

# CHALMERS



# SKF

Ökat kapacitetsutnyttjande genom minskning  
av störningseffekter i produktion

*Increasing capacity utilization through  
reducing effects of disturbances in production*

Kandidatarbete i Industriell ekonomi

VIKTOR BAKKER

MATHILDA GÄRDESMED

ANTON JOHANNESSON

TOBIAS KARLSSON

JOSEFIN KOPPEL

NILS THYLÈN

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation  
*Avdelningen för Supply and Operations Management*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2017  
Kandidatarbete TEKX04-17-16

## Förord

Det här kandidatarbetet utfördes under våren 2017 under avdelningen för Supply and Operations Management vid institutionen Teknikens ekonomi och organisation. Studien genomfördes på uppdrag av vår kontaktperson, en driftchef på SKF i Göteborg, och med handledning från Robin Hansson, teknologie doktor vid Teknikens ekonomi och organisation.

Vi vill tacka vår kontaktperson för förtroendet att utföra denna studie, för ett bra samarbete och för en givande utmaning. Kandidatgruppen vill också rikta ett stort tack till de anställda på SKF som har varit mycket hjälpsamma och tillmötesgående. Vi vill även tacka vår handledare Robin Hansson för ett engagerat arbete, samt Per Medbo, tekniklektor vid teknikens ekonomi och organisation, för handledning inom datorsimulering.

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg 2017-05-12

  
Viktor Bakker

  
Mathilda Gärdesmed

  
Anton Johannesson

  
Tobias Karlsson

  
Josefin Koppel

  
Nils Thylén

## Sammandrag

En produktionslina på SKF AB har produktionsstörningar som sänker produktiviteten. Störningarna medför variationer i både output och utnyttjandegrad, vilket beror på frekventa och tidsomfattande maskinställ och oplanerade produktionsstopp.

Syftet med studien är att ge förslag på hur effektiviteten kan ökas för en produktionslina på SKF, det vill säga hur deras output per tidsenhet kan ökas genom att minimera effekten av produktionsstörningar. För att uppfylla studiens syfte har projektets fokus varit att undersöka hur ökad buffertkapacitet, ändrade monteringsrutiner, reducerade ställtider samt att sätta en minsta tillåtna partistorlek påverkar produktionslinans output.

För att få en bra förståelse över produktionslinans flöden och problem genomfördes tidigt under studien flertalet intervjuer med anställda på produktionslinan samt tillhörande chefer. Parallellt med att förstå produktionslinan genomfördes en litteraturstudie som omfattade den teori som krävdes för att identifiera störningar inom produktionslinan, hantera och analysera insamlade data samt för att kunna identifiera möjliga lösningar för produktionslinan. Litteraturstudien beskriver teori inom områdena produktionsplanering, olika sätt att mäta produktion på, standardiserat arbetssätt samt hållbar utveckling inom industrier. Efter att ha förstått problemsituationen och grunderna i tillhörande litteratur utfördes en datainsamling. Insamling av data gjordes och ytterligare semistrukturerade intervjuer genomfördes med anställda på produktionslinan, dessutom användes dataregister som kompletterades med tidtagning. Utifrån insamlade data och teori från litteraturstudien togs en simuleringsmodell fram som användes som analysverktyg.

Faktorer togs fram utifrån teoristudier samt intervjuer och med hjälp av simuleringsmodell analyserades sedan samspelseffekter mellan dessa. Efter avstämning med SKF gjordes därefter en fördjupning av utvalda faktorer. Resultaten visar att en utökad buffertkapacitet med 150 stycken platser kan ge en outputökning inom intervallet 2,6 till 6,6 procent. Detta resultat har avvägts mot att öka buffertkapaciteten till 75 stycken platser eftersom det kräver avsevärt mindre plats på produktionslinan och det medför ändå en ökning av outputen inom intervallet 2,0 till 5,5 procent. Studien har även undersökt ställtidsreduktion stegvis mellan 10 till 60 procent. En reducering med 10 procent ger en outputökning inom intervallet 2,6 till 3,2 procent och när reduceringen ökar till 60 procent uppnås en outputökning inom intervallet 16,5 till 21,6 procent. Mellan 10 och 60 procents ställtidsreduktion uppvisas ett linjärt samband mellan ställtidsreduktion och outputökning. Resultaten av att stegvis öka minsta tillåtna partistorlek från 100 till 1000 stycken gav vid en partistorlek på 100 stycken effekt mellan 1,1 och 1,8 procent och när partistorleken ökades till 1000 stycken blev effekten mellan 19,6 och 26,2 procent. Studiens resultat har lämnats över till SKF för vidare arbete och tros ha goda möjligheter att öka outputen för den studerade produktionslinan.

## Abstract

A production line at SKF AB experiences disturbances in the production, lowering its productivity rate. The disturbances create variations in both output and utilization rate, which are caused by frequent and time consuming setup times and unplanned production stoppages.

The purpose of the study is to give recommendations about how to increase the efficiency of the production line, that is how to increase its output per time unit by minimizing the effect of the disturbances. To fulfil the purpose of the study the project has chosen to study how increased buffer capacity, change in routines of assembly, reduced setup time and setting a lowest allowed batch size affects the output of the production line.

To get a good understanding of the flow and the problems of the production line several interviews were held at an early stage, with the employees of the production line and its managers. Parallel with creating an understanding for the production line a literature study was done. The study aimed to cover theory necessary to identify disturbances in the production line, managing and analysing gathered data and how to find possible solutions. This theoretical framework describes theory within the subject of production planning, different methods for measuring production, standardised work routines and sustainable development within industries. After understanding the problem situation and the basis of the literature a data collection was executed. Collection of data was done from additional semi-structured interviews with employees at the production line, data from registers and a manual measurement of operation times. Based on collected data, the analysis of it and theory a simulation model was created which was used as a tool for analysis.

Factors were analysed based on theoretical studies and interviews, by using the simulation model interaction effects were analysed. After a meeting with SKF an extended study was done with a more thorough look at some factors, specified together with SKF. The results from the study of increasing the buffer capacity to 150 spaces was an output increase within the interval of 2.6 to 6.6 percent which. This result has been compared to increasing the buffer capacity to 75 spaces since this requires much less space, but still increases the output by between 2.0 to 5.5 percent. The study also looked at the results from a reduction in setup time in steps between 10 to 60 percent. A reduction of 10 percent in setup time gives an increase in output in the interval of 2.6 to 3.2 percent and a reduction of 60 percent leads to an increase in output in the interval of 16.5 to 21.6 percent. Between 10 and 60 percent of setup time reduction the output increases linearly. The results of incrementally increasing the minimum allowed batch size from 100 to 1000 products resulted at a batch size of 100 products in an effect between 1.1 and 1.8 percent and when the batch size increased to 1000, the effect was between 19.6 and 26.2 percent. The result of the study has been presented for SKF for future work and is believed to have good opportunities to increase the output for the studied production line.

# Terminologi

*Orden i listan nedan kursiveras vid första förekomst i rapporten.*

**Buffertkapacitet:** Utrymme i buffert som gör att produkter tillfälligt kan lagras.

**Cykeltid:** Den tid det tar för en process att bearbeta en komponent.

**Driftchef:** Ledare för ett skiftlag inom produktion.

**Driftsuppföljning:** Avstämning som sker efter varje arbetsskift.

**Effekt (kapitel 6):** Ett mått på hur stor förändring som fås vid ett faktorförsök.

**En-faktor-i-taget-försök:** En simuleringskörning där endast en faktor analyseras.

**Faktor:** En förändring som testas i en simuleringsmodell.

**Faktorförsök:** Förbättringsförslag testas och jämförs med varandra.

**FIFO:** Förkortning för uttrycket First In-First Out och betecknar ordning av produkter i lina och buffert.

**Flaskhals:** Den process som begränsar produktionstakten.

**Kritiska gränser:** Ett begrepp för att bestämma vilka värden som ligger inom intervallet för slumpmässig effekt.

**Nedströms:** De processer som ligger senare i produktionslinan än processen som studeras och alltså bearbetar produkten senare.

**Operatör:** Arbetar på produktionslinan och utför de arbetsuppgifter som hör till produktionen. Tillsammans utgör ett antal operatörer ett skiftlag.

**Parti:** Mängd av en viss produkt som tillverkas i en serie.

**PIA:** Förkortning för uttrycket Produkter-i-Arbete.

**Produkt:** Ett enskilt objekt som genomgår processer.

**Produktgrupp:** Olika typer av objekt där produkterna kan skiljas åt med avseende på dimensioner och funktioner.

**Produktionslina:** Produktionslayout där produkterna går in i direkt efterföljande processer.

**Produktionstekniker:** Ansvarar för driftsuppföljning och effektivisering av produktionsprocesser.

**Produktvariant:** Objekt med små skillnader, exempelvis tolerans, inom en produktgrupp.

**Sampelseffekt:** Mått på hur faktorer påverkar varandra.

**System:** Definierat område med vissa specifika förutsättningar och företeelser.

**Uppströms:** De processer som ligger tidigare i produktionslinan än processen som studeras och alltså bearbetar produkten tidigare, vilket medför konsekvenser för senare produktionsled.

**Uppvärmningstid:** Tiden som simuleringsmodellen körs innan data börjar samlas in från den.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Bakgrund över problembilden</i>	1
1.2	<i>Studiens syfte och frågeställningar</i>	2
1.3	<i>Avgränsningar</i>	2
1.4	<i>Disposition</i>	3
<b>2</b>	<b>Teoretiskt ramverk</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Produktionsplanering</i>	4
2.1.1	Struktur för produktionsplanering	4
2.1.2	Theory of Constraints	5
2.2	<i>Olika sätt att mäta produktion</i>	7
2.2.1	Kapacitetsnivåer	7
2.2.2	Overall Equipment Effectiveness	8
2.2.3	Little's lag	9
2.3	<i>Standardiserat arbetsätt</i>	9
2.4	<i>Orsaker till låg effektivitet</i>	10
2.4.1	Blockering och svält	10
2.4.2	Maskinhaveri och maskinavbrott	11
2.4.3	Maskinställ	11
2.4.4	Variationens inverkan	12
2.5	<i>Hållbar utveckling</i>	13
2.6	<i>Tillämpning av teori</i>	14
2.6.1	Hantering av teori för att besvara frågeställning angående buffertkapacitet	14
2.6.2	Hantering av teori för att besvara frågeställning angående monteringsrutiner, ställtidsarbete samt partistorlek	16
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>17</b>
3.1	<i>Datainsamling</i>	17
3.1.1	Intervjuer	18
3.1.2	Insamling av produktionsdata	19
3.2	<i>Litteraturstudie</i>	21
3.3	<i>Analys</i>	21
<b>4</b>	<b>Produktionsförutsättningar</b>	<b>23</b>
4.1	<i>Företagsbeskrivning</i>	23
4.2	<i>Produktbeskrivning</i>	23
4.3	<i>Beskrivning av produktionsflöde</i>	24
4.3.1	Inner- och ytterringarnas parallella linor	24
4.3.2	Ihopläggning, tvättning, mätning och montering	26
4.3.3	Slutdelen	26
4.3.4	Ställ	27
4.4	<i>Rutiner inom skiftlag</i>	27
<b>5</b>	<b>Analys av produktionslinan utifrån intervjuer och teori</b>	<b>29</b>
5.1	<i>Analys av placering och funktion för utökad buffertkapacitet</i>	29
5.2	<i>Analys av monteringsrutiner</i>	30
5.3	<i>Analys av hur ställtidsarbete påverkas av rutiner och kompetens</i>	31
5.4	<i>Analys av minsta tillåtna partistorlek</i>	32
5.5	<i>Sammanfattning av intervjuanalys inför simuleringsstudie</i>	33

<b>6</b>	<b>Simuleringsstudie och analys av förändringsförslag</b>	<b>35</b>
6.1	<i>Framtagning av simuleringsmodell</i>	35
6.1.1	Definition av systemet och konceptuell modell	36
6.1.2	Skapande av simuleringsmodell	36
6.1.3	Programmässiga detaljer	39
6.2	<i>Datainsamling och hantering</i>	41
6.2.1	Sortering och hantering av insamlade data	42
6.2.2	Analys av inhämtade data	42
6.2.3	Generering av fördelningsfunktioner	44
6.3	<i>Kvalitetssäkring av simuleringsmodell</i>	45
6.3.1	Validering och verifiering av simuleringsmodell och data	45
6.3.2	Förenklingar av modell	46
6.3.3	Hantering av slumpmässiga fel	47
6.4	<i>Användning av simuleringsmodellen</i>	48
6.4.1	Faktor försök	48
6.4.2	Beskrivning av faktorer för faktor försök 1–3	49
6.4.3	Analys och resultat av faktor försök 1–3	50
6.4.4	Fördjupad analys av ställtidsreduktion, partistorlek, buffertkapacitet	55
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>59</b>
7.1	<i>Diskussion av vald metod och gjorda avgränsningar</i>	59
7.2	<i>Diskussion av utökad buffertkapacitet</i>	61
7.3	<i>Diskussion av förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete och minsta tillåtna partistorlek</i>	62
<b>8</b>	<b>Slutsats</b>	<b>64</b>
8.1	<i>Svar på frågeställningarna</i>	64
8.2	<i>Rekommendation</i>	65
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>66</b>
	<b>Appendix A - intervjumallar</b>	<b>69</b>
	<i>A.1 Intervju med uppdragsgivare: 2017-01-23</i>	69
	<i>A.2 Intervju med två operatörer: 2017-01-23</i>	69
	<i>A.3 Intervju med en produktionstekniker: 2017-02-27</i>	69
	<i>A.4 Intervjumall för samordnare i skiftlagen: 2017-03-02 samt 2017-03-21</i>	70

# 1 Inledning

Studien grundar sig i en förfrågan från SKF AB, härnäst benämnt SKF, om att ta fram förslag på hur effekter av produktionsstörningar kan reduceras för att öka outputen för en av företagets produktionslinor i Göteborg.

## 1.1 Bakgrund över problembilden

Verkstadsindustrin, som är en typ av tillverkningsindustri, har sedan början av 1900-talet utgjort en stor del av den svenska industrin och ett antal svenska företag har dominerat bland de världsledande företagen (Landguiden, 2016). Av de större industriföretagen använder sig en stor del av produktionsstrukturen löpande band, som innebär att de olika processerna är sammanlänkade och har en bestämd följd. För att minimera beroendet mellan de olika processerna kan olika typer av buffert införas mellan processerna för att på så sätt reducera effekterna av eventuella produktionsstörningar (Matta, 2005).

Enligt Vonderembse et al. (2010) har det skett stora förändringar på industrimarknaden under de senaste årtiondena, i dagens samhälle måste industriföretag kunna hantera globaliserad konkurrens, snabbväxande marknader samt allt kortare produktlivscykler för att anses konkurrenskraftiga. Det här är en utmaning för många företag, framförallt för företag som funnits på marknaden en längre tid då det kräver stora omställningar för att tillfredsställa kundens behov.

Det är viktigt för företag att kontinuerligt arbeta med att hålla hög konkurrenskraft. Ett sätt för att åstadkomma detta är att förbättra produktiveten, det vill säga förhållandet mellan det som kommer ut från produktionen (eng. *output*) och det som tillförs produktionen (eng. *input*). En äldre *produktionslina* på SKF upplever problem med störningar i produktionen. Dessa störningar resulterar i variationer i output och i utnyttjandegrad av produktionslinan. Orsakerna till dessa störningar beror på flertalet problem som exempelvis långa och frekventa maskinställ samt oplanerade stopp som till exempel maskinavbrott och materialbrister. Bekymren beror särskilt på *flaskhalsen* i produktionslinan, vilken begränsar *systemets* produktion och är extra utsatt vid störningar *nedströms* i produktionsflödet.

Flaskhalsens känslighet för störningar beror främst på att det i dagsläget inte finns tillräcklig *buffertkapacitet* efter flaskhalsen vilket resulterar i att produktionsflödet genom flaskhalsen stoppas vid störningar nedströms i flödet. Variationer i output och utnyttjandegrad beror även på att produktionslinan har frekventa och tidskrävande maskinställ som resultat av att det är många *produktvarianter* som körs i relativt små *partier*. Produktionslinan är uppdelad i tre på varandra följande delar, där den mittersta delen utgörs av manuell montering och de två övriga utgörs av ett automatiserat bearbetningsflöde. Montering kräver ett flertal *operatörer* som utför arbetet och om inte ett standardiserat arbetssätt används kan variationer i produktivitet och utnyttjandegrad uppstå, men likväl kvalitetsbrister i arbetet (Rubenowitz, 2004). Samma sak gäller för hela produktionslinan, där variationer påverkar produktivitet och

utnyttjandegrad om de bestämda rutinerna ej följs, vad gäller exempelvis maskinställ och montering.

På grund av ovanstående beskrivna situation har ansvarig *driftchef* för produktionslinan på SKF efterfrågat en lösning på hur effekten av deras produktionsstörningar kan reduceras.

## 1.2 Studiens syfte och frågeställningar

Studien avser att ge förslag på hur effektiviteten kan ökas för en produktionslina på SKF, det vill säga öka output per tidsenhet genom att minimera effekten av produktionsstörningar.

För att uppfylla studiens syfte kommer dessa frågeställningar att besvaras:

- *Hur kan ökning av buffertkapacitet reducera effekten av produktionsstörningar och öka produktionslinans output per tidsenhet?*
- *Hur kan förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete och minsta tillåtna partistorlek öka produktionslinans output per tidsenhet?*

## 1.3 Avgränsningar

Endast en produktionslina kommer att studeras och avgränsningen orsakas av att linan är unik och de förbättringsförslag som ges kommer vara situationsanpassade. Kostnader för att implementera eventuella förbättringsförslag är inte i fokus efter överenskommelse med SKF. Det kommer därför inte genomföras någon djupare kostnadsanalys, men förslagen ska vara rimliga ur ett kostnadsperspektiv.

Vidare gäller för projektet att det till stor del bortser från materialförsörjning av produktionslinan då det för studien inte fanns möjlighet att påverka eller förändra faktorer utanför linan. Endast effekterna av materialbrister har undersökts och därmed inte dess orsak. Tidsramen för studien har ytterligare satt avgränsningar, vilket ger till följd att omfattningen av den datainsamling som gjordes påverkats.

Vad gäller produktionsplanering har projektgruppen inte fått resurser avsatta från Supply-Chain-avdelningen på SKF, vilka är de som planerar produktionen. Projektgruppen kan därför inte påverka planeringsarbetet under studien, utan kan endast undersöka de effekter som produktionsplaneringen medför. Exempel på sådana effekter är frekventa omställningar av maskiner.

Slutligen har även en avgränsning gjorts med avseende på hur studien förhåller sig till produktionslinans kvalitet. Projektgruppen avser inte att kolla på kvalitet vad gäller *produkter*, underhåll eller maskiner. Motiven för avgränsningen utgår från att ett sådant arbete är av omfattande grad och kräver ingående arbete i stora delar av verksamheten (Ahuja & Khamba, 2008), vilket inte ryms inom projektets ramar.

## 1.4 Disposition

Direkt efter detta inledande kapitel följer det teoretiska ramverket där aktuell litteratur för studien beskrivs samt redogör för vilken teori som har använts som verktyg för studien. Efter det teoretiska ramverket följer ett kapitel om metod, där redovisas hur arbetet har utförts samt vilka metoder som har använts för att uppnå studiens syfte. Olika typer av datainsamlingar gjordes i form av intervjuer, registerdata och tidtagning för att ytterligare fördjupa förståelsen, dessa granskas närmre i detta kapitel. Därefter följer en beskrivning av de produktionsförutsättningar som projektet utgår från. Kapitlet inleds med en företagsbeskrivning samt en produktbeskrivning av de produkter som företaget producerar, följt av en flödesbeskrivning av den studerade produktionslinan. Rapportens fortsättning berör den data som samlades in genom intervjuer samt hur denna förhåller sig till teorin. Efterkommande kapitel tar upp hur den verkliga produktionslinan har omvandlats till en simuleringsmodell, samt hur modellen har använts. Resultaten från intervjuer och simulering jämförs och diskuteras därefter med fokus på följderna för SKF. I rapportens sista kapitel redovisas projektets slutsatser och studiens frågeställningar besvaras.

## 2 Teoretiskt ramverk

Följande kapitel har för avsikt att ge en teoretisk förståelse för de problem som analyseras i studien. Teoriavsnittet ligger därför till grund inför kommande analysavsnitt (se kapitel 5 och 6) samt de förslag som läggs fram som förbättringsåtgärder. Kapitlet består av avsnitt som behandlar olika produktionsplaneringsmetoder, metoder för mätning av produktion, standardiserat arbetssätt, olika orsaker till låg effektivitet samt en beskrivning av hållbar utveckling. Slutligen ges en sammanfattning på hur teorin tillämpas i studien.

### 2.1 Produktionsplanering

Produktionsplanering är de administrativa arbetsuppgifter som säkrar resurser för att produktion ska kunna ske (Law, 2016). Planeringen berör resurser som till exempel material och arbetskraft. Syftet med planeringen är att förädla resurser under ett högt resursutnyttjande och planen anger vad, när och i vilka kvantiteter som företagets produkter ska tillverkas för att sedan kunna levereras på utsatt tid (Jonsson & Mattsson, 2016).

#### 2.1.1 Struktur för produktionsplanering

Stora tillverkande företag skiljer ofta på de olika typer av planering som sker, Jonsson och Mattsson (2016) har valt att dela in dessa olika typer i fyra kategorier. Författarna beskriver fyra olika nivåer där planeringen skiljer sig åt beroende på vilket objekt som planen berör samt hur detaljerad planen behöver vara. De fyra nivåerna som författarna beskriver är sälj- och verksamhetsplanering, huvudplanering, orderplanering och detaljplanering.

Jonsson och Mattsson (2016) skriver att den högsta planeringsnivån i hierarkin, sälj- och verksamhetsutveckling, har en planeringshorisont på ungefär 1–2 år och att planeringen berör *produktgrupper*. Sälj- och verksamhetsplanen utgår från kundens prognostiserade efterfrågan. För att möjliggöra produktion och bemöta kundens efterfrågan bryts sedan sälj- och verksamhetsplanen ner till huvudplanering (Jonsson & Mattsson, 2016). Inom ramarna för huvudplanering ligger planläggning av vilka produkter som ska ingå i de tidigare bestämda produktgrupperna och tidshorisonten är ½-1 år. Vidare sägs att även huvudplaneringen bryts ner till en mer detaljerad plan vilket då resulterar i en orderplanering. Orderplaneringen är en plan för de artiklar som ingår i produkterna och planeringshorisonten är ungefär 1–6 månader lång. Den lägsta planeringsnivån med högst detaljeringsgrad kallas detaljplanering. Denna nivå har ett tidsperspektiv på 1–4 veckor och planeringen rör de processer och operationer som tillverkar artiklarna.

Den sistnämnda nivån, detaljplaneringen, är på grund av sin höga detaljeringsgrad en nivå som planeras om dagligen. Detaljplaneringen tar hänsyn till den tillgängliga kapaciteten och omfattar fördelning av order och resurser i fabriken (Jonsson & Mattsson, 2016). På grund av att detaljplaneringen inte bryts ner i en mer detaljerad plan är det här en nivå som i folkmun ofta kallas produktionsplanering. För att förstå hela

produktionsplaneringen krävs dock en förståelse för samtliga planeringsnivåer då dessa beror av varandra.

### 2.1.2 Theory of Constraints

Enligt Goldrat et al. (2004) bör definitionen av ett produktionssystemets prestation baseras på systemets output per tidsenhet. *Theory of Constraints* (ToC) är ett tillvägagångssätt för produktionsplanering som fokuserar på att optimera systemet efter dess flaskhals istället för utnyttjandet av resurser (Law, 2016). Law (2016) beskriver ett systems flaskhals som den arbetsprocess med längst *cykeltid* då det är den processen som bestämmer produktionens takt.

Grundtanken bakom teorin är att öka företagets vinst genom att öka outputen för en process eller operation (Slack, et al., 2013). Slack et al. (2013) beskriver produktionens prestation utifrån den svagaste länken, det vill säga flaskhalsen, och menar att ToC innebär att ett högt resursutnyttjande för varje enskild maskin inte ska vara i fokus eftersom systemets output ändå begränsas av flaskhalsens kapacitet. Flaskhalsen kan vara en fysisk begränsning i systemet, exempelvis en maskin, men det kan också vara de mer administrativa delarna av arbetet som exempelvis beslutsfattande. Metoden består av fem steg som kontinuerligt ska upprepas för att den begränsande processen ska kunna optimeras. Stegen i metoden är enligt Slack, et al (2013):

1. Identifiera produktionssystemets begränsning (flaskhals)
2. Ta reda på hur resursen kan användas optimalt och fatta därefter beslut om hur det ska genomföras
3. Underordna alla andra resurser efter flaskhalsen
4. Förbättra flaskhalsen tills att den inte längre är systemets begränsning
5. Återgå till punkt ett

Det femte steget, att återgå till punkt ett, beror på att förekomsten av en flaskhals aldrig kan elimineras utan endast flyttas inom systemet (Slack, et al., 2013). När en operation eller process inte längre är systemets flaskhals blir den nya svagaste länken en flaskhals. Det är därför viktigt med kontinuerligt förbättringsarbete.

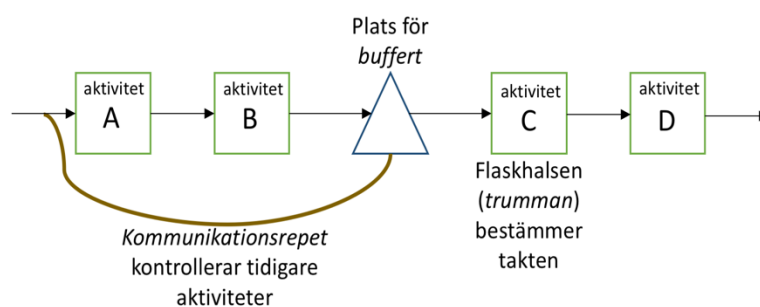
För att uppnå det jämna och synkroniserade flöde som ToC eftersträvar krävs att flaskhalsen aldrig tillåts arbeta på en lägre nivå än sin fulla kapacitet. Det är därför viktigt att flaskhalsen alltid prioriteras och att exempelvis buffertlager tillåts för att produktionsflödet genom flaskhalsen ska kunna maximeras (Slack, et al., 2013).

