



# CHALMERS

---

## **Dynamisk utbalansering av störning** **Framtagning av kravspecifikation**

Examensarbete inom Maskinteknik, högskoleingenjör 180hp

RICHARD DANG

EHAB EL-ALI



# **Dynamisk utbalansering av störning**

Framtagning av kravspecifikation

Richard Dang

Ehab El-Ali

Dynamic Balancing of Interference  
Composition of Requirements Specification  
RICHARD DANG  
EHAB EL-ALI

© Richard Dang, Ehab El-Ali, 2018

Department of Industrial and Material Science  
Chalmers University of Technology  
SE-412 96 Göteborg  
Sweden  
Telephone +46(0)31-772 1000

# Förord

På Maskiningenjörsprogrammet 180hp, Chalmers tekniska högskola, har detta obligatoriska examensarbete skrivits som avslutande moment.

Ett stort tack riktas till följande personer

- Dan Li,Handledare och Doktorand på Chalmers tekniska högskola
- Åsa Fast-Berglund,Handledare samt examinator på Chalmers tekniska högskola
- Jesper Broberg,Handledare på MVV International
- Peter Olsson, Tekniklektor på Chalmers tekniska högskola för användandet av hans bilder
- Jens Berntsson, Produktionsansvarig på Volvo Penta
- Emma Simonsson, Produktionstekniker på Volvo Penta

Era bidrag har varit ovärderliga!

Tack

Richard Dang  
Ehab El-Ali  
2018-05-17

# Sammanfattning

För att produktionsföretag ytterligare ska effektivisera sin produktion, finns det ett intresse att eliminera alla sorters icke värderande aktiviteter som inte ger något värde till kunden.

Företaget MVV har en programvara, Casat, som de vill förbättra genom att addera moduler för att motverka stopp på en produktionslina. Idag tillhandahåller programvaran digitala instruktioner, balanserar teoretisk de olika arbetsstationerna m.m.

Vid en uppkommen störning på en produktionslina idag, skickas inte ett monteringsobjekt vidare förrän det blivit färdigmonterat vid respektive station. Detta orsakar stoppminuter på stationen där störningen uppkom, men även på stationerna efter där testoperatör får vänta in på att objektet skall åka in på stationen.

MVV vill därför addera moduler till sin programvara Casat för att produktionslinan inte skall stanna vid en störning, utan låta den absorberas upp av produktionslinan. Arbetet syftar till att ta fram en kravspecifikation samt belysa de brister som behöver åtgärdas för att kunna lösa detta problem.

Arbetet har utförts genom att bygga upp en modell som efterliknar en produktionslina där Casat tillämpas på. Detta genom att bygga en legokonstruktion samt upprätta en produktionslina för att sedan låta testoperatörer utföra ett experiment med ett par framarbetade scenarion.

Därefter har en analys utförts på de resultat som erhöles från experimentet. Analysen har sedan lagt grunden till vilka krav som behöver uppfyllas för att kunna tillämpa den lösning som föreslås. Detta ledde i sin tur en kravspecifikation som identifierar alla de åtgärder som behöver införas i Casat för att kunna klara att balansera ut en störning.

# Abstract

These days, production companies are aiming for further effectiveness of their production. There is an interest in eliminating all kinds of non-valuing activities for the product whom they produce and sell.

MVV has created a software titled Casat. Which in turn they aim to improve Casat through implementation of modules in order to counteract possible interferences in a production line. As of today Casat provides with digital instructions, theoretical balancing of stations and more.

In case of an interference on a production line, a mounting object will not be conveyed until its designated task has been completed in every working station. This successively generates lots of stop minutes in the station where the interference occurred. Following this also influences the following stations where as the operators have to wait in order for the mounting object to arrive.

Thus MVV wishes to implement modules to Casat in order not to allow the production line to halt during a runtime, but instead have it absorbed by the production line. This thesis aims to create a requirement specification and also highlight the shortcomings which need to be solved in order to solve this problem.

This thesis has been completed through a simulation model which aims to mimic a real production line where Casat has been applied. Through creating a Lego design and also establish a basic production line in order to let operators perform an experiment with a pair of pre-prepared situations.

Afterwards based on the results an analysis was made based on the results obtained from the experiment. Thenceforth the analysis was found to discover which requirements which were needed in order to be able to implement the solution. This in turn led to the making of the requirement specification which identifies all the measures that have to be taken and implemented in Casat, in order to make it possible to dynamically outbalance an interference.

# Förkortningslista

AGV - Automated guided vehicle (förlösa trucklösningar som transporterar monteringsobjekt i mellan stationerna)

PIA - Produkter i arbete

ANDON- En funktion som påkallar ledningens uppmärksamhet då ett problem uppstår vid en monteringslina.

VÄRDE ADDERANDE TID – Den tid som tillför värde till en produkt.

ICKE VÄRDEADDERANDE TID – Tid som inte spenderas till att addera värde på en produkt, anses som ett slöseri.



# Innehållsförteckning

1 Inledning .....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Precisering av frågeställningen .....	2
1.4 Avgränsningar.....	3
2. Teori .....	4
2.1 Produktionssystem.....	4
2.1.1 Produktionslayout .....	4
2.1.2 Produktverkstad.....	4
2.2 Lean.....	5
2.2.1 De 7 Slöserierna .....	5
2.2.2 Takttid .....	5
2.2.2 Cykeltid .....	6
2.2.3 Flaskhalsar .....	6
2.2.4 Ledtid .....	7
2.3 Balansering.....	7
2.3.1 Stimulerad Produktionslina.....	7
2.3.2 Ostimulerad Asynkron Produktionslina .....	8
2.3.3 Ostimulerade synkron produktionslina .....	8
2.4 Buffert i produktionen .....	9
2.5 Flexibilitet i monteringen.....	9
2.6 Inlärningskurvan.....	10
3. Metod.....	11
3.1 Casat.....	11
3.2 Datainsamling .....	13
3.2.1 Insamling av empiriska data.....	13
3.2.2 Tidmätning .....	13
3.3 Intervju av Produktionstekniker.....	13
3.4 Simulationsmodell .....	14
3.4.1 Uppbyggnad av konstruktion .....	14
3.4.2 Fördelning av arbete .....	14
3.4.3 Monteringssekvens .....	14
3.4.4 Balansering.....	14
3.4.5 Monteringslina .....	14

3.5 Simulation av modell .....	15
3.5.1 Uppvärmning av simulation .....	15
3.5.2 Simulationskörning.....	15
3.5.3 Intervju av testoperatörer .....	15
3.6 Formulering av krav (kravspecifikation).....	16
3.7 Validering av krav .....	16
4. Resultat .....	17
4.1 Intervju av produktionstekniker .....	17
4.2 Modelluppbyggnad .....	17
4.2.1 Legomodell .....	17
4.2.2 Stationsindelning .....	20
4.2.3 Balansering.....	21
4.3 Simulation av modell .....	22
4.3.1 Scenario 1 .....	22
4.3.2 Scenario 2 .....	23
4.3.3 Scenario 3 .....	25
4.4 Materialförsörjning .....	27
4.5 Intervju av operatörer .....	27
5. Analys .....	28
5.1 Analys av balansering .....	28
5.2 Analys av simulation.....	29
5.2.1 Uppvärmning av simulation .....	29
5.2.2 Analys av scenarier.....	29
5.2.3 Station 1 .....	29
5.2.4 Station 2.....	30
5.2.5 Station 3.....	32
6. Formulering av kravspecifikation.....	33
6.1 Identifiera störning .....	33
6.2 Störning registreras som aktivitet.....	33
6.2 Prioritering av aktiviteter .....	33
6.3 Materialförsörjning .....	34
6.4 Verktyg .....	34
6.5 Önskemål .....	34
6.5.1 Flexibilitet av operatörer .....	34
6.5.2 Layout .....	34

7. Diskussion .....	36
7.1 Metod .....	36
7.1.1 Simulationsmodell.....	36
7.1.2 Datainsamling.....	37
7.2 Resultat .....	37
7.3 Frågeställning .....	38
7.4 Vidare Studier .....	39
8. Slutsats .....	40
Referenslista.....	41

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Många företag har idag anställda produktionstekniker som har till uppgift att balansera och utforma arbetsstationer utefter de resurser som en produktionslina förfogar över så som arbetskraft, verktyg och material (Geismar, Murthy & Nagesh, 2015). Denna balansering behöver göras utefter hur efterfrågan samt hänsyn tagen till bemanning, och är därför en tidskrävande arbetsuppgift för produktionsteknikern. Beroende på hur mycket tid produktionsteknikern lägger ner för att få till en bra balansering kan det uppstå balanseringsförluster i varierande grad om detta görs slarvigt.

Balanseringen kompliceras ytterligare för produktionsteknikern då en stor produktmix skall monteras på en och samma linje där förutsättningarna och behoven varierar, samt att produktionsteknikern behöver ta hänsyn till faktorer som varierande monteringserfarenhet hos montörerna (Mattson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016).

Arbetsstationer förväntas idag även vara mer flexibla för att anpassa sig efter marknadens behov, vilket ställer montörernas kunskap och erfarenheter på prov (Mattson, Tarrar & Fast-Berglund, 2016).

MVV har skapat en programvara, Casat (MVV International 2018), som underlättar balansering samt underlättar montering genom att ta fram digitala instruktionslistor som finns vid varje station. Detta gör produktionen mindre komplex för arbetarna och därmed kan företaget som använder sig av detta program eliminera slöserier genom effektivare balansering.

En idé om en produktionslinje som drabbas av störningar skall kunna fördelas ut, i syfte att undvika att produktionslinjen stannar, skall studeras. Idén skall även bidra till framtida utveckling samt byggas in som modul in i Casat, baserat på resultat och slutsatser framtagna i rapporten. Detta för att minimera kostsamma stoppminuter en störning kan åstadkomma som inte är värdeadderande för kunden (Liker, 2004).

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att analysera om störningar kan fördelas ut på en produktionslinje, kan appliceras i verkligheten. Ett annat syfte är att ta fram en kravspecifikation för med hjälp av en framarbetad hypotes. Detta skall göras med stöd av uppbyggda modeller samt uppvisa dess användbarhet.

Hypotesen syftar till att skapa förståelse för hur en modul i Casats programvara bör utformas genom att studera hur en störning beter sig och hur denna kan fördelas ut på en produktionslinje genom olika insatser.

## 1.3 Precisering av frågeställningen

Arbetets ändamål är att ta fram underlag, analysera underlaget samt att simulera framarbetade modeller. Modellernas intention är att stärka den hypotes som utvecklas fram och verifiera analyser som gjorts på de framtagna modellerna. Dessa simuleringsmodeller skall arbetas fram systematiskt för att kunna besvara frågeställningarna nedan.

De frågeställningar som under arbetets gång skall besvaras med den analys och fakta som tagits fram samt att uppfylla syftet:

Fråga 1: Hur kan störningar balanseras ut på en produktionslinje, för att på så sätt undvika att linjen stannar och samlar stopptid, utifrån givna förutsättningar?

Fråga 2: Vilka omständigheter krävs för att klara av att balansera ut störningar?

Gruppen har även tagit fram en hypotes för det experiment som skapats och lyder:

Går det att absorbera en störning under angivna förutsättningar?

- Finns rätt material och verktyg att tillgå på alla monteringsstationer
- Möjligheten att flytta de sista aktiviteterna från en angiven station som är drabbad av en störning till efterkommande station.

## 1.4 Avgränsningar

Området kring balansering och effektivisering är det fält som bör fokuseras på och därför kommer avgränsningar kring detta område.

Projektet skall inte ta fram en prototyp eller programkod, utan enbart en kravspecifikation på vad som behöver adderas i Casat för att kunna åstadkomma den hypotes som ställts.

Arbetet skall mynna ut i en kravspecifikation. Denna kravspecifikation skall behandla vad som behöver göras för att klara av dynamisk fördelning av störningar, och huruvida dessa kan appliceras på en verklig produktionslinje.

Inom detta arbete skall minimering av de mänskliga faktorerna eftersträvas och i största möjliga mån endast betrakta de störningar som maskiner/verktyg åstadkommer. I och med människor är inblandade i processen går det inte att avgränsa denna faktor helt.

Arbetet kommer att avgränsa sig till att endast betrakta system som använder sig av AGV. Därmed utesluts andra transportmedel som exempelvis rullande band. Detta för att arbetet skall försöka simulera och efterlikna en redan existerande produktionslina.

## 2. Teori

### 2.1 Produktionssystem

Ett produktionssystem kan definieras som en kombination av tillförsel av material, arbete och kapital (Bellgran & Säfsten, 2005). Ofta är produktionssystem sammanknippt med tillverkningsystem och monteringslinjer. Andra typiska igenkänningsfaktorer för ett produktionssystem är komponenttillverkning, monteringslinjer osv. Vidare kan sägas att produktionssystem rymmer dessa faktorer inom sina systemgränser där förbindelser mellan de olika faktorerna bildar relationer mellan faktorerna.

