

Master Thesis

CODEN:LUTMDN/(TMMV-5256)1-140/2013



LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

**Beräkning av orderkvantiteter  
i ny produktionsanläggning**  
- En tillverkningsekonomisk analys åt  
Sandvik Rock Processing

Niklas Persson

Veronica Svenle

2013

INSTITUTIONEN FÖR MASKINTEKNOLOGI

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA



## Förord

Detta examensarbete är en avslutning på civilingenjörsutbildningen i Maskinteknik vid Lunds Tekniska Högskola, LTH, och genomfördes under höstterminen 2012. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och utfördes på Sandvik Rock Processing, SRP, i Svedala samt vid institutionen för Industriell produktion, LTH.

Författarna vill tacka Jan-Eric Ståhl, professor vid institutionen för Industriell produktion, LTH, för värdefull handledning samt intressanta idéer, diskussioner och kommentarer under arbetets gång.

Vi vill också tacka Conny Andersson, planeringschef på SRP i Svedala och vår handledare, för värdefulla kommentarer och synpunkter under hela arbetet.

Ett stort tack ges också till alla medarbetare på SRP som förklarat verksamheten och tagit sig tid att svara på våra frågor.

Lund, februari 2013

Niklas Persson

Veronica Svenle



## Sammanfattning

Sandvik Rock Processing, SRP, i Svedala är en verksamhet inom Sandvik-koncernen som tillverkar stenkrossar samt reservdelar till dessa. En ny produktionsanläggning, Greenfield, kommer att stå klar under 2013 och som en del i den förändringsprocess företaget gör i samband med den nya anläggningen, finns en önskan om att se över och optimera bearbetningens orderkvantiteter.

För partiformning finns flertalet modeller. *Ekonomisk orderkvantitet*, *Wagner-Whitin-metoden*, *Silver-Meals tumregel* och *Optimal orderkvantitet enligt Ståhl* är modeller som alla har produktvärdet som en ingående parameter. Produktvärdet efter tillverkning är det upparbetade värdet och beror på vilken orderkvantitet som används. På SRP är produktvärdet beräknat utifrån förutsättningarna i dagens maskinpark samt efter dagens orderkvantiteter. Eftersom beräkningar ska göras i en helt ny produktionsanläggning med helt andra förutsättningar, kan det befintliga produktvärdet inte användas och därmed måste ett nytt beräknas.

Av de studerade modellerna är det endast *Optimal orderkvantitet enligt Ståhl* som lämpar sig för att bestämma orderkvantiteter i ett tillverkande företag. Detta då den beräknar produktvärdet som funktion av den sökta orderkvantiteten. Modellen beräknar optimala orderkvantiteter med hänsyn till omställningskostnad, hanterings- och lagerkostnad samt kostnad för bundet kapital i lager.

Modellen antar att hela den tillverkade batchen antingen skeppas till kund direkt eller att en del av den skeppas och att den andra delen läggs på lager. På SRP läggs allting på lager i väntan på montering och därför modifieras modellen så att den även stämmer överens för företag som lägger hela batchen på lager direkt.

Då detaljerna som ska bearbetas har ett högt produktvärde, anser författarna det relevant att undersöka om kostnaden för bundet kapital för produkter-i-arbete ger inverkan på resultatet. Ett tillägg till den använda modellen görs därför. Undersökningen visar dock att kostnaden endast utgör ett par procent och därför kunde försummas.

Ett beräkningsverktyg byggs upp och visar att majoriteten av artiklarna i dagsläget tillverkas i för små batcher för att det ska vara ekonomiskt optimalt med hänsyn till bearbetningen. Att tillverka i optimala orderkvantiteter, innebär en kostnadsminskning mot dagens orderkvantiteter med 30 %. Det visar sig att 42 av de studerade 140 artiklarna står för 90 % av denna möjliga kostnadsminskning. Fokus i förändringsarbetet bör därför i första hand ligga på dessa.



## Abstract

Sandvik Rock Processing in Svedala is a business area within the Sandvik Group who manufactures crushers and spare parts. A new production plant, Greenfield, will be completed in 2013 and as part of the change the company makes in connection with the new plant, there is a desire to revise and optimize the order quantities in the production.

There are several models for lot sizing. *Economic Order Quantity*, *Wagner-Whitin-algorithm*, *Silver-Meals heuristic* and *Optimal Order Quantity according to Ståhl* are all models which have the product value as input parameter. The product value after manufacturing is the accumulated value which is depending on the order quantity. At SRP the product value is calculated from the conditions in the existing machine park and from the order quantities of today. Since the calculations are to be done in a new plant with other conditions, the current product value can't be used which means that a new product value must be calculated.

Among the models studied textitOptimal Order Quantity according to Ståhl is the only appropriate in a manufacturing company. The reason is that this model calculates the product value as a function of the sought order quantity. The model calculates optimal order quantity regarding setup cost, storage- and handling cost, and cost for bound capital in inventory.

In the model there is an assumption that the whole manufactured batch is directly sent to customers or that a part of it is sent and the rest is put in stock. At SRP everything is put in stock waiting for assembling and thus the model is modified to fit the conditions at companies that put the whole batch in stock.

Since the parts have a high product value, the authors find it relevant to investigate if the cost for bound capital in WIP affects the result. An addition to the used model is made. The study shows that the cost is only a few percent and could therefore be neglected.

A calculation tool is built and shows that today most of the parts are manufactured in batches that are too small to be considered economical. To manufacture in optimal order quantities means a cost reduction against the order quantities of today with 30 percentages. It is shown that 42 out of the 140 studied parts stand for 90 percentages of this possible cost reduction. The focus in the improvement work should be on these.





# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Sandvik AB . . . . .	1
1.2	Sandvik Rock Processing . . . . .	3
1.2.1	Greenfield . . . . .	3
1.2.2	Krosstyper . . . . .	3
1.3	Bakgrund . . . . .	5
1.4	Syfte och mål . . . . .	5
1.5	Frågeställning . . . . .	6
1.6	Metod . . . . .	6
1.6.1	Val av metod . . . . .	6
1.6.2	Aktionsforskning . . . . .	7
1.6.3	Genomförande . . . . .	8
1.7	Avgränsningar . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Tillverkningssystem</b>	<b>9</b>
2.1	Produktionslayouter . . . . .	10
2.1.1	Produktorienterad layout . . . . .	10
2.1.2	Funktionellt orienterad layout . . . . .	10
2.1.3	Flödesorienterad layout . . . . .	11
2.1.4	Karaktärsdrag . . . . .	11
2.2	Kundorderpunkt . . . . .	12
2.2.1	Konstruktion mot kundorder . . . . .	12
2.2.2	Tillverkning mot kundorder . . . . .	12
2.2.3	Montering mot kundorder . . . . .	13
2.2.4	Tillverkning mot lager . . . . .	13
2.3	Mål- och målkonflikter . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Partiformning</b>	<b>15</b>
3.1	Motiv för partiformning . . . . .	15
3.1.1	Icke-ekonomiska motiv . . . . .	15
3.1.2	Ekonomiska motiv . . . . .	15
3.2	Faktorer som påverkar orderkvantiteter . . . . .	16
3.2.1	Leveranstid . . . . .	17

3.2.2	Ordersärkostnad . . . . .	17
3.2.3	Lagerhållningssärkostnad . . . . .	17
3.2.4	Inkuransrisk . . . . .	19
3.2.5	Begränsad lagrings- eller tillverkningskapacitet . . . . .	19
3.2.6	Min- och multipelkvantiteter . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Partiformningsmetoder</b>	<b>21</b>
4.1	Egenskapsvariabler . . . . .	22
4.2	Enligt behov . . . . .	22
4.3	Bedömd orderkvantitet . . . . .	23
4.4	Ekonomisk orderkvantitet . . . . .	23
4.4.1	Antaganden och härledning . . . . .	23
4.4.2	Känslighetsanalys . . . . .	25
4.5	EOQ utan att känna till ordersärkostnad . . . . .	26
4.6	Bedömd behovstäckningstid . . . . .	26
4.7	Ekonomisk behovstäckningstid . . . . .	27
4.8	Wagner-Whitin-metoden . . . . .	27
4.9	Silver-Meals tumregel . . . . .	29
4.10	Lägsta totalkostnadsmodellen . . . . .	31
4.11	Optimal orderkvantitet enligt Ståhl . . . . .	31
4.11.1	Tillverkningskostnad för en detalj enligt Ståhl . . . . .	32
4.11.2	Materialkostnad . . . . .	33
4.11.3	Utrustningskostnad vid drift och vid stillestånd . . . . .	34
4.11.4	Lönekostnad . . . . .	34
4.11.5	Cykeltid . . . . .	34
4.11.6	Stillestånds förlust . . . . .	35
4.11.7	Kvalitetsförlust . . . . .	36
4.11.8	Taktförlust . . . . .	36
4.11.9	Omställningsförlust . . . . .	36
4.11.10	Tiden för en batch . . . . .	37
4.11.11	Reducerad beläggning . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Nulägesbeskrivning</b>	<b>39</b>
5.1	Maskinpark . . . . .	39
5.1.1	WFL-maskinerna . . . . .	40
5.1.2	Unisign-maskinerna . . . . .	40
5.1.3	Svets . . . . .	40
5.2	Materialflöde . . . . .	41
5.3	Produktionsplanering . . . . .	41
5.4	Kvalitet . . . . .	42
<b>6</b>	<b>Beräkning</b>	<b>43</b>
6.1	Val av modell . . . . .	43
6.1.1	Urval utifrån teorin . . . . .	43

6.1.2	Urval utifrån praktisk tillämpning . . . . .	44
6.2	Modifiering av Ståhls modell . . . . .	44
6.2.1	Modifierad ekvation . . . . .	45
6.2.2	Specialfall . . . . .	45
6.3	Tillämpning av modifierad modell på SRP . . . . .	46
6.3.1	Antaganden . . . . .	46
6.3.2	Hanterings- och lagerkostnader . . . . .	47
6.3.3	Tilläggskostnad för PIA . . . . .	47
6.3.4	Tillämpning av kostnadsekvationen $k$ . . . . .	48
6.3.5	Fullständig ekvation efter antaganden och tillägg . . . . .	50
6.4	Indata till beräkning . . . . .	50
6.4.1	Efterfrågan per år . . . . .	51
6.4.2	Ställ- och stycktid i svarv . . . . .	51
6.4.3	Stycktid i produktions- och reparationssvets . . . . .	52
6.4.4	Standardpris för ämne innan bearbetningen . . . . .	52
6.4.5	Antal detaljer per pall . . . . .	52
6.4.6	Maskintimkostnad vid drift . . . . .	53
6.4.7	Maskintimkostnad vid stillestånd . . . . .	53
6.4.8	Lönekostnad . . . . .	53
6.4.9	Internränta . . . . .	53
6.4.10	Kostnad för ordersläpp . . . . .	53
6.4.11	Kassationsandel . . . . .	54
6.4.12	Truckkostnad per pall . . . . .	54
6.4.13	Lagerkostnad per pall . . . . .	54
6.5	Beräkningsverktyg . . . . .	54
<b>7</b>	<b>Resultat och analys</b>	<b>57</b>
7.1	Orderkvantiteter . . . . .	58
7.1.1	Resultat . . . . .	58
7.1.2	Analys . . . . .	60
7.2	Kostnader . . . . .	62
7.2.1	Resultat . . . . .	62
7.2.2	Analys . . . . .	63
7.3	Ställ- och batchtider . . . . .	65
7.3.1	Resultat . . . . .	65
7.3.2	Analys . . . . .	66
7.4	Ställtidsandel och omställningar . . . . .	68
7.4.1	Resultat . . . . .	68
7.4.2	Analys . . . . .	69
7.5	Orderkvantitet och antal per pall . . . . .	69
<b>8</b>	<b>Rekommendation</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>73</b>

<b>10 Förslag till fortsatt arbete</b>	<b>75</b>
10.1 SRP Svedala . . . . .	75
10.2 Akademiska studier . . . . .	76
<b>11 Källförteckning</b>	<b>77</b>
11.1 Litteratur . . . . .	77
11.2 Artiklar . . . . .	78
11.3 Elektroniska källor . . . . .	79
11.4 Muntliga källor . . . . .	79
<b>A Indata</b>	<b>81</b>
A.1 Ställ- och stycktider . . . . .	82
A.2 Årsbehov, ämnespris och antal per pall . . . . .	86
A.3 Allmän indata . . . . .	90
<b>B Orderkvantiteter</b>	<b>91</b>
<b>C Optimalt resultat</b>	<b>97</b>
C.1 Optimala kostnader per år . . . . .	98
C.2 Optimala ställ- och batchtider . . . . .	102
<b>D Dagens orderkvantiteter</b>	<b>107</b>
D.1 Dagens kostnader per år . . . . .	108
D.2 Dagens ställ- och batchtider . . . . .	112
<b>E Batchtidsbegränsning</b>	<b>117</b>
E.1 Kostnader per år . . . . .	118
E.2 Ställ- och batchtider . . . . .	122
<b>F Orderkvantitet och antal per pall</b>	<b>127</b>
<b>G Rekommenderad orderkvantitet</b>	<b>133</b>
<b>H Kostnader och tider för rekommendation</b>	<b>139</b>

## Ordlista

<i>Artikel</i>	Kan vara både ämne och detalj. Ämnen har ett artikelnummer och detaljer ett annat.
<i>Batch, serie</i>	Det antal produkter som går igenom en process tillsammans.
<i>Orderkvantitet</i>	Antal detaljer i en batch eller serie.
<i>Detalj</i>	Ämne som har genomgått bearbetning.
<i>Inre ställtid</i>	Tid då maskinen måste stå still för omställning, t.ex verktygs- och detaljbyte.
<i>Movex, M3</i>	Affärssystemet som används inom SRP.
<i>PIA</i>	Produkter-i-arbete.
<i>Stycktid, cykeltid</i>	Bearbetningstiden för en detalj.
<i>Yttre ställtid</i>	Omställningen kan göras utanför maskinen, dvs. den behöver inte stannas.
<i>Ämne</i>	Gods som är obearbetat.

## Symbollista

$A$	Ordersärkostnad per ordertillfälle	kronor
$C$	Kostnad per tidsenhet	kronor
$d, E$	Efterfrågan per tidsenhet	styck
$f_{N0}$	Batchfaktorn	-
$h$	Lagerhållningssärkostnad per enhet och tidsenhet	
$k$	Förädlingskostnaden per godkänd detalj	kr/styck
$k_{cap}$	Kostnad för bundet kapital i lager per detalj	kr/styck
$k_{CP}$	Utrustningskostnad under drift	kr/h
$k_{CS}$	Utrustningskostnad vid stillestånd	kr/h
$k_{N0}$	Detaljkostnad med avseende på de faktorer som inverkar på orderkvantiteten	kr/styck
$k_{SH}$	Hanteringskostnad per detalj	kr/styck
$k_{SH0}$	Fast kostnad för att hantera en order	kr/order
$k_{SH1}$	Rörlig kostnad för att hantera en detalj	kr/styck
$k_{su}$	Omställningskostnad per detalj	kr/styck
$k_B$	Materialkostnad per detalj	kr/styck
$k_D$	Lönekostnad	kr/h
$MD$	Market demand, efterfrågan	st/år
$N_{0M}$	Orderkvantiteten som tillverkas	styck
$n_{pall}$	Antal detaljer/ämnen per pall	styck
$N_0$	Orderkvantitet som kunden efterfrågar	styck
$N_0$	Nominella antalet korrekta detaljer i en batch	styck
$p$	Internränta	%
$Q$	Orderkvantitet	styck
$Q^*$	Optimal orderkvantitet	styck
$q_P$	Taktförlust	-
$q_Q$	Kassationsandel	-
$q_S$	Stilleståndsandel	-
$T_{pb}$	Tiden för en hel batch genom ett förädlingssteg	min
$T_{plan}$	Planerad produktionstid	h
$T_{SFK}$	Stilleståndstid med fri kapacitet	h
$T_{su}$	Omställningstid	min
$t_0$	Cykeltid, nominell förädlingstid per detalj	min
$U_{RB}$	Utnyttjandegrad vid reducerad beläggning	-

# Kapitel 1

## Inledning

I inledningen presenteras först företaget, den nya produktionsanläggningen Greenfield samt vilka produkter som tillverkas. Därefter beskrivs bakgrunden till examensarbetet, dess syfte och mål samt frågeställning. Till sist förklaras vilken metodik som används samt vilka avgränsningar som görs.

### 1.1 Sandvik AB

Sandvik är en högteknologisk verkstadskoncern med avancerade produkter och en världsledande position inom tre huvudområden:

- Verktyg i hårdmetall och snabbstål för metallbearbetning samt komponenter i hårdmetall och andra hårda material.
- Maskiner och verktyg för gruv- och anläggningsindustrin.
- Produkter i avancerade rostfria material, titan, speciallegeringar, metalliska och keramiska motståndsmaterial samt processanläggningar.

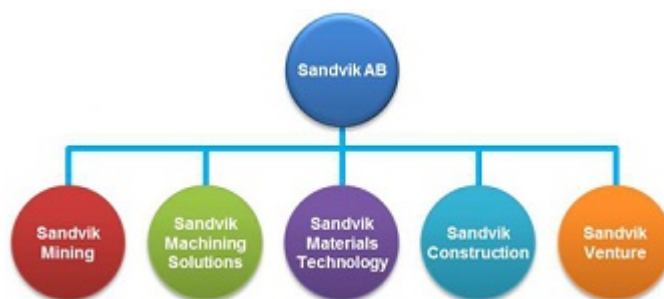
Affärsidén är att utveckla, tillverka och marknadsföra högteknologiska produkter och tjänster som förbättrar kundernas produktivitet och lönsamhet.