Ett buffertlager, även kallat buffert, beskrivs som en plats där råmaterial, *produkter-i-arbete* (PIA) eller färdiga produkter förvaras mellan två processer (Law, 2016). En nackdel med buffertområden är att fler produkter binds upp i den pågående produktionen (Law, 2016). Detta leder exempelvis till högre kapitalbindning, längre genomloppstid och att defekta komponenter upptäcks senare på grund av tidsförskjutningen (Liker, 2013). En längre genomloppstid innebär även att företag som tillverkar mot kundorder får en längre ledtid ut mot kund. Stora fördelar finns däremot om buffertsystemet utformas

optimalt vad gäller placering och storlek eftersom frikopplingen av processerna kan leda till högre output och lönsamhet (Nahas, et al., 2014).

## Drum-Buffer-Rope

För tillämpning av ToC används termen *Drum-Buffer-Rope* (DBR), där dragmetod (eng. *pull*) används för materialanrop och tillverkning (Darlington, et al., 2014). Metoden baseras på systemets status, vilket innebär att en process producerar eller anropar material på begäran från en nedströms process. Syftet med dragmetoden är att matcha produktionsflödet med efterfrågan. DBR är enligt Darlington et al. (2014) en av de mest använda metoderna för att tillämpa ett dragsystem (se Figur 2:1).



Figur 2:1 Illustration av drum-buffer-rope med inspiration från Slack et al. (2013)

Trumman är den process i systemet som bestämmer takten för hela produktionen, det vill säga trumman är systemets flaskhals. Darlington et al. (2014) skriver att trumman ska vara den enda schemaläggningspunkten eftersom den avgör intäktströmmarna. Den andra delen, bufferten, är produkter placerade i mellanlager före trumman. Bufferten säkerställer att trummans produktion kan fortsätta i en förutbestämd tid trots att en process *uppströms* stannar eller havererar. Storleken på bufferten beror därför av hur stor risken för stopp är för de processer som ligger uppströms trumman i produktionslinan. Istället för att bestämma buffertens storlek utifrån antal komponenter bestäms den utifrån täcktid, vilket innebär att bufferten täcker för en beräknad tid. Repet, som är den sista komponenten, kopplar samman produktionssystemets inflöde med trumman. Detta innebär att det är repet som reglerar inflödet och avgör om en ny arbetstimme kan påbörjas i systemet utan att bufferten blir för stor (Darlington, et al., 2014).

En tillämpning av DBR innebär exempelvis att PIA kan minska, vilket är önskvärt då ett högt PIA leder till högre kapitalbindningskostnader och dessutom kräver större arbetsytor. Darlington et al. (2014) menar dock att de största fördelarna är minskning av genomloppstiden samt en ökning av lageromsättningshastigheten. Fördelarna som metoden för med sig är därmed viktiga för företag som har svårt att leverera i tid.

## 2.2 Olika sätt att mäta produktion

Mätning av produktion är ett svårhanterat område där definitionerna för olika jämförelsebegrepp är många (Jonsson & Lesshammar, 1999). Ofta används ord som till exempel effektivitet, produktivitet och output, men utan relevant definition saknas relevans för det studerade objektet och sammanhanget.

Det första begreppet som presenteras under det här avsnittet är kapacitetsnivåer, vilket är ett mått på kapacitetsutnyttjande. Därefter följer en beskrivning av *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) som också är ett mått baserat på kapacitet, men som även tar hänsyn till tid, hastighet och kvalitet. Avsnittet avslutas sedan med en kort beskrivning av Little's lag.

### 2.2.1 Kapacitetsnivåer

Det finns många mått på kapacitet, två vanliga mått för ett tillverkande företag är maskintimmar eller mantimmar. Kapaciteten för exempelvis en maskingrupp kan delas upp i olika nivåer för att tydligare åskådliggöra tillgänglig kapacitet (Jonsson & Mattsson, 2016). Maximal kapacitet innebär att produktion sker dygnet runt, hela året för en maskingrupp eller produktionsenhet. Oftast sker inte produktion dygnet runt utan mycket tid försvinner av olika anledningar och maximal kapacitet ger således inte någon information om vad kapaciteten faktiskt är. Genom att subtrahera bort tid som inte är planerad att användas eller inte kommer kunna användas erhålls den faktiska kapaciteten, nettokapaciteten, för maskingruppen eller enheten enligt Jonsson & Mattsson (2016). Nedan (Figur 2:2) visas hur nedbrytning från nominell kapacitet till nettokapacitet går till.

<b>Maximal kapacitet</b>			
<b>Nominell kapacitet</b>			<b>Kapacitet ej planerad att utnyttja</b>  • Flexibilitet • Skiftgång
<b>Bruttokapacitet</b>		<b>Kapacitetsbortfall</b>  • Maskinhaverier • Sjukfrånvaro • Underhåll	
<b>Nettokapacitet</b>	<b>Ej planerbar verksamhet</b> • Omarbete • Akutorder		

Figur 2:2 Beskrivning av de olika delarna av maximal kapacitet med inspiration från Jonsson & Mattsson (2016)

Den produktionslina som studeras på SKF använder liknande kapacitetsnivåer för att beräkna sin effektivitet. Nettokapaciteten, tiden som linan faktiskt producerar, vilket även kallas värdeadderande tid, dividerat med nominell kapacitet för linan är effektivitetsmättet som används.

## 2.2.2 Overall Equipment Effectiveness

OEE är en välanvänd metod som bedömer effektivitet hos operationers utrustning (Slack, et al., 2013). Enligt Slack et al. (2013) mäts effektiviteten bäst utifrån de tre beståndsdelarna tid, hastighet och kvalitet. Tiden (A) är den tid som utrustningen är tillgänglig för värdeadderande tid. Hastigheten (P), eller genomloppshastigheten, är den hastighet som utrustningen producerar produkter. Kvaliteten (Q) är de produkter som inte är defekta i förhållande till det totala antalet producerade produkter. Därmed kan OEE beräknas för dessa tre begrepp utifrån följande formler (Ahuja & Khamba, 2008):

$$OEE = Availability (A) * Performance effectiveness (P) * Rate of quality (Q)$$

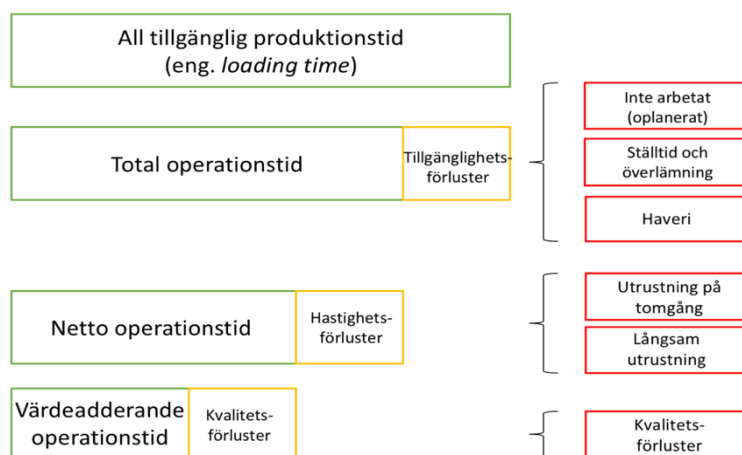
$$A = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time}$$

$$P = \frac{Processed\ amount}{Operating\ time / Theoretical\ cycle\ time}$$

$$Q = \frac{Processed\ amount - Defect\ amount}{Processed\ amount}$$

Ahuja och Khamba (2008) hävdar att användandet av OEE för benchmarking, där en jämförelse med konkurrenter och bäst-i-klassen avdelningar sker, ger förutsättningar för att realisera noll haverier, defekter, maskinstopp, olyckor och utsläpp (Smith & Hawkins, 2004). Att enbart klassificera OEE som teori för mätning ger därför en förminskning av verktygets styrka. Det handlar inte om att fokusera på det slutgiltiga procenttalet för OEE utan de bakomliggande faktorerna och att kunna förbättra dessa.

För att ytterligare förstå OEE och de påverkande faktorerna visar Figur 2:3 processen och de berörda områdena. Figuren tydliggör hur de kapacitetsbegrepp som presenterades i avsnitt 2.2.1 kan uttryckas i termer av tid samt hur tiden minskar genom sex förluster.



Figur 2:3 Fördelning av sex förlusterna över måtten tillgänglig tid (A), hastighet (P) och kvalitet (Q). Illustration med inspiration från Slack et al. (2013)

### 2.2.3 Little's lag

Little's lag beskriver sambandet mellan genomloppstid, cykeltid och PIA (Slack, et al., 2013). Genomloppstid för ett system är enligt Slack et al. (2013) den totala tid det tar för input att gå igenom systemet till dess att det blir output. Cykeltid är tiden för hur ofta en produkt lämnar systemet och PIA är alla produkter som befinner sig någonstans i produktionsprocessen. Sambandet mellan de tre faktorerna framgår i följande ekvation:

$$\text{Genomloppstid} = \text{Cykeltid} * \text{PIA}$$

Ekvationen är användbar för att undersöka en produktionsprocess, där en sista faktor kan beräknas om övriga två är kända. Sambandet visar på att ett system med lång genomloppstid leder till högt PIA, vilket innebär att mycket kapital binds upp. Lång genomloppstid kan ha stor inverkan på ett system (Johnson, 2003). Prognoser över vad som ska produceras måste ske tidigt, vilket ökar risken för att prognosen inte är korrekt. Produktionen blir även mindre flexibel och kan ha svårt att snabbt möta förändringar i kundorder. Vidare kan även kvalitet och kostnad påverkas negativt av långa genomloppstider enligt Johnson (2003).

## 2.3 Standardiserat arbetssätt

Ett standardiserat arbete kan beskrivas som den för närvarande bäst kända metoden att utföra ett arbete på. Almström et al. (2012) menar att det i svenska tillverkande företag finns stor potential för produktivitetförbättringar och att dessa kan tas tillvara på genom standardiserat arbetssätt. Författarna menar att det genom standardisering går att öka produktiviteten, det vill säga öka produktionens output per tidsenhet med samma mängd input.

Standardiserat arbetssätt förknippas ofta med lean produktion och innebär att anställda med samma arbetsuppgifter anammar det för närvarande bästa arbetssättet (Martin & Bell, 2011). Martin och Bell (2011) hävdar att de arbetssätt som standardiseras inom produktion ofta är av upprepande karaktär. Emiliani (2008) beskriver att fördelarna med standardiserat arbete är många om de framtagna standarderna följs korrekt. Exempel på nyttor som uppkommer är förbättrad kvalitet, stabilitet (det vill säga förutsägbara produktionsutfall), insyn i avvikelser, processkontroll och uppmuntran till kontinuerlig förbättring. För att ett standardiserat arbetssätt ska anses hålla hög klass är det viktigt att hålla det uppdaterat, det vill säga att det ständigt sker förbättringar (Martin & Bell, 2011). Emiliani (2008) skriver vidare att det är många, framför allt anställda, som missförstår vad metoden egentligen innebär och syftar till. De ser det som ett tvingande och oföränderligt sätt att arbeta på snarare än en uppmuntran till kreativitet (Emiliani, 2008).

För att sedan mäta produktiviteten i arbetet menar Almström et al. (2012) att produktivitet kan brytas ner i delarna *Metod, Prestation och Utnyttjandegrad* (MPU). Metod beskriver hur arbetet genomförs och hur nära den ideala cykeltiden som produktionen befinner sig (Almström, et al., 2012). Prestation utgår från Method-Time-Measurement, vilket är en metod som uppskattar tidsåtgången för manuellt arbete baserat på standardtider

(Almström, 2015). Prestationsdelen kan därför övergå 100%. Den sista delen, utnyttjandegrad är den del av den planerade tiden som produktion utför det som är planerat.

## **2.4 Orsaker till låg effektivitet**

Låg effektivitet för ett automatiserat produktionsflöde kan härledas till exempelvis blockering, svält, maskinavbrott, maskinhaveri, maskinställ eller variation i produktionen. Glock (2013) skriver att tillförlitlighet på ett produktionsflöde är av stor vikt för att kunna möta kundens krav vad gäller tid, kvalitet och kostnad. I en tillverkande produktion där fel uppstår frekvent minskar tillförlitligheten och på sikt kan det leda till längre leveranstider, försämrad kvalitet och högre tillverkningskostnader (Glock, 2013). För att skapa en djupare förståelse kring de nämnda stopporsakerna beskrivs dessa nedan tillsammans med lösningar.

### **2.4.1 Blockering och svält**

Det finns främst två situationer för ett automatiserat produktionsflöde som orsakar stopp: blockering (eng. *blockage*) och svält (eng. *starvation*) (Wu & Zhou, 2002). Blockering innebär att en maskin inte kan mata ut färdigbearbetade komponenter på grund av att efterliggande maskin har en längre cykeltid alternativt att den står still eller att efterliggande buffertlager är fullt och saknar utrymme. Wu och Zhou (2002) beskriver vidare att följden av en blockering är att maskinerna placerade före den process som blockerar flödet inte kan bearbeta nya komponenter, vilket sänker produktiviteten. Produktivitet beskrivs här som den totala mängden färdiga produkter samt den nedlagda arbetstiden i förhållande till den totala mängden råmaterial och den tillgängliga arbetstiden, det vill säga output dividerat med input (Frankel & Kendrick, 2016). Den andra orsaken till stopp benämns svält vilket av Wu och Zhou (2002) beskrivs som en maskin som inte har försetts med nya komponenter. Maskinen i fråga har matat ut en färdigbearbetad komponent, men har inte tilldelats någon ny. Svält kan därför vara en följd av blockering uppströms i flödet eller materialbrist.

Den stora skillnaden på blockering och svält är att en blockering stoppar produktionen uppströms och en svält förhindrar produktion nedströms i flödet (Matta, et al., 2005). Som tidigare nämnt ökar uppkomsten av blockering risken för svält senare i produktionsflödet. Detta innebär att varje maskins tillstånd påverkar resterande delar av produktionsflödet eftersom blockering- och svältfenomen då kan orsaka flödesavbrott för hela systemet. Matta et al. (2005) menar att en buffert som placeras mellan två maskiner frikopplar dessa, vilket minskar risken för stopp. Genom frikoppling minskar beroendet mellan maskinerna vilket möjliggör olika cykeltider och/eller tillåter tillfälliga avbrott.

## 2.4.2 Maskinhaveri och maskinavbrott

Ett produktionsstopp orsakat av ett maskinfel kan enligt Sana och Chaudhuri (2010) klassificeras på två olika sätt. Det första benämns maskinhaveri och innebär att produktionen inte kan återupptas förrän inneliggande maskinkomponenter har reparerats. Den andra typen av maskinfel kallas maskinavbrott och innebär att produktionen kan återupptas direkt efter att en betydligt mindre reparation har skett. Det är därmed främst reparationstiden som skiljer de båda stoppen åt. Det tar alltså längre tid att reparera ett maskinhaveri än ett maskinavbrott, väntetiden på reparatör ej inräknad (Sana & Chaudhuri, 2010). Författarna menar att fel hos maskiner som orsakar avbrott eller haveri inte sker planerat och därför kan anses inträffa slumpmässigt. Orsak till varför fel hos maskiner uppstår beror på den specifika maskinen, men studier visar på att äldre maskiner tenderar att haverera oftare än nyare maskiner (Kiran, et al., 2013).

Maskinavbrott innebär en stor effektivitetsförlust för tillverkningen och genom att reducera den stillastående tiden kan OEE förbättras (Kiran, et al., 2013). För att minska tiden som produktionen står still kan maskinerna exempelvis genomgå underhåll (Sana & Chaudhuri, 2010), vilket enligt Ahuja och Khamba (2008) bör innebära återställande, förebyggande och förbättrande åtgärder. Kiran et al. (2013) skriver även att maskinfel kan förebyggas genom analys av data för hur många timmar som processerna står still samt när det händer och varför. Shingo (1984) menar att ett vanligt sätt att gardera sig mot maskinhaverier är att använda reserver av material i produktionen, det vill säga buffertar. Tillämpning av buffert är ett av de sju spill (eng. *waste*) inom lean produktion och därför menar Shingo (1984) att en visuell kontroll är bättre. Genom att visualisera när en maskin har stannat, exempelvis med hjälp av en ljustavla, blir det tydligt för operatörer och arbetsledare när problem uppstått. Shingo (1984) skriver vidare att den visuella kontrollen tydliggör betydelsen av att hålla maskinerna i gott skick.

## 2.4.3 Maskinställ

Traditionellt tillverkas produkter i olika partistorlekar där varje parti består av en variant. En produktionslina som producerar olika varianter av en produkt kan behöva byta verktyg i maskinerna mellan de olika partierna, det vill säga göra ett maskinställ (Low, et al., 2014). Den totala ställtiden är den tid det tar från att en variant lämnar maskinen tills dess att nästa variant kan börja bearbetas i samma maskin (Shingo, 1984). Shingo (1984) menar att den totala ställtiden består av förberedelse, huvudoperation och spilltid. Spilltiden kan bero på personlig tid, som till exempel rast, eller icke-personlig tid som exempelvis kan innebära att operatörerna behöver hämta material.

En produktionslina som producerar många olika varianter behöver i planeringen ta hänsyn till de frekventa maskinställena, vilket gör planen mer komplex (Filla, 2016). Långa ställtider har en direkt negativ inverkan på kapaciteten då det hindrar maskinen från att producera, vilket minskar den totala outputen per tidsenhet (Low, et al., 2014). Att reducera den totala tiden för maskinställ är därför önskvärt.

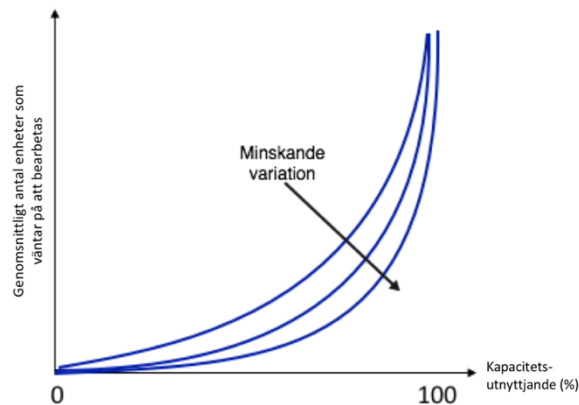
Filla (2016) kategoriserar maskiners ställ i två delar: inre och yttre ställ. Yttre ställ beskrivs kunna genomföras samtidigt som produktionslinan är i drift medans inre ställ kräver att linans produktion stannar upp. Shingo (1984) beskriver hur ställtiden kan reduceras genom att de yttre och inre ställen separeras och sedan omvandlas. Genom att identifiera vilka förberedelser som kan utföras parallellt med det pågående arbetet kan tiden för huvudoperationen, det vill säga det inre stället, kortas ner (Shingo, 1984).

Hill och Samaddar (2007) beskriver hur tidigare studier kring vad resultatet efter en ställtidsreducering är inte alltid stämmer överens. Författarna menar att det finns en generell uppfattning om att ställtidsreducering minskar PIA, men att den uppfattningen inte nödvändigtvis stämmer överens med verkligheten. Hill och Samaddar (2007) menar att en reduktion av ställtiden kan leda till antingen en förbättring eller försämring av PIA. Avgörande för resultatet är hur stora variationerna är mellan de olika produktställtiderna. En variationsminskning av ställtiden gynnar emellertid inte enbart den produkt vars ställtid som reduceras, utan är även till nytta för övriga produkter i flödet (Hill & Samaddar, 2007). Författarna menar därför att en ställtidsreducering ofta relateras till positiva effekter, men att variationerna mellan de olika ställtiderna behöver minska för att önskade resultat ska uppnås.

#### **2.4.4 Variationens inverkan**

Variation kan ha stor påverkan på producerande system och kan uppkomma på grund av ett stort antal faktorer menar Slack et al. (2013). En del av faktorerna har tidigare behandlats, exempelvis haverier (se avsnitt 2.4.2) och skillnader i monterings- och operationstider (se avsnitt 2.3). Variationer kan även uppkomma till följd av att ankomsttider av material och komponenter inte är konstanta exempelvis beroende på förseningar samt informationsflödena mellan aktörer i systemet.

I ett system med hög variation i ankomsttider kommer tiden för produkter som väntar på att processas växa mot oändlighet när studerat objekt (viss process eller helt system) närmar sig 100 procents kapacitetsutnyttjande. Om variationen minskas kan förhållandet mellan väntetid och kapacitetsutnyttjandet förbättras (se Figur 2:4) och den tänkta kurvan, som indikerar relation mellan kapacitetsutnyttjande och väntetid, flyttas diagonalt neråt höger längs pilens riktning. Med lägre variation kan systemet således ha ett högre kapacitetsutnyttjande med lägre medelväntetider. Lägre variation kan även leda till kortare ledtider, högre leveranssäkerhet, jämnare och bättre kvalitet samt högre produktivitet (Mapes, et al., 2000).



Figur 2:4 Relationen mellan kapacitetsutnyttjande och antalet väntande produkter med inspiration från Slack et al. (2013)

Det finns flera tillvägagångssätt att minska variationen på enligt Mapes et al. (2000). Bättre efterföljning av produktionsplaner och försöka att minska antalet oplanerade ändringar är en möjlighet. Exempelvis görs detta genom att dela produktionsplaner med leverantörer och kunder, med följderna att osäkerhet och spekulation mellan dessa minskar. Andra tillvägagångssätt är att minska variationen i processerna själva. Dels kan variation i processtid minskas men även variation i output. Variationer i processtider mellan olika aktiviteter kan hanteras med att buffertar placeras mellan processerna, men det förlänger genomloppstiden och hanterar inte variationer i genomloppstid menar Mapes et al. (2000). Vid förbättringar avseende dessa aspekter finns alltså stora vinster att göra med resultatet att systemet presterar mer stabilt.

## 2.5 Hållbar utveckling

Begreppet hållbar utveckling presenterades för första gången i Brundtlandrapporten (Brundtland, 1987) och innebär att den nuvarande resursförbrukningen inte ska riskera kommande generationers möjlighet att uppfylla sina behov. Tre olika perspektiv brukar kopplas till begreppet: ekonomisk, social samt ekologisk hållbarhet. Det görs ingen avvägning mellan dessa perspektiv utan alla tre behövs för att en hållbar utveckling ska kunna uppnås. Ekonomisk hållbarhet kan enligt Brundtlandrapporten tolkas som ekonomisk tillväxt medan bra livsförhållanden och biologisk mångfald kan vara en representativ tolkning av de två övriga perspektiven. För att kunna mäta de ekonomiska och sociala perspektiven på nationell nivå kan *Human Development Index* (HDI) användas, vilket precis som bruttonationalprodukten mäter ett lands välbefinnande. En stor skillnad är dock att HDI även tar hänsyn till livslängd, utbildningsnivå samt levnadsstandard (Stanton, 2007). För att mäta dessa perspektiv hos ett företag kan istället arbetsmiljön och ekonomisk tillväxt studeras.

Rubenowitz (2004) skriver bland annat om arbetsmiljön och hävdar då att både fysiska påfrestningar och den psykosociala arbetsmiljön påverkar den upplevda arbetsmiljön. Fysiska påfrestningar innebär exempelvis att ergonomiska problem upplevs. Ergonomi innebär att arbetsförhållandena utformas på ett sätt där risken för ohälsa och olycksfall minimeras (Arbetsmiljöverket, 2016). För att få en socialt hållbar arbetsmiljö är det viktigt att arbetsplatsen anpassas för alla arbetstagare, oavsett kön, längd eller förutsättningar. Rubenowitz (2004) nämner också att för att uppnå en socialt hållbar utveckling krävs det även att en människas utvecklingsförlopp kan fortskrida och att de anställda känner behovstillfredsställelse av arbetet. Behovstillfredsställelse kan enligt Rubenowitz (2004) uppnås genom exempelvis en känsla av påverkan på arbetsplatsen eller känslan att utvecklas som individ. Rubenowitz (2004) menar också att arbetsvidgning (eng. *job enlargement*) är viktigt på en arbetsplats för att undvika suboptimering av resurser. Arbetsvidgning beskrivs av författaren som decentraliserad kunskap, det vill säga en minskad grad av specialisering.

För att mäta den ekonomiskt hållbara utvecklingen kan tillväxten undersökas, men det är även viktigt att ta in ett bredare perspektiv på den ekonomiska utvecklingen. Frågor som om företaget ska satsa på nya affärsidéer eller flytta produktionen spelar in här. Det är också viktigt att balansera fokus på att driva in mer intäkter och att reducera på verksamhetens kostnader (Xue, et al., 2012). Tidigare i avsnitt 2.1.2 nämndes det att en buffert leder till ökad kapitalbindning. Jonsson och Mattsson (2016) beskriver att det är viktigt att mäta värdet på effekterna som en kapitalbindning leder till för att kunna utvärdera kapitalbindningens värde för företaget. Detta för att uppnå ekonomisk hållbar utveckling vid framtida beslut.

## **2.6 Tillämpning av teori**

I det här avsnittet presenteras en sammanställning av hur teorin tillämpas för att uppnå studiens syfte och svara på frågeställningarna. Avsnittet är indelat efter de två frågeställningarna och under respektive del presenteras de olika teoriavsnitten med en kort sammanfattning samt en beskrivning av respektive tillämpningsområde. Båda delarna sammanfattas och förtydligas i varsin figur.

