla kablar som går från chassit till elskåpet.

*Dag 7:* Denna dag utförs tester på maskinen, detta för att kolla så att allt är i ordning för att kunna skicka in maskinen till klimatkammaren för ytterligare tester.

*FAT-testning EA:* EA utför sina egna FAT-tester (Factory Acceptance Test) utan att kunden är närvarande, då provkörs den färdigmonterade maskinen under produktionslika förhållande i klimatkammaren av testoperatör. Maskinen körs sedan in till testlagret om det finns plats tillgänglig.

*FAT-testning kund:* En annan serie av FAT-tester utförs men med kunden närvarande i klimatkammaren, dessa tester utförs var tredje vecka eller när tolv maskiner ska vara färdigmonterade och FAT-testade av EA. Maskinen tas då från testlagret och in till klimatkammaren och alla 12 maskiner testas.

*Test lager:* När maskinerna fått godkännande på FAT-testerna av EA körs dem in till testlagret väntan på att kunden ska vara närvarande vid resterande FAT-tester. Vissa maskiner kan behövas ställas på andra ställen då det inte finns plats för 12 maskiner i utrymmet.

*Utföra åtgärder:* Om testerna visar på att något med el eller mek ej fungerar som det ska åtgärdas det med hjälp av montör från området det berör. Vissa problem framförallt om det är mekaniska kan lösas av testoperatörerna själva.

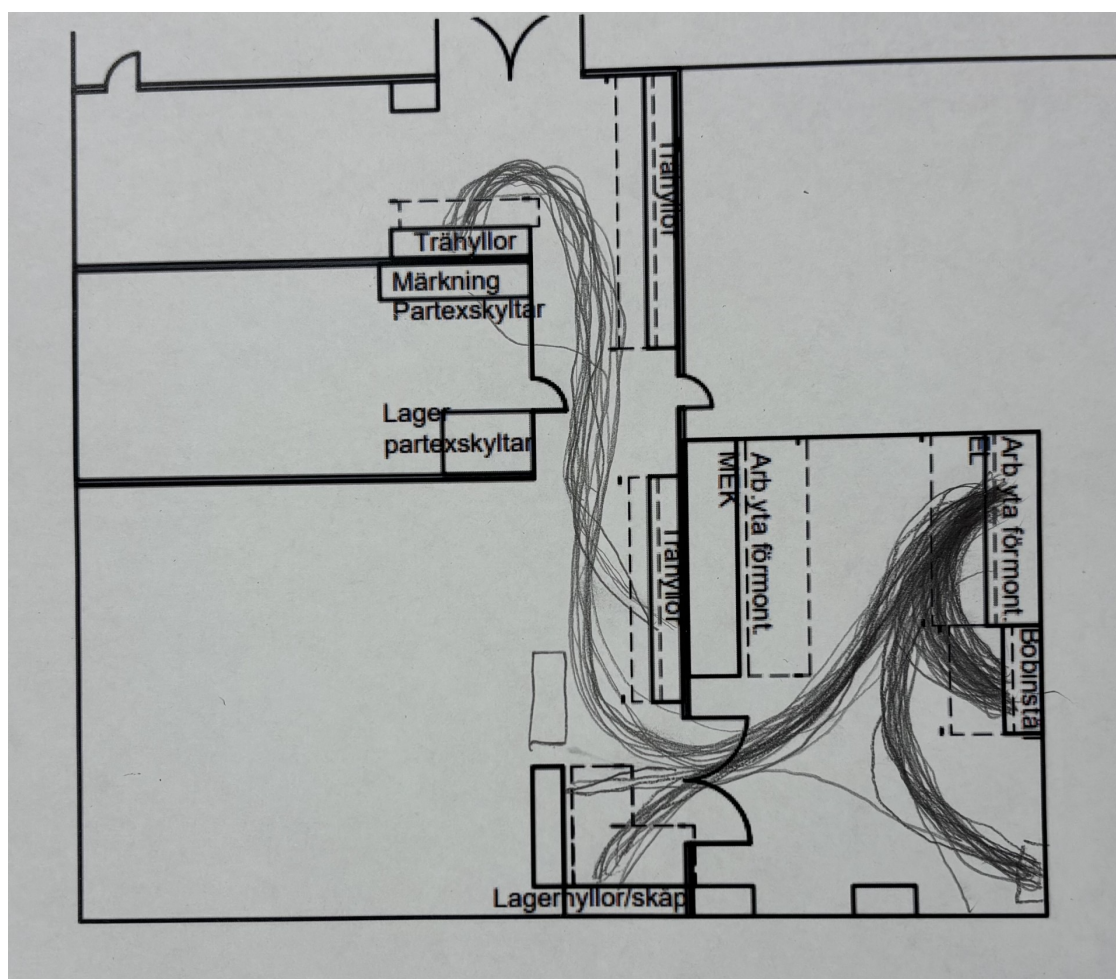
*Packning:* Innan maskinerna skickas vidare till slut lagret måste dem packas i träemballage, varje emballage håller 2 maskiner. Viss demontering görs för att maskinerna ska få plats i emballaget.

*Slutlager:* Det är här maskinerna har nått sitt slutmål i arbetet, träemballagen skickas då vidare från EA till ett större lager där maskinerna väntar på att transporteras vidare till kund.

### 3.1.3 Spaghettdiagram

Under det att mätningar gjordes till datainsamlingen antecknades även montörernas rörelse i ett spaghettdiagram visat i Figur 7. En layout över det området processen skulle äga rum skrevs ut, streck drogs sedan mellan olika arbetsobjekt när montören förflyttade sig.

Diagrammet analyserades sedan för att hitta potentiellt onödiga förflyttningar.



Figur 7. Visar ett spaghettdiagram från en arbetsdag av el förmontage.

## 3.2 Datainsamling

Datainsamlingen skedde i två steg, först mättes processtiderna och sedan utfördes en intervju med personalen.

### 3.2.1 Mätning processtider

Alla mätningar gjordes genom att följa en montör under en specifik arbetsuppgift. Processtid mättes och kategoriserades enligt värdeskapande tid (VA-tid), icke värdeskapande tid men nödvändig (IVN-tid) och icke värdeskapande tid (IV-tid). Det togs ingen hänsyn till tiden för individuella moment under processen utan all tid för de olika kategorierna ackumuleras under hela processtiden. Tidtagning skedde med hjälp av tre ur som alla representerade varsin tidskategori, bara en klocka i taget var igång.

Alla mätningar gjordes endast en gång på grund av de långa cykeltiderna. För att komplettera mätningarna eftersom en mätning inte gör datainsamlingen statistisk säkerställd gjordes intervjuer med erfarna montörer för att få en estimering av minimum, standard och maximum, detta förklaras mer i nästkommande avsnitt 3.2.2.

Om montören endast tog några fåtal steg runt arbetsstationen stoppas ej uren. Däremot om montören stötte på problem och behövde assistans pausades alla uren under tiden hjälp tillhandahölls, detsamma gällde om montören gav assistans till kollegor. Klockslagen vid intressanta händelser som möte eller lunch antecknades.

Arbete vid arbetsstationerna räknades i regel som VA, även om montören till exempel plockade upp verktyg. Det fanns vissa undantag som upppackning av komponenter, om detta sker vid arbetsstationen räknas det som IVN. I stora drag, om arbetet uppenbarligen inte var värdeskapande och tog signifikant tid (mer än några sekunder) hamnade det under kategorin IVN även om det sker vid arbetsstationen. Anledning till att det görs på detta sätt är att det är många små moment som bara tar några fåtal sekunder, att starta och stoppa olika tidtagarur för så korta perioder blir bara kontraproduktivt. Fokuset för detta projekt handlar ej om att optimera individuella moment och sekvenser av processerna utan fokuserar på helheten för produktionslinan. I övrigt mättes alla moment enligt teorin. IV-tid kunde till exempel vara när montörerna kollade mobilen och inte arbetade. IVN moment kunde vara

när montören stod vid ett lager och letade rätt på en komponent, VA-tid var bland annat när en komponent monterades på chassit.

Antalet förflyttningar montören gjorde till olika arbetsobjekten noterades, till exempel om montören gick till ett lager eller för att kasta något i en soptunna. Information som ansågs vara viktig noterades under processens gång såsom reflektioner från montören om arbetet, eventuella förbättringsmöjligheter eller felaktigheter i anslutning till tidtagningen.

Efter processen var färdig sammanställdes alla tider, förflyttningar och anteckningar som i ett Excel-dokument dedikerat till just den specifika processen. Övriga tankar och funderingar kring processen skrevs ner tillsammans med de anteckningar som gjordes under processen. Alla processtiderna som mättes visas nedan i Tabell 1.

Tabell 1. En sammanställning av datainsamlingen utifrån tre kategorierna samt total tid.

	Mätning 1			(sekunder)	
	VA	INV	IV	Total tid	Total tid
<b>Mek förmontage</b>	02:47:02	00:37:03	00:22:12	03:46:17	13.577
<b>Mek Slutmontering</b>	02:55:49	00:58:08	00:07:09	04:01:06	14.466
<b>Vagn packning</b>		00:51:45	00:03:15	00:55:00	3.300
<b>Kablar</b>	05:52:39	01:53:05	00:07:45	07:53:29	28.409
<b>Luft</b>	01:10:39	00:11:27	00:02:30	01:24:36	5.076
<b>Material</b>					1.800
<b>EL Förmontage total</b>					35.285
<b>EL dag 1</b>	03:32:46	00:24:15	00:06:20	04:03:21	14.601
<b>El dag 2</b>	03:56:29	00:48:22	00:23:42	05:08:33	18.513
<b>EL dag 3</b>	02:54:07	00:13:13	00:09:20	03:16:40	11.800
<b>El dag 4</b>	04:28:08	00:26:48	00:21:13	05:16:09	18.969
<b>El dag 5</b>	03:18:34	00:10:58.0	0:33:50	04:03:22	14.602
<b>EL dag 6</b>	03:03:28	00:15:34	00:08.31	03:29.33	11.773
<b>El dag 7</b>	04:11:24	00:42:31	23:48	05:17:43	19.063
<b>El dag 7 inspektion</b>	0	855	0		0.855

### 3.2.2 Intervju för tidsestimering

Intervjuer med montörer för de olika arbetsmomenten gjordes för att verifiera tidtagningen samt för att dem skulle kunna ge egna estimeringar på hur tidskrävande processerna är. Datainsamlingen visades för montören som verifierade tiderna samt gav en ungefärlig minimum-, standard- och maximum-processtid som kunde användas som komplement till den data som uppmättes. Tabell 2 nedan visar vilka tider som montörerna angav vid intervjutillfällena. Tabellen visar vilka värden som är estimerade genom färgkodning där grönt är estimerat maximum, orange representerar estimerat minimum och blått estimerat standardtid. Även en uppmätt tid kunde representera ett minimum och maximum om montören tycker det.

Tabell 2. tabellen över de estimerade tiderna. Tider som inte har bakgrundsfärg är uppmäta tider.