Företaget grundades 1862 av Göran Fredrik Göransson i Sandviken, Sverige. Strategin som verksamheten inriktades på tidigt och som varit densamma genom åren är hög kvalitet och vidareförädling, satsning på forskning och utveckling, nära kontakt med kunderna samt export. 2011 hade koncernen ca 50 000 anställda, en omsättning på 94 miljarder kronor och försäljning i mer än 130 länder. Sandvik har tre kärnvärden som ska stödja en gemensam kultur i hela organisationen:

- Open Mind - Se möjligheter, sök ständiga förbättringar och möt förändringar på ett positivt sätt.

- Team Spirit - En stark laganda och hur det inom företaget arbetas tillsammans över gränser, såväl geografiska som organisatoriska.
- Fair Play - Sandviks sätt att göra affärer.

Koncernen består av fem affärsområden där varje område själv ansvarar för produktion, försäljning samt forskning och utveckling. I figur 1.1 visas de olika affärsområdena.



Figur 1.1: Sandviks affärsområden<sup>1</sup>.

## Sandvik Mining

Affärsområdet Mining är världsledande leverantör av maskiner, hårdmetallverktyg, service och tekniska lösningar för gruvindustrin. I produktprogrammet ingår bergborrning, bergavverkning, krossning, lastning och transportlösningar.

## Sandvik Machining Solutions

Machining Solutions tillverkar verktyg och verktygssystem för metallbearbetning och är globalt marknadsledande inom området. Produkterna som tillverkas är av hårdmetall och andra hårda material som diamant, kubisk bornitrid och specialkeramer.

## Sandvik Materials Technology

Materials Technology är en världsledande tillverkare av högförädlade produkter, såsom rör, band och tråd. Dessa tillverkas i avancerade rostfria stål, speciallegeringar samt metalliska och keramiska motståndsmaterial.

---

<sup>1</sup>Sandvik, 2012



## Sandvik Construction

Affärsområdet Construction erbjuder lösningar för nästan alla områden inom anläggningsindustrin. Dessa är t.ex. stenbrott, tunneldrivning, bergschakt, väg- och järnvägsbyggnad, krossning, rivning och återvinning. Produkter som erbjuds är bl.a. bergborrverktyg, borrhjull, hydraulhammare, anläggningar för materialhantering samt maskiner för krossning och sortering.

## Sandvik Venture

Venture skapar möjligheter för tillväxt och lönsamhet i attraktiva och snabbväxande verksamheter och produktområdena är Sandvik Hard Materials, Diamond Innovations, Wolfram, Sandvik Process Systems samt Dormer <sup>2</sup>.

## 1.2 Sandvik Rock Processing

Sandvik Rock Processing, SRP, i Svedala är en produktionsenhet inom affärsområdet Sandvik Construction. Fabriken i Svedala grundades 1882 av Åbjörn Andersson och förvärvades 2001 av Sandvik AB. Här tillverkas krossar, slitskydd och siktmedia till kunder inom gruv- och anläggningsindustrin över hela världen.

### 1.2.1 Greenfield

Greenfield är den nya produktionsanläggningen i Svedala som ska stå klar under 2013. Anläggningen är 6000 kvadratmeter stor och utrustas med toppmodern produktionsutrustning för att tillverka nyckelkomponenter till Sandviks krossar <sup>3</sup>. Mer om Greenfields maskinpark kan läsas i avsnitt 5.1.

### 1.2.2 Krosstyper

I Svedala tillverkas främst kon-, käft- och VSI-krossar av varierande storlek. Det tillverkas också reservdelar och moduler som säljs till eftermarknadsbolaget. En del av de ingående komponenterna till en kross köps in färdigbearbetade medan andra köps in för att bearbetas i verkstaden. På SRP målas och monteras krossarna innan de testkörs och paketeras för transport till kund.

---

<sup>2</sup>[www.sandvik.com/sv/](http://www.sandvik.com/sv/), 2012-11-19.

<sup>3</sup>Sandvik Intranät, 2012-11-19.

### Konkross

Konkrossens utseende i genomskärning visas i figur 1.2. Krossen fylls med sten som krossas mellan manteln på konan och innermanteln på överdelens insida. Huvudaxelns övre ände är placerad i centrum medan axelns nedre ände rör sig i en excentrisk rörelse. Huvudaxeln har ingen drivning runt sin egen axel, men tillåts att rotera. Spaltöppningen vid mantelns nedre del gör att önskad storlek på stenen erhålls. Konkrossar finns i storlekar med en diameter på 1,1 - 2,7 m och en höjd på 2,5 - 6,5 m. Krossarna väger mellan 7 och 70 ton <sup>4</sup>.



Figur 1.2: Konkross<sup>5</sup>.

### Käftkross

I käftkrossen krossas stenen mellan två plattor som är placerade i vinkel med varandra, se figur 1.3. Den ena plattan hålls stilla medan den andra rör sig i horisontell- och vertikalled likt en tugg rörelse. Käftkrossarna har en vikt på mellan 15 och 65 ton och har dimensionerna: längd 2,4 - 4,5 m, bredd 1,9 - 3,0 m, höjd 2,2 - 4,2 m <sup>6</sup>.

### VSI-kross

I VSI-krossarna (Vertical Shaft Impact) matas stenar in vid krossens centrum. En roterande rörelse gör att stenarna slungas ut från centrum och de

<sup>4</sup><http://construction.sandvik.com>, 2012-11-27.

<sup>5</sup>Sandvik, 2012

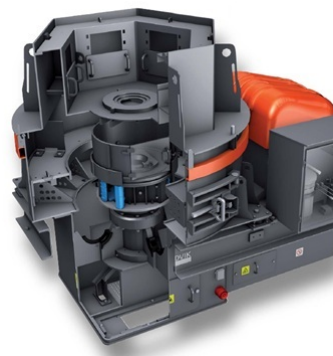
<sup>6</sup><http://construction.sandvik.com>, 2012-11-27.

<sup>7</sup>Sandvik, 2012



**Figur 1.3:** Käftkross<sup>7</sup>.

krossas mot andra stenar och mot krossens innervägg. Figur 1.4 visar en VSI-kross i genomskärning.



**Figur 1.4:** VSI-kross<sup>8</sup>.

## 1.3 Bakgrund

På SRP i Svedala byggs det just nu upp en helt ny produktionsanläggning för bearbetning av detaljer till stenkrossar. I samband med detta genomförs ett antal förändringar inom verksamheten och som en del i detta vill företaget se över och optimera orderkvantiteterna i bearbetningen.

## 1.4 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att med hjälp av teoretiska modeller och praktiska aspekter bestämma orderkvantiteter, dvs. antalet detaljer per batch,

---

<sup>8</sup>Sandvik, 2012

för alla artiklar som ska tillverkas i den nya produktionsanläggningen Greenfield. Målet är att bygga en beräkningsmodell som företaget kan använda sig av även efter att examensarbetet är avslutat samt att rekommendera lämpliga orderkvantiteter.

## 1.5 Frågeställning

- Vilken är den optimala orderkvantiteten för respektive artikel?
- Vilken orderkvantitet bör köras med hänsyn till praktiska aspekter?

## 1.6 Metod

### 1.6.1 Val av metod

Vilken metodik som väljs beror på vilket syfte ett examensarbete har. Syftet kan vara av följande karaktärer <sup>9</sup>:

- Beskrivande
- Utforskande
- Förklarande
- Problemlösande

De vanligaste metoderna för examensarbete är *kartläggning*, *fallstudie*, *experiment* och *aktionsforskning*. I metoden *kartläggning* görs en sammanställning och beskrivning av nuläget för det studerade objektet. En *fallstudie* syftar till att göra en djupgående studie av ett eller flera fall och där det studerade objektet ska påverkas så lite som möjligt. I en organisation görs fallstudier för att förstå hur arbetet sker. Väljs metoden *experiment*, görs en jämförande analys av två eller flera alternativ där ett fåtal faktorer isoleras och en av dem manipuleras. Den *aktionsforskande metodiken* är en noggrant övervakad och dokumenterad studie av en aktivitet som syftar till att lösa ett problem <sup>10</sup>.

En metod kan vara antingen fix eller flexibel. I en fix metod är studien till största del definierad innan genomförandet påbörjas. En flexibel metodik kan anpassas och förändras under studiens gång, t.ex. då förutsättningarna

---

<sup>9</sup>Höst M., Regnell B. och Runesson P. *Att genomföra examensarbete*, 2006.

<sup>10</sup>Ibid

ändras. *Kartläggningar* och *experiment* är båda fixa metoder medan *fallstudier* och *aktionsforskning* är flexibla <sup>11</sup>.

Då författarnas uppgift är att hitta en lösning till ett identifierat problem, har arbetet en problemlösande karaktär. Eftersom Greenfield fortfarande är under uppbyggnad och förutsättningarna kan ändras under arbetets gång väljs en aktionsforskande metodik.

### 1.6.2 Aktionsforskning

Aktionsforskningen börjar med att en given situation observeras för att ge en tydlig bild av problemet som ska lösas. Detta kan göras genom *kartläggning* eller *fallstudier*. Efter observationen tas ett förslag till lösning fram och genomförs. En viktig del i denna metodik är utvärdering av lösningen. Detta görs genom att studera den i sitt sammanhang och att analysera hur den fungerar. I ett tekniskt examensarbete är det vanligt att lösningen är någon form av prototyp som kan användas även efter att arbetet är avslutat <sup>12</sup>.

#### Kartläggning

Denna metod kan användas då syftet är att beskriva ett speciellt fenomen. Kartläggningen är en frågeundersökning med målet att beskriva eller förklara något. I en liten grupp kan alla inblandade frågas, men om gruppen blir för stor måste några stycken väljas ut och tillfrågas <sup>13</sup>.

#### Fallstudie

En fallstudie syftar till att undersöka vad som sker under verkliga förhållanden <sup>14</sup>. I en organisation kan den t.ex. göras för att förstå hur organisationen arbetar. För att samla in data i en fallstudie används ofta *intervjuer*, *observationer* och *arkivanalyser* <sup>15</sup>. *Intervjuer* kan vara strukturerade, semi-strukturerade eller öppet riktade. I strukturerade intervjuer är frågorna skrivna på förhand och det finns ett antal svarsalternativ att välja mellan <sup>16</sup>. En semi-strukturerad intervju är förberedd till en viss del men frågorna och ordningen på dem kan ändras allt eftersom intervjun fortskrider. I en öppen riktad intervju är det till stor del den som blir intervjuad som styr vad som ska tas upp. Frågeställaren säkerställer mest att intervjun håller

---

<sup>11</sup>Höst M., Regnell B. och Runesson P. *Att genomföra examensarbete*, 2006.

<sup>12</sup>Ibid

<sup>13</sup>Ibid

<sup>14</sup>Wallén G. *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*, 1996.

<sup>15</sup>Höst M., Regnell B. och Runesson P. *Att genomföra examensarbete*, 2006.

<sup>16</sup>Lantz A. *Intervjumetodik*, 1993.

sig inom valt ämnesområde. Vid *observationer* kan en dagbok användas för att samla in data. Vid *arkivanalyser* går befintlig dokumentation igenom. Detta för att få en bild av vad som studerats tidigare och vilka slutsatser som gjorts inom ämnet<sup>17</sup>.

### 1.6.3 Genomförande

I början av examensarbetet görs intervjuer, mestadels semi-strukturerade, med personer inom olika avdelningar såsom inköp, planering, ekonomi och logistik. För att få en bra bild av verksamheten och problemställningen, görs även egna observationer samt studiebesök i produktionen.

Litteraturstudien inleds med att studera kurslitteratur inom de kurser författarna läst och som knyter an till valt område. Denna litteratur kompletteras sedan med ytterligare relevant litteratur där sökningen görs på nyckelord så som partiformning, ekonomisk orderkvantitet och produktionsplanering.

Modellerna och dess ingående parametrar studeras och därefter väljs den eller de modeller som är lämpliga. Ett beräkningsverktyg för bestämning av orderkvantitet byggs upp i Excel och indata samlas in genom intervjuer och arkivanalyser.

## 1.7 Avgränsningar

Följande avgränsningar görs:

- Alla orderkvantiteter beräknas då produktionen är i full gång.
- Endast den del av flödet som omfattar bearbetning studeras. Kostnader för att lagerföra artiklar efter bearbetning tas dock med.
- Hänsyn tas inte till blåstring eller platsbegränsning i aklimatiseringsbufferten.
- Ingen hänsyn tas till om respektive artikel kommer att gå som komponent i en färdig kross eller om den kommer att gå som reservdel.
- Inga beräkningar görs på artiklar tillhörande nya krossmodeller som är under utveckling.

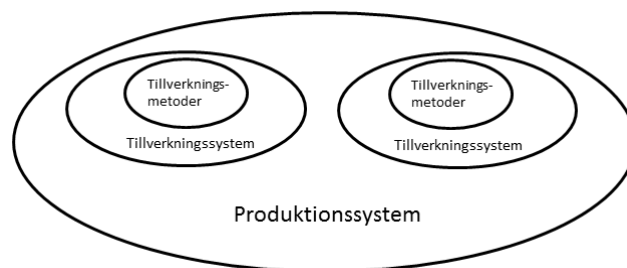
---

<sup>17</sup>Höst M., Regnell B. och Runesson P. *Att genomföra examensarbete*, 2006.

## Kapitel 2

# Tillverkningsystem

Ett tillverkningsystem är en del i ett produktionssystem som i sin tur är en del i ett större system för produktframtagning, se figur 2.1. Kärnverksamheten i ett tillverkningsystem är att tillverka och förädla material och råvaror med hjälp av en eller flera tillverkningsmetoder <sup>1</sup>.



**Figur 2.1:** Sambandet mellan produktionssystem, tillverkningsystem och tillverkningsmetoder<sup>2</sup>.

I detta avsnitt beskrivs vilka olika sorters produktionslayouter som finns i ett tillverkningsystem samt hur producerande företag delas in efter karaktären på dess verksamhet, beroende på var i produktionskedjan kunderordern punkten finns. Det beskrivs också vilka mål och målkonflikter som kan förekomma inom ett företag.

---

<sup>1</sup>Stahl J-E. *Industriella tillverkningsystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2011.

<sup>2</sup>Ibid

## 2.1 Produktionslayouter

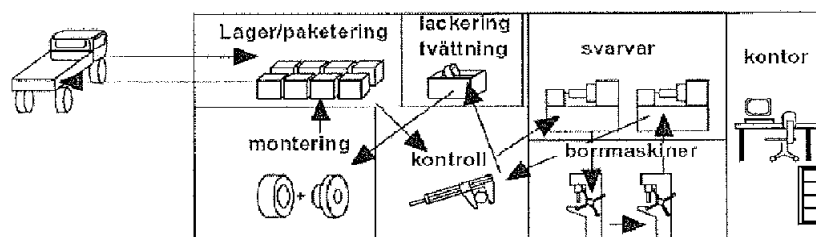
Vid tillverkning kan det urskiljas tre olika typer av produktionslayouter beroende på hur materialet hanteras under förädlingen eller hur produktionsutrustningen fysiskt är uppbyggd. Dessa tre är produktorienterad, funktionellt orienterad samt flödesorienterad layout<sup>3</sup>.

### 2.1.1 Produktorienterad layout

Denna typ av layout innebär att bearbetning och montering sker på en och samma plats. Detta för att produkten ofta är stor, väger mycket och är svår att flytta. Layouten används vanligtvis vid långa produktionstider och korta serier eller enstycksproduktion som t.ex. vid tillverkning av flygplan, fartyg, hus och brokonstruktioner<sup>4</sup>.

### 2.1.2 Funktionellt orienterad layout

I en funktionellt orienterad layout, se figur 2.2, ordnas maskinerna efter vilken typ av bearbetning som ska utföras, t.ex. samlas alla svarvar på en gemensam plats, alla fräsar på en annan och alla slipmaskiner på en tredje plats. Layouten är vanlig vid batchtillverkning och fördelen är att det ges möjlighet till en stor mix av olika produkter eftersom bearbetningsordningen kan varieras efter behov. Nackdelarna är att materialhanteringen ofta blir komplicerad, de interna transporterna blir långa samt att det ofta blir kötider framför maskinerna<sup>5</sup>.



Figur 2.2: Funktionellt orienterad layout<sup>6</sup>.

<sup>3</sup>Ståhl J-E. *Industriella tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2011.

<sup>4</sup>Ibid

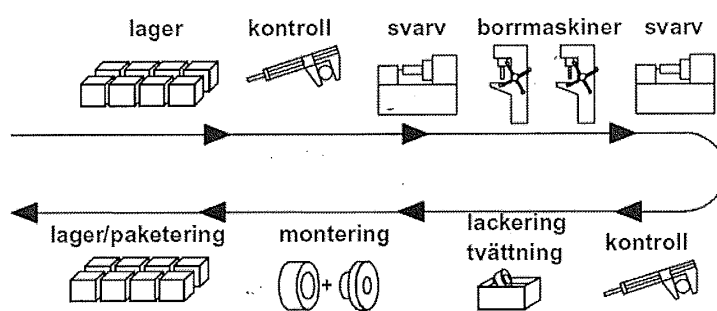
<sup>5</sup>Ibid

<sup>6</sup>Ibid



### 2.1.3 Flödesorienterad layout

En layout är flödesorienterad då maskinerna är ordnade i den ordning som en viss artikel ska bearbetas, se figur 2.3. På detta sätt skapas ett överskådligt flöde av artiklarna genom hela fabriken. Den flödesorienterade layouten ger en högre produktionstakt men behöver också fler fasta installationer i t.ex. materialhanteringsutrustning. Detta gör att layouten är mest lämplig vid massproduktion eller långa serier. Nackdelen med denna layout är att den är mindre flexibel <sup>7</sup>.



Figur 2.3: Flödesorienterad layout<sup>8</sup>.

### 2.1.4 Karaktärsdrag

De olika layouterna har olika karaktärsdrag och i tabell 2.1 visas dessa för funktionell respektive flödesorienterad layout <sup>9</sup>.

Tabell 2.1: Karaktärsdrag för funktionell och flödesorienterad layout.