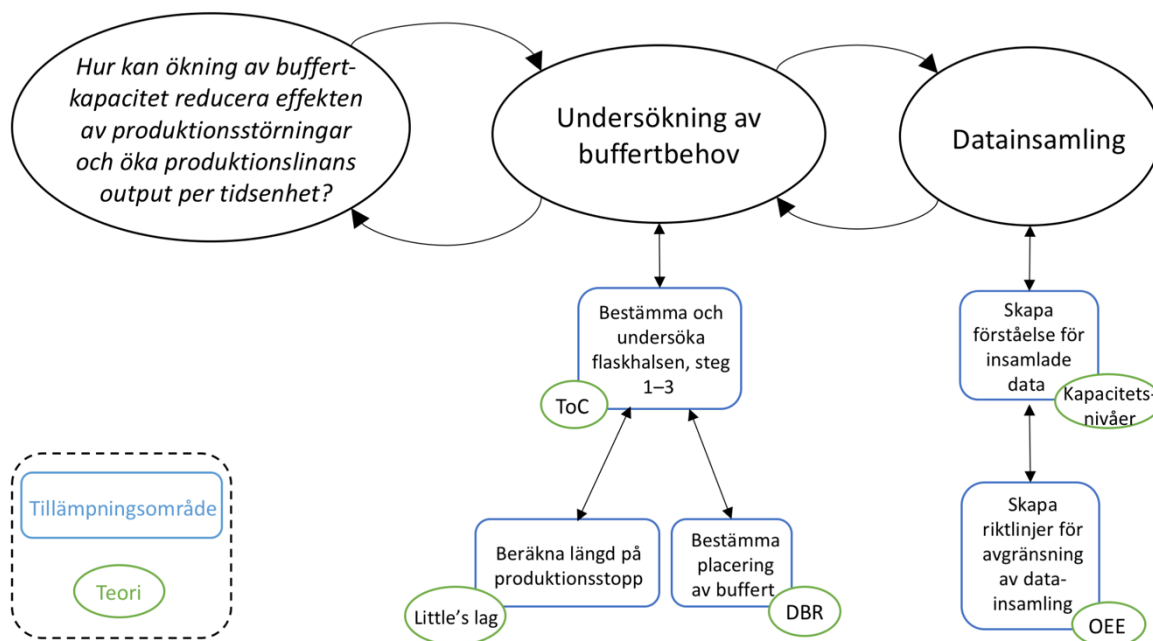
### **2.6.1 Hantering av teori för att besvara frågeställning angående buffertkapacitet**

För att kunna besvara frågeställningen som berör hur en utökning av buffertkapaciteten kan reducera störningseffekterna på den studerade produktionslinan inleds studien med en undersökning av hur behovet för en buffert ser ut. SKF har sedan tidigare identifierat en flaskhals för produktionen och för att skapa en förståelse för systemet och den identifierade flaskhalsen görs en datainsamling parallellt med litteraturstudien.

Under litteraturstudien identifieras begreppet ToC, vilket under avsnitt 2.1.2 anges vara en metod för produktionsplanering anpassad efter flaskhalsen. Metoden tar upp fem steg, men av avgränsande skäl i avsnitt 1.3 behandlar inte studien alla steg. Identifikationen av

en flaskhals innebär steg ett och studien ämnar därför att fokusera på steg två och tre. Fjärde steget ges utrymme i rapportens slutdelar och sista steget kvarstår som framtida utmaning. Som en del av ToC fortsätter avsnitt 2.1.2 sedan med teori om DBR-metoden som pekar på fördelarna med att placera en buffert uppströms systemets flaskhals. Teorin om DBR används därför som hjälpmedel för att avgöra var en buffert kan placeras på den studerade produktionslinan. För att på ett enkelt sätt beräkna hur lång tid produktionen står still i vissa processteg används teori ur Little's lag. Eftersom teorin beskriver sambandet mellan PIA, genomloppstid samt cykeltid kan data som samlas in från flaskhalsen räknas om till den verkliga tiden för produktionsstopp i processer nedströms flaskhalsen. Genom att beräkna tiden för ett produktionsstopp kan även en ungefärlig uppfattning skapas för vilken buffertkapacitet som krävs för att täcka det beräknade stoppet.

För att skapa förståelse för data som samlas in studerades kapacitetsnivåer och OEE, vilka liknar varandra, men har olika fokusområden. Kapacitetsnivåer mäter kapacitetsutnyttjandet och OEE mäter detsamma men med hänsyn till tid, hastighet och kvalitet. OEE anses tack vare de ingående parametrarna som ett lämpligt verktyg att använda vid skapande av riktlinjer för vilka avgränsningar som bör göras vid datainsamlingen. Kapacitetsnivåer överensstämmer i högre grad med det mått som SKF i dagsläget använder och det används därför i studien för att skapa en förståelse för data som samlas in.

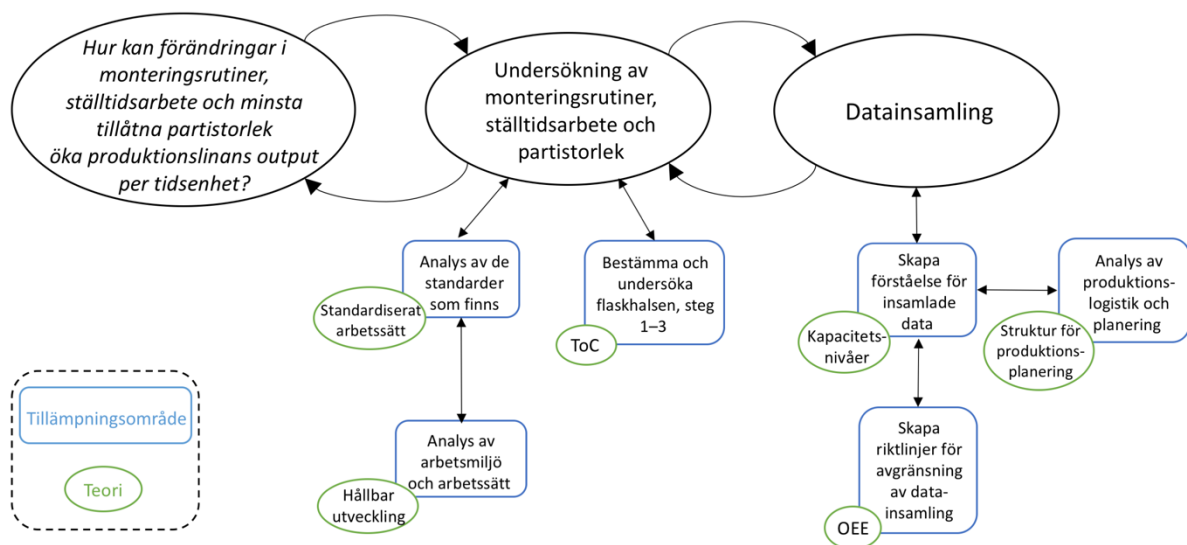


Figur 2:5 Sammanställning av hur teorin används för att kunna svara på frågeställningen angående en utökning av buffertkapaciteten

## 2.6.2 Hantering av teori för att besvara frågeställning angående monteringsrutiner, ställtidsarbete samt partistorlek

För att kunna besvara frågeställningen som berör hur förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete och partistorlek kan öka outputen per tidsenhet för linan utvecklas litteraturstudien med intressant teori samt en undersökning av hur nämnda faktorer ser ut i dagsläget på SKF. Analys av de standarder som finns på SKF görs utifrån teori inom standardiserat arbetssätt. Begreppet innebär per definition att den i dagsläget bäst kända metoden att utföra ett arbete på tillämpas. Dessa standarder tillsammans med arbetsmiljö kan sedan analyseras ur ett hållbart perspektiv. Arbetsmiljön beskrivs i avsnittet som en tvådelad faktor och delas upp i fysiska påfrestningar och psykosociala arbetsmiljön. Vad gäller arbetssätt tillämpas det på den studerade produktionslinan både automatiserad produktion och manuellt arbete. Båda dessa arbetssätt, i kombination med de empiriska studier som görs, är därför intressanta för en fortsatt diskussion. Frågeställningen hanteras även utifrån ToC och påståendet att inga andra processer ska blockera flaskhalsen, vilket därmed berör exempelvis rutiner.

Precis som under den första frågeställningen tillämpas teori för kapacitetsnivåer och OEE för att skapa en förståelse för insamlade data samt för att avgränsa den. Utöver det här studeras även teori om planeringsstruktur för att skapa en djupare förståelse för data. I avsnitt 2.1.1 där struktur för produktionsplanering beskrivs framgår det att planering sker hierarkiskt i företaget samt att det är en tidskrävande process där olika nivåer planerar med olika tidshorisonter. Dessa aspekter är användbara när projektgruppen analyserar data med avseende på produktionslogistik och planering av produktionen. Det kan också vara aktuellt att ge förslag på förändringar rörande dessa områden och då kan gruppen ta hänsyn till hur och på vilken nivå som planeringen behöver angripas av SKF.



Figur 2:6 Sammanställning av hur teorin används för att kunna svara på den frågeställning som berör förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete samt partistorlek

### 3 Metod

Driftchefen på SKF hade till en början en tydlig tanke med projektet, vilket var att utforma ett buffertsystem för en del av produktionslinan. För att få en bra uppfattning över problemsituationen genomfördes därför redan i ett tidigt skede av arbetets gång ett antal besök på SKF för att bygga en grundlig förståelse för systemet. Att skaffa sig en tydlig och korrekt bild av nuläget på detta sätt är vitalt för att uppnå goda resultat i ett projekt enligt Musselman (1994). Besöken och analysen resulterade i att flera potentiella förbättringsförslag för projektet identifierades, dessa redovisas senare i kapitel 5.

Ett viktigt komplement till resonemang byggda på teori och intervjuer var analysverktyget simulering. Som grund till simuleringen genomfördes datainsamling och teoristudier för att fördjupa kunskaper kring produktionsförutsättningar samt för att få en bättre förståelse över vilken data som ansågs nödvändig. Information om systemet och dess problem har hämtats från många olika källor med hjälp av en kombination av intervjuer och data från register. Kompletterande datainsamlingar har gjorts för data som saknades eller var bristfällig i register. För litteraturstudien har bedömning gjorts gällande källors tillförlitlighet och relevans för arbetet. En tydligare redogörelse över genomförd datainsamling, litteraturstudie samt analys av projektet följer nedan.

#### 3.1 Datainsamling

Datainsamlingen är en av de svåraste men också en av de viktigaste stegen i utförandet av en simuleringsstudie. *Garbage in Garbage out* (GIGO, sv. Skräp in, skräp ut) är ett begrepp som bland annat används i simuleringssammanhang (Banks, et al., 2001). Genomförs inte datainsamlingen grundligt och den insamlade data inte undersöks för exempelvis representativitet, kan resultaten från simuleringsmodellen vara felaktiga oavsett hur väl system har modellerats, hävdar Banks et al. (2001). Det finns tre datakällor i ett produktionssystem, individer, registerdata och systemet självt och olika datainsamlingsmetoder fångar in data från de olika källorna (Medbo, 1998). I projektet har alla dessa källor använts. För att få högre reliabilitet och validitet på data kan forskningsgruppen själv välja att samla in alla data istället för att förlita sig på tillgänglig registerdata. Det är dock mycket tidskrävande och vissa händelser som sker sällan, exempelvis vissa maskinhaverier, kan vara svårt att samla in tillräckligt med data för att vara representativ för systemet inom en rimlig tidsperiod.

Kvalitativ och kvantitativ analys är två grundläggande undersökningsmetoder som används vid olika forskningsprojekt (Bryman, 2008). I arbetet har en kombination gjorts av kvantitativa data, data från register och tidtagning av monteringsstider, samt intervjuer med anställda i produktionslinan. Genom att kombinera kvantitativa och kvalitativa data erhålls både subjektiva och objektiva data enligt Bryman (2008). Dels fås objektiva produktionsdata från register och subjektiv information fångas in i intervjuer. I intervjuerna kan det uppdagas utmaningar och problem i systemet som kanske inte framkommer i registerdata.

### 3.1.1 Intervjuer

Gällande den kvalitativa analysen har ett flertal intervjuer genomförts med anställda på den studerade produktionslinan. Kvalitativa intervjuer ansågs lämpligt då de anställdas subjektiva uppfattning av linan och dess problem kunde fångas in (Bryman, 2008). Totalt genomfördes sju intervjuer varav fem med operatörer, en med driftchefen samt en med *produktionsteknikern*, för att bredda problemförståelsen (intervjumallar återfinns i Appendix A).

Flera intervjuer hölls under projektets första veckor och ämnade orientera gruppen i systemet och dess problem. Senare intervjuer var relaterade till data som samlats in samt verifiering och validering av simuleringsmodellen. I de intervjuer som genomförts under arbetets gång har de intervjuade anonymiserats för att ingenting ska kunna kopplas till en individ och komma denne till skada. De intervjuades befattning är det enda som återges då befattningen kan vara av intresse för läsaren att känna till för att få en uppfattning om vilken kunskap personen besitter.

#### Typ av intervjustruktur

Intervjuer kan vara av olika struktur beroende på hur många frågor som har förberetts innan intervjutillfället och hur strikt frågeformuläret följs. En semi-strukturerad intervju, vilken är den struktur som använts under intervjuerna, innebär att vissa frågor har iordningställts innan intervjun, men att frågor kan tillkomma baserat på den intervjuades svar. Ordningen av frågorna kan även förändras enligt Bryman (2008). Frågorna är ofta av öppen karaktär, det vill säga att en fråga presenterar ett område och den intervjuade lyfter det som denne tycker är relevant. Intervjuaren kan sedan ställa fler djupgående frågor om något som nämns är av intresse. Denna struktur lämpades sig väl för att bygga upp en förståelse för systemet och dess problem.

#### Urval av intervjuade

De intervjuer som genomfördes har ämnat att ge en heltäckande bild av systemet och problemen. Därför har intervjuer, som nämndes i inledningen till kapitlet, hållits med anställda på flera nivåer inom produktionslinan. Flera operatörer har deltagit i intervjuer för att dessa är närmast produktionen och kan besitta information som inte produktionsledare känner till. Även driftchefen har intervjuats. Driftchefer kan ha en uppfattning om helheten och bättre överblick över systemet, vilket operatörer inte behöver ägna sig åt. Utöver det har en produktionstekniker intervjuats i samband med insamling och validering av registerdata.

Intervjuerna hölls framförallt med de anställda inom skiftlaget som driftchefen är ledare för. Men för att undersöka om driftchefen har påverkat de anställda inom sitt skiftlag angående vilka problem som finns och lösningsförslag hölls även intervjuer med en anställd från varje av de totalt fyra skiftlagen. Intervjusvaren användes till att bygga upp en förståelse för hur produktionslinan fungerar, vilket beskrivs i nästkommande kapitel,

samt för att hitta potentiella förbättringsmöjligheter inom rutiner, arbetssätt med mera vilket presenteras i kapitel 5.

### **Hantering av intervjumaterial**

Inspelning av intervjuer är vanligt för att det som sägs inte ska glömmas bort eller för att någonting inte ska misstolkas. Ofta sker även transkribering av intervjun. Transkribering innebär i intervjusammanhang att en inspelad intervju lyssnas av och skrivs ner ordagrant för att inget ska gå förlorat (Bryman, 2008).

För intervjuerna som genomförts har inga inspelningar gjorts, istället har anteckningar förts, vilket enligt Bryman (2008) kan vara en alternativ metod för att inte glömma bort det som sägs. För att undvika svårigheter med att både anteckna och vara koncentrerad under intervjun deltog flera medlemmar ur gruppen vid intervjutillfällena och anteckningar fördes av mer än en person. Mail med en kort sammanfattning från intervjun skickades kort efteråt för att bekräftat att det som sagts hade uppfattats rätt. Dessa bekräftelsemail användes för intervjuer med driftchef och produktionstekniker.

### **3.1.2 Insamling av produktionsdata**

Kvantitativa data har hämtats från SKFs register och samlades in med hjälp av produktionsteknikern. Det genomfördes även en studie genom tidtagning av monteringen eftersom det saknades data för monteringstider i register. Sekretessavtalet som tecknades i början av projektet mellan studiegruppen och SKF tillåter inte att någon data som hämtats från SKF sprids. Detta gör att endast begränsad mängd data redovisas offentligt, men reella siffror används vid samtal och presentation för företaget. All publicerad data som har erhållits har förvrangets för att inte bryta mot avtalet.

#### **Insamling av registerdata**

Registerdata fanns tillgänglig i stor mängd och kunde utan svårighet samlas in. Eftersom registerdata var insamlad i annat syfte än för studien representerar den inte nödvändigtvis det som behövs i projektet och data kan även vara felaktiga. Detta påverkar reliabiliteten och validiteten hos data och den bör noga undersökas för vad den faktiskt visar, enligt Medbo (1998). Det finns även risk för att data är ofullständig och att data censureras, vilket innebär att data inte är helt opartiskt insamlad. Data som samlades in från register var data om haverier, stopp, ställtider, cykeltider, materialbrist, kvalitetsförluster och orderhistorik.

SKF har sedan årsskiftet 2016/2017 börjat använda ett nytt affärssystem. Affärssystemet har påverkat linan kraftigt, bland annat genom att materialbrister har blivit vanligt förekommande på grund av problem med systemet. Det har fått som konsekvens att linan har lägre effektivitet vid tidpunkten för studien än innan årsskiftet. Data som samlats in från register har uteslutande samlats in innan affärssystemet implementerades, vilket följer driftchefens önskemål. Anledningen till varför registerdata från innan årsskiftet använts är att systemet fortfarande är i en inkörningsfas. SKF förväntar sig att

produktionslinans output återgår till samma nivåer som tidigare efter att det nya affärssystemet är inkört.

Registerdata validerades genom intervjuer med produktionsteknikern och undersökning av registerdatas homogenitet (se avsnitt 6.2.2 och 6.3.1). Låg variation sett över tid är ett tecken på att data är representativ enligt Banks (1998), vilket därmed eftersöktes. Stickprov genomfördes också då det var möjligt för att stärka datavalideringen. Data om lågfrekventa händelser, exempelvis haverier eller andra sällsynta problem, var problematiska att validera med stickprov då dessa inte går att förutsäga, vilket gör det svårt att studera. Händelserna hade dock tillräcklig stor inverkan på systemet för att de inte kunnat bortses från. För denna data resonerade gruppen att det var bättre att använda tillgänglig registerdata istället för att bortse från dessa händelser. Det ansågs skapa förutsättningar för en mer verklighetstrogen simuleringsmodell och därmed mer korrekta resultat. Registerdata för linan har dock svagheten att när det sker stopp i linan förs de inte in automatiskt. Utformningen innebär att operatören i efterhand noterar vilken typ av stopp, samt hur långt stoppet varit.

### **Tidtagning av monteringen**

I linans register saknades data angående monteringstider och det genomfördes därför en tidtagning för monteringen. När tidtagning av manuellt arbete utförs påverkas ofta montören. Montören kan arbeta fortare än vanligt eller kan störas av att någon övervakar arbetet och det är därför viktigt att ha i åtanke för den som mäter tiden (Zandin, 2001). I produktionslinan produceras ungefär 60 varianter och för varje variant finns olika toleranser. Monteringstiden mättes endast för en variant och för ett skiftlag, men kompletterades ytterligare och kontrollerades med stickprov vid senare tillfällen. Totalt mättes, vid första studien, ett trettiotal monteringstider för fyra operatörer. Det var inte möjligt att inom tidsramen för projektet mäta monteringstiden för alla varianter. Chung (2004) hävdar att det krävs minst 25 till 30 datapunkter för att översätta en datamängd till en teoretisk fördelningsfunktion för att användas i en simuleringsmodell, vilket användes som mål för insamlingen.

Det faktum att tidtagning endast skedde för ett av skiftlagen kan ses som en svaghet. Om mätning av monteringstiden hade gjorts för alla skiftlagen skulle eventuella skillnader i monteringstid upptäckts. Att bara 30 mätpunkter samlades in och endast för en variant kan väcka frågor angående monteringstidernas representativitet. Fler tider för flera olika varianter hade kunnat ge en mer representativ fördelning för monteringstiderna, men fortfarande hade inte alla kunnat samlas in. Det genomfördes två stickprov av monteringen vid senare besök i linan då andra varianter producerades för att testa om de tider som samlats in var rimliga. Stickproverna visade på att fördelningsfunktionen som beskriver monteringstiderna behövdes justeras och förlängas med 15 procent. Monteringen har idag en mycket högre kapacitet än linans flaskhalsoperation och därför ansågs monteringstiderna inte kritiska för simuleringsmodellen. Det genomfördes som

komplement i detta resonemang en känslighetsanalys över monteringsledningens påverkan på modellen (se avsnitt 6.4.3).

## 3.2 Litteraturstudie

Sökportaler som använts för litteratursökningen är Google Scholar och Chalmers biblioteks sökning. Inläsning av litteratur har skett under hela projektets gång och varit en iterativ process. En vital del av rapporter som är grundad i teori är hantering av källkritiken. Ett vanligt tillvägagångssätt är att bedöma källor efter äkthet, samtidighet, beroende och tendens (Eriksson & Wiedersheim-Paul, 2008), vilket gjordes i projektet. Det första steget är att avgöra källans äkthet alltså att studera om källan är vad den utger sig för att vara. Om tiden mellan det att en händelse sker och att en källa redogör för den är kort uppfylls samtidighets kriteriet. Användning av flera källor för samma ämne är ofta lämpligt, men om källorna helt bygger på varandra, det vill säga är beroende, så finns det inget värde i att eftersträva flera källor. Tendenskriterier avser att bedöma om författaren har intresse av att framställa innehållet på något speciellt sätt enligt Eriksson och Wiedersheim-Paul (2008).

För att uppfylla dessa kriterier har flera oberoende källor för samma ämne eftersträvats för att skapa trovärdighet för innehållet. Att bedöma en källa utefter kriterierna som nämns ovan kan ibland vara mycket svårt. I projektet användes framförallt vetenskapliga artiklar och läroböcker eftersom dessa ofta har externa granskare innan de publiceras vilket ger en stark trovärdighet. Om en källa var tveksam gällande en eller ett par av kriterierna ovan eller om det förekom olika åsikt om källans tillförlitlighet tillfrågades handledaren för att avgöra huruvida källan skulle användas eller inte. En källa som inte uppfyllde något eller endast ett fåtal kriterier användes inte.

## 3.3 Analys

Tidigt i projektet spenderades mycket tid på att hitta en lämplig metod för att uppnå ett trovärdigt svar på buffertutformningen. Det finns en stor mängd litteratur som beskriver hur buffertutformning i ett produktionssystem kan genomföras, speciellt analytiska metoder. En del av de analytiska metoderna berördes initialt, exempelvis *Buffer Allocation Problem*, vilket är en metod som genom matematik beräknar den optimala buffertstorleken (Demir, et al., 2012). Då metoden innebar avancerade beräkningar och kandidatgruppen inte hade den kompetens som krävdes valdes metoden bort.

Efter att kandidatgruppen gjort ytterligare efterforskningar av systemet samt de analysverktyg som fanns tillgängliga, valdes metoden datorsimulering. Simuleringen var något som alla i kandidatgruppen hade erfarenhet av och det är även en god analysmetod för produktionssystem som ger möjlighet att bygga upp en djupare förståelse och testa potentiella lösningars inverkan på systemet (Banks, 1998). Per Medbo från institutionen för Teknikens Ekonomi och Organisation på Chalmers Tekniska Högskola har lång erfarenhet med simulering och kontaktades för att vara till hjälp med simuleringsaspekterna av projektet.

För att komma fram till vilka förändringar som skulle testas i simuleringsmodellen analyserades intervjuerna (se kapitel 5) och vägdes mot det teoretiska ramverket (se kapitel 2). Ifrån intervjuerna framkom även aspekter som inte gick eller var svåra att modellera i simuleringsmodellen, men som var intressanta förbättringsområden för produktionslinan. Dessa redogörs för i kapitel 5. I kapitel 6 redovisas sedan framtagandet av simuleringsmodellen samt de resultat som modellen gav av förändringsförslagen.

Vid framtagandet av simuleringsmodellen följdes Banks (1998) modell med tydligt definierade steg. Stegen är följande: problemformulering, målformulering och beslut om resultatvariabler, konceptuell modellering, datainsamling, modellöversättning, verifiering, validering, experimentutformning, modellkörningar och genomgående dokumentering. Banks modell har även ett ytterligare steg, implementering, men detta steg utelämnades eftersom det låg utanför projektets omfattning. Simuleringsprogramvaran Simul8 användes eftersom gruppen hade tidigare erfarenhet av programmet.

En avstämning hölls mellan projektgruppen och SKF, där driftchefer, produktionstekniker och operatörer deltog. Vid detta tillfälle presenterades modellen, de första resultaten samt analyserna av hur förbättringsförslagen påverkar systemet och dess output. Presentationen öppnade upp för diskussion kring faktorernas inverkan på systemet och det uppdagades då att den data som varit tillgänglig för projektgruppen inte varit komplett. Efter samtal med driftchefen erhöll projektgruppen kompletterande data för oregistrerade stopp från 2010, då dessa undersöktes av driftchefen. Enligt driftchefen anses data representativ då linan inte har genomgått några större förändringar sedan dess. Driftchefen gav vid samtalet även önskemål om en fördjupad analys av faktorerna, vilket då genomfördes med den tillkomna data inkluderad. För att fånga upp eventuella skillnader mellan nuläget och 2010 gjordes den fördjupade analysen även i modellen utan att den kompletterande data var inkluderat. Resultat för den fördjupade analysen, där faktorerna testades på en betydligt högre nivå, presenteras därför i ett intervall i avsnitt 6.4.4. De resultat som presenterades under avstämningen med SKF kan fortfarande anses valida gällande *samspelseffekter* då oregistrerade data inte påverkar samspelet mellan faktorerna.

## 4 Produktionsförutsättningar

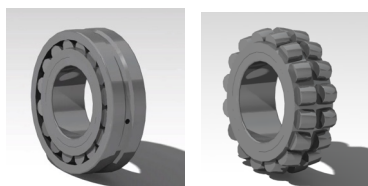
Under följande kapitel beskrivs företaget i övergripande drag, de produkter som tillverkas på den studerade enheten samt hur processen för tillverkningen ser ut genom att förklara hur produktionslinan är utformad. En förståelse av dessa grundförutsättningar ger en bas för vidare fördjupning i produktionsflödet.

### 4.1 Företagsbeskrivning

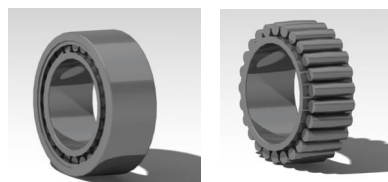
SKF är ett världsledande företag inom produktion av rullningslager, med över 48 000 anställda varav 2 500 arbetar i Göteborg (SKF, 2017). De har varit verksamma sedan 1907 och finns 2017 representerade med produkter i fler än 40 olika industrier; exempelvis fordons-, livsmedels- samt hälso- och sjukvårdsindustri. De produkter som SKF erbjuder är till exempel olika typer av kullager, rulllager, tätningar och kopplingar. Företaget beskriver sig själva som en leverantör av inte bara färdiga produkter, utan de arbetar även med olika teknikplattformar där de erbjuder lagerrelaterad utbildning, smörjtjänster samt serviceavtal.