Estimerat minimum:				
Estimerat standard:				
Estimerat maximum:				
	Estimerade min & max (sekunder)			
	Minimum	Standard	Maximum	
<b>Mek förmontage</b>	13577	21600	28800	
<b>Mek Slutmontering</b>	14466	23400	28800	
<b>Vagn packning</b>	3000	3300	3600	
<b>Kablar</b>	28409	36000	39600	
<b>Luft</b>	5076	5076	6300	
<b>Material</b>	1200	1800	2700	
<b>EL Förmontage total</b>	34685	42876	48600	
<b>EL dag 1</b>	14601	17100	18000	
<b>El dag 2</b>	12600	16200	18513	
<b>EL dag 3</b>	11800	14400	16200	
<b>El dag 4</b>	14400	16200	18969	
<b>El dag 5</b>	12600	14602	17100	
<b>EL dag 6</b>	11773	15300	17100	
<b>El dag 7</b>	12600	16200	19063	
<b>El dag 7 inspektion</b>	855	855	855	

## 3.3 Kodning

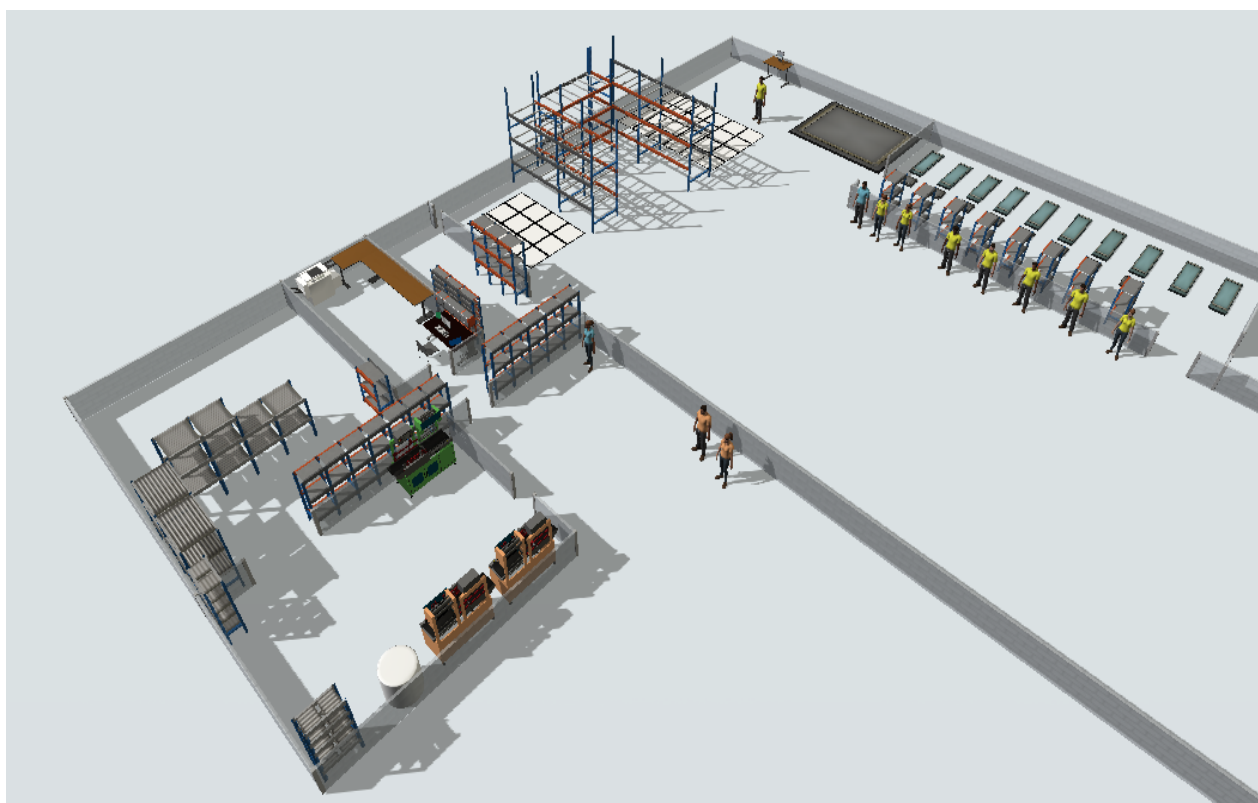
Kodningen som gjordes i simuleringsprogrammet var utifrån flertalet bestämda förhållanden. Syftet med modellen var att kunna beräkna ledtiden för produktionen, analysera flaskhalsar, genomströmning av produkter och utföra experiment angående bemanning. Detta ledde till att produktionsmoment som endast utförs under måndag till torsdag är med eftersom fredagar är en förberedelsedag för nästkommande vecka. Inköp av material är en avgränsning i detta projekt vilket betyder att inkommande material alltid ska vara tillgängligt, produktionen ska aldrig upphöra eller påverkas av materialsaknad. Även godsmottagarens arbetsmoment är simplifierade genom att endast förse produktionen med material.

Montörer i FlexSim hade inte något arbetsschema registrerat, istället arbetade dem kontinuerligt 24 timmar om dygnet i modellen. Detta är viktig aspekt när statistik på simuleringen ska tolkas och analyseras.

Nedan förklaras mer detaljerat hur kodning är uppbyggd i process flow samt hur layouten gjordes i 3D-vyn i FlexSim. Vidare beskrivs hur modellen verifierades och validerades för att säkerställa dess tillförlitlighet. Även input data som distribueringen av processtider förklaras.

### 3.3.1 Layout

Det första steget som gjordes under skapandet av simuleringsmodellen i FlexSim var att modulera utrymmet, lägga in alla arbetsobjekt från den uppdaterade layouten samt dela upp de olika sektionerna som elverkstad och slutmontering. Standardmodeller i FlexSim programmet användes för att symbolisera till exempel processer, lagerhyllor och montörer. För enstaka arbetsstationer och montörer gjordes visuella förändringar utifrån standardmodellerna för att enklare kunna urskilja dessa under simulering samt göra modellen mer estetiskt tilltalande. Layoutens utrymmen är gjorda utifrån den layout som erhållits av Elektroautomatik med dimensioner. Nedan presenteras den slutgiltiga layouten som gjordes i FlexSim, se figur 8.



Figur 8. Visar resultatet av layouten som byggdes upp i FlexSim.

Lagerhyllor mättes för hand och lades in i FlexSim, även väggar dimensionerades upp. Lagerhyllorna i layouten har inte överensstämmande benämningar med lagerhyllorna i verkligheten eftersom alla lagerhyllor i simuleringen inte används. Om varje komponent i förmontaget varit representerat hade alla lagerhyllor utnyttjats även i simuleringen. I figur 9 syns även objektet "Queue" som placerats framför varje lyftbord i slutmonteringsrummet, detta representerar inte verkligheten utan är ett tillägg för att underlätta kodningen. Figuren visar en sekvens av slutmonteringen när montörerna arbetar. Den grå lådan placerat på lyftbordet representerar chassi och elskåp och de bruna boxarna representerar komponenterna som monteras av mek- och elmontörer.



Figur 9. En bild från 3D-vy när en simulering utförs över slutmonteringen.

### 3.3.2 Process flow

Process flow är ett verktyg i FlexSim som används för att bygga upp logik utanför 3D-modellerings miljön. Genom dess flödesdiagramliknande grund är det möjligt att skapa mer avancerad logik som hade varit svår att koppla i 3D-vyn. Dessutom finns många smarta funktioner i process flow som underlättar kodningen. Tokens används sedan för att enkelt följa den uppbyggda modellen, då användaren avgör vad tokens ska representera.

Uppbyggnaden av koden i process flow gjordes utifrån ett materialflöde och ett processflöde där alla processteg ingick, se bilaga A, B, C och D. Materialflödet kopplades sedan till processtegen genom listor. För varje processteg finns det en lista där allt tillgängligt material står listat, dessutom möjliggör listor ett sätt att skicka information mellan processer och materialflödet. Information som är intressant kan till exempel vara vilken process som genomförs, nästa steg i processen, produktnamn och vilken station komponenten befinner sig vid. I modellens användes labels i form av: *Type*, *item*, *Kategori*, *Process* och *Nextstep*, för att lagra information i tokens som sedan användes flertalet gånger i olika processteg. Felsökning görs även mer effektivt och underlättas genom att lagra information var komponenter befinner sig.

En stor fördel med process flow är att det påminner om ett flödesdiagram eftersom det underlättar logikupbyggnaden. Flödesschemat som gjordes i tidigare steg är grunden för logikupbyggnaden i process flow. Den konceptuella modellen följdes noggrant för att inte missa någon koppling mellan processtegen. I bilaga B, C och D visas processtegen i process flow, där motsvarar tokens aktiviteter medan för materialflödet i bilaga A motsvarar tokens material.

### 3.3.3 Process flow och layout integrering

Genom en komplett process flow uppbyggnad kan experiment utföras och statistik erhållas. 3D-vyn är en viktig del av modellen eftersom det går att kontrollera så att processer och montörer fungerar korrekt genom att kolla när simuleringen körs. En simulering med både process flow och 3D-vy kan även ge en ökad förståelse därför gjordes båda delarna för att skapa en tydlig helhetsbild.

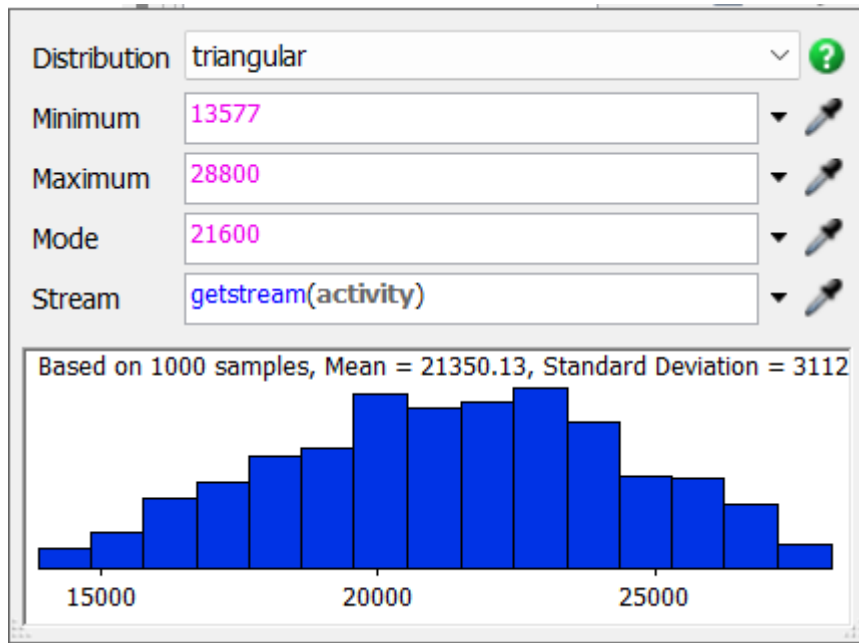
Process flow logiken och layouten integrerades genom att koppla all logik till rätt arbetsstationer, montörer och lagerplatser. I den integrerade modellen delades även montörer och arbetsstationer in i grupper vid behov. Dessa grupper används sedan i logiken, där en grupp kan anropas vilket leder till att en av montörer i gruppen får en uppgift att utföra. Detta är ett smidigt sätt att anropa flera montörer samtidigt för att ge en tillgänglig montör en uppgift.

Fortsättningsvis skapades GlobalTables, tabeller, där information om material och processtider från datainsamling lagrades. För arbetsstationer kan tabellvärden sedan anropas efter beroende på vilka moment som ska utföras av en montör. Modellen bli mer levande genom att inför statistiskdistribution för varje mätning, annars hade en process alltid fått samma processtid.

För att säkerställa att simuleringsmodellen är fullt fungerade utan buggar, logikfel eller sekvensfel är det avslutningsvis viktigt att den testkörs flertalet gånger. I följande steg används även 3D-vyn för att säkerställa att montörer har ett korrekt rörelsemönster samt att material transporteras och placeras på rätt platser.

### 3.3.4 Process time

De processtider som togs fram under mätningar och intervjuer lades in i funktionen distribution i FlexSim. Den distribueringen som valdes för processtiderna kallas triangeldistribution och visas i figur 10 nedanför.



Figur 10. Inställningarna för triangulär distribution för mek förmontage.

Maximum-, minimum- och standardtiderna för processerna som togs fram i datainsamlingen lades in i programmet. Detta gör att en slumpmässig tid för processen väljs ut när den ska utföras. Det är mer troligt att värdet hamnar nära medelvärdet som höjden på staplarna i figuren visar och den kan heller inte vara över max och min värdet som satts. Detta gjorde att tiderna för de olika processerna varierade i simuleringen och var mer likt den riktiga produktionen. Triangel distribution ansågs vara lämplig då det fanns ett min, max och medelvärde för alla processtiderna. Om datainsamlingen hade varit mer omfattande skulle ett Goodness of fit test kunnat utföras för att avgöra vilken fördelning som hade varit att optimal för processtiderna.