	Funktionell layout	Flödesorienterad layout
Genomloppstid för en batch	Hög	Lågt
Produkter i arbete, PIA	Högt	Lågt
Störningskänslighet	Låg	Hög
Kapacitetsutnyttjande	Högt	Lågt
Planeringsbehov	Högt	Lågt

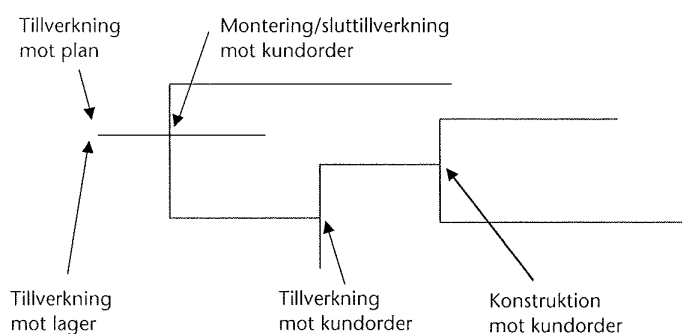
<sup>7</sup>Ståhl J-E. *Industriella tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2011.

<sup>8</sup>Ibid

<sup>9</sup>Ibid

## 2.2 Kundorderpunkt

Kundorderpunkten, KOP, är den punkt i en detaljs produktionsprocess från och med vilken detaljens tillverkning och leverans är kundorderbestämd, se figur 2.4. Detaljen övergår alltså i denna punkt från att vara produktionsstyrd till att vara kundspecifik. Före kundorderpunkten tillverkas det mot prognoser och efter KOP mot en specifik kundorder. Beroende på var i produktionsprocessen kundorderpunkten ligger, kan företag delas in i olika typer. Företagen kan fokusera på konstruktion mot kundorder, tillverkning mot kundorder, montering mot kundorder eller tillverkning mot lager<sup>10</sup>.



Figur 2.4: Kundorderpunktens placering i olika företagstyper<sup>11</sup>.

### 2.2.1 Konstruktion mot kundorder

Ett företag som arbetar med konstruktion mot kundorder har kundorderpunkten tidigt i produktionsprocessen. Produkterna utformas efter kundorderspecifikationer vilket innebär en hög grad av kundintegration. Lagren består av råmaterial samt enklare köpta komponenter<sup>12</sup>.

### 2.2.2 Tillverkning mot kundorder

Vid tillverkning mot kundorder ligger kundorderpunkten senare i kedjan. I allmänhet är detaljerna helt konstruerade och förberedda för tillverkning innan en kundorder mottages. Viss detaljtillverkning samt all montering utförs mot kundorder och lagren består av köpta komponenter, råmaterial och egentillverkade detaljer och halvfabrikat<sup>13</sup>.

<sup>10</sup> Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.

<sup>11</sup> Ibid

<sup>12</sup> Ibid

<sup>13</sup> Ibid

### 2.2.3 Montering mot kundorder

Arbetar företag med principen montering mot kundorder, köps allt material in och all detaljtillverkning sker utan att det finns koppling till en speciell kundorder. Kundorderpunkten ligger senare i kedjan och allt material som behövs för montering finns på lager. Produktionsprocessen fram till monteringen består av enbart standardiserade och av företaget definierade och konstruerade produkter <sup>14</sup>.

### 2.2.4 Tillverkning mot lager

Tillverkning mot lager innebär att produkterna är helt kända vid kundorder-ringång och att kundorderpunkten därmed ligger efter slutproduktnivån vid tillverkning. Ofta är det standardprodukter som tillverkas och lagerläggs i avvaktan på en kundorder. De olika lagren i ett företag av denna typ, består av slutprodukter, samtliga ingående köpta komponenter, råmaterial, egentillverkade detaljer samt halvfabrikat <sup>15</sup>.

## 2.3 Mål- och målkonflikter

I nästan alla företag finns det delade meningar om vilka effektivitetsvariabler som det är mest lönsamt att optimera, för att få en så bra total resultatpåverkan som möjligt. Effektivitetsvariablerna kan t.ex. vara låg kapitalbildning, hög lagerservicenivå, kort leveranstid, högt resursutnyttjande, hög produktmixflexibilitet samt stor leveransflexibilitet. Se tabell 2.2 för exempel på hur olika effektivitetsvariabler motstrider varandra. Ofta följer de delade meningarna de olika funktionerna inom företaget. Marknadsavdelningen har t.ex. uppfattningen att hög lagerservicenivå/leveransprecision och hög produktmix- och leveransflexibilitet är de viktigaste variablerna för företaget. Ekonomiavdelningen anser att låg kapitalbindning och låga totalkostnader är de mest väsentliga medan produktionsavdelningen vill fokusera på högt kapacitetsutnyttjande och stora orderkvantiteter. Att uppfattningarna går isär har i första hand att göra med att människan ofta uppfattar helheter utifrån sin egen utgångspunkt och i detta fall sitt eget funktionsområde. En annan viktig förklaring kan vara att funktionschefernas prestationer mäts och följs upp olika, trots att de arbetar inom samma företag <sup>16</sup>.

I många företag mäts avdelningscheferna utifrån om deras funktion gör saken rätt (engelskans *efficiency*) och inte utifrån företagets övergripande

---

<sup>14</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.

<sup>15</sup>Ibid

<sup>16</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

**Tabell 2.2:** Exempel på motstridiga effektivitetsvariabler.

	1	2	3	4	5	6
1. Låg kapitalbindning	0	-	-	-	-	-
2. Hög lagerservicenivå	-	0	+	-	+	+
3. Kort leveranstid	-	+	0	-	+	+
4. Högt resursutnyttjande	-	-	-	0	-	-
5. Hög produktmixflexibilitet	-	+	+	-	0	+
6. Stor leveransflexibilitet	-	+	+	-	+	0

mål, att göra rätt saker (engelskans *effectiveness*). Resultatet blir en suboptimering där varje avdelningschef fokuserar på sin funktion och att den gör så bra resultat som möjligt, utan att ta hänsyn till hela företaget och dess mål <sup>17</sup>.

Marknadschefens huvudsakliga uppgift och det som förväntas av denne, är att sälja stora volymer. Detta blir såklart lättare med ett brett sortiment, konkurrenskraftiga leveranstider och en hög leveransprecision <sup>18</sup>. En inköpare mäts troligtvis i hur låga inköpspriser han eller hon kan få och för att få rabatterade priser på inköp krävs en större inköpsvolym. Detta medför att den inköpta volymen lagerläggs och binder kapital, vilket talar emot ekonomichefens mål om låga kostnader.

Det är viktigt att företagsledningen bestämmer vilka av effektivitetsvariablerna som ska prioriteras och att hela företaget strävar efter att bli så effektivt som möjligt i just dessa. Prioriteringen ska göras med hänsyn till det som stödjer företagets affärsidé och konkurrensförmåga. Först då detta är gjort kan de lägre prioriterade variablerna maximeras, men aldrig på bekostnad av de primära. För ett företag med unik konkurrensförmåga att alltid kunna leverera omedelbart och med stor precision, är det troligtvis inte reducerade lager och sänkta kostnader som prioriteras högst <sup>19</sup>.

<sup>17</sup>Hill A. och Hill P. *Manufacturing Operations Strategy*, 2009.

<sup>18</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>19</sup>Ibid

## Kapitel 3

# Partiformning

Partiformning är ett av de viktigaste men också svåraste problemen inom produktionsplanering <sup>1</sup>. Det handlar om att fastställa lämpliga orderkvantiteter, t.ex. inköps- eller tillverkningsorderkvantiteter. Detta görs för att det oftast inte är lämpligt eller till och med inte möjligt att enbart köpa in, tillverka och leverera det omedelbara behovet som krävs vid varje enskilt tillfälle <sup>2</sup>.

Kapitlet behandlar vilka motiv som finns för partiformning samt olika faktorer som påverkar orderkvantiteter.

### 3.1 Motiv för partiformning

#### 3.1.1 Icke-ekonomiska motiv

De icke-ekonomiska skälen kännetecknas av att det kan vara lämpligt eller i vissa fall till och med nödvändigt att tillverka eller köpa in större partier än den direkta behovskvantiteten, även om det inte finns ekonomiska motiv för det. Ett exempel på detta är att leverantören kräver att företaget köper in hela förpackningskvantiteter eller fulla lastpallar<sup>3</sup>.

#### 3.1.2 Ekonomiska motiv

Den främsta orsaken till att avvika från den direkta behovskvantiteten vid bestämning av orderstorlek är av ekonomisk karaktär. Ju större orderkvan-

---

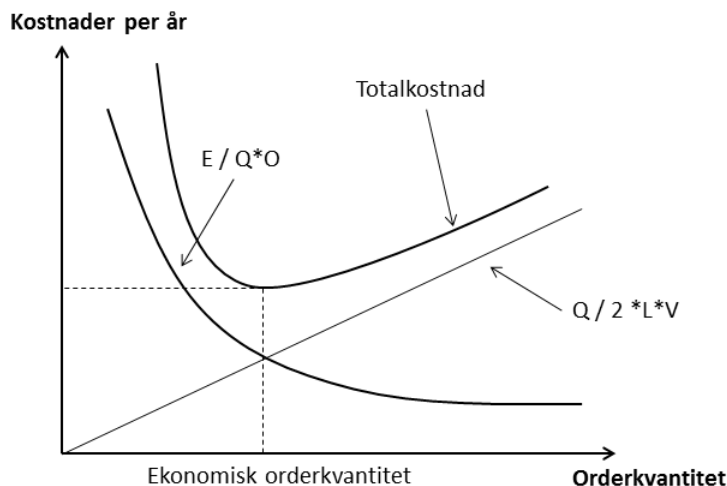
<sup>1</sup>Karimi B., Fatemi Ghomi S.M.T. och Wilson J.M. *The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms*, 2003.

<sup>2</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>3</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.

titeten är desto färre order måste frisläppas och desto mindre blir den totala ordersärkostnaden. Detta talar för att stora orderkvantiteter ska användas. Om orderkvantiteterna är större än det omedelbara behovet, måste resterande detaljer läggas på lager tills det kommer att användas eller levereras. Detta talar för mindre orderstorlekar.

I figur 3.1 ses sambanden mellan orderkvantitet, ordersärkostnad och lagerhållningssärkostnad. Kurvan för totalkostnaden är relativt flack runt den optimala ekonomiska orderkvantiteten, vilket innebär att merkostnaderna inte blir så stora om avvikelser från denna behöver göras. Detta har stor betydelse i praktiken då företag kan anpassa orderstorleken efter t.ex. inköpspriser och rabatter eller hur detaljerna är lagrade per pall <sup>4</sup>.



**Figur 3.1:** Samband mellan orderkvantiteter och ordersärkostnader, lagerhållningssärkostnader respektive totala särkostnader<sup>5</sup>.

$Q$  = orderkvantiteten  
 $O$  = ordersärkostnad  
 $L$  = lagerhållningssärkostnaden i %  
 $V$  = artikelvärde

### 3.2 Faktorer som påverkar orderkvantiteter

För att bestämma lämpliga orderkvantiteter används så kallade partiformningsmetoder, mer om dessa i avsnitt 4. Oberoende av vilken partiform-

<sup>4</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.

<sup>5</sup>Ibid

ningsmetod som används, är det samma faktorer som påverkar valet av orderkvantiteter<sup>6</sup>. Nedan förklaras dessa faktorer.

### 3.2.1 Leveranstid

Aktuella leveranstider är en avgörande faktor vid bestämning av inköps- och tillverkningsorderkvantiteter. Antingen anskaffas det mot lager eller mot kundorder. Vid anskaffning mot kundorder, blir orderkvantiteten lika med det direkta behovet från kunden. För att denna strategi ska kunna väljas gäller det att leveranstiden som kunden eller den egna produktionen kan acceptera är längre än tiden det tar att anskaffa artikeln. Är detta leveranstidskrav inte uppfyllt måste strategin, att anskaffa mot lager, väljas. Det innebär att orderkvantiteterna blir en sammanslagning av enskilda behov då det som tillverkas men som inte behövs just nu, läggs på lager<sup>7</sup>.

### 3.2.2 Ordersärkostnad

Till ordersärkostnad räknas alla kostnader som direkt kan hänföras till hantering av inköps- eller tillverkningsorder. Den är i allmänhet inte beroende av anskaffade respektive tillverkade kvantiteter per ordertillfälle<sup>8</sup>. Ordersärkostnaden kan delas in i fyra områden<sup>9</sup>:

- Omställnings- och nedtagningskostnader, dvs. kostnader för att ställa om från en tillverkningsprocess till en annan.
- Kostnader för kapacitetsförlust. Om det finns ledig kapacitet i tillverkningsprocessen finns ingen sådan kostnad.
- Materialhanteringskostnader som är kostnader för t.ex. godsmottagning, inlagring, materialuttag samt förflyttning av färdiga produkter till och från lager.
- Orderhanteringskostnader som vid en tillverkningsprocess består av kostnader för planering, ordersläpp och återrapportering av order.

### 3.2.3 Lagerhållningssärkostnad

Lagerhållningssärkostnad är kostnaden för att hålla artiklar på lager och består av tre delar<sup>10</sup>:

---

<sup>6</sup><http://www.lagerstyrningsakademin.se>, 2012-10-08.

<sup>7</sup>Ibid

<sup>8</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>9</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.

<sup>10</sup>Ibid

- En finansiell del som är kapitalkostnad. Denna del består av det alternativa avkastningskravet för det kapital som är bundet i lager. Varje företag bestämmer själv avkastningskravet, den så kallade internräntan<sup>11</sup>, på investerat kapital men i vinstdrivande företag är bankens ränta det lägsta alternativa avkastningskravet.
- En fysisk del som är förvaringskostnad. I denna del inkluderas driftskostnader för det fysiska lagret och dessa kan vara kostnader för personal, hyra, avskrivningar på anläggningar, lagrings- och hanteringsutrustning, lageradministration, interna transporter och energi.
- En osäkerhetsdel som är förknippad med risken som finns för att hålla artiklar i lager. Håller företaget stora kvantiteter i lager ökar hanteringen av dessa och därmed också risken att artiklarna går sönder. Andra risker kan vara att det blir inbrott, att interna stölder sker, brand, eller att efterfrågan faktiskt inte fördelar sig enligt prognosen.

Jan-Eric Ståhl (2012-10-03) menar att den finansiella delen endast består av kostnaden för bundet kapital men inte konsekvenserna av en alternativ användning av det bundna kapitalet. Detta eftersom det alternativa avkastningskravet på investerat kapital egentligen aldrig är något alternativ om det som företaget investerar i är av stor betydelse för att verksamheten ska fungera enligt de mål som satts upp. Han menar vidare att företag måste bestämma sig för att hålla sig till den verksamhet företaget bedriver. Ett tillverkningsföretag måste ha komponenter på lager och alternativet att sälja lagret för att satsa pengarna i andra verksamheter är aldrig något alternativ.

### Lagervärdering

Lagervärdering handlar om hur företag värderar lagerförda artiklar olika. Det finns högre avkastningskrav för högvärdiga artiklar än för lågvärdiga. Eftersom att olika enheter av samma typ av artikel oftast inte läggs på lager vid samma tillfälle, blir deras påförda kostnader inte exakt lika. Detta kan bero på att de köpts in vid olika tidpunkter, fraktats i olika leveranser eller bearbetats i olika tillverkningsserier. För att uppskatta ett enhetligt värde per styck för alla enheter av respektive typ av artikel används därför några olika principer<sup>12</sup>:

- Standardpris. Detta är pris per styck som beräknas och fastställs att gälla under en viss tid, ofta ett år, för att undvika kortsiktiga kostnadsvariationer.

<sup>11</sup>Skärvad P-H. och Olsson J. *FöretagsEkonomi 100*, 2007.

<sup>12</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*, 2005.



- Medelpris. Används vanligtvis vid inköpsartiklar och beräknas löpande vid varje inleveranstillfälle som ett viktat pris av gällande medelpris i lager och kvantiteten som nyss levererades in.
- Pris enligt FIFO. Principen först-in-först-ut, antar att det som läggs på lager först, också tas ut först. Detta medför att alla enheter får olika värden beroende på hur länge de legat i lager. Denna princip används mest för inköpsartiklar.

### 3.2.4 Inkuransrisk

Då företag tillverkar mot lager, bygger orderkvantiteterna på en förväntan om att behovet kommer att uppstå någon gång framåt i tiden. Det finns alltså en risk att behovet aldrig kommer att uppstå och följaktligen måste orderkvantiteten kanske skrotas. Eftersom lagret varar längre ju större orderkvantiteterna är, ökar inkuransrisken med ökande orderkvantiteter. Detta talar för att använda sig av små orderkvantiteter om inkuransrisken är stor.

Hänsyn måste tas till artiklar som av någon anledning har en begränsad livslängd. Det kan vara artiklar med begränsad hållbarhet eller bäst före datum som t.ex. livsmedel. Det kan också vara för att det introduceras nya generationer av artikeln som gör den nya artikeln funktionellt eller prismässigt överlägsen. Den ersatta artikeln blir då svår eller kanske till och med omöjlig att sälja och måste skrotas <sup>13</sup>.

### 3.2.5 Begränsad lagrings- eller tillverkningskapacitet

Om en artikel är väldigt utrymmeskrävande och lagringsutrymmet är begränsat, kan det vara lämpligt att ta hänsyn till detta vid bestämning av orderkvantiteter. Vid begränsad lagringsplats sätts orderkvantiteten utifrån den minsta av: maximal lagringskapacitet och den ekonomiskt beräknade kvantiteten. Vid begränsad tillverkningskapacitet kan liknande hänsyn tas. Det kan finnas skäl att begränsa orderkvantiteten om den ekonomiskt beräknade tar upp orimligt stor del av kapaciteten i förhållande till kapacitetsbehovet från andra artiklar. Skulle den ekonomiskt beräknade orderkvantiteten kräva så pass lång tid i tillverkningen att ordern inte kan bli klar i tid, måste också orderkvantiteten begränsas <sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup><http://www.lagerstyrningsakademien.se>, 2012-10-08.

<sup>14</sup>Ibid

### 3.2.6 Min- och multipelkvantiteter

Minkvantitet är den minsta kvantitet som ska köpas in eller tillverkas. Leverantörer kan ha krav på att en minsta kvantitet måste köpas in vid varje beställning och det tillverkande företaget kan av olika anledningar ha krav på att en minsta kvantitet måste bearbetas på varje tillverkningsorder.

Vissa artiklar levereras eller tillverkas endast i multiplar om förutbestämda kvantiteter. Multipelkvantiteter kan avse hela förpackningar eller vad som ryms på en lastpall. Det kan också syfta till den kvantitet som kan fås ut från en enhet råmaterial eller den kvantitet som ryms i tillverkningsutrustningen. Då det finns restriktioner på multipelkvantiteter, väljs orderkvantiteten till det antal heltalsmultiplar som närmast motsvarar den ekonomiskt beräknade orderkvantiteten <sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup><http://www.lagerstyrningsakademin.se>, 2012-10-08.

## Kapitel 4

# Partiformningsmetoder

Den första metoden för beräkning av ekonomisk orderkvantitet introducerades redan i början av nittonhundratalet och sedan dess har ett stort antal andra partiformningsmetoder utvecklats. De metoder som används i industrin kan delas in i olika klasser beroende på om orderkvantiteten är fast eller varierande, respektive om behovstäckningstiden är fast eller varierande. Klassificeringen återges i tabell 4.1 och i matrisen ses att kombinationen fast orderkvantitet och fast behovstäckningstid inte är möjlig då det skulle förutsätta att efterfrågan är helt konstant. Nedan beskrivs några av de mest använda metoderna <sup>1</sup>.

**Tabell 4.1:** En struktur för partiformningsmetoder.

Behovstäckningstid/ Orderkvantitet	Fast	Varierande
Fast		-Bedömd orderkvantitet -Ekonomisk orderkvantitet
Varierande	-Enligt behov -Bedömd behovstäckningstid -Ekonomisk behovstäckningstid	Dynamiska partiformningsmetoder

---

<sup>1</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

## 4.1 Egenskapsvariabler

Alla partiformningsmetoder har olika egenskaper och alla metoder passar inte till alla planeringssituationer. Därför presenteras olika egenskapsvariabler så att metoderna kan grupperas med avseende på deras respektive egenskaper <sup>2</sup>.

- Manuellt eller ekonomiskt optimerad. Vid manuell bestämning väljs orderstorlekarna utifrån erfarenhet och mer eller mindre välgrundade bedömningar. Inga formella beräkningar utförs. Ekonomiska bestämningar bygger på någon form av räkning eller optimering och ofta är det en fråga om att minimera ordersärkostnader och lagerhållnings-särkostnader.
- Kvantitets- eller tidsbaserad. En orderstorlek kan uttryckas antingen som en kvantitet eller som en behovstäckningstid. Med behovstäckningstid menas den tid som orderkvantiteten täcker det planerade behovet. Om orderstorleken uttrycks som en kvantitet kan den användas direkt i planeringen men om den uttrycks som en tid måste kvantiteten beräknas.
- Tidsvariant eller tidsinvariant. En tidsvariant metod skapar en orderstorlek eller en behovstäckningstid som är olika från order till order. Tidsinvariant är således motsatsen och ändrar inte orderstorlekarna från order till order.
- Diskret eller icke-diskret. Om en metod är diskret, ger den orderstorlekar som är summan av ett helt antal på varandra följande perioders behov. Hos de icke-diskreta metoderna sammanfaller inte orderkvantiteten med ett visst antal perioders behov.

## 4.2 Enligt behov

Enligt behov är den enklaste metoden och innebär att orderstorleken motsvarar ett speciellt behov. Metoden innebär alltså ingen egentlig partiformning i den mening att olika behov slås samman. Den används mest vid kundorderstyrda materialflöden, för dyra produkter och i planeringssituationer som har små omställningstider, dvs. i miljöer som liknar Just-In-Time <sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>3</sup>Ibid

### 4.3 Bedömd orderkvantitet

Denna metod innebär att en fast orderstorlek bestäms utifrån erfarenhet och uppskattningar om bl.a. årsförbrukning, pris eller hur resurskrävande det är att genomföra orderprocessen. Metoden är teoretiskt sett alltid underordnad ekonomisk orderkvantitet då det är nästan omöjligt att på bedömningsmässiga grunder uppskatta order- och lagerhållningssärkostnader för att få en någorlunda optimal orderkvantitet. Den kan dock användas i enklare sammanhang och då det inte finns något systemstöd för att göra beräkningar. En nackdel är att det blir praktiskt svårt att hålla orderkvantiteterna uppdaterade då omständigheterna förändras. Metoden är kvantitetsbaserad, tidsinvariant och icke-diskret <sup>4</sup>.

### 4.4 Ekonomisk orderkvantitet

Ekonomisk orderkvantitet är den vanligaste metoden när det gäller parti-formning och beräknas som en avvägning mellan ordersärkostnader och lagerhållningssärkostnader <sup>5</sup>. Metoden presenterades första gången redan 1913 av Ford Whitman Harris <sup>6</sup>. Fortsättningsvis i rapporten benämns ekonomisk orderkvantitet med EOQ, utifrån engelskans Economic Order Quantity <sup>7</sup>. Metoden är kvantitetsbaserad, tidsinvariant och icke-diskret. Formeln för beräkning av ekonomisk orderkvantitet kallas också Wilson-formeln eller kvadratrotsformeln <sup>8</sup>,

$$EOQ = \sqrt{\frac{2Ad}{h}} \quad (4.1)$$

där,

- $d$ = efterfrågan per tidsenhet
- $A$ =ordersärkostnad per ordertillfälle
- $h$ =lagerhållningssärkostnad per enhet och tidsenhet <sup>9</sup>.

#### 4.4.1 Antaganden och härledning

Formeln för EOQ bygger på följande antaganden <sup>10</sup>:

<sup>4</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>5</sup>Ibid

<sup>6</sup>Erlenkotter D. *Ford Whitman Harris and the economic order quantity model*, 1990.

<sup>7</sup>Nahmias S. *Production and Operations Analysis*, 2009.

<sup>8</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>9</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>10</sup>Ibid

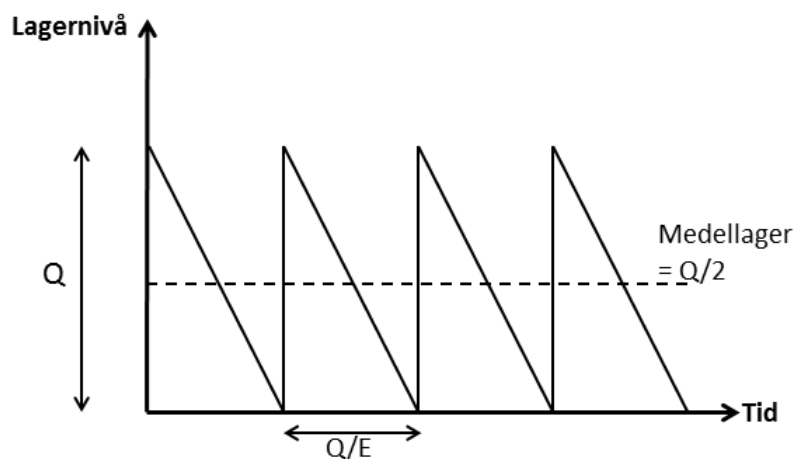
- Efterfrågan är konstant och känd.
- Order- och lagerhållningssärkostnader är konstanta över tid.
- Orderkvantiteten behöver inte vara ett heltal.
- Hela orderkvantiteten levereras vid ett tillfälle.
- Inga brister är tillåtna.

Maximal lagernivå motsvaras av  $Q$  och medellagernivån blir  $Q/2$ , se figur 4.1. En orderkvantitet förbrukas under tidsperioden  $Q/d$  vilket motsvarar återfyllnadsperioden. Antal lagerpåfyllnadstillfällen per år är därför  $d/Q$ . Totalkostnaden,  $C$ , per tidsenhet ges av:

$$C = \frac{Q}{2}h + \frac{d}{Q}A, \quad (4.2)$$

där första termen är lagerhållningssärkostnaden som fås genom att multiplicera medellagret med lagerhållningssärkostnaden. Andra termen ger ordersärkostnaden per tidsenhet genom att multiplicera medelantalet order per tidsenhet med ordersärkostnaden. Den minsta totalkostnaden inträffar för en viss storlek på orderkvantiteten  $Q$ , se figur 3.1. Kostnadsfunktionen är konvex i  $Q$  och därför kan optimalt  $Q^*$  fås genom att derivera kostnadsfunktionen med avseende på  $Q$ <sup>11</sup>.

$$\frac{dC}{dQ} = \frac{h}{2} - \frac{d}{Q^2}A = 0 \Rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2Ad}{h}} \quad (4.3)$$



**Figur 4.1:** Lagernivåns utveckling under de antaganden som gäller för EOQ-formeln<sup>12</sup>.

<sup>11</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

Wilsonformeln tar ingen hänsyn till kapitalkostnader för produkter i arbete under tillverkning och inte heller till att stora orderkvantiteter har en tendens till att medföra större variationer i beläggningen och därmed ett lägre kapacitetsutnyttjande. För egentillverkade artiklar blir orderkvantiteten därför något för stor. Ett ungefärligt sätt att ta hänsyn till produkternas kapitalbindning då de är i arbete är att multiplicera den beräknade orderkvantiteten med 0,7<sup>13</sup>.

#### 4.4.2 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys visar vad som händer om avvikelser från den optimala orderkvantiteten görs. Vid insättning av ekvation 4.3 i 4.2 fås

$$C^* = \sqrt{\frac{Adh}{2}} + \sqrt{\frac{Adh}{2}} = \sqrt{2Adh} \quad (4.4)$$

Relativa kostnadsökningen,  $C/C^*$ , då en orderkvantitet på  $Q$  stycken väljs istället för det optimala  $Q^*$  stycken, är en funktion av  $Q/Q^*$  enligt:

$$\frac{C}{C^*} = \frac{Q}{2} \sqrt{\frac{h}{2Ad}} + \frac{1}{2Q} \sqrt{\frac{2Ad}{h}} = \frac{1}{2} \left( \frac{Q}{Q^*} + \frac{Q^*}{Q} \right) \quad (4.5)$$

Det visar sig att hyfsat stora avvikelser från optimal orderkvantitet endast ger begränsade kostnadsökningar. Om till exempel orderkvantiteten väljs 50 % större än optimalt,  $Q/Q^* = 3/2$ , blir  $C/C^* = 1,08$  dvs. endast en kostnadsökning på 8 %. Vad som också är intressant är att kostnaderna är än mindre känsliga mot fel i de ingående kostnadsparametrarna. Ett exempel är om en ordersärkostnad används som är 50 % högre än den korrekta. Det relativa felet i orderkvantiteten blir då enligt ekvation 4.3,  $Q/Q^* = (3/2)^{1/2} = 1,225$  och den relativa kostnadsökningen blir endast ca 2 %<sup>14</sup>.

I figur 3.1 ses att kurvan för totalkostnaden är ganska flack och detta innebär att summan av särkostnaderna är relativt okänslig för orderkvantiteter som avviker från det optimala värdet, se beräkningar ovan. Ibland kan tekniska eller praktiska restriktioner innebära att avvikelser från optimal orderkvantitet måste göras. Det kan t.ex. handla om begränsat lagringsutrymme, hållbarhets- eller likviditetsbegränsningar<sup>15</sup>.

<sup>12</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>13</sup><http://www.lagerstyrningsakademin.se>, 2012-10-01.

<sup>14</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>15</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

## 4.5 EOQ utan att känna till ordersärkostnad

Då det är ett problem att ta fram eller ens uppskatta ordersärkostnader kan en modifierad modell av EOQ användas. Den alternativa modellen utgår från det antal order som det planeras finnas kapacitet för att hantera. Detta med avseende på planering, orderfrisläppning, leveransbevakning, godsmottagning, kvalitets- och kvantitetskontroll samt inplacering i lager. För tillverkningsartiklar tillkommer också antal omställningar. EOQ beräknas sedan utifrån detta antal och med hjälp av Wilsons formel. Det förutsätts att pris per styck, aktuell efterfrågan och lagerhållningssärkostnad är kända <sup>16</sup>.

Arbetsgången är som följer <sup>17</sup>:

1. Uppskatta antalet order som planeras kunna hanteras under ett år.
2. Välj en preliminär ordersärkostnad och beräkna EOQ för varje artikel.
3. Beräkna antal order per år för varje artikel genom att dividera årlig efterfrågan med beräknad orderkvantitet.
4. Beräkna totala antalet order per år genom att summera antal order för alla artiklar.
5. Jämför beräknat antal order med det antal som uppskattades i steg 1. Om det beräknade antalet är mindre än det uppskattade, välj en ny lägre ordersärkostnad. Är det beräknade antalet större än det uppskattade, välj istället en högre ordersärkostnad.
6. Genomför steg 2 till 5 om igen tills antal beräknade order ungefärligen stämmer överens med det uppskattade antalet i steg 1. De orderkvantiteter som nu är beräknade är således de ekonomiska orderkvantiteterna för respektive artikel.

## 4.6 Bedömd behovstäckningstid

Metoden liknar bedömd orderkvantitet då den också bygger på att en manuell uppskattning görs. Storleken väljs så att den ska täcka ett helt antal planeringsperioder, t.ex. dagar eller veckor. Bedömd behovstäckningstid är tidsbaserad, tidsinvariant och diskret <sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup><http://www.lagerstyrningsakademin.se>, 2012-10-01.

<sup>17</sup>Ibid

<sup>18</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.



## 4.7 Ekonomisk behovstäckningstid

Ekonomisk behovstäckningstid räknas ut genom att först beräkna ekonomisk orderkvantitet,  $EOQ$ , och dividera detta med medelefterfrågan per period,  $d$ , enligt  $EOQ/d$ .<sup>19</sup>

Om täcktiden blir ett helt antal perioder, används denna tid som täcktid. Då den inte blir ett helt antal perioder blir nästa steg att bestämma det hela antalet perioder som täcktiden ska räckas. Totalkostnaden räknas fram för det närmast högre respektive lägre antalet perioder, och det antalet perioder som ger den lägsta totalkostnaden,  $C$ , väljs som täcktid. Kostnaden beräknas enligt ekvation 4.2. De kvantiteter som först räknades fram kommer inte att användas utan orderkvantiteterna anpassas härefter till den verkliga efterfrågan. För detta finns tre metoder<sup>20</sup>:

- Titta på hur stor förbrukningen har varit under täcktiden, dvs. sedan den senaste beställningen, och beställ lika stor kvantitet.
- Avläs aktuellt lagersaldo och beställ den kvantitet som behövs för att lagret ska nå upp till återfyllnadsnivån som är säkerhetslager plus medelefterfrågan under täcktiden.
- Betrakta den förväntade förbrukningen för den närmast kommande perioden. Förbrukningen, som genereras av t.ex. en nettobehovsberäkning, under denna täcktid blir den kvantitet som ska beställas. Den här metoden kräver mycket arbete inför varje beställning men ger orderkvantiteter som är bättre anpassade till en varierad förbrukning.

## 4.8 Wagner-Whitin-metoden

Metoden bygger på att efterfrågan inte är konstant men fortfarande känd. Utifrån förväntad förbrukning under den närmaste tiden beräknar metoden både vilken kvantitet som ska beställas och när beställningen ska göras. Metoden kallas för en dynamisk metod då den normalt sett räknar om beställningskvantiteter och tidpunkter när prognoserna uppdateras<sup>21</sup>. Den vanligaste metoden för att lösa det så kallade dynamiska orderkvantitetsproblemet är med hjälp av dynamisk programmering. Detta var Wagner och Whitin först med att utveckla och deras lösning kallas därför Wagner-Whitin-algoritmen. Det antas att en periods efterfrågan sker i början av perioden, att inget lager finns från början, att lagerhållningsräkostnaden och ordersräkostnaden är konstant över tid samt att inga restorder är tillåtna.

<sup>19</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>20</sup>Oskarsson B., Aronsson H. och Ekdahl B. *Modern logistik - för ökad lönsamhet*, 2003.

<sup>21</sup>Ibid

Eftersom efterfrågan varierar med tiden kan de optimala orderkvantiteterna inte förväntas vara konstanta längre. Följande beteckningar används <sup>22</sup>:

- $T$  = antalet perioder
- $d_i$  = efterfrågan i period  $i$ , där  $i = 1, 2, \dots, T$
- $A$  = ordersärkostnaden
- $h$  = lagerhållningssärkostnaden per enhet och tidsenhet
- $f_k$  = minsta kostnaden för period  $1, 2, \dots, k$ , dvs. då perioderna  $k + 1, k + 2, \dots, T$
- $f_{k,t}$  = minsta kostnaden för period  $1, 2, \dots, k$ , givet att den senaste ordern lades i period  $t$  ( $1 \leq t \leq k$ )
- $f_0 = 0$
- $f_1 = f_{1,1} = A$ .

$$f_k = \min_{1 \leq t \leq k} f_{k,t} \quad (4.6)$$

Antag att  $f_{t-1}$  är känt för något  $t > 0$ . Det är då enkelt att få ut  $f_{k,t}$  för  $k \geq t$  som

$$f_{k,t} = f_{t-1} + A + h(d_{t+1} + 2d_{t+2} + \dots + (k-t)d_k). \quad (4.7)$$

För varje period gäller det att bestämma om efterfrågan ska täckas från lager eller genom en ny order. Det lönar sig inte att lagerhålla en periods behov så länge, att lagerhållningssärkostnaden blir större än ordersärkostnaden. Metoden förklaras här genom ett exempel <sup>23</sup>.