### 4.2 Produktbeskrivning

Ett rullager består i regel av fem komponenter: yttering, innerring, rullar, rullhållare samt tätning (Mägi & Melkersson, 2010). När innerringen placeras i yttringen bildas ett spår där rullar och rullhållare placeras. Rullhållarens funktion är att säkerställa rullarnas position. Den studerade produktionslinan producerar totalt ungefär 60 olika produktvarianter, där dessa sorteras efter olika toleranser och delas in i olika produktgrupper.



Figur 4:1 SRB-lager med och utan yttering



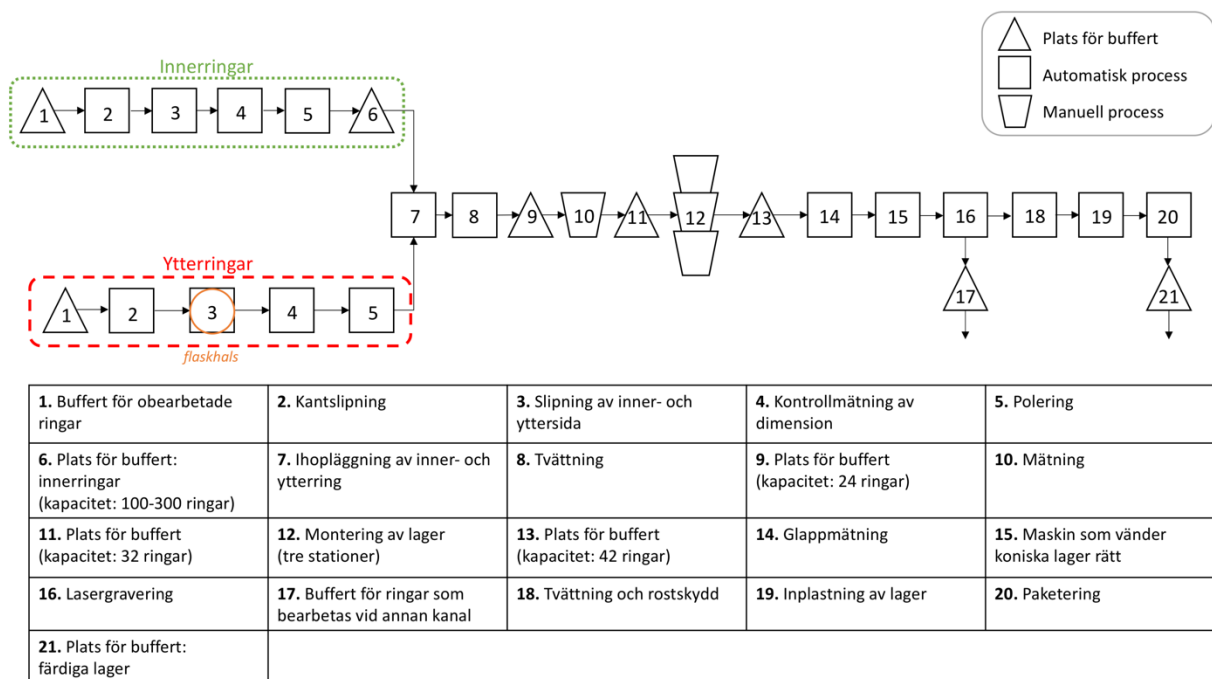
Figur 4:2 CARB-lager med och utan yttering

De två typer av rullager som SKF Göteborg tillverkar är SRB-lager (Figur 4:1) och CARB-lager (Figur 4:2). Det som gör produktionen av lager komplicerad är att varje lagertyp har en mängd olika dimensioner som i sin tur har en mängd olika toleranser. Med dimension menas lagrets ytterdiameter och toleranser är ett mått på lagrets kvalitet. Det här medför att produktionslinan producerar många olika produktvarianter och därmed måste maskinerna ofta ställas om mellan olika partier.

## 4.3 Beskrivning av produktionsflöde

Följande avsnitt baseras på flertalet direktobservationer av kandidatgruppen samt intervjuer med operatörer, tekniker samt driftchef i det studerade produktionsflödet och avser att beskriva flödet genom produktionslinan. Beskrivningen ligger även till grund för den simulering som genomförts (se kapitel 6). Flödet visas nedan i Figur 4:3 och beskrivs i den ordning som processerna genomförs i flödet för en djupare förståelse.

Det arbetar fyra olika skiftlag vid produktionslinan med sju operatörer i varje skiftlag. Att det är fyra skiftlag som arbetar innebär att produktionen är igång dygnet runt från söndag kväll till fredag kväll och att det sedan körs ett längre dagspass under lördag samt ett under söndag.

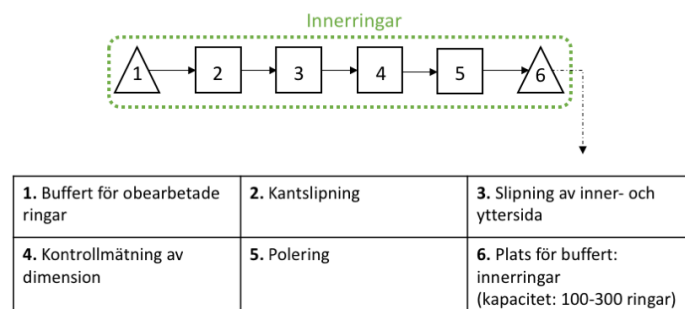


Figur 4:3 Beskrivning av produktionslinan

### 4.3.1 Inner- och ytteringarnas parallella linor

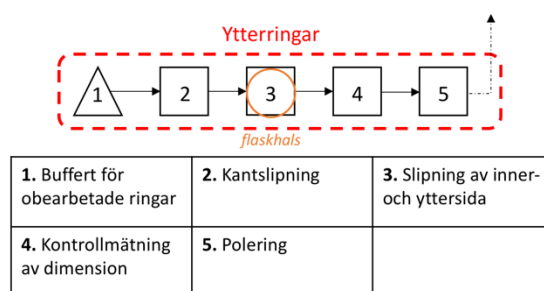
Flödet som bearbetar ringarna är uppdelat i två parallella produktionslinor, en för innerringar och en för ytteringar (Figur 4:3). Ringarna genomgår ett antal olika processer, vilka är desamma för både ytter- och innerringar och de har därför valts att presenteras med samma nummer (Figur 4:3, nr 2–5). Processerna är uppdelade på fyra olika maskiner: en kantslip, en slip av ytter- och innersidan, en kontrollmätning samt en polermaskin. Dessa processer sker separat, men ringarna i ett och samma parti hanteras i ett kontinuerligt flöde, med en låg buffertkapacitet för produkter emellan processerna under transport. Flödet är automatiserat, med undantag för stickkontroller som sker manuellt mellan några processer för att uppmärksamma eventuella toleransförändringar.

Att innerringarna är storleksmässigt mindre än ytteringarna medför att innerringarnas lina har en kortare genomloppstid. Detta då storleken på produkterna är en avgörande faktor för hur lång tid som krävs vid bearbetning. Innerringarnas transportband har en relativt stor buffert då den kortare genomloppstiden möjliggör en uppbyggnad av en buffertkapacitet (Figur 4:4, nr 6). Buffertkapaciteten för innerringar är i dagsläget tre till fyra timmars körning beroende på produktvarianternas dimensioner. Vanligtvis innebär den kortare genomloppstiden att maskinerna för innerringarna hinner påbörja ställ samtidigt som ytteringarna fortfarande bearbetas.



Figur 4:4 Den del av produktionslinan som bearbetar innerringar

Ytteringarnas inre och yttre slipning (Figur 4:5, nr 3) utgör idag produktionslinans flaskhals, detta eftersom ytorna är relativt stora och att maskinen enbart klarar av att hantera en ring åt gången. Sammantaget leder detta till att maskinen har längst cykeltid och begränsar systemets produktionskapacitet. Flaskhalsen begränsas av att det i dagsläget inte finns någon plats att bygga upp en buffert i produktionsflödet för ytteringar efter bearbetningsprocesserna. Detta resulterar i att eventuella störningar senare i flödet tvingar ytteringarnas produktion till avbrott. Den tid som ytteringarnas lina står still ses som en kostnad av SKF, eftersom nya lager inte kan produceras. Övriga två bearbetningsprocesser för ytteringarna (Figur 4:5, nr 2 och 5) har en kortare cykeltid än den inre och yttre slipen och utgör därför inte någon flaskhals. I nuläget finns det en buffert med hög kapacitet innan ytteringarnas bearbetningsprocesser (Figur 4:5, nr 1).



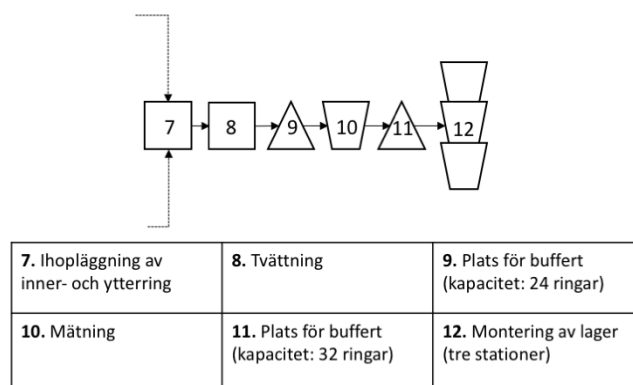
Figur 4:5 Den del av produktionslinan som bearbetar ytteringar

### 4.3.2 Ihopläggning, tvättning, mätning och montering

Efter ytteringarnas polering lyfts en innerring automatisk ner i en yttering (Figur 4:6, nr 7) och deras linor övergår i en gemensam lina. Efter att ringarna har passerat ihopläggningsstationen fortsätter flödet in i en tvätt (Figur 4:6, nr 8), där en oljeblandning används för att minimera friktionen hos lagret. Därefter läggs ringarna i en kö innan de mäts vid en mätstation (Figur 4:6, nr 9 och 10).

Kön har en låg kapacitet och är inte avsedd att användas som buffert. Mätningarna sker manuellt och har för avsikt att kontrollera toleranser samt att insidan av innerringen är jämn och har rätt dimension. Linan fortsätter till den manuella monteringen där tre operatörer parallellt monterar ihop lagren.

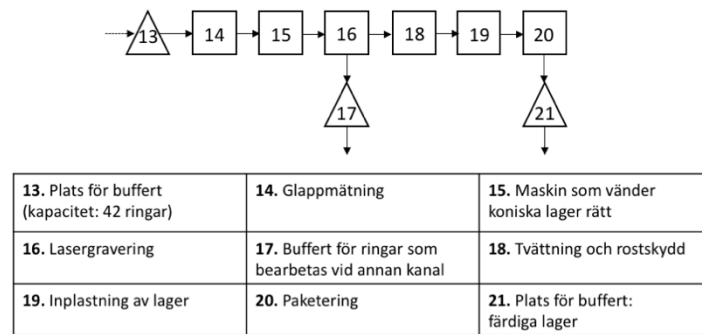
Produktionen sker partivis och endast en produktvariant åt gången kan köras genom ringarnas bearbetningsprocesser. Det är därför viktigt att *first-in-first-out* (FIFO) tillämpas vid ihopläggning (Figur 4:6, nr 7) då ytteringarnas dimensioner anpassas efter innerringarnas. Utan en bestämd ordningsföljd finns risk att rätt toleranser inte uppnås.



Figur 4:6 Den del av produktionslinan där ihopläggning, tvättning, mätning och montering sker

### 4.3.3 Slutdelen

När lagren har monterats genomgår de ett antal olika automatiska processer (Figur 4:7, nr 13–20). Efter paketering (Figur 4:7, 20) placeras de förpackade lagren automatiskt på en lastpall som manuellt förflyttas till ett färdigvarulager. Samtliga produktvarianter genomgår inte hela ”slutdelen” (Figur 4:7, nr 13–21) utan en del tas ur flödet innan de har plastats in och förpackas (Figur 4:7, nr 17) då dessa produkttyper kräver specifik efterbearbetning som sker i en annan produktionslina.



Figur 4:7 Den del av produktionslinan som kallas "slutdelen"

#### 4.3.4 Ställ

Mellan olika produktgrupper och produktvarianter måste maskiner ställas om, tiden som omställningen tar beror på hur mycket som skiljer mellan partierna. Om det är två liknande varianter krävs endast ett mindre ställ som inte är lika tidskrävande som ett ställ mellan två produktgrupper där funktion och dimension skiljer sig. Storleken på partierna som körs spelar också in på hur tidskrävande ett ställ är, då små partier innebär att operatörerna inte hinner förbereda inför nästa ställ som vid större partier. Det medför att ställtiderna blir längre då förberedelserna måste utföras när produktionen står stilla. Tidsspännet som ställen varierar mellan är brett och ett mindre variantställ kan variera från  $t$  till upp mot  $18t$  medan ett större ställ varierar mellan  $10t$  till  $50t$ . Det stora tidsspännet för olika ställ beror på många orsaker, exempel på orsaker är om produktvarianterna som maskinerna ställs om emellan har liknande dimensioner. Från intervju med produktionsteknikern framgick det att det tidigare varit stort fokus på produktionslinan att reducera ställtider och att de för något år sedan kraftigt minskade ställtiderna för större ställ.

#### 4.4 Rutiner inom skiftlag

Ur intervjuer med operatörer från de fyra olika skiftlagen har det framgått att rutiner gällande olika arbetssysslor kan variera inom de olika skiftlagen och att de inte följer de givna rutinerna från företaget. Kandidatgruppen har identifierat några rutiner som från intervjuer har uppmärksamats variera, dessa redovisas nedan (intervjumallar återfinns i Appendix A).

Då en skiftöverlämning sker är det praxis att inga omonterade ringar skall vara framskickade till monteringen, det här av kvalitetsskäl då SKF vill kunna spåra när ett lager monterades och tillverkades. Det har framgått från intervjuer och observation att produktionen efter montering därför pausas en halvtimme innan skiftöverlämningen. Det här trots att skiftöverlämningen har en schemalagd överlappningstid. Innan skiftöverlämning sker ska en *driftsuppföljning* lämnas, det innebär att allt som har hänt under arbetspasset ska dokumenteras. Det vill säga antal producerade lager, frånvaro,

haverier och produktionsstopp ska manuellt skrivas in i deras system. Det här för att hålla koll på de olika produktionslinorna på företaget.

Alla skiftlag på produktionslinan arbetar med roterande arbetsuppgifter, det vill säga att de alla roterar mellan arbetsstationerna. Det finns ett schema som beskriver när och vilka som ska vara på respektive arbetsstation. När inget ställ eller underhåll sker är det i regel en person som har huvudansvar för ytteringarnas bearbetningsprocesser och en som har hand om innerringarna. Övriga operatörer i skiftlaget har då hand om slutdelen. Ansvar för ytteringarnas och innerringarnas bearbetningsprocesser byts en gång per skift medan rotationen bland slutdelens arbetsstationer sker efter varje monteringsomgång, det vill säga i regel en gång var trettionde minut.

För att tydligt signalera när maskinerna i linan har problem används visuell kontroll. Kontrollen består av lamporna som med hjälp av olika färger signalerar olika budskap. Från intervjuer och observation framgick det att likadan färg för olika maskiner inte alltid betyder att det är samma problem som har uppstått. Det här kan resultera i förvirring om inte erfarenhet och kompetens för varje maskin besitts hos samtliga operatörer. Skiftlaget delar upp ansvaret för maskinernas underhåll mellan sig för att få största möjliga erfarenhet och kompetens kring specifikt tilldelade maskiner. Detta leder dock till att kunskapen kring övriga maskiner inte kan hållas lika hög, vilket skapar problem vid exempelvis sjukfrånvaro som kräver att operatörerna omplaceras som huvudansvariga mellan maskinerna.

## **5 Analys av produktionslinan utifrån intervjuer och teori**

Detta kapitel syftar till att analysera de aspekter som fångats upp under intervjuer med anställda på den studerade produktionslinan (se Appendix A för intervjumallar) samt att sammanställa dessa med aspekter från studiens teorikapitel. Intervjuerna gjordes med flera personer vid olika tillfällen (se avsnitt 3.1.1). Avsnitten som behandlas i kapitlet är utökad buffertkapacitet, monteringsrutiner, ställtider samt minsta tillåtna partistorlek. Kapitlet avslutas med ett sammanfattande avsnitt där en kort sammanställning av kapitlet görs.

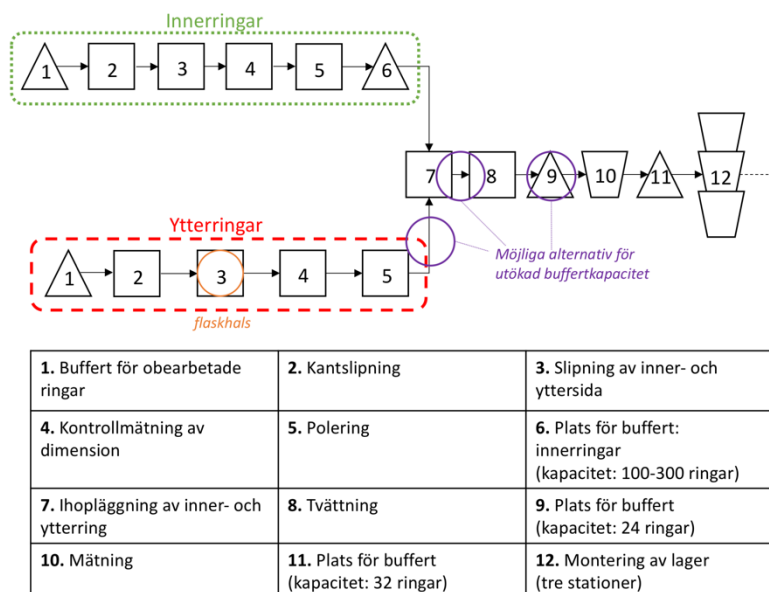
### **5.1 Analys av placering och funktion för utökad buffertkapacitet**

Från de intervjuer som har hållits med driftchef och operatörer från de fyra skiftlagen har det framgått att det finns ett behov av en utökad buffertkapacitet för ytteringarna. I dagsläget är buffertkapaciteten låg för ytteringar och som beskrivs under avsnitt 4.3.1 medför det att produktionslinan för ytteringar blockeras när störningar nedströms produktionsflödet uppstår.

I avsnitt 2.1.2 beskrivs hur Law (2016) säger att produktionsplanering ska ha huvudfokus på att optimera produktionslinans flaskhals, snarare än att fokusera på hela produktionslinans utnyttjandegrad, för att öka systemets output. Att öka buffertkapaciteten för ytteringarna skulle därför enligt Slack et al. (2013) medföra en outputökning för produktionslinan. Under avsnitt 2.1.2 beskrivs även hur Darlington et al. (2014) skriver att en buffert skall placeras uppström produktionsflödet från flaskhalsen för att på så sätt aldrig låta flaskhalsen svälta. På den studerade produktionslinan finns det dock inte plats för buffert placerad uppströms flaskhalsen. I intervjuer med operatörer framgick det dessutom att de upplever en låg output som följd av att flaskhalsen oftast stannar till följd av blockering. Det här innebär att buffertkapaciteten måste ökas nedströms i produktionsflödet från flaskhalsen för att kunna undvika ett produktionsstopp till följd av att flaskhalsen blir blockerad. Det är således viktigt att poängtera att buffertkapaciteten bör utökas i syfte att motverka de blockeringar som kan ske av flaskhalsen och att bufferten i största möjliga mån därför ska vara tom då allt fungerar i linan.

Från intervjuer med operatörer på produktionslinan framkom det att de för ytteringarna upplever ett behov av en buffertkapacitet som täcker ett större ställ, det vill säga att bufferten har kapacitet att täcka den tid det tar att ställa om maskinerna mellan två olika produktgrupper. Från insamlade data rörande produktionsstopp framgår det även att en stor andel av flaskhalsens stopp beror på störningar i slutdelen, vilket talar för en större buffertkapacitet. Båda dessa buffertbehov kräver dock en större buffertkapacitet än vad som är möjligt enligt produktionslinans layout. Under avsnitt 2.1.2 beskrivs däremot hur Darlington et al. (2014) menar att storleken på en buffert ska avgöras av hur stor risken

för stopp är. Under intervjuer framkom det att den största andelen stopp är av kortare karaktär, vilket talar för att endast en mindre kapacitet krävs. Med avseende på detta samt den yta som finns tillgänglig och vad som enligt operatörerna anses lämpligt har tre alternativ på placering tagits fram, vilka presenteras i Figur 5:1.



Figur 5:1 Alternativ för var en utökad buffertkapacitet kan placeras

## 5.2 Analys av monteringsrutiner

Vid intervjuer med operatörer från de olika skiftlagen har det framkommit att det finns riktlinjer för hur produkterna ska skickas fram till monteringen från den anslutna kön. Enligt dessa riktlinjer ska produkterna skickas fram en gång var trettionde minut. I intervjuerna framkom det även att dessa direktiv i regel inte följs av skiftlagen utan att ringar körs fram med avseende på övrigt arbete alternativt efter hur snabbt ringarna bearbetas uppströms i flödet. Ringarna kan alltså köras fram både snabbare och långsammare än vad riktlinjen avser, vilket resulterar i att produkternas genomloppstid varierar.

Från intervjuer och tidtagning har det framkommit att olika lager tar olika lång tid att bearbeta för inner- respektive ytteringarnas produktionslinor. Det medför att kön ansluten till monteringsstationerna fylls på olika snabbt. I och med att flaskhalsen ligger nära monteringen i produktionsflödet kan den blockeras om ringarna inte körs fram till monteringen enligt rutin, det vill säga om det sker mer sällan än en gång var trettionde minut. Alla processer i en produktionslina bör underordnas systemets flaskhals (se avsnitt 2.1.2) och det är därför viktigt att följa den satta rutinen alternativt att tillämpa kontinuerlig framkörning, det vill säga att montering utförs direkt när det är möjligt.

För att undersöka huruvida monteringen kunde vara en flaskhals studerades processen genom tidtagning och intervjuer. Det framgick då att det inte var en flaskhals utan att processen hade god marginal till flaskhalsens cykeltid. Det faktum att olika ringar har

olika bearbetningstider (se avsnitt 4.3.1) medför dock att flaskhalsens cykeltid varierar. Om flaskhalsens kortaste cykeltid på sikt förbättras innebär det teoretiskt att monteringen skulle kunna bli en flaskhals. Variationen av cykeltiden gör det däremot svårt att säga i vilken grad det skulle påverka systemet. Under avsnitt 2.4.4 beskrivs det utifrån Slack et al. (2013) att en lägre variation medför kortare ledtider, högre leveranssäkerhet, jämnare och bättre kvalitet samt högre produktivitet.

### **5.3 Analys av hur ställtidsarbete påverkas av rutiner och kompetens**

Maskinställ är som nämnt i avsnitt 4.3.4 ett tidskrävande och frekvent moment för den studerade produktionslinan. I det nämnda avsnittet presenteras även att ett maskinställ utförs till följd av att en ny produktvariant eller en ny produktgrupp ska produceras. Beroende på vilken typ av maskinställ som krävs för att producera de nya produkterna är ställtiden olika lång.

Från intervjuer med operatörer har det framgått att det krävs många års arbetserfarenhet på produktionslinan för att besitta full kompetens om hur linan fungerar. Operatörerna angav även att det i regel endast är två personer i varje skiftlag som har den kompetens som krävs för att genomföra ett större ställ inom linan. De flesta övriga operatörer har kompetens kring några av maskinerna samt tillräckligt med kunskap för att kunna genomföra mindre maskinställ, men de klara inte av alla moment som krävs vid de större ställen. Uppdelningen av ställoperationer förenklas när personalen inom ett skiftlag besitter full kompetens angående ställ.

I och med att det krävs hög kompetens för att kunna genomföra maskinställ kan produktionslinan utsättas för kompetensbrist om behovet av viss kompetens finns på flera ställen samtidigt. Det här kan främst förklaras av den arbetsrotation som beskrivs i avsnitt 4.4. I och med dessa arbetsrotationer blir de olika nivåerna på kompetens ett hinder för produktionslinan. Kompetensbrist kan med andra ord resultera i att maskinställ tar oplanerat lång tid, vilket försämrar produktionslinans tillgänglighet och skapar variation. Under avsnitt 2.5 beskrivs hur Rubenowitz (2004) poängterar vikten av att de anställda känner sig delaktiga för att känna behovstillfredsställelse. För att skapa en känsla av delaktighet bör alla operatörer få chans till samma kompetens. En utökad kompetens kan även innebära personlig utveckling, vilket Rubenowitz (2004) menar är en del av delaktighetsskapandet. Vidare hävdar författaren att det finns stora vinster i att öka kompetensen bland operatörer genom arbetsvidgning, då nya uppgifter ger en högre motivation och tillfredsställelse från jobbet vilket leder till en socialt hållbar arbetsmiljö.

Operatörerna berättade under intervjuerna att om det sker frekventa ställ hinner förberedelser för nästkommande ställ inte göras. Med längre produktionstid utan ställ kan operatörerna förbereda för nästkommande ställ vilket minskar tiden som krävs för att genomföra ett maskinställ när nästa parti ska börja produceras. Detta ökar möjligheten av tydlig uppdelning i yttre och inre ställ (se avsnitt 2.4.3).

Som nämns under avsnitt 4.3.4 framgick det från en intervju med produktionsteknikern att ställtidsreducering tidigare har varit under stort fokus och att tiderna reducerades

kraftigt. Den avdelning som då arbetade med ställtidsreducering finns inte längre kvar och förbättringsarbetet har upphört. Under avsnitt 2.4.3 beskrivs hur Shingo (1984) menar att ett maskinställ är spilltid som alltid kan reduceras och att förbättring ständigt måste ske. I samma avsnitt redogörs det för en studie som Hill och Samaddar (2007) utfört på ställtidsreducering. Studien visade på att variationen mellan olika ställtider har en stor påverkan på utfallet av en ställtidsreducering. En hög variation mellan de olika ställtiderna innebär ett högre PIA för produktionslinan och vice versa. Produktionslinan bör därför arbeta för att reducera variationerna i ställtiderna.

## **5.4 Analys av minsta tillåtna partistorlek**

På SKF hanteras planeringen av partistorlekar av Supply Chain-avdelningen som i enlighet med avsnitt 2.1 ingår i de administrativa arbetsuppgifter som säkerställer produktion. Den plan som skapas på avdelningen vidarebefordras till den operatör som har huvudansvaret för varje skiftlag. Planen redogör då för vad, i vilken mängd samt när produkterna ska produceras. Från intervjuer med operatörer på produktionslinan framgår det att skiftlagen inte har befogenhet att ändra i produktionsplanerna.