### 3.3.5 Verifiering

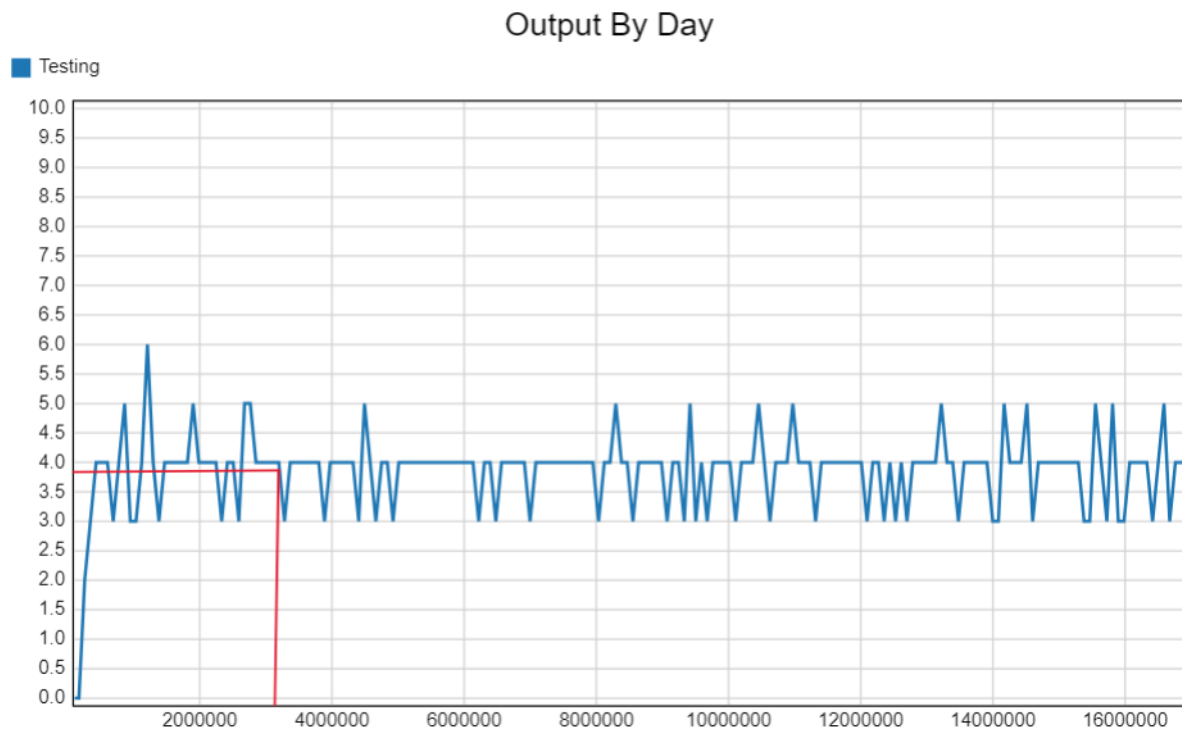
För att verifiera modellen jämfördes den noggrant med den konceptuella modellen. Modellen verifierades sedan genom ett möte med handledaren från Elektroautomatik som jobbar med och har stor erfarenhet av FlexSim. Detta möte inleddes med att den konceptuella

modellen presenterades för att ge en god förståelse över flödet och innehållande moment. I samband med avstämningen av logiken testas även modellen genom flertalet testkörningar. Testkörningar är avgörande för att undersöka om modellen kommer kunna simulera och ge trovärdiga resultat då simulering är över en längre tidsperiod.

### 3.3.6 Validering

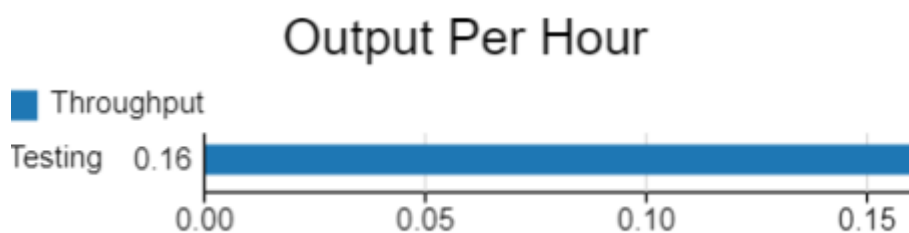
För valideringsprocessen är det viktigt att ingående parametrar och mätningar är rimliga. Detta säkerställdes genom ett möte med en erfaren montör som analyserade mätningarnas rimlighet. Mätningarna är extra känsliga eftersom endast en mätning har gjorts för varje moment.

Fortsättningsvis undersöktes modellens steady-state, warm-up time och resulterande genomströmning. Undersökningen av dessa värden görs inte endast som förberedelse inför experimentdelen utan är ett tillvägagångsätt för att validera simuleringen, kännbart värde på genomströmningen tyder på en väl fungerade modell. För att bestämma när modell uppnått ett steady-state, användes en graf som visar genomströmningen per dag, output per day, där steady-state anses uppnås vid 3 000 000 sekunder eftersom den stabiliseras därefter, se figur 11. Simuleringstiden innan det stabila tillståndet är warm-up time, vilket är tiden som inte kommer att inkluderas i resultatet av experimentet. Warm-up time blir därför 3 000 000 sekunder för modellen.



Figur 11. Genomströmning av maskiner per dag samt var steady-state är.

Medelvärdet för genomströmningen blev 0,16 maskiner per timme, se Figur 12. För att avgöra ifall genomströmningen är ett kännbart värde kan genomströmningen per timme multipliceras med förväntad arbetstid per dag vilket är 7,2 timmar samt de 4 produktionsdagarna, se ekvation 1. Resultatet blir 4,6 maskiner i veckan, vilket är ett rimligt värde då målsättningen var att tillverka fyra maskiner i veckan.



Figur 12. Visar genomströmningen per timme för modellen.

$$0.16 \cdot 7,2 \cdot 4 = 4,608 \text{ maskiner} \quad (1)$$

### 3.4 Experimentell design

Innan experimentet kunde utföras bestämdes ett antal viktiga parametrar för att säkerställa relevanta resultat, längden på simuleringen och antalet repetitioner bestämdes för alla experiment och scenarios som skulle undersökas.

*Simuleringshorisont:* Simuleringen i detta arbete hade ingen naturlig slutpunkt och därför bestämdes det att simuleringshorisonten skulle vara 17 000 000 sekunder. Med en arbetsdag på 7,2 timmar motsvarar detta ungefär 656 dagars produktion i det verkliga systemet. Så med en warm-up time på 3 000 000 sekunder tas resultat från simuleringen under resterande 14 000 000 sekunder.

*Repetitioner:* Ett experiment utfördes på simuleringen med 10 repetitioner för att räkna ut vilket antal repetitioner som var rimliga att köra för kommande experimenten.

Genomströmningen per dag valdes som parameter för att kolla vilka värden som varje repetition gav. Eftersom processtiderna är olika kommer simuleringen bete sig olika vid varje ny repetition vilket ger olika värden för genomströmning per dag. FlexSim har en inbyggd funktion som sammanställer medelvärdet, standardavvikelse och felmarginal, som alla visas i Figur 13 nedan.

Output per Day				
	Mean	Sample Std Dev	Min	Max
	(95% Confidence Interval)			
<b>Scenario 1</b>	3.87195 ± 0.00912	0.01275	3.85097	3.89417

Figur 13. Simuleringsdata från pilotkörning av modellen.

Medelvärdet för alla 10 repetitioner med ett konfidensintervall på 95% hamnar på 3,87195 produkter/dag, den absoluta felmarginalen var 0,00912 och standardavvikelsen blir 0,01275. Felmarginalen beskriver hur nära man vill komma det sanna medelvärdet, den kan beskrivas som ett fast värde (absolut) och som en procentsats (relativ). En felmarginal på 0,00912 i detta sammanhang är väldigt lite och motsvarar en relativ felmarginal på lite över 0.24%. Därför togs beslutet att höja den absoluta felmarginalen något till 0,012. Att ha ett mindre värde med den långa simuleringshorisonten som repetitionerna har ansågs vara omotiverat. Ofta behövs inte lika många repetitioner när simuleringen pågår under så lång tid, värdena skiljer sig inte avsevärt från varandra och det gör att simuleringen tar mycket längre tid utan

att skapa mer värde till resultaten. För att räkna ut hur många repetitioner som bör göras användes ekvation 2.

$n$  = Antal repetitioner

$z$  = Kritiskt värde för normalfördelningen (konfidens på 95% blir 1.96)

$s$  = Standardavvikelse = 0,01275

$E$  = Felmarginal (absolut) = 0,012

$$n = \left(\frac{z \cdot s}{E}\right)^2 \quad (2)$$

$n$  = 4.34 repetitioner

Utifrån resultatet beslutades det att göra 5 repetitioner för varje scenario i experimenten, detta ansågs vara ett rimligt antal med hänsyn till felmarginalen, konfidensintervallet och standardavvikelsen som användes i uträkningen.

### 3.5 Beskrivning av experiment

Det som undersöktes under experimenten var bemanningen i både förmontaget och slutmontaget samt vilken genomströmning systemet hade under olika parametrar. Detta för att undersöka om det fanns en balans mellan förmontagen och slutmontagen samt om det går att balansera det med den tänkta taktiden på 7,2 timmar. Tanken var att producera 4 maskiner i veckan (måndag-torsdag) och den effektiva arbetstiden som fanns tillgänglig per dag var 7,2 timmar.

För att testa hur många personer som behövdes för att göra el slutmonteringen sattes ett experiment upp. Fyra scenarion skapades där varje scenario hade olika antal montörer i el slutmonteringen. Antalet gick från sju montörer som i det föreslagna systemet ända ner till fyra montörer. Så det gjordes då fyra olika simuleringar med den enda skillnaden är antalet montörer som arbetar i el slutmontering. Alla scenarierna kördes med samma parametrar, fem repetitioner och en simuleringshorisont på 17 000 000 s.

Tillsammans med scenariona lades det in vilken statistik som skulle undersökas under simuleringarna. I arbetet valdes det att kolla på genomströmningen per timme för färdiga maskiner, alltså hur många maskiner som kommer in till testrummet per timme. Genom dessa siffror kunde alla fyra scenarier ställas mot varandra och på sådant sätt analysera vilket antal montörer som behövdes för att producera en maskin per dag.

För att undersöka flaskhalsarna i systemet användes en tabell som visade montörernas aktivitet, tabellen visade hur många procent av tiden montörerna var aktiva eller inaktiva. Hade en montör arbete att utföra hela tiden kunde det indikera att flaskhalsen befann sig där och att resten av produktionen väntar. Den procentuella aktiviteten mättes på de 7,2 aktiva arbetstimmarna som fanns tillgängliga, pauser som lunch är ej med i modellen. Processtiderna var också uppbyggda på VA, IVN och IV så all aktivitet var inte värdeskapande.

Som komplement till flaskhals analysen valdes det att kolla på lagerinnehållet för förmonterade komponenter, detta för att undersöka om det fanns material tillgängligt för slutmontörerna att arbeta med. Modellen är uppbyggd på sådant sätt att det alltid finns tillgängligt material för förmontörerna så dem kommer vara aktiva 100 procent av arbetstiden. Om lagret alltid innehåller komponenter som slutmontaget behöver kan man utesluta att det är förmontaget som är flaskhalsen.

För att få fram ledtiden på produktionen mättes tiden från att ett chassi och elskåp ställdes på avställningsplatsen tills det att en färdigmaskin kom in till klimatkammaren. Tiden chassit stod på avställningsplatsen och på lyftbordet i slutmonteringen utgjorde hela ledtiden.