#### 2.1.1 Produktionslayout

En produktionslayout är sammanställning av hur produktionens olika delar såsom maskiner, lager m.m. är disponerad efter (Lumsden, 2006).

Enligt Chryssolouris (2006) kräver dagens industri en effektiv koordination mellan alla de olika aspekter bl.a. människan, maskinen, materialtillförsel samt informationsflöde som ingår i ett produktionssystem. Utifrån ställs även krav från kunden och omvärlden på aspekter som ekonomisk-, social- och miljöhållbarhet. För att möta alla dessa krav måste den producerande parten att hitta den mest optimala produktionslayouten för att tillverka en produkt.

Chryssolouris (2006) påstår även för att hitta den mest optimala layouten krävs det att analyser utförs på de produkter som skall tillverkas. Detta kan göras genom att mäta ett produktionssystem effektivitet genom nyttjandemätning eller genom kostnadsmätning. Mätningarna kan definieras med 4 olika mätetal: Tid, Kvalitet, Flexibilitet samt Kostnad enligt Chryssolouris (2006). Mätningarna kommer att leda en rekommendation om vilken produktionslayout en fabrik bör använda sig av.

#### 2.1.2 Produktverkstad

Produktverkstad är en layout där alla verktyg och maskiner är disponerad i den sekvens som de kommer att användas utefter (Chryssolouris, 2006). Varje verktyg och varje maskin kan i princip endast utföra en montering på en delkomponent eller delkomponenter med liknande egenskaper. Vad som även kännetecknar en produktverkstad är att alla produkter åker samma "bana" och flexibiliteten med denna layout är väldigt låg. Ett bra exempel är fordonsindustrin som använder sig av produktverkstad, där alla bilar följer samma bana. Fördelen med produktverkstad är dess höga kapacitet av massproduktion samt att det är enkelt att standardisera fabriken och på så sätt uppnå en högre kvalitet och lägre *ledtider*.

## 2.2 Lean

Lean är ett filosofiskt verktyg vilket har sitt ursprung från Tachii Ohno för Toyota (Liker, 2004). Grundläggande bygger Lean på att få produktionen att flyta på genom att endast producera det som exakt krävs samt eliminera slöserierna inom ett produktionssystem. Detta ger upphov till ett idealt produktionssystem. Dessutom kan dolda problem i form av *väntan* framhävas tidigare.

### 2.2.1 De 7 Slöserierna

Inom Leans perspektiv kan de olika slöserier inom ett produktionssystem identifieras som de 7 slöserierna (Liker, 2004).

Dessa 7 slöserier innefattar:

- **Överproduktion** - att tillverka mer än den efterfrågade mängden. Detta kan orsaka flera slöserier.
- **Väntan** - när man väntar på att en maskin skall producera klart etc.
- **Lager** - förknippat med överproduktion. Kostar mer att ha mer på lagret.
- **Rörelse** - onödiga rörelser som arbetarna utför under jobb.
- **Omarbete** - fel som sker under produktion medför ingen värde för kund.
- **Överarbete** - förknippat med överproduktion. Göra mer än vad som krävs.
- **Transporter** - onödiga transporter/dåligt planerade transporter

### 2.2.2 Takttid

Målet med takttiden är att synkronisera tillverkningstakten med försäljningstakten så effektivt så möjligt, där takttiden är baserat på kundernas efterfrågan, se ekvation 1 (Baudin, 2002).

$$\text{Takttid} = \frac{\text{Tillgänglig arbetstid per dag}}{\text{Efterfrågan per dag}} \quad \text{Ekvation 1 Definition av takttiden.}$$

Genom synkroniseringen kan man hindra överproduktionen väsentligt inom ett produktionssystem. Om en station skulle överskrida takttiden, se ekvation 1, är det viktigt att dela upp denna stationen i flera olika sektioner där varje sektion tar ungefär lika lång tid som takttiden (Baudin, 2002).



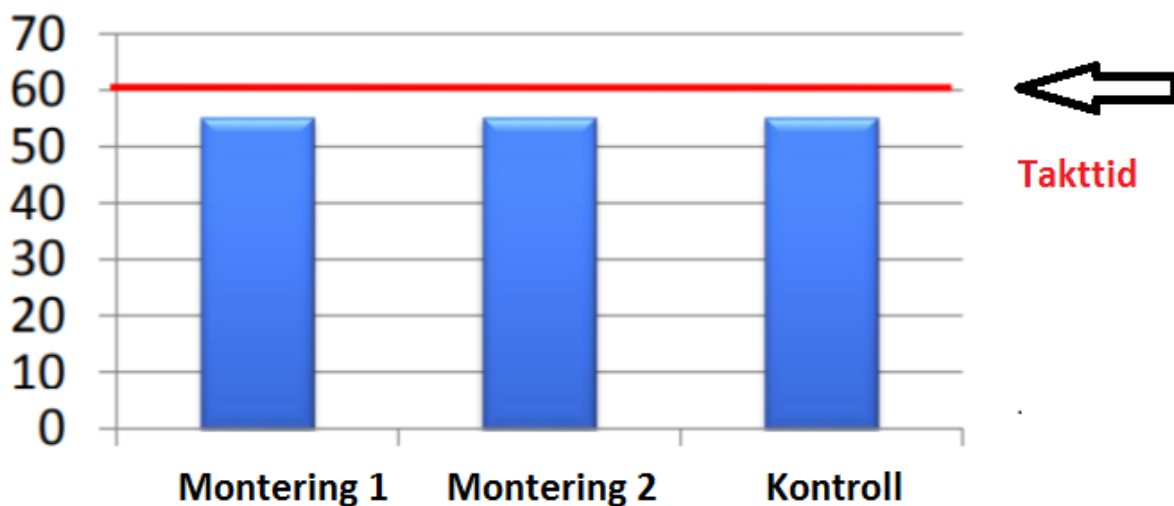
### 2.2.2 Cykeltid

Cykeltid är den verkliga tid det tar att fullständigt göra en cykel av en arbetsprocess för en produkt (Baudin, 2002).

Med hjälp av de olika cykeltiderna inom ett produktionssystem kan en cykeltidsanalys skapas i form av ett stapeldiagram, se figur 1, där de olika cykeltiderna jämförs (Baudin, 2002).

Cykeltiderna i ett produktionssystem får inte överskrida takttiden. Om takttiden överskrids kommer detta leda till att produktionen inte hinner producera de efterfrågade varorna i tid.

För att undvika detta måste arbetsmoment från en station med en lång cykeltid flyttas till en station med en kortare cykeltid.



Figur 1. Exempel på ett idealt balanseringsdiagram. Rödlinje = taktid. Siffrorna till vänster i figuren anger tid i sekunder.

Utifrån att inte överskrida cykeltiden vill även en balanserad produktion uppnås på samma väg som att flytta resurser från en station till en annan för att undvika flaskhalsar (Baudin, 2002).

### 2.2.3 Flaskhalsar

Inom produktionen uppstår det ett fenomen då två olika stationer har olika cykeltider. Detta fenomen kallas för flaskhals (Imaoka, 2008). Ett exempel på flaskhals är när en station har hög cykeltid och stationen innan har en låg cykeltid. Den föregående stationen med låg cykeltid kommer att få vänta på att skicka nästa objekt till nästa station, då stationen med hög cykeltid är upptagen med att montera klart sitt objekt. Detta eftersom den station med högst cykeltid tar längre tid att utföra sitt arbetsmoment. Skillnaden i mellan stationerna blir för stor och en flaskhals i produktionen uppkommer. Om ingen buffert bakom den med hög cykeltid kommer den föregående stationen få vänta. Inom 2.2.1 är väntan en indikation på ett slöseri.

## 2.2.4 Ledtid

Ledtid är ett begrepp som används bl.a. inom logistik (Mattsson & Jonsson, 2013). Inom Lean eftersträvas en kort ledtid. Den tid då kundorder har lagts till då produkten är färdig tillverkad och redo för leverans kallas för *ledtid*.

## 2.3 Balansering

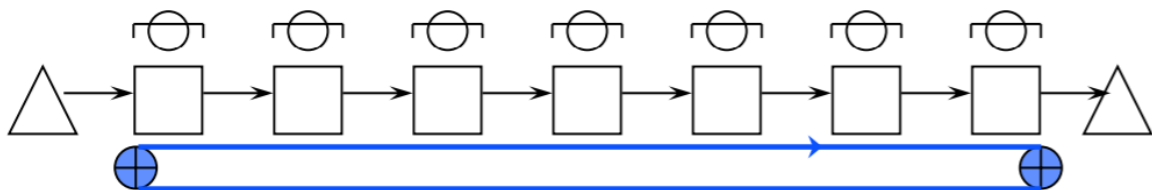
I en produktverkstad är alla stationer uppgradade utefter den sekvens arbetsuppgifterna skall utföras (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008). Vid varje station måste rätt verktyg och rätt material finnas att tillgå vid rätt station. För att uppnå ett jämnt flöde och synkronisera en stations cykeltid med takttiden för att undvika över-/underproduktion, måste arbetsuppgifterna på en produktionslina fördelas jämnt (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008).

En balanserad monteringslina resulterar i:

- Högre produktionskapacitet
- Mindre ledtider
- Mindre buffertar
- Högre kvalitet

### 2.3.1 Stimulerad Produktionslina

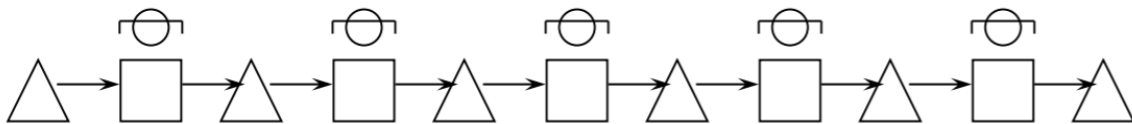
En stimulerad produktionslina är ett balanseringsförfarande där varje station strikt skall följa en angiven cykeltid (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008). Förflyttningen av monteringsobjekt mellan stationerna sker av ett rullande band eller ett band som kan skicka vidare objektet, se figur 2. Objektet kan rulla kontinuerligt. Montören måste då avsluta varje monterning innan objektet når stationsgränsen och objektet rullar vidare till nästa station. Det andra förfarandesättet är att objektet stannar på varje station för att sedan rulla vidare då tidsspannet uppnås.



Figur 2. Ett drivande band i ett seriellt flöde.

### 2.3.2 Ostimulerad Asynkron Produktionslina

I denna typ av system skickas monteringsobjektet vidare då denna blivit färdigmonterat, alla arbetsmoment utförts samt då efterföljande station inte är blockerad av ett monteringsobjekt, se figur 3, (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008). Samma princip gäller då stationen är tom och föregående station skickar monteringsobjekt till stationen. I motsats till den stimulerade produktionslinan som behöver hålla en angiven tid, behöver inte den ostimulerande asynkrona produktionslinan göra detta (Asynkron = individuell tidssättande).

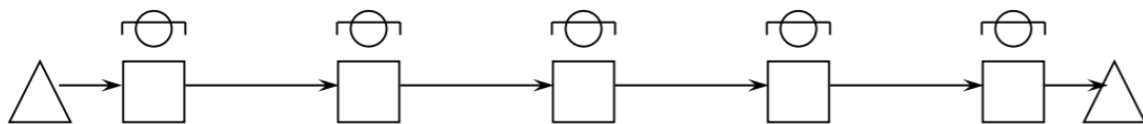


Figur 3. En odriven linje med buffert i ett seriellt flöde

I denna typ av produktionssystem används vanligen buffertar mellan arbetsstationerna för att minska väntetiderna mellan monteringsstationerna (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008). Buffertar fyller endast en funktion om arbetsbördan på de olika stationerna är jämnt fördelade tidsmässigt.

### 2.3.3 Ostimulerade synkron produktionslina

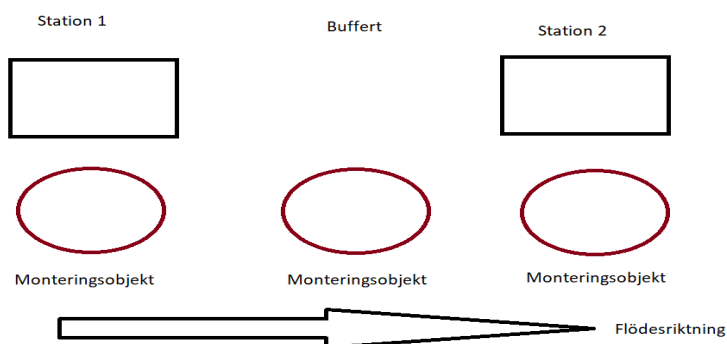
Den ostimulerande synkrona produktionslinan följer stationstid som tar längst tid att utföra, innan monteringsobjekten transporteras vidare till nästa monteringsstation. Till skillnad från det asynkrona systemet behöver det synkrona systemet inget buffertsystem, se figur 4 (Boysen, Fliedner & Scholl, 2008). Systemet kan utifrån betraktas som en stimulerad produktionslina där den längsta stationstiden sätter cykeltiden. Dock skiljer dessa två system sig att det ostimulerade systemet inte följer en angiven tid till skillnad från det stimulerande.