I avsnitt 4.3.4 beskrivs hur det mellan olika produktvarianter behövs maskinställ, vilket ger upphov till olika långa produktionsstopp. Från de intervjuer som hållits med operatörerna har det framgått att skiftlagen lämnat förslag på förändringar i produktionsplaneringen för att reducera frekvensen av maskinställ. Önskemålen till Supply Chain har främst berört ordningsföljden av de olika produktvarianterna. Den önskade ordningsföljden följs dock inte alltid, vilket alltså medför fler ställ. Driftchefen har vid intervjuer angett att anledningen till detta är Supply Chain-avdelningen främst planerar produktionen mot kundorder och endast en del mot färdigvarulager. Det här innebär att mindre partistorlekar kan prioriteras framför större samt att ordningsföljden av partier beror av kundens önskemål av leverans.

Under avsnitt 2.1.2 beskrivs ToC som en metod där produktionsplanering fokuserar på att optimera systemet efter dess flaskhals snarare än dess kapacitetsutnyttjande. I SKFs fall finns ett stort fokus på den identifierade flaskhalsen, vilket främst styrks av intervjuer men också av att mycket av tillgänglig data härstammar från denna. Det är dock inte bekräftat huruvida planeringen anpassas efter flaskhalsen eller inte, på grund av att studien inte tilldelades några resurser avsatta från Supply Chain-avdelningen. Den data som projektgruppen har samlat in med hjälp av intervjuer med operatörer, tidtagningar samt observationer, tyder på att produktionsplaneringen anpassas efter flaskhalsens kapacitet. Det vill säga produktionen planeras efter hur mycket som kan produceras med avseende på hur mycket flaskhalsen klarar av att bearbeta. Produktionen anpassas efter flaskhalsen i en sådan utsträckning att den aldrig tillåts arbeta på en lägre nivå än sin fulla kapacitet, vilket Slack et al (2013) förespråkar.

Genom att sätta en gräns för en minsta tillåtna partistorlek kan dels antalet ställ reduceras och dels kan även produktionen anpassas bättre efter flaskhalsen. Gränsen bör då beräknas efter en nivå där flaskhalsen aldrig tillåts arbeta på en lägre nivå än sin fulla

kapacitet. Eftersom SKF i dagsläget producerar mot kundorder men till viss del även mot färdigvarulager kan den minsta tillåtna partistorleken utnyttja de olika alternativen. När en kundorder är mindre än den minsta tillåtna partistorleken adderas de produkter som saknas för att partiet ska bli komplett och de extra produkterna placeras sedan på färdigvarulagret. Färdigvarulagret binder kapital, men kan anses befogat då det dels möjliggör ett jämnare flöde för produktionslinan men också skapar möjlighet till snabbare leverans. För produkter med extremt lågfrekvent orderläggning är det dock inte lämpligt att lägga dessa på färdigvarulager och den minsta tillåtna partistorleken bör då frångås. Med avseende på hur det här påverkar produktionsplaneringen bör förslaget på förändring inte drabba fler nivåer än den lägsta i hierarkin, det vill säga detaljplaneringen.

## **5.5 Sammanfattning av intervjuanalys inför simuleringsstudie**

Nedan presenteras de identifierade åtgärder för respektive undersökningsområde som enligt sammanställning av intervjuer och teori bör möjliggöra ökad output för den studerade produktionslinan.

- För att kunna uppnå en outputhöjning genom att utöka buffertkapaciteten behöver detta ske nedströms flaskhalsen i produktionsflödet. Det här för att kunna reducera effekten av de produktionsstörningar som flaskhalsen upplever och som uppkommer då flaskhalsen blockeras. Bufferten bör ha en tillräckligt stor kapacitet för att kunna täcka en stor del av de produktionsstopp som orsakas av störningar nedströms i produktionsflödet från flaskhalsen.
- Flaskhalsen kan bli blockerad om rutinerna rörande framkörning av ringar till monteringen från den anslutna kön inte följs. Det är därför viktigt att framföra vikten av dessa riktlinjer till skiftlagen för att undvika ytterligare variation inom produktionen. Ett alternativ kan vara att tillämpa kontinuerlig monteringen, det vill säga att framkörning görs direkt när det finns produkter tillgängliga.
- Då maskinomställningar i dagsläget tar upp en stor del av produktionslinans tillgängliga tid är det viktigt att kontinuerligt arbeta med att reducera tiden för dessa. Det är även viktigt att fokusera på att minimera variationerna för omställningarna och istället övergå till mer standardiserat arbete där störst möjliga antal operatörer besitter den kompetens som krävs för att utföra samtliga maskinomställningar.
- För att i stor utsträckning undvika maskinställ samt den tid som flaskhalsen arbetar på en lägre nivå än sin fulla kapacitet bör en minsta tillåten partistorlek införas. Förslaget på införande är en möjliggörare till ökad output för produktionslinan eftersom tiden för produktionsstopp då reduceras samt att flaskhalsen kan utnyttjas till sin fulla kapacitet. Dessutom finns det troligtvis stora vinster i att utföra förbättrande underhåll och arbeta med tillgänglig tid på flaskhalsen.

Utifrån ovan nämnda områden görs vidare undersökning och analys av ökad buffertkapacitet, ställtidsreduktion, minsta tillåtna partistorlek samt monterings- och framkörningsrutiner med hjälp av simulering. Detta beskrivs mer detaljerat i avsnitt 6.4. Kompetens om ställ och standardiserat arbetssätt var svåra att modellera i simuleringsmodellen, dessa områden diskuteras i avsnitt 7.3 tillsammans med resultaten från simuleringen.

## 6 Simuleringsstudie och analys av förändringsförslag

I följande kapitel redovisas den simuleringsanalys som genomförts på aspekterna beskrivna i kapitel 5. Vid användandet av simulering som analysmetod hävdar Banks (1998) att det är av stor vikt att noggrant planera, genomföra och kvalitetssäkra modellen. Första delen av kapitlet följer därför Banks (1998) föreslagna steg och går igenom formulering av en teoretisk representation (konceptuell modell), skapande av programmessig modell, hantering och bearbetning av insamlade data samt planering av simuleringsförsök. Genomgående har avgränsningar, ny datainsamling och justeringar gjorts för att säkerställa att systemet modellerats med hög validitet.

Efter att teorin bakom simuleringsanalysen har presenterats, övergår kapitlet i en analys av resultat från simuleringsförsöken. Utgångspunkten för försöken togs fram med hjälp av den analys som presenteras i kapitel 5 och för att kunna undersöka samspelseffekterna mellan *faktorerna* genomfördes tre *faktor*försök. Resultaten från dessa försök stämde av med SKF och det tillkom då kompletterande data om ytterligare produktionstopp som tidigare inte varit kända. Det framkom även vid avstämningen att önskemål fanns om fördjupning av faktorerna och det genomfördes därför *en-faktor-i-taget-försök* med faktornivåer av större karaktär med tillkomna data inkluderad. Kapitlet avslutas sedan med att resultaten från en-faktor-i-taget-försöken presenteras.

### 6.1 Framtagning av simuleringsmodell

För att få en djupare förståelse för hur simuleringsmodellen som använts under studien tagits fram följer här en beskrivning. Till en början beskrivs framtagandet av en konceptuell modell, därefter en beskrivning av hur simuleringsmodellen skapats. Avsikten är att på ett övergripande plan ge en förståelse för hur processen har sett ut, utan att hantera programmeringstekniska definitioner och definiera datormässig kod. Detta görs för att underlätta för läsaren då omfattningen av en ingående detaljbeskrivning inte fyller något större syfte.

Vid skapandet av simuleringsmodellen används simuleringsprogramvaran Simul8. Programvaran använder sig av fyra stycken olika enheter: startpunkt, kö, aktivitet och slutpunkt (Figur 6:1). Startpunkten är den första enheten i modellen och fungerar som materialinflöde. Aktiviteter är de processer som finns i produktionen, exempelvis maskiner och monteringsstationer, vilka kräver en viss tid. Köer är den plats som produkterna befinner sig på mellan aktiviteterna och fungerar som buffert. Slutpunkten är den sista enheten i modellen och fungerar som modellens slut. Därtill kommer det som representerar produkter i modellen vilket kallas för entiteter.



Figur 6:1 De fyra enheter som simuleringsprogrammet använder.  
Från vänster: startpunkt, kö, aktiviteter och slutpunkt

### 6.1.1 Definition av systemet och konceptuell modell

Robinson (2008) ger ett ramverk för hur systemet kan analyseras och formuleras för att ge en god utgångspunkt för senare modelluppbyggnad. De främsta fördelarna med att tydligt definiera hur systemet fungerar och reagerar är enligt författaren att underlätta för uppbyggnaden och kvalitetssäkringen av simuleringsmodellen. Därmed används föreslagen modell för att definiera problemsituationen: sätta upp modell och projektmål, identifiera önskat resultat, identifiera faktorer att styra samt att sätta avgränsningar och förenklingar (Robinson, 2008).

För att skapa en mer visuell förståelse över hur systemet fungerar samt vilka faktorer som är viktiga skapade projektgruppen en strukturerad tabell. Tabellen innehöll de viktiga faktorerna och gav en tydlighet kring vad som behövde kontrolleras och kompletteras vid insamling av data. Observationer och intervjuer (se kapitel 4 och 5) gav ytterligare möjlighet till detta och ordnandet av informationen gjorde det möjligt att se klarhet och samband i systemet. Arbetet utfördes därmed utifrån den plan Musselman (1994) ger när det kommer till att i en iterativ process, med ”kunden” involverad, göra en verklig formulering av systemet.

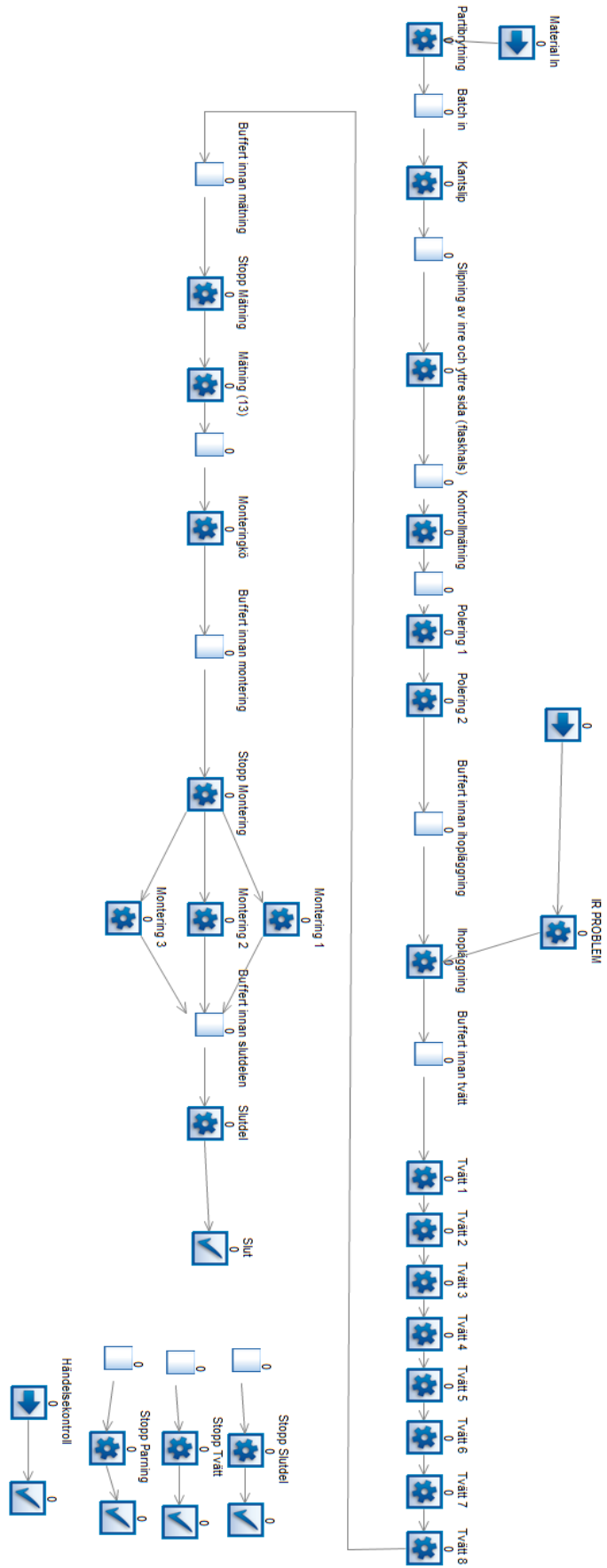
### 6.1.2 Skapande av simuleringsmodell

Genom att använda de definitioner av systemet som angavs av den konceptuella formuleringen tillämpades den logiska bas som redan byggts. Den konceptuella modellen underlättade därmed översättandet till en programspecifik modell och bidrog till en gemensam och genomtänkt sådan. Arbetet delades mellan projektgruppens medlemmar, vilket gav möjlighet till att kontrollera och förbättra modellen genom presentation och förklaring av hur olika saker lösts. Under processen dokumenterades de saker som gjordes i kort form för att skapa tydlighet och transparens i arbetet, vilket enligt Robinson (2008) är en viktig del.

En bild av hela simuleringsmodellen går att se i Figur 6:2. Modellen konstruerades utifrån de förutsättningar som ges av det verkliga systemet (se kapitel 4) och efterliknar därmed dess flöde och utseende till stor utsträckning. Det finns dock en viktig särskilnad i att modellen är en datormässig version av verkligheten, vilket alltså gör att den inte visuellt exakt efterliknar verkligheten. Resultatet är dock likvärdigt och den beter sig helt som avbildad produktionslina, med vissa tillägg i operationer som nödvändiga och endast programmeringstekniska lösningar. Detta följer vad Banks (1998) definierar som syftet och funktionen av en simuleringsmodell.

Till en början skapades ett enkelt flöde med en startpunkt som skickade entiteter (produkter) vidare genom linans aktiviteter och köer till en slutpunkt. Dessa entiteter representerar produkter som definierar egenskaper för hela produktionslinan i form av att bidra med cykeltider, igångsättning av ställ och skapande av linans resultat. Genom att programmera en fördelningsfunktion som slumpvis (se avsnitt 6.2) definierar dessa egenskaper för varje produkt inom ett parti skapas olika förutsättningarna för systemet. Varje aktivitet har alltså en viss cykeltid beroende på vilken produkt som bearbetas, vilket då anges av det parti som för tillfället bearbetas. I enlighet med satta avgränsningar (se avsnitt 1.3) fokuseras modellen på flödet från ytterringarnas startpunkt till slutdelen (se Figur 6:2). Vid det tillfälle då ytterringarna möter innerringarna sker en ihopläggning (Figur 6:2, aktivitet *Ihopläggning*) av en produkt i den sista bufferten på ytterringensidan och en från inneringar (Figur 6:2, aktivitet *IR-problem*). De två produkterna läggs sedan samman och transporteras vidare genom flödet.

Det första modellerade systemet hade endast till uppgift att få produkter igenom linan på ett verklighetstroget sätt, vilket sedan kunde utökas med störningar, fler produktspecifika företeelser och definitioner av arbetsrutiner. Sammantaget ledde detta till den modell (se Figur 6:2) som gav en valid och verifierad representation av verkligheten och därmed kunde simulera olika typer av potentiella förbättringar (se avsnitt 6.4).



Figur 6:2. Simuleringsmodell

### 6.1.3 Programmässiga detaljer

Följande avsnitt kommer ge en överblick för hur arbetet sett ut och motiverar vissa större beslut och arbetssätt. Därmed visas hur en del större problem hanterats och programmerats i modellen och alltså presenteras nedan några programspecifika lösningarna. Alla lösningar presenteras inte, utan endast de som är viktigast för läsaren att förstå behandlas.

#### Hantering av ställtider i modellen

Omställning av ytterringsidan simuleras genom tillägget av en aktivitet (Figur 6:2, aktivitet *partibrytning*) direkt efter startpunkten på ytterringsidan som blockerar inflödet av nya produkter till linan. Varje gång denna aktivitet och efterliggande buffert är tom på produkter utförs ett maskinställ och därefter skickas en fiktiv ny order med en viss partistorlek. Partistorleken är det antal produkter av en viss storlek som tillverkas tillsammans och dessa och har därmed samma cykeltider för samma aktivitet. Vid byte av parti finns två alternativ, antingen produceras en snarlik produkt med ett mindre ställ som följd (se avsnitt 4.3) eller så ska en helt ny produktvariant produceras vilket får ett större ställ som följd. Om endast ett mindre ställ görs kvarstår samma cykeltider, medan nya cykeltider tilldelas vid byte av produktvariant. Vilket av alternativen som ska ske definieras av en slumpfaktor, vilken följer en fördelningsfunktion (se avsnitt 6.2).

#### Möten och tillgänglig tid

För att efterlikna de verkliga förutsättningarna på bästa sätt användes definitionen av tillgänglig tid ur OEE (se avsnitt 2.2.2). Därmed plockades schemalagda möten från början bort och istället för 24 timmar på ett dygn användes 24 timmar minus schemalagda möten vid skiftbyte. Produktionslinans helgskift använde också en typ av schemalagd aktivitet, benämnd *uppstart* och *nedsläckning*, som inte kunde räknas som tillgänglig tid och därmed kodmässigt togs bort.

#### Tvättprocessen

Processen för tvätt sker i åtta steg och maskinen kan ha en produkt i varje steg samtidigt. Eftersom alla stegen sker i samma maskin stängs hela maskinen av även om bara ett av stegen går sönder. Det här simuleras genom att ställa upp åtta stycken efterliggande aktiviteter (Figur 6:2, aktiviteter *Tvätt 1–8*). Störningsdata läggs sedan in på den första aktiviteten av de åtta och när den går sönder går de resterande också sönder. Det här säkerställer att inga produkter lämnar tvätten när störning sker samt en korrekt genomloppstid. Liknande sak upprepas med *polering 1* och *polering 2* då denna maskin på samma sätt har kapacitet för två produkter (se Figur 6:2).

## Manuell kontrollmätning

De undersökningar (se kapitel 4) som gjorts indikerar flera specifika rutiner som uppstår kring den manuella kontrollmätningen och monteringen av lager, vilka därför lades vikt vid att representera korrekt i modellen. Till detta krävdes flera programmässiga tillägg av aktiviteter för att kunna styra vid vilka tillfällen och tider som det var tillåtet att släppa fram nya produkter vid mätningen och sedan montera dem. Vid skiftbyten stoppas mätning (se Figur 6:2, aktivitet *stopp mätning*) för att replikera arbetsrutinen som SKF använder sig av. Det här tillåter bufferten innan monteringen att tömmas vid skiftbytet. Rutiner kring antal monterade per halvtimme behövde också behandlas i modellen (se Figur 6:2, aktivitet *stopp montering*) och dessutom montering partivis (se Figur 6:2, aktivitet *monteringskö*). Skapandet av dessa aktiviteter replikerar SKF:s arbetsrutin och innebär att montering inte sker vid vissa tillfällen och sker partivis i en viss partistorlek. För att inte modellen skulle stå still vid störningar tidigare i linan eller ställ angavs möjligheten att frångå partistorleksreglerna vid montering. Därmed hindras montering och slutdel från att vara inaktiv vid dessa tillfällen, vilket alltså inte skulle representerat verkligt system.

## Hantering av maskinhaverier

Modellens funktioner är beroende av att ha fördelningsfunktioner som representerar hur ofta och med vilken längd olika händelser ska inträffa och aktiviteternas processer utföras (se avsnitt 6.2 för högre detaljgrad). Inmatningen av fördelningsfunktioner för cykeltider, *medeltid för reparation* (eng. *Mean Time To Repair, MTTR*), *medeltid mellan störningar* (eng. *Mean Time Between Failure, MTBF*), ställtider och uppstart/nedsläckning var det första av dessa som gjordes. Störningarna i simuleringsmodellen är definierade i de processer som är rapporterade som orsak till stopp medan rapporterade störningar i produktionslinan enbart anger tiden de påverkat flaskhalsen. För modellen innebär detta att tiden som processen är ur funktion måste förlängas då arbetsrutinerna kring störningsrapportering skiljer sig vid produktionslinan. Ett stopp förflyttas med en viss tid från flaskhalsen (rapporterad stopptid) till orsakande maskin (simulerad stopptid) för att flaskhalsen ska blockeras den tid som är rapporterad. Det här löses genom att räkna antalet lediga platser som finns mellan flaskhalsen och processen som störningen uppstår i. Antalet lediga platser multipliceras sedan med cykeltiden för flaskhalsen för att räkna ut hur lång tid utöver störningen som processen ska vara sönder, en tillämpning av Little's Lag (se avsnitt 2.2.3). De processer som påverkas av detta är slutdel, tvätt och ihopläggning och för dessa processer skapas varsitt programmässigt system (stopp slutdel, stopp tvätt och stopp ihopläggning) som ligger parallellt linan och används för att definiera längden på ett stopp.

## **Hantering av konsekvenser från händelsestyrd programmering**

Vissa konsekvenser i hur programmeringen utförs kan kopplas direkt till val av simuleringsmetod. Då simuleringsprogrammet är händelsestyrt, det vill säga programmet uppdateras endast då något sker, var det nödvändigt att göra ett tillägg av en aktivitet som producerar händelser var 30:e sekund (helt friställda linan och utan påverkan på övriga delar). Det här garanterade att alla händelser utförs vid rätt tidpunkt och inte väntar på att något övrigt ska inträffa i modellen. Försök visade att tidsintervallet var tillräckligt frekvent för att inte några händelser skulle missas och ingen påverkan på slutresultatet uppvisades vid mer frekventa händelser.

## **6.2 Datainsamling och hantering**

För att kunna utföra en simulering behövs data gällande bland annat störningar och cykeltider från linan. Enligt Per Medbo blir resultatet av en simuleringsstudie bäst om företaget som studeras använder sig av simulering som analysverktyg. Detta eftersom registerdata och annan tillgänglig data då ofta har samlats in med avsikt för att kunna användas vid simulering. Produktionslinan använder sig dock inte av simulering, vilket påverkar tillgängligheten av data i register. Datahantering behöver även genomföras för att sedan kunna översätta data till fördelningsfunktioner som är nödvändiga för simuleringen. Fördelningsfunktioner används för att på ett statistiskt sätt kunna efterlikna verkligheten med funktioner som följer frekvensen på variabelers värden (Banks, et al., 2001). Banks et al. (2001) hävdar vidare vikten av göra en noggrann och genomgående datainsamling och hantering då detta till stor del definierar utkomsten av modellen.

Data hämtades från SKF:s databas, grupperad i huvudkategori, som ger en övergripande beskrivning av vilken typ av störning det är. Därefter delas de in i subkategorier, vilka ger en specificering av störningen. Exempelvis kan huvudkoden vara haveri och subkategorin beskriva vilken maskin som är nere och varför. Varje störning har även ett kommentarfält där det går att utläsa ännu mer information om störningen. Rapportering sker endast om flaskhalsen påverkas av störningen, vilket betyder att ett stopp i slutdelen måste pågå till dess att hela linan fylls och blockerar flaskhalsen. Den störningstid som sedan rapporteras in i databasen är den tid som flaskhalsen varit blockerad. All data som simuleringen baserats på kommer från helåret 2016 då det ansågs nödvändigt för att kunna få en riktig representation av systemet som inte har påverkats av affärssystembytet. Undantaget från detta var data som användes för att jämföra ställtiden med lagertyp, vilken erhöles direkt från driftchef på SKF, från 2013. Det har bekräftats av driftchefen att produktionslinan inte har varit med om några större förändringar mellan 2013 och 2016 vilket betyder att data från 2013 är likvärdiga data från 2016.

## 6.2.1 Sortering och hantering av insamlade data

Det första som gjordes var att sortera bort det som inte skulle tas med vid simulering, utifrån avgränsningar (se avsnitt 1.3) och teoretiska definitioner av ingående komponenter (se framförallt avsnitt 2.2). Även extremvärden som finns inom varje subkategori sorterades bort från simuleringen. Det här görs för att få bort de händelser som sker mycket sällan och som inte kan ses som normala händelser (Aggarwal, 2013). Borttagningen motiveras av tillhörande anteckningar från operatörerna som anger avvikande anledningar till förekomsten. För att inte klassas som ett extremvärde måste värdet ligga inom ett intervall som går att utläsa från ekvationen nedan. De värden som inte är inom detta intervall sällas bort.

*Intervall = subkategorins medelvärde  $\pm$  3 \* subkategorins standardavvikelse*

(Aggarwal, 2013)

För störningar som påverkar samma maskin och är möjliga att kombinera görs detta för att få ett större urval att basera skapandet av fördelningsfunktioner på. Särskilt vid störningar med låg frekvens gav detta goda resultat. De störningar som då slås samman är av likartad karaktär (ett egen-definierat krav), exempelvis slås en maskins olika verktygsbyten ihop. Vissa subkategorier tas även bort helt då de inte ingår i projektet eller är störningar som ligger utanför produktionens tillgängliga tid. För denna studie är detta möjligt då syftet (se avsnitt 1.2) inte är att förebygga eller analysera specifika typer av störningar, vilket inte gör en fin uppdelning nödvändig.

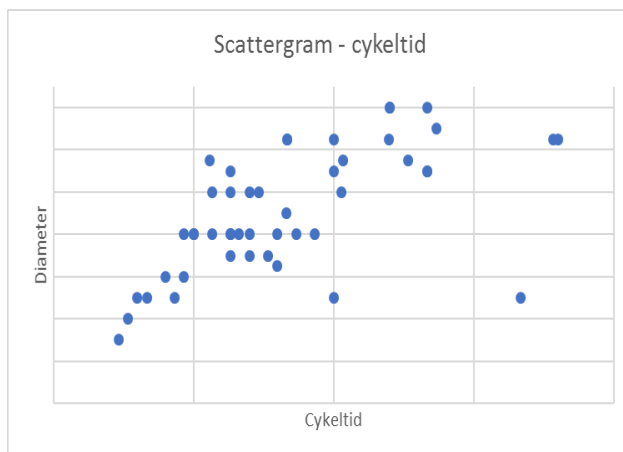
I samband med ovan nämnda hantering av störningar görs ytterligare krav på lågfrekventa störningar. Då det finns ett behov av att störningarna är vanliga för att det ska vara värt att planera och förändra produktionssystemet. Kravet som ställdes för att ta med störningen i simuleringen var en frekvens på minst tolv gånger per år. Om en störning inte nådde upp till detta krav rensades hela störningen bort. Frekvensen som valdes ansågs lämplig av SKF för att erhålla tillräckligt noggranna resultat från simuleringsmodellen.