## 4. Resultat

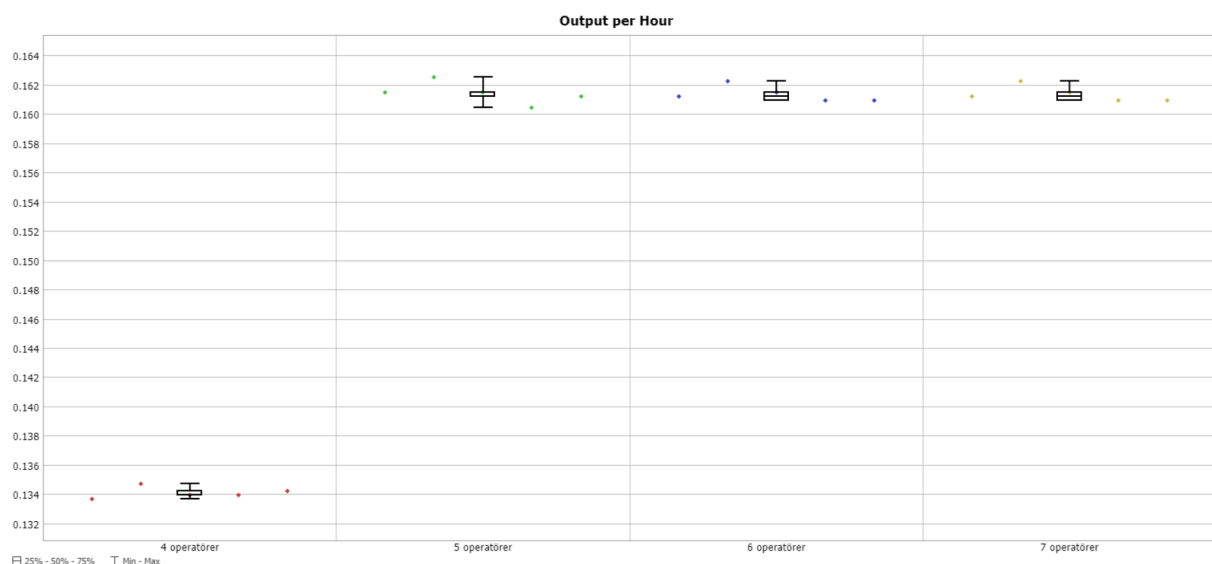
I detta avsnitt presenteras resultatet av prestationsmätningarna från experimentet. Målet är att genom detta resultat kunna dra slutsatser och vidare analysera produktionen i diskussionsdelen.

### 4.1 Resultat experiment

För att kunna besvara frågeställningarna som definierats inledningsvis i rapporten användes följande prestationsmätningarna: genomströmning, ledtid, sysselsättning (state) för alla montörer och lagernivåer.

Resultatet av genomströmningen för scenariona som utgjorde experimentet presenteras nedan, se figur 14. För att uppnå målet från produktionsteamet behövs en genomströmning på minst 0,14 maskiner per timme, vilket motsvarar 4,032 maskiner i veckan. Resultatet visar följande:

- 4 montörer ger en medelgenomströmning på 0,1341 maskiner per timme
- 5 montörer ger en medelgenomströmning på 0,1614 maskiner per timme
- 6 montörer ger en medelgenomströmning på 0,1614 maskiner per timme
- 7 montörer ger en medelgenomströmning på 0,1614 maskiner per timme

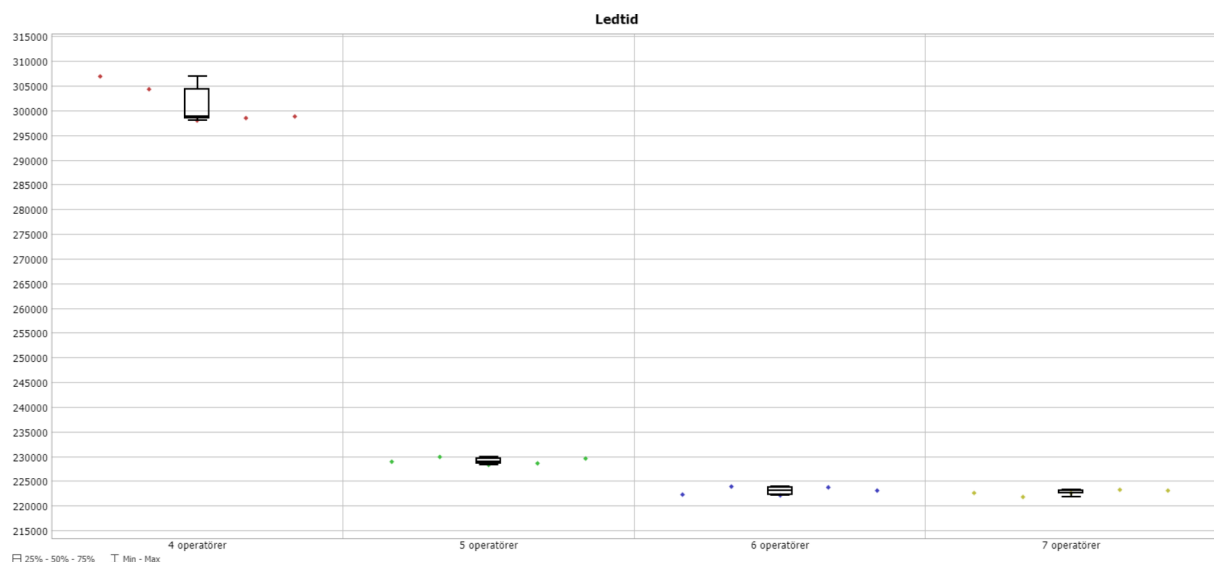


Figur 14. Visar genomströmningen av maskiner per timme även kallat "output per hour".

Detta resulterar i följande ledtider som visas i figuren nedan, se figur 15. Ledtiden för en maskin räknas från att ett chassi levereras tills att chassit lämnar slutmontering för testning och vid samma tillfälle anländer ett nytt chassi. Resultatet tyder på ett likande samband där scenario med fyra montörer skiljer sig från resterande. På grund av logikuppbyggnaden i FlexSim blir inte ledtiden trovärdig, detta förklaras utförligt i avsnitt 5.5 Felkällor.

Medelvärde för varje scenario är följande:

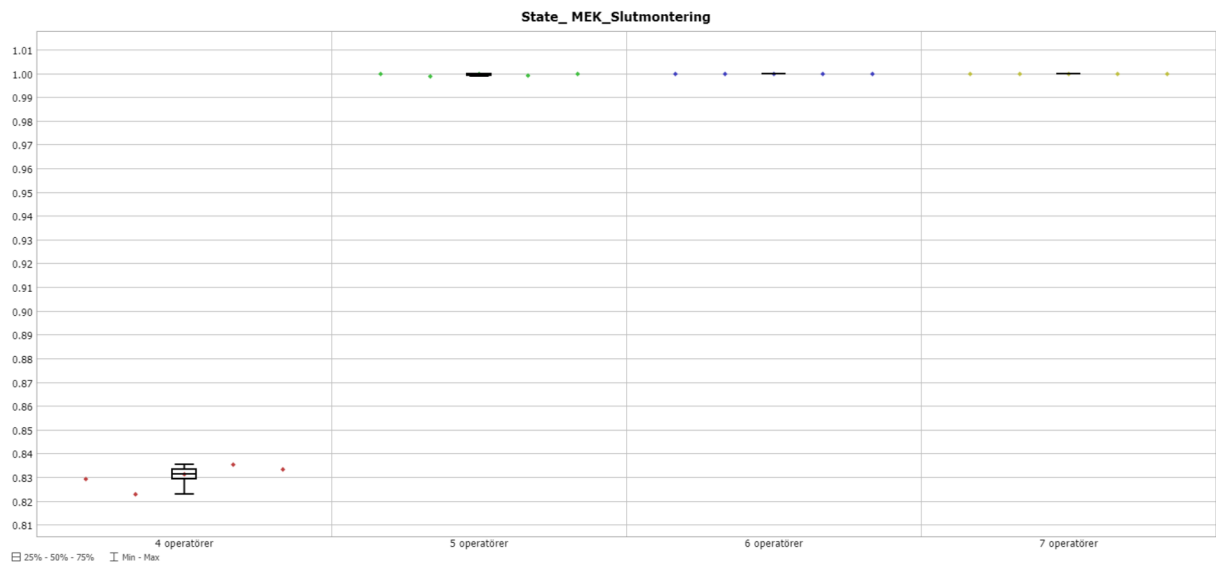
- 4 montörer ger 301 319 sekunder
- 5 montörer ger 229 110 sekunder
- 6 montörer ger 223 063 sekunder
- 7 montörer ger 222 717 sekunder



Figur 15. Resultande ledtiderna för produktionen av maskiner.

För att senare kunna göra en flaskhalsanalys av produktion gjordes även prestationsmätningar på sysselsättningen för slutmontering för el- och mek-montörer, se figur 16 och 17. Figuren visar en procentsats på hur sysselsatta montörerna är. Resultatet från slutmontering är följande:

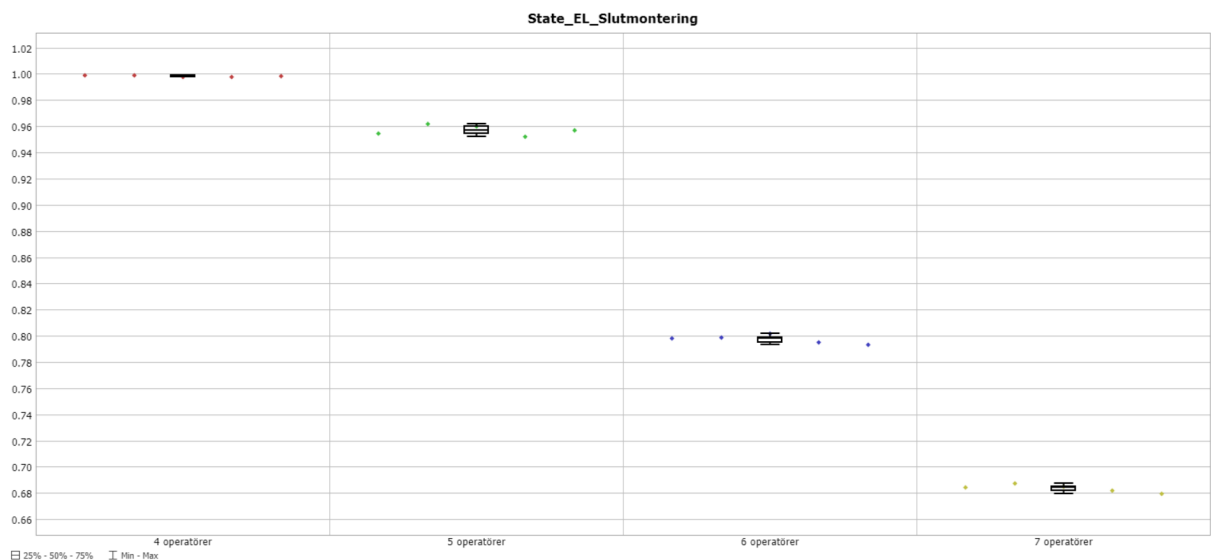
- 4 montörer 83 procent sysselsättning
- 5 montörer 99,9 procent sysselsättning
- 6 montörer 100 procent sysselsättning
- 7 montörer 100 procent sysselsättning



Figur 16. Resultatet av sysselsättningen för slutmontering mek-montörer.

Resultatet för el slutmontörernas sysselsättning i figur 17 skiljer sig jämfört med föregående figur då sysselsättning är sjunkande:

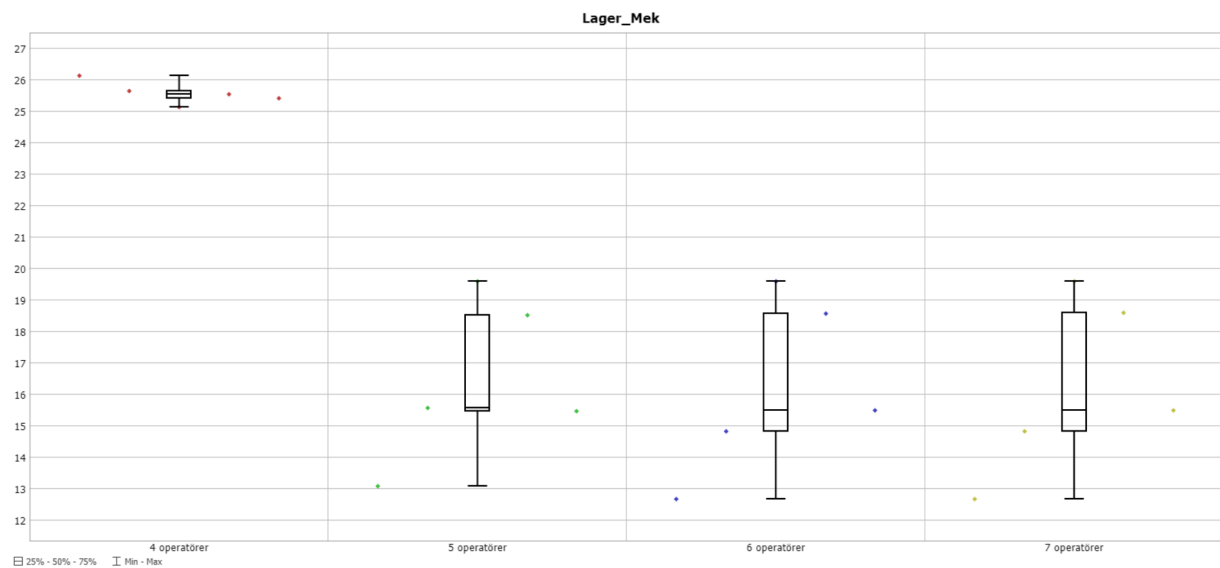
- 4 montörer med en sysselsättning på 99 procent
- 5 montörer med en sysselsättning på 96 procent
- 6 montörer med en sysselsättning på 80 procent
- 7 montörer med en sysselsättning på 68 procent



Figur 17. Resultatet av sysselsättningen för slutmontering el-montörer.