Figur 4. En odriven linje utan buffert i ett seriellt flöde.

## 2.4 Buffert i produktionen

Buffert kan beskrivas som lagerhållning mellan två stationer, där en station har lyckats producera i ett snabbare tempo än efterföljande station (McNamara & Shaaban & Hudson, 2011). Produkten måste därmed invänta att efterföljande station bearbetat klart sitt objekt, se figur 5.



Figur 5. Ett exempel på hur en buffert funkar.

Syftet med använda sig av buffertar är att gardera sig mot störningar samt att erhålla produktionen att flyta på smidigt. Buffert används i fabriker för att stabilisera produktionsprocessen då en viss produktvariation kan förekomma i produktionen (McNamara, Shaaban & Hudson, 2011)

## 2.5 Flexibilitet i monteringen

För att möta krav från kunden och klara sig i en allt mer konkurrensutsatt, global värld, behöver företag möta förändringar på det smidigaste sättet, genom att vara flexibla. Med flexibilitet menas generellt förmågan att förändra eller anpassa sig (De Toni & Tonchia, 2005). Denna flexibilitet kan inträffa på olika nivåer i ett företag, exempelvis i organisationen, i tillverkningen, ekonomisk flexibilitet mm (De Toni & Tonchia, 2005).

För att på produktionsnivå klara av en flexibilitet måste de miljöer som kräver att en förändring är nödvändig betraktas. Dessa typer av flexibiliteter skiljs åt som:

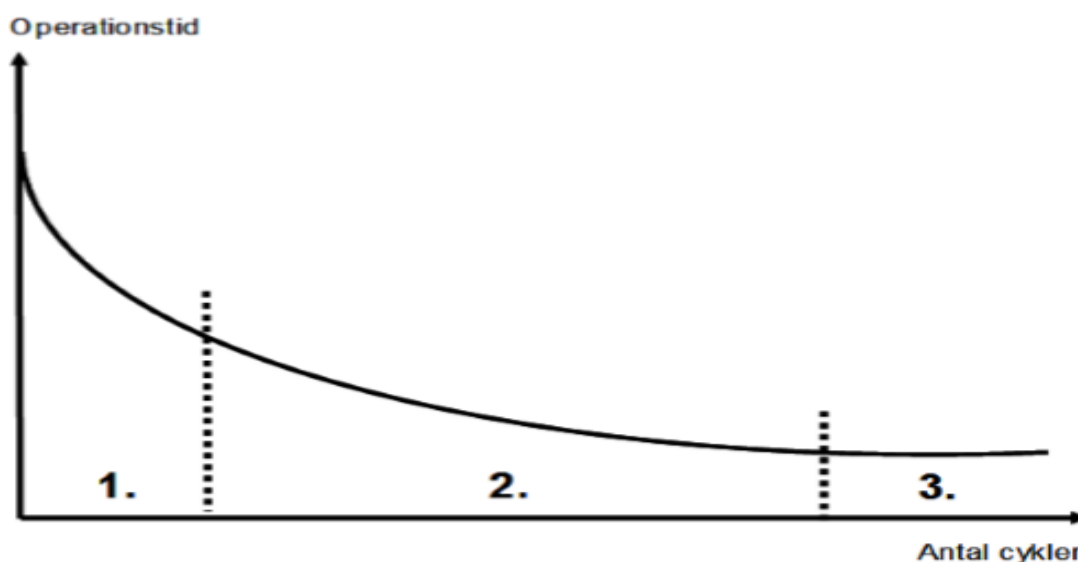
- Relativt till material, vilket kan sammanfattas som förmågan att hantera oväntade händelser av inmatning.
- Relativt till volym, förmågan att anpassa sig till variationer i efterfrågan.
- Relativt till produktförändring, vilket kan beskrivas som förmågan att möta förändringar av produkten.
- Relativt till mixen, vilket kan sammanfattas förmågan att anpassa marknadens krav av olika varianter av produkter, som levereras under en viss tid.
- Relativt en standard operationscykel, som enklast kan förklaras som möjligheterna av antal möjliga "flödesvägar".

Genom att studera dessa typer av flexibiliteter, finns stora möjligheter att uppnå en allmän flexibilitet i ett produktionssystem. På sikt kan produktionssystemet överleva den konkurrensutsatta bransch som produktionsföretagen verkar i.

## 2.6 Inlärningskurvan

Inlärningskurvan för nya operatörer kan delas in i 3 faser (Gustavsson 2008), se figur 6. De tre faserna kan delas in i:

- 1) Kognitiva fasen, fas 1 i figur 6: I denna fas fokuserar på behandlingen av information kopplad till den nya arbetsuppgiften ur en intellektuell synpunkt. Här skall fokus på koncentration på de uppgifter och rörelser. Denna fas kräver tid och förståelse. Normalt är att leta efter det effektivaste rörelsemönstret. Att studera någon som utför arbetet är det snabbaste sättet lära sig på.
- 2) Associativa fasen, fas 2 i figur 6: Då man lärt sig de uppgifter som behöver utföras och har en strategi på rörelsemönstret, skall nu alla rörelser finjusteras. Detta blir allt effektivare desto mer rörelsemönstret tränas in. Fokus bör riktas mot arbetsuppgiften.
- 3) Autonom fas, fas 3 i figur 6: I denna fas börjar lärlingen bli självgående utan att behöva rikta fokus på rörelsemönstret. Arbetet kan utföras omedvetet och uppmärksamheten kan riktas på annat håll.

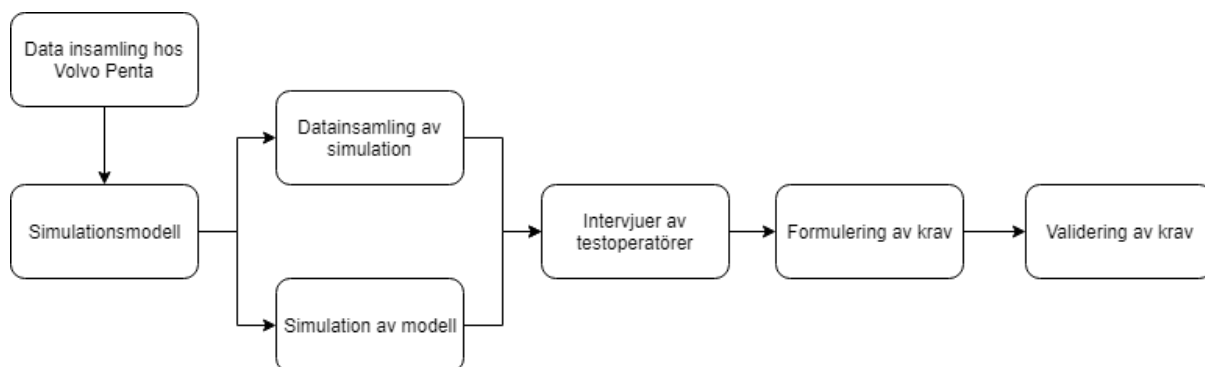


Figur 6. Ett typiskt exempel på en inlärningskurva

### 3. Metod

I detta kapitel presenteras de metoder och förfaringssätt som använts under arbetsgången. För att kunna besvara ställd frågeställning behövs en metod som leder fram till ett resultat och därefter mynna ut i en analys för att kunna dra slutsatser. Därför upptringades en simulationsmodell som senare ledde till ett experiment.

Modellen är uppbyggd utifrån observationer och intervjuer som är inhämtade från Volvo Penta, samt med stöd av teori. Datainsamlingen gav upphov till en simulationsmodell. Simulationsmodellen kunde simuleras och observationer samt datainsamling göras under simuleringens gång. Därefter var det möjligt att utföra intervjuer av testoperatörer. För en tydligare illustration av metodens tillvägagång, se figur 7. I metoden förklaras även hur Casat fungerar för att ge en överblick av vilka funktioner som finns.



Figur 7. Illustration av metodens tillvägagång.

#### 3.1 Casat

En instruktionslista upprättas i Casat, i syfte att efterlikna en verklig monteringslina som använder sig av Casat och för att kunna formulera de krav som skall ingå i en kravspecifikation, samt för att underlätta montörernas arbetsgång.

För att uppnå en hög precision på balanseringen krävs en hög noggrannhet vid dokumentering samt utförande av de aktiviteter som skall balanseras. Casat har en inbyggd funktion som beräknar den tiden för en aktivitet genom att lägga in olika värden, se figur 8. Dessa värden kan vara avstånd till material, avstånd till monteringsobjekt, tid för att plocka upp material m.m.

Taga					Placera						Använda				Återlämna					Böja				
S	80	45	10	H	S	AW	80	45	10	PP	AF	KOD	t	f	n	AF	S	AW	80	45	10	PP	AF	B

Figur 8. Exempel på hur tid kan mätas.

Denna funktion krävs för att kunna beräkna teoretiska monteringstider för varje aktivitet. I ett senare skede kommer denna funktion underlätta stationsindelning och balanseringsförfarandet. Notera är denna funktion endast beräknar idealt och inte tar hänsyn till hur den mänskliga faktorn i ett senare skede påverkar monteringen.

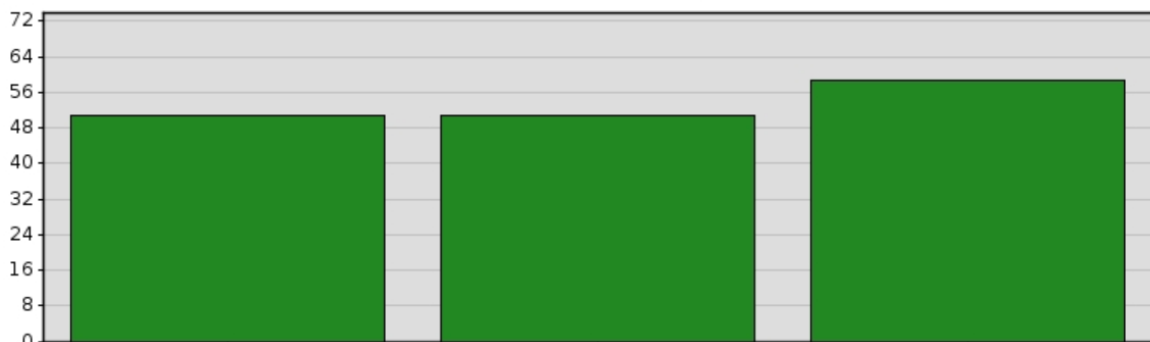
Dessa aktiviteter kommer senare att resultera i en sekvensbildning av den ordningen som de olika aktiviteter kommer att ordnas upp efter.

Sekvensordningen ursprung hämtas ur precedensschemat som “bestämmer” hur aktivitetsordningen bör se ut efter den ordning de kritiska momenten behöver utföras efter. I Casat tilldelas sekvensordningen utefter vilken ordning aktiviteten skapades utefter, se figur 9. Med ett enkelt knapptryck går sekvens enkelt att placeras där en önskas.

1		1_1	Placera platta på palett	Manuell	1 / 1	3,0
2		1_2	Placera 2st 2x6 röda	Manuell	1 / 1	7,0
3		1_3	Placera 4st 1x6 gröna	Manuell	1 / 1	14,0
4		1_4	Placera 2st 1x6 röda	Manuell	1 / 1	8,0
5		1_5	Placera 2st 2x6 röda	Manuell	1 / 1	9,0
6		1_6	Placera 2st 1x6 gröna ovanpå	Manuell	1 / 1	10,0

Figur 9. Monteringsordningen för station 1 i scenario 1.

När alla aktiviteter tilldelats stationer gör Casat en visualisering, se figur 10, samt beräknar hur balanseringen ser ut, se figur 11. Denna beräkning utgår från olika parametrar som användaren själv fyller i form av tid och andra parametrar.



Figur 10. Hur balanseringen ser ut i ett stapeldiagram

Balansresultat						
ID	Station	Totaltid inkl prestation	VA	NNVA	NVA	Manuell tid
4960	Station 1 (1) (1)	50.88	35.96	0.0	14.91	54.44
4961	Station 2 (1) (1)	50.88	50.88	0.0	0.0	54.44
4962	Station 3 (1) (1)	58.77	58.77	0.0	0.0	62.89

Figur 11. Resultatet av balanseringen tidsmässigt. VA står för Värdeadderande, NNVA, inte nödvändigt värdeadderande och NVA står för inte värdeadderande.

Figur 10 visualiserar resultat av balanseringen, detta ger användaren av Casat en uppfattning om hur väl de olika cykeltiderna på stationerna står sig mot varandra.

För att undvika en tolkningssituation utifrån, se figur 10, finns även ett verktyg som beräknar monteringstiden rent tidsmässigt, se figur 11. Detta kan hjälpa användaren att utifrån sifferfakta balansera om, om användaren tycker balanseringen är ojämn.