Det uppmärksammades även att vissa störningar överlappade varandra. Vid dessa fall slogs störningarna ihop till en stor störning och MTTR för de överlappande störningarna blev då tiden mellan den första störningens start till den sista störningens slut. Genom detta förfarande blev MTTR mer korrekta då det visar längden som processen faktiskt ligger nere innan den startar igen. Det här gav även MTBF en mer korrekt fördelning eftersom att tiden nu beräknas som den tid då processen är igång mellan störningarna.

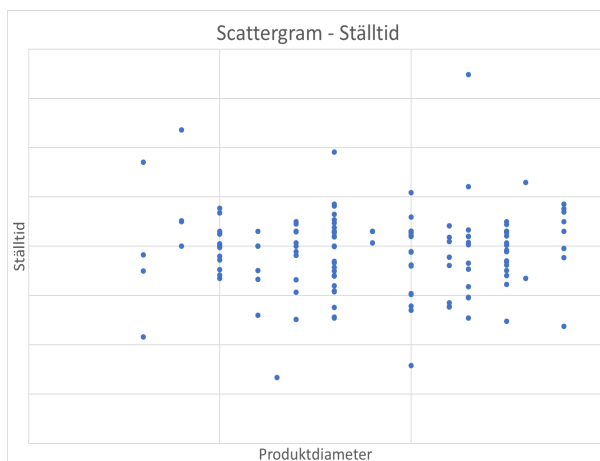
## 6.2.2 Analys av inhämtade data

För att kunna göra vissa antaganden gjordes en närmare analys på data, där sambandsdiagram (eng. *scattergram*) användes som metod. Dessa diagram görs genom att ställa upp två variabler mot varandra vilket ger en uppfattning om det finns eventuella samband i data (Banks, et al., 2001). Diagrammen möjliggör på så sätt att samband kan observeras mellan de två variablerna, antingen i hela eller delar av intervallet. Analysen

utfördes exempelvis för att undersöka om det fanns samband mellan lagrens diameter och tre andra variabler (var för sig): cykeltiden för slipning av inner- och yttersida (se Figur 6:3), partistorleken och ställtiden (se Figur 6:4). Bedömningen av sambandsdiagrammet görs subjektivt, där uppvisning av tendenser till linjebildning anses visa ett samband, vid oberoende sker en slumpvis spridning (eng. *scatter*) (Banks, et al., 2001). Om det bedöms finnas samband måste sambandet programmeras in i simuleringsmodellen för att den ska kunna representera verkligheten.



Figur 6:3 Sambandsdiagram för jämförelse av cykeltid med produkt diameter. Diagrammet uppvisar tendenser till samband



Figur 6:4 Sambandsdiagram som jämför ställtid och produkt diameter. Uppvisar inget samband mellan faktorerna

Utifrån sambandsdiagrammen observerades ett förväntat samband mellan diametern och cykeltiden för flaskhalsen. Däremot bedömdes det inte finnas något samband mellan diametern och partistorleken eller diametern och ställtiden. Då det endast fanns ett samband går det i simuleringsmodellen att hantera de olika produktvarianterna genom att slumpa fram alla värden för varianterna, partistorlek, antal varianter och cykeltid.

De olika cykeltiderna för processerna studerades i detalj för att kunna definiera tiderna för varje process korrekt. Sambandsdiagram togs fram för monteringsledningarna från tidsstudien och visade här upp ett linjärt mönster då operatörerna monterade olika fort relativt varandra. För att kunna få en rättvisande fördelning på monteringsledningen jämnades tiderna ut. Detta gjordes genom att beräkna en specifik utjämningsfaktor för varje operatör och sedan multiplicera operatörens monteringsledning med för operatören beräknad faktor. Faktorn togs fram genom att dividera varje operatörs medeltid med den totala medeltiden för alla operatörer som studerades. Detta gjordes för att kunna jämföra alla operatörer mot ett medelvärde. Efter denna korrigering blev fördelningen jämnare och mer representativ.

Enda processen på yttersidan som blev tilldelad cykeltid från inhämtade data var slipning av inner- och yttersida, alltså flaskhalsen. Poleringsprocessen blev tilldelad en cykeltid som sattes till 91,7 procent av cykeltiden för slipen av ytter- och innersida. Faktorn är ett medelvärde som räknats ut från registerdata, där den representerar genomsnittlig andel av flaskhalsens cykeltid som poleringsprocessens cykeltid står för. Det här gjordes dels på grund av att det saknades data angående cykeltiderna för dessa maskiner samt att det från intervjuer med kontaktpersoner på SKF och stickprov har framkommit att de övriga processerna har kortare cykeltid. Övriga maskiner i yttersidan som observerades ha ännu kortare cykeltid sattes på samma sätt till 70 procent av flaskhalsens, vilket ansågs giltigt av operatör och produktionstekniker samt stämde med observation.

### **6.2.3 Generering av fördelningsfunktioner**

När sortering och analys färdigställd kunde fördelningsfunktioner tas fram för störningarna och cykeltider. För att göra det här användes datorprogrammet StatFit. Programmet bearbetar och anpassar ingående data till olika fördelningsfunktioner och rankar dem baserat på två olika tester som bedömer hur bra en fördelningsfunktion stämmer överens med indata. Testerna tar fram ett P-värde, det vill säga en grad på hur bra fördelningsfunktionen är, där högsta möjliga P-värde eftersträvas.

Simuleringsprogramvaran som använts accepterar inte alla typer av fördelningsfunktioner, vilket påverkat valet av funktion. Fördelningsfunktionen kontrolleras även genom att göra en subjektiv bedömning av dess utseende och avvikelse mot indata. För en del processer var översättningen till fördelningsfunktioner ej tillräckligt bra i ett första skede. Gällande dessa kurvor togs en av de bättre fördelningsfunktionerna ut och användes för att slumpa fram nya värden som jämfördes med data från registerdata. Följde värdena en liknande fördelning beslutades att använda fördelningen ändå.

## 6.3 Kvalitetssäkring av simuleringsmodell

Valideringen och verifieringen har skett iterativt under projektets gång för att säkerställa trovärdighet, riktighet och tydlighet. Att uppnå dessa faktorer är viktigt för att kunna kvalitetssäkra resultaten och även för att kunna utföra förbättringar och justeringar (Robinson, 2008). Genomgående har modellerandet utvärderats mot förenklingar, avgränsningar och uppdrag vilket enligt Musselman (1994) leder till att slutresultaten hålls nära verkligheten. Även vissa faktorer i faktorförsöken har varit en del av säkerställandet i huruvida modellens kvalitet och resultat är valida (se avsnitt 6.4.2). En sista del av kvalitetssäkringen är att bedöma hur de slumpmässiga felet ska hanteras samt hur lång *uppvärmningstiden* för modellen ska vara.

### 6.3.1 Validering och verifiering av simuleringsmodell och data

Kvalitetssäkring av modellen görs tydligast på två sätt: verifiering och validering. Verifiering görs för att säkerställa att modellen är programmerad på rätt sätt och fungerar som det är tänkt (Banks, 1998). Vidare sker validering av data och simuleringsmodell för att säkerställa att data är tolkats rätt samt att modellen är programmerad på ett sätt som speglar verkligheten.

Vid verifiering har stora fördelar funnits med att reflektera över valda simuleringsförfarande, som kodning och definition av variabler, inom den del av projektgruppen som utfört simuleringen. Dessutom har kontrollkörningar gjorts som hel projektgrupp, för att säkerställa valid modell, då en granskning av flera personer i högre grad åstadkommer detta (Banks, 1998). Validering genomfördes framförallt i två möten med SKF och där resultatet av valideringen ledde till vissa justeringar, men framförallt gav god trovärdighet för modellen. Utöver detta har direktobservationer och intervjuer (se kapitel 3) gett möjlighet att upprepande diskutera systemet med operatörer och observera verkligheten.

Genom samtal med systemkunniga, ett flertal stickprover samt tidtagning utförda vid olika tidpunkter har data kunnat valideras på ett utförligt sätt (se avsnitt 3.1.2). Säkerställande av datahanteringens och datainsamlingens riktighet har utgått från Banks et al. (2001) principer och har förutom samtal bland annat inneburit att kontrollera trovärdigheten redan vid insamlingspunkten. Den data som erhöles av datorsystemet på produktionslinan har kommit från två olika tidsperioder (2013 och 2016), men anses trots det vara valid enligt kontaktpersoner på SKF som angett att inga förändringar har skett under denna tidsperiod.

Validering av modellens riktighet gjordes även i jämförelse med det verkliga systemets produktion för året 2016. Modellen överensstämmer ej med den faktiska produktionen utan ligger något högre. Den ansågs ändå valid, både av projektgruppen och anställda på SKF som har god kunskap om den verkliga produktionslinan. Dessutom följer producerat antal de ramar och mål som finns definierade för avdelning i vad som är möjlig produktionskapacitet, vilket gjort att resultatet setts som trovärdigt. Då jämförelse därmed

inte kunnat göras direkt blir det starkaste redovisningsmålet relativa förändringar och hur olika förbättringsåtgärder påverkar systemet. Resultatet från modellen anses därmed sammantaget återspegla verkligheten.

### **6.3.2 Förenklingar av modell**

Avväganden har gjorts för att enligt Robinsons (2008) rekommendationer möta krav både gällande enkelhet och tydlighet samt trovärdighet, genom att inkludera vissa saker snarare än exkludera. I motsatt riktning har förenklingar gjorts för att underlätta simuleringsförfarandet och prioritera användbarhet, flexibilitet och snabbhet i simuleringen och exekveringen av faktor försöken. Därmed har exempelvis innerringarnas produktionsdel exkluderats, vilket också avgränsat modellen och gjort det enklare att få inblick i övriga delar.

Vid vissa osäkra fall gjordes först antaganden gällande verkligt system för att kunna skapa en hel och funktionell modell. I enlighet med Robinsons (2008) definitioner ska de antingen justeras eller kvarstå som förenklingar av studerade företeelser och riktigheter. Robinsons (2008) fortsatta resonemang ger denna upprepande process goda betyg och möjlighet till att skapa en väl överensstämmande modell, vilket kunde observeras vara sant. Musselman (1994) hävdar att det är av vikt att slutligen se över antaganden och förenklingar, med fördel tillsammans med kund, vilket återges under avsnitt 6.3.1.

Innerringarnas produktion förenklas i modellen genom att endast ha en aktivitet där alla störningar för den finns medräknade. Aktiviteten har inte någon cykeltid utan fungerar endast som ett stopp när det sker en störning i innerringssidan. Det här görs med anledning av att innerringsidan har kortare cykeltider och ställtider relativt ytterringsidan samt att innerringarna har en stor buffert innan ihopläggnings, vilket betyder att innerringsidan alltid kommer ha produkter redo för ihopläggning förutom vid störningar. Då data angående slutdelen enbart finns på aggregerad nivå för hela slutdelen simulerar modellen det som en aktivitet. Genom att sätta cykeltiden för aktiviteten till slutdelens längsta cykeltid ges en förståelse för hur snabbt slutdelen kan arbeta ner föregående buffert. En annan anledning till beslutet om att simulera det som en aktivitet är att fokus i projektet ligger på tidigare operationer i produktionsflödet.

För det verkliga systemet uppgår antalet produktvarianter till över 60 stycken. Dessa har genom sambandskontroller (se avsnitt 6.2.2) kunnat förenklas till att endast representeras av olika cykeltider och kortare variantställ för olika produktvarianter. Verkliga systemet har viss skillnad mellan hur variantställ fördelar sig, där olika varianter uppvisar vissa trender i ställtid som skiljer sig lite. Fördelningen för dessa följer den fördelningsfunktion som används i simuleringsmodellen, med den skillnad att ställen där samlats i en enda fördelning.

### 6.3.3 Hantering av slumpmässiga fel

En viktig aspekt i simuleringsstudie är att det finns ett slumpmässigt fel, till följd av att simulering bygger på fördelningsfunktioner med slumpmässigt beteende. För att kunna säga något om resultatet från simulering behövs därför *kritiska gränser*. De kritiska gränserna innebär att resultat som hamnar mellan gränserna inte är statistiskt säkerställda, alltså att de beror på slumpen.

Det är två centrala komponenter som påverkar storleken på intervallet. Den första är antal *replikat* (antal gånger simuleringsmodellen körs för varje delförsök) och den andra är hur stor variationen mellan replikaten är. För att minska intervallet går det att antingen öka antalet replikat eller att köra längre körningar för att minska påverkan av slumpmässiga skillnader mellan replikaten. Det är också viktigt att bestämma hur noggrant resultatet ska vara och med vilken konfidensgrad som används. I arbetet har faktorn satts till 95 procentigt konfidensintervall. Kritiska gränser beräknas enligt följande ekvationer (Olausson, 1992):

$$K_1 = -T * \text{effekternas medelfel}$$

$$K_2 = T * \text{effekternas medelfel}$$

$$\text{Effekternas medelfel} = \frac{2 * \text{försöksfelet}}{\sqrt{\text{faktorer}^2 * \text{antal replikat}}}$$

$$T = T_{inv}(\text{konfidensintervall}, \text{frihetsgrader})$$

$T_{inv}$ , t-invers, är en funktion i Excel som beräknar t-värdet för konfidensintervall och frihetsgrader. T-värde är ett värde som fås från en statistisk fördelning som behövs gör att beräkna kritiska gränser.

$$\text{Frihetsgrader} = \text{faktorer}^2 * (\text{antal replikat} - 1)$$

$$\text{Försöksfelet} = \sqrt{\frac{(\text{antal replikat}-1)(\text{summan av försökens varians})}{(\text{antal replikat}-1)(\text{antal försök})}}$$

Simuleringskörningarna har varit på tio gånger frekvensen av den störning med lägst frekvens, vilket innebär en simulerings tid på tio månader. Efter det här villkoret anpassades den andra variabeln, antal replikat, till ett värde för att få önskvärd storlek på de kritiska gränserna. Målet för de kritiska gränserna var en förändring i output per tidsenhet på mindre än en procent. För att uppfylla kravet för kritiska gränser sattes antal replikat till tio stycken.

En annan faktor som kan påverka resultatet är valet av *uppvärmningstid*, vilket är tiden som modellen körs innan data börjar samlas in. Längden på uppvärmningstid kan vara av

intresse om systemet är tomt i början av en körning eller inte. Eftersom systemet töms relativt frekvent, till följd av en lång ställtid, förväntas en liten påverkan av uppvärmningstiden. En analys av hur uppvärmningstiden påverkar systemet för modellen presenteras i Tabell 6:1. Till följd av att systemet har långa och frekventa stopp är det svårt att ansätta ett värde som gör modellen mer representativ för det verkliga systemet. Det syns också att modellen inte påverkas i särskilt stor utsträckning och därför används ingen uppvärmningstid i vidare simuleringsarbete.

Tabell 6:1 Exempel på outputökning med uppvärmningstid

Uppvärmningstid	Output med uppvärmningstid
5000 minuter	+ 0,24%
1000 minuter	+ 0,2%

## 6.4 Användning av simuleringsmodellen

Avsnittet inleds med en presentation av vad ett faktorförsök är samt olika sätt att genomföra ett försök på, antingen med en-faktor-i-taget eller försök då samverkan mellan olika faktorer undersöks. För att minska antalet simuleringskörningar samt för att öka överskådligheten av resultaten har modellen använts till att genomföra tre olika faktorförsök samt ett flertal en-faktor-i-taget-försök. Avsnittet presenterar sedan en beskrivning av de olika faktorerna som beskrivs i kapitel 5 och därefter redogörs genomförandet av försöken. I samband med beskrivningen av faktorförsöken och en-faktor-i-taget-försöken presenteras och analyseras även resultaten.

### 6.4.1 Faktorförsök

För att undersöka hur systemet påverkas av förändringar i produktionssystemet genomfördes *faktorförsök* med anledning att få fram *effekter* (en förändring i den resultatvariabel som undersöks). Projektets resultatvariabel definierades som output per tidsenhet och därmed baserades effekterna på förhållandet mellan output från ursprungsläge, alltså output från modellen utan förändringar, och output då förändringar har gjorts.

Enligt Bergman och Klefsjö (2012) finns det två olika sätt att genomföra ett faktorförsök. Den första metoden är en-faktor-i-taget-försök, där till exempel buffertstorleken för en specifik buffert testas med mål att komma fram till ett optimum. En stor nackdel med den här metoden är att eventuella *samspelseffekter* (hur faktorer samverkar med varandra) inte syns. För att motverka risken för det genomfördes faktorförsök på två nivåer, vilket rekommenderas av Bergman och Klefsjö (2012). Vid faktorförsök på två nivåer bestäms en låg respektive en hög nivå för alla  $n$  stycken faktorer. De olika nivåerna kombineras

med de olika faktorerna, det resulterar i  $2^n$  olika delförsök. I studien testas fyra stycken faktorer: minsta tillåtna partistorlek, utökad buffertkapacitet, kontinuerlig montering och ställtidsreducering. Det blir alltså 16 olika delförsök och dessa beskrivs mer utförligt i nästa avsnitt. Studien genomför tre olika faktorförsök och även ett antal en-faktor-i-taget-försök.

Logiken bakom effektframtagning från ett faktorförsök följer det Bergman och Klefsjö (2012) föreslår. Genom att summera ihop medelvärden från varje delförsök och beräkna de delresultat där den undersökta faktorn var på låg nivå och dividera summan med  $n/2$  fås ett resultat, alltså effekt. Effekten är ett värde på hur output per tidsenhet förändras jämfört med nuläget.

### **6.4.2 Beskrivning av faktorer för faktorförsök 1–3**

I detta avsnitt presenteras och beskrivs de olika faktorer som användes i faktorförsöken. De faktorer som testades är de som framkom från intervjuerna och observationer, vilket beskrivs i föregående kapitel (kapitel 5). Nedan presenteras vilka nivåer som faktorerna har modellerats med samt motivering till varför dessa nivåer har valts. För att genomföra känslighetsanalys över monteringstiderna, som beskrevs i avsnitt 3.1.2, testades även en faktor där monteringstiden förlängs. Efter avstämning med SKF höjdes nivåerna till betydligt högre värden, detta för att se vad effekterna blev av en-faktor-i-taget-försök, vilket presenteras närmare i avsnitt 6.4.4.

#### **Utökad buffertkapacitet**

För försöken med förändringar i buffertkapacitet används två olika metoder för att bestämma inställningar, det vill säga nivån. I faktorförsöken är syftet att se hur en ökning av buffertkapaciteten kan öka output per tidsenhet och det är främst tänkt att minska antalet blockeringar från flaskhalsen samt längden på de blockeringar som trots ökning av buffertkapaciteten uppstår. Tanken är att en utökad buffertkapacitet möjliggör produktion även om processer nedströms ligger nere, men i största möjliga mån ska den vara tom.

Första faktorförsöket utfördes med fokus på buffertkapacitet och syftet var då att få en bild över hur stor effekten blev av att för tre olika buffertar öka buffertkapaciteten till 100 produkter. Buffertarna som berördes är de upp- och nedströms ihopläggning samt den uppströms mätning (se Figur 6:2). Anledningen till att kapaciteten på 100 stycken valdes var att det anses rimligt att kunna utöka buffertkapaciteten på de befintliga platserna, sett till tillgängliga ytor i produktionslinan.

#### **Kontinuerlig montering**

Efter beräkningar med hjälp av sambanden mellan antalet produkter som mäts och skickas vidare en gång i halvtimmen (se avsnitt 4.4) och genomloppstiden för att producera dessa produkter, gick det att visa att när cykeltiden i flaskhalsen var kortare än  $t$  sekunder, blev montering systemets flaskhals. Därför valdes en av faktorerna till att se vilken effekt det gav att införa kontinuerlig montering. Med kontinuerlig montering menas att

begränsningen på antalet produkter som ska mätas och skickas vidare en gång i halvtimmen tas bort och mätning sker när det finns en produkt i kön till mätning.

### **Ställtidsreducering**

Försöket med denna faktor gick ut på att simulera vilken betydelse en reducereing av ställtiden hade för systemet. Det simulerades genom att alla ställtider reducerades med 10 procent på de långa och ofta förekommande ställen som är en stor störningsfaktor (se avsnitt 4.3.4). Storleken bestämdes efter vad som ansågs rimligt att implementera inom ett kortare tidsperspektiv. Syftet med faktorn var att kunna relatera effekten av att utöka buffertkapaciteten med en annan åtgärd.

### **Minsta tillåtna partistorlek**

Genom att ange minsta tillåten partistorlek som får produceras förväntas det totala antalet ställ minska över en längre tidsperiod. Detta gjordes genom att använda ursprunglig fördelningsfunktion för partistorleken, men med begränsningen att det inte går att generera ett värde på mindre än en timmes produktion. Skulle fördelningen ge ett värde på färre antal än begränsningen ökas partistorleken till vad som motsvarar en timmes produktion, vilket följer logiken att SKF kör ett större parti och lägger de extra produkterna på ett färdigvarulager. Antalet som har valts som lägsta gräns är vad flaskhalsen har kapacitet att producera under en timme. Det påverkar i det nuvarande systemet tolv procent av alla order och förväntas öka output per tidsenhet.

### **Förlängd monterings tid**

Då den insamling av data som gjordes för monterings tider inte utfördes för produktvarianter medför det att insamlingen inte är komplett och det finns därför ett intresse av att se hur modellen hanterar längre cykeltider. Detta för att kunna hantera eventuella brister i de satta monterings tiderna. Därför jämfördes faktorn med att förlänga alla monterings tider med 20 procent, vilket betyder att även variationen ökar i montering. Resultatet bör visa på om output per tidsenhet beror på monterings tidernas längd.

## **6.4.3 Analys och resultat av faktor försök 1–3**

Nedan följer analys och resultat för de simuleringskörningar som utförts i faktor försök 1–3, vilka var de som stämde av med SKF. Faktor försöken behandlar de olika faktorerna som tidigare presenterats. Dessa testas i simuleringsmodellen enligt principen faktor försök, vilket innebär att samspelseffekter kan studeras. Tillsammans ger dessa tester en genomgång av hur faktorerna påverkar varandra samt systemet, vilket fungerar som underlag för kommande fördjupning.

### **Faktor försök 1**

I faktor försök 1 testades faktorerna: förlängd monterings tid, kontinuerlig montering, minsta tillåtna partistorlek och utökad buffertkapacitet (se Tabell 6:2). Buffertkapaciteten utökades till 100 stycken uppströms processerna ihopläggning, tvätt, samt mätning, vilket alltså ger totalt 300 platser i tillgänglig kapacitet. Anledningen till faktor försöket var att

det fanns intresse av att undersöka hur införandet av utökad buffertkapacitet i samband med de andra faktorerna påverkade produktionslinans output per tidsenhet. Hade faktorerna testats var för sig finns det en stor risk att effekterna av införandet av två faktorer hade varit missvisande då de inte tar samspelseffekter i beaktande.

Tabell 6:2 Beskrivning av faktorernas nivåer i faktorförsök 1

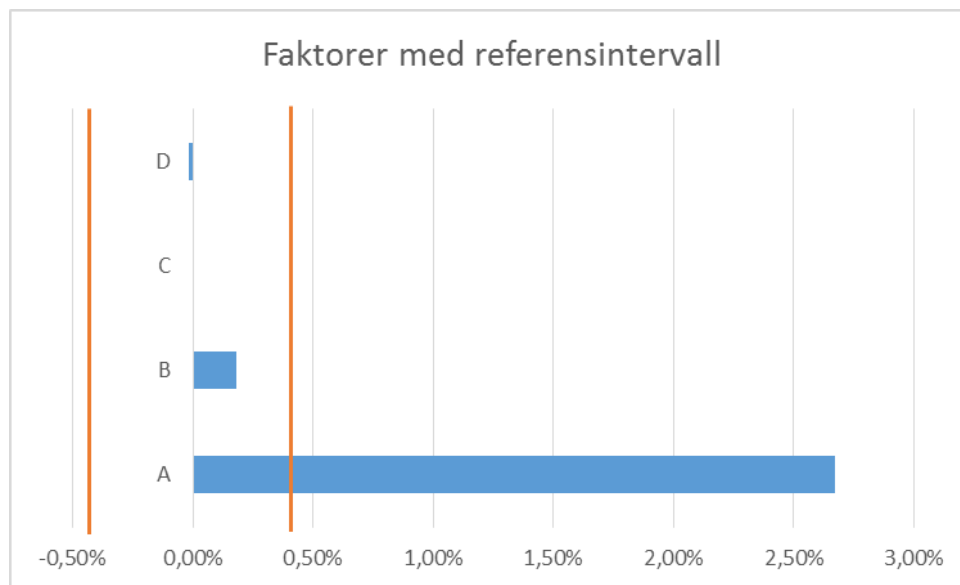
Faktorförsök 1	
<b>A</b>	Buffert ökas till 100 stycken (placering av buffert: uppströms processerna ihopläggning, tvätt och mätning)
<b>B</b>	Minsta tillåten partistorlek (50 stycken)
<b>C</b>	Kontinuerlig montering
<b>D</b>	Känslighetsanalys med 20% längre monterings tid

De effekter som simuleringen för faktorförsök 1 resulterade i presenteras i Tabell 6:3. Den största effekten kommer från delförsök A där den totala outputen per tidsenhet ökar med 2,7 procent. Monteringstillägget (delförsök D) ger en negativ effekt, vilket innebär att en längre monterings tid påverkar outputen negativt. Ökning av minsta tillåtna partistorlek (Faktor B) ger en positiv effekt på outputen. Samspelseffekterna är små, vilket tyder på att faktorerna är oberoende.