I Figur 18 visas resultatet av medelvärdet för färdigt förmontage mek. Resultatet för medelvärdet är följande:

- 4 montörer har 25 mek komponenter
- 5 montörer har 16 mek komponenter
- 6 montörer har 16 mek komponenter
- 7 montörer har 16 mek komponenter

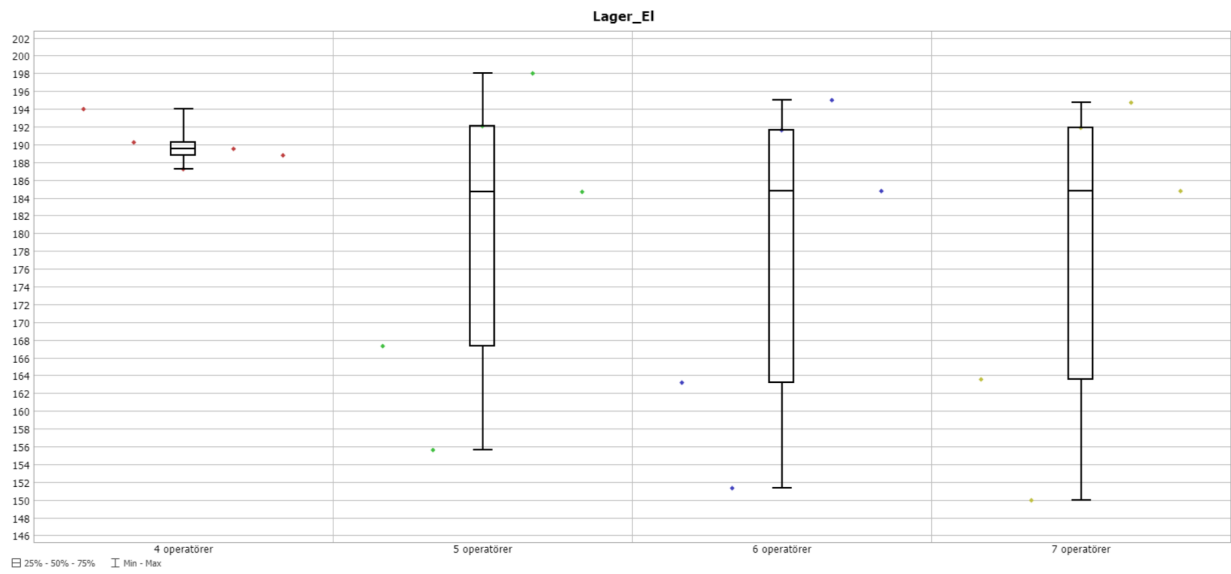


Figur 18. Visar antalet mek komponenter i lagret som inväntar slutmontering.

Resultatet av antal färdigmonterade komponenter från el förmontage visas i Figur 19.

Figuren visar följande:

- 4 montörer: 189 komponenter
- 5 montörer: 179 komponenter
- 6 montörer: 177 komponenter
- 7 montörer 176 komponenter



Figur 19. Visar antalet el komponenter i lagret som inväntar slutmontering.

## 5. Diskussion

I följande avsnitt dras slutsatser utifrån resultatet av det experiment som tidigare presenterats. Genom detta avsnitt analyseras och besvaras även problemformuleringarna.

### 5.1 Flaskhalsanalys

*Flaskhalsanalys med sex till sju el-montörer:*

Utifrån resultatet av experimentet gjordes en flaskhalsanalys för att undersöka vad som hindrade produktion från att uppnå full potential. För produktion med sju el-montörer samt för sex el-montörer är resultaten likvärdiga. Det har alltså likande genomströmning, ledtid samt sysselsättning för mek slutmontering. Som tidigare konstaterat har slutmontering el en sysselsättning på endast 68 procent medan slutmontering mek har en sysselsättning på nästan 100 procent. Faktorn bakom den ojämna balanseringen är att slutmontering mek inte hinner med el-montörernas takt, vilket leder till att el-montörer får vänta innan de kan inleda sitt arbete. En faktor som har potential att ge upphov till liknade problem är om det finns en avsaknad av material i lager för att inleda slutmontering för el eller mek. Detta kan dock uteslutas då resultatet visar att det finns ett överflöd av komponenter, mek 26 komponenter och el 189 komponenter. Slutsatsen är att slutmontering mek därför är en flaskhals som gör att produktion inte når full potential. En förändring av balanseringen bör därför göras för att utnyttja större del av produktionen och montörer. Detta gäller även för en produktion med sex el-montörer.

*Flaskhalsanalys med fem el-montörer:*

För en produktion med fem el-montörer i slutmonteringen finns det likheter med föregående analys men skillnaden är en betydligt högre sysselsättning för el-montörerna, ungefär 95 procent och mek slutmontör hade närmre 100 procent. En hög sysselsättning för el-montörer samt mek-montör tyder på en god balansering eftersom ingen väntetid uppstår. Material är alltid tillgängligt vilket tyder på att förmontaget arbetar snabbare och inte är en flaskhals. Med fem el-montörer är produktion relativt väl balanserad. Trots färre el-montörer erhåller produktionen en genomströmning på 0,16 maskiner per timme vilket är detsamma som för sex och sju montörer. Slutmontör mek är fortfarande en flaskhals men skillnaden i sysselsättning jämfört med el slutmontering är betydligt mindre.

### *Flaskhalsanalys med fyra el-montörer:*

För en produktion med fyra el-montörer finns det en tydligare flaskhals. Slutmontering el har en sysselsättning på nästintill 100 procent medan slutmontering mek har en sysselsättning på endast 83 procent. Detta tyder på att slutmontering mek arbetar snabbare än slutmontering el, vilket leder till att alla lyftbord står klara med färdig mek slutmontering. Vid dessa tillfällen blir således mek-montören sysslös när el-montören arbetar med att slutföra maskinerna. Material tillgängligheten är god likt övriga scenarion, vilket betyder att både el och mek förmontage arbetar snabbare än slutmonteringen.

## 5.2 Tilltänkta bemanningen för produktionen

För en produktion med sju el-montörer i slutmonteringen, den tilltänkta bemanningen för produktionen, kommer en flaskhals vara slutmontering mek, som förklarades i föregående stycke, vilket leder till en överbemanning. I övrigt uppnår produktion med sju el-montörer målet med en leverans på en maskin per 7,2 timme då genomströmningen är 0,16 maskiner per timme. Genom tidigare uträkning, se ekvation 1, ger en genomströmning på 4,608 maskiner per vecka en produktion. Eftersom målet endast är fyra maskiner i veckan överproducerar produktionen ungefär 0,6 maskiner i veckan på grund av överbeläggning. Sammanfattningsvis är produktionen dåligt balanserad då el slutmontörer står sysslösa under långa perioder medan mek slutmontör arbetar hela tiden. Även förmontaget för både el och mek överproducerar material.

## 5.3 Balansering och förbättringsåtgärden

Resultatet av experimentet tyder på att den mest optimala produktionen är att endast använda sig av fem el-slutmontörer eftersom det ger den mest välbalanserade produktionen. Alla montörer kommer att ha en relativ hög sysselsättning utan slösad väntetid. Den resulterade sysselsättningen innefattar inte raster och lunch utan innefattar endast arbetstiden på 7,2 timmar, alltså är inte 100 procent sysselsättning under en hel arbetsdag. Annars hade 100 procent sysselsättning varit ohållbart för montörer i en produktion. Som tidigare nämnt är "vänta" ett slöseri inom lean filosofin då arbetare står sysslösa och bör därför minimeras. Lean filosofin är att eftersträva för att minimera slöseri och kunna effektivisera produktioner. Genom att endast använda fem el-montörer kan resterande två montörer ges andra uppgifter för att förbättra produktionen ytterligare.

Detta är möjligt eftersom fem el-montörer uppnår målet med 4 maskiner i veckan med god marginal. Utifrån resultatet kommer fem montörer likt sju montörer göra 4,608 maskiner i veckan, så genomströmningen påverkas ej av att minska antalet el slutmontörer. Just nu går den verkliga produktionen miste om ungefär 0,6 maskiner i veckan då dem endast producerar fyra. Både förmontage mek och el överproducerar i alla fyra scenarion vilket är något som bör åtgärdas. Montörerna skulle därför kunna lägga tid på andrauppgifter i produktionen. Utifrån resultaten kan man göra ett antagande att det inte skulle vara en möjlig lösning att minska antalet el förmontörer och fortfarande behålla den nödvändiga genomströmningen även om dem överproducerar i experimenten.

Det skulle också gå att öka produktionen genom att ha två mek montörer istället för en, då skulle el slutmonteringen få högre sysselsättning och systemet skulle producera fler maskiner. Det skulle kunna leda till att flaskhalsen hamnar på ett annat ställe som exempelvis på el och mek förmontage. Om EA väljer att öka produktionen är det bästa att först öka antalet mek montörer eller dela upp arbetsuppgiften så att mek montören inte har lika mycket arbete. Personal från förmontaget skulle kunna hjälpa till då dem överproducerar och skulle kunna lägga tiden på annat arbete.

Gränsen för att klara målet ligger på endast 0,14 maskiner. För att lyckas med detta bör slutmonteringen el omstruktureras genom att dela in slutmonteringen i fem delar istället för nuvarande sju. En sådan ändring hade underlättat för montörerna och skapat en tydlighet när de bör vara klara för dagen.

## 5.4 Övriga förbättringsåtgärder

Här presenteras andra förbättringsförslag som inte testats i simulering utan bara har iakttagits under arbetets gång. Saker som skulle kunna göras bättre och kan vara värda att kolla mer noggrant på eller testas.

### 5.4.1 El förmontage direkt på vagn

Färdigt el förmontage läggs på lagerhyllor I-T av el förmontör i elverkstaden i väntan på att de ska packas på vagn av godsmottagaren och köras in till slutmontaget. Enligt mätningar tar det 55 min att fylla två vagnar, det tar nästan lika långtid att fylla en eftersom man kan hämta dubbel uppsättning komponenter från samma ställe (estimering 45–50 min).

Förslagsvis hade man kunnat sluta att använda sig av lagret helt och istället köra in vagnarna till el arbetsstationerna och packa allt direkt på vagnen, vilket skulle göra att godsmottagaren ej behöver lägga 55 min på packning. El förmontörer kommer heller inte spendera mer tid på förmontaget då de just nu går och lämnar komponenter som är förmonterade i lagret. Det skulle istället spara tid på att lägga allt på vagnen när de lärt sig packlistan och inte behöver förflytta sig från arbetsstationen. För just nu går de oftast och lämnar förmonterade komponenter direkt efter att de är klara med dem, så under ett förmontage kan de gå till lagret ungefär 50 gånger vilket uppskattningsvis motsvarar 15–20 min. I Lean ses onödig rörelse som slöseri och ska därför minimeras eller helt elimineras. Lagerhyllorna skulle då istället kunna bli lagerplatser för vagnarna. Man skulle också kunna göra plats till vagnarna mellan pallställaget och väggen till elverkstaden som föreslogs i den ursprungliga layouten.

Det kommer tyvärr göra att det finns färre lagerplatser för komponenterna och på så sett kommer man inte ha lika stora bufferts som det är just nu. Det går att kompensera genom att ha fler tomma vagnar som lager eller om man packar en vagn i förväg som buffert men det är inte att föredra att ha för många vagnar. Det kan också skapa mer oreda vid arbetsstationerna inne i elverkstaden om både el och mek vagnar ska placeras där inne vid förmontage.