## 3.2 Datainsamling

Den insamlade datan kan antingen kategoriseras som primärdata eller sekundärdata. Primärdatan som anskaffas kan vara observationer och intervjuer för att fylla ett arbetes syfte. Tanken är att arbetets frågeställningar skall besvaras med denna typ av data.

### 3.2.1 Insamling av empiriska data

Att få en övergripande bild av arbetet är av stor betydelse. Detta är svårt att skapa sig med enbart litteraturstudier. Därför samlas en stor del empiriska data genom observationer vid simuleringen och intervjuer av testoperatör. Syftet är att fånga de intryck som testoperatörerna anser kan förbättras i simulationen. Syftet med att samla empiriska data är för att lägga grund för beslut i ett senare skede av arbetet.

### 3.2.2 Tidmätning

En tidmätning genomfördes i syfte att granska eventuella tidsskillnader i de olika scenarierna. Tidmätningen genomfördes på hur snabbt ett objekt gick igenom flödet (flödet börjar i station 1 och slutar efter station 3), samt hur mycket varje testoperatör arbetar under scenariots gång. Denna data kommer bevisa hur väl hypotesens stämmer.

## 3.3 Intervju av Produktionstekniker

Innan modelluppbyggnaden gjordes två intervjuer för att öka förståelsen inför en uppbyggnad av en modell som efterliknar Volvo Pentas monteringslina. Intervjuer utfördes med två anställda på Volvo Penta. De anställda arbetar som produktionstekniker på Volvo Pentas fabriker i Vara. Intervjuer utfördes i samband med studiebesöken.



## 3.4 Simulationsmodell

För att kunna ta reda på vad som saknas på en monteringslinje och för att kunna absorbera störningar behövs underlag för att grunda beslut på. Detta skall ske genom datainsamling på en modell som tagits fram för att sedan kunna göra en objektiv analys på. Datan kommer genomgående att genomsyra hela arbetet.

### 3.4.1 Uppbyggnad av konstruktion

En legokonstruktion uppbringades i syfte att användas som monteringsobjekt. Arbetet bakom uppbyggnaden kan beskrivas som fokus på olika materialval samt att bygga in olika funktioner som kräver olika verktyg för montering, i modellen. Tanken till att bygga in olika funktioner i modellen är att efterlikna en verklig monteringslina med olika material längs de olika monteringsstationerna.

Legomodellen består av en legogrund som passar in i en specialbyggd monteringspalett. Grunden bebyggs för att höja upp konstruktionen. I upphöjningen skall en växel byggas in (med ett litet och ett stort kugghjul). Växlarna ligger på 2 olika våningar, och därför behövs konstruktionen än en gång höjas upp genom påbyggnad på konstruktionen.

### 3.4.2 Fördelning av arbete

Arbetet kom fram till att en monteringslina med tre stationer bör upprättas. Detta igenom att ta den uppmätta tiden det tog att bygga legokonstruktionen och delade upp i antalet stationer för att få till en cykeltid på cirka en minut. Därefter analyserades monteringssekvens och balansering.

### 3.4.3 Monteringssekvens

En förstudie gjordes genom att filma montering av konstruktionen. Genom att undersöka filmen gjordes en analys på den mest lämpliga monteringssekvensen. Enkelt beskrivet kan sägas att monteringen sker nedifrån och upp med påbyggnad av växelpaketet. Varje våning byggs enskilt för att sedan påföras konstruktionen i ett komplett monteringspaket.

### 3.4.4 Balansering

Varje monteringsmoment som utfördes i förstudien, analyserades och en tidtagning på varje monteringsmoment gjordes. Detta för att undersöka vilka moment som skall ingå i de olika stationerna med avseende på sekvens och tid. Den totala monterings tiden för hela konstruktionen delades på 3 för att erhålla taktiden för monteringslinjen.

### 3.4.5 Monteringslina

Monteringen förläggs till Chalmers Stena Industry Innovation Lab som gruppen erhåller till sitt förfogande. Material och verktyg fördelas ut på de stationer där de skulle användas. För att kunna testa gruppens hypotes om hur en störning kan absorberas fördelades det även ut material och verktyg utefter den relevans till den aktivitet de var bundna till.

Som transportmedel används paletter som skickades i mellan stationerna för hand, likt det AGV system som lösningen skall appliceras på.

### 3.5 Simulation av modell

För att få bra underlag till senare del av rapporten skapades tre scenarion som är baserade på verkliga omständigheter samt på scenarier som valts att bygga upp kring framtagna hypoteser. Scenarierna som tagits fram beskrivs enligt:

Scenario 1: Produktionen flyter på som vanligt utan några störningar.

Scenario 2: Produktionen drabbas av en störning innan station 1, denna störning upprepar sig varje gång ett nytt monteringsobjekt skall åka in på station.

Scenario 3: Produktionen drabbas av en störning innan station 1, Stationerna balanseras upp jämnt med hänsyn tagen till störning innan station 1.

Syftet till att ha olika scenarier är att kunna analysera de olika tider, jämföra scenarierna i mellan samt dra slutsatser.

#### 3.5.1 Uppvärmning av simulation

För att minska påverkan av den mänskliga faktorn tränades operatörerna i en uppvärmning genom att låta de köra samtliga scenarion för bästa förberedelse (Se inlärningskurvan). Syftet med att träna operatörerna inför den riktiga simulationen är att minska variationerna och därmed den minskade den mänskliga faktorn som riskerar att påverka utfallet av senare resultat.

#### 3.5.2 Simulationskörning

Efter uppvärmningen kördes en simulation för att testa hypotesen. Genom att låta testoperatörer arbeta utefter angivna scenarier kunde empiriska data samlas in i form av tider, observationer och intervjuer. Mellan och efter scenarierna kunde ett resultat utformas samt att analyser och slutsatser kunde dras på dessa.

#### 3.5.3 Intervju av testoperatörer

Efter simulationen utfördes en intervju av testoperatörer som deltog i experimenten. Testoperatörerna är frivilliga deltagare som till vardags studerar på Chalmers tekniska högskola. Testoperatörerna svarade på frågor angående simulationens input och output samt feedback på vad som kan förbättras i monteringslinjen.

### 3.6 Formulering av krav (kravspecifikation)

Formulering av krav sker genom att kombinera hypotes med slutsatser från analysen. Då en analys utförts och avgörande faktorer belysts för att kunna dra slutsatser för de funktioner som saknas. Kraven skall i ett senare skede valideras.

Av utsatta krav skall sedan en kravspecifikation utformas på vilka funktioner som saknas i programvaran Casat. Detta för att kunna absorbera en störning på en monteringslina under produktion med hjälp av programvaran.

### 3.7 Validering av krav

Ett sätt att stärka valideringen av ett arbete sker genom att jämföra olika källor som anger samma resultat för studien. Detta kan uppnås genom intervjuer, observationer på en studie. Denna typ av valideringsmetod kallas för triangulering (Björklund & Paulsson 2012).

I rapporten används observationer, mätningar, intervjuer samt litteratur för att validera resultatet. Valideringen skall bekräfta att simulationsmodellen är rätt byggd, bekräfta eller avvisa hypotes, som ligger till grund för kravformuleringarna i ett senare skede.

## 4. Resultat

I detta kapitel presenteras de utfall av de studier och förfaranden som arbetet resulterat i.

### 4.1 Intervju av produktionstekniker

Under intervju ställdes ett par frågor angående hur Volvo Penta hanterar störningar som inträffar samt hur störningar påverkar deras monteringslinor.

Ifall takttiden överskrids på Volvo Pentas produktionslinje tillkallas Andon. Andon i sin tur tar till de åtgärder som krävs för att lösa de problem som uppstått, oftast genom att tillkalla personal. I vissa fall där takttiden överskrids väsentligt får takter strykas.

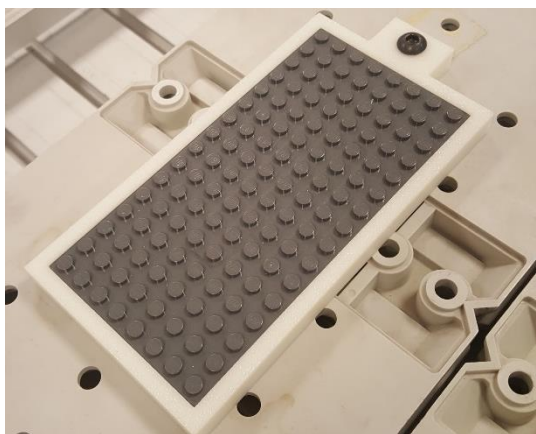
I situationer där takttider överskrids påverkas oftast inte bakomvarande linjer. Detta på grund av att Volvo Penta använder sig utav ett PIA-lager, alltså en motor i buffert mellan varje linje i monteringen. Däremot om PIA-lagret är slut mellan varje linje kan det mycket väl påverka bakomvarande linjer. Dock sker detta väldigt sällan.

### 4.2 Modelluppbyggnad

Resultatet av legomodellen som utvecklades samt hur modellen monteras (vilken ordning och i vilken station) presenteras i kapitlet nedan.

#### 4.2.1 Legomodell

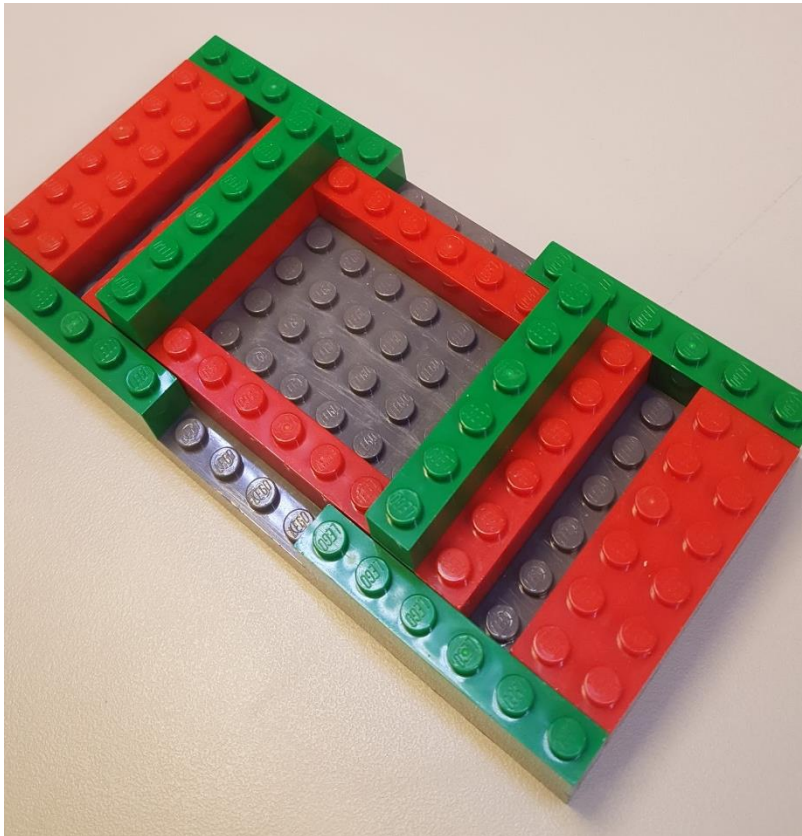
Legomodellen som togs fram, se figur 12, byggdes upp för att uppnå en totalt monterings tid på cirka 180 sekunder. I modellen byggdes olika moment in för att variera monteringen och för att skapa ett syfte av att montera objektet.



*Figur 12. Exempel på hur grunden placeras i palett*

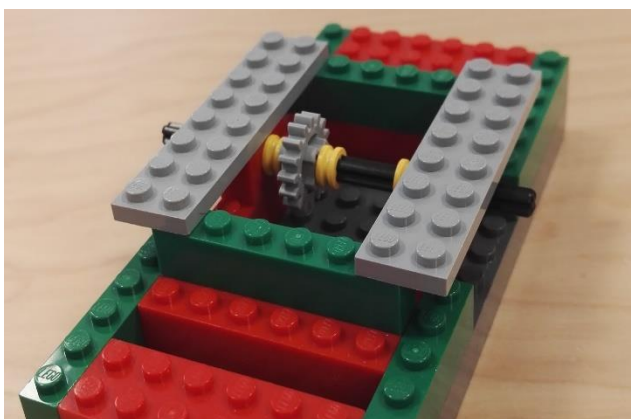
Konstruktionen som togs fram var en legokonstruktion byggd på en legogrund som kunde passa i en specialanpassad palett.

Därefter byggdes konstruktionen upp en nivå i syfte att rymma den växel som skulle addera lite variation till konstruktionen, se figur 13. Upphöjningen byggdes med 1x6 samt 2x6 legobitar i färgerna rött och grönt.



