



**LUNDS  
UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



# Layoutförändring på SCA Förpackningsservice Värnamo

---

**Författare:** Carl Bentzel  
Markus Lövgren

**Handledare:** Ola Johansson, Institutionen för Förpackningslogistik  
Johan Liljekvist, SCA

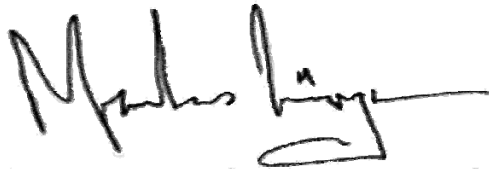
## Förord

Med detta examensarbete avslutar vi våra studier vid Lunds tekniska högskola och civilingenjörsprogrammet industriell ekonomi. Examensarbetet har utförts vid SCA Packaging Förpackningsservice i samarbete med institutionen för förpackningslogistik vid LTH.

Vi vill härmed rikta ett stort tack till våra handledare vid de båda platserna, nämligen doktorand Ola Johansson som har fungerat som en hjälp och en resurs vid institutionen och produktionschef Johan Liljekvist vid SCA Packaging Förpackningsservice i Värnamo som har ställt upp dagligen för att ro detta projekt i hamn.

Utöver dessa två vill även uppmärksamma produktionspersonalen i Värnamo, som har ställt upp med intervjuer och kunskap när så har behövts. Framförallt har underhållsansvarige Zelko Balinovic ställt upp i ur och skur med våra tidskrävande och påfrestande frågor.

Lund 2005-03-27



Markus Lövgren



Carl Bentzel

## Sammanfattning

Fabriken vid SCA Packaging Förpackningsservice i Värnamo har under en längre tid haft en layout som inte har varit ändamålsenlig till dess funktion. För att kunna möta ökad konkurrens och interna krav på effektivisering behövdes en ny lösning för maskinuppställning och flödeshantering.

I oktober 2005 inleddes examensarbetet vid SCA i Värnamo, då det hade beslutats att en limmaskin skulle flyttas in i de redan trångbodda lokalerna. Examensarbetarna fick i uppgift att, med gängse metoder, ta fram en ny layout som dels var möjlig ur ett rent praktiskt perspektiv, och dels så effektiv att den nya maskinen kunde installeras utan att nyanställningar skulle behövas göras.

I inledningsfasen gjordes en flödeskartläggning av produktionen vid företaget med hjälp av de produktionskort som används i tillverkningen. Denna flödesanalys låg senare till grund för hur den nya layouten utformades. Med metoden systematisk lokalplanläggning arbetades en ny maskinuppställning fram. Beslut togs även gällande placering av in och uttransporter och var mellanlagren skall vara placerade. De många begränsningar som den nuvarande fabrikslokalen besatt i form av utformning, takhöjd och väggplacering gjorde arbetet med den nya layouten långt mer komplex än vid en mer flexibel lokal.

Då en ny layout var framtagen, användes simuleringsverktyget AutoMod för att modellera och simulera den tänkta produktionen. Intervjuer och vidare datainsamling genomfördes för att modellen skulle representera verkligheten så väl som möjligt. När modellen senare var verifierad och validerad kunde simuleringen ta vid.

September månads produktionskort låg till grund för hur layouten skulle testas. Denna månad rekommenderades ifrån produktionsledningen, och sades vara representativ för hur produktionen ser ut på årsbasis. Simuleringen visade på goda förutsättningar för den framtagna layouten och att inga större störningar fanns.

Slutligen gjordes en design-of-experiment där kritiska faktorer utvärderades mot varandra för att analysera vilka faktorer som påverkar genomloppstiden mest. Resultatet av experimentet visade att de mest betydande faktorerna för variationen i ledtid var körhastigheten i maskin 752, följt av körhastigheten i maskin 753 och maskin 73735.

Nyckelord: SLP, simulering, DOE...

## **Abstract**

The layout of SCA Packaging Förpackningsservice in Värnamo has for a period of time been struggling with an inefficient manufacturing layout. To meet the upcoming competition and internal demand for efficiency a new way of arranging the production and material flow was needed.

In October of 2005 a master thesis was formed due to a decision to move an old glue machine into the manufacturing plant, even though they had not room for it. The project's goal was to form a new layout which was practically feasible and took in consideration both the efficiency aspect as well as the fact that the company did not want to employ any new people.

To start the project a flowchart of the present production was developed by the authors. The flowchart was based on the production cards that are used in the production. The proposal for the new layout was primary based on the flowchart. To work thru the new way of arranging the machines in the factory the authors used the "systematic local planning"- methodology. We also made decisions where to put the inbound and outbound material handling areas and where to store the material when in production. Several restrictions, such as the dimensions of the main structure, the placement of walls, and the distance to the roof, were taken into consideration. Thus, the work of making a new layout was far more difficult than expected.

When the new layout was completed, AutoMod, a computerized tool used to build models and simulate these, were used. Interviews and further data collection were made to secure that the model behaved as close to reality as possible. Our simulation began as soon as we had verified and validated the model. The simulation indicated that the layout was behaving as expected and that no major disturbances where present.

Finally, a design of experiment was conducted where critical factors were identified. These factors should be optimized to reach as low throughput time as possible. The result of the experiment showed that the most critical factors were the processing time for machine 752, followed by the processing time for machine 753 and machine 73735.

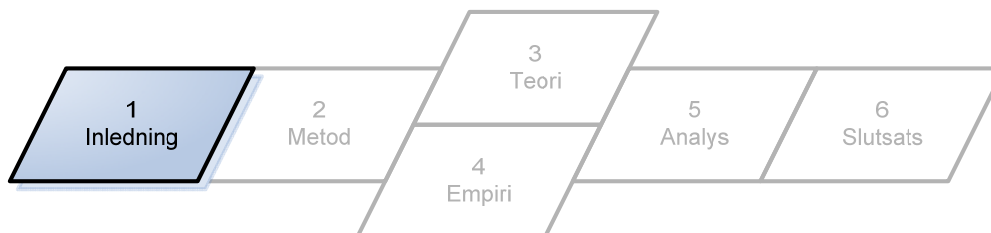
Key words: SLP, simulation, DOE...

<b>1</b>	<b><i>Inledning</i></b>	<b>1</b>
1.1	<b>Bakgrund</b>	1
1.2	<b>Problematisering</b>	1
1.3	<b>Mål</b>	2
1.4	<b>Avgränsningar</b>	2
1.5	<b>Målgrupp</b>	2
1.6	<b>Disposition</b>	3
<b>2</b>	<b><i>Metod</i></b>	<b>5</b>
2.1	<b>Metodikens grunder</b>	5
2.2	<b>Vetenskapliga synsätt</b>	5
2.2.1	Analyssynsätt	6
2.2.2	Systemsynsätt	6
2.2.3	Aktörsynsätt	6
2.3	<b>Metodansats</b>	7
2.3.1	Induktion, deduktion	7
2.3.2	Kvantitativ studie	7
2.3.3	Kvalitativ studie	7
2.4	<b>Val av synsätt</b>	8
2.5	<b>Tillvägagångssätt</b>	8
2.5.1	Arbetsgången	9
2.5.2	Intervjuer	10
2.5.3	Litteraturstudier	10
2.5.4	Dagböcker	10
2.6	<b>Praktiskt tillvägagångssätt</b>	11
2.7	<b>Validitet och Reliabilitet</b>	11
2.7.1	Reliabilitet	12
2.7.2	Validitet	12
2.8	<b>Källkritik</b>	12
<b>3</b>	<b><i>Teori</i></b>	<b>14</b>
3.1	<b>Japansk produktionsfilosofi</b>	14
3.2	<b>Systematisk lokalplanläggning</b>	17
3.2.1	Introduktion	17
3.2.2	Produktionsanalys	17
3.2.3	Funktionsindelning	18
3.2.4	Sambandsanalys	18
3.2.5	Sambandsdiagram	18
3.2.6	Huvudlayout	18
3.2.7	Värdering	18
3.2.8	Detaljlayout	18
3.3	<b>Simulering</b>	19

3.3.1	Introduktion	19
3.3.2	Val av verktyg	24
<b>4</b>	<b><i>Empiri</i></b>	<b>25</b>
4.1	<b>Företagsbeskrivning</b>	<b>25</b>
4.2	<b>Produktbeskrivning</b>	<b>25</b>
4.2.1	Wellpapp	25
4.2.2	Wellkonvertering	26
4.3	<b>Produktionslayout i dagsläget</b>	<b>26</b>
4.4	<b>Best Practise</b>	<b>26</b>
4.4.1	Intervju med Leif Midholm	26
4.4.2	Andra fabriker	27
4.5	<b>Indata till modellen</b>	<b>27</b>
4.5.1	Modellindata	28
4.5.2	Användning av indata	29
4.6	<b>Produktionsbeskrivning</b>	<b>29</b>
4.6.1	Beslutade förändringar	31
<b>5</b>	<b><i>Analys</i></b>	<b>33</b>
5.1	<b>Layouten</b>	<b>33</b>
5.1.1	Systematisk lokalplanläggning	33
5.1.2	Materialhantering	38
5.2	<b>Simuleringen</b>	<b>39</b>
5.2.1	Verifiering	39
5.2.2	Validering	40
5.2.3	Extrahering av information	40
5.3	<b>Design of Experiment</b>	<b>42</b>
5.4	<b>Monte Carlo-simulering</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b><i>Slutsats</i></b>	<b>47</b>
6.1	<b>Resultat</b>	<b>47</b>
6.1.1	Layout	47
6.1.2	Materialhantering	47
6.1.3	Ekonomiska konsekvenser	47
6.2	<b>Rekommendationer</b>	<b>48</b>
6.2.1	Framtida rekommendationer till SCA	48
<b>7</b>	<b><i>Referenser</i></b>	<b>50</b>
7.1	<b>Litteratur</b>	<b>50</b>
7.2	<b>Muntliga källor</b>	<b>51</b>
7.3	<b>Elektroniska källor</b>	<b>51</b>
7.4	<b>Artiklar</b>	<b>51</b>
	<b><i>Appendix 1 - Layout på sheetplant i Tyskland</i></b>	<b>52</b>

<i>Appendix 2 - Detaljlayout</i>	<u>53</u>
<i>Appendix 3 – Analys 1 av medel-ledtid</i>	<u>54</u>
<i>Appendix 4 - Analys av medel-ledtid</i>	<u>57</u>
<i>Appendix 5 - Flödesjämförelse</i>	<u>59</u>

# 1 Inledning



*Det inledande kapitlet beskriver bakgrunden till examensarbetet med problematisering, avgränsningar och vår målsättning. Företaget SCAs historia och nuvarande situation redovisas och till sist finns även en bild av dispositionen för att läsaren lättare ska kunna ta till sig rapportens innehåll.*

## 1.1 Bakgrund

SCA har sedan en längre tid haft fokus på att reducera kostnader och driva på en ökad effektivitet i företaget<sup>1</sup>. I enlighet med koncernens målsättning fick SCA Förpackningsservice (FPS) i Värnamo, där examensarbetet har ägt rum, uppdraget att förändra och flödesorientera sin layout.

SCAs division för wellpaptillverkning i Värnamo har under en tid lidit av problem i sin produktion. Produktionen är i de flesta delar helt automatiserad med ett stort datastyrt lager som förser de olika maskinerna med material. Under en tid har denna produktion dock lidit av destruktiva tillbakaflöden, det vill säga material som behöver flyttas tillbaka upp i flödet för ytterligare bearbetning innan de är färdiga produkter.

Dessa flöden har framförallt genererats av en lim- och ihopfogningmaskin kallad 752. Ledningen på SCA Wellpapp<sup>2</sup> har insett att maskinen inte längre kan vara en del av maskinparken och därför har beslut tagits att 752 måste placeras längre ner i produktionsströmmen, det vill säga i SCA Förpackningsservice lokaler

Förväntningarna från SCA FPS sida är att examensarbetet ska generera en ökad effektivitet, omräknat i tid så pass mycket att maskin 752 ska kunna integreras i FPS produktion utan nyanställningar. Två heltidstjänster är det som krävs för att bemanna maskin 752.

## 1.2 Problematisering

---

<sup>1</sup> Kvartalsrapport, SCAs hemsida, [www.sca.se](http://www.sca.se)

<sup>2</sup> Intervju med Leif Midholm



SCA FPS kommer inom en snar framtid att få en ny maskin som de inte har plats med i produktionen under rådande förhållanden. Denna maskin ska placeras så att den är integrerad i produktionen, men utan att störa den andra tillverkningen. Det är också det som är huvudfrågan i denna rapport, hur en layout ska utformas på bästa sätt för att understödja de olika former av produktion som förekommer i FPS fabrik.

Den nya maskinen, maskin 752, binder upp 6 heltidsanställda vid SCAs Wellfabrik. Operatörerna är på denna fabrik maskinspecifika, vilket ger en begränsad flexibilitet vid produktionssvängningar. Produktionsstyrkan är idag anpassad för 2-skift och full beläggning. Vid en maskinflytt till FPS lokaler blir dessa personer överflödiga och kommer att varslas om uppsägning.

### **1.3 Mål**

Målet för examensarbetet definierades enligt nedan:

Undersöka och ge ett förslag på hur en tänkbar layout kan se ut med hänsyn tagen till att alla maskiner ska fungera på ett tillfredsställande sätt med materialförsörjning och spillhantering och att en ny maskin, 752, ska få plats och kunna bemannas utan några nyanställningar.

### **1.4 Avgränsningar**

FPS i Värnamo har i huvudsak tre olika verksamheter. Dessa tre är produktion av kartonger, grossistlager och lagerhållning för kunder. Examensarbetet kommer att vara avgränsat till produktionen av kartonger då de andra delarna hade gjort arbetet för omfattande.

Tidsramen för projektet har satt hårda krav på examensarbetet och nödvändiga avgränsningar har gjorts så att fokus ligger på produktionen vid FPS. Även om lagerhållning och inköp av material styr hur mycket lagringsutrymme och plats som finns i fabriken avgränsas även arbetet från att material går in i produktionen tills att produkten har levererats till färdigvarulagret vid FPS.

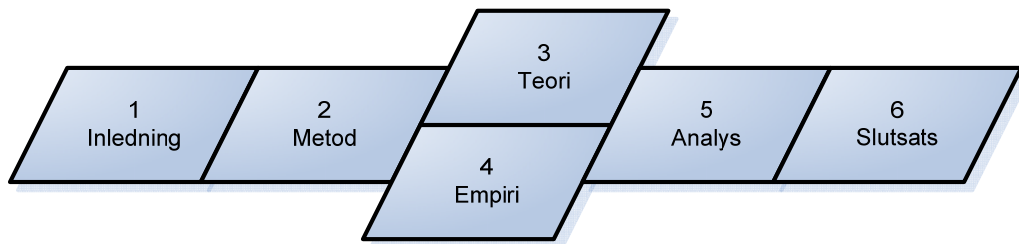
### **1.5 Målgrupp**

Läsaren av detta examensarbete är tänkt att vara medarbetare i projekt 752 vid FPS Värnamo. Författarna har även för avsikt att rikta in arbetet mot personer med högre befattningar inom SCA och institutionsmedlemmar vid Förpackningslogistik vid Lunds Tekniska Högskola.

Författarna tror även att arbetet kan vara till gagn för övriga studenter vid tekniska högskolor i Sverige om dessa anser sig vara intresserade av materialet.

## 1.6 Disposition

Här presenteras examensarbetets disposition, detta för att underlätta för läsaren och öka förståelsen för hur de olika stegen samverkar och vad de innehåller.



### 1 Inledning

Inledningen ger läsaren en överblick över situationen och vad examensarbetets syfte är. I detta kapitel presenteras SCA FPS och vilka problem som företag står inför. Även avgränsningar och målgrupp redovisas.

### 2 Metod

Tillsammans med en genomgång av olika synsätt resonerar författarna i detta kapitlet vilka verktyg och metoder som har använts i arbetet. I slutet av kapitlet beskrivs validitet, verifiering och hur källor har behandlats

### 3 Teori

Teoribegreppen kring layoutplanering, modellering och simulering beskrivs i det tredje kapitlet. Examensarbetarna går igenom vad som ligger till grund för de olika teorierna och vilken relevans dessa har för arbetet. Läsaren får också en djupare inblick i hur simuleringsarbete genomförs. Till sist redovisas teorier kring förändringsarbeten.

### 4 Empiri

Detta kapitel inleds med en presentation av SCA Förpackningsservice Värnamo. Vidare kartläggs hur produktionen är upplagd i dagsläget utan förändringar. Läsaren får en större kunskap i hur maskinparken ser ut och vilka förändringar

som är planerade i denna. Dessutom redovisas hur indatan till simuleringen har samlats in.

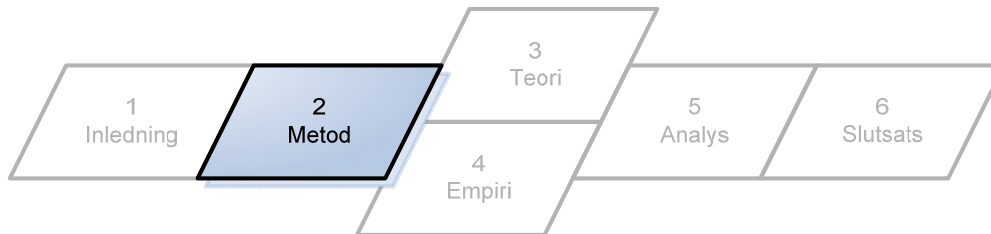
## **5      Analys**

I analysdelen redovisas hur teori och empiri från de två föregående kapitlen används och appliceras på SCA FPS i Värnamo. Den första delen av kapitlet innehåller en framtagning av en ny layout. Denna layout har sedan simulerats och analyserats, vilket tas upp i sin helhet. Sista delen av kapitlet berör förändringsarbetet och hur väl det har fungerat under projektets gång

## **6      Slutsats**

Sist i examensarbetet belyses de slutsatser och de vidare rekommendationer som examensarbetarna vill ge SCA .