Förslaget är inte lika aktuellt i nuläget då det kräver mer precision och timing i produktionen med mindre lagerplatser. Just nu är produktionen i sin uppstartsfas och att ha lite mer svängrum kan vara nyttigt innan systemet har kommit på plats och alla känner sig komfortabla med att utföra sina arbetsuppgifter. Förslaget har god potential och kan vara värt att titta på senare då det kan spara 1,8- eller 3,3 timmar i veckan för godsmottagaren beroende om man väljer att packa en eller två vagnar i taget, detta gäller om man packar till 4 maskiner i veckan. Det sparar uppskattningsvis 1–1,3 timmar i veckan för el förmontörerna som slipper gå att lämna komponenter för alla fyra maskiner.

#### 5.4.2 FAT-test kund

Kund kommer till EA var tredje vecka eller när 12 maskiner ska vara klara för att utföra FAT-tester tillsammans med personalen på EA. Då ska det utföras tester på alla 12

maskiner och eventuellt åtgärder om maskinen ej anses vara godkänd. Det är en tidskrävande process som tar upp testoperatörernas tid och arbetet sträcker sig över flera dagar.

Kundtesterna gör också att färdigmonterade maskiner ej kan packas och skickas vidare till slutlager direkt efter EA:s egna tester utförts. Mängden maskiner som måste lagras skapar problem då testlagret inte kan hålla 12 maskiner (3–4 maskiner uppskattningsvis), så resterande måste ställas på annan plats. Personal på EA måste också assistera vid testerna vilket gör att de inte kan utföra annat arbete. Det är också väldigt många personer i klimatkammaren samtidigt vilket gör det svårt att utföra annat arbete där inne.

Rekommendationen är att utföra tester hos kunden istället, personal på EA kan istället åka till kund och assistera vid FAT-testerna. På så kan packningen ske varje vecka vilket tar bort problemet med lagerhanteringen och det minskar tiden maskinerna är i EAs fabrik. Förslaget har stor potential då det minskar ledtiden och arbetskraft går åt till dessa tester.

### 5.4.3 Lager slutmontering

Lagret i slutmonteringen tar dels upp plats på en relativt liten yta och medför att montörerna måste förflytta sig till lagret ofta för att hämta komponenter. Om förmonterat lager tas bort till fördel för att packa allt på vagnar direkt finns det mer plats i elverkstaden som skulle kunna användas för att förvara mycket av komponenterna från lagret i slutmonteringen. Detta skulle också ge möjlighet att packa de komponenterna direkt på vagnen vilket eliminerar mycket av springandet för slutmontörerna. Skruvar och annat som används till både mek- och el slutmontage skulle kunna samlas i en låda och ställas på vagnen. Det gör även det enklare att hålla koll på lagernivån om det mesta av materialet ligger på samma ställe.

Alla komponenter som ligger på lagret kan ej flyttas, så lite av lagerhyllorna måste behållas oavsett då vissa delar från paketen ej används läggs i lådor där. Det kan även krävas vissa ändringar gällande placering av saker på vagnarna för att få plats med alla komponenterna.

## 5.5 Felkällor

En av de mer kritiska felkällorna för projektet är datainsamlingen. På grund av tidsbegränsning fanns inte möjligheten att göra fler mätningar för varje moment. Konsekvensen av detta blev att tre erfarna montörer fick estimerat ett minimum, standard och maximumvärde för varje moment. Detta användes sedan för att ge varje moment en triangulär distribution. Genom denna estimering av montörerna blev tidsspännet för varje moment långt. För starkare tillförlitlighet borde fler mätningar ha genomförts.

Mätningarna som gjordes utfördes ibland på montörer som lärde upp andra samtidigt som dem utförde sin process. All handledning som gjordes registrerades men under en separat kategori för att sedan subtraheras, dessvärre är det svårt att undvika en inverkan på mätningarna. Detta är också en anledning till att fler mätningar borde ha gjorts.

Ledtiden som anges i resultatet är även de en felkälla, vilket leder till att inga slutsatser kan dras av resultatet. Anledningen till detta är logikuppbyggnaden i process flow, det kodades så att det alltid skulle finnas tre chassin och elskåp tillgängliga i avställningslagret. I den riktiga produktionen anländer 4 chassi och elskåp varje torsdag som sedan körs in till slutmonteringen. Detta gjorde att vissa chassin och elskåp i modellen stod i avställningslagret under en längre tid än vad de gör i verkligheten. Alla processerna var heller inte med i modellen. Processerna som utförs på fredagar samt testning påverkar i stor grad ledtiden. Den resulterade ledtidens relevans bör därför ifrågasättas.

Nuvarande simuleringsmodellen fungerar och ger tillförlitliga resultat men logikuppbyggnaden i process flow kan fortfarande förbättras. Genom en förbättrad simuleringsmodell hade den varit mer användbar för flera experiment samt gett mer korrekta värden för ledtiden. Problemet med nuvarande logik är att den är väldigt linjär, vilket betyder att processerna är beroende av varandra och att ändringar i modellen är svårt att göra utan att de påverkar resterande delar av modellen.

## 6. Slutsats

Syftet med projektet var att analysera Elektroautomatiks nya serieproduktion för att ge tips på förbättringsåtgärder, genom att besvara frågeställningen. Med en projektplan baserad på Banks 12 stegs metod har en simuleringsmodell byggts i FlexSim. Modellen och input data verifierades och validerades sedan av erfarna montörer och handledare. Genom modellen utfördes sedan experiment för att analysera resultatet och därefter att kunna besvara de satta frågeställningarna.

*Var finns flaskhalsar i systemet?*

Flaskhalsarna varierar beroende på bemanning vid el slutmontering. För det tilltänkta produktionskonceptet, sju till fem montörer kommer flaskhalsen att vara mek slutmontering då mek-montören jobbar i en långsammare takt jämfört med el-montörerna. När man går ner på fyra el-slutmontörer kommer flaskhalsen hamna där istället. Målet med en takttid på 7,2 timmar som genomsyrar produktion är ej balanserad.

*Vad har systemet för ledtid, hur genomsyrar det produktionen?*

Resultatet av ledtiden för sju montörer är 222 717 sekunder, vilket motsvarar knappt 62 timmar. Även om detta är en rimlig ledtid finns det en stor felkälla till resultatet då mätningen inledes när ett chassi levereras och simuleringsmodellen är kodad så att det alltid ska finnas tre chassis tillgängliga. Resultatet blir därför inte tillräckligt trovärdigt.

*Hur är bemanningen och balanseringen i produktionssystemet?*

Både bemanningen och balanseringen kan justeras för att ge bättre resultat. Med endast en mek-montör och sju el-montörer blir sysselsättningen ojämn och sysslolösheten blir stor för el-montörerna. Resultatet blev en sysselsättning på 68 procent för el-montörer och 100 procent för mek-montören., vilket tyder på en ineffektivitet. Om man istället har fem el-montörer kommer dem vara sysselsatta 95 procent av tiden. För att anpassa bemanningen utifrån målet med fyra maskiner i veckan bör endast fem el-montörer användas i slutmontering. Detta ger även en mycket bättre balansering.

Elektroautomatiks tilltänkta produktion kommer att uppnå det bestämda målet på fyra maskiner i veckan, då produktion kommer ge 4,6 maskiner i veckan. Dock borde en justering i bemanningen göras för att skapa en högre effektivitet och bättre balansering.

Som tidigare formulerat är fem el-montörer det bästa alternativet, då det genererar samma genomströmning som sju el-montörer på grund av den tveksamma balanseringen.

Övriga rekommendationer som hade kunnat ha en positiv effekt är följande:

- Placera färdigt el förmontage direkt på vagn
- Komma överens med inte behöva göra FAT-tester med kund hos EA
- Omplacera lagret i slutmonteringen

Dessa rekommendationer presenterades mer utförligt i diskussionsdelen ovan.

# Referenslista

Banks, J. (2000). Introduction to Simulation. I *Proceeding of the 1999 Winter Simulation Conference (s.7-14)*. IEE.

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B.L., & Nicol, D.M. (2005). Discrete-event system simulation (4<sup>th</sup> ed.). Pearson Hall.

Cherry, S. R., Sorenson, J. A., Phelps, M. E. (2012) Physics in nuclear medicine. (4<sup>th</sup> ed.) Elsevier Saunders.

FlexSim Software Products, Inc. (n.d.). Welcome to FlexSim (Version 25.1).

<https://docs.flexsim.com/en/25.1/Introduction/Welcome/Welcome.html>

Himes, Emily. (2023). What is manufacturing throughput. Parametric Technology Corporation (PTC).

<https://www.ptc.com/en/blogs/iiot/what-is-manufacturing-throughput>

Liker, J.K. (2005) The Toyota way fieldbook: A practical guide for implementing Toyota's 4Ps. McGraw-Hill.

Liker, J.K. (2004) The Toyota Way: 14 management principles from the worlds greatest manufacturer. McGraw-Hill

Liker, J.K., & Franz, J.k. (2011). Toyota way to continuous improvement: Linking strategy and operational excellence to achieve superior performance. McGraw-Hill.

Petersson, P. (2015): Lean: Gör avvikelser till framgång (3:e upplagan). Revere AB.

Rossetti, M.D. (2021). Simulation modeling and Arena (3<sup>rd</sup> edition). Open text edition.

<https://rossetti.github.io/RossettiArenaBook/index.html>

Tang He. (2019). Manufacturing letters (vol.19, s. 21-24). School of engineering technology, eastern Michigan univirsity.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213846318301172?via%3Dihub>

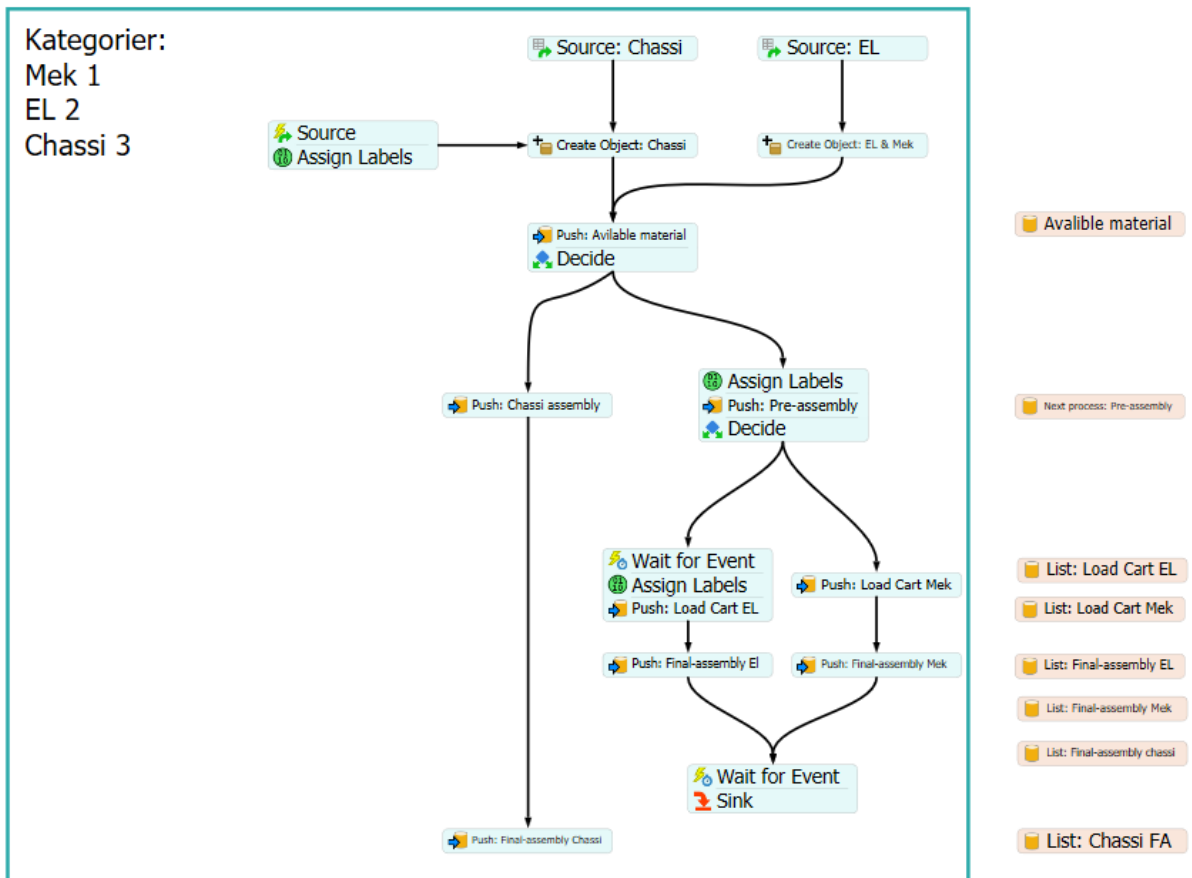
Tague, Nancy R. (2023). The Quality Toolbox (3. Uppl.). American Society of Quality (ASQ). <https://app.knovel.com/kn/resources/kpQTE00012/toc>

Teich, S. T., Faddoul, F. F. (2013) Lean managemt – the journey from Toyota to healthcare. Rambam Maimonides Medical Journal, 4(2), e0007.