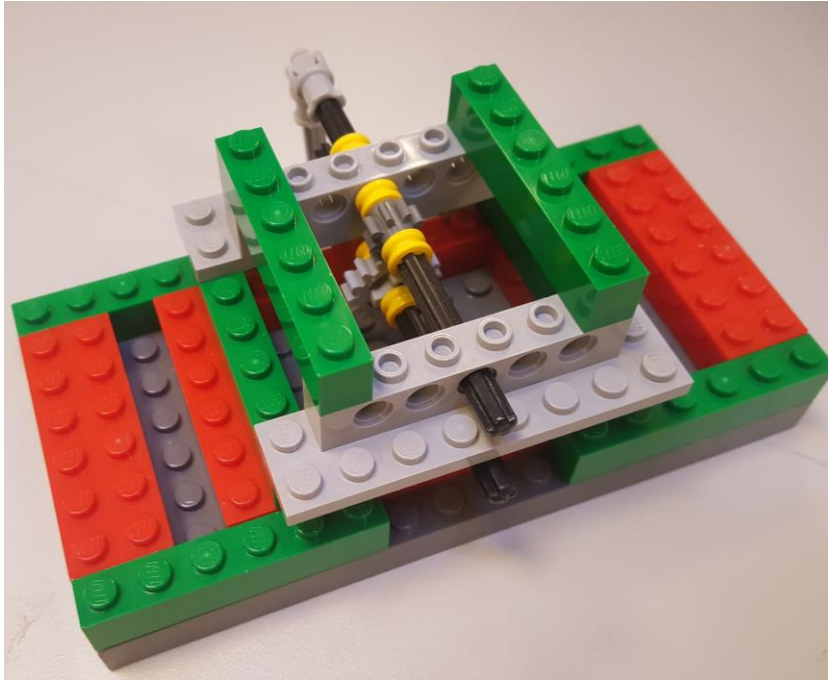
*Figur 13. Exempel på hur upphöjningen är monterad.*

På upphöjningen var det nu möjligt att bygga in en axel med kugghjul på, se figur 14. Dessa byggdes in på röda axelhållare. Kugghjulet i sig låstes in mot axeln med hjälp av gula låsringar i syfte att undvika axiella rörelser av kugghjulet. På de röda axelhållarna lades två smala plattor på för att den lilla växeln i ett senare skede skall kunna passa mot den större.



*Figur 14. Legokonstruktionen med första växeln påmonterad*

Slutgiltiga momentet som byggdes in i konstruktionen var ett litet kugghjul på en axel, se figur 15. På samma sätt som i det förgående momentet, låstes det lilla kugghjulet mot axelhållarna med hjälp av gula låsringar. Detta moment fixerar kugghjulen på önskad position med hög precision utan att lägga ner extra arbete.



*Figur 15. En färdig legomodell.*

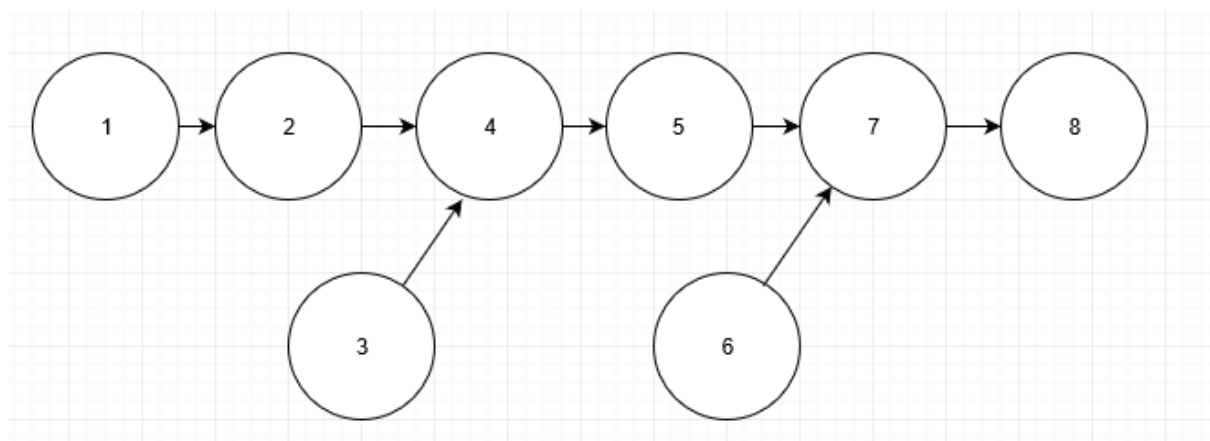
På axelns yttersida monterades en roterande kardanaxel, som till uppgift hade att möjliggöra en manuell vridning av växeln.

## 4.2.2 Stationsindelning

Tidsanalysen visade hur och var stationsindelning bör göras. Den totala monterings tiden delades på 3 för att skapa 3 stationer.

Arbetsmomenten delades upp i den ordningen som var mest relevant för att kunna genomföra monteringen, se figur 16. Exempelvis var det mest relevant att bygga upphöjningen först, för att i momentet efter för att kunna påföra växelpaketet. Därför definierades de olika arbetsmoment som tillhörde varandra i ett precedensschema med de tider som momenten tar att utföra presenteras nedan:

1. Placera legogrund på palett (3 sekunder)
2. Bygg upphöjning (48 sekunder)
3. Placera undre växelpaket (2 sekunder)
4. Bygg stor växel (45 sekunder)
5. Placera grund för övre växel (3 sekunder)
6. Bygg lilla växel (51 sekunder)
7. Placera övre växelpaket (6 sekunder)
8. Lås övre paket (8 sekunder)



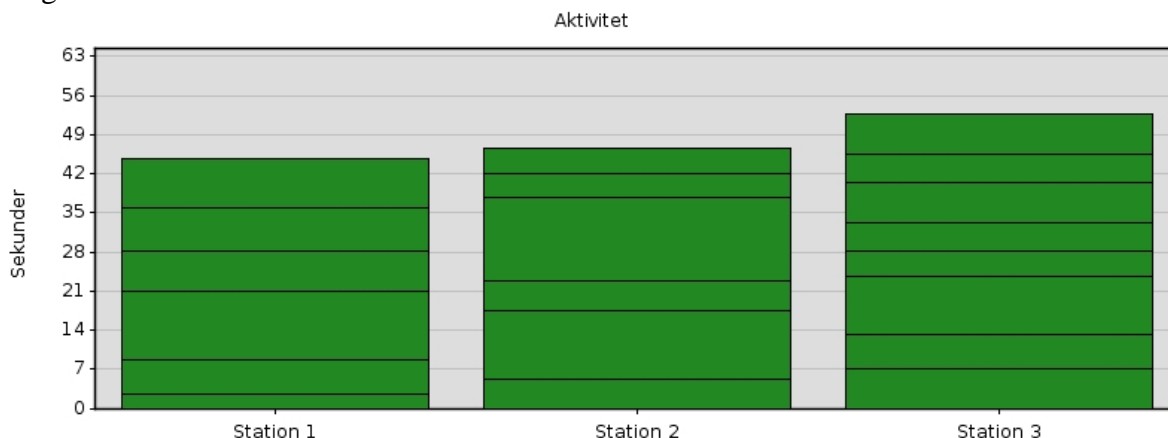
Figur 16. Ett precedensschema

Precedens schemat, se figur 16, visar att moment 1 måste utföras först följt av uppgift av uppgift 2 osv. Notera att för att moment 4 skall kunna påbörjas måste både moment 2 och 3 vara utförda. På samma sätt gäller för att moment 7 skall kunna utföras måste moment 5 och 6 vara utförda.

Resultatet av tidsstudien inför stationsindelningen visade att station 1 & 2 rimligtvis bör ingå i station 1, Station 3,4 & 5 bör ingå i station 2 och resterande stationer (6,7 & 8) bör ingå i station 3.

### 4.2.3 Balansering

Utifrån stationsindelningen balanseras monteringslinan med avseende på de olika arbetsmomenten som observerades i tidsanalysen, samt med hänsyn tagen till ordningen på de olika kritiska momenten vilket presenteras i kapitel 4.1.2. Resultatet av balansering visas i figur 17.



Figur 17. Balanseringsdiagram för scenario 1

Erfordrad cykeltid för alla aktiviteter på station 1 uppgår till ca 46 sekunder, station 2 får en cykeltid på 46 sekunder och station 3 får en cykeltid på ca 53 sekunder. Då försöket inte hade en angiven efterfrågan på en utsatt tid, sattes taktiden efter den station som har längst cykeltid, i enlighet med teorin om ostimulerade synkron produktionslina. Taktiden för hela monteringslinan sattes således till 53 sekunder.

Notera att transporttiden i mellan stationerna inte har tagits i beaktning vid balansering. Denna tid anses som likvärdig mellan alla stationer och kan därmed bortses i balanseringen även om den sker manuellt av operatörerna. Tiden som kommer att adderas kommer vara likvärdig på alla stationer.



## 4.3 Simulation av modell

I detta avsnitt redovisas de resultat som kommer sig av simulationen som gjorts i syfte att besvara hypotesen som ställdes.

### 4.3.1 Scenario 1

I detta scenario sker produktionen utan några störningar. Resultatet visar att fördelningen mellan de olika stationerna är relativt jämn. Tiden som presenteras är baserad på fem monteringsobjekt som gick igenom flödet. Därefter presenteras den totala tiden det tog att utföra alla monteringar. Vidare kan nämnas att det aldrig uppkom brist på material och påverkade således inte produktionen i några avseenden.

Resultatet som kan utläsas i tabell 1 är cykeltider, totala monteringtider samt monteringstid för varje monteringsobjekt. Transporten mellan stationerna räknas in i den totala monteringstiden. Vidare kan sägas att den totala taktiden överskrider på station 2 då den totala monteringstiden divideras på antalet monteringsobjekt.

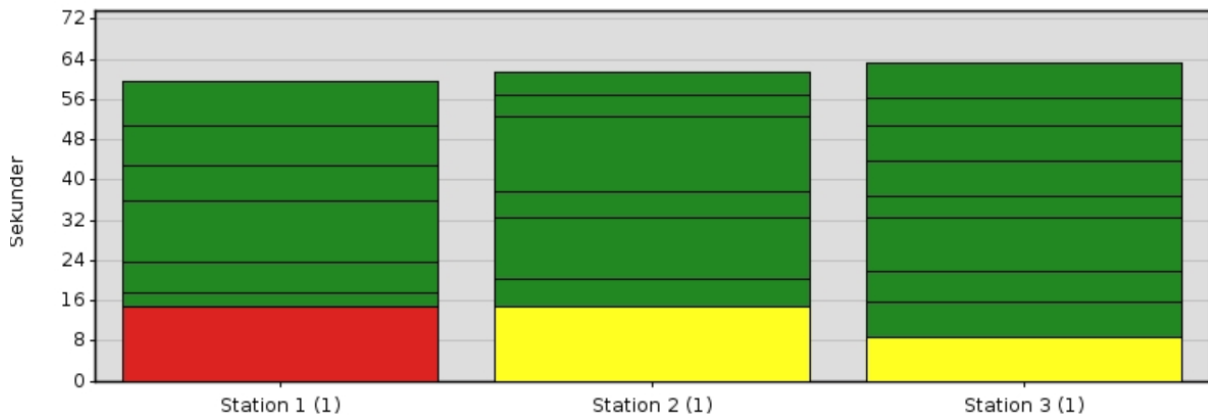
*Tabell 1. Värden på scenario 1. Den totala monteringstiden förkortas TOTAL MON. Siffrorna anger antalet sekunder.*

SCENARIO 1							
STATION 1			STATION 2			STATION 3	
1	48		1	52		1	62
2	56		2	50		2	54
3	50		3	55		3	60
4	57		4	54		4	41
5	54		5	58		5	42
TOTAL MON	265		TOTAL MON	269		TOTAL MON	259
Cykeltid	53		Cykeltid	53,8		Cykeltid	51,8

Total monteringstid för de 5 produkter som åker igenom flödet blir 793 sekunder. Ledtiden för en produkt blir således 158,6 sekunder (793/5).

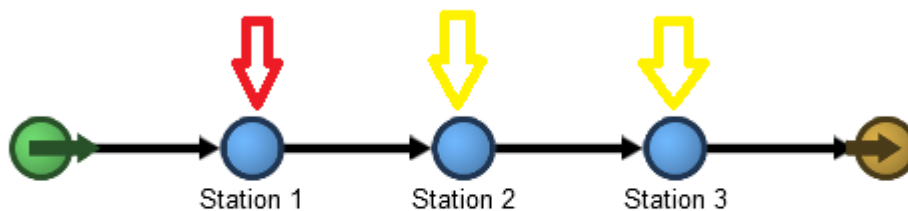
### 4.3.2 Scenario 2

I detta scenario har en störning på 17s inträffat då monteringsobjektet åker in på station 1, se figur 18. I scenariot betraktas störningen även som ett resultat av ett haveri på någon maskin som uppkommit på station 1.



Figur 18. Balanseringsdiagram för Scenario 2. Röd symboliserar störningens tid, Gul symboliserar teoretiska tiden för väntan

Konsekvensen av störningen sprider sig till de efterkommande stationer i form av väntan, se figur 19. Resultatet blir en obalanserad monteringslina samt att den satta taktiden hos station ett överskrids avsevärt.