## 2 Metod



*Tillsammans med en genomgång av olika synsätt resonerar författarna i detta kapitlet vilka verktyg och metoder som har använts i arbetet. I slutet av kapitlet beskrivs validitet, verifiering och källkritik.*

### 2.1 Metodikens grunder

Innan studien om ett utvalt ämne inleds krävs det att man specificerar med vilken metod som det avses att studien ska göras. Metoden som väljs ska användas genom hela uppsatsen fram tills det att slutsatserna kan dras. Anledningen till att använda sig utav en metod ligger i att studien strävar efter vetenskaplighet<sup>3</sup>.

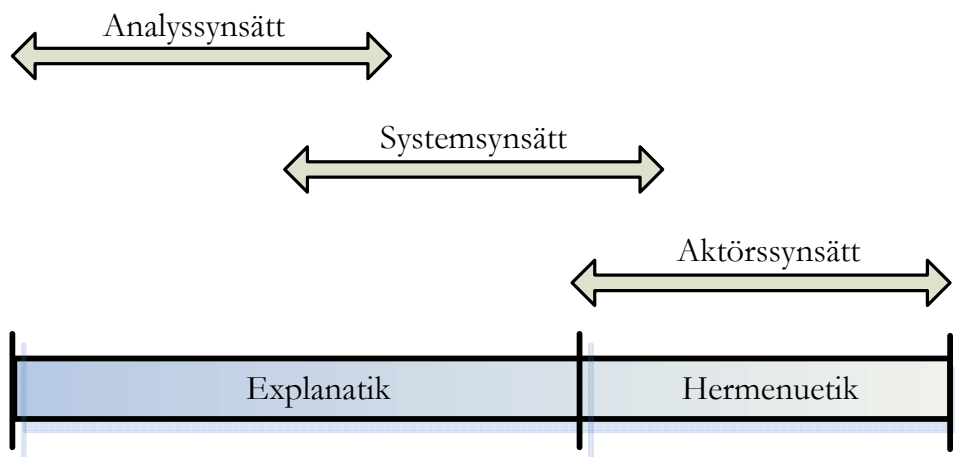
Tre olika metoder kommer att behandlas nedan, analys-, system- och aktörsynsättet. Det anses vara viktigt att välja och ange vilken metod som skall användas och hur tillämpningar av metoden gjorts.

### 2.2 Vetenskapliga synsätt

Författarna kommer nedan att gå igenom de tre huvudsynsätten som finns inom vetenskapliga analyser. De tre är analys-, system- och aktörsynsätt, vilka skiljer sig åt i sina antaganden. De två första anser att det inte finns någon direkt skillnad mellan naturvetenskaplig forskning och samhällsvetenskaplig forskning, utan att verkligheten är lagbunden och av oss oberoende. De som anammar dessa synsätt kallas för explanatiker. Forskare som istället är aktörer hävdar att det finns en skillnad mellan naturvetenskap och samhällsvetenskap kallas för hermeneutiker. De hävdar att det finns en avgörande skillnad i att förklara naturen och förstå kulturen.

---

<sup>3</sup> Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod*



Figur 2-1 - Schematisk bild över metodsynsätten<sup>4</sup>

### 2.2.1 Analyssynsätt

Det analytiska synsättet använder redan framtagna vetenskaper och teorier för att testa dessa mot uppställda hypoteser. Synsättet skapar logiska modeller, orsak-verkan samband och case som kan användas senare då man generaliserar på andra fall. Karaktären av synsättet är likt ett pussel, där det totala resultatet är summan av alla delar. Synsättet har en klar koppling till ren forskning<sup>5</sup>.

### 2.2.2 Systemsynsätt

Synsättet bygger på systemet vars definition är något bestående av flera mindre sammanlänkade komponenter. Det säger också att verkligheten är uppbyggd på ett specifikt sätt och att, till skillnad från analyssynsättet, summan av alla delar inte är lika med resultatet. Med systemsynsättet antas med andra ord att synergieffekter kommer att visas.

Hänsyn skall med andra ord tas till hela systemets funktion och var systemets gränser ska dras. Ett system kan vara öppet eller stängt, ett öppet kan utelämnas komponenter även om de påverkar systemet som helhet medan ett stängt tas alla komponenter med<sup>6</sup>.

### 2.2.3 Aktörssynsätt

Detta synsätt skiljer sig radikalt från de andra synsätten. Då de andra talar om en oberoende verklighet, säger aktörssynsättet att verkligheten endast existerar som en social konstruktion. I och med att synsättet utgår ifrån sociala strukturer kommer den kunskap som utvinns att vara individberoende. Aktörssynsättet säger sig inte vilja vara förklarande utan snarare förstå sociala helheter.

<sup>4</sup> Abnor, I. et al (1997) *Methodology for creating business knowledge*.

<sup>5</sup> Abnor, I. et al (1997) *Methodology for creating business knowledge*.

<sup>6</sup> Abnor, I. et al (1997) *Methodology for creating business knowledge*.

## 2.3 Metodansats

Har ett val av angreppssätt gjorts, och man känner till de för- och nackdelar som finns med valda ingående metoder så är det troligt att man har en bra plattform för att lösa de problem man studerar. Däremot hävdas även att detta inte innebär att användaren inte får avvika från metodens normala tillvägagångssätt<sup>7</sup>.

I denna del kommer olika ansatser till forskning att presenteras och slutligen vårt val att redovisas.

### 2.3.1 Induktion, deduktion

Inom forskningen talas det huvudsakligen om två olika synsätt för hur man angriper problem man ställs inför, det induktiva- och det deduktiva sättet. Båda två härstammar från positivismen eller explanatiken, en filosofi som hävdar att kunskap inte kan kallas för vetenskap om den inte kan verifieras<sup>8</sup>. Bara ett rätt svar finns och kan därmed beskrivas som i det närmaste en matematisk filosofi, utan utrymme för resonemang. Även om positivismen innehåller betydligt fler än de två angreppssätten som nämns ovan så har författarna valt att fokusera på just dessa två.

Induktion betyder att de lagar som råder i verkligheten kan appliceras till empiriska studier, och resultaten från dessa blir teorier. När de vetenskapliga teorierna har nåtts så kan den appliceras på andra situationer. När man gör denna applicering använder sig av deduktion, det vill säga att av gällande forskning skapas förutsägelser om hur verkligheten kommer att bete sig<sup>9</sup>.

### 2.3.2 Kvantitativ studie

Då man utför forskning på en större population för att se korrelation och bevisa de hypoteser som är uppsatta använder man sig av kvantitativa verktyg. De verktyg man använder sig av oftast är enkätundersökningar och experiment. De statistiska utvärderingarna av resultatet spelar i den kvalitativa studien en stor roll för att kunna göra en värdefull analys<sup>10</sup>.

### 2.3.3 Kvalitativ studie

I den kvalitativa studien vill man till skillnad från föregående ha en närmare kontakt med det ämne som studien avser. Detta nås genom intervjuer, fältstudier och observationer<sup>11</sup>. För att få bästa resultat från sina kvalitativa studier krävs ofta

---

<sup>7</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

<sup>8</sup> Bryman A. (1997) *Kvantitet och kvalitet i samhällsvetenskaplig forskning*.

<sup>9</sup> Abnor, I. et al (1997) *Methodology for creating business knowledge*.

<sup>10</sup> Bryman A. (1997) *Kvantitet och kvalitet i samhällsvetenskaplig forskning*.

<sup>11</sup> Wallén, G. (1996) *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*.

deltagande från forskaren; detta sker då oftast genom deltagande observationer. Forskaren vill då helst utföra såkallade ostrukturerade intervjuer där objektet ges stora möjligheter att påverka svar och kommentarer<sup>12</sup>.

## **2.4 Val av synsätt**

Vi har valt att välja ett systematiskt synsätt för vår studie. Logistiska analyser kräver att flera komponenter kopplas ihop och verkar tillsammans för att förstå helheten. Det bör nämnas att det är svårt att dra en absolut gräns för systematiska och analytiska metodval. Men vi anser att det systematiska synsättet kommer att tillföra arbetet mer djup, då vi inte vill optimera faktorsvis utan snarare en hel produktion där vi låter komponenter påverka varandra .

Det bör tilläggas att examensarbetarna inte helt har tagit avstånd ifrån aktörssynsättet utan använt sig av mer sociala värderingar när intervjuer har genomförts. Tolkningar och analyser av känslouttryck har förekommit och tagits i beaktning.

Inledningsvis, och genom hela arbetet, använde sig författarna av deduktion då vi studerade redan kända vetenskapliga teorier och applicerade dessa på SCA:s situation.

Även kvalitativa och kvantitativa är snarlika på många punkter, dock bör man använda sig av både kvalitativa och kvantitativa metoder för att lyckas med avancerade logistiska analyser.<sup>13</sup> Författarna har valt att göra en mer kvantitativ insamling av data, medan intervjuerna har bedrivits med ett kvalitativt synsätt. Intervjuerna har varit ostrukturerade och objektet har haft stor möjlighet till att formulera sina egna svar och påverka intervjuförloppet.

## **2.5 Tillvägagångssätt**

Det finns flera olika vetenskapliga tekniker för hur man går tillväga då en studie görs. Vi har valt att kalla de kommande tekniker för just tekniker, även om de lika väl skulle kunna betraktas som metoder

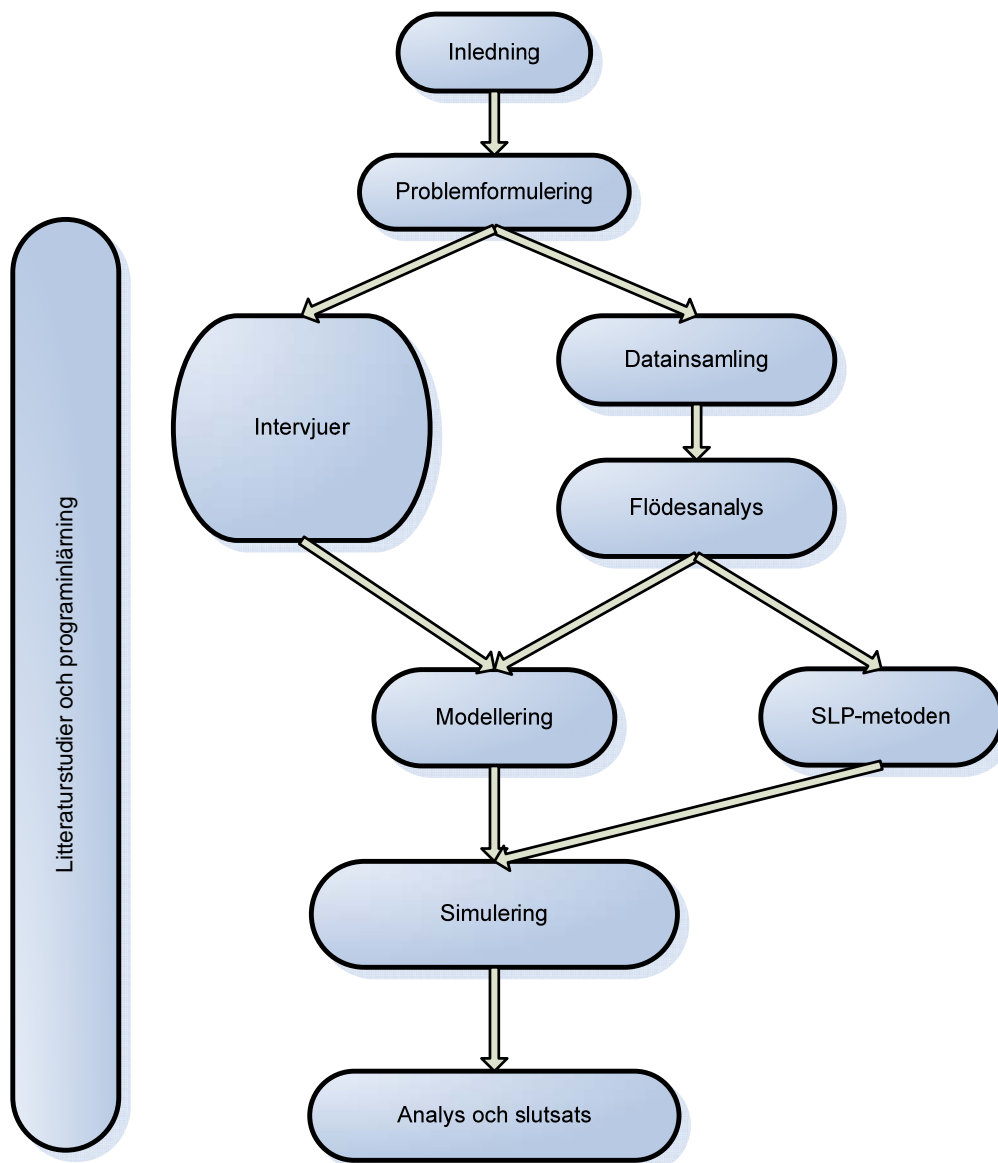
För att slå fast hypoteser, göra beskrivningar och dra slutsatser krävs det att man vet vilka tekniker som är mest lämpade för ens studie. Med begreppet vetenskaplig teknik menas på vilket, eller vilka, sätt som information och material samlas in för att lösa uppgiften<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Bryman A. (1997) *Kvantitet och kvalitet i samhällsvetenskaplig forskning.*

<sup>13</sup> Näslund D. (1999) *Logistics need qualitative research*

<sup>14</sup> Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod.*



Figur 2-2 Arbetsgången för examensarbetet

### 2.5.1 Arbetsgången

Innan vi startade examensarbetet beslutade författarna sig för hur vi skulle fördela tiden för att vara så effektiva som möjligt. Som ses i Figur 2-2 har arbetet brutits ner i tydliga delar för att kunna följa upp och lättare dokumentera olika skeenden i projektet.

Inledningsvis startade vi våra litteraturstudier för att få en bredare förståelse över problemet och hur vi skulle angripa det. Fokus låg i det här skeendet på att lära oss SLP-metoden och de dataprogram som vi visste skulle behövas inom projektet.



I nästa steg inleddes datainsamlingen tillsammans med intervjuer. Datainsamlingen skedde inte helt problemfritt vilket kommer att framgå senare i rapporten. Datan användes för en noggrann flödesanalys och kopplades sedan ihop till ett flödesdiagram.

Vi var nu redo att börja vår systematiska lokalplanering, med flödesdiagrammet och den givna lokalen som utgångspunkt. Samtidigt började vi modellera i programmet AutoMod. När en optimal layout var färdig kunde vi implementera den i vår modell och börja simuleringen.

Till sist gjordes validering och verifiering av modellen med kunniga inom SCA. Med detta färdigt gjordes en slutlig analys med slutsatser och rekommendationer.

## 2.5.2 Intervjuer

För att nå djup in i ämnet och få många olika aspekter av hur problem har uppkommit och bör lösas kan intervjuer vara en hjälpande teknik. Intervjuernas största fördel är dess flexibilitet, då man kan följa upp svar med följdfrågor på ett sätt som hade varit omöjligt med en enkätundersökning. Vidare har intervjuaren en bättre möjlighet att ta in känslor och tonfall i svaren<sup>15</sup>. För att utnyttja intervjuens fördelar allra mest bör förberedelserna vara noggranna och deltagarna väl utvalda, så att inga missförstånd och tidskrävande kommentarer behövs.<sup>16</sup> Som nämnts ovan kan man dock nå bra resultat med ostrukturerade intervjuer också, då de kommentarer som fås då kan vara väldigt värdefulla.

## 2.5.3 Litteraturstudier

För att få en relevant bas att stå på inför påbörjandet av studien är litteratursökning ett viktigt moment. Litteraturstudier förväntas inledas innan man startar ett projekt av större mått. Och även om det är idealt att slutföra litteraturläsningen innan man går vidare med det praktiska arbetet är det praxis att läsningen sker parallellt med studien<sup>17</sup>.

## 2.5.4 Dagböcker

Ett relativt effektivt sätt att hålla koll på vad som har gjorts och när det har gjorts under projektets gång är att föra en dagbok, eller snarare en loggbok. Detta ger en värdefull informationskälla till hur händelseförloppet har trett sig. Dock bör man

---

<sup>15</sup> Bell, J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

<sup>16</sup> Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod*.

<sup>17</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

vara medveten om att arbete med dagböcker oftast är tidskrävande och hamnar sedan långt ner på prioriteringslistan. Detta kan då kännas som en börda istället för ett verktyg<sup>18</sup>.

## **2.6 Praktiskt tillvägagångssätt**

För att samla in all den data som ligger till grund för examensarbetet använde författarna sig av alla de ovan beskrivna metoderna.

I det inledningsskedet startade datainsamlingen över produktionen. Detta gjordes för att skapa förståelse för hur produktionen bedrivs i dagsläget och hur den har bedrivits under längre tid. Framförallt användes orderkort från den verkliga produktionen. Dessa fanns främst i pappersform men även inlagda digitalt i ordersystemet Kiwi. Produktionsstatistiken togs uteslutande från vecka 36 till och med vecka 40, alltså september månad. I samråd med produktionsledningen vid SCA Packaging kom det fram att just september månad var lämplig att använda då inga större avvikelser från det normala inträffade. Dessutom finns det inga säsongsvariationer vid produktionen i SCA FPS. Med denna data kunde produktionsflöden beskrivas och analyseras.

Litteraturstudierna och dess sammansättning har påverkats framförallt av vad institutionen för förpackningslogistik har upplyst om. I mångt och mycket har litteraturen bestått av simulering och modelleringsböcker och kompletterande artiklar. Författarna har även studerat organisationsteori för att utöka analysen av förändringsarbetet.

För att få en djupare och mer nyanserad bild av situationen på SCA FPS i Värnamo använde examensarbetarna sig av ostrukturerade intervjuer. Vi valde ostrukturerade intervjuer för att underlätta för objektet att säga sin mening och formulera sina egna kommentarer på relativt öppna frågor.

Under hela den praktiska delen av projektet har dagböcker använts för att i efterhand kunna utreda händelseförloppet under arbetets gång. Precis som teorin förutspådde kom kanske dagböckerna lite väl långt ner i prioritet, men har varit användbara i arbetets slutskede.