<https://doi.org/10.5041/RMMJ.10107>

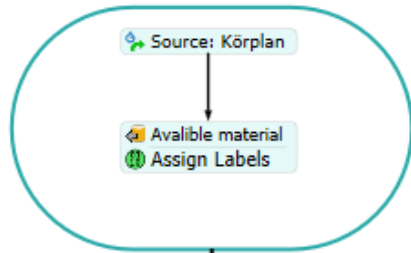
# Bilagor

## Materialflöde

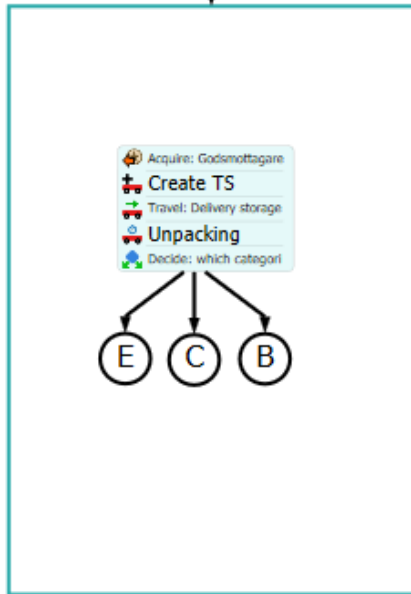


Bilaga A. Materialflödet uppbyggt i process flow

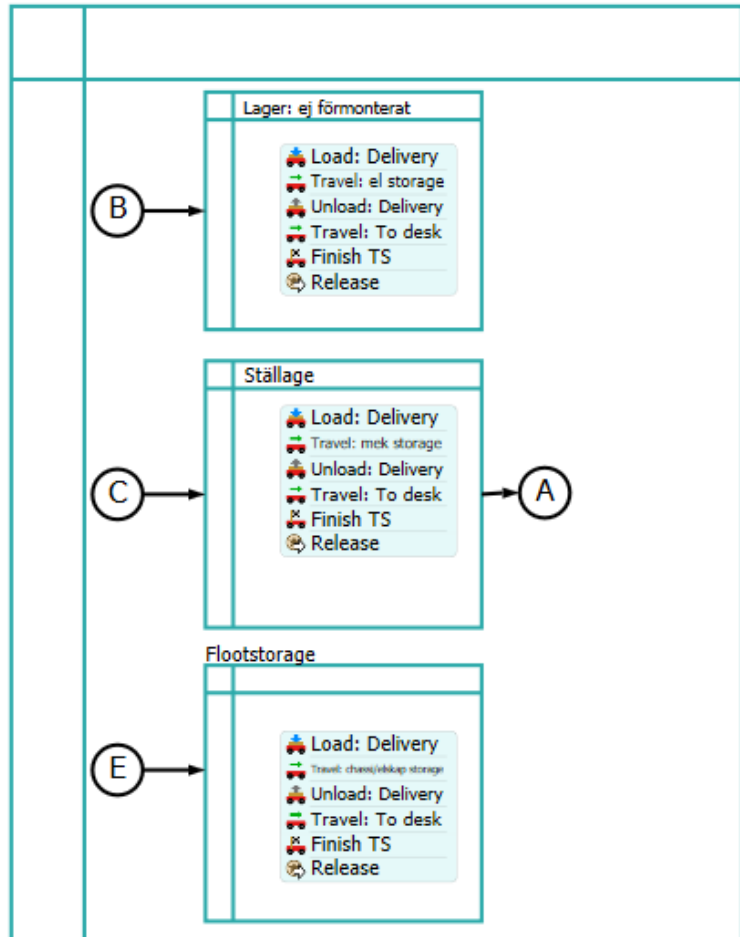
Start: Leverans



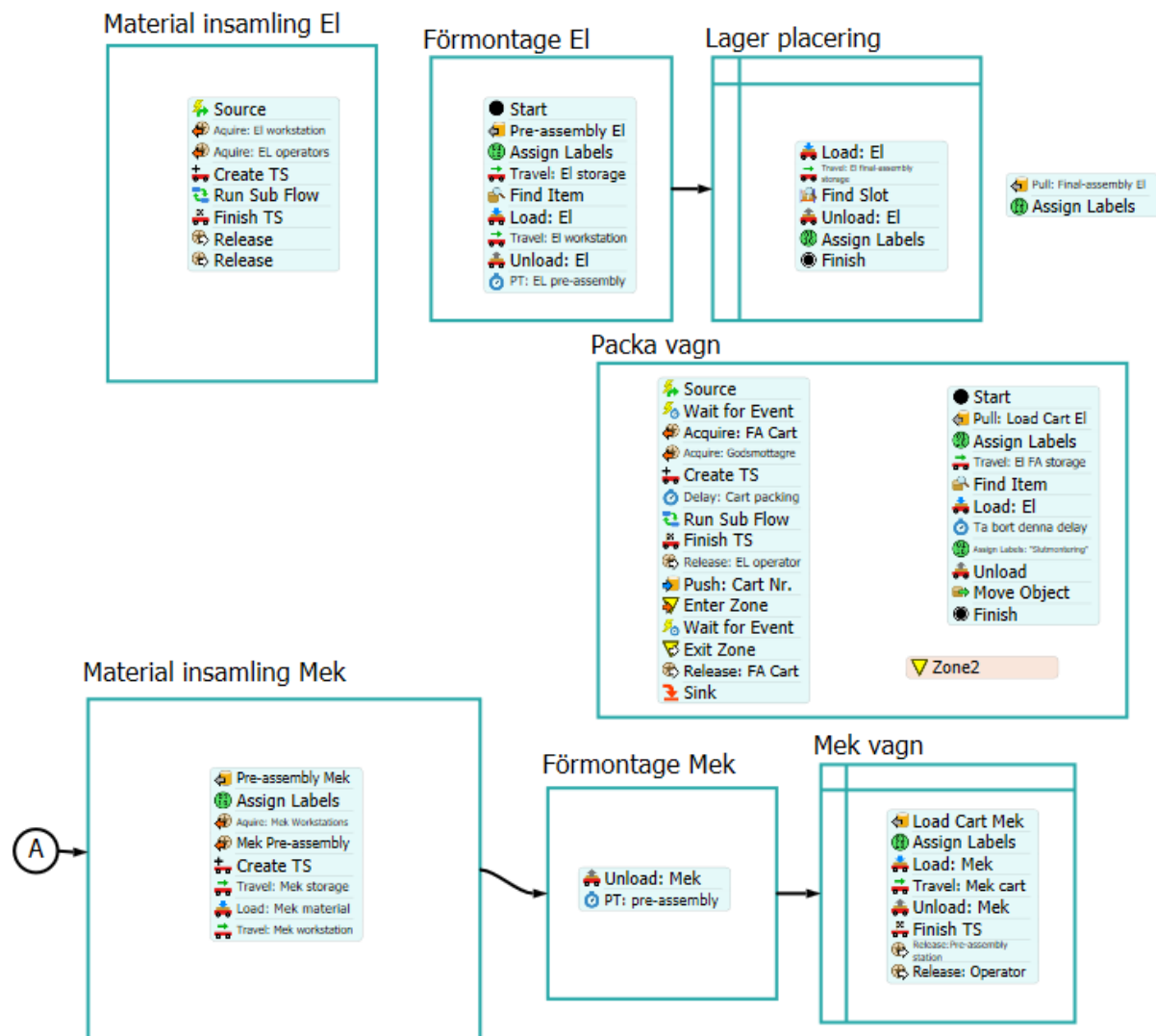
Avemballering



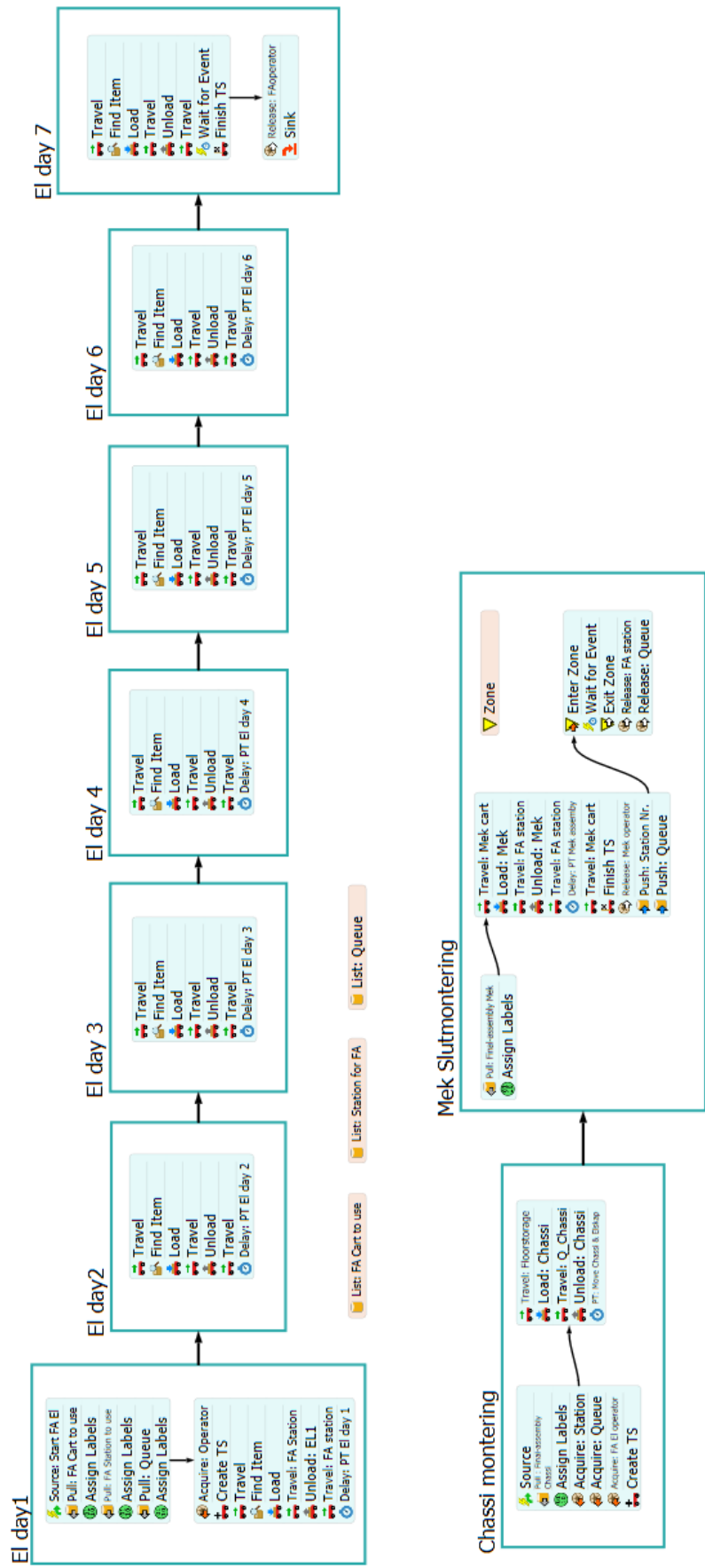
Lagerhantering



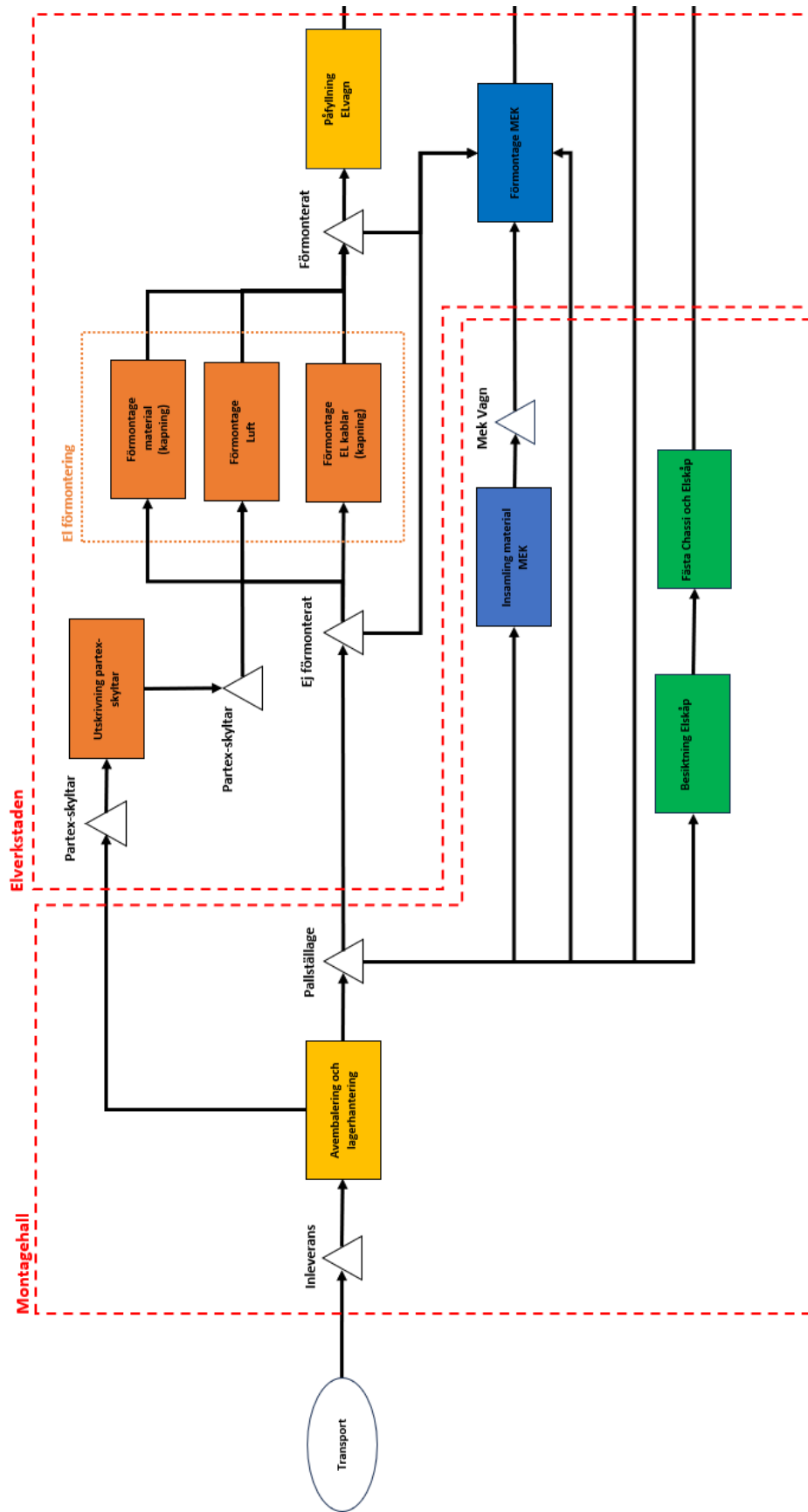
Bilaga B. Visar första delen av uppbyggnaden av processtegen i process flow.



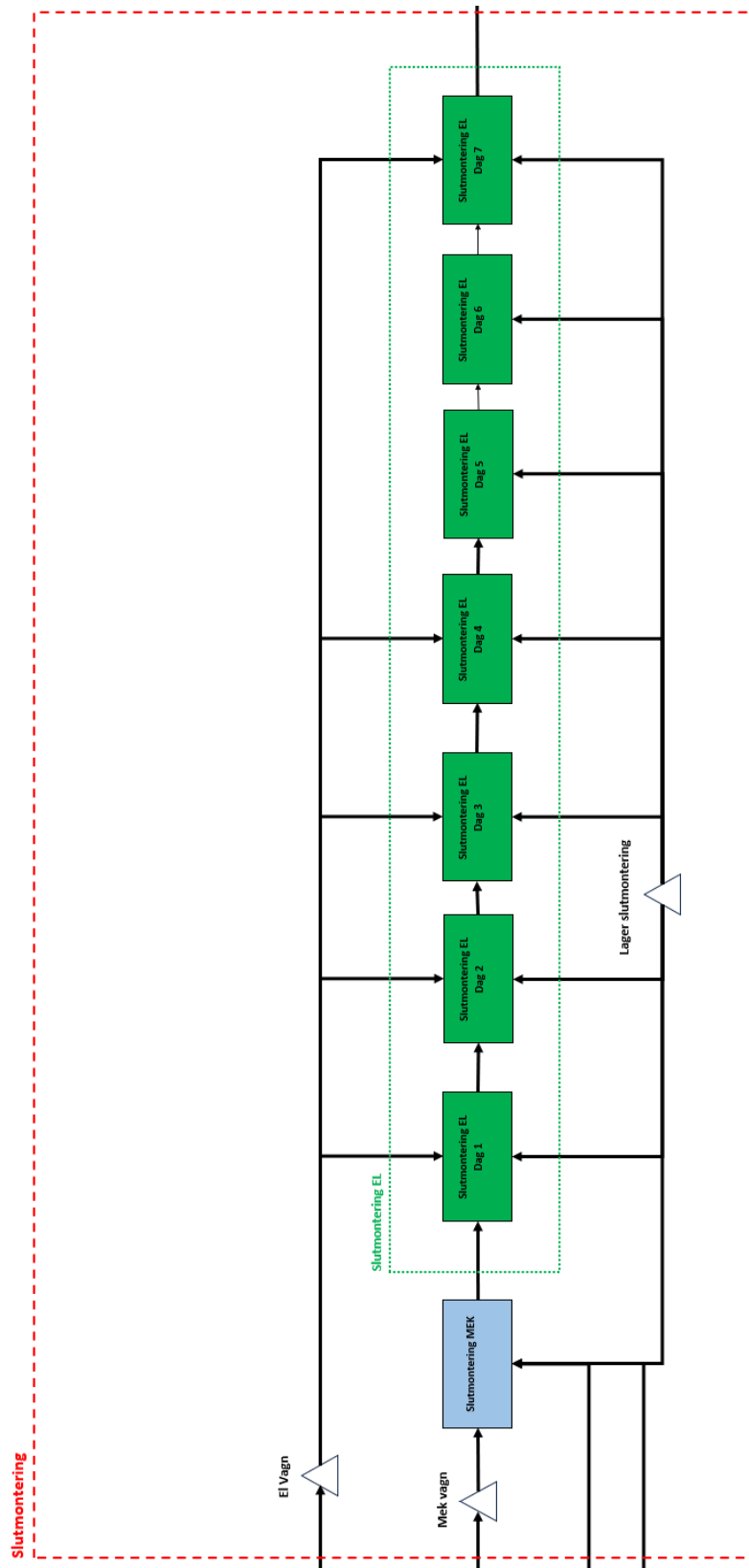
Bilaga C. Visar andra delen av uppbyggnaden av processteg i process flow.



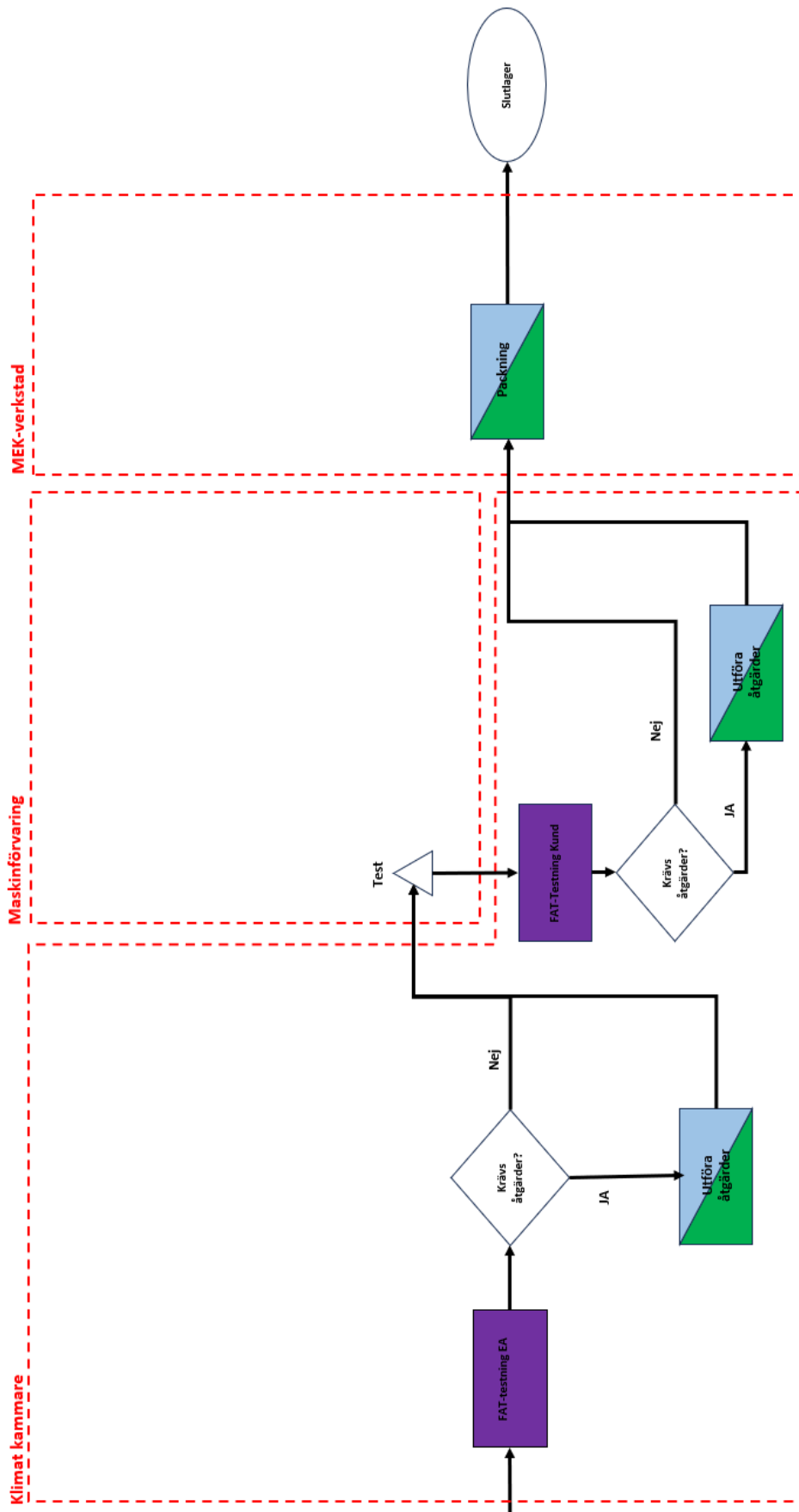
Bilaga D. Visar logikuppbyggnaden av slutmonteringen i process flow.










Bilaga E. Tydligare bild på flödesschemat, första delen.



Bilaga F. Tydligare bild på flödesschemat, andra delen.



Bilaga G. Tydligare bild på flödesschemat, tredje delen.

Symboler	Beskrivning
	: Material flöde
	: Område
	: Övergripande process
	: Lager
	: Process
	: Start/Slut
	: Beslut

Bilaga H. Symboler som använts i flödesschemat.

Färger	Ansvarig	Antal
	: Godsmottagare	1
	: El förmontör	2
	: Mek förmontör	1
	: El Slutmontör	7
	: Mek slutmontör	1
	: Test operatör	3

Bilaga I. Förklaring av färgerna i flödesschemats och den ursprungliga bemanningsplanen.

Simulering av produktionssystem

Examensarbete genomfört hos Elektroautomatik i syfte att analysera deras serieproduktion genom simulering.

© Felix Waldeck

© Sixten Hed

2025

Technology Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telephone + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sweden

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP**

**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2025

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



**CHALMERS**