Tabell 6:3 Effekterna för de olika faktorerna och samspelseffekterna från faktorförsök 1

Faktor	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC
Effekt	2,67%	0,18%	0,01%	-0,02%	-0,10%	-0,01%	0,02%	0,01%
Faktor	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD	
Effekt	0,00%	0,01%	-0,01%	0,00%	-0,01%	0,00%	0,00%	

I Figur 6:5 tydliggörs vilka effekter som ligger utanför det slumpmässiga felet. Det är de faktorer som sägs vara statistiskt säkerställda. I det första faktorförsöket är det enbart faktor A som är aktiv och det visar på att en buffert med kapacitet på 100 stycken uppströms till processerna ihopläggning, tvätt samt mätning ökar output med 2,7 procent. Ett annat viktigt resultat är att när monterings tiden förlängs med 20 procent (faktor D) finns det ingen säkerställd skillnad. Detta betyder att den osäkerhetsfaktorn som fanns angående att montörerna skulle arbetat snabbare till följd av att någon mätte deras arbetsinsats inte påverkar resultatet.



Figur 6:5 Resultat av hur faktorerna (A) ökning av buffertstorlek, (B) ökning av minsta partistorlek, (C) kontinuerlig montering och (D) ökning av monteringsid förhåller sig till referensintervallet

## Faktorförsök 2

Det andra faktorförsöket är en utökning av faktorförsök 1 då det fanns ytterligare behov av att undersöka den utökade buffertkapacitetens storlek och placering. Resultatet från faktorförsök 1 visade att det inte blev någon effektökning för en utökad buffertkapacitet innan mätning men att buffertkapaciteten uppströms ihopläggnings utnyttjades betydligt mycket mindre än buffertkapaciteten nedströms. Fördelningen mellan dessa två placeringar var 10 respektive 90 procent. Tanken var att samtliga tre placeringar skulle analyseras i det andra faktorförsöket, men eftersom tidigare resultat visade att befintliga bufferten innan mätning (se Figur 5:1) aldrig överskreds togs faktorn bort från faktorförsöket. Ökningen av buffertkapacitet delades därför upp på resterande två placeringar efter den procentuella uppdelningen från faktorförsök 1. Uppdelningen blev därför en ökning av kapaciteten uppströms ihopläggnings med 16 stycken platser samt en ökning av kapaciteten nedströms med 133 stycken platser, värdena har avrundats nedåt till närmsta heltal (se Tabell 6:4).

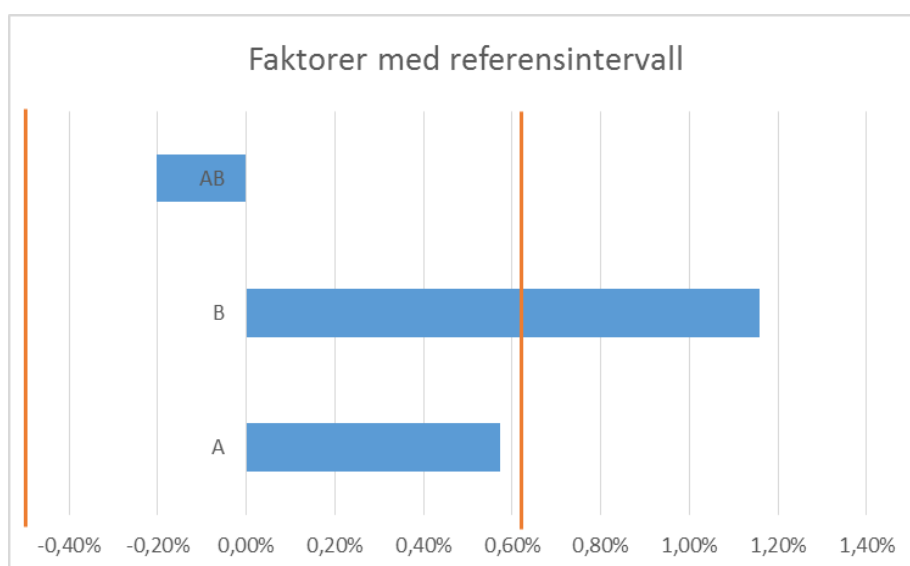
Tabell 6:4 Beskrivning av nivåer i faktorförsök 2

Placering	Buffertkapacitet
<b>A) Upströms ihopläggning</b>	16 stycken
<b>B) Upströms tvätt</b>	133 stycken

Resultaten för faktor försök 2 visas nedan i Tabell 6:5 och visar på att det är bättre att placera en stor buffert uppströms tvätten jämfört med att placera en mindre buffert uppströms ihopläggningsen. Samspelseffekten för faktorerna är negativ som en följd av att en del av nyttan finns i båda buffertarna, det vill säga effekten är ett snitt av två faktorer. Resultatet från faktor försöket visar på att det enbart är faktorn B som är aktiv, det vill säga utanför det slumpmässiga felet (se Figur 6:6).

Tabell 6:5 Huvudeffekter och samspelseffekter från faktor försök 2

Delförsök	A	B	AB
Effekt	0,57%	1,16%	-0,20%



Figur 6:6 Resultat av hur effekterna (A) buffertkapacitetsökning uppströms ihopläggning, (B) buffertkapacitetsökning nedströms ihopläggning och samspelseffekten (AB) förhåller sig till referensintervallet

### Faktor försök 3

Efter de första faktor försöken gjordes ett tredje faktor försök innehållande tre faktorer. Dessa faktorer var ställtidsreduktion, minsta partistorlek och kontinuerlig montering (se Tabell 6:6). Försöket gjordes för att se vad de alternativ som inte berörde utökad buffertkapacitet skulle ge för effekter samt för att kunna presentera ett jämförelsevärde.

Tabell 6:6 Beskrivning av faktorernas nivåer i faktor försök 3

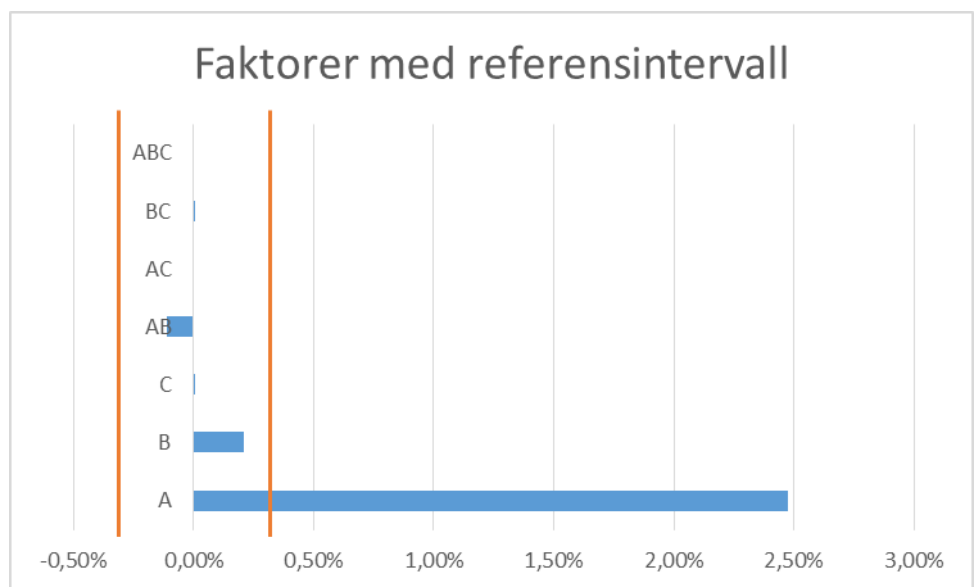
Faktor försök 3	
A	Reducering av ställtiden med 10%
B	Minsta tillåten partistorlek (50 stycken)
C	Kontinuerlig montering

Resultatet av effekterna i faktorförsök 3 presenteras i Tabell 6:7. Reducering av ställtid (faktor A) ger ett positivt resultat. I modellen är ställtiden cirka 30 procent av tiden och en tio procents minskning av detta bör leda till en ökning av tillgänglig tid med tre procent, vilket visar på att effekten är rimlig. Resultatet för faktor B, ändring av den minsta tillåtna partistorleken, skiljer sig marginellt från faktorförsök 1. Samspelseffekten mellan faktor A och B, det vill säga att ställtiden reduceras med tio procent samt att den minsta partistorleken ändras, är negativ vilket tyder på att en del av faktorerna A och B är beroende av varandra.

Tabell 6:7 Huvudeffekterna och samspelseffekter från faktorförsök 3

Delförsök	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Effekt	2,48%	0,21%	0,01%	-0,11%	0,00%	0,01%	0,00%

I Figur 6:7 går det att avläsa att det enbart är ställtidsreduktion som är utanför det slumpmässiga felet och att effekten är 2,5 procent. När det däremot kommer till minsta partistorlek och kontinuerlig montering går det inte att säga något om dessa då de ligger inom det slumpmässiga felet.



Figur 6:7 Resultat av hur faktorerna (A) ställtidsreducering, (B) ökning av minsta partistorlek, (C) kontinuerlig montering och samspelseffekterna (AB, AC, BC och ABC) förhåller sig till referensintervallet

#### **6.4.4 Fördjupad analys av ställtidsreduktion, partistorlek, buffertkapacitet**

Under avstämning med SKF diskuterades resultaten från faktor försök 1–3 och SKF uttryckte då en önskan om att se hur effekterna skulle bli om de testade faktorerna hade satts till högre nivåer. Faktorerna som SKF ville ha undersökta var minsta tillåtna partistorlek, ställtidsreducering samt utökad buffertkapacitet i tre stycken en-faktor-i-taget-försök. Vid avstämningen framgick det att data inte varit helt komplett gällande oregistrerade produktionsstopp (se avsnitt 3.3). Samtliga försök för faktorerna kördes i två versioner av simuleringsmodellen, en reviderad modell där oregistrerade data för produktionsstopp var modellerat samt i modellen från faktor försök 1–3 där data inte var tillgänglig. Resultaten presenteras inom ett intervall för att inkludera eventuella förändringar mellan de två olika tidsperioderna som data kommer ifrån.

De tre testerna utfördes med faktornivåer som ökades stegvis från nivån i de ursprungliga försöken, det vill säga faktor försök 1–3. Faktorerna som testades är som nämnts ovan minsta tillåtna partistorlek, utökad buffertkapacitet och ställtidsreduktion. Faktorerna kontinuerlig montering och förlängd monteringstid testades inte i den reviderade modellen eftersom de inte påverkas av de oregistrerade stoppen. Detta då montörerna har lika mycket tid tillgängligt som i modellen utan oregistrerade stopp, men de monterar färre produkter på grund av att det uppkommer fler produktionsstopp. Effekten av dessa faktorer kommer därför att vara oförändrade.

En nackdel med en-faktor-i-taget-försök är att samspelseffekterna mellan faktorerna inte framgår, men eftersom resultatet från faktor försök 1–3 visade att samspelseffekterna var inom referensintervallet ansågs det motiverat att gå vidare med en-faktor-i-taget-försök för faktorerna. SKF efterfrågade inte heller en fullständig undersökning av hur dessa effekter samspelar.

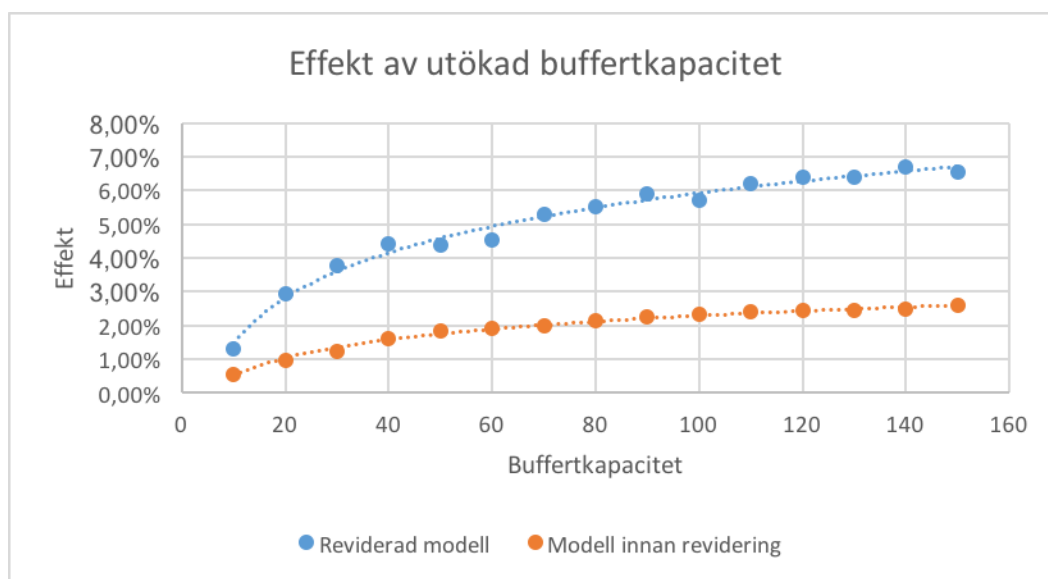
##### **Fördjupad analys av utökad buffertkapacitet**

Resultatet från faktor försök 2 visade inte lika stora effekter som de i faktor försök 1 gällande placeringen av utökad buffertkapacitet. För att förstå skillnaden mellan resultatet genomfördes mer ingående analys genom ett flertal nya en-faktor-i-taget-försök. Resultaten från dessa försök presenteras i Tabell 6:8 nedan. Försöken visar att det ger större effekt att placera bufferten uppströms ihopläggning jämfört med nedströms. Skillnaden beror på att en buffert placerad nedströms inte fungerar för att motverka blockering för innerringsproduktionen. Att utöka buffertkapaciteten både uppströms och nedströms ihopläggningen ökar inte effekten i någon större utsträckning jämfört med om buffertökningen endast sker uppströms. Dessutom har produktionslinan begränsad yta tillgänglig, vilket kan vara problematiskt vid buffert både uppströms och nedströms. Därför genomfördes endast fördjupad analys av utökad buffertkapacitet för placeringen uppströms ihopläggning.

Tabell 6:8 Effekter av utökad buffertkapacitet för olika buffertplaceringar

Försök	Jämfört med	Jämfört med nuläge
	nuläge Modell innan revidering	Reviderad modell
75st uppströms ihopläggnen	2,02%	5,13%
75st nedströms ihopläggnen	1,26%	1,80%
150st uppströms ihopläggnen	2,58%	6,54%
150st nedströms ihopläggnen	1,40%	2,94%
150st upp- och nedströms ihopläggnen	2,61%	7,37%

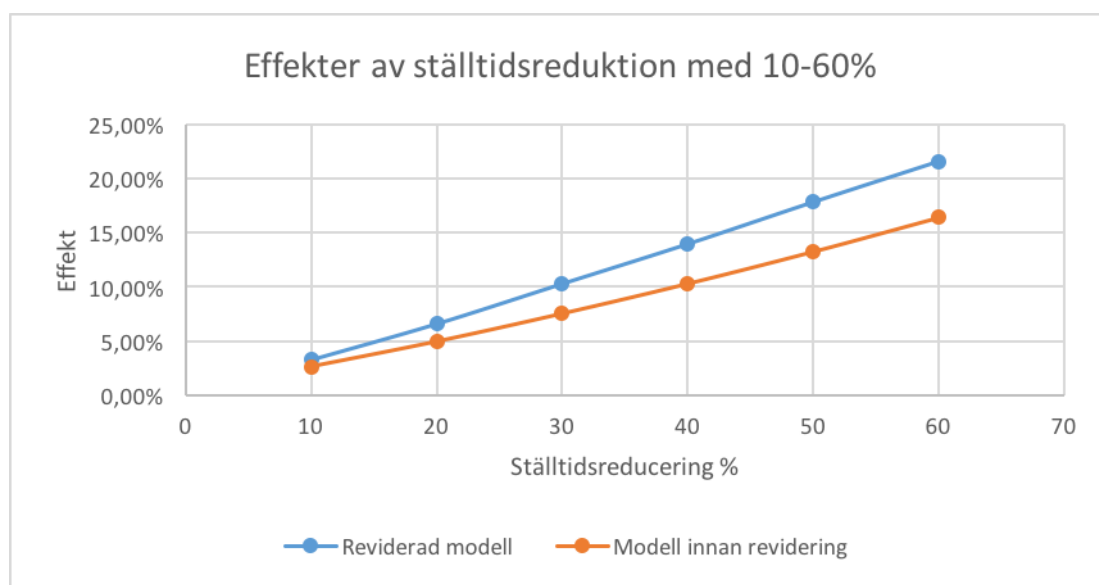
Figur 6:8 redovisar resultatet för en-faktor-i-taget-försöken med den utökade buffertkapaciteten uppströms ihopläggnen. Kapaciteten ökades stegvis från 10 till 150 platser. Grafen visar att det finns en avtagande effekt för buffertens storlek, vilket beror på att den procentuella ökningen av täckta stopp med hjälp av utökad buffertkapacitet minskar.



Figur 6:8 Grafen illustrerar intervallet inom vilket resultaten kan anses ligga för ökad buffertkapacitet uppströms ihopläggnen

### Fördjupad analys av ställtidsreduktion

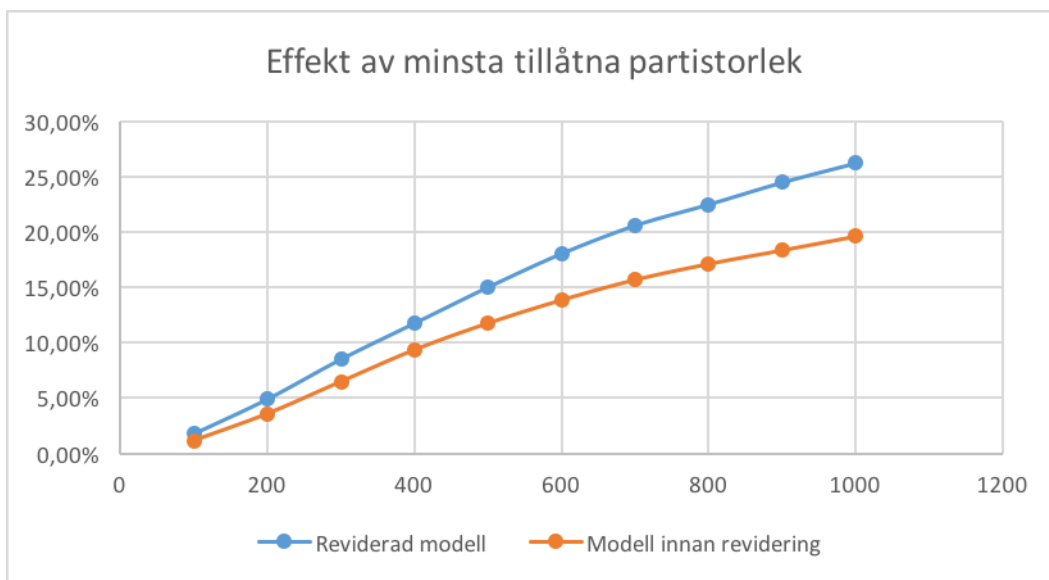
För ställtidsreducering sattes den högsta faktornivån till en nivå som anses vara svår att uppnå på kort tid, men som kan fungera som ett mål att sträva mot för produktionslinans förbättringsarbete. En ställtidsreducering med 60 procent som mål testades, med stegvisa nivåer á 10 procent från ursprunglig faktornivå (10 procent). 60 procent reduktion av ställtiderna ger en ökning av output med mellan 16,5 till 21,6 procent (se Figur 6:9). Det finns ett linjärt samband i förbättringen, vilket kan förklaras av att ställtidsreduktionen direkt skapar mer tillgänglig tid för produktion.



Figur 6:9 Grafisk sammanställning av effekter från en-faktor-i-taget försök på hur reduktion av ställtider påverkar output, i procentuell ökning. Jämför två modeller med och utan oregistrerade stopp

### Fördjupad analys av ökning av minsta tillåtna partistorlek

Utöver det första försöket valdes att utvärdera vilken påverkan som en höjning av minsta tillåtna partistorlek ger på systemet. Här ses ett avtagande samband mellan ökning av minsta tillåtna partistorlek och effekten på output (se Figur 6:10). Resultaten av att öka minsta tillåtna partistorlek till 100 gav effekt mellan 1,1 och 1,8 procent. Om partistorleken ökades till 1000 blev effekten mellan 19,6 och 26,2 procent. Resultatet förklaras av att antalen ställ, och därmed störningar, minskar inom systemet som en direkt följd av längre tid av tillverkning mellan ställen. Vid högre nivåer av partistorlek påverkas allt färre partistorlekar och samtidigt blir den procentuella ökningen av minsta tillåtna partistorlek allt mindre. Argumenten förklarar varför effekten av att öka minsta partistorlek är avtagande.



Figur 6:10 Grafisk sammanställning av effekter från en-faktor-i-taget-försök på hur minsta tillåtna partistorlek i produktion påverkar output, i procentuell ökning. Jämför två modeller med och utan oregistrerade stopp

## 7 Diskussion

Diskussionen har delats upp i tre avsnitt där det första hanterar vald metod och gjorda avgränsningar samt hur det har påverkat studien och dess resultat. De följande två avsnitten är kopplade till studiens frågeställningar genom diskussion av resultat från simuleringsstudien.

### 7.1 Diskussion av vald metod och gjorda avgränsningar

För att lyckas med en simuleringsstudie som ger valida resultat krävs det att indata har hög kvalitet (Banks, et al., 2001). Den del av studien som har fokuserat på simulering har därför haft ett starkt beroende av den insamlade datas kvalitet. Att datainsamling är komplicerat och tidskrävande är en tydlig svaghet med simulering. Projektgruppen valde tidigt att förlita sig på tillgänglig registerdata därför att det vid en egen datainsamling hade varit mycket svårt att få med omfattning och frekvens av ett helt produktionsår. För att tidsmässigt klara av en så omfattande datainsamling samt för att veta vilken data som var nödvändig, hade det krävts en djupare förståelse av systemet väldigt tidigt i studien. Tack vare att registerdata samlades in tidigt kunde den kompletteras under studiens gång i takt med att projektgruppen fick en djupare förståelse av systemet. Den iterativa process som datainsamlingen inneburit bör därför inte ses som en svaghet, utan som en indikering på gränsöverskridande arbete, med SKF i nära samarbete. För att avgöra om simuleringsmodellen var representativ har den jämförts med den verkliga produktionslinans effektivitet samt godkänts av både driftchef och produktionstekniker på SKF.

Vid framtagande av faktorer och dess nivåer fördes många dialoger mellan kandidatgruppen och SKF kring vilken typ av prestation som var trolig att genomföra i verkligheten. Projektgruppens sammantagna åsikt har varit att testa förbättringsåtgärder som enkelt kan genomföras och därmed ge snabba resultat. Faktorerna i de tre första faktorförsöken (se avsnitt 6.4.3) har därför satts till en försiktig nivå som hade varit genomförbar i det verkliga systemet på kort tid.

Kompletterande data för de oregistrerade stoppen skulle kunna indikera ett behov av att göra om de tre första faktorförsöken, men det finns i sammanhanget inte tillräckliga belegg för att nya data skulle påverka de studerade samspelseffekterna. Även med den data som blev tillgänglig valde projektgruppen att förlita sig på att förhållandet mellan faktorernas samspelseffekter skulle kvarstå, men att resultaten skulle blivit marginellt högre och fortfarande ligga inom referensintervallet. När studien sedan fortsatte i fördjupad analys med en-faktor-i-taget-försök fanns en osäkerhet i hur kompletterande data förhöll sig till nuläget. I och med att den kompletterande data var från 2010 och att operatörerna i dagsläget registrerar stopp manuellt, fanns en osäkerhet i hur många stopp som i dagsläget inte registreras. För att då kringgå att ge ett precist resultat på oprecist data valde projektgruppen att kolla på dessa körningar inom ett intervall. Det vill säga resultaten från en reviderad modell och en modell utan kompletterande data skapade två

olika resultat och projektgruppen anser det rimligt att det verkliga resultatet ligger inom detta intervall.

SKF har vid tidpunkten för studien genomgått ett affärssystembyte (se avsnitt 3.1.2), vilket för studien inneburit att bland annat data för materialflöden inte kunnat anses representativt. En avgränsning gjordes därför att inte studera materialflödet till och från produktionslinan utan enbart effekterna av tillgängligt respektive otillgängligt material. Genom att granska materialflödet hade det varit möjligt att få en bättre bild över vad materialbristen beror på och förslag för förbättring hade kunnat ges. Produktionstekniker och driftchef vid SKF har däremot bekräftat att materialbrister i vanliga fall inte varit förekommande och att dessa därmed är rimliga att bortses från, då produktionslinan vid tidpunkten för studien befunnit sig i ett specialtillstånd. Dessa argument motiverar också användandet av data som kommer från tidigare års produktion, då de i ett framtidsperspektiv mer representativt bör visa systemets beteende. Det hade även varit givande att intervjua någon från Supply Chain-avdelningen på SKF för att få en djupare inblick i hur de arbetar med partiutformning. En sådan intervju hade kunnat generera fler faktorer att experimentera med i simuleringsmodellen angående partiutformning, men som tidigare nämnts kunde avdelningen inte avsätta någon tid till projektgruppen.

För generering av fördelningsfunktioner från insamlade data användes programmet StatFit, vilket beskrivs i avsnitt 6.2.3. StatFit anpassar datapunkter till olika fördelningsfunktioner, men valet av fördelningsfunktion har ibland påverkats av att simuleringsprogramvaran Simul8 inte accepterar alla typer av fördelningsfunktioner som StatFit hanterar. Trots att simuleringsprogrammet inte kunnat använda alla de fördelningsfunktioner som funnits tillgängliga har urvalet oftast kunnat göras bland de funktioner som StatFit rankat bäst lämpliga. I ett fåtal fall, vilket motsvarar ungefär en tiondel av samtliga fördelningsfunktioner, har sämre anpassade funktioner fått användas. Dessa fördelningar kontrollerades för användning genom att generera nya data från fördelningen och sedan jämföra med faktiska indata. Resultaten från studien har följt det verkliga systemet i hög grad och störningsfrekvens, partistorlek och cykeltider har haft fördelningsfunktioner som överensstäm väl med verkligheten. Dessa faktorer gör att detta område ansetts väl hanterat och inte varit orsak till några avvikelser. Osäkerhet finns dock i att ställtiderna har samlats till två olika fördelningsfunktioner, där en representerar omfattande ställ (mellan olika produktgrupper) och en för ställ mellan två produktvarianter. Den sambandskontroll som gjorts (se avsnitt 6.2.2) indikerade att ställen är oberoende produkttyp och tidigare ställ, men vid validering med SKF har det ändå bekräftats att det finns fler fördelningsfunktioner att ta hänsyn till och specificera. Dessa har dock, utifrån önskan om att ge en övergripande representation av systemet, ansetts kunna slås samman, då projektet inte heller har avsikt att ge en detaljerad plan för ställtidsreduktion.