## **2.7 Validitet och Reliabilitet**

---

<sup>18</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

### 2.7.1 Reliabilitet

För att en studie eller ett verktyg ska vara reliabel krävs att det ger samma svar varje gång man använder det. Evegård ger i sin bok följande exempel:

*”Vi tänker oss att vi har ett måttband av gummi och med dess hjälp fastställer längden på plankor. Om det visar sig att det är svårt att hålla samma längd på måttbandet när man sträcker ut det efter plankorna, blir resultatet att en meter vid en mätning inte förefaller vara lika lång vid en annan mätning. Denna mätningmetod är alltså inte reliabel”<sup>19</sup>*

Med en hög reliabilitet säkerställs att inga slumpmässiga fel uppkommer vid olika mätningar.

### 2.7.2 Validitet

Med validitet menas att de mått som mäts verkligen är de som man avser att mäta. Det är därför viktigt att inte jämföra olika resultat med varandra utan att veta vad som har vägts in i måttet. En kritisk granskning av sina frågor, som man tänkt använda sig av, är rekommenderat och kan vidare ge en antydning huruvida dessa är pålitliga.<sup>20</sup>

Att ett mått har hög reliabilitet är ingen garanti för att validiteten blir hög. Om forskaren förutser ett resultat kan han senare jämföra utfallet med antagandet. Om detta upprepas och ett gott samband ses kan validiteten sägas vara hög<sup>21</sup>.

## 2.8 Källkritik

Det finns två typer av källor, primärkälla och sekundär källa. En primärkälla sägs vara data som man skapat under studiens gång, medan en sekundärkälla är en tolkning av ett tal som är baserat på primärkällor. Vidare finns det två olika sorters av primära källor. Den ena är en ”avsiktlig källa” som är skapad för att kunna användas av senare studier. Den andra är följaktligen en ”oavsiktlig källa” som används för ett annat ändamål än att ge information till studien. Ett exempel på en sådan källa är ett mötesprotokoll, eller en produktionsorder. Oavsiktliga källor är mycket vanligare, och oftast mer användbara, än en avsiktlig. En viktig aspekt när

---

<sup>19</sup> Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod*.

<sup>20</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

<sup>21</sup> Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod*.

man använder sig av oavsiktliga källor är dock att se kritiskt på dem, eftersom deras uppkomst ibland kan vara för att vilseleda någon om sanningen<sup>22</sup>.

Källkritiken är det som är grunden till om arbetet som utförs ska kunna vinna respekt. Det insamlade materialet kan betraktas med såväl intern som extern kritik. Den senare syftar på ifall en källa är att betrakta som äkta eller inte. Detta är oftast ganska svårt att vidimera, speciellt när källorna är skrivna och relativt gamla. Det som oftast används i mindre studier är intern kritik. Den interna kritiken består i att en källa granskas strängt i avseende på författarens målsättning, relation till verket, vilket syfte hade författaren då studien gjordes och hur gammal är källan<sup>23</sup>.

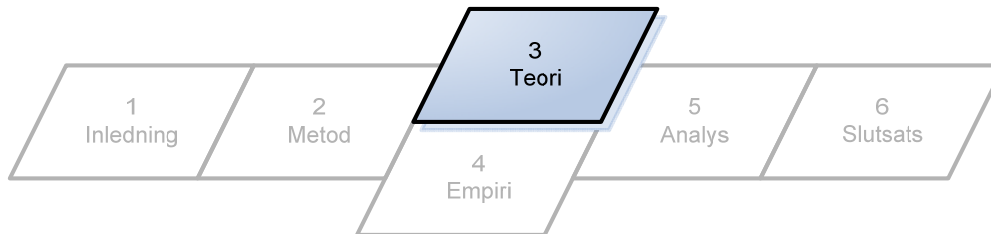
Det viktigaste när en källa refereras är alltid att inte godta den, utan att den genomgått en kritisk granskning.

---

<sup>22</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

<sup>23</sup> Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*.

## 3 Teori



*Teoribegreppen kring japansk produktionsfilosofi, layoutplanering, modellering och simulering beskrivs i det tredje kapitlet, därtill kommer också teorier kring förändringsarbeten. Examensarbetarna går igenom vad som ligger till grund för de olika teorierna och vilken relevans dessa har för arbetet. Läsaren får också en djupare inblick i hur simuleringsarbete genomförs. Till grund för förändringsarbetet ligger J P Kotters bok "Leading Change"*

### 3.1 Japansk produktionsfilosofi

Japansk produktionsfilosofi har bildat grunden för författarnas utbildning i produktionsteknik och kan betraktas som ett paradigm vilket författarna verkar utifrån. Därför beskrivs detta avsnitt med en hög detaljnivå.

Japansk produktionsfilosofi eller just-in-time är ett samlingsbegrepp för styrprinciper vars mål är att göra produktionsprocessen mer rationell. Genom åren har flera olika japanska produktionssystem lanserats vars gemensamma mål syftar till att producera varor i rätt tidpunkt i just den mängd som efterfrågas. Detta ställer höga krav på planering, så att materialet ska finnas på plats precis när det behövs.

JIT, eller Lean Production som det också vanligtvis kallas, har två huvudsakliga målsättningar, att reducera produktionskostnaderna genom kontinuerlig produktionsförbättring och att förbättra kvalitetsnivån på produkterna så att onödiga arbeten och spill minimeras, ofta talas om de sju spillen som redovisas nedan.<sup>24</sup>

#### 1. Överproduktion

Se till att ha kontroll över hur mycket som produceras och att inte överstiga den efterfrågan som finns.

#### 2. Kassationer

Höj kvalitén på produktionen och gör rätt saker från början. Detta minskar risken för kassationer och felaktiga produkter.

---

<sup>24</sup> Aronsson H. et al (2003) *Modern Logistik*

### **3. Väntan**

Utforma din tillverkning så att den blir så flödesorienterad som möjligt. Se även till att minimera köer och håll dessa små.

### **4. Transporter**

Räta ut transportflödet så att det blir så effektivt som möjligt.

### **5. I produktionen**

Undvik onödigt spill och maximera materialutnyttjandet för att få ner kostnaderna för material.

### **6. Lagring**

Korta ner ledtider och minimera lager och minska därmed kapitalbindningen i lagren. Se över leveransprecisionen och korta ner tiden från ankommande material till det går in i produktion

### **7. Onödiga rörelser**

Standardisera arbetsmoment för att effektivisera produktionen

JIT innebär även att reducera omställningstiderna och att arbeta med korta serier. Idealet är noll fel, ingen omställningstid och en seriestorlek på ett. För att uppnå målsättningarna är en viktig del av JIT att engagera människan i systemet, då det är människan som slutligen avgör kvaliteten på produkten och som kan föreslå förbättringar.

När JIT-begreppet överförts och använts i västvärlden är det främst två områden som behandlas. Den ena JIT-delen som behandlas är mer generell och omfattar oftast materialförsörjning och lagerreduktion. Målet här brukar vara frekventare försörjning som ger mindre bundet kapital, lägre lagrings- och hanteringskostnader och högre kvalitet. Den andra delen är ”Toyota Production System” (TPS). TPS utvecklades under 1960- och 70-talen hos biltillverkare Toyota och är det egentliga upphovet till det som kallas japansk produktionsfilosofi. TPS brukar delas upp i nio huvudfunktioner enligt nedan.<sup>25</sup>

#### **1. Heijunka – Utjämnad produktion**

Syftar på att åstadkomma en produktionsplanering som jämnar ut toppar och dalar i produktionen. För att kunna jämna ut belastningen krävs att produktionsorder delas upp i mindre serier, vilket i sin tur kräver korta ställtider och låga omställningskostnader.

#### **2. Snabb omställning av maskiner (SMED – ”Single-digit Minute Exchange of Dies”)**

---

<sup>25</sup> Björnland D. et al (2003) *Logistik för konkurrenskraft*.

Metod för att sänka ställtiden på maskiner. Målet är som namnet antyder att komma ner på en ställtid under tio minuter. Detta görs genom att aktiviteter i ställtiden delas upp i inre och yttre ställtid. Med inre ställtid menas operationer som måste utföras när maskinen står still och yttre ställtid är sådana operationer som kan utföras när maskinen är igång. Därefter försöker man reducera antalet operationer i den inre ställtiden och istället flytta de till yttre ställtid.

### **3. JIT-”Just-in-time”**

Samtliga delar i produktionsprocessen producerar nödvändiga produkter på utsatt tid.

### **4. Anpassad materialhantering – layouten anpassas efter materialflödet**

Innebär att man strävar efter en materialflödesorienterad produktionslayout, anpassad för produktion i små serier.

### **5. Automatiskt stopp och kvalitetsstyrning (Jidoka)**

Jidoka innebär att ha en kontinuerligt pågående kvalitetsstyrning och kontroll. Målet är att upptäcka felaktigheter och stoppa de vid källan för att undvika att defekta produkter förs vidare i systemet.

### **6. Arbetsbeskrivning (Standard working)**

Genom att skapa en standardiserad arbetsbeskrivning för de operationer som ska utföras underlättas kontroll av operationerna och även balansering av produktionen. Arbetsbeskrivning kan också användas vid utveckling av arbetet för att på så vis kunna utnyttja cykeltiden rätt, utföra arbetet i rätt följd och för att normera materialåtgången. Med en utförlig arbetsbeskrivning går det även enklare att sätta sig in i arbetsuppgiften för en nyanställd, vilket ökar möjligheterna för arbetsrotation

### **7. Slöseri (Muda)**

Alla operationer som förbrukar resurser men inte är nödvändiga för framställningen av produkten skall betraktas som slöseri och därför minimeras. Detta kan exempelvis vara väntetid och lagring, kassation och omarbete och onödiga interna transporter.

### **8. Kanban**

Ett kanbansystem är ett signaleringssystem där operatörerna signalerar sin förbrukning av material uppåt i kedjan med hjälp av ett kort (”kanban”). Därigenom får föregående operation reda på vad som ska produceras. Detta kallas sugstyrning (”pull”) och kan jämföras med den traditionella produktionsstyrning som innebär att produkterna trycks (”push”) genom fabriken. På detta sätt uppnås en JIT-produktion genom att efterföljande arbetsstation hämtar material från den föregående vid behov istället för att den föregående levererar till nästföljande enligt en produktionsplan. Denna

information kan antingen användas internt eller även vidarebefordras tillbaka till leverantörerna.

### **9. Förslags- och belöningsystem (Soikifu)**

Enligt japansk produktionsfilosofi skall de anställda integreras i den kontinuerliga förbättringsprocessen och man måste värna om de anställda för att nå de uppsatta målen. Genom till exempel kvalitetscirklar och förslagsverksamhet uppmuntras de anställda att delta mer aktivt i arbetet. Målet är att reducera antalet anställda, utnyttja deras kreativitet och höja arbetsmoralen. Förslag bör belönas och de anställda få en bonus som står i proportion till företagets resultat.<sup>26</sup>

## **3.2 Systematisk lokalplanläggning**

### **3.2.1 Introduktion**

Metoden systematisk lokalplanläggning (SLP) är ett användbart verktyg när man vill ta fram nya layouter i produktionen. I ett antal steg går man systematiskt igenom hur produktionen ser ut och hur man kan dimensionera sina maskiner och lokaler utefter den. Det var redan under 60-talet som SLP-metoden introducerades i USA, och även då i Sverige. Den metod som ligger till grunden för detta arbete beskrevs i kompendiet ”Industriell anläggningsteknik”<sup>27</sup> som används i kursen med samma namn vid Lunds Tekniska Högskola. Den ursprungliga forskningen som kompendiet bygger på redovisades i Richard Munther’s ”Simplified Systematic Local Planning”<sup>28</sup>. I sin publikation beskrev Munther 1996 en förenklad metod som är mer anpassad för dagens produktion.

När företag bestämmer sig för att inleda förändringsarbete i produktionen används denna metod med fördel. Framförallt när det gäller nybyggnationer men även ombyggnationer och tillbyggnationer kan underlättas. Processen består av sex steg, dessa beskrivs kortfattat nedan

### **3.2.2 Produktionsanalys**

Produktionsanalysens syfte är att få en överblick av vilka produkter som använder vilka resurser i anläggningen. En väl genomförd kartläggning ger senare större möjlighet till att göra en välgrundad analys.

---

<sup>26</sup> Björnland D. et al (2003) *Logistik för konkurrenskraft*.

<sup>27</sup> Perborg L. et al (2001) *Industriell anläggningsteknik*

<sup>28</sup> *Simplified Systematic Plant Layout*, Iowa State University’s hemsida, [www.iastate.edu](http://www.iastate.edu)



### **3.2.3 Funktionsindelning**

Enligt SLP-metoden gör man en funktionsindelning för att hålla ner antal parametrar som skall kopplas till varandra i matrisen som följer i nästa steg. Funktionerna bör vara sådana att de innehåller maskiner av samma typ, och som alla ställer samma krav på sin omgivning med hänseende på miljö och byggnadsteknik.

### **3.2.4 Sambandsanalys**

För att få ett användbart resultat av sin funktionsindelning krävs att man sätter upp samband mellan de olika funktionerna. Sambandet ställs upp i ett så kallat närhetsvärderingsschema, där man väljer vilken närhet man önskar mellan de olika funktionerna. Detta symboliseras med hjälp av ett nummerbetyg, från betyg ”närhet absolut nödvändigt” till ”närhet inte önskvärd”. Användaren väljer då att redovisa närhet genom att fylla i sin matris med förutbestämda siffror.

### **3.2.5 Sambandsdiagram**

Efter att sambandsanalysen har gjorts i tabellform vill man visualisera flödena i produktionen, detta görs i närhetsdiagrammet som binder ihop de funktioner som kräver närhet med varandra. Närheten symboliseras av tjockleken på den linje som binder samman maskinerna. För att närhetsdiagrammet ska vara till så stor nytta som möjligt försöker man att minimera antal linjer som korsar varandra.

### **3.2.6 Huvudlayout**

Nästa steg i SLP-metoden är att göra en blocklayout och senare en huvudlayout. Blocklayouten är en förlängning av närhetsdiagrammet där även funktionernas ytbehov tas i beaktning. Denna blocklayout appliceras sedan på den byggnad som man avser att ha produktionen i. Detta underlättas givetvis om man väljer att bygga en helt ny lokal där begränsningarna är få. I detta steg tas flera alternativa layouter fram för vidare analys.

### **3.2.7 Värdering**

Värderingens syfte är att vikta olika värderingsfaktorer som man önskar ha på sin framtida layout, sådana kan till exempel vara ”raka materialflöden”, ”flexibilitet” och ”god arbetsmiljö”.

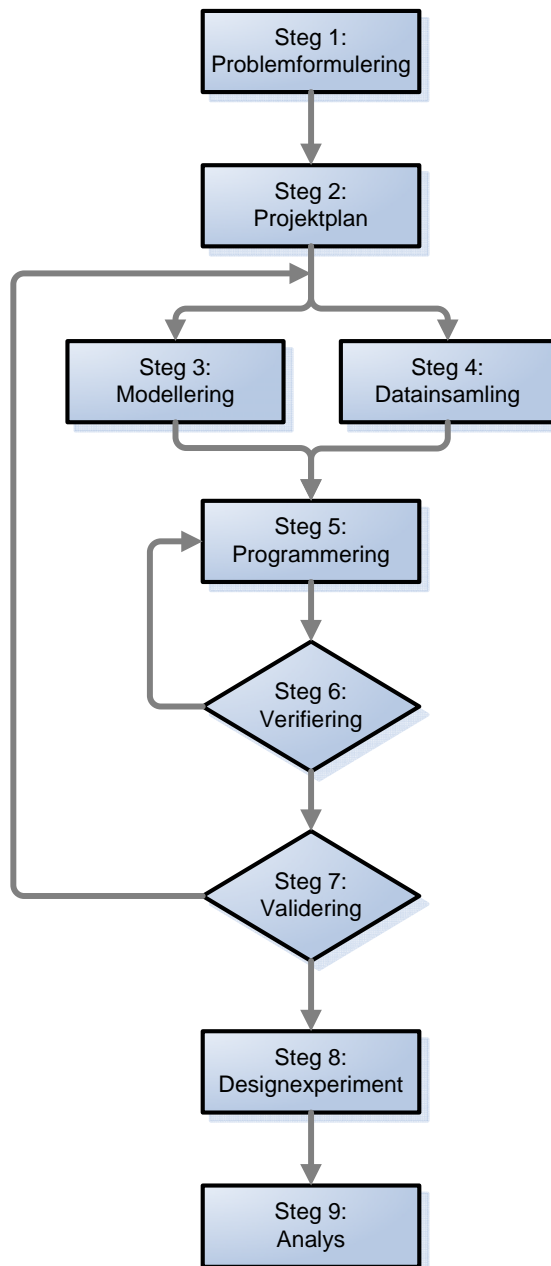
### **3.2.8 Detaljlayout**

Det sista steget i SLP-metoden är att upprätta en detaljlayout. Här ritas man in alla de maskiner på sina specifika platser. Man fastslår även hur pallställ, transportgångar och lyftbord ska finnas med för att förenkla en byggnation. Detaljlayouten bör vara så pass detaljerad att en byggnation ska kunna utföras efter den.

### **3.3 Simulering**

#### **3.3.1 Introduktion**

I det kommande kapitlet kommer teorin kring simulering att redovisas. Denna teoridel är väsentlig för examensarbetet då stor vikt och mycket tid kommer att läggas på denna del. Inledningsvis kommer författarna att redovisa den allmänna arbetsgången när simulering utförs. Vidare kommer en diskussion kring val av simuleringsverktyget, och en beskrivning av det samma. Figur 3-1 visar den generella arbetsgången för en simuleringsstudie.



Figur 3-1 Steg i en simulering<sup>29</sup>

### 3.3.1.1 Problemformulering

I detta steg formuleras problemet. Tillhandhålls problemet av uppdragsgivaren ställs stora krav på att den som ska utföra simuleringen har i detalj förstått och accepterat problemformuleringen. Det föreligger dock ändå en risk att problembeskrivningen måste omformuleras under projektets gång.

<sup>29</sup> Banks J. et al (2000) *Discrete Event Simulation*

### 3.3.1.2 Projektplan

I detta steg beslutas förväntad målsättning och vilka resurser som krävs för att genomföra projektet. Målsättningen för projektet bör innehålla förväntade resultat för varje steg. Resurser kan vara nödvändig personal, tidsåtgång, budget för projektet samt mjukvaru- och hårdvarukrav.