Figur 19. Vart störning på linan uppkommer och vart väntan uppkommer. Röd symboliserar störningens uppkomst och gul symboliserar väntan.

Resultatet visar att balanseringsförlusterna i form av väntan på stationerna är nu så stora att de inte längre kan försummas, se tabell 2. Den sammanlagda arbetstiden för att montera 5 produkter på de 3 stationerna blir 915 sekunder (294 sekunder + 310 sekunder + 311 sekunder), varav den totala väntetiden uppgår till 217 sekunder (68+76+73 sekunder). På ett ungefär uppgår väntan till ca 24% av den totala ledtiden (915 sekunder /217 sekunder=0,24). Ledtiden för en produkt blir i snitt 183 sekunder.

Tabell 2. Värden på scenario 2. Den totala monteringstiden förkortas TOTAL MON. Siffrorna anger antalet sekunder.

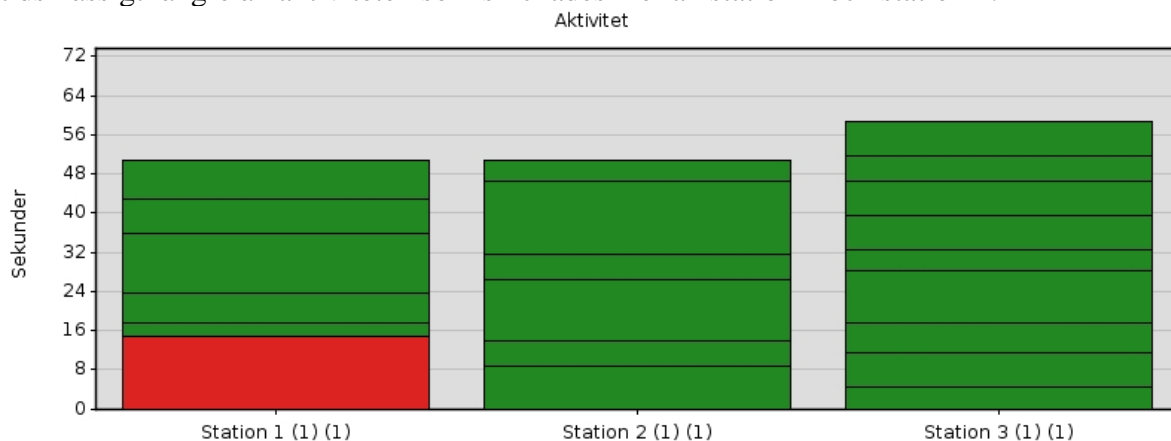
SCENARIO 2							
STATION 1			STATION 2			STATION 3	
1	47		1	39		1	44
2	43		2	50		2	47
3	47		3	41		3	52
4	43		4	56		4	43
5	46		5	48		5	52
TOTAL MON	226		TOTAL MON	234		TOTAL MON	238
STÖRNING	68		VÄNTAN	76		VÄNTAN	73
<b>TOTAL TID</b>	<b>294</b>		<b>TOTAL TID</b>	<b>310</b>		<b>TOTAL TID</b>	<b>311</b>
Cykeltid	58,8		Cykeltid	62		Cykeltid	62,2

I tabell 2 kan utläsas att takttiden nu överskrids på samtliga stationer, där den totala monteringstiden divideras på antal monteringsobjekt och resulterar i en cykeltid. I cykeltiderna räknas transporttiden mellan stationerna.

### 4.3.3 Scenario 3

Scenario 3 har balanserats utifrån samma störning vilket äger rum i samma situation som i Scenario 2. Skillnaden gentemot scenario 2 är att stationernas sista aktiviteter flyttas till efterkommande station (sista aktiviteten på station 1 har flyttats till station 2, sista aktiviteten på station 2 har flyttats till station 3).

Enligt den ideala balanseringen, se figur 20, kommer takttiden att överskridas på station 3. Detta som resultat av att aktiviteten som skickades över mellan station 2 och station 3 var tidsmässigt längre än aktiviteten som skickades mellan station 1 och station 2.



Figur 20. Balanserad monteringslina utifrån störningen.

Resultatet av tidsstudierna i tabell 3 är att cykeltiderna närmar sig angiven takttid, dock överskrider denna fortfarande på 2 av 3 stationer. Detta genom att skicka aktiviteter till nästkommande monteringsstation.

Tabell 3. Värden på scenario 3. Den totala monteringstiden förkortas TOTAL MON. Siffrorna anger antalet sekunder.

SCENARIO 3							
STATION 1		STATION 2		STATION 3			
1	39	1	40	1	48		
2	53	2	50	2	51		
3	25	3	49	3	45		
4	37	4	56	4	46		
5	37	5	51	5	65		
TOTAL MON	191	TOTAL MON	246	TOTAL MON	255		
STÖRNING	68	VÄNTAN	41	VÄNTAN	23		
<b>TOTAL TID</b>	<b>259</b>	<b>TOTAL TID</b>	<b>287</b>	<b>TOTAL TID</b>	<b>278</b>		
Cykeltid	51,8	Cykeltid	57,4	Cykeltid	55,6		

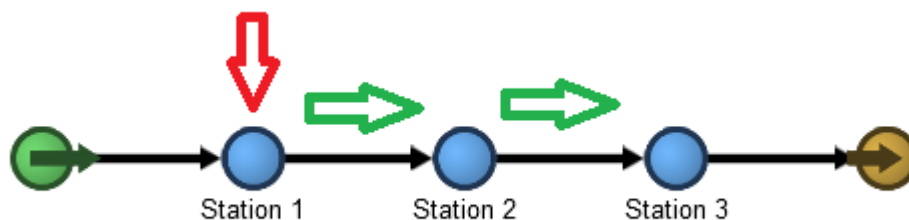
På ett ungefär uppgår väntan/balanseringsförluster till ca 25% på station 1 av den totala monteringstiden, Däremot har den på efterföljande stationer en väntan/balanseringsförlust på 16% respektive 10%. Den sammanlagda arbetstiden för att montera 5 produkter på de 3 stationerna blir 824 sekunder, varav den totala väntetiden uppgår till 132 sekunder. Detta motsvarar en totalt balanseringsförlust på 16%.

Station 1 har fått en lägre total monterings tid som resultat av att aktiviteter flyttas från stationen. Samtidigt ökar beläggningen och den totala monterings tiden på station 2 och station 3 till följd av att det tillkommer aktiviteter till dessa stationer.

## 4.4 Materialförsörjning

Till följd av uppvärmning av simulationen identifierades brister inom simulationen i form av materialbrist samt att rätt material inte hamnade på rätt station vid scenario 3.

Eftersom scenario 3 har ett annat mönster vid materialförsörjningen krävdes åtgärder för att flytta material. Där relevanta material i förhållande till aktivitet har flyttats efter den station de behöver finnas vid, se figur 21.



*Figur 21. Hur material förflyttas längs med monteringslinan för Scenario 3. Den röda pilen symboliserar störningens uppkomst, de gröna pilarna symboliserar aktivitetsförflyttningen samt dess materialförsörjning mellan stationerna.*

Vid scenarierna 1 och 2 behövdes det inte någon ytterligare ändring vid materialförsörjningen.

## 4.5 Intervju av operatörer

Efter simulationen intervjuades operatörerna angående scenario 2 och scenario 3.

I scenario 2, är arbetsbelastningen ojämn där operatörerna i station 1 och 3 ofta fick vänta som resultat av den störning som uppkommer på station 1 uppger de tre intervjuade operatörerna

Enligt de tre intervjuade operatörerna i scenario 3 att aktivitetsförflyttningen resulterat i att tiden utnyttjats bättre, samt att operatörerna anser att flödet är mer balanserat. Dock nämnde en operatör önskan att kunna använda sig utav ett fåtal verktyg på flera olika stationer istället för flera verktyg på flera olika stationer.

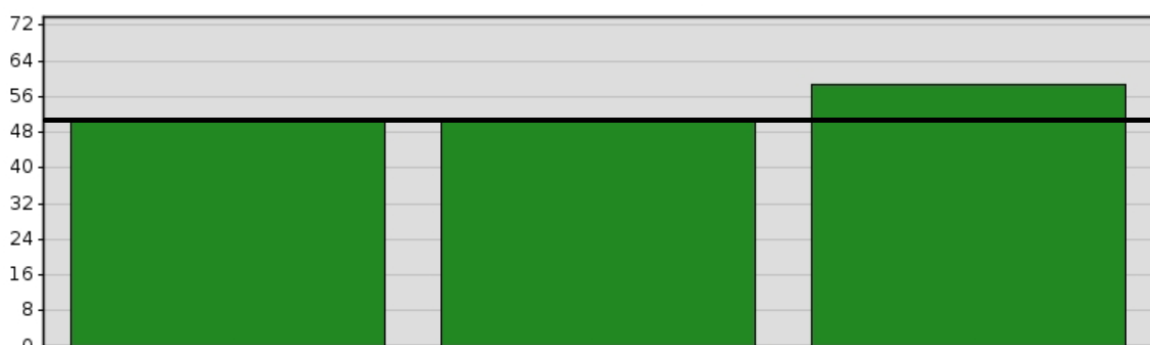
## 5. Analys

I detta kapitel analyseras de resultat som presenterats i kapitel 4. Jämförelser mellan de olika scenarierna och stationerna kommer att göras i detta kapitel.

### 5.1 Analys av balansering

För att uppnå bästa möjliga balansering av en produktionslinje flyttas aktiviteter i mellan stationer för att sedan analysera och jämföra, om förbättring åstadkommit. Rent teoretisk kan en helt jämn balansering uppnås om monteringsmomenten bryts ner i tillräckligt många aktiviteter. Generellt gäller att ju större aktivitetsblock, svårare blir det att få till en jämn balansering.

Utifrån figur 22 kan utläsas att station 1 och station 2 i scenario 1 var relativt jämnt balanserade mot varandra. Station 3 hade en aningen ojämn balansering gentemot de andra två stationerna.



Figur 22. Hur station 1 och 2 är ojämnt fördelad med station 3.

Skulle monteringen fortlöpt utan stopp skulle station 3 potentiellt uppfattas som en flaskhals i flödet som orsakar stora problem. Detta ifall en angiven takttid skulle sättas till en tid som understiger cykeltiden för station 3.

Figur 23 visar hur ojämn fördelningen är mellan de två första stationerna och station 3 rent siffermässigt. Detta är svårt att åstadkomma rent praktiskt då alla de olika aktiviteter tar olika lång tid att utföra.

Station	Totaltid inkl prestation	VA
Station 1	44.74	44.74
Station 2	46.49	46.49
Station 3	52.63	52.63

Figur 23. Den teoretiska cykeltiden för de tre olika stationerna

## 5.2 Analys av simulation

### 5.2.1 Uppvärmning av simulation

För att minska påverkan av den mänskliga faktorn, kördes en uppvärmnings simulering för att ge operatörerna den kunskap och erfarenhet som de behöver inför den riktiga simulationen. Genom att köra alla 3 scenarion kunde de problem och brister som fanns i modellen observeras och åtgärdas.

Ett problem som inte kunde åtgärdas var påverkan av de variationer som uppkommer på grund av den mänskliga faktorn. Resultatet visade en avvikelse gentemot tidigare erhållna teoretiska balanseringsresultat. Resultatet visade även en avvikelse mellan de olika monteringsobjekten.

Under uppvärmningen visade sig att monteringslinan var feloptimerad. Observationen visade att station 3 ofta svalt och innan station 2 skapades en stor buffert. Utifrån en enkel analys drogs slutsatsen att station 2 var en flaskhals (Flaskhalsanalys 2.2.3) i försöket och en ombalansering av monteringslinan gjordes. En noggrannare tidsanalys utfördes även för att säkerställa optimeringen av monteringslinan. Resultatet efter optimeringen visade sig i en jämnare balansering som presenteras under nästa kapitel.

En annan faktor som påverkade uppvärmningen var sättet att ta tiden. Tiden för väntan klockades aldrig. Därmed kunde inte de förluster som uppkom i scenario 2 och scenario 3 mätas för att jämföras.

En omständighet som inte beaktades innan uppvärmningen var tiden för att klicka sig vidare i instruktionslistan. Då de olika stationerna hade olika antal aktiviteter, gjordes olika många klick mellan de olika aktiviteterna på de olika stationerna. Detta ledde till en ojämn balansering i uppvärmningen. Denna faktor mättes och vägdes in vid tidigare nämnda ooptimering av monteringslinan. I en riktig produktion där Casat tillhandahåller produktionsinstruktioner behöver inte denna faktor tas i beaktning, då detta sker automatisk.

### 5.2.2 Analys av scenarier

Resultatet som erhöles vid simulering ställdes och jämfördes mot varandra. I scenario 1 är balanseringsförlusterna relativt små och därmed försummas den tid som testoperatör fick vänta och presenteras istället som en del av den totala monteringstiden.