Efterfrågan  $d_t$  under 10 perioder kan ses i tabell 4.2. Ordersärkostnaden  $A = 300$  kr och lagerhållningssärkostnaden  $h = 1$  kr per enhet och period. I tabell 4.2 är  $f_{1,1} = 300$  kr, som är minsta kostnaden för att beställa endast den mängd som behövs i period ett. Ekvation 4.7 ovan används sedan för att bestämma  $f_{2,1} = f_{1,1} + 1 \cdot 60 = 360$ ,  $f_{3,1} = f_{2,1} + 2 \cdot 90 = 540$  o.s.v. Då  $f_{6,1}$  beräknas fås en ökning av kostnaden jämfört med  $f_{5,1}$  som är större än ordersärkostnaden, varför inga fler element i kolumnen behöver beräknas. Genom att använda ekvation 4.7 räknas  $f_{2,2}$ ,  $f_{3,2}$  o.s.v. fram. Då kolumnen är komplett används ekvation 4.6 för att bestämma  $f_2 = \min\{f_{2,1}, f_{2,2}\} = \min\{360, 600\}$ . När nästa kolumn är uträknad fås  $f_3 = \min\{540, 690, 660\} = 540$ . Beräkningarna fortsätter på samma sätt tills tabellen är klar. För att bestämma i vilka perioder beställning ska göras börjas det bakifrån i tabellen. De alternativa sammanslagna kostnaderna

<sup>22</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>23</sup>Ibid

att täcka behovet i sista perioden ges i diagonalen som är längst till höger i tabell 4.2. Den minsta kostnaden, 1550, fås både genom att lägga en order i period 6 eller i period 9. Vilken av dessa som väljs spelar ingen roll. Läggs en order i period 9, söks sedan den minsta kostnaden i den tredje diagonalen från höger. Detta ger värdet 1230 som motsvaras av en order i period 6. Nästa minsta element söks i den sjätte diagonalen från höger och detta ger en order i period 3. Den första ordern kommer sedan att hamna i period 1. Se tabell 4.3 för resultatet av de optimala orderkvantiteterna.

**Tabell 4.2:** Lösning enligt Wagner-Whitin.

Period t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_t$	50	60	90	70	30	100	60	40	80	20
k=t	300	600	660	840	1030	1090	1370	1450	1530	1770
k=t+1	360	690	730	870	1130	1150	1410	1530	1550	
k=t+2	540	830	790	1070	1250	1230	1570	1570		
k=t+3	750	920	1090	1250	1370	1470	1630			
k=t+4	870		1330	1410		1550				
k=t+5			1530							

**Tabell 4.3:** Optimala orderkvantiteter enligt Wagner-Whitin.

Period t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lösning 1	110		190			200				
Lösning 2	110		190			300				

## 4.9 Silver-Meals tumregel

Metoden som togs fram av E. A. Silver och H. C. Meal, kallas också för lägsta periodkostnadsmetoden och är tidsvariant och diskret<sup>24</sup>. Den är dynamisk liksom Wagner-Whitin-metoden men den senare ger ett mer optimalt resultat<sup>25</sup>. Teorin bygger på att ordersärkostnaderna är lika stora som lagerhållningssärkostnaderna för den optimala orderkvantiteten och metoden är mest lämplig att använda då det finns ett rimligt säkert känt behov. Då en ny order ska planeras in, studeras period för period och om ännu en periods kvantitet ska täckas av ordern. Orderkvantiteten motsvarar det antal perioders behov som ger den lägsta genomsnittliga särkostnaden per period<sup>26</sup>. Detta betyder att första ordern ska täcka  $n$  stycken perioder och att nästa order ska läggas i period  $n + 1$  om<sup>27</sup>:

<sup>24</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>25</sup>Oskarsson B., Aronsson H. och Ekdahl B. *Modern logistik - för ökad lönsamhet*, 2003.

<sup>26</sup>Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*, 2003.

<sup>27</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

$$\frac{A + h \sum_{j=2}^k (j-1)d_j}{k} \leq \frac{A + h \sum_{j=2}^{k-1} (j-1)d_j}{k-1}, 2 \leq k \leq n \quad (4.8)$$

och

$$\frac{A + h \sum_{j=2}^{n+1} (j-1)d_j}{n+1} > \frac{A + h \sum_{j=2}^n (j-1)d_j}{n} \quad (4.9)$$

Silver-Meals tumregel förklaras här med hjälp av ett exempel <sup>28</sup>:  
Ordersärkostnaden  $A$  är 300 kr och lagerhållningssärkostnaden  $h$  är 1 kr per enhet och period. Efterfrågan ser ut enligt följande.

**Tabell 4.4:** Efterfrågan till Silver-Meal-exempel.

Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	50	60	90	70	30	100	60	40	80	20

Om orderkvantiteten i period 1 endast täcker efterfrågan i period 1, blir kostnaden för period 1 lika med ordersärkostnaden  $A=300$ kr. Nu räknas det på kostnader per period för orderkvantiteter som täcker 2, 3, ...,  $n$  perioder.

$$\begin{aligned} 2 \text{ perioder} & (300 + 60)/2 = 180 < 300 \\ 3 \text{ perioder} & (300 + 60 + 2 \cdot 90)/3 = 180 \leq 180 \\ 4 \text{ perioder} & (300 + 60 + 2 \cdot 90 + 3 \cdot 70)/4 = 187,5 \end{aligned}$$

187,5 > 180, vilket betyder att en ny order ska släppas i period 4. Samma räkningar görs nu men med period 4 som första period.

$$\begin{aligned} 2 \text{ perioder} & (300 + 30)/2 = 165 < 300 \\ 3 \text{ perioder} & (300 + 30 + 2 \cdot 100)/3 = 176,67 > 165 \end{aligned}$$

Då  $165 < 176,67$ , kommer nästa order att läggas i period 6. Räkningarna görs nu med period 6 som första period.

$$\begin{aligned} 2 \text{ perioder} & (300 + 60)/2 = 180 < 300 \\ 3 \text{ perioder} & (300 + 60 + 2 \cdot 40)/3 = 146,67 \leq 180 \\ 4 \text{ perioder} & (300 + 60 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 80)/4 = 170 > 146,67 \end{aligned}$$

<sup>28</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

Nästa order kommer alltså att läggas i period 9. Räkningarna görs nu med period 9 som första period.

$$2 \text{ perioder} \quad (300 + 20)/2 = 160 < 300$$

I tabell 4.5 visas lösningen till Silver-Meals exempel.

**Tabell 4.5:** Lösning enligt Silver-Meal.

Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orderkvantitet	200			70		200			100	

De dynamiska metoderna (Wagner-Whitin och Silver-Meal) kräver mer löpande arbete än de icke-dynamiska metoderna eftersom prognoserna om förväntad efterfrågan hela tiden måste uppdateras. De är dock generellt sett mer följsamma vid varierande efterfrågan. Ju svårare efterfrågan är att prognostisera och ju mer pengar som är inblandade, desto mer motiverande är det att använda en metod som är mer komplicerad och noggrann <sup>29</sup>.

## 4.10 Lägsta totalkostnadsmodellen

Lägsta totalkostnadsmetoden är en alternativ modell till Silver-Meals metod. Den bygger på samma beräkningar men istället för att dividera med antalet perioder, divideras det med totala antalet enheter och kostnaden fås istället per enhet. Det har visat sig att Silver-Meal i allmänhet är bättre än lägsta totalkostnadsmodellen <sup>30</sup>.

## 4.11 Optimal orderkvantitet enligt Ståhl

Modellen för optimal orderkvantitet enligt Ståhl <sup>31</sup> antar att efterfrågan för en detalj per år är känd och att den antingen är periodisk eller konstant. Formeln för beräkning av detaljkostnad per styck, med avseende på de faktorer som inverkar på orderkvantiteten, ser ut enligt följande:

$$k_{N0}(N_{0M}) = k_{su}(N_{0M}) + k_{SH}(N_{0M}) + k_{cap}(N_{0M}) \quad (4.10)$$

<sup>29</sup>Oskarsson B., Aronsson H. och Ekdahl B. *Modern logistik - för ökad lönsamhet*, 2003.

<sup>30</sup>Axsäter S. *Inventory Control*, 2006.

<sup>31</sup>Ståhl J-E. *Development of Manufacturing Systems - The link between technology and economics*, 2012.

$N_{0M}$  är den tillverkade orderkvantiteten och  $N_0$  är det antal av den tillverkade kvantiteten som det finns ett direkt behov av. Resterande antal,  $N_0 \cdot (f_{N0} - 1)$ , läggs på lager<sup>32</sup>. Se ekvation 4.11.

$$N_{0M} = N_0 \cdot f_{N0} \quad (4.11)$$

De ingående komponenterna i ekvation 4.10 är kostnader för att ställa om från en tillverkningsprocess till en annan  $k_{su}$ , enligt ekvation 4.12, hanteringskostnader  $k_{SH}$ , enligt ekvation 4.13, samt kostnader för bundet kapital i lager  $k_{cap}$ , enligt ekvation 4.14.

$$k_{su} = \frac{(k_{CS} + k_D) \cdot T_{su}}{60 \cdot N_0 \cdot f_{N0}} \quad (4.12)$$

I omställningskostnaden ingår omställningstiden  $T_{su}$ , utrustningskostnader vid stillestånd  $k_{CS}$  samt lönekostnader  $k_D$ . Mer om dessa kostnader kan läsas i avsnitt 4.11.3 och avsnitt 6.4.8.

$$k_{SH} = \frac{k_{SH0} \cdot \frac{MD}{N_0 \cdot f_{N0}} + k_{SH1} \cdot N_0 \cdot (f_{N0} - 1)}{MD} \quad (4.13)$$

Hanterings- och lagerkostnaden per detalj  $k_{SH}$  består av två delar: en del som är den fasta kostnaden  $k_{SH0}$ , för att hantera en order; och en del som är rörlig  $k_{SH1}$ , och beroende av antal detaljer per tillverkningsorder.  $MD$  står för market demand, dvs. efterfrågan per år.

$$k_{cap} = k \cdot p \cdot \frac{N_0 \cdot (f_{N0} - 1)}{2 \cdot MD} \quad (4.14)$$

I kostnaden för bundet kapital i lager ingår detaljkostnaden per styck  $k$ , internräntan  $p$ , och medellagernivån  $N_0 \cdot (f_{N0} - 1)/2$ . För beskrivning och beräkning av detaljkostnaden, se avsnitt 4.11.1.

Om  $N_{0M}$  varieras i ekvation 4.10, kan en graf som anger kostnaden per detalj, för de parametrar som beror av orderkvantiteten, tas fram. Grafens minpunkt anger optimal orderkvantitet.

#### 4.11.1 Tillverkningskostnad för en detalj enligt Ståhl

Vid beräkning av kostnadsmodeller kan det förekomma indata som är osäker och har stort inflytande på resultatet. De som är svårast att bestämma är löne- och utrustningskostnader med tillhörande omkostnadspåslag. Det finns en risk att fel beslut om produktionsförändringar fattas om indata baseras

<sup>32</sup>Ståhl J-E. *NEXT STEP in Cost-based Sustainable Production Development - Cases from different production operations*, 2012

på felaktig information. Löne- och utrustningskostnaderna får inte belastas med omkostnadspåslag som inte har med den direkta produktionen att göra om det är produktionen som, med hjälp av modeller, ska beskrivas. Det är viktigt att en kostnadsmodell beskriver kostnaderna på samma nivå som där förändringar ska göras <sup>33</sup>.

Ståhls <sup>34</sup> kostnadsmodell för en planeringspunkt baseras på materialkostnad, utrustningskostnad under drift, utrustningskostnad vid stillestånd och lönekostnad. Förädlingskostnaden per godkänd detalj  $k$  (kr/styck) beräknas enligt ekvation 4.15. Kostnader för kassationer fördelas ut bland de godkända enheterna i batchen. Observera att  $N_0$  i ekvation 4.15 motsvarar  $N_{0M}$  i ekvation 4.11. Detta beror på att ekvationerna är hämtade från olika litteraturkällor. Ingående termer beskrivs närmare nedan. För en fullständig lista över samtliga variabler se symbollistan i rapportens inledning.

$$\begin{aligned}
k = & \frac{k_B}{N_0} \left[ \frac{N_0}{(1-q_Q)(1-q_B)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60N_0} \left[ \frac{t_0N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \right]_{c1} + \\
& + \frac{k_{CS}}{60N_0} \left[ \frac{t_0N_0}{(1-q_Q)(1-q_P)} \cdot \frac{q_S}{1-q_S} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} \cdot T_{pb} \right]_{c2} + \\
& + \frac{k_D}{60N_0} \left[ \frac{t_0N_0}{(1-q_Q)(1-q_S)(1-q_P)} + T_{su} + \frac{1-U_{RB}}{U_{RB}} \cdot T_{pb} \right]_d \quad (4.15)
\end{aligned}$$

#### 4.11.2 Materialkostnad

Materialkostnaden i kronor per detalj betecknas  $k_B$ . Den första termen i ekvation 4.15, *kostnadsterm b*, anger materialkostnaden per detalj bland de godkända detaljerna,  $N_0$ , i batchen. Kostnaden för de kasserade detaljerna och materialspill har fördelats ut på de godkända detaljerna. Materialspillfaktorn  $q_B$  beräknas med hjälp av totala materialåtgången per detalj  $m_{tot}$  och den färdiga detaljens materialmängd  $m_{det}$  som:

$$q_B = \frac{m_{tot} - m_{det}}{m_{tot}} \quad (4.16)$$

<sup>33</sup>Ståhl J-E. *Industriella tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi*, 2011.

<sup>34</sup>Ibid

### 4.11.3 Utrustningskostnad vid drift och vid stillestånd

Maskintimkostnaden kan delas upp i två fall; utrustningskostnad under drift  $k_{CP}$  (kr/h) och utrustningskostnad vid stillestånd  $k_{CS}$  (kr/h). Dessa kostnader innehåller i sin tur andra kostnader som kan hänföras till utrustningen, såsom:

- investeringskostnad
- lokalkostnad
- underhållskostnader
- verktygskostnader

men inkluderar inte lönekostnader. Den andra och tredje termen i ekvation 4.15, *kostnadsterm c1* och *kostnadsterm c2*, beskriver utrustningskostnaden vid förädling respektive stillestånd och omställning. Produktionstiden för en batch bestäms av cykeltiden och antalet detaljer som tillverkas samt med hänsyn till taktförlusten. Det är svårt att fastställa maskin- och utrustningskostnader rent praktiskt. Den tekniska livslängden kan vara 2 - 4 gånger längre än den ekonomiska avskrivningstiden. Det gäller att använda samma beräkningsprinciper i jämförelse mellan olika produktionslösningar. En produktionslinje som består av flera olika maskiner med varierande avskrivning försvårar beräkningen.

### 4.11.4 Lönekostnad

Sista termen i ekvation 4.15, *kostnadsterm d*, beskriver total lönekostnad per detalj. Den rena lönekostnaden i kronor per timme betecknas  $k_D$ . Här ingår sociala kostnader inklusive försäkringar och semesterersättning. Även direkta kostnader för personalutrymmen och kostnader för arbetsledning som kan knytas till det aktuella produktionsavsnittet bör ingå. Vid beräkning av lönekostnaden är det vanligt att företagets overheadkostnader tas med, vilket är ett allvarligt fel då dessa inte är kopplade direkt till produktionen. Lönekostnaden brukar uppgå till maximalt ca 2,5 gånger utbetald bruttolön (kr/h).

### 4.11.5 Cykeltid

Produktionskostnaden för en detalj  $i$ , styrs bland annat av produktionstiden. Den nominella förädlingstiden, även kallat cykeltiden  $t_0$  består av summan av maskintid  $t_m$ , hanteringstid  $t_h$ , verktygsbytestid  $t_{vb}$  och resttid  $t_{no}$  enligt ekvation 4.17.

$$t_0 = t_m + t_h + t_{vb} + t_{no} \quad (4.17)$$



Cykeltiden kan betraktas som en planeringspunkt och anger golv-till-golv-tid för varje detalj. Med planeringspunkt menas ett avgränsat förädlingssteg där en styrande cykeltid med tillhörande förlusttermer, som beskrivs senare, kan identifieras. En planeringspunkt kan bestå av en eller flera förädlingsutrustningar. I fallet med en enskild utrustning som utför flera förädlingsoperationer utgörs cykeltiden  $t_0$  av den sammanlagda tiden för dessa. För en flödeslinje utgörs cykeltiden av den utrustning som har den längsta enskilda tiden.

Maskintiden i sin tur består av fyra deltider enligt ekvation 4.18. Dessa är operativ förädling  $t_f$ , maskinintern transporttid  $t_{tr}$ , tiden för stödprocesser  $t_{sp}$  och tid för kvalitetssäkring  $t_{kvs}$ . Operativ förädling är den tid då verktyget är i kontakt med arbetsstycket och då det handlar om skärande bearbetning motsvaras det av tiden då spånor bildas. Häremellan krävs det en transporttid inne i maskinen för att verktyget och arbetsstycket ska lokaliseras till varandra. Tiden för rengöring eller tillförsel av smörjmedel betecknas med tid för stödprocesser. Tiden då kontrollmätningar på arbetsstycket görs och förädling inte kan ske betecknas med tiden för kvalitetssäkring.

$$t_m = t_f + t_{tr} + t_{sp} + t_{kvs} \quad (4.18)$$

I praktiken är det svårt att fullt ut dela upp cykeltiden i sina deltider då det är svårt att särskilja vissa moment åt, men totaltiden kan bestämmas ändå.

#### 4.11.6 Stilleståndsförlust

Under förädlingen kan störningar som leder till stillestånd förlänga produktionstiden. Den verkliga produktionstiden  $t_p$  är summan av den nominella cykeltiden  $t_0$  och stilleståndstiden  $t_s$  enligt:

$$t_p = t_0 + t_s \quad (4.19)$$

Kvoten mellan stilleståndstiden och den verkliga produktionstiden utgör stilleståndsandelen  $q_S$  enligt:

$$q_S = \frac{t_s}{t_p} = \frac{t_p - t_0}{t_p} \quad (4.20)$$

Om  $t_p$  löses ut ur ekvation 4.20 fås:

$$t_p = \frac{t_0}{1 - q_S} = t_0 \left( 1 + \frac{q_S}{1 - q_S} \right) \quad (4.21)$$

och den verkliga produktionstiden med avseende på stilleståndsförluster kan beräknas under förutsättning att ingen taktförlust, se avsnitt 4.11.8, förekommer. Termen  $1 - q_S$  benämns som tidsutnyttjandet.

#### 4.11.7 Kvalitetsförlust

Om det förekommer kvalitetsförluster krävs fler ämnen för att kunna tillverka önskat antal korrekta detaljer i en batch. Om antalet ämnen som tillförs processen betecknas  $N$  och det nominella antalet korrekta detaljer  $N_0$ , kan antalet felaktiga detaljer skrivas som  $N_Q = N - N_0$ . Observera att  $N_0$  i ekvation 4.22 och 4.23 motsvarar  $N_{0M}$  i ekvation 4.11. Kvoten mellan antalet felaktiga detaljer och antalet ämnen som krävs benämns kassationsandelen  $q_Q$  enligt:

$$q_Q = \frac{N_Q}{N} = \frac{N - N_0}{N} \quad (4.22)$$

Genom att lösa ut  $N$ , dvs. antalet ämnen som måste tillverkas, ur ekvation 4.22 fås:

$$N = \frac{N_0}{1 - q_Q} = N_0 \left( 1 + \frac{q_Q}{1 - q_Q} \right). \quad (4.23)$$

Termen  $1 - q_Q$  benämns som kvalitetsutbytet.

#### 4.11.8 Taktförlust

Om cykeltiden  $t_0$  måste ökas till  $t_{0v}$  för att klara givna kvalitetskrav eller undvika oplanerade stillestånd uppkommer en taktförlust. Taktförlusten  $q_P$  är kvoten mellan mertiden  $t_{0v} - t_0$  och den förlängda cykeltiden  $t_{0v}$  enligt ekvation 4.24. Taktförlusten baseras endast på cykeltiden, vilket innebär att ställtiden inte har något inflytande på taktförlusten. Om  $t_{0v}$  löses ut fås ekvation 4.25 som beskriver den längre cykeltiden baserat på nominell cykeltid och taktförlusten.

$$q_P = \frac{t_{0v} - t_0}{t_{0v}} = 1 - \frac{t_0}{t_{0v}} \quad (4.24)$$

$$t_{0v} = \frac{t_0}{1 - q_P} \quad (4.25)$$

#### 4.11.9 Omställningsförlust

Tiden det tar att ställa om produktionen från en detalj av en viss typ till en annan benämns ställtid och betecknas med  $T_{su}$ . Genom att införa en stilleståndsandel  $q_{Ssu}$ , som beror på stillestånd vid omställning, kan omställningsförluster som innebär störningar av nominell ställtid  $T_{su0}$  beskrivas enligt:

$$q_{Ssu} = \frac{T_{su} - T_{su0}}{T_{su}} \quad (4.26)$$

Tiden för den verkliga omställningen blir då:

$$T_{su} = \frac{T_{su0}}{1 - q_{Ssu}} \quad (4.27)$$

#### 4.11.10 Tiden för en batch

Med hänsyn taget till stillestånds förlust (ekvation 4.21), kvalitetsförlust (ekvation 4.23), taktförlust (ekvation 4.25) och omställningsförlust (ekvation 4.27), som nyss beskrivits, kan tiden för en batch genom ett förädlingssteg beräknas enligt ekvation 4.28. Observera att  $N_0$  i nedanstående ekvation motsvarar  $N_{0M}$  i ekvation 4.11.

$$\begin{aligned} T_{pb} &= N \cdot t_p + T_{su} = \\ &= \frac{N_0}{1 - q_Q} \cdot \left(1 + \frac{q_S}{1 - q_S}\right) \cdot \frac{t_0}{1 - q_P} + \frac{T_{su0}}{1 - q_{Ssu}} = \\ &= \frac{T_{su0}}{1 - q_{Ssu}} + \frac{N_0 \cdot t_0}{(1 - q_Q)(1 - q_S)(1 - q_P)} \end{aligned} \quad (4.28)$$

#### 4.11.11 Reducerad beläggning

Om ett tillverkande företag inte utnyttjar hela produktionskapaciteten talas det om överkapacitet eller fri kapacitet. Beroende på aktuell situation kan reducerad beläggning vara positivt eller negativt för företaget. Beläggningsbrist innebär att de produkter som tillverkas, och kan bära olika kostnader, blir färre. Detta medför en högre detaljkostnad eftersom investeringskostnaderna fördelas ut över färre produktionstimmar, och beror helt och hållet på vilka lokal- och utrustningskostnader som förekommer. Att ha en överkapacitet kan å andra sidan vara en tillgång eftersom väntetider kan minskas och därmed kan ledtiden för en produkt eller batch kortas. En utnyttjandegrad kring 96-97 % är att föredra för att förenkla övergångarna från en batch till en annan.

Utnyttjandegraden  $U_{RB}$  beräknas som kvoten mellan verkliga antalet produktionstimmar och det planerade antalet timmar enligt ekvation 4.29. Antalet timmar som utnyttjas,  $T_{pb,tot}$ , är skillnaden mellan planerad tid  $T_{plan}$  och antalet timmar som utgör stillestånd med fri kapacitet  $T_{SFK}$ .  $T_{pb}$  inkluderar inre ställtid, dvs. tid då maskinerna måste stå still, och cykeltiden per

batch enligt ekvation 4.28. Den planerade tiden per år  $T_{plan}$  beräknas som antalet skift multiplicerat med tiden per skift och år.

$$U_{RB} = \frac{T_{pb,tot}}{T_{plan}} = \frac{T_{plan} - T_{SFK}}{T_{plan}} = 1 - \frac{T_{SFK}}{T_{plan}} \quad (4.29)$$

En omskrivning av ekvation 4.29 ger att tiden med fri kapacitet kan beräknas utifrån belägningsgrad och planerad tid enligt:

$$T_{SFK} = \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \cdot (T_{plan} - T_{SFK}) \quad (4.30)$$

Den fria kapaciteten kan fördelas ut per batch enligt ekvation 4.31 så att detaljkostnaden även får bära kostnaden för stillestånd under belägningsbrist.

$$T_{SFK,b} = \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \cdot T_{pb} \quad (4.31)$$

## Kapitel 5

# Nulägesbeskrivning

Avsnittet beskriver SRP:s verksamhet i den nya produktionsanläggningen. Områden som behandlas är maskinpark och materialflöde, produktionsplanering samt kvalitet.

### 5.1 Maskinpark

Greenfields maskinpark kommer att bestå av elva helt nya maskiner, rödmarkerade i figur 5.1. Dessa är placerade i en funktionellt orienterad layout, se figur 5.1. Alla maskiner är fleroptionsmaskiner vilket innebär att nästan alla detaljer som körs i Greenfield kommer att kunna bearbetas klart i en och samma maskin.



Figur 5.1: Layout över Greenfield<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Sandvik, 2012

### 5.1.1 WFL-maskinerna

Fyra av maskinerna är axelsvarvar av märket WFL och dessa är placerade längst upp i vänstra hörnet i figur 5.1. Dessa svarvar går inte att ställa om under tiden maskinen är igång utan den måste stå still vid varje detaljbyte, vilket innebär att det förekommer en inre ställtid. Maskinerna har olika övre begränsningar i vilka dimensioner de kan bearbeta. En sammanställning över samtliga maskiner kan ses i tabell 5.1.

### 5.1.2 Unisign-maskinerna

De övriga sju maskinerna i Greenfield är karusellsvavar av märket Unisign och har palettväxling, dvs. det går att rigga en ny detalj under tiden maskinen kör (yttre ställtid) och sedan bara göra ett kort stopp för att växla paletterna. Unisign-maskinerna skiljer sig åt i storlek och i antal paletter, se tabell 5.1. De fyra maskinerna som är placerade i mitten av Greenfield, U6, se figur 5.1, är lika stora men skillnaden är att de två översta har två paletter medan de två nedersta har tre paletter. De tre maskinerna till höger betecknas U8. Den största av Unisign-maskinerna, U8XL, är den längst uppe i högra hörnet av figur 5.1. I denna maskin kommer de allra största detaljerna i Greenfield att bearbetas.

### 5.1.3 Svets

Längst ner i högra hörnet av figur 5.1 finns svetsbåsen, där både produktionssvets och reparationssvets kommer att utföras.

**Tabell 5.1:** Greenfields maskinpark.

Märke	Namn	Typ	Paletter	Dimension
WFL	WFL 65	Axelsvarv	-	Ø800, L=3000 mm
WFL	WFL 65	Axelsvarv	-	Ø800, L=3000 mm
WFL	WFL 65	Axelsvarv	-	Ø800, L=4500 mm
WFL	WFL 120	Axelsvarv	-	Ø1100, L=5000 mm
Unisign	U6:1	Karusellsvav	3	Ø1250
Unisign	U6:1	Karusellsvav	3	Ø1250
Unisign	U6:2	Karusellsvav	2	Ø1800
Unisign	U6:2	Karusellsvav	2	Ø1800
Unisign	U8	Karusellsvav	2	Ø2500
Unisign	U8	Karusellsvav	2	Ø2500
Unisign	U8XL	Karusellsvav	2	Ø4000

## 5.2 Materialflöde

Då en tillverkningsorder finns på körplanen, släpper operatören ett materialplock. Plocket skrivs ut på den lagerplatsen där artikeln ligger och en truckförare kör artikeln till in-slussen i Greenfield. Sedan tas artikeln antingen till blästring eller direkt in i den så kallade acklimatiseringsbufferten. Beroende på väder och utomhustemperatur måste artikeln, som hämtas från utomhuslagret, stå i acklimatiseringsbufferten i ca ett dygn för att temperaturspänningar i materialet ska släppa och för att den ska vara någorlunda torr.

Ämnet på tillverkningsordern, tas ut från acklimatiseringsbufferten och placeras i in-rutan vid den maskin där den ska bearbetas. Skulle det vara kvalitetsbrister i materialet eller att det blir fel i bearbetningen, tas beslut om detaljen ska försöka repareras eller om den ska skrotas. Då valet är att reparera, körs detaljen till svetsbåsen där den reparationssvetsas. I svetsbåsen utförs också produktionssvets på de detaljer som kräver en sådan operation.

Då en artikel är klar i en maskin plockas den ut, kontrollmäts, rostskyddas och plastas in. När detta är klart, avrapporteras tillverkningsordern och sätts i maskingruppens ut-ruta. Det får maximalt finnas ett jobb i ut-rutan. Artikeln flyttas sedan till ut-slussen och därifrån transporteras den antingen till måleriet, monteringen eller till färdigvarulagret.

## 5.3 Produktionsplanering

All tillverkning i Greenfield sker mot prognoser eftersom att kundorderpunkten, KOP, är placerad i monteringen. Därmed läggs allt som bearbetas på lager i väntan på att en kund lägger en order.

Affärssystemet som används på SRP Svedala heter Movex eller M3. Systemet genererar förslag på ordersläpp och tillverkningsorderstorlek utifrån följande parametrar:

- Minorderkvantitet
- Ordermultipel
- Orderkvantitet
- Täcktid

Minorderkvantitet är den absolut minsta kvantitet som av någon anledning måste köras. Ordermultipeln kan t.ex. baseras på antalet ämnen som ligger på en pall pga. inköpsorderstorleken. Orderkvantitet är den kvantitet som

tillverkas idag under förutsättning att inga manuella justeringar görs i systemet. Orderkvantiteten behöver inte vara lika med inköpsorderkvantiteten. Täcktiden, som tas fram genom ABC-klassificering, innebär att Movex tittar på behovet under täcktiden, och därefter genererar ett tillverkningsförslag med hänsyn till ordermultiplar och orderkvantiteter. Behovet styrs av prognos, kundorder och säkerhetslagernivå och uppdateras varje natt genom att en MRP körs.

Hanteringen av en tillverkningsorder innefattar följande moment för en produktionsplanerare:

- Registrering
- Frisläppning
- Materialallokering
- Materialklarering
- Omplanering
- Ändring
- Justering

## 5.4 Kvalitet

Eftersom att många av artiklarna, speciellt över- och underdelar, är stora och därmed svåra att gjuta, har de kvalitetsbrister i materialet redan då de kommer till Svedala. Dessa artiklar måste därför repareras innan de kan bearbetas och detta görs genom svetsning. Skulle kvalitetsbristerna inte upptäckas förrän detaljen har börjats köra eller att det av någon anledning blir en felkörning i maskinen, tillkallas en kvalitetsgrupp som avgör och tar beslut på om det är värt att reparera detaljen eller om den ska skrotas.



# Kapitel 6

## Beräkning

I detta avsnitt behandlas urvalet av modell samt modifiering och tillämpning av denna, antaganden som gjorts utifrån SRPs verksamhet, samt framtagande och validering av indata. Sist beskrivs kortfattat beräkningsverktyget som byggts upp.

### 6.1 Val av modell

Nedan beskrivs hur urvalet går till då författarna utifrån teorin bestämmer vilka modeller som är lämpliga att göra beräkningar på.

#### 6.1.1 Urval utifrån teorin

Utifrån teorin kan ett första urval av lämpliga modeller göras. *Enligt behov, bedömd orderkvantitet* och *bedömd behovstäckningstid* är modeller där orderkvantiteten bestäms utifrån erfarenhetsmässiga bedömningar och därför kan inga beräkningar göras på dessa. *EOQ utan att känna till ordersärkostnad* är överflödigt att räkna på då författarna väljer att utifrån data beräkna fram en ordersärkostnad som används i *EOQ*. Då lägsta totalkostnadsmodellen bygger på samma beräkningar som *Silver-Meals tumregel* och den senare modellen enligt teorin i allmänhet ger bättre resultat, väljer författarna att enbart gå vidare med denna.

Författarna väljer alltså att arbeta vidare med följande modeller:

- EOQ
- Ekonomisk behovstäckningstid
- Wagner-Whitin-metoden

- Silver-Meals tumregel
- Optimal orderkvantitet enligt Ståhl

### 6.1.2 Urval utifrån praktisk tillämpning

Ett andra urval görs genom att studera de ingående parametrarna i de kvarvarande modellerna och jämföra dessa med parametrarna som finns i dagsläget på SRP. *EOQ*, *Wagner-Whitin-metoden* och *Silver-Meals tumregel* har alla lagerhållningssärkostnaden som ingående parameter och denna antas enligt teorin vara konstant över tid. Lagerhållningssärkostnaden är i sin tur beroende av produktvärdet som i det studerade fallet är produktvärdet efter bearbetningen. Av SRP benämns detta produktvärde som standardpris, och beror av orderkvantiteten som körs i verksamheten idag. Då författarnas syfte är att optimera dessa orderkvantiteter medför det att dagens standardpris inte kan användas. För att kunna använda *EOQ* i en tillverkande verksamhet gäller det alltså att säkerställa att produktvärdet efter bearbetning inte är beroende av orderkvantiteten. En annan anledning till att befintliga standardpriser i företagets affärssystem inte kan användas är att de baseras på ställ- och stycktider i befintlig maskinpark samt dagens orderkvantiteter. Eftersom arbetet består i att bestämma optimala orderkvantiteter för en ny maskinpark som ännu inte är färdigställd, måste produktvärdet beräknas fram utifrån de nya förutsättningarna.

*Ekonomisk behovstäckningstid* bygger enligt teorin på att *EOQ* först räknas ut och sedan divideras med efterfrågan per år för att få fram en täcktid. Detta betyder att även denna modell kan förkastas.

För *Wagner-Whitin-metoden* gäller dessutom att behovet är känt under den närmaste tiden och att optimala orderkvantiteter beräknas genom att gå baklänges i tabellen, se avsnitt 4.8. På SRP Svedala uppdateras efterfrågeprognosen månadsvis och behovet ändras från månad till månad vilket gör det svårt att läsa tabellen över tid. Modellen som blir kvar att göra beräkningar på är:

- Optimal orderkvantitet enligt Ståhl

## 6.2 Modifiering av Ståhls modell

Optimal orderkvantitet enligt Ståhl, i avsnitt 4.11, förutsätter att en del av eller hela den tillverkade orderkvantiteten går direkt till kund. Detta innebär att modellen inte är användbar då hela den tillverkade orderkvantiteten läggs på lager. För att modellen ska bli tillämpbar även i situationer då företag

endast tillverkar mot lager och inget går till kund direkt, väljer författarna att skriva om ekvationerna 4.10 - 4.14 och införa två specialfall.

### 6.2.1 Modifierad ekvation

$$k_{N0}(N_{0M}, N_{0S}) = k_{su}(N_{0M}, N_{0S}) + k_{SH}(N_{0M}, N_{0S}) + k_{cap}(N_{0M}, N_{0S}) \quad (6.1)$$

I ekvationen ovan är  $N_{0S}$  den kvantitet som läggs på lager,  $N_{0M}$  den tillverkade orderkvantiteten och  $N_0$  den kvantitet som går direkt till kund. Relationen mellan variablerna ges av:

$$N_0 = N_{0M} - N_{0S} \quad (6.2)$$

De ingående termerna i ekvation 6.1 blir:

$$k_{su} = \frac{(k_{CS} + k_D) \cdot T_{su}}{60 \cdot N_{0M}} \quad (6.3)$$

$$k_{SH} = \frac{k_{SH0} \cdot \frac{MD}{N_{0M}} + k_{SH1} \cdot N_{0S}}{MD} \quad (6.4)$$

$$k_{cap} = k \cdot p \cdot \frac{N_{0S}}{2 \cdot MD} \quad (6.5)$$

### 6.2.2 Specialfall

För att kunna tillämpa ovanstående ekvationer, används de två specialfallen:

1. En del av eller hela tillverkningskvantiteten går direkt till kund.
2. Hela tillverkningskvantiteten läggs på lager.

I dessa fall gäller följande:

$$N_{0M} = \begin{cases} N_0 \cdot f_{N0} & \text{om fall 1} \\ N_{0M} & \text{om fall 2} \end{cases} \quad (6.6)$$

$$N_{0S} = \begin{cases} N_0 \cdot (f_{N0} - 1) & \text{om fall 1} \\ N_{0M} & \text{om fall 2} \end{cases} \quad (6.7)$$

### 6.3 Tillämpning av modifierad modell på SRP

Eftersom allt som tillverkas i Svedala läggs på lager, tillämpas fall 2 i ekvation 6.6 och 6.7, och den tillverkade kvantiteten  $N_0M$  blir lika med kvantiteten som läggs på lager  $N_0S$ . Detta ger att ekvation 6.1 kan skrivas som:

$$k_{N_0M, N_0S} = \left[ \frac{(k_{CS} + k_D) \cdot T_{su}}{60 \cdot N_0M} \right]_{k_{su}} + \left[ \frac{k_{SH0} \cdot \frac{MD}{N_0M} + k_{SH1} \cdot N_0M}{MD} \right]_{k_{SH}} + \left[ k \cdot p \cdot \frac{N_0M}{2 \cdot MD} \right]_{k_{cap}} \quad (6.8)$$

#### 6.3.1 Antaganden

Följande antaganden görs för SRP i Svedala:

- Det finns alltid operatörer lediga då en maskin behöver ställas om, vilket innebär att maskinen aldrig behöver vänta på personal.
- Rostskydd och inplastning hinns med under maskinbearbetningstiden och utgör således inget hinder för att en operatör ska vara tillgänglig då omställning av en maskin behöver göras.
- Vid svetsning är det en operatör som svetsar en detalj.
- I U6- respektive U8-maskinerna, hinner operatörerna alltid rigga en ny fixtur under tiden som maskinen går så att maskinen endast står still då paletterna växlas.
- Det antal detaljer som ligger på en pall antas vara det maximala antalet som får plats.
- Då maskinparken är helt ny och det görs inkörningar på alla artiklar i respektive maskin, görs antagandet att de stycktider, i teorin benämnt cykeltid, som tas fram är de stycktider operatörerna kommer att följa och därmed finns inga taktförluster,  $q_P = 0$ .
- Det antas också att störningar som leder till stillestånd och i sin tur längre produktionstid, inte förekommer. Detta antagande görs eftersom att maskinparken är helt ny och maskinerna antas fungera så bra som de bara kan,  $q_S = 0$ .
- Materialutnyttjandegraden är maximal och därmed förekommer inget materialspill,  $q_B = 0$ .

- Målet i Greenfield är att ha en beläggningsgrad på 85 % och därför sätts  $U_{RB} = 0,85$ .
- Råämne finns alltid tillgängligt i råvarulagret då det behövs i bearbetningen.
- Det finns alltid plats i in- och ut-rutorna för den orderkvantitet som beräknas fram.

### 6.3.2 Hanterings- och lagerkostnader

$k_{SH0}$  är den administrativa kostnaden för att hantera en order, dvs. ordersärkostnaden.  $k_{SH1}$  väljer författarna att dela upp i två delar,  $k_{SH1,A}$  som är kostnaden för en lagerplats, och  $k_{SH1,B}$  som är kostnaden för att transportera en pall. Eftersom att kostnaden för lager väljs per lagerplats och kostnaden för transport väljs per pall, måste  $N_{0M}$  divideras med antalet detaljer som finns på en pall,  $n_{pall}$ . Denna kvot avrundas till närmast högre heltal för att få ut antalet hela pallar som hanteras.

Termen för  $k_{SH}$  blir:

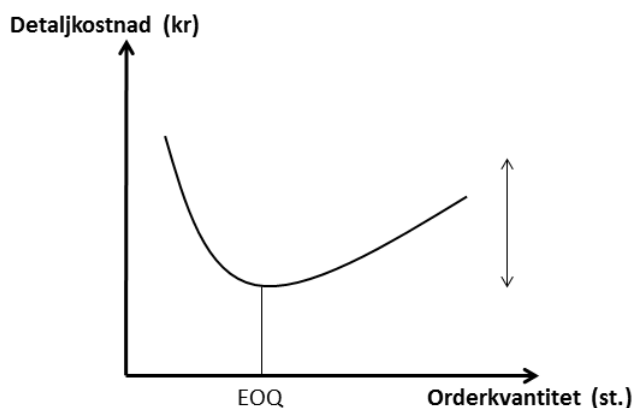
$$\left[ \frac{k_{SH0} \cdot \frac{MD}{N_{0M}} + (k_{SH1,A} \cdot \lceil \frac{N_{0M}}{n_{pall}} \rceil) + (k_{SH1,B} \cdot \lceil \frac{N_{0M}}{n_{pall}} \rceil \cdot \frac{MD}{N_{0M}})}{MD} \right]_{k_{SH}}$$

### 6.3.3 Tilläggs kostnad för PIA

Många av artiklarna som körs i Greenfield har ett högt produktvärde. Därför anser författarna att det är intressant att lägga till en term som tar hänsyn till kostnaden för bundet kapital för Produkter-I-Arbete (PIA). Den extra termen blir lika med antal år som en artikel finns i PIA, med avseende på bearbetningstiden, multiplicerat med medeldetaljkostnaden och internräntan enligt ekvation 6.9. Tiden, uttryckt i antal år, som en artikel finns i PIA blir  $N_{0M} \cdot t_0 / (365 \cdot 24 \cdot 60)$  då författarna väljer att räkna bearbetningstiden i minuter.

Det är enbart bearbetningstiden som är intressant eftersom tiden som artikeln ligger och väntar, enbart flyttar kurvan för optimal orderkvantitet, se figur 6.1, i vertikalled. Kostnaden för PIA är alltså inte kostnaden för den totala tiden som en artikel finns i PIA, utan endast kostnaden för den tid som är beroende av tillverkningsorderstorleken, dvs. bearbetningstiden  $N_{0M} \cdot t_0$ . Tiden i PIA är beroende av orderkvantiteten eftersom den första detaljen i en batch alltid måste vänta på att den sista ska bli klar, innan hela batchen kan lämna PIA. Tiden som en artikel ligger i exempelvis acklimatiseringsbufferten blir lika lång per artikel oavsett om den körs i batcher

eller inte. Detsamma gäller för ställtiden,  $T_{su}$ . En enskild artikel måste alltid vara ställtiden i PIA, oavsett i vilka batcher artikeln körs.



**Figur 6.1:** Grafen för optimal orderkvantitet.

Tilläggs termen för kostnader för bundet kapital i PIA blir:

$$k_{PIA} = \frac{N_{0M} \cdot t_0}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot (1 - qQ)} \cdot k_{medel} \cdot p \quad (6.9)$$

Medeldetaljkostnaden  $k_{medel}$  är lika med:

$$\frac{\text{ämneskostnad innan förädling} k_B + \text{detaljcostnad efter förädling} k}{2} \quad (6.10)$$

*Detaljcostnad efter förädling* är lika med detaljkostnaden  $k$  som beräknas i ekvation 6.13.

Med tilläggs termen för kapitalkostnad i PIA kan ekvationen för optimal orderkvantitet, ekvation 6.1, skrivas som:

$$k_{N_0}(N_{0M}) = k_{su}(N_{0M}) + k_{SH}(N_{0M}) + k_{cap}(N_{0M}) + k_{PIA}(N_{0M}) \quad (6.11)$$

#### 6.3.4 Tillämpning av kostnadsekvationen $k$

För att anpassa Ståhls kostnadsekvation, ekvation 4.15, till SRPs verksamhet i Greenfield görs vissa antaganden och tillägg till modellen. Författarna vill få med kostnader för produktionssvets och reparationssvets i detaljkostnadsmodellen och bygger därför på den med två extra termer. Beläggningsgraden för svets antas vara samma som för maskinerna. Dessa tilläggs termer tar hänsyn till maskin- och lönetimkostnader för svetsoperationerna. Eftersom att ställtid kopplat till svetsoperationerna inte förekommer, kommer tilläggs termerna att se ut enligt följande:

$$\begin{aligned}
& \left[ \frac{k_{CP,s}}{60} \cdot t_{ps} + \frac{k_{D,s}}{60} \cdot \left( 1 + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \right) \cdot t_{ps} \right]_{prodsvets} + \\
& + \left[ \frac{k_{CP,s}}{60} \cdot t_{rs} + \frac{k_{D,s}}{60} \cdot \left( 1 + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \right) \cdot t_{rs} \right]_{repsvets} \quad (6.12)
\end{aligned}$$

$k_{CP,s}$  och  $k_{D,s}$  är utrustningstimkostnaden respektive lönetimkostnaden vid svetsning. Den tid det tar för produktionssvets benäms som  $t_p$  och motsvarande tid för reparationssvets benäms som  $t_r$ .

Hela ekvationen för detaljkostnaden  $k$  efter tillägg och antaganden visas i ekvation 6.13. För enkelhetens skull byts termen  $N_{0M}$  ut mot  $Q$  och  $t_0$  byts ut mot  $t$ .

$$\begin{aligned}
k &= \frac{k_B}{Q} \left[ \frac{Q}{(1 - qQ)} \right]_b + \frac{k_{CP}}{60 \cdot Q} \left[ \frac{t \cdot Q}{(1 - qQ)} \right]_{c1} + \\
& + \frac{k_{CS}}{60 \cdot Q} \left[ T_{su} + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \cdot \left( \frac{t \cdot Q}{(1 - qQ)} + T_{su} \right) \right]_{c2} + \\
& + \frac{k_D}{60 \cdot Q} \left[ \left( 1 + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \right) \cdot \left( \frac{t \cdot Q}{(1 - qQ)} + T_{su} \right) \right]_d + \\
& + \left[ \frac{k_{CP,s}}{60} \cdot t_{ps} + \frac{k_{D,s}}{60} \cdot \left( 1 + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \right) \cdot t_{ps} \right]_{prodsvets} + \\
& + \left[ \frac{k_{CP,s}}{60} \cdot t_{rs} + \frac{k_{D,s}}{60} \cdot \left( 1 + \frac{1 - U_{RB}}{U_{RB}} \right) \cdot t_{rs} \right]_{repsvets} \quad (6.13)
\end{aligned}$$

### 6.3.5 Fullständig ekvation efter antaganden och tillägg

$N_{0M}$  byts även här ut mot  $Q$ . Den fullständiga ekvationen efter modifieringar och antaganden blir:

$$\begin{aligned}
 k_Q(Q) = & \left[ \frac{(k_{CS} + k_D) \cdot T_{su}}{60 \cdot Q} \right]_{k_{su}} + \\
 & + \left[ \frac{k_{SH0} \cdot \frac{MD}{Q} + (k_{SH1,A} \cdot \lceil \frac{Q}{n_{pall}} \rceil) + (k_{SH1,B} \cdot \lceil \frac{Q}{n_{pall}} \rceil \cdot \frac{MD}{Q})}{MD} \right]_{k_{SH}} + \\
 & + \left[ k \cdot p \cdot \frac{Q}{2 \cdot MD} \right]_{k_{cap}} + \left[ \frac{Q \cdot t_0}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot (1 - q_Q)} \cdot \frac{k_B + k}{2} \cdot p \right]_{k_{PIA}} \quad (6.14)
 \end{aligned}$$

$k_Q$  är lika med detaljkostnaden med avseende på de parametrar som är beroende av orderkvantiteten och  $k$  är lika med  $k$  i ekvation 6.13. För varje artikel beräknas detaljkostnaden, för de kostnader som är beroende av orderkvantiteten, som funktion av orderkvantiteten enligt ekvation 6.14. Beräkningar görs för kvantiteter från 1 till 100. Den minsta kostnaden med tillhörande kvantitet,  $Q$ , letas sedan upp.

Observera att optimalt  $Q$  är det antal fullständiga detaljer som fås ut efter bearbetning. Har någon artikel en hög kassationsandel, måste fler än  $Q$  ämnen tas in i bearbetningen för att få ut  $Q$  stycken. Kostnaden för de extra ämnena är dock redan inkluderad enligt ekvation 6.13.

## 6.4 Indata till beräkning

Indata till beräkningarna är hämtade från produktionsteknik, IT-avdelningen, controller, och planeringsavdelningen och det som används i beräkningarna är:

För varje artikel:

- Efterfrågan per år
- Ställ- och stycktid i svarv
- Stycktid i produktions- och reparationssvets
- Standardpris för ämne innan bearbetningen
- Antal detaljer per pall



Övriga:

- Maskintimkostnad vid drift (för bearbetningsmaskin respektive svets)
- Maskintimkostnad vid stillestånd
- Lönekostnad
- Internränta
- Kostnad för ordersläpp
- Kassationsandel
- Truckkostnad per pall
- Lagerkostnad per pall

#### 6.4.1 Efterfrågan per år

Det årsbehov, baserat på prognos, som finns i Movex anger det behov som behöver tillverkas under året, alltså tillverkningsårsbehovet. Behovet anger både det antal som går till krossmontage och det som går till reservdelar. Movex tar hänsyn till hur mycket som finns på lager och därmed avspeglar årsbehovet inte det verkliga bruttobehovet ut till kund.

För varje artikel plockas årsbehov, lagersaldo och säkerhetslager från systemet. Sedan beräknas bruttoefterfrågan som summan av tillverkningsårsbehov och lagersaldot minus säkerhetslager. Efterfrågan är beräknad på en prognos över 10 månader och sedan uppskalad för att få årsbehovet. Detta medför att efterfrågan inte måste bli ett heltal.

För att kontrollera rimligheten i datan, görs en jämförelse mot antal krossar som är prognostiserat kommande år. I fall att bruttobehovet, för en artikel där det behövs en per kross, visar sig vara mindre än antalet krossar är siffrorna ogiltiga. Detta sker endast för artiklar som tillhör en krossmodell som ännu inte är tagen i bruk och därmed inte inplanerad i affärssystemet än. Här görs antagandet att efterfrågan motsvarar behovet till krossmontage och att inga reservdelar behövs. För övriga artiklar visar sig bruttobehovet vara större än antalet krossar som ska tillverkas. I de fall där bruttobehovet är långt mycket större än krossbehovet görs en avstämning med reservdelsplaneraren, för att säkerställa att reservdelsbehovet är rimligt.

#### 6.4.2 Ställ- och stycktid i svarv

Ställ- och stycktider för varje artikel tas fram av produktionsteknik allt eftersom artiklarna blir inkörda i den nya maskinparken. Då nya detaljer blir

inkörda varje vecka, väljer författarna att vänta så länge som möjligt med att samla in data på dessa tider. Inkörningen av samtliga artiklar kommer inte vara klar då denna rapport färdigställs. Till de artiklar där inkörning inte har gjorts används ställ- och stycktider som utgår från tider i befintlig verksamhet med en uppskattad reduktion av tiden. I befintlig produktion kan en artikel bearbetas i flera maskiner. Den uppskattade stycktiden blir därmed summan av stycktiderna från de olika bearbetningsmaskinerna som en artikel går igenom, multiplicerat med en artikelspecifik förbättringsfaktor. Detsamma gäller för den uppskattade ställtiden. Samma förbättringsfaktor används i de båda fallen, och är framtagna i Greenfield-projektet. Vid beräkning av optimal orderkvantitet används endast den inre ställtiden, alltså tiden då en maskin måste stå still. För Unisign-maskinerna innebär det att ställtiden utgörs av palettväxling och byte av programkod. Ställtiderna som tas fram av produktionsteknik för dessa maskiner kan vara längre eftersom de även avser den yttre ställtiden. I beräkningarna sätts därför en generell ställtid för Unisign-maskinerna som endast speglar inre ställtid.

### 6.4.3 Stycktid i produktions- och reparationssvets

Data på de artiklar som produktionssvetsas respektive reparationssvetsas samt operationstider på dessa fås ur affärssystemet. För reparationssvets gäller att tiden som fås ur systemet är en genomsnittstid per artikel. Den totala tiden för de artiklar som repareras är utfördelad på årets samtliga artiklar. T.ex. om 25 % av en artikeltyp går till reparation och det tar ca 4 timmar att svetsa varje artikel som ska repareras, betyder det att det i genomsnitt tar 1 timme att svetsa varje detalj av den här artikeln.

### 6.4.4 Standardpris för ämne innan bearbetningen

Materialpriset per ämne beror av inköpsorderkvantiteten. Efter påslag för frakt och inköpsplanering erhålls ett standardpris. Om tillverkningsorderkvantiteterna ändras kan det vara aktuellt att justera inköpsorderkvantiteterna, som därmed påverkar standardpriset. Vid beräkningarna används dock befintliga standardpriser för de olika ämnena, som därmed är baserade på dagens inköpskvantiteter. Materialpriset i beräkningarna betraktas alltså som konstant och oberoende av tillverkningsorderkvantiteten.

### 6.4.5 Antal detaljer per pall

Antal detaljer per pall ska ange det maximala antalet som fysiskt får plats på en lastpall. Data som är inhämtad om detta anger dock det antal detaljer

som ligger per pall i dagsläget och kan, men behöver inte vara det maximala antalet. En del artiklar ligger inte på pallar, utan är fristaplade. Dessa betraktas dock likvärdiga med en lastpall i beräkningarna. I beräkningarna görs antagandet att inhämtad data avser det maximala antalet detaljer som får plats per pall.

#### **6.4.6 Maskintimkostnad vid drift**

Maskintimkostnad vid drift beräknas i kronor per timme och är lika stor för alla maskinerna. I maskintimkostnaden ingår kostnad för underhåll och reparation, verktyg och skär, andra förbrukningsmaterial, avskrivningar för maskinerna, gemensamma avdelningskostnader samt gemensamma produktionskostnader. Maskintimkostnaden är beräknad på tillverkning under två skift. Timkostnaden för svets, exklusive lön, tas fram på samma sätt som maskintimkostnaden förutom att avskrivningar exkluderas.

#### **6.4.7 Maskintimkostnad vid stillestånd**

Maskintimkostnaden vid stillestånd beräknas som maskintimkostnaden vid drift subtraherat med de kostnader som endast finns vid drift. Dessa kostnader är kostnader för verktyg och skär, andra förbrukningsmaterial och kostnader för energi.

#### **6.4.8 Lönekostnad**

Lönekostnaden avser det antal kronor per timme som det kostar företaget att ha en person instämplad under en timme och tas fram i samrådan med controller.

#### **6.4.9 Internränta**

Sandvik ABs internränta används sällan inom SRP, förutom vid beräkningar av investeringar. Internräntan kommer att användas för att beräkna kapitalkostnader av bundet kapital i lager och produkter i arbete.

#### **6.4.10 Kostnad för ordersläpp**

För att få fram planeringstiden för en tillverkningsorder tillfrågas en produktionsplanerare och denne ombeds att uppskatta tiden som i genomsnitt

läggs på en tillverkningsorder. Planeringstiden tillsammans med timkostnaden för en produktionsplanerare används för att beräkna vad det kostar att släppa en order. Timkostnaden för en produktionsplanerare är kostnaden för att ha denne anställd på företaget, dvs. kostnader för lön, sociala avgifter, semester etc.

#### 6.4.11 Kassationsandel

Kassationsandelen tas fram genom att historiskt kontrollera hur många detaljer som tillverkats och hur många av dessa som har kasserats. Dock har data på antal kasserade detaljer inte funnits att tillgå. Eftersom att många av detaljerna som går sönder repareras istället för att kastas, väljer författarna att sätta kassationsandelen lika med noll.

#### 6.4.12 Truckkostnad per pall

Kostnaden för att hantera en pall beräknas utifrån totala årskostnaden för truckar, inklusive avskrivningar/hyra, drivmedel och löner, som är kopplad till Greenfield dividerat med antalet pallar som hanteras under ett år.

#### 6.4.13 Lagerkostnad per pall

Lagerkostnaden per pall beräknas som totala årskostnaden för lager dividerat med antalet pallar som hanteras årsvis.

### 6.5 Beräkningsverktyg

För att kunna genomföra beräkningar för samtliga artiklar byggs ett beräkningsverktyg upp i Excel. Verktöget innehåller en flik där generella indata som gäller alla artiklar matas in. Sedan finns en flik där indata kopplad till respektive artikel matas in.

För att få fram den optimala orderkvantiteten för respektive artikel beräknas detaljkostnaden enligt ekvationen i avsnitt 6.3 för orderkvantiteter från 1 till 100. Den lägsta kostnaden med tillhörande orderkvantitet letas automatiskt upp. För denna kvantitet går det sedan att utläsa intressanta data som t.ex. hur stora de olika kostnadsparametrarna är. Samtliga tabeller och grafer som visas i kapitel 7 är hämtade från beräkningsverktyget. I fall ny indata matas in räknas nya orderkvantiteter ut och tabellerna och graferna uppdateras automatiskt.

Genom att justera de olika indataparametrarna kan känslighetsanalyser göras. T.ex. kan optimala orderkvantiteter vid olika årsbehov tas fram. Känslighetsanalyser av detta slag rymds dock inte inom ramen för detta arbete.



# Kapitel 7

## Resultat och analys

Beräkningsmodellen används för att beräkna kostnader och tider för olika orderkvantiteter. Detta görs för varje artikel och sedan görs summeringar årsvis. I avsnittet presenteras resultat och analys av orderkvantiteter, kostnader och tider för de tre fallen:

1. Optimala orderkvantiteter.
2. Dagens orderkvantiteter.
3. Optimala orderkvantiteter med batchtidsbegränsning.

För fall 1 beräknas orderkvantiteterna enligt metoden som beskrivits tidigare i kapitel 6.

Gällande fall 2 så läggs dagens orderkvantiteter in i beräkningsmodellen och resultatet tas ut. Observera att dagens orderkvantiteter inte är vid tillverkning i befintlig maskinpark, utan avser tillverkning i den nya maskinparken men med befintliga orderkvantiteter.

I fall 3 används de optimala orderkvantiteterna som i fall 1, men en modifiering görs för de artiklar där batchtiden anses för lång. Med batchtid avses ställtid och summan av stycktiderna för bearbetningsmaskinerna. Tid för produktionssvets i fall det förekommer är inte inkluderat. En allt för lång batchtid innebär att den planeringsmässiga flexibiliteten hämmas. I samråd med en produktionsplanerare bestäms den tillåtna batchtiden till maximalt 27,2 timmar, vilket motsvarar två dagars produktion med tvåskift och en beläggning på 85 %. För de artiklar där batchtiden överstiger 27,2 timmar väljs istället den största möjliga orderkvantiteten så att batchtiden kan hållas under önskad maxtid. Detta innebär å andra sidan att en avvikelse från den lägsta kostnaden måste göras.

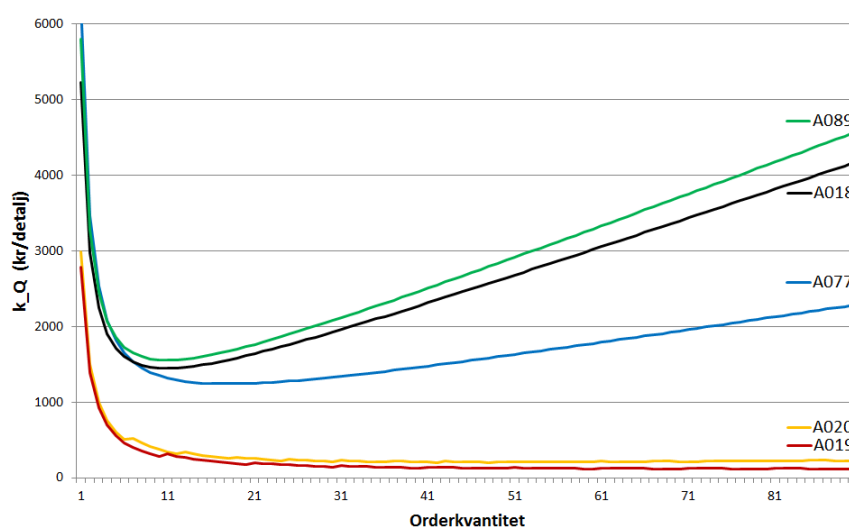
Då beräkningar görs för 140 artiklar, presenteras endast ett urval av dessa för varje fall. Fullständiga resultat för de tre fallen återfinns i bilaga B - G.

Till sist görs en jämförelse mellan fall 3 och antal per pall, för att kunna rekommendera lämpliga orderkvantiteter utifrån praktiska aspekter.

## 7.1 Orderkvantiteter

### 7.1.1 Resultat

Optimala orderkvantiteterna (fall 1) räknas fram enligt beräkningsgången i kapitel 6. Figur 7.1 visar fem av de studerade artiklarna och hur deras respektive kostnadskurva ser ut. Observera att kostnaden endast är detaljkostnaden med avseende på de parametrar som är beroende av orderkvantiteten. Optimal orderkvantitet för de fem artiklarna är, från översta till understa kurvan, 11, 11, 18, 48 respektive 80. Detta innebär att även de två understa kurvorna har en minpunkt, om än inte lika tydlig som för de andra artiklarna.



**Figur 7.1:** Detaljkostnadskurva för fem av de studerade artiklarna med optimala orderkvantiteter.

De optimala orderkvantiteterna visas för ovanstående fem artiklar i tabell 7.1. Här visas också antal omställningar som given årsefterfråga resulterar i. Lika stora orderkvantiteter för två olika artiklar behöver inte innebära att de ställs om lika många gånger då de kan ha olika årsefterfrågan. Motsvarande resultat för optimala orderkvantiteter med batchtidsbegränsning (fall



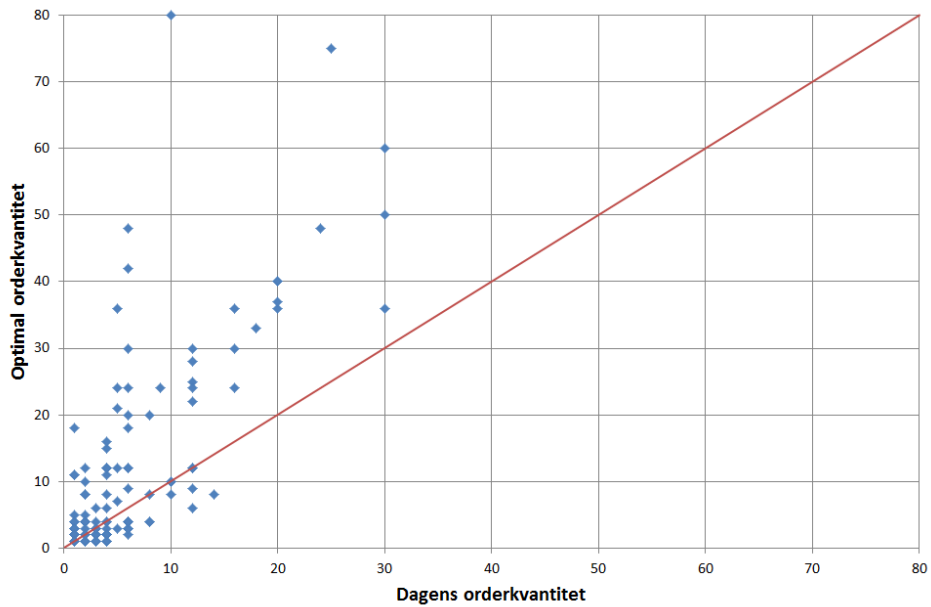
3) visas också. Som jämförelse presenteras även dagens orderkvantiteter (fall 2). Resultatet för alla artiklar återfinns i bilaga B.

**Tabell 7.1:** Orderkvantiteter (Q) och antal omställningar (Omst.) för respektive fall.

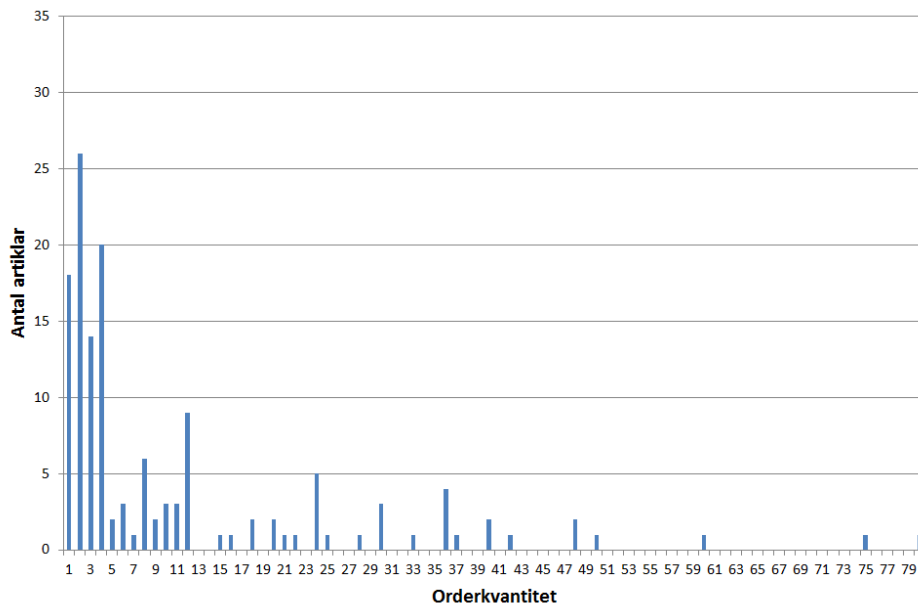
Artikelnr.	Optimala		Dagens		Max. batchtid	
	Q	Omst.	Q	Omst.	Q	Omst.
A077	18	4,2	1	76,3	4	19,1
A018	11	6,2	1	68,6	9	7,6
A020	48	8,5	6	68,2	18	22,7
A089	11	2,6	1	28,9	5	5,8
A019	80	8,3	10	66,1	30	22,0

I figur 7.2 är dagens orderkvantitet och optimal orderkvantitet för respektive artikel markerad som en punkt. Är punkten placerad på den lutande linjen innebär det att dagens orderkvantitet överensstämmer med den optimala orderkvantiteten. Detta är fallet för 19 av artiklarna. För 81 av artiklarna är den optimala orderkvantiteten större än dagens. Dessa befinner sig över den röda linjen i den övre triangeln. För dessa innebär det en ökning med mellan 1 och 70 stycken per batch. Grafiskt kan ökningen ses som det horisontella avståndet från en punkt till den röda linjen. För 68 av artiklarna innebär den optimala kvantiteten en fördubbling eller mer mot dagens. Dessa artiklar har idag en orderkvantitet som varierar mellan 1 och 30 stycken. För 40 artiklar motsvarar optimala orderkvantiteten en sänkning av dagens med mellan 1 och 6 stycken. Dessa återfinns i den nedre triangeln under den röda linjen.

I figur 7.3 visas antalet artiklar vid olika orderkvantiteter. Staplarna motsvarar fallet med optimala orderkvantiteter. För jämförelse visas motsvarande diagram för dagens orderkvantiteter i figur 7.4. Generellt sett är orderkvantiteten liten vilket ses av att staplarna är koncentrerade till vänster. För dagens orderkvantiteter ligger 117 av de 140 artiklarna i intervallet 1 - 10. I det optimala fallet ligger 95 av artiklarna i samma intervall. De tre vanligaste orderkvantiteterna idag är 1 (31 artiklar), 4 (21 artiklar) och 6 (19 artiklar). I optimalfallet är de tre vanligaste 2 (26 artiklar), 4 (20 artiklar) och 1 (18 artiklar). Den största orderkvantiteten idag är 30 stycken (för tre artiklar), medan den i optimalfallet är 80 stycken (för en artikel). I det optimala fallet förekommer således större batcher än idag och 15 artiklar har en orderkvantitet som överstiger 30 stycken.



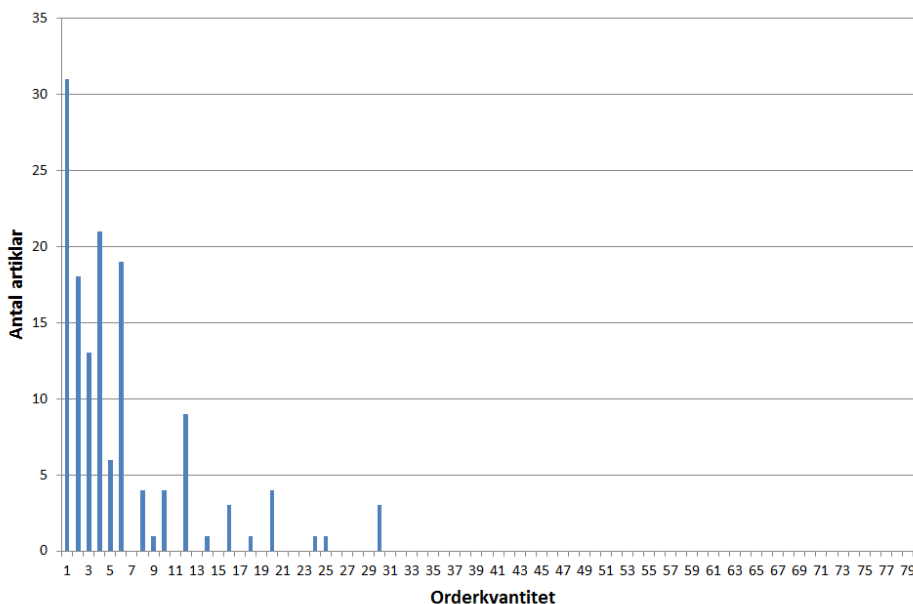
**Figur 7.2:** Respektive artikels nuvarande och optimala orderkvantitet. En punkt kan representera flera artiklar om det är så att dessa har lika stor orderkvantitet.



**Figur 7.3:** Antal artiklar för varje orderkvantitet i optimalfallet.

### 7.1.2 Analys

Av de studerade 140 artiklarna är dagens orderkvantiteter större än den optimala för 29 % av dem. Omvänt är dagens orderkvantiteter mindre än den



**Figur 7.4:** Antal artiklar för varje orderkvantitet då tillverkning sker enligt dagens orderkvantiteter.

optimala för 58 % av dem. En trolig anledning till detta kan vara att SRP vill hålla PIA och lagernivåerna låga och därför har mindre orderkvantiteter. En annan orsak kan vara att hålla batchtiden kort för att göra produktionsplaneringen mer flexibel. Generellt sett behöver dagens orderkvantiteter göras större för att närma sig optimala kvantiteter utifrån de parametrar som beräkningarna tar hänsyn till. Detta innebär att lagernivåerna kommer att öka. Detta synsätt kan möta motstånd, men utifrån givna antaganden är det mer ekonomiskt ur ett helhetsperspektiv. Det är viktigt att poängtera att ifall antagandet om en beläggningsgrad på 85 %, se avsnitt 6.3.1, inte gäller behöver orderkvantiteterna inte göras fullt så stora. Om fri kapacitet uppstår kan tiden användas till att ställa om fler gånger. För de artiklar där dagens orderkvantitet överensstämmer med den optimala framgår att orderkvantiteten för merparten inte överstiger 4 och att den största är 12. Gemensamt för dessa är alltså små batcher.

## 7.2 Kostnader

### 7.2.1 Resultat

Tabell 7.2 visar årskostnaderna per artikel i optimala fallet, för ett utdrag av artiklar. Fullständigt resultat för samtliga 140 artiklar återfinns i bilaga C.1. Kostnader för fall 2 och 3 visas i bilaga D.1 och E.1. Beteckningarna för de olika kostnaderna är:

- $k_{su}$ , omställningskostnad.
- $k_{SH}$ , hanterings- och lagerkostnad.
- $k_{cap}$ , kostnad för bundet kapital i lagret efter bearbetningen.
- $k_{PIA}$ , kostnad för bundet kapital i PIA.
- $k_Q$ , total årskostnad med hänsyn till de kostnader som påverkas av orderkvantiteten.

**Tabell 7.2:** Kostnader för optimala orderkvantiteter per år