### 3.3.1.3 Modellering

I modelleringen omsätts det verkliga systemet som ska beskrivas till en förenklad konceptuell modell. Rekommenderat är att börja med att skapa en enkel modell som senare byggs ut tills önskad detaljnivå uppnåtts. Banks et al<sup>30</sup>. rekommenderar att börja med materialhanteringsystemet och sedan fortsätta med maskiner, körscheman osv. Det är viktigt att tänka på att inte göra systemet mer komplext än nödvändigt, då varje ökning i detaljnivå leder till ökade kostnader och ökad tidsåtgång.

### 3.3.1.4 Datainsamling

För datainsamlingen ställs krav på att den som ska utföra simuleringen tydligt specificerar vilken typ av data som krävs och hur den ska vara presenterad. Tidsåtgången för datainsamlingen är starkt beroende på i vilken form data levereras.

### 3.3.1.5 Programmering

I detta steg omsätts den konceptuella modellen till en datormodell i den mjukvara som beslutades skulle användas.

### 3.3.1.6 Verifiering

I detta steg fastställs att datormodellen uppför sig så som det är tänkt att den konceptuella modellen ska göra. Kontroll görs att rätt enheter använts och att ledtider, processtider och annan nödvändig information överensstämmer med den planerade. För att underlätta en verifieringsprocess finns flera åtgärder som kan vidtas<sup>31</sup>:

1. Använd strukturerad programmering  
Börja med att ta fram en detaljerad plan av modellen innan själva programmeringen inleds. Vidare bör programmet vara nedbrutet i flera submodeller, som kan granskas var för sig. Det är även viktigt att språket är välstrukturerat och logiskt
2. Kommentera modellen

---

<sup>30</sup> Banks J. (1998) *Getting started with AutoMod*.

<sup>31</sup> Ibid

En verifiering blir alltid mycket smidigare om kommentarer till koden finns direkt i koden.

3. Använd fler än en person som verifierare  
Inspektionen av koden ska, för att utföras så optimalt som möjligt, göras av ett team. Detta team består av designern, modellbyggaren, en testare och även en moderator

4. Se till att ingående parametrar är korrekta

5. Kontrollera så att resultaten är resonabla  
Kontrollera framförallt köer så att inte orimligheter förekommer. Om antalet är för högt är det förmodligen något fel i modellen, till exempel fel på resursen som använder kön.

6. Observera animationen  
Använd animation och observera om det uppstår något omöjligt i simuleringen. Orimligheter spåras mycket lättare med en visuell kontroll.

### 3.3.1.7 Validering

Valideringssteget fastställer att den konceptuella modellen är en korrekt beskrivning av det verkliga systemet. Detta kan innebära en mängd svårigheter beroende på det verkliga systemets status. I vissa fall existerar inte det verkliga systemet vilken försvårar förfarandet. Sargent föreslår olika metoder för validering<sup>32</sup>. Dessa är:

#### Face Validation

Detta innebär att den konceptuella modellen visas för personer med god insikt i det verkliga systemet. Dessa personer kan då bedöma huruvida modellen överensstämmer med det verkliga systemet och problemområden kan identifieras. Denna metod är speciellt lämplig när jämförelser av vad viss indata ger för utdata.

#### Historisk data

Om det finns tillgång till historisk data bör en del av denna ligga till grund för själva modellen, medan den andra delen ska användas till att validera att modellens resultat stämmer.

#### Känslighetsanalys

Vid en känslighetsanalys varierar modellens indata tillsammans med dess parametrar. Detta medför att modellen uppför sig på olika sätt samtidigt som känsliga punkter blottas. Observationerna som görs i modellen bör stämma överrens med vad som bör hända om man varierar de verkliga parametrarna på

---

<sup>32</sup>Sargent R. (1998) *Verification and validation of simulation models*

modellen. De känsliga punkter som tas fram bör analyseras noggrant innan modellen används till analyser.

### **Extremtest**

Genom att testa hur modellen uppför sig vid exceptionella förhållanden kan validering genomföras. Till exempel bör utdatan signalera noll om inget stoppas in i modellen. Modellen måste också kunna hantera en maximal produktion utan att ge ett kraftigt sjunkande resultat.

### **Validering av den konceptuella modellens antaganden**

Bekräfta gjorda antaganden gällande struktur och indata för modellen med personer som är insatta i det verkliga systemet.

#### **3.3.1.8 Experiment med modelldesign**

En av de kraftfullaste tillämpningarna med simulering är möjligheten att experimentera med modellen. Genom att skapa olika scenarion och variera olika variabler i modellen går det att förutse hur det verkliga systemet kommer att bete sig i olika situationer. AutoStat är ett verktyg som kan köra modellen i olika scenarier och kan även utföra optimering av önskade parametrar.

#### **3.3.1.9 Analys**

Analysen av modellen börjar med att välja de parametrar som ska mätas. Resultatet av simuleringen kan sedan analyseras med hjälp av ett flertal metoder. Detta kommer att behandlas senare i texten.

#### **3.3.1.10 Fler körningar**

För att avsluta simuleringsprocessen bestäms om resultatet av analysen är tillräckligt bra. Om det anses att resultatet inte är tillräckligt säkert för att använda som beslutsunderlag måste simulanten utvärdera om fler körningar behövs. Det som är brukligt i ett sådant fall är att använda sig av scenarior för att få ett än bättre resultat. Oftast kan speciella dataprogram underlätta denna process.

#### **3.3.1.11 Dokumentering**

Dokumentering av simulationen är användbar av många anledningar. Framförallt vill man kartlägga processerna och redovisa för hur simulationen har gått till för att underlätta för framtida simulanter som vill använda samma modell. Om det i en framtid bestäms att modellen ska användas ånyo är en dokumentering väsentlig för att underlätta modifikationer av modellen.

Resultaten av simuleringar bör redovisas noga. De är inte sällan de ligger till grund för beslut och framtida strategier inom företaget.

### **3.3.1.12 Implementering**

Om kunden har varit involverad genom hela simuleringsprocessen och haft ett bra samarbete med simuleringsanalytikern torde implementeringen inte vålla några problem. Dokumenteringen i föregående steg bör vara så komplett så att inte simuleringsanalytikern behöver delta när projektet implementeras.

### **3.3.2 Val av verktyg**

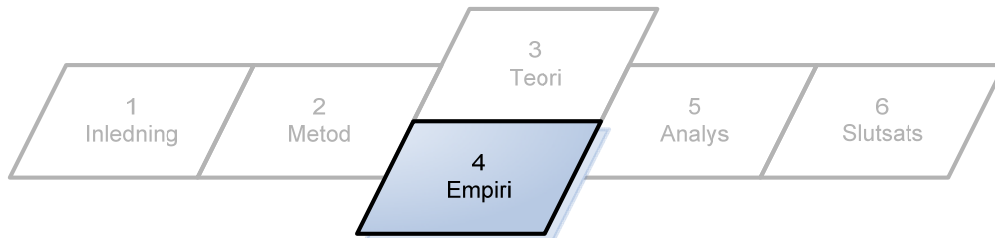
Som alla teknologer med logistikbakgrund bör känna till så finns det en uppsjö av olika simuleringsprogram att använda sig av. Examensarbetarna har valt att använda sig utav ett program som heter AutoMod. AutoMod är framtaget av det amerikanska företaget Brooks Automation och är spritt över hela världen med ledande företag som kunder.<sup>33</sup>

Den främsta anledningen till att AutoMod valdes som verktyg för simuleringen var att institutionen för förpackningslogistik vid Lunds tekniska högskola hade en licens för programmet och rekommenderade det. Examensarbetarna utvärderade programmet och ansåg att det passade till den typ av simulering som SCA krävde. Framförallt är det grafiska gränssnittet relativt överlägset de andra programmen som togs i konsideration.

---

<sup>33</sup>Brooks Automations hemsida, [www.automod.com](http://www.automod.com)

## 4 Empiri



*Detta kapitel inleds med en presentation av SCA Förpackningsservice Värnamo. Vidare kartläggs hur produktionen är upplagd i dagsläget utan förändringar.*

### 4.1 Företagsbeskrivning<sup>34</sup>

SCA Förpackningsservice Värnamo säljer kartonger ur SCA Packagings standardsortiment på en regional nivå. Med regional nivå avses en radie på ca 15 mil. De har även egen tillverkning av lådor i mindre serier. Seriestorleken varierar från en låda till ca 10000. SCA Förpackningsservice är en del av SCA Packaging och är tänkt att fungera som ett komplement till divisionen Wellförpackningar som tillverkar standardlådor i större serier. Kunderna är mindre företag i regionen och även större företag som vill ha prototyper på nya förpackningar. Man tillverkar även lådor på legouppdrag från SCA division Well i Värnamo. Förpackningsservice Värnamo har idag 45 anställda och omsätter ca 90 miljoner kronor årligen. SCA Packaging Sverige har ca 860 anställda och omsätter ca 1,5 mdr kronor årligen. Huvudkontoret ligger i Värnamo.

### 4.2 Produktbeskrivning

Den huvudsakliga produkten som tillverkas av FPS är förpackningar av wellpapp. Utgångsmaterialet är wellark som sedan konverteras till färdiga lådor. För legotillverkningen är utgångsmaterialet wellark i färdiga dimensioner och för den egna tillverkningen dels lagerark, dels specialbeställda ark för varje order. För närvarande använder FPS trettio olika lagerark i fem olika kvaliteter.

#### 4.2.1 Wellpapp<sup>35</sup>

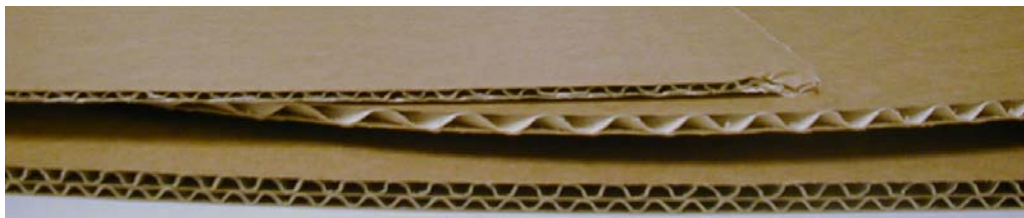
Wellpapp kan definieras som ett material där ett eller flera lager vågformat papper, kallat fluting, limmas på eller mellan planskikt av papper, kallat liner. Tillverkningen sker i hög hastighet i en avlång maskin, vanligtvis hundratalet meter lång. I tillverkningsprocessen får flutingen sin vågform genom att flutingpapperet

<sup>34</sup> Intervju med Johan Liljekvist, produktionschef SCA FPS Värnamo

<sup>35</sup> Svensk Wellpapps hemsida, [www.svenskwellpapp.info](http://www.svenskwellpapp.info).



körs snabbare än linerpapperet genom wellmaskinen där limningen sker. Resultatet blir ett styvt material som lämpar sig väl för förpackningsändamål. Wellpapp tillverkas i en mängd olika kvaliteter, där pappens tjocklek och antal lager varierar. Exempel på olika wellpapptyper ses i Figur 4-1.



Figur 4-1 - Bild på wellpapp i olika tjocklek och material. Noterbart är bl a skillnaden i flutingtäthet och antal lager av fluting och liner.

#### **4.2.2 Wellkonvertering<sup>36</sup>**

Processen där wellpapp omvandlas till färdiga förpackningar kallas wellkonvertering. Processen består av ett eller flera steg där wellarket först, om nödvändigt, skärs till rätt dimension. Efter detta steg stansas eller klipps arket för att få den önskade kartongformen. De delar av kartongen där vikningen ska ske rillas, en markering i wellen som möjliggör uppvikning. I vissa fall krävs sedan att vissa sömmar i kartongen limmas ihop. I de fall tryck önskas, görs detta i tryckpressar som stansar och trycker samtidigt. Vid mer avancerade tryck används en speciell etikettmaskin som laminerar en etikett på wellytan.

### **4.3 Produktionslayout i dagsläget**

FPS lokaler på Bangårdsgatan 2 i Värnamo byggdes ursprungligen som en wellfabrik till SCA Packaging division Well. Fabrikslokalen är helt anpassad till en wellproduktion, med ett utdraget huvudskepp och väldigt lågt till tak. Mars 2002 flyttade Welldivisionen till nyuppförda lokaler och FPS flyttade in. Lokalen är således inte särskilt ändamålsenlig för wellkonvertering.

## **4.4 Best Practise**

### **4.4.1 Intervju med Leif Midholm<sup>37</sup>**

I mars 2002 öppnade SCA Packaging division Well en ny anläggning för wellkonvertering i Värnamo. För att dra lärdom av kunskaper som framkommit med det nya fabriksbygget intervjuades Leif Midholm, chef för division Well, som ansvarade för uppförandet.

---

<sup>36</sup> Svensk Wellpapps hemsida, [www.svenskwellpapp.info](http://www.svenskwellpapp.info).

<sup>37</sup> Intervju med Leif Midholm, Divisionschef SCA Packaging Värnamo

Division Well tillverkar standardlådor i stora volymer som kan kundanpassas med tryck. Även om welldivisionens produktionsstrategi skiljer sig från förpackningsservice finns det enligt Midholm vissa grundläggande egenskaper som en fabrik för wellkonvertering alltid bör besitta. Midholm betonade att något som ofta medför besvär i produktionen är tillbakaflöden. Tillbakaflöden tenderar att krocka med huvudflödet och kan leda till att produktionen måste planeras om eller tillfälligt stängas ner.

En dyrköpt erfarenhet med den nya fabriken var att bandning och utlastning inte klarade av att hantera allt gods när fabriken producerade på maximal kapacitet. Detta fick byggas om efter att fabriken stod klar. Lärdomen av detta var enligt Midholm att en fabrik alltid bör dimensioneras med en kapacitet som ökar efterhand från inleverans till utleverans. På så vis kan inte flaskhalsar uppstå i produktionen utan begränsningen kommer istället i förstaskedet.

#### **4.4.2 Andra fabriker**

Dücker Group är en ledande leverantör av materialhanteringssystem för papper och wellpapp i Europa och Nordamerika. Dücker har tillhandahållit en layoutlösning för en modern så kallad "sheetplant" i Tyskland, som visat sig mycket framgångsrik. Utmärkande för fabriken är att de använder sig av en avpalleterare som separerar wellmaterialet från pallen. Därefter finns automatiska transfervagnar för på- och avlastning av maskinerna. Layouten för denna fabrik visas i Appendix 1.<sup>38</sup>

Ett studiebesök på SCA division Well i Värnamo gjordes också. Detta är en wellfabrik som levererar dels wellark, dels färdiga kartonger. Den nya fabriken har även den ett pallöst system med automatiska transfervagnar för av- och pålastning av material. Mellan welltillverkningen och konverteringsdelen finns rullbanor som fungerar som flytande buffertar. Hanteringen av dessa buffertar är helt automatiserat. Systemet fungerar bra, dock finns en kritisk fyllningsgrad då problem kan uppstå. När den överstigs kan order behöva delas upp i allt för många olika delar för att få plats, detta försvårar en bra hantering och i vissa fall måste wellmaskinen då stoppas.<sup>39</sup>

#### **4.5 Indata till modellen**

Till modellen behövs det en stor mängd indata. För att få en modell som är så snarlik verkligheten som möjligt är det viktigt att indatan är korrekt. Indatan som examensarbetarna samlade in till sin modell redovisas nedan.

---

<sup>38</sup> E-post korrespondens med Mats Nilsson.

<sup>39</sup> Intervju med Anders Johansson, Produktionschef SCA Packaging Värnamo

## **4.5.1 Modellindata**

### **4.5.1.1 Lokalen**

På grund av bristfälliga elektroniska ritningar bestod den första tiden av datainsamlingen av att mäta upp och skapa en ny ritning som ligger till grund för den nya layouten. Med hjälp av lasermätare och andra mätverktyg gick hela fabriksbyggnaden igenom och dokumenterades. Saker som togs i beaktning var väggar, pelare och golv, men även den låga takhöjden och placering av spillhantering.

### **4.5.1.2 Fundament**

Till ritningen på lokalen markerades även placeringar av utgrävningar, lyftbord och fundament. Detta gjordes främst för att underlätta för byggentreprenörerna att göra sitt jobb.

### **4.5.1.3 Truckar**

Till de truckar som används i produktionen finns vissa attribut som studerats. Främst handlade detta om de olika hastigheter som olika typer av truckar har. Dels finns det hög-hastighetstruckar som främst används för att transportera gods längre sträckor och dels så finns det operationstruckar som sköter hanteringen till och från maskinerna. Denna insamling gjordes vid flera tillfällen främst med hjälp av tidsuppmätningar av en bestämd sträcka.

Den andra truckdatan som är väsentlig för modellen är hanteringstiden. Hanteringstiden är den tid som en truck tar på sig för att ladda en pall eller lyfta av en pall från en viss maskin. Denna insamling gjordes även den vid ett flertal tillfällen och med insamlad data räknades en triangelfördelning ut, innehållande lägsta hanteringstid, mest troliga hanteringstid och högsta hanteringstid.

### **4.5.1.4 Maskiner**

Maskinernas indata togs dels från de orderkort som används i produktionen. Ur dessa kort togs maskinernas processtid, alltså den tid det tar för en maskin att tillverka en order. Den andra viktiga maskindatan är ställtiden, där SCA FPS inte har haft något tillförlitligt värde som detta arbete kunnat använda. Därför beslutades det att intervjuer med maskinoperatörerna skulle genomföras för att en bra uppskattning av ställtiden vid varje maskin är. Varje maskinoperatör kontaktades var för sig och intervjuades med en ostrukturerad intervjuteknik för att få fram ett så opåverkat svar som möjligt.

### **4.5.1.5 Bandning**

Det finns två olika operationer som bandar material i produktionen, en bandline och en bandare. Tiderna som dessa två tar på sig att banda en typisk låda har mätts upp vid ett flertal tillfällen och ett medelvärde med en viss spridning har använts.

#### **4.5.1.6 Rullbanor**

De rullbanor som finns i fabriken har studerats och hastigheten tagits fram. Tillverkarna till de rullbanor som ska köpas in till den nya produktionen har gett oss data på vilken prestanda de har.

#### **4.5.1.7 Avpalleteraren**

Den data som behövdes till avpalleteraren har produktionschefen och underhållschefen vid SCA FPS mätt upp till oss när de har besökt tillverkaren<sup>40</sup>

### **4.5.2 Användning av indata**

Med indatan så följer alltid en viss form av osäkerhet. Inga värden så samlas in är deterministiska och måste därför få en spridning. Därför användes en triangelfördelning då inte stora mängder indata fanns. En triangelfördelning bygger på tre värden, ett lägsta värde, ett mest troligt värde och ett högsta värde. Triangelfördelningen användes till ställtider och truckhanteringstider.

För processtiderna som står på orderkortet valdes en normalfördelning. Dessa tider är prognostiserade tider från SCA Packaging, och har tagits fram genom långa studier av maskinerna. Uppgifter på hur prognoserna var uppbyggda lämnades inte ut av SCA av sekretessskäl. Därför togs beslut om att använda sig av en normalfördelning på med en standardavvikelse på 10%.

## **4.6 Produktionsbeskrivning**

Produktionen vid SCA FPS kan beskrivas från orderinitiation till slutprodukt. En order påbörjas när produktionsplaneraren skriver in orderkortet i datorn. Via det interna nätverket kan produktionspersonalen sedan komma åt dagens ordrar och själva bestämma hur de anser att produktionen skall se ut för dagen för att minimera spill och ställ. Detta har lett till en brist i helhetssyn och möjligtvis minskad effektivitet då maskinernas kapacitet inte har utnyttjats optimalt. På orderkortet finns ordernummer, maskiner som ska användas, prognostiserad tid för produktion, mått och kvalitet på arken.

Materialflödet i dagens layout sköts av produktionspersonalen, som hämtar material till sin maskin innan en order ska köras. Materialet är utställt i produktionen i ett flertal olika buffertar. Dessa buffertar är ofta ostrukturerade och personalen har svårt att hitta rätt material vid rätt tidpunkt. Inlastning och utlastning av material sker i den norra änden av byggnaden, där det är två personer som ansvarar för detta. Totalt finns 17 stycken truckar som är avsedda att användas i produktionen. Kostnaden per truck beräknas på SCA genom en

---

<sup>40</sup> Intervju med Johan Lilkvist och Zelko Balinovic, Underhållsansvaring SCA FPS Värnamo

schablon om 25 000 kr per år. Personalkostnaden för en operatör beräknas med en schablon om 191 kr per h.<sup>41</sup>

SCA FPS i Värnamo har en gedigen maskinpark och är den klart största FPS-enheten i Sverige. Maskinparken består i dagsläget av 16 maskiner. De olika maskinerna har olika beskafterheter och ska komplettera varandra. En detaljerad maskinlista över de maskiner som kommer att ingå i den framtida produktionen följer nedan.

Maskin	Maskinnr	Beskrivning
Armhäft	73760	Tillverkar 250 stycken rondeller per timme och kräver en bemanning på 1 person
Ettikettmaskin	777	SCA FPS enda maskin som klarar av att ettikettera lådor. Maskinen kräver en bemanning på 2 personer och gör cirka 500 kartonger per timme
Limmaskin	7360	Limmaskin som i enbart används till en produkt
Tryckpress	73735	En av två tryckpressar, som används för att applicera fyrfärgstryck på wellkartonger. Minsta bemanningen vid maskinen är två personer som producerar 1100 ark per timme
Tryckpress	73736	En äldre tryckpress som enligt SCA producerar 1500 ark per timme. Två personer krävs för att köra maskinen och har likt den andra tryckpressen ett automatiskt ilägg.
Rullsax	7310	Rullsax som körs av en person. Till maskinen finns två lyftbord som möjliggör att maskinen kan skära relativt stora ark.
Rullsax	73711	En mindre rullsax med en körhastighet på runt 2000 ark per timme. Behöver en persons bemanning.
Rullsax	73713	Den tredje rullsaxen som likt den förra har en hastighet på 2000 ark per timme. Används precis som rullsax 73711.
Boxmaker	7340	SCA FPS äldsta boxmaker, en maskin som viker och stansar ut lådor ur större wellpappark. Maskinen har inget automatiskt ilägg begränsas av hur snabbt personen vid maskinen arbetar. Kapaciteten just nu ligger på 169 lådor per timme.
Boxmaker	7341	En större boxmaker som, med en person vid maskinen, producerar cirka 250 lådor i minuten.
Boxmaker	7342	SCA FPS minsta boxmaker, som används för att vika till mindre lådor. Kräver en persons bemanning och gör 250 lådor i timmen.
Häftmaskin	73753	En större maskin som används då man inte limmar, utan snarare häftar ihop lådor. Maskinen är speciellt då den används för att sammanfoga extremt stora lådor. Maskinen har inget automatiskt

<sup>41</sup> Intervju med Mona Williamsson, Controller SCA FPS

		ilägg och kräver 2 personer för att producera lite över 200 klara lådor i timmen.
Bandsåg	73801	Maskin för att beskära ark.
Bandsåg	73802	Maskin för att beskära ark.
Sidolimmare	7361	Används flitigt idag som ihopfogare av lådor som främst kommer från Boxmakers i fabriken. Maskinens kapacitet ligger på ca 250 lådor per timme och kräver 1-2 personer som jobbar beroende på vilken låda som tillverkas.
Digelstans	7370	Precis som namnet antyder används digelstansen för att stansa ut mindre lådor. Bemannas med en person.

Tabell 4-1 - Nuvarande maskinpark vid SCA FPS Värnamo<sup>42</sup>

#### 4.6.1 Beslutade förändringar

Med detta examensarbete följde en del beslutade förändringar som skulle göras. Huvudbeslutet, som är grunden till detta arbete, var att limmaskin 752 ska installeras i FPS lokaler. Detta beslut togs av produktionsledningen i Värnamo och blev därmed givna förutsättningar för examensarbetet. Vidare har diskussioner och beräkningar visat att för att spara in så pass många arbetstimmar som krävs behövdes fler maskinförändringar. En föreslagen förändring från SCAs sida var att köpa in en ny boxmaker som kan användas istället för maskin 7340 och 7342. Dessa maskiner är relativt gamla och en ny maskin skulle öka produktiviteten och spara maskintimmar. Beslutet togs i samråd med ekonomidirektören vid SCA Packaging. De beslutade förändringarna redovisas i Tabell 4-2.

Maskiner Ut		
Limmaskin	7360	Maskinen ansågs ha för liten orderstock för att vara lönsam i Värnamo och flyttades därför till en annan produktionsenhet
Boxmaker	7340	Ersätts delvis med en ny boxmaker. De ordrar som den nyinköpta boxmakern inte klarar av att producera flyttas till boxmaker 7341
Boxmaker	7342	Ersätts av en ny boxmaker
Bandsåg	73802	Enligt beräkningar krävs enbart en bandsåg i dagens produktion
Sidolimmare	7361	Med den nya limmaskinen som flyttas ner från divisionen kommer sidolimmaren att bli överflödig. All den produktion som nu ligger i sidolimmaren kommer att flyttas över till den nya limmaskinen
Maskiner In		
Limmaskin	752	En ny limmaskin, som kommer från SCAs wellpappsfabrik i Värnamo. Maskinen passar inte in i deras produktion men är en väsentlig maskin i SCAs produktion som fortfarande behövs. Maskinen kräver egentligen

<sup>42</sup> Intervju med Johan Liljekvist

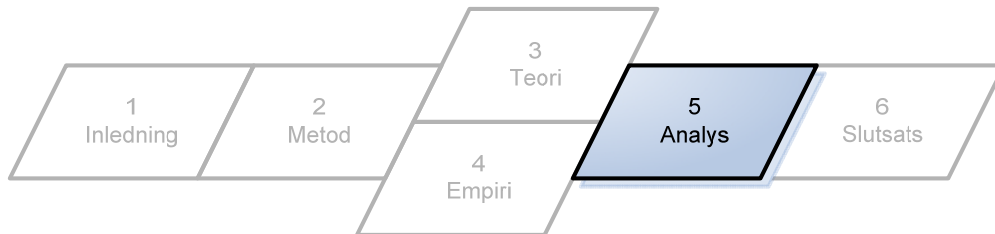
		tre personer men med en tillhörande kross hoppas personalen att det ska räcka med två personer. Maskinhastigheten är 366 lådor per timme
Boxmaker	7344	Den enda nya investeringen i maskiner som kommer att göras. Boxmakern är en mindre variant med automatiskt ilägg. Maskinen behöver en operatör och har en hastighet på 400 ark per timme

Tabell 4-2 - Förändringar i maskinparken vid SCA FPS Värnamo<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> Ibid

## 5 Analys



I analysdelen av examensarbetet kommer teori och empiri flätas samman och analyseras. Inledningsvis kommer SLP-metoden att appliceras och en ny layout att tas fram. Denna kommer att modelleras och simuleras för att analyseras med hjälp av design of experiment. Till sist görs en analys av förändringsarbetet.

### 5.1 Layouten

#### 5.1.1 Systematisk lokalplanläggning

##### 5.1.1.1 Produktionsanalys

För att kartlägga hur produktionen ser ut lades en månads produktionskort in i en databas. Månaden som valdes var september 2005. Denna månad sågs som representativ gällande produktionsvolym och produktmix ur ett helårsperspektiv av produktionsledningen. SLP-teorin föreskriver att produktionen och precedensförhållanden mellan maskinerna ska redovisas grafiskt. På grund av produktionens natur, där de flesta produkterna bara använder sig av en eller två maskiner, ansåg författarna att en sådan visualisering inte skulle tillföra läsaren någon intressant information.

##### 5.1.1.2 Funktionsindelning

Detta steg syftar till att dela upp organisationens huvudfunktioner. Eftersom detta arbete bara innefattar en ombyggnation av produktionen har examensarbetarna valt att avgränsa funktionsindelningen till de maskiner som används just i produktionen. Därför kommer inte hela anläggningen att tas i beaktning.

Den funktionsindelning som examensarbetarna valde att göra visas i Tabell 5-1.

	Funktion
1	Råvarulager
2	Rullsax 7310
3	Rullsax 73711/73713
4	Boxmaker 7341
5	Boxmaker 7344



6	Tryckpressar
7	Bandsåg
8	Armhäft
9	Limmaskin
10	Häftmaskin
11	Digelstans

**Tabell 5-1 - Funktionsindelning vid SCA FPS Värnamo**

Funktionerna är anpassade till den framtida produktionen, därmed är de maskin som inte skall vara kvar i fabriken inte medtagna samtidigt som de nyinköpta maskinerna har tagits i beaktning. Examensarbetarna har i samråd med produktionsledningen i Värnamo valt att utelämna etikettmaskinen 777. Detta beroende på att maskinen inte är speciellt lämplig att flytta från sitt nuvarande läge och att produktionen är väldigt maskinspecifik. Denna maskin togs dock i beaktning när simuleringen genomfördes vilket vi återkommer till.

Vidare ses att tryckpressarna och rullsaxar 73711 och 73713 har sammanslagits i varsin grupp. Detta beror, som beskrivs ovan, att maskinerna har liknande funktioner och fungerar som perfekta substitut till varandra. Däremot kan de två boxmakerna inte ses som substitut då arkstorleken är avgörande när maskin väljs.

### **5.1.1.3 Sambandsanalys**

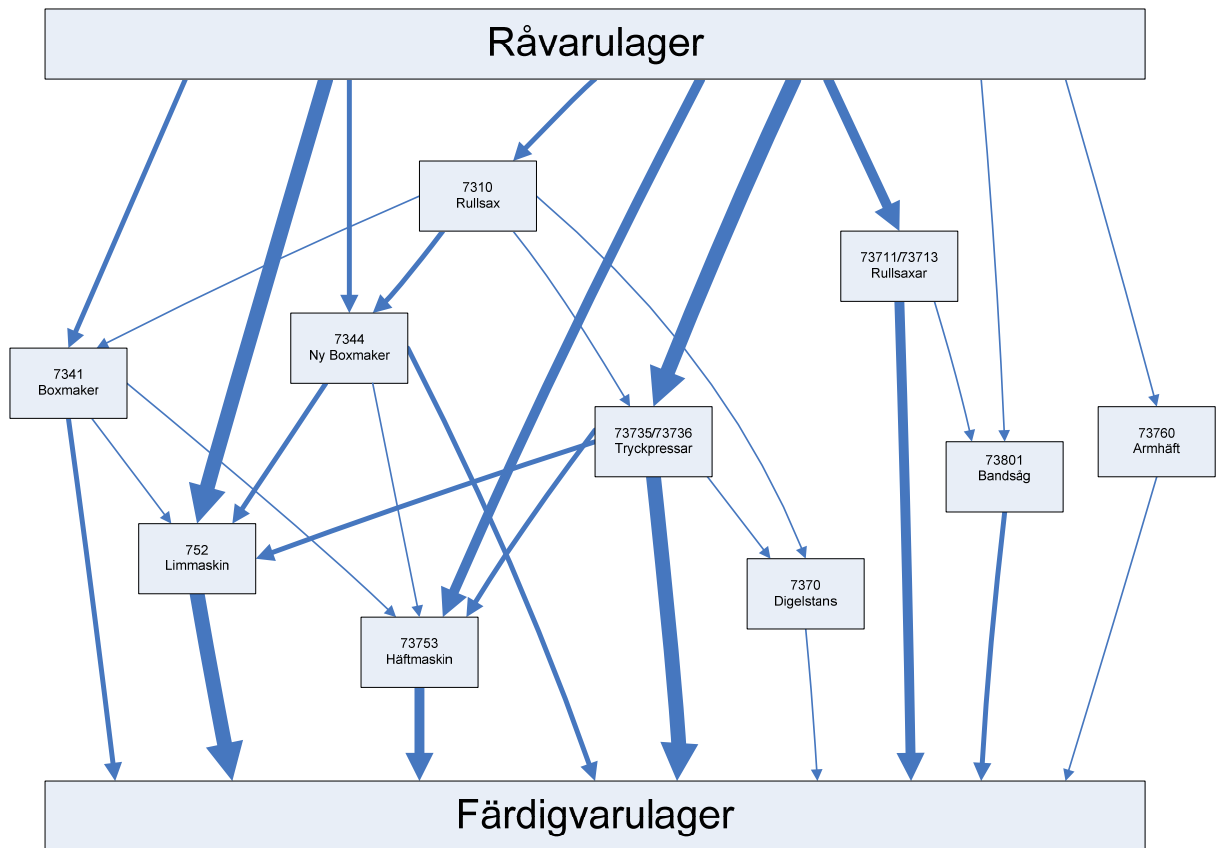
SLP-metoden föreslår vidare att en sambandsanalys genomförs. Examensarbetarna har valt att göra detta med siffrorna 4 till 0. Vi har valt att utgå ifrån en avgörande faktor, detta för att inte göra avgörande misstag i bedömningen av hur nära vissa maskiner bör placeras sinsemellan. Den faktor som vi valde var producerad volym, eller mer exakt, antalet kvadratmeter yta som löper genom produktionen. Nedan ses en förteckning på vilka siffror som symboliserar vilka volymer. Närhetsvärderingsschemat redovisas i Tabell 5-2.

Råvarulager	2	3	3	2	4	1	1	4	3		
7310 Rullsax			1	2	1					1	
73711/73713 Rullsax						1					3
7341 Boxmaker								1	1		2
7344 Boxmaker								2	1		2
73735/73736 Tryckpress								2	2	1	4
73801 Bandsåg											2
73760 Armhäft											1
752 Limmaskin											4
73753 Häftmaskin											3
7360 Digelstans											1
Färdigvarulager											

Tabell 5-2 - Närhetsvärderingsschema

#### 5.1.1.4 Sambandsdiagram

Det sambandsdiagram som produktionen i FPS Värnamo genererade redovisas i Figur 5-1.



Figur 5-1 – Sambandsdiagram över produktionen på SCA FPS Värnamo.

Här ses överskådligt hur materialet flyter genom fabriken. Tjockleken på pilarna är proportionell mot den producerade ytan wellpapp som löper mellan de olika operationerna. Detta sambandsdiagram kommer att ligga till grund för examensarbetet fortsatta utveckling. Ur sambandsdiagrammet kan flera vitala saker urskiljas.

- **Två fabriker i en**

Flödena visar fyra signifikanta flöden. Dels det till limmaskinen, som inte helt oväntat kommer att få en hög belastning då divisionens order fortfarande ligger på maskinen. Det är i huvudsak dessa order som trycks från råvarulagret genom maskinen och vidare till färdigvarulagret. Till dessa order kommer även förpackningsservice egen produktion. Den kommer i huvudsak från boxmakrarna och tryckpressarna.

Det andra signifikanta flödet löper från råvarulagret till häftmaskinen. Detta flödet är lite mer komplext än det föregående. Dock ses att den största delen av den totala produktionen i maskinen går direkt från råvarulagret vidare till färdigvarulagret

Nästa flöde är det till de två tryckpressarna, detta flöde har samma egenskaper som det till limmaskinen och bör behandlas på samma sätt. En viss försiktighet bör tas då tryckpressarna ligger längre fram i strömmen än de två ovan nämnda flödena. Detta kan leda till destruktiva bakåttflöden som man bör minimera.

Det sista betydelsefulla flödet löper till de två större rullsaxarna, detta flöde kommer att tas i beaktning när huvudlayouten tas fram.

- **Rullsax 7310**

Som ses i flödesschemat är flödena till rullsax 7310 av en liten speciell art. Den har en placering med många flöden efter sig och inget flöde till färdigvarulagret. Detta leder till att den maskinen måste ligga långt upp i försörjningskedjan.

- **Lim- och häftmaskinens position**

Vi observerar också att lim- och häftmaskinen har många mindre flöden, som kommer från övriga maskiner i produktionen. Det medför att dessa maskiner optimalt bör ligga längst ner i kedjan, närmast färdigvarulagret.

Utifrån sambandsdiagrammet kan flera önskade krav på den framtida produktionen utläsas. Givetvis är det svårt att tillgodose att alla dessa behov, men de är viktiga att ha i åtanke när arbetet fortskrider.

### **5.1.1.5 Huvudlayout och värdering**

Enligt SLP-metoden ska användarna ta fram flera alternativa layouter. SCA FPS-fabrik i Värnamo har dock ett flertal begränsningar som framförallt sätts av fabriksbyggnadens utformning. Dessa begränsningar har gjort att enbart en layout har tagits fram. Flera alternativ har funnits med i diskussionerna men har försvunnit redan på ett tidigt stadium då det framförallt under möten med underhållschefen kommit fram att dessa inte varit realiserbara. Den framtagna layouten syftar till att ge en mer flödesorienterad produktion enligt principerna för JIT. De punkter som främst stöds i den nya layouten är de som beskriver minskning av ställtider och anpassad materialhantering.

Som föregående stycke säger så bedrevs en löpande och ingen absolut värdering under examensarbetets gång.

### 5.1.1.6 Detaljlayout

Efter att SLP-metoden applicerats vid SCA FPS i Värnamo genomgicks det slutgiltiga steget innan layoutarbetet var klart. Genom noggrann genomgång utav SCAs fabrikslokaler kunde en detaljerad layout tas fram. Alla maskiner, väggar, utgrävningar, transportsystem och strukturer medtogs i ritningen. Den framtagna detaljlayouten finns att beskåda i appendix 2.

### 5.1.2 Materialhantering

I dagsläget fungerar materialhanteringen bristfälligt då respektive operatör fungerar som en ad hoc truckförare. Med detta minskar då möjlig operationstid på operatörens maskin med den tid som materialhanteringen tar. Delas ställtiden upp i inre och yttre ställtid, enligt punkt två i TPS, ses att materialhantering inte är en aktivitet som nödvändigtvis måste utföras när maskinen står still. Flyttas således materialhanteringen till yttre ställtid kan denna aktivitet utföras på ett sätt som inte fördröjer ställtiden. Om materialhanteringen istället utförs som en supportaktivitet av en särskild försörjningsgrupp kommer ställtiden att minska med den tid som det idag tar att hämta och lämna material till respektive maskin. Fördelar med en försörjningsgrupp är också att kännedomen om lager och pallars placering ökar vilket minskar andelen tid som läggs på att leta efter gods. Med en materialhanteringsgrupp kan antalet truckar reduceras avsevärt. I dagsläget finns 17 truckar, nästan en per operatör. När ansvaret för materialhantering flyttas kommer endast 6 truckar behövas. Det finns redan idag personer som enbart jobbar med in- och utlastning av gods men i och med bildandet av en materialhanteringsgrupp arbetar dessa personer även med godsförflyttningar inom produktionen.

In- och utlastning sker idag i lokalens norra ände, ca 150 meter från produktionsdelen. Detta resulterar i mycket långa transporter och även mycket trucktrafik i båda riktningarna. I södra änden, i direkt anslutning till produktionen, finns en port som i dagsläget används sporadiskt. Denna port skulle kunna användas för inlastning av material i en betydligt större omfattning än i dagsläget vilket skulle leda till en avsevärd reduktion i transporttiden.

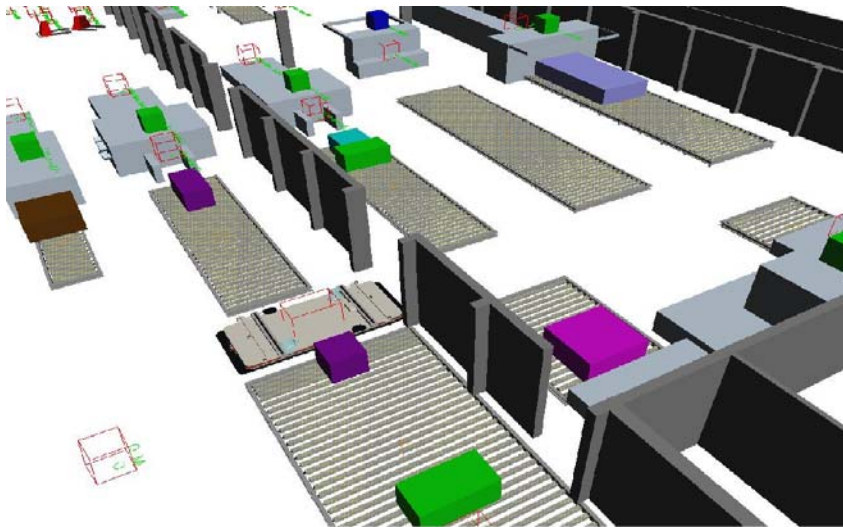
Då FPS under en tid studerat möjligheten till pall-lös hantering tror författarna att införandet av en transfervagn som försörjer högvolyymmakinerna, som komplement till trucktransporter, är en lämplig åtgärd. En automatisk transfervagn minskar belastningen på materialförsörjningsgruppen avsevärt och är avgörande för att bemanningen inom materialhantering ska kunna hållas på en nivå jämförbar med dagens.

## 5.2 Simuleringen

Simuleringsmodellen ger en bra visuell framställning av fabriken's nya utseende. Detta är till stor hjälp för både ledning och produktionspersonal. Både stillbilder och videofilmer kan framställas ur AutoMod och exempel på detta visas i Figur 5-3 och Figur 5-2.



Figur 5-2 - Skärmdump från AutoMod: Översiktsskild på den nya produktionen.



Figur 5-3 - Skärmdump från AutoMod: Vy över den mer automatiserade delen av produktionen. Här ses transfervagnen som förser de centrala maskinerna med material. Pallarna som ska in i tillverkningen har olika färger som symboliserar olika order.

### 5.2.1 Verifiering

För verifieringen räknades kapacitetsutnyttjanden ut analytiskt med den data som låg till grund för simuleringen och jämfördes med det resultat som

simuleringsmodellen gav. Denna kontroll hjälpte till att hitta diverse småfel i modellen som korrigerades och en slutlig kontroll visade på en tillfredsställande överensstämmelse. Kontroll gjordes också så att antal producerade order överensstämde med indata.

### 5.2.2 Validering

Då det simulerade systemet inte finns i verkligheten skapar detta svårigheter med valideringen då det inte finns någon direkt data att jämföra med för att se att modellen stämmer med det verkliga systemet. Istället användes valideringsmetoden 'face validation' där modellen visades upp för Johan Liljekvist, produktionschef på SCA FPS Värnamo<sup>44</sup>. Samtliga steg i modellen gick igenom för att validera rimligheten i antaganden och valda statistiska fördelningar. Extremtest utfördes också som en del av valideringen. Detta redovisas mer detaljerat nedan.

### 5.2.3 Extrahering av information

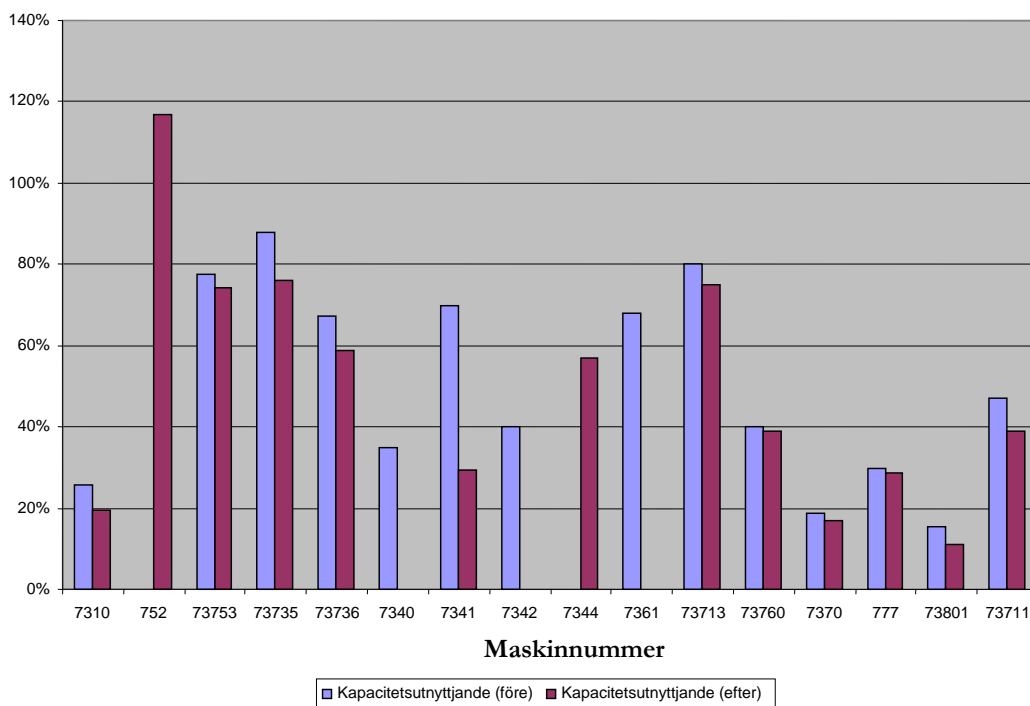
När simuleringsmodellen är verifierad och validerad på ett korrekt sätt är målet att extrahera intressant information ur den för att få ny kunskap om det verkliga systemet. Ett intressant nyckeltal att studera är hur kapacitetsutnyttjandet på maskinerna påverkas av den nya layouten. Figur 5-4 visar detta, noterbara förändringar är givetvis de nya maskiner som kommer in i produktionen och de som försvinner ut. Övriga maskiner uppvisar ett något minskat kapacitetsutnyttjande, främst beroende på den minskade ställtiden som fås när operationer flyttas ut från den. En sammanställning av förändringarna med avseende på antal maskin- och mantimmar visas i

Maskinnr	Skillnad i	
	maskintimmar	mantimmar
7310	-124	-124
752	2218	4437
73753	-63	-125
73735	-226	-452
73736	-165	-331
7340	-665	-665
7341	-771	-771
7342	-760	-760
7344	1085	1085
7361	-1294	-1683
73713	-101	-101
73760	-19	-19
7370	-34	-34
777	-21	-42

<sup>44</sup> Intervju med Johan Liljekvist, produktionschef FPS Värnamo, 051208

73801	-84	-84
73711	-154	-200
	<b>-1178</b>	<b>131</b>

Tabell 5-3. Här ses att nettoskillnaden mellan dagens produktion och den föreslagna produktionen är mycket liten, drygt 100 mantimmar på årsbasis. Antalet maskintimmar minskar dock avsevärt vilket öppnar upp produktionskapacitet. Diskrepansen mellan maskin- och mantimmar kan förklaras med att den nya maskinmixen är i genomsnitt mer arbetsintensiv än den gamla.



Figur 5-4 - Förändring av kapacitetsutnyttjande per maskin

Maskinr	Skillnad i	
	maskintimmar	mantimmar
7310	-124	-124
752	2218	4437
73753	-63	-125
73735	-226	-452
73736	-165	-331
7340	-665	-665
7341	-771	-771
7342	-760	-760
7344	1085	1085



7361	-1294	-1683
73713	-101	-101
73760	-19	-19
7370	-34	-34
777	-21	-42
73801	-84	-84
73711	-154	-200
	<b>-1178</b>	<b>131</b>

**Tabell 5-3- Skillnad i tidsåtgång mellan föreslagen produktion och dagens produktion.**

Något som också är intressant är att utföra systematiska försök, i en så kallad känslighetsanalys på modellen, för att se hur den uppför sig i många olika situationer och även för att ta reda på vilka faktorer som påverkar resultatet mest. För att lyckas med det krävs att modellen körs flera gånger, och för varje körning bör inparametrarna ändras. I det aktuella fallet identifierades 44 faktorer som ansågs intressanta. Som målfunktion valde vi att titta på genomsnittlig ledtid genom fabriken, vi hade även producerade enheter som kontrollvärde. Man kan dock tänka sig att använda sig av ett flertal olika målfunktioner. Anledningen till att vi valde ledtid är att den ger en bra helhetsbild av hur produkterna flyter genom fabriken. För att se vilken påverkan varje faktor har på målfunktionen tilldelades ett högt och ett lågt värde per inparameter.

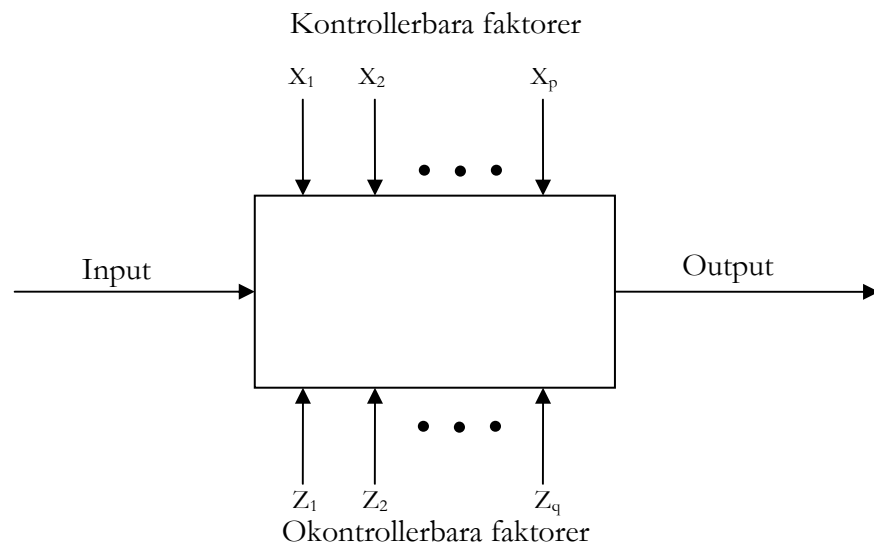
Dessa värden togs fram genom att en rimlighetsbedömning utfördes i varje fall. Urvalsprocessen för denna första screening gjordes genom att enbart lyfta bort de faktorer som uppenbart inte har någon påverkan på utparametrarna, eller målfunktionen. Ett problem som uppstår vid simulering där man har flera faktorer som ska varieras samtidigt är att det krävs ett stort antal körningar. I vårt fall, med 44 faktorer, ett högt och ett lågt värde per faktor och ett önskemål om fem replikat per uppställning, hade det gett oss svindlande  $8,8 \cdot 10^{13}$  körningar. Med fyra minuter per körning hade det tagit oss 167 miljoner år och då vi var något mer angelägna att bli klara med denna rapport var vi tvungna att hitta en bättre metod. En systematisk metod för att göra detta är *Design of Experiment (DOE)*. På detta vis samverkar DOE och simulering genom att DOE fungerar som receptet och metoden för experimentet och simuleringsmodellen är förutsättningen för att utföra experimenten.<sup>45</sup>

### **5.3 Design of Experiment**

DOE är en strukturerad metod för att avgöra vilken påverkan en faktor har på målfunktionen av en process. Syftet med att använda DOE är att få ut maximalt med information om vilka faktorer med ett minimum av resursutnyttjande. Figur 5-5 beskriver uppbyggnaden av ett generellt system där en viss input genererar en viss output, beroende på dels kontrollerbara faktorer och dels på okontrollerbara

<sup>45</sup> Porcaro, D (1996) *Simulation Modeling and DOE*.

faktorer. Kontrollerbara faktorer kan exempelvis vara en maskinhastighet eller en buffertstorlek, exempel på okontrollerbara faktorer kan vara kundorder eller variation i ställtid.<sup>46</sup>



Figur 5-5 - Generell modell av en process eller ett system<sup>47</sup>

Då det skulle kräva ett mycket stort antal körningar för att på ett systematiskt sätt testa samtliga kombinationer av faktorer i en modell kan man lockas att istället variera en faktor, låsa den vid bästa värde för målfunktionen och sedan gå vidare med nästa faktor. Figur 5-6 visar hur man på det sättet kan missa att finna optimala värden. DOE är en metod som på ett systematiskt sätt varierar faktorerna simultant mellan ett högt och lågt värde, utan att kräva lika många körningar som vid ett fullfaktorförsök ("Full Factorial Design"). Detta kallas också att göra ett reducerat försök ("Fractional Factorial Design").

I ett fullfaktorförsök kan man skilja på effekter från en specifik faktor, huvudeffekt, och interaktionseffekter från flera faktorer. I ett reducerat system blandas dessa ihop och antalet körningar minskar. Tabell 5-4 visar skillnaden mellan de båda metoderna. Figur 5-7 visar hur en optimering med DOE går till, först undersöks hörnpunkterna och sedan en referenspunkt i nolläget för de båda faktorerna. På så vis spänner man upp en yta i vilken man letar efter optimala

---

<sup>46</sup> Montgomery, D. C. (1991) *Design and Analysis of Experiments*.

<sup>47</sup> Ibid

värden. Utökas antalet variabler fås på samma sätt en uppspänd volym i rummet  $R^n$ , där  $n$  är antal faktorer.<sup>48</sup>

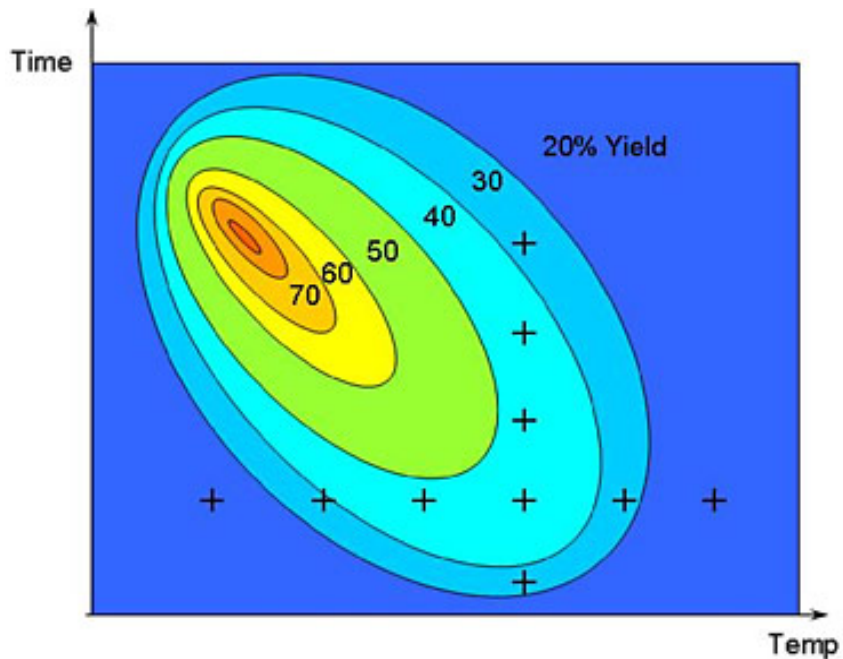
Resultatet av DOE-analysen med 44 faktorer visas i Appendix 3. På grund av det stora antalet körningar som ändå krävdes, gjordes den första körningen med endast en repetition per uppställning. I analysen ses att vissa faktorer urskiljer sig med att ha en större inverkan på målfunktionen än andra. Totalt förklarar de elva mest betydande faktorerna 95,6 % av variansen i ledtid mellan körningarna. En ny, mer ingående mindre reducerad analys med fem repetitioner gjordes sedan med dessa faktorer, som visas i Appendix 4. I denna analys bekräftas resultaten från den första körningen. De mest betydande faktorerna för variationen i ledtid är körhastigheten i maskin 752, följt av körhastigheten i maskin 753 och maskin 73735. En konstant plus koefficienten för respektive faktor bildar en ekvation som beskriver hur ledtiden varierar. Detta användes sedan i en Monte Carlo simulering.

Fullfaktorförsök							Reducerat försök						
A	B	C	AB	AC	BC	ABC	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ingen korrelation mellan kolumnerna. Innebär att alla huvudeffekter och interaktionseffekter kan uppskattas oberoende av varandra.							Korrelation mellan flera kolumner, ex BC=A och AC=B. Innebär att orsaken till en viss effekt inte kan återges fullt, men antalet försök minskar drastiskt. Interaktionseffekter är dock mindre troliga än huvudeffekter.						

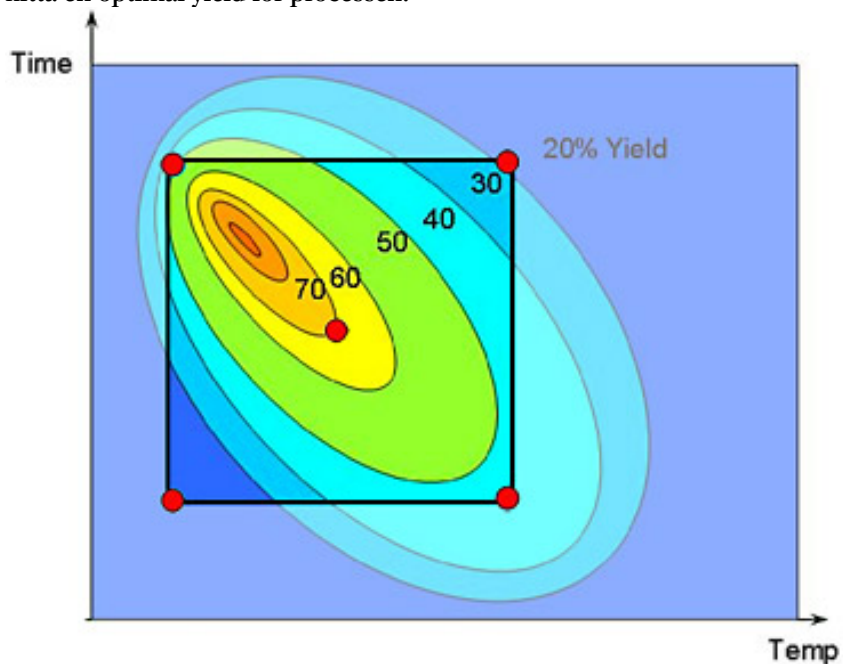
Tabell 5-4 – Fullfaktorförsök jämfört med reducerat försök<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Intervju med Ola Johansson

<sup>49</sup> Schmidt, S. R. et al (1997) *Understanding Industrial Designed Experiments*.



Figur 5-6 - Optimering med en variabel åt gången. Målsökning sker genom att först söka optimal yield för olika temperaturer, låsa temperaturen på bästa värde och sedan upprepa proceduren och istället variera temperaturen. Som figuren visar kan denna metod missa att hitta en optimal yield för processen.<sup>50</sup>



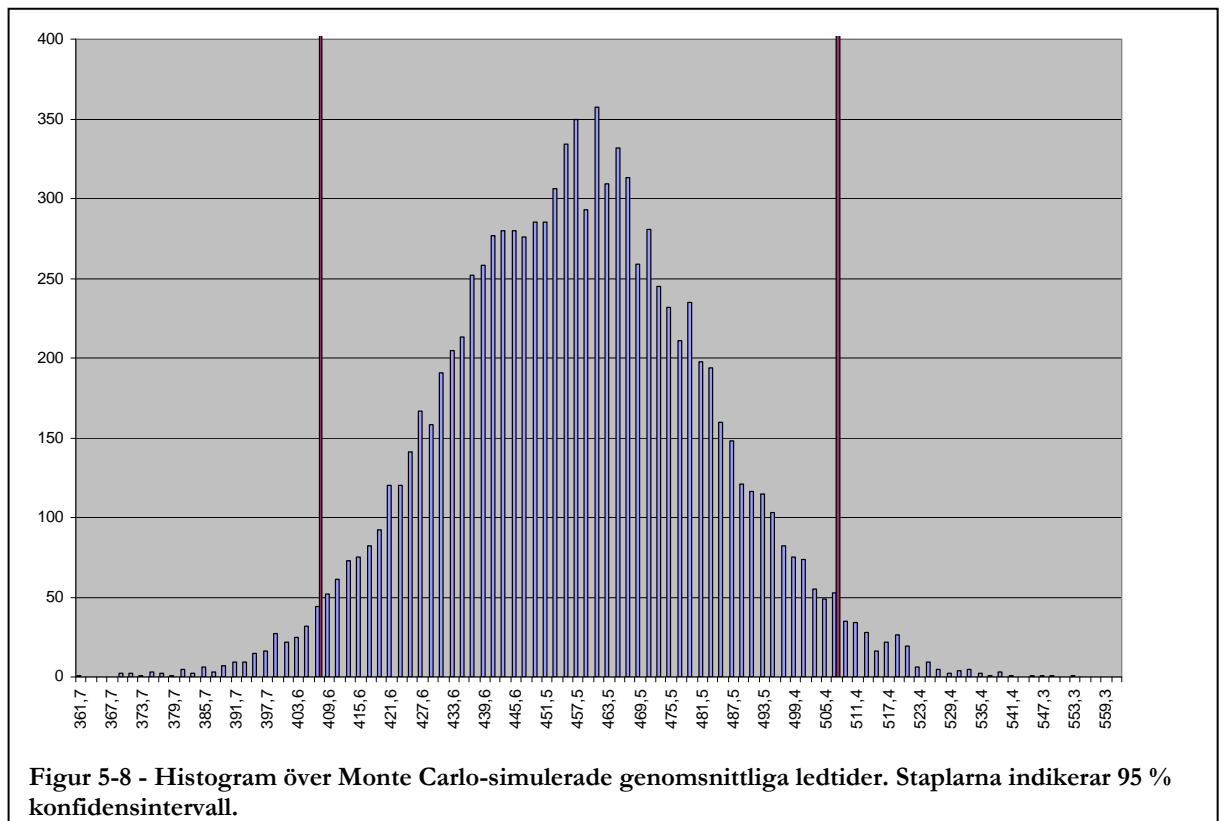
Figur 5-7 - Optimering med DOE. Hörnpunkter och ett nolläge undersöks och hela utfallsrummet för målfunktionen innefattas.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Umetrics Academys hemsida, [www.umetrics.com](http://www.umetrics.com) 060201

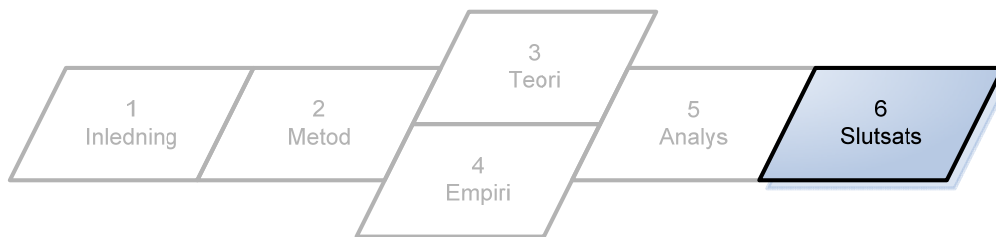
<sup>51</sup> Ibid

## 5.4 Monte Carlo-simulering

Då simuleringsmodellen kräver mycket datorkraft lämpar den sig inte särskilt bra då ett smalt konfidensintervall efterfrågas, eftersom ett mycket stort antal körningar behövs för detta. Monte Carlo simulering är då ett bra komplement. I en Monte Carlo simulering slumpades 10 000 värden fram för de elva mest betydande faktorerna med en fördelning som tidigare bekräftats som trolig. De sattes sedan in i den regressionsfunktion som togs fram i design of experiment fasen. Ett histogram med ett 95 % konfidensintervall konstruerades efter detta som visas i Figur 5-8.



## 6 Slutsats



*Detta avslutande kapitel innehåller en summering av de resultat och rekommendationer som framkommit i analysdelen. De ekonomiska konsekvenserna för de föreslagna förändringarna presenteras samt rekommendationer för framtida förändringsarbeten.*

### 6.1 Resultat

#### 6.1.1 Layout

Givet att layouten förändras enligt vad som framkommit i analysdelen kommer produktionen att vara betydligt mer flödesorienterad än tidigare. I Appendix 5 illustreras detta genom att de olika flödena lagts ovanpå den gamla respektive den nya layouten. Flöden som går till vänster, mot utlastningen, är blåfärgade och flöden som går åt höger illustreras med en röd pil. Här ses en betydande skillnad i enhetlighet i flödesriktningen, med klar fördel för den nya layouten.

När denna rapport färdigställdes hade förändringsarbetet vid SCA FPS kommit igång. Vissa maskiner har redan flyttats och de större utgrävningarna är klara. Arbetet förväntas pågå hela sommaren och vara klart efter den samma.

#### 6.1.2 Materialhantering

Författarna anser att FPS bör investera i en automatisk transfervagn för försörjning av de högvolymproducerande maskinerna om man beslutar att gå över till en pall-lös hantering med en avpalleterare. Vi anser också att FPS bör ha en särskild materialhanteringsgrupp som sköter försörjningen av material till maskinerna. Införandet av denna grupp leder till att maskinernas ställtid kan reduceras avsevärt. Vidare anser författarna att intranporter bör gå via porten i fabriken södra ände då detta resulterar i en betydligt kortare transportsträcka med truck.

#### 6.1.3 Ekonomiska konsekvenser

De ekonomiska konsekvenserna presenteras i Tabell 6-1. Givet att projektet sparar in sex arbetstillfällen, att truckparken kan reduceras till sex truckar och att investeringen håller sig inom de budgeterade ramarna kommer det ekonomiska utfallet bli en årlig besparing på ca 2,1 miljoner kronor. Beräkningarna visar att det totala antalet mantimmar kommer att bli i stort sett oförändrat medan antalet

maskintimmar kommer att minska med ca 1200 timmar per år. Detta öppnar upp kapacitet för ökad produktion.

Ytterligare en konsekvens av förändringarna som författarna valt att inte kvantifiera är att ytan som produktionen upptar kommer att minska, vilket frigör mer yta för företagets grossistverksamhet.

Minskade kostnader per år	å pris	st	totalt
Minskat antal truckar	25 000 kr	11	275 000 kr
Minskade lönekostnader	191 kr	11400	2 177 400 kr
<hr/>			
Ökade kostnader per år			
<hr/>			
Avskrivningar på investeringar (15 år)			346 667 kr
<b>Total besparing per år</b>			<b>2 105 733 kr</b>

Tabell 6-1 - Resultat av de föreslagna förändringarna

## 6.2 Rekommendationer

### 6.2.1 Framtida rekommendationer till SCA

#### 1. Fortsatt arbete med simulering vid förändringsarbeten

Examensarbetarna anser att SCA bör fortsätta att arbeta med simulering vid större framtida förändringar. Att bege sig in i en förändrad produktion eller en ny lagringsmetod utan att på förhand ha verifierat att arbetet leder till förbättringar kan leda till allvarliga ekonomiska konsekvenser.

Ett tydligt exempel på att simulering hade de facto sparat pengar i förhållande till vad det kostar är situationen på wellfabriken i Värnamo. Som vi nämnt tidigare i arbetet skulle en inledande simulering då fabriken byggdes visat på dess brister. Dessa brister hade senare kunna avhjälpas innan fabriken byggdes klart och många kronor hade kunnat sparas då produktionen inte hade blivit lidande.

#### 2. Minskade lagernivåer.

Om det finns något att oroa sig för med den framtida layouten så är det främst platsbrist. Framförallt då extrema förhållanden råder och väldigt många ordrar hamnar under samma tidsperiod. Därför anser vi att det bristfälliga arbetet med att hålla nere lagernivåerna bör få en högre prioritet på dagordningen.

Många åtgärder är möjliga, och examensarbetarna tror att ett utökat arbete med divisionen är ett måste. Framförallt kan man arbeta med att korta ledtiden och kräva att få materialet närmare produktionsdagen i enlighet med lean production.

Ett annat sätt att arbeta ned nivåerna i lagret är att göra analyser på hur lönsamt det är att hålla varor åt kund i den egna fabriken. Som situationen är nu så används detta som en konkurrensfördel, dock utan underbyggd analys om företaget tjänar pengar på detta.



## 7 Referenser

### 7.1 Litteratur

- Aronsson H., Ekdahl B. och Oskarsson B. (2003) *Modern Logistik* Liber. Malmö.
- Abnor, I. och Bjerke, B. (1997) *Methodology for creating business knowledge*. Sage publications. Newbury Park, California.
- Banks J. (2004) *Getting started with AutoMod*. John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey. Andra upplagan
- Banks, Carson, Nelson och Nicol (2000) *Discrete Event Simulation*. Upper Saddle River, New Jersey. Tredje upplagan
- Bell J. (1995) *Introduktion till forskningsmetodik*. Studentlitteratur. Lund. Andra upplagan
- Bjørnland D., Persson G. och Virum H. (2003) *Logistik för konkurrenskraft*. Liber. Malmö
- Bryman A. (1997) *Kvantitet och kvalitet i samhällsvetenskaplig forskning*. Studentlitteratur. Lund.
- Evegård R. (2003) *Vetenskaplig metod*. Studentlitteratur. Lund. Andra upplagan
- Kotter J. P. (1996) *Leading Change*. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts
- Ljungberg A. och Larsson C. (2001) *Processbaserad verksamhetsutveckling*. Studentlitteratur. Lund.
- Montgomery D. C. (1991) *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey.
- Perborg L. och Bergenståhl H. (2001) *Industriell anläggningsteknik*. Lund.
- Schmidt S. R. och Launsby, R. G. (1997) *Understanding Industrial Designed Experiments*, Air Academy Associates. Colorado Springs, Colorado.
- Wallén G. (1996) *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*. Studentlitteratur. Lund.

## **7.2 Muntliga källor**

Intervju med Leif Midholm, divisionschef, SCA Packaging Well, 2005-10-14

E-post korrespondans med Mats Nilsson, Dücker Corrpal AB, 2005-10-31

Intervju med Anders Johansson, Produktionschef, SCA Packaging Well, 2005-10-14

Intervju med Mona Williamsson, Ekonomiconroller, SCA Packaging, 2006-01-11

Intervju med Ola Johansson, Doktorand, Institutionen för förpackningslogistik, 2006-01-12

Intervju med Johan Liljekvist, produktionschef, SCA Packaging, 2005-10-14

## **7.3 Elektroniska källor**

<http://www.sca.se/news/releases/20051026830.pdf>, Kvartalsrapport, tredje kvartalet 2005, hämtad 2006-01-18

[http://www.ciras.iastate.edu/publications/management/SimplifiedSystematicPlantLayout\(1999Fall\).pdf](http://www.ciras.iastate.edu/publications/management/SimplifiedSystematicPlantLayout(1999Fall).pdf), Simplified systematic plant layout, hämtad 2006-01-24

[www.automod.com](http://www.automod.com), Brooks Automation, hämtad 2006-01-19

[www.svenskwellpapp.info](http://www.svenskwellpapp.info), Svensk Wellpapp, hämtad 2006-01-10

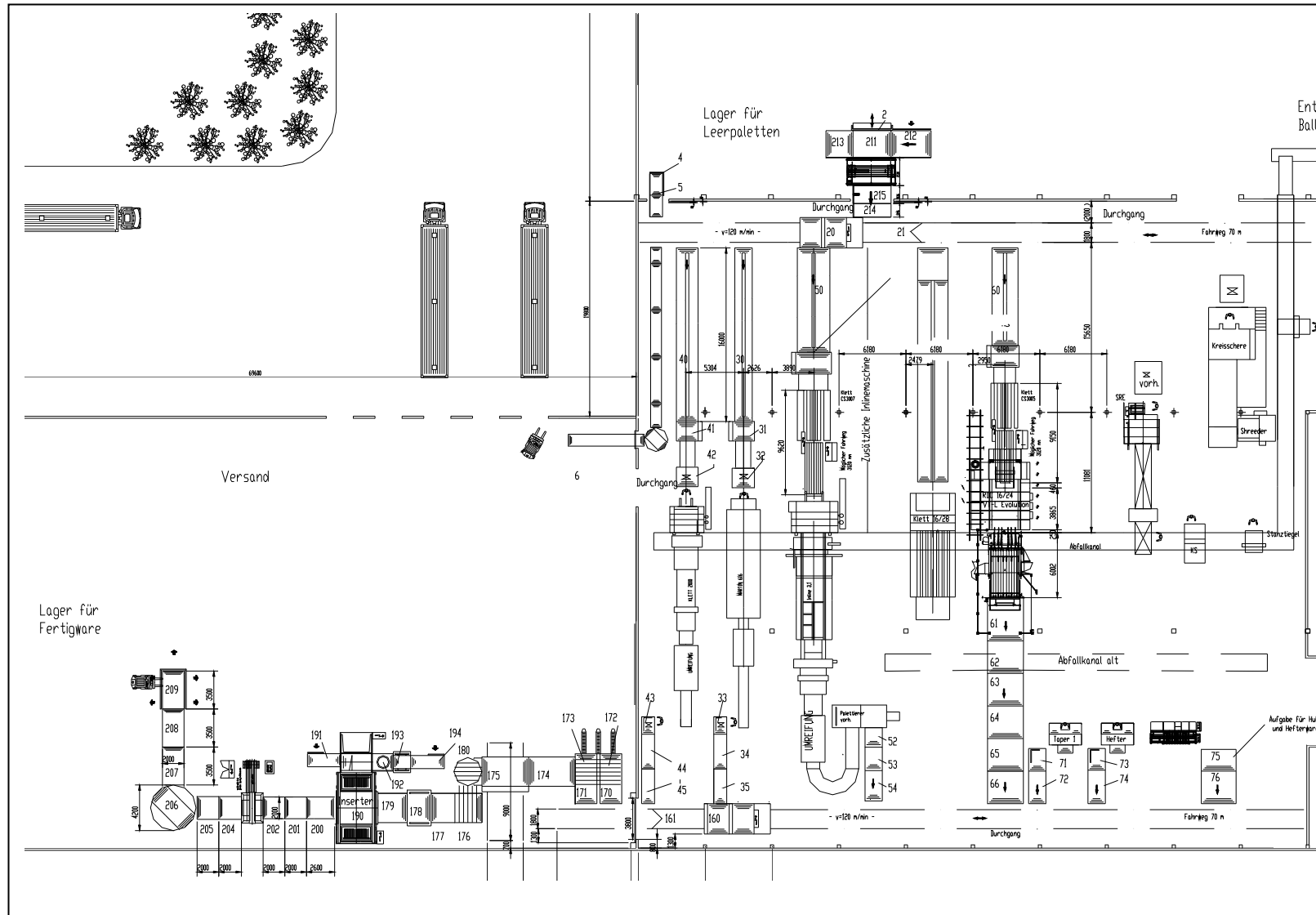
[www.umetrics.com](http://www.umetrics.com), Umetrics Academy, hämtad 2006-02-01

## **7.4 Artiklar**

Sargent R. (1998) *Verification and validation of simulation models*, Sammanställning från den trettionde Winterkonferensen, Sida 121-130.

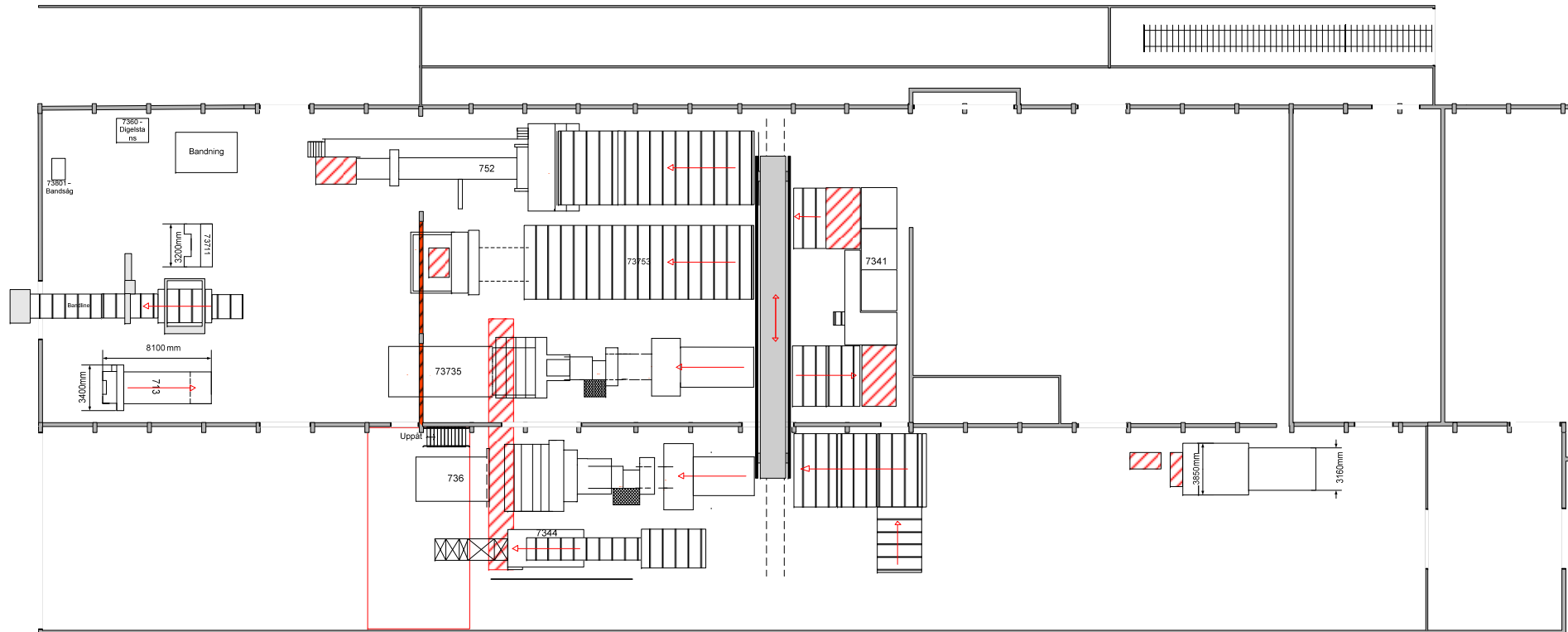
Näslund D (1999) *Logistics need qualitative research*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol 32. Nr 5. Sida 321-338.

Porcaro D. (1996) *Simulation Modeling and DOE*. IIE Solutions. Sida 24-30.



**Appendix 1 - Layout på sheetplant i Tyskland**

## Appendix 2 - Detaljlayout



## Appendix 3 – Analys 1 av medel-ledtid 44 faktorer 64 runs.

Estimated Effects and Coefficients for Ledtid (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		485.27	1.931	251.34	0.000
2	131.93	65.96	1.931	34.16	0
3	68.01	34	1.931	17.61	0
8	58.87	29.44	1.931	15.25	0
4	49.83	24.92	1.931	12.91	0
5	42.49	21.24	1.931	11	0
17	25.81	12.91	1.931	6.68	0
11	21.05	10.53	1.931	5.45	0
13	20.81	10.4	1.931	5.39	0
18	17.41	8.7	1.931	4.51	0
7	17.07	8.54	1.931	4.42	0
9	16.48	8.24	1.931	4.27	0
1	10.4	5.2	1.931	2.69	0.014
20	8.66	4.33	1.931	2.24	0.037
6	8.63	4.32	1.931	2.24	0.038
16	8.3	4.15	1.931	2.15	0.045
32	7.29	3.64	1.931	1.89	0.074
24	6.96	3.48	1.931	1.8	0.087
12	6.29	3.14	1.931	1.63	0.12
10	5.6	2.8	1.931	1.45	0.164
26	5.13	2.56	1.931	1.33	0.2
29	4.51	2.25	1.931	1.17	0.258
28	4.48	2.24	1.931	1.16	0.26
21	3.99	2	1.931	1.03	0.314
39	3.83	1.91	1.931	0.99	0.334
27	3.21	1.6	1.931	0.83	0.417
19	2.41	1.2	1.931	0.62	0.54
14	2.38	1.19	1.931	0.62	0.546
34	2.36	1.18	1.931	0.61	0.549
23	2.22	1.11	1.931	0.57	0.572
40	2.17	1.08	1.931	0.56	0.582
15	2.11	1.05	1.931	0.55	0.591
31	1.67	0.84	1.931	0.43	0.67
25	1.54	0.77	1.931	0.4	0.695
36	1.45	0.73	1.931	0.38	0.711
44	0.84	0.42	1.931	0.22	0.829
42	0.6	0.3	1.931	0.16	0.878
35	-0.26	-0.13	1.931	-0.07	0.947
37	-2.32	-1.16	1.931	-0.6	0.554
43	-3.61	-1.81	1.931	-0.94	0.361

38	-4.5	-2.25	1.931	-1.16	0.259
33	-8.66	-4.33	1.931	-2.24	0.037
30	-9.41	-4.7	1.931	-2.44	0.025
22	-10.12	-5.06	1.931	-2.62	0.017
41	-21.29	-10.65	1.931	-5.51	0

S = 15.4458    R-Sq = 99.16%    R-Sq(adj) = 97.23%

Analysis of Variance for Ledtid (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	44	537550	537550	12217.0	51.21	0.000
Residual Error	19	4533	4533	238.6		
Total	63	542083				

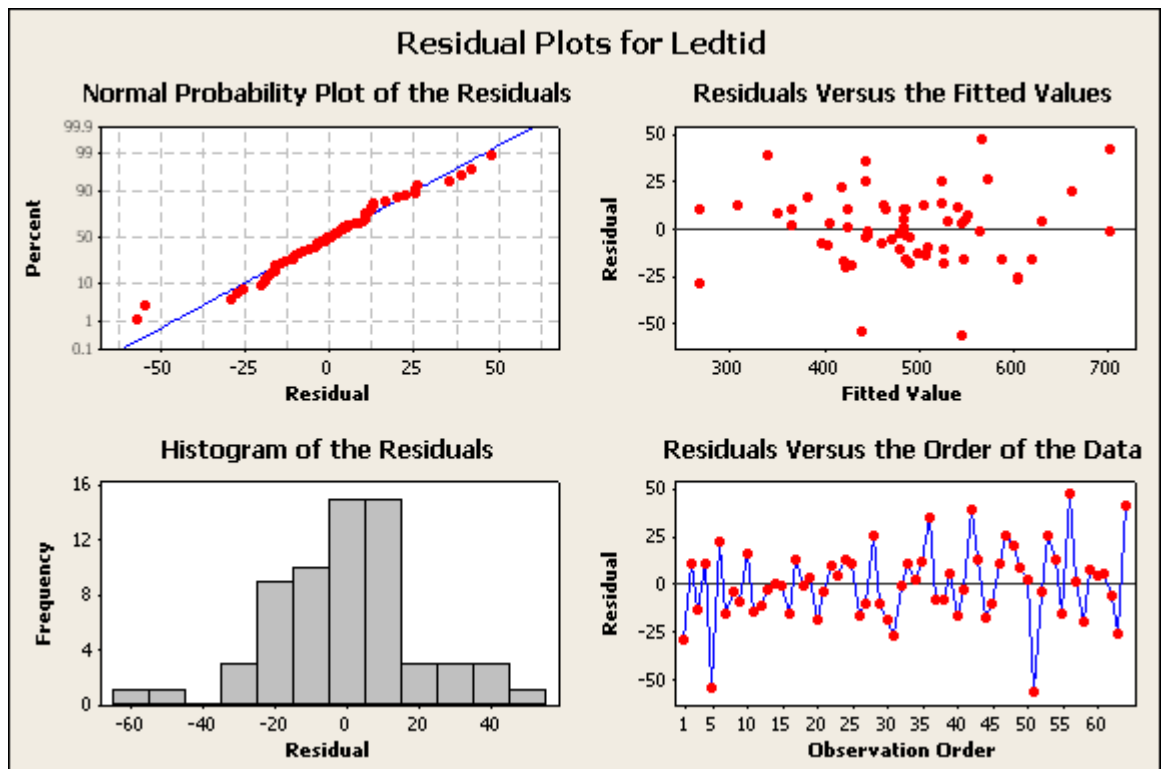
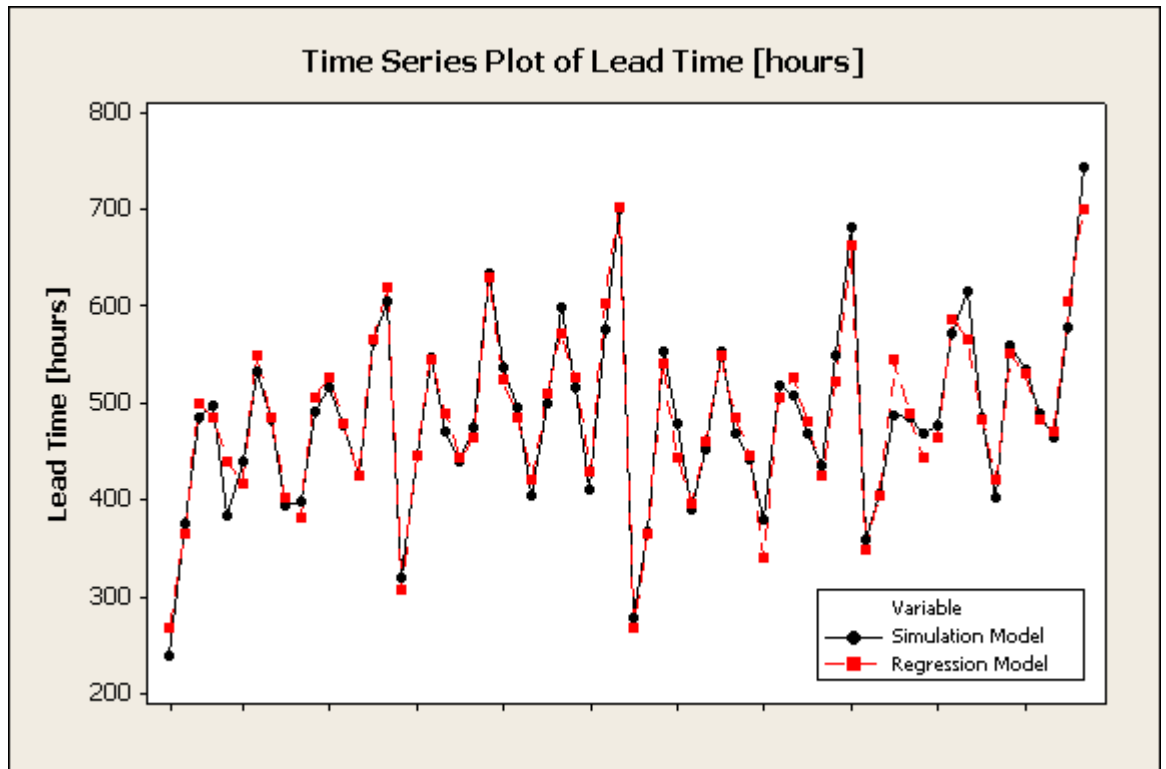
**Regression Analysis: Ledtid versus 2; 3; 8; 4; 5; 17; 41; 11; 13; 18; 7**

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	485.267	2.691	180.36	0.000
2	65.962	2.691	24.52	0.000
3	34.004	2.691	12.64	0.000
8	29.435	2.691	10.94	0.000
4	24.917	2.691	9.26	0.000
5	21.245	2.691	7.90	0.000
17	12.906	2.691	4.80	0.000
41	-10.647	2.691	-3.96	0.000
11	10.527	2.691	3.91	0.000
13	10.405	2.691	3.87	0.000
18	8.705	2.691	3.24	0.002
7	8.536	2.691	3.17	0.003

S = 21.5246    R-Sq = 95.6%    R-Sq(adj) = 94.6%

**Analysis of Variance**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	11	517991	47090	101.64	0.000
Residual Error	52	24092	463		
Total	63	542083			



## Appendix 4 - Analys av medel-ledtid 11 faktorer 648 runs.

Factorial Fit: LeadTime versus X41 OpTruckVel; X11 VarOp12; ...

Estimated Effects and Coefficients for LeadTime (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		456.575	0.3040	1502.13	0.000
X41 OpTruckVel	2.487	1.244	0.3040	4.09	0.000
X11 VarOp12	17.479	8.739	0.3040	28.75	0.000
X13 VarOp14	20.860	10.430	0.3040	34.31	0.000
X2 VarOp2	123.612	61.806	0.3040	203.34	0.000
X3 VarOp3	60.263	30.131	0.3040	99.13	0.000
X4 VarOp4	57.980	28.990	0.3040	95.38	0.000
X5 VarOp5	35.243	17.622	0.3040	57.98	0.000
X7 VarOp7	20.286	10.143	0.3040	33.37	0.000
X8 VarOp8	54.520	27.260	0.3040	89.69	0.000
X17 SetUp4	16.077	8.039	0.3040	26.45	0.000
X18 SetUp5	10.064	5.032	0.3040	16.56	0.000
X41 OpTruckVel*X13 VarOp14	1.164	0.582	0.3040	1.92	0.056
X41 OpTruckVel*X18 SetUp5	-1.162	-0.581	0.3040	-1.91	0.056
X11 VarOp12*X2 VarOp2	1.563	0.781	0.3040	2.57	0.010
X11 VarOp12*X3 VarOp3	-10.408	-5.204	0.3040	-17.12	0.000
X2 VarOp2*X3 VarOp3	1.208	0.604	0.3040	1.99	0.047
X2 VarOp2*X4 VarOp4	2.506	1.253	0.3040	4.12	0.000
X2 VarOp2*X5 VarOp5	1.781	0.890	0.3040	2.93	0.004
X2 VarOp2*X7 VarOp7	1.278	0.639	0.3040	2.10	0.036
X2 VarOp2*X17 SetUp4	1.458	0.729	0.3040	2.40	0.017
X2 VarOp2*X18 SetUp5	2.397	1.199	0.3040	3.94	0.000
X3 VarOp3*X4 VarOp4	2.388	1.194	0.3040	3.93	0.000
X3 VarOp3*X8 VarOp8	-1.445	-0.723	0.3040	-2.38	0.018
X3 VarOp3*X17 SetUp4	2.338	1.169	0.3040	3.85	0.000
X4 VarOp4*X17 SetUp4	3.019	1.509	0.3040	4.97	0.000
X5 VarOp5*X7 VarOp7	2.051	1.026	0.3040	3.37	0.001
X5 VarOp5*X18 SetUp5	4.977	2.488	0.3040	8.19	0.000

S = 7.68946 R-Sq = 99.20% R-Sq(adj) = 99.17%

Analysis of Variance for LeadTime (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	11	4480932	4480932	407357	6889.43	0.000
2-Way Interactions	16	29639	29639	1852	31.33	0.000
Residual Error	612	36186	36186	59		
Lack of Fit	100	5669	5669	57	0.95	0.613
Pure Error	512	30517	30517	60		
Total	639	4546757				



### Residual Plots for LeadTime