### 5.2.3 Station 1

Att anmärka på dessa resultat i tabell 4 är hur de olika cykeltiderna skiljer sig från varandra. I Scenario 3 hade en aktivitet flyttats ifrån stationen för att kunna absorbera störningen. Att belysa är att den totala cykeltiden på scenario 3 understeg cykeltiden på scenario 1. Vidare kan sägas att scenario 1 var påverkad av att testoperatörerna fick göra det riktiga



experimentet en vecka efter uppvärmningsförsöket och således kunde ha förlorat en del av den erfarenhet och kunskap som erhållits under uppvärmningen.

Tabell 4. Tiderna för station 1 i de olika scenarierna. Bilden till vänster är resultatet i scenario 1, bilden i mitten är resultatet i scenario 2 och bilden till höger är resultatet i scenario 3.

STATION 1		STATION 1		STATION 1	
1	48	1	47	1	39
2	56	2	43	2	53
3	50	3	47	3	25
4	57	4	43	4	37
5	54	5	46	5	37
TOTAL MON	265	TOTAL MON	226	TOTAL MON	191
Cykeltid	53	STÖRNING	68	STÖRNING	68
		<b>TOTAL TID</b>	<b>294</b>	<b>TOTAL TID</b>	<b>259</b>
		<b>Cykeltid</b>	<b>58,8</b>	<b>Cykeltid</b>	<b>51,8</b>

I jämförelsen mellan station 2 samt station 3 där en störning på 17 sekunder inträffar inför varje montering skiljer sig den totala monterings tiden. Anledningen till detta är logiskt då aktiviteter från stationen flyttats till station 2 i scenario 3, därav behöver inte testoperatörerna utföra lika många aktiviteter i scenario 3. I övrigt är väntan lika stor i scenario 2 och scenario 3.

#### 5.2.4 Station 2

Resultatet i tabell 5 börjar spegla hur väl balanseringen av störningens effekt börjar verka då detta är första efterkommande station. Likt station 1 vid scenario 1, kan det tilläggas att detta var delvis en uppvärmningsrunda och därför är monterings tiderna här lite längre per monteringsobjekt, jämfört med scenario 2 (beskrivet under station 1).

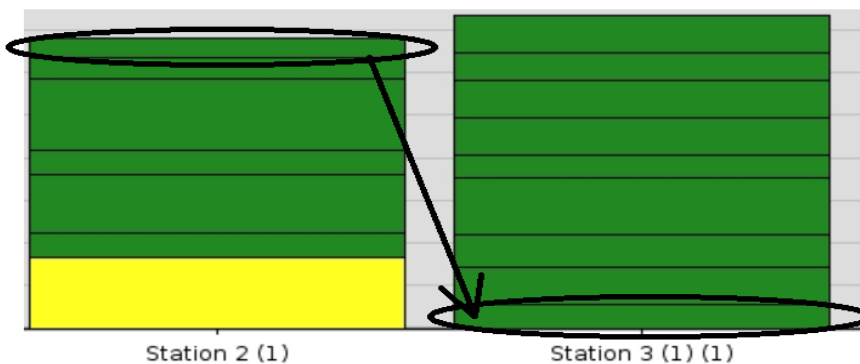
Tabell 5. Tiderna för station 2 i de olika scenarierna. Bilden till vänster är resultatet i scenario 1, bilden i mitten är resultatet i scenario 2 och bilden till höger är resultatet i scenario 3.

STATION 2		STATION 2		STATION 2	
1	52	1	39	1	40
2	50	2	50	2	50
3	55	3	41	3	49
4	54	4	56	4	56
5	58	5	48	5	51
TOTAL MON	269	TOTAL MON	234	TOTAL MON	246
Cykeltid	53,8	VÄNTAN	76	VÄNTAN	41
		<b>TOTAL TID</b>	<b>310</b>	<b>TOTAL TID</b>	<b>287</b>
		<b>Cykeltid</b>	<b>62</b>	<b>Cykeltid</b>	<b>57,4</b>

Absorberingen som kan utläsas ur tabellerna visar att scenario 3 som innehåller hypotesen om att balansera ut en störning får effekt. Resultatet i tabell 5 syns tydligt, att trots längre

monteringstider på varje monteringsobjekt ändå lyckades fås en lägre cykeltid. Detta på bekostnad av väntan. Cykeltiden är cirka ca 4,6 sekunder lägre i scenario 3 än vad den är i scenario 2.

Absorberingen i scenario 3 möjliggjordes genom att flytta aktiviteter mellan stationerna, se figur 24. Att flytta aktiviteter i mellan stationer kan leda till en viss variation i monteringen och en avvikelse från standarden.



Figur 24. Illustrering av hur aktivitetsförflyttningen sker mellan station 2 och station 3

Detta ställer flexibilitetskrav på de maskiner eller de mänskliga operatörer som utför denna typ av monteringsarbete, att inneha kunskap för all typ av montering, som skulle kunna inträffa på stationen om en störning skulle uppkomma och därmed att en aktivitet flyttas till aktuell station.

En annan faktor som möjliggjorde denna typ av lösning möjlig var flexibiliteten i materialförsörjning samt möjligheten att utföra en viss typ av montering på flera olika stationer.

Lösningen baseras på en effektiv materialförsörjning mellan berörda stationer eller att stationerna förbereder för störning innan den uppkommit. Detta genom att placera extra uppsättning av material på stationer för att kunna absorbera störningar. Detta skall göras på förhand och då kan det även avgöras vilka aktiviteter som kan flyttas vid en eventuell uppkomst av en störning.

Att använda flexibla verktyg är även det en viktig faktor för att kunna lösa denna typ av montering. Förslagsvis bör monteringsobjekt, som inte kräver någon form av verktyg, prioriteras som flyttbara. Därefter bör monteringsobjekt som inte kräver någon form av automatiserad process göras flyttbara och som sista prio bör aktiviteter med verktyg som är automatiserade göras flyttbara.

### 5.2.5 Station 3

Resultatet i tabell 6 visar en påföljd av balanseringens effekt på station 3 i de tre olika scenarierna.

Station 3 vid scenario 3 får en kraftig minskad väntetid i jämförelse med scenario 2. Skillnaden i väntan uppgår till 50 sekunder. Detta motsvarar nästan en hel takt (en takt ligger på 53 sekunder).

Tabell 6. Tiderna för station 3 i de olika scenarierna. Bilden till vänster är resultatet i scenario 1, bilden i mitten är resultatet i scenario 2 och bilden till höger är resultatet i scenario 3.

STATION 3		STATION 3		STATION 3	
1	62	1	44	1	48
2	54	2	47	2	51
3	60	3	52	3	45
4	41	4	43	4	46
5	42	5	52	5	65
TOTAL MON	259	TOTAL MON	238	TOTAL MON	255
Cykeltid	51,8	VÄNTAN	73	VÄNTAN	23
		<b>TOTAL TID</b>	<b>311</b>	<b>TOTAL TID</b>	<b>278</b>
		<b>Cykeltid</b>	<b>62,2</b>	<b>Cykeltid</b>	<b>55,6</b>

Detta kan påvisas genom att en stor del av balanseringen redan har absorberats i föregående station samt att absorberingen fortsätter på station 3 genom olika aktivitetsförflyttningar från station 2 till station 3.

Dessutom har den enskilda monterings tiden för varje monteringsobjekt ökats i scenario 3 jämfört med scenario 2. Även detta är resultat av aktiviteter som flyttats från station 2 nu belägger station 3 ytterligare i scenario 3, i jämförelse mot scenario 2 där stationen väntar på att få monteringsobjektet. Beläggningen på station 3 i scenario 2 uppgick till cirka 75%, jämförelsevis med 90% i scenario 3.

Cykeltiderna i scenario 2 och scenario 3 visar även en viss skillnad. Cykeltiden är cirka ~ 6.5 sekunder lägre i scenario 3 än scenario 2. Cykeltiden har beräknats genom att ta den totala monterings tiden dividerat med antal monteringsobjekt och visar hur väntetiden blivit bortbalanserad.

## 6. Formulering av kravspecifikation

Kravspecifikationen omfattar de olika kraven som har identifierats under projektets gång genom observationer, experiment, intervjuer samt i den teoretiska referensramen.

Inom projektbeskrivningen har följande förutsättningar identifierats:

- AGV
- Realtidsbalansering/Autobalansering
- Digitala instruktioner

Utifrån simulationen observerades de olika scenarion och på så sätt identifierat ytterligare krav som presenteras nedan:

### 6.1 Identifiera störning

Casat skall genom att mäta tidsskillnad avgöra om en station hamnat efter i tidsschemat. Därefter skall Casat avgöra om detta är en störning för att sedan förbereda inför efterkommande scenarion.

Identifieringen skall ske genom att mäta den verkliga tiden för monteringen och för att sedan jämföra med den teoretiska tiden stationen bör ligga vid. Därefter görs en subtraktion och visar sig att stationen ligger efter en satt konstant, skall detta kategoriseras som en störning.

### 6.2 Störning registreras som aktivitet

För att kunna balansera ut en störning måste Casat registrera den identifierade störningen som en aktivitet. Denna aktivitet kommer att påföras i stationens aktivitetslista och kommer att behandlas som en vanlig aktivitet. I scenario 3 införs en aktivitet som en störning där tiden registreras som en icke värdeadderande tid och går därför att behandla bort med hjälp av autobalansering.

### 6.2 Prioritering av aktiviteter

För att föregående krav skall fungera med hänsyn till autobalanseringen kräver det även att Casat skall kunna låsa särskilda aktiviteter. Detta är nödvändigt eftersom Casat inte ska autobalansera olika aktiviteter som inte får flyttas eller är bundna med varandra. Förslagsvis kan en prioriteringskategorisering införas där prioritering 1 aktiviteter inte kan flyttas alls, och där prioritering 3 aktiviteter är de mest fördelaktiga att flytta.

## 6.3 Materialförsörjning

Scenario 3 visar att materielbehovet är annorlunda än föregående scenario. Då aktiviteter skickas mellan stationer måste det material som är knutet till en viss aktivitet finnas tillgängligt. Detta medför att material som krävs vid olika moment ska vara flexibelt genom transport mellan olika stationer, eller finnas tillgängligt på flera stationer.

## 6.4 Verktyg

För att operatörerna ska klara av alla monteringar måste alla de verktyg som skall utföra en viss montering av en viss aktivitet, måste verktyg alltid till hands.

I intervjun av operatörerna vid experimentet önskades ett verktyg, istället för att ständigt byta verktyg för olika moment. Därför är ett flexibelt verktyg att föredra framför många olika verktyg. Att ha flexibelt verktyg kommer minska behovet av rörelse då man slipper byta. Skulle inte ett flexibelt verktyg vara möjligt måste alla viktiga verktyg finnas på rätt station för att operatören skall kunna utföra den erforderade monteringen. Att springa mellan stationer för att hämta verktyg är inget bra alternativ då det endast kommer att kosta tid (=pengar) och orsaka förvirring. Detta kan även leda till att störningen förvärras (ökar).

Förslagsvis kan vissa automatiserade verktyg göras flexibla genom att införa enkla hylsbyten och ställbara moment genom igenkänning av hylsorna. Likt tidigare förfaranden behöver de specifika hylsdragningarna länkas till de specifika aktiviteterna, så att de kan medfölja en viss aktivitet om dessa behöver flyttas vid en eventuell störning.

## 6.5 Önskemål

### 6.5.1 Flexibilitet av operatörer

Eftersom monteringslinan kan variera beroende på störningar som inträffar kräver det att operatörerna skall vara flexibla och inneha den kunskap som krävs för att klara arbetet vid en viss station. Detta för att säkerställa att operatörerna är förberedda för varierande arbete. Att föredra är att lära upp operatören vid alla stationer. Detta säkerställer att operatören är redo för alla möjliga monteringsscenarion som kan uppkomma.

### 6.5.2 Layout

Layouten kan behöva anpassas efter produktionen. För att smidigt kunna absorbera en störning bör en produktionslina utformas efter block med x antal stationer. Dessa stationer skall hjälpas åt att absorbera en störning tillsammans.

Layouten bör även förläggas så rak som möjligt med så kort mellanrum i mellan stationerna för att undvika buffertar i mellan stationerna vilka i kan lagra en störning. Detta bör undvikas

då en störning bör tas itu med omedelbart efter dess uppkomst för att effektivt kunna absorbera denna. Det här är ett önskemål då alla fabriker inte har möjligheten att ändra på sina layouter pga. yttre omständigheter, såsom brist på yta, maskiner som inte kan flyttas m.m..

# 7. Diskussion

Arbetets mål var att formulera krav för att kunna absorberas på en produktionslinje. Kraven i sig skulle formuleras i en kravspecifikation.

## 7.1 Metod

Att formulera kraven och de resultat som har fåtts ut av arbetet är beroende på vilka metoder som använts för att komma fram till dessa. De metoder som ansetts ha störst inverkan på metoden diskuteras.

### 7.1.1 Simulationsmodell

Moduluppbyggnaden är den metod som gruppen anser påverkat mest. Detta pga. att alla resultat är beroende på hur modellen utformats.