## 7.2 Diskussion av utökad buffertkapacitet

Studien har undersökt hur outputen för den studerade produktionslinan på SKF skulle påverkas av att utöka buffertkapaciteten. De förutsättningar som tillkommit efter att faktorförsöken gjorts i och med kompletterande data gör det möjligt att utvärdera buffertkapacitetens påverkan i en fördjupad analys. Det intervall som presenterades för effekten av utökad buffertkapacitet var relativt de andra intervallen rätt så stort. Det här beror på att ju fler stopp som är utspridda under produktionen, desto större inverkan medför en buffert, vilket följer den uppfattning som finns på SKF och utifrån teori (se avsnitt 2.4).

Att utöka buffertkapaciteten påverkar produktionen ur många perspektiv, både positivt och negativt. Då PIA ökar medför det en högre kapitalbindning, genomloppstid samt en kvalitetsosäkerhet då eventuella kvalitetsbrister först upptäcks vid ett senare tillfälle då produkter läggs i buffert. Som nämnt i avsnitt 2.5 är det viktigt att bedöma om en ökad kapitalbindning och investering är värd de effekter den bidrar med. Om kostnaderna för den ökade kapitalbindningen och investeringen överstiger intäkterna som den ökade outputen bidrar med kan det ge en negativ effekt för den ekonomiska hållbarheten för företaget. Det är också viktigt att bufferten är användarvänlig, det vill säga att den inte stoppar upp flödet när orsaken till stoppet är åtgärdad och flödet i produktionslinan åter är igång. Bufferten måste då ha en högre uttömningstakt än flaskhalsen för att flödet inte ska stanna.

En påtaglig nackdel med att bygga in en buffert i systemet är den plats den upptar. I en befintlig produktionslina är plats en bristvara och storleken på bufferten behöver avvägas mot tillgänglig plats. En fördel är att produktionslinans output kan ökas, resultatet från simuleringskörningarna presenteras under avsnitt 6.4.4 där de olika en-faktor-itaget-försöken beskrivs. Det redovisas där att en buffert på 150 stycken ytterringar medför att output ökar inom ett intervall på 2,6 till 6,6 procent om den placeras uppströms i flödet från att ytterringarna läggs samman med innerringarna. Resultatet för en buffertkapacitet på 75 platser är inom intervallet 2,0 till 5,0 procents ökning av output (Tabell 6:8). Det innebär att en mer än fördubbling av bufferten inte medför en särskilt stor outputökning, en avvägning bör därför göras här rörande investering och tillgänglig plats. Detta då en buffertkapacitet med plats för 75 stycken ringar kräver betydligt mindre yta och mindre investering än en buffertkapacitet med 150 stycken platser.

Tanken med bufferten är att den ska vara tom då allt i produktionslinan fungerar och att den endast ska användas då det sker stopp senare i flödet. Placeringen av utökad buffertkapacitet spelar stor roll på vilka effekterna blir av införandet. Under simuleringskörningen testades som tidigare nämnts (se avsnitt 6.4.4) tre olika placeringar för en buffert. Dessa placeringar är lagda efter flaskhalsen för att motverka blockering som under avsnitt 5.1 beskrivs som en av de vanligaste produktionsstörningarna. DBR (se avsnitt 2.1.2) beskriver hur en buffert ska användas för att se till att flaskhalsen inte råkar ut för svält. Det talar då emot att utöka buffertkapaciteten nedströms flaskhalsen

men då produktionsstopp i stor utsträckning utgörs av blockering har den teorin frångåtts. Resultaten som presenteras i Tabell 6:7 visar att det bästa resultatet uppnås då en buffert placeras uppströms ihopläggningen av ringar. Genom att lägga en buffert för ytteringarna innan ihopläggningen med innerringarna kan beroendet mellan de parallella linorna reduceras och flaskhalsen behöver inte påverkas i samma utsträckning om det uppkommer störningar på innerringssidan. Som nämnt under avsnitt 4.3.1 har innerringarna i dagsläget plats för en buffert och produktionen av innerringar är därför inte beroende av ytteringarnas produktion i den utsträckning som ytteringarnas produktion är av innerringarnas.

Placeringsalternativet mellan ihopläggningen och tvätten medför att blockering av flaskhalsen reduceras då störningar har uppstått nedströms i produktionsflödet. Det medför dock fortfarande ett beroende mellan ytteringarnas produktion och innerringarna från ytteringarnas perspektiv. Att utöka den nuvarande kön innan mätning och montering (se Figur 5:1) innebär att produktionsstopp av flaskhalsen kan reduceras då dessa beror på störningar senare än monteringen. Det innebär också att beroendet mellan de parallella linorna kvarstår.

### **7.3 Diskussion av förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete och minsta tillåtna partistorlek**

Under studien har förändringar i output studerats genom att studera kontinuerlig montering, ställtidsreducering samt en bestämd minsta partistorlek. Det gjordes en fördjupad analys av de två sistnämnda faktorerna då det var ett önskemål från SKF.

De första faktorförsöken (se avsnitt 6.4.3) visar ett resultat för kontinuerlig montering som ligger innanför det slumpmässiga felet, vilket innebär att resultatet inte kan särskiljas från slumpens inverkan. Kontinuerlig montering påverkas inte heller av den data som SKF kompletterade med angående oregistrerade stopp, därför gjordes ingen fördjupad analys av faktorn. Det bör dock poängteras att det under avsnitt 5.2 beskrivs hur det finns en risk i att inte följa rutinen för att skicka fram ringar till montering. Att arbeta efter en standardiserad metod (se avsnitt 2.3) medför flertalet fördelar, exempelvis kvaliteten på arbetet och en stabil arbetstakt, vilket gör det lättare att förutse produktionsutfallet. Det standardiserade arbetet skulle även kunna förbättra den sociala hållbarheten genom att öppna upp för kreativitet hos de anställda. Detta skulle ge en ökad känsla av påverkan på arbetsplatsen vilket i avsnitt 2.5 nämns som en viktig del av den sociala hållbarheten.

Ställtidsreduktion kan ses som ett bättre alternativ än utökad buffertkapacitet eftersom en buffert endast mildrar symptomen på produktionslinans problem, men ställtidsreduktion hanterar de underliggande problemen. En investering i ställtidsreducering är därför mer ekonomiskt hållbart motiverat än en utökad buffertkapacitet och den ökar även den tillgängliga tiden. När den tillgängliga tiden ökar kan även bruttokapaciteten öka, vilket möjliggör till en högre utnyttjandegrad av den nominella kapacitetsnivån (se avsnitt 2.2.1). Att reducera ställtider kräver däremot en hel del arbete och som beskrivs under avsnitt 2.1.2 krävs ett kontinuerligt förbättringsarbete för att optimera produktionen. Ett

möjligt verktyg för att minska tiden som produktionslinan står still under verktygsbyten är att separera de yttre och inre ställen (se avsnitt 2.4.3).

De inställningar på ställtidsreducering som testades var mellan 10 och 60 procent, där de högre inställningarna är av sådan grad att det krävs mer arbete för att implementera. Syftet att undersöka en ställtidsreduktion av hög grad är att utvärdera möjligheterna som finns på lång sikt, det vill säga att skapa en målbild. Den linjära effekten från ökning av ställtidsreduktionen gör det svårt att motivera varför en definitiv punkt ska sättas som mål eftersom ständiga förbättringar och insatser på området teoretiskt sett hela tiden lönar sig. Det är även svårt att avgöra huruvida en definitiv punkt ska avvägas mot den kostnads som krävs. Kostnaden för en procentuell ställtidsreducering ökar i och med att det blir svårare och svårare att reducera tiden. Genom att tillåta operatörerna delta i arbetet med reducering av ställtider kan en känsla av ansvar och självbestämmande skapas, vilket bidrar till en hållbar social utveckling.

Ett annat sätt för arbetsgivaren att öka den sociala hållbarheten är att erbjuda de anställda utbildning av produktionslinan (se avsnitt 2.5). Det nämns under avsnitt 5.3 att det från intervjuer framkom att det är kompetensbrist inom skiftlagen då ställ genomförs, att då erbjuda de anställda utbildning minskar risken för förlängt ställtidsarbete. Det är dessutom ett bra sätt att engagera de anställda på produktionslinan i förbättringsarbetet, något som under avsnitt 2.5 lyftes fram som en viktig del i att de anställda ska uppleva behovstillfredsställelse. Att de anställda upplever behovstillfredsställelse är viktigt för att företaget ska kunna hålla en social hållbar utveckling. I intervjuer har det även framkommit att fokus för förbättringsarbetet i linan tidigare var just att reducera ställtider. Förbättringsarbetet gav stor effekt på ställtiderna och SKF lyckades sänka ställtiderna markant, men har i dagsläget inget fokus på att reducera dem ytterligare. Om ställtidsarbete återigen skulle prioriteras är det möjligt att reducera ställtiderna och då även minska linans variation.

En ökning av minsta tillåtna partistorlek är en alternativ metod till ställtidsreduktion. Till skillnad från ställtidsreduktion, som minskar tiden ett ställ pågår, reducerar en ökad partistorlek frekvensen av ställ. Det här medför att operatörerna får mer tid att utföra de yttre ställen innan produktionen stannat, vilket reducerar det totala produktionsstoppet. Det medför även att partierna körs mer sällan och det krävs därför att företaget lagerhåller fler produkter vilket medför ökade lagringskostnader. Det i sin tur innebär också att leveranstiden till kund kan bli längre. Samspelseffekten mellan större partistorlek och ställtidsreducering ligger inom referensintervallet, vilket innebär att det då kan bero på det slumpmässiga felet i modellen och det går därför inte heller att avgöra om det faktiskt har någon effekt.

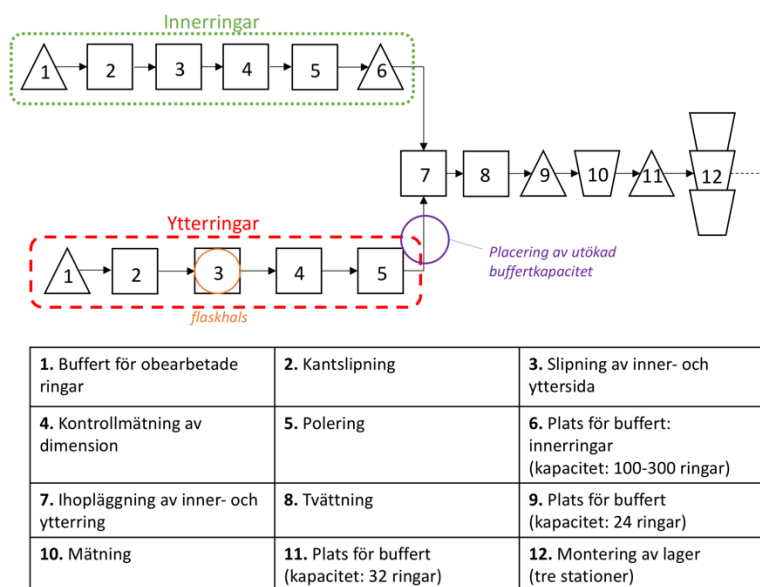
## 8 Slutsats

Syftet med studien var att ge uppdragsgivaren förslag på hur effektiviteten kan ökas för produktionslinan i fråga. Det här innebar att projektet avsåg att öka produktionslinans output per tidsenhet genom att minimera effekten av produktionsstörningar. Genom studie av produktionslinan vad gäller processer och funktionaliteter samlades data in genom intervjuer, tidtagning samt register. Två olika analyser gjordes sedan där den första gjorde en jämförelse av intervjudata och teori och den andra tillämpade verktyget simulering. Rapporten avslutas nu med att besvara de frågeställningar som anges i avsnitt 1.2 samt ge en rekommendation till hur SKF ska arbeta vidare.

### 8.1 Svar på frågeställningarna

#### *Hur kan ökning av buffertkapacitet reducera effekten av produktionsstörningar och öka produktionslinans output per tidsenhet?*

Studien visar på att en utökning av buffertkapaciteten minskar produktionsstörningarna. En stor fördel är att processerna, speciellt de i anslutning till flaskhalsen, får ett minskat beroende av varandra i och med att de frikopplas. Tillgång till tomma buffertplatser innebär då att processerna kan arbeta efter egna cykeltider och på så sätt minska risken för blockering i produktionen. Placering av utökad buffertkapacitet anses lämpligast uppströms ihopläggnings av produkterna, det vill säga nedströms flaskhalsen. Det här resultatet kan härledas till utförd simuleringsstudie.



Figur 8:1 Illustration över den placering som rekommenderas för utökad buffertkapacitet

Simuleringsmodellen visade att utökad buffertkapacitet inte hade någon samverkan med de andra testade faktorerna. I simuleringsanalysen framgår det att större buffertkapacitet ger en avtagande effektökning (se Figur 6:8) och med hänsyn till den begränsade yta som

finns tillgänglig rekommenderas därför en buffertkapacitet på 75 produkter vilket då motsvarar en outputökning mellan 2 till 5,5 procent.

### ***Hur kan förändringar i monteringsrutiner, ställtidsarbete och minsta tillåtna partistorlek öka produktionslinans output per tidsenhet?***

Effekten för kontinuerlig montering ligger innanför de kritiska gränserna och kan därför bero på slumpen, vilket innebär att det inte är statistiskt säkerställt om en förändring av rutinen ger en outputökning eller inte. När de intervjuer som genomförts med operatörer analyserades konstaterades det dock att systemets flaskhals kan bli blockerad om rutinerna för framkörning av ringar till montering inte följs. Det är därför viktigt att skiftlagen arbetar standardiserat och följer de riktlinjer som finns för att outputen per tidsenhet inte ska påverkas negativt.

Tiden för verktygsbyten i maskinerna är lång och har i dagsläget stora variationer. De tester som utfördes med ställtidsreducering i den fördjupade analysen (se Figur 6:9) gav i enlighet med teori större effekt, vilket ger incitament till att arbeta med ständig förbättring och minskning av variationer. En ställsreducering med 10 procent ger en outputökning inom intervallet 2,6 till 3,2 procent. Vid en reducereing på 60 procent uppnås en outputökning inom intervallet 16,5 till 21,6 procent. Genom att dessutom tillämpa arbetsvidgning där fler operatörer får den kompetens som krävs för att utföra maskinställ kan risken för kompetensbrist minska och därmed reduceras även risken för förlängd ställtid.

Resultaten av att stegvis öka minsta tillåtna partistorlek från 100 till 1000 stycken gav vid en partistorlek på 100 stycken effekt mellan 1,1 och 1,8 procent och när partistorleken ökades till 1000 stycken blev effekten mellan 19,6 och 26,2 procent. Argumentet för att öka partistorleken är att det möjliggör reducereing av antalet maskinställ, vilket i sin tur ger möjlighet att öka output för produktionslinan eftersom tiden för produktionsstopp då reduceras. Ännu ett argument är att en lägsta tillåten gräns för partistorlek möjliggör en bättre anpassad produktionsplanering för att optimera utnyttjandet av flaskhalsen. Med längre tid mellan ställ kan operatörerna genomföra mer utförliga förberedelser för nästkommande ställ vilket reducerar tiden nästa ställ.

## **8.2 Rekommendation**

För att produktionslinan ska kunna uppnå och bibehålla en hållbar utveckling är rekommendationerna från studien att utvärdera om en investering i utökning av buffertkapacitet anses lönsamt. Det rekommenderas också att påbörja ett kontinuerligt förbättringsarbete där ställtidsreduktion är i fokus samt att driftchefen kontaktar Supply Chain-avdelningen för utformning av partistorlek. Genom att följa dessa rekommendationer tros produktionslinans output ha goda möjligheter att kunna ökas.

## Litteraturförteckning

- Aggarwal, C. C., 2013. *Outlier Analysis*. 1:a red. u.o.:Springer New York.
- Ahuja, I. & Khamba, J., 2008. Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, pp. 709-756.
- Almström, P., 2015. Arbetsmätning. i: S. Björklund, G. Gustafsson, L. Hågeryd & B. Rundqvist, red. *Karlebo Handbok*. Göteborg: Institutionen för teknikens ekonomi och organisation, Operations Management, pp. 686-695.
- Almström, P., Kinnander, A., Sundkvist, R. & Hedman, R., 2012. *How to realize the productivity potentials*. u.o., Chalmers University of Technology, Department of Materials and Manufacturing Technology.
- Arbetsmiljöverket, 2016. AV. [Online] Available at: <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/arbetsstallning-och-belastning---ergonomi/> [Använd 27 03 2017].
- Banks, J., 1998. Principles of Simulation. i: *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: Wiley & sons, pp. 3-30.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L. & Nicol, D. M., 2001. *Discrete-event System Simulation*. 3:e upplagan red. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Bergman, B. & Klefsjö, B., 1995. Försöksplanering. i: B. Bergman & B. Klefsjö, red. *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur, pp. 145-162.
- Bergman, B. & Klefsjö, B., 2012. *Kvalitet från behov till användning*. 5:e red. Lund: Studentlitteratur.
- Brundtland, G. H., 1987. FN. [Online] Available at: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> [Använd 17 04 2017].
- Bryman, A., 2008. *Samhällsvetenskapliga metoder*. 2:a upplagan red. Stockholm: Liber.
- Chung, C. A., 2004. *Simulation modeling handbook: a practical approach*. 1:st edition red. London: CRC Press.
- Darlington, J., Francis, M., Found, P. & Thomas, A., 2014. Design and implementation of a Drum-Buffer-Rope pull-system. *Production Planning & Control*, 11 Jun, 26(6), pp. 489-504.
- Demir, L., Tunali, S. & Eliyi, D. T., 2012. The state of the art on buffer allocation problem: a comprehensive survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2 September, pp. 371-392.
- Emiliani, M., 2008. Standardized work for executive leadership. *Leadership & Organization Development Journal*, 29(1), pp. 24-46.
- Eriksson, L. T. & Wiedersheim-Paul, F., 2008. *Rapportboken*. 1:a upplagan red. Malmö: Liber.
- Filla, J., 2016. The Single Minute Exchange of Die Methodology in a High-Mix Processing Line. *Journal of Competitiveness*, June, 8(2), pp. 59-69.

- Frankel, M. & Kendrick, J. W., 2016. *Productivity*, u.o.: Encyclopædia Britannica Inc.
- Glock, C. H., 2013. The machine breakdown paradox: How random shifts in the production rate may increase company profits. *Computers & Industrial Engineering*, December, 66(4), pp. 1171-1176.
- Goldratt, E., Cox, J. & Whitford, D., 2004. *The goal: a process of ongoing improvement*. Aldershot: Gover.
- Hill, C. A. & Samaddar, S., 2007. Controlling adverse effect on work in process inventory while reducing machine setup time. *European Journal of Operational Research*, July, 180(1), pp. 249-261.
- Johnson, D. J., 2003. A framework for reducing manufacturing throughput time. *Journal of Manufacturing Systems*, 22(4), pp. 283-298.
- Jonsson, P. & Lesshammar, M., 1999. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE. *International Journal of Operations & Production Management*, pp. 55-78.
- Jonsson, P. & Mattsson, S.-A., 2016. *Logistik, Läran om effektiva materialflöden*. 3:e upplagan red. Lund: Studentlitteratur.
- Kiran, M., Cijo, M. & Kuriakose, J., 2013. Root Cause Analysis for Reducing Breakdowns in a Manufacturing Industry. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, January, 3(1).
- Landguiden, 2016. *Landguiden*. [Online] Available at: <http://www.landguiden.se/Lander/Europa/Sverige/Industri> [Använd 31 03 2017].
- Law, J., 2016. *A Dictionary of Business Management*, u.o.: Oxford University Press.
- Liker, J. K. E. L. H. J. & L. F., 2013. *The Toyota Way: Lean för världsklass*. 1:6 red. Malmö: Liber.
- Low, S.-N., Chong, S.-H. & Sim, H.-Y., 2014. Measurement of Overall Performance Effectiveness in Setup Improvement. *Journal of Industrial Engineering*, 11 September.
- Mägi, M. & Melkersson, K., 2010. *Lärobok i maskinelement*. Göteborg: Kompendiet.
- Magnusson, J. & Nilson, A., 2014. *Enterprise System Platforms*. 1:a red. Lund: Studentlitteratur.
- Mapes, J., Szwejczewski, M. & New, C., 2000. Process variability and its effect on plant performance. *International Journal of Operations & Production Management*, Juli, 20(7), pp. 792-808.
- Martin, T. D. & Bell, J. T., 2011. *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*. u.o.: Productivity Press.
- Matta, A., Runchina, M. & Tolio, T., 2005. Automated flow lines with shared buffer. *OR Spectrum*, June, 27(2), pp. 265-286.
- Medbo, P., 1998. *Significance of input data quality for materials flow analysis*, Göteborg: Chalmers University of Technology.

- Musselman, K. J., 1994. Guidelines for simulation. i: *Winter Simulation Conference Proceedings*. Los Angeles, CA and Piscataway, NJ: u.n., pp. 88-95.
- Nahas, N., Noureldath, M. & Gendreau, M., 2014. Selecting machines and buffers in unreliable assembly/disassembly manufacturing networks. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, Volym 154, pp. 113-126.
- Olausson, M., 1992. *Statistik försöksplanering, faktorförsök*. Göteborg: Institutet för verkstadsteknisk forskning.
- Robinson, S., 2008. Conceptual Modelling for Simulation Part I: Definition and Requirements. *Journal of the Operational Research Society*, Issue 59, pp. 278-290.
- Robinson, S., 2008. Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling.. *Journal of the Operational Research Society*, Volym 59, pp. 291-304.
- Rubenowitz, S., 2014. *Organisationspsykologi och ledarskap*. 3 red. Lund: Studentlitteratur.
- Sana, S. S. & Chaudhuri, K., 2010. An EMQ model in an imperfect production process. *International journal of systems science*, 10 Mars, 41(6), pp. 635-646.
- Shingo, S., 1984. *Den nya japanska produktionsfilosofin*. 1:a upplagan red. Tokyo/Stockholm: TQM Produktionsskolan AB.
- SKF, 2017. SKF. [Online] Available at: <http://www.skf.com/se/our-company/index.html> [Använd 29 03 2017].
- Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R., 2013. *Operations Management*. 7:th edition red. Rotolito Lombarda: Pearson.
- Smith, R. & Hawkins, B., 2004. Total Productive Maintenance. i: *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. Boston: Elsevier Butterworth Heinemann, pp. 55-104.
- Stanton, E. A., 2007. *The Human Development Index: A History*, u.o.: University of Massachusetts.
- Vonderembse, M., Raghunathan, T. & Subba Rao, S., 2010. *A post-industrial paradigm: To integrate and automate manufacturing*. [Online] Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/002075497194679> [Använd 31 03 2017].
- Wu, N. & Zhou, M., 2002. Avoiding deadlock and reducing starvation and blocking in automated manufacturing system. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 06 08, 17(5), pp. 658 - 669.
- Xue, L., Ray, G. & Sambamurthy, V., 2012. *EFFICIENCY OR INNOVATION: HOW DO INDUSTRY ENVIRONMENTS MODERATE THE EFFECTS OF FIRMS' IT ASSET PORTFOLIOS?*, u.o.: MISS Quarterly.
- Zandin, K. B., 2001. *Maynard's Industrial Engineering Handbook*. 5:e upplagan red. New York: McGraw-Hill.

## **Appendix A - intervjumallar**

### **A.1 Intervju med uppdragsgivare: 2017-01-23**

- Vad är problemen?
- Vad vill ni få ut av vårt arbete?
- Vilka avgränsningar har vi?
- Hur ser outputen för linan ut idag?
- Vem har ansvar för utveckling?
- Finns det kapacitet att bilda buffert?
- Vad ska vi ha för resultatmätt?

### **A.2 Intervju med två operatörer: 2017-01-23**

- Vad är din tjänst?
- Vilka är dina arbetsuppgifter?
- Vilka problem har ni?
- Finns det någon utmärkande flaskhals?
- Vilka avgränsningar finns angående buffertens utformning?
- Ska det undersökas om det finns möjlighet att förbättra ställtider?
- Vem har ansvar för utvecklingsprojektet?
  - Hur har ni uppfattat vad den ansvarige vill få ut av projektet?
  - Har något liknande projekt genomförts tidigare, ex. på andra avdelningar?
- Varför tror ni att ett buffertsystem kommer lösa era problem?
- Finns det kapacitetsmässiga förutsättningar att bilda en buffert?
- Har ni data tillgänglig över avdelningens prestation?
- Hur ser ni att vi kan vara till hjälp för er? Vad vill ni få ut av projektet?
- Vilket av era resultatmätt vill ni att vi ska fokusera på?

### **A.3 Intervju med en produktionstekniker: 2017-02-27**

- Vad upplever du att problemet är i dagsläget?
- Vad anser du att ett buffertsystem kan tillföra?
- Hur stora är buffertmöjligheten mellan de olika operationerna?
- Hur ofta är ytteringarna blockerade?
- Är det möjligt att ändra partistorlekar?
- Hur ser orderläggningen ut? Hur läggs orders ihop till en arbetsorder?
- Hur ofta står innerringarna still p.g.a. haveri eller materialbrist? Samt hur ofta blir ytteringarna blockerade av efterföljande flöde?
- Bad om data gällande:
  - Mean Time Between Failure och Mean Time To Repair
  - Ringarnas dimensioner
  - Cykeltider för operationer
  - Transportplattans dimensioner

## **A.4 Intervjumall för samordnare i skiftlagen: 2017-03-02 samt 2017-03-21**

Intervjuerna genomfördes vid tre olika tillfällen och de intervjuade är samordnare i varsitt skiftlag: två tillfällen den 2/3 samt ett den 21/3.

- Anser du att det finns några problem i linan?
- Var sker eventuella stopp i linan oftast?
- Vet du om att det finns tankar om ett buffertsystem för ytteringarna? Vad tänker du om det?
- Var skulle du önska att buffertsystemet skulle placeras? Varför?
- Hur arbetar ni i ditt skift? Hur körs ringarna fram?
- Hur märker ni av det nya affärssystemet? Har ni ändrat ert arbetssätt?
- Har det skett några stora underhåll, som har påverkat produktionen, av maskinerna i linan de senaste åren?