Legomodellen skulle kunna haft en mer avancerad konstruktion för att i ett senare skede kunna fylla upp produktionslinjen med mer komplexa monteringar, alternativt skulle fler arbetsstationer kunna upprättats för att kunna studera när störning blivit absorberad och monteringslinan återgått till sitt ursprungliga tidsschema.

Dock anses att de krav som tagits fram med olika tillvägagångssätt hade lett till likadande resultat, med den enkla skillnaden att de olika tillvägagångssätten hade haft olika grunder att basera dess beslut på. Hade konstruktionen gjorts mer avancerad hade mer material funnits att analysera och därmed bättre grund för beslut i ett senare skede.

En annan påverkan på modellen var tillvägagångssättet vid balanseringen av stationerna. I figur 12 ses en aningen obalanserad monteringslina. Detta tro ha påverkats av resultatet på det sätt att station 1 och 2 fick en högre balanseringsförlust då beläggningen på station var lägre. Detta i sin tur möjliggjorde att den obundna tiden som fanns, kunde användas till att absorbera störning och belägga stationen i scenario 3. Frågan gruppen ställde sig själva var då hur det resultat skulle se ut om stationen varit belagd till 100% kombinerat de scenarion som ställts.

### 7.1.2 Datainsamling

Datainsamlingen som gjordes kunde ha gjorts grundligare för att få ett bättre resultat och därmed kunna dra slutsatser som är tydligare. Den data arbetet anbringade ansågs däremot som tillräckligt för att kunna utföra arbetet och att kunna analysera de resultat som experimentet gav.

Ett annat sätt att förfinas datainsamlingen skulle varit en videoinspelning av experimentet. Detta skulle ge gruppen möjlighet att gå in och analysera och göra mätningar. Detta skulle frigöra utrymme åt gruppen att rikta fokus på observationer under experimentets gång.

Gruppen försökte hela tiden bortse från den mänskliga faktorn. Denna faktor visade sig dock svårare att bortse ifrån. På grund av denna faktor är resultaten i sig beroende av att människan begår så få misstag som möjligt, och därmed åstadkommer en så liten variation som möjligt. Ett sätt att komma undan den mänskliga faktorn, är att träna testarbetarna tills de inte begår misstag. Alternativt att ersätta alla testarbetare med monteringsrobotar.

## 7.2 Resultat

Resultatet av simulationen i scenario 1 påvisar många symptom av den mänskliga faktorn. Trots att en uppvärmningsrunda utförts innan ordinarie experiment, och fanns tillgängliga instruktionslistor operatörerna följde, är variationen i monterings tid fortfarande stora fram till scenario 1. Till följd av detta gjordes endast få slutsatser av scenario 1 och jämförelser med scenario 1 undveks i största möjliga mån.

För att påvisa skillnader och brister i scenario 1 kan jämföras med scenario 3. I scenario 3 hinner station 2 och station 3 och utföra fler monteringar på samma eller lägre tid i jämförelse med scenario 1.

I scenario 2 och scenario 3 stabiliserades variationen upp. Detta gjorde att vaga slutsatser kunde dras till scenario 1 som gruppen först önskat sig kunna göra innan experimentet påbörjades. Därför var den analys som gjordes mellan scenario 2 och scenario 3 mest pålitlig och detta lade grunden till de beslut som gruppen formulerade kraven på.

Resultatet av simulationen visade aldrig när störningen helt blivit absorberad. Detta då gruppen var begränsade i sina resurser och endast kunde uppbringa 3 stationer. Vidare studier kan behöva göras med fler stationer för att undersöka om en störning kan absorberas helt, eller till vilken grad dess påverkan kan minskas.

Resultatet visar även att lösningen bidrar till en eliminering av väntan som nämns i kapitel 2.2.1. Detta genom att eliminera den flaskhals som tillfälligt uppstår och dynamiskt flytta aktiviteter.



De resultat som simulationen ledde till ansågs vara tillfredsställande då de besvarade den hypotes gruppen ställt med aktivitetsförflyttning i mellan stationerna. Denna slutsats hänvisas till att resultatet visade att det går att minska den totala ledtiden genom enkla aktivitetsförflyttning mellan de olika monteringsstationerna ifall en störning skulle uppkomma.

För produktionstekniker som arbetar med denna typ av monteringsprocesser kommer denna lösning som gruppen använts sig av, att underlätta framtida arbete genom tillåta Casat sköta balanseringen samt lösa de knutar som uppstår av störningar.

### 7.3 Frågeställning

Frågeställningarna omfattar frågor angående hur ett slöseri effektivast kan minimeras. Slöseriet i fråga är den om väntan. Det som inte frågeställningen tar hänsyn till är helheten i form av de andra slöserierna nämnda i kapitel 2.2.1. Hur ser i så fall denna korrelationen ut mellan de olika slöserierna, specifikt den om transport och den om överarbete, och åstadkoms i så fall en total vinst av en sådan implementering. Relativt de tidsvinster som åstadkoms, är en investering motiverad trots ökade förluster då andra slöserier uppkommer?

Resultatet visar att utifrån ställda frågeställningar går att delvis balansera ut en störning. Det som behöver inkluderas i frågeställningen i framtida studier för att få en helhetsbild är undersöka de ovannämnda faktorerna, samt utföra en helt teoretisk simulation. Den teoretiska tiden kan användas som ideal för att kunna jämföra med den simulationsmodell man utförde.

Analysen visar skillnaden i de olika scenarierna. De slutsatser som kunde dras att det finns tidsvinster att hämta med de åtgärder som gjordes i scenario 3 gentemot de grundförutsättningar som fanns i scenario 2. Siffror visar i klartext att en totalt balanseringsförlust på 24% i scenario 2 gentemot en balanseringsförlust på 16% i scenario 3. Siffror påvisar även att balanseringsförlusterna minskade längs med monteringslinan, station 3 hade 24% balanseringsförlust i scenario 2, station 3 i scenario 3 hade 10% balanseringsförlust. De åtgärder som vidtogs i modellen var att registrera störningen som en aktivitet, och därefter ta hänsyn till denna aktivitet när en ny realtidsbalansering utfördes. Detta gjorde att aktiviteter kunde skickas längs med banans monteringsflöde och på detta sätt kunde hela monteringslinan arbeta tillsammans för att balansera bort denna störning.

För att klara utbalansering av en störning, behövdes omständigheterna identifieras. Detta gjordes med hjälp av simulation. Kraven som kunde utläsas är beskrivna i kravspecifikationen, se kapitel 6. Rapporten är utformad utefter produktionstekniskt perspektiv och tar därför inte hänsyn till hållbarhetsaspekter som skulle kunna utgöra en omständighet. Aspekterna i fråga är ekonomiska-, social-, etiska- samt miljöaspekter. Däremot är de krav som är specificerade i kapitel 6 tillräckliga för att implementera på en produktionslina, för att klara av den simulation som gjordes.

## 7.4 Vidare studier

Vid validering av kraven uppkom frågor huruvida materialförsörjning bör ske. Diskussioner uppkom om materialet bör förflyttas med AGV som transporterar monteringsobjekt, bör testoperatören hämta material från ordinarie station eller bör material ordnas efter erforderad sekvens där testoperatören kan komma att påbörja sin montering innan sin stationsgräns. Detta är en fråga som bör studeras vidare.

En diskussion om hur problemen med verktygen bör lösas uppkom. Även denna punkt är intressant för vidare studier. Detta är en vital del att lösa för att fullt ut kunna implementera de krav som formulerats.

Vidare kan även sägas att experimentet bör undersökas med fler stationer och med en mer avancerad konstruktion. Detta för att ytterligare undersöka hur produktionslinan beter sig med fler stationer då en störning uppkommer samt hur den absorberas av produktionslinan. De frågor som bör ställas för att en störning helt ska kunna absorberas, hur långt efter störningens uppkomst påverkar störningen? Hur mycket av de olika aktiviteterna på de olika stationerna kan flyttas? Hur mycket extra arbete bör läggas ned för att det skall vara lönsamt att förbereda inför en störning?

Dessutom uppkom det frågor om huruvida hållbarhetsaspekter kopplade till miljön, ekonomiska, etiska och de sociala påverkas om en lösning skulle åstadkommas. Arbetet motiveras av att minimera slöseri av ekonomiska skäl. Skulle dessa motiv kunna spilla över och ge upphov till ökade påfrestning av miljö-, etiska- och socialaspekterna? Finns det andra vinster än de ekonomiska att hämta som istället kunna motivera en investering.

## 8. Slutsats

Simulationen visar genom att flytta aktiviteter längs med monteringslinjen är en effektiv metod för att fördela ut en störning. På detta sätt slipper eftervarande stationer vänta på att föregående stationer slutför sin montering genom att ta över arbetsmoment som är kvar för att inte överskrida taktiden. Detta minimerar risken att få monteringslinan att stanna och orsaka väntan längs monteringslinan. Montering kan därför fortgå samt eliminerar uppkomna flaskhalsar. Det räcker inte med givna förutsättningar. Ytterligare förutsättningar bör adderas för att kunna balansera ut uppkomna störningar.

I experimentet har angivna omständigheter givits alla stationer för att klara av erforderad montering. De resurser som har givits stationerna vid scenario 3 för att klara av att balansera ut en störning på en monteringslina, är en stabil materialförsörjning samt de behövda verktygen. Omständigheter (Materialförsörjning och Verktyg) har blivit identifierade men behöver studeras på en djupare nivå på hur en sådan lösning bör se ut för att ta vidare arbetet till en fas där det kan driftsättas på en verklig produktionslösning. Detta utan att gå emot principerna i de 7 sölerierna.

Slutsatsen som drogs av detta arbete är att förändringar i programvaran Casat behöver göras för att kunna åstadkomma en effektiv funktion för att klara absorbera störningar. Casat har redan idag väldigt kraftfulla funktioner, dessa behöver endast byggas på för att kunna åstadkomma denna typ av funktion. Dessa slutsatser är angivna i kravspecifikationen.

Genom att implementera de krav som identifierats kommer detta att underlätta produktionsteknikerns arbete genom balansering av stationer. Det underlättar produktionsteknikerns arbete genom att produktionsteknikern slipper att balansera om en produktionslina då en störning skulle uppkomma.

Precisionen i produktionen kommer att öka då med denna lösning kan minimera antalet stoppminuter. Lösningen ställer även högre krav på flexibilitet i produktionen i form av flexibla operatörer, verktyg och material. Detta tvingar organisationer som använder denna lösning till förbättringsåtgärder som ökar dessa typer av flexibiliteter. Detta gynnar företagen genom att snabbt kunna lägga om sin produktion efter de önskemål som marknaden önskar.

# Referenslista

Baudin, M., 2002. Lean Assembly: The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow. New York: Productivity Press.

Bellgran, M. & Säfsten, K., 2005. Produktionsutveckling. 1: a red. Lund: Studentlitteratur AB.

Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A., 2008. Assembly line balancing: Which model to use when? Production Economics, Issue 111, pp. 509-528.

Bryman, A. & Bell, E. & Nilsson, B., 2005. Företagsekonomiska forskningsmetoder. Malmö: Liber AB.

Chryssolouris, G., 2006. Manufacturing Systems: Theory and Practice. 2: a red. New York: Springer Science-i-Business Media, Inc.

De Toni, A. & Tonchia, S., 2005. Definitions and linkages between operational and strategic flexibilities. Omega, Issue 33, pp. 500–540.

Geismar, H, N., Murthy & Nagesh M, M., 2015 Balancing Production and Distribution in Paper Manufacturing. Production and Operations Management. Volume 24, Issue 7, pp. 1164-1178.

Gustafsson, B., 2008. Arbetsliv–I ljuset av ingripandets kunskapsteori. Chalmers University of Technology.

Liker, J.K., 2004. Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill Education.

Imaoka, M., u.d. Understand Supply Chain Management through 100 words Bottleneck(Constraint) [<http://www.lean-manufacturing-japan.com/scm-terminology/bottleneck-constraint.html>] (2018-05-07):

Lumsden, K., 2006. Logistikens grunder. 2:5 ed. Lund: Studentlitteratur AB.

Mattsson S-A. & Jonsson P., 2013. Material och produktionsstyrning. Upplaga 1:2. Lund: Studentlitteratur AB.

Mattsson, S., Tarrar, M. & Fast-Berglund, Å., 2016. Perceived production complexity – understanding more than parts of a system. International Journal of Production Research. Volume 54, Issue 20, pp. 6008–6016.

McNamara, T., Shaaban, S.& Hudson, S., 2011 *Smart Buffering in Unreliable Production Line Performance* [[http://www.scdigest.com/experts/Expert\\_11-08-05.php?cid=4821&ctype=content](http://www.scdigest.com/experts/Expert_11-08-05.php?cid=4821&ctype=content)] (2018-05-07):

MVV International., 2018 *Casat* [<https://mvvinternational.com/information-technololy/>] (2018-05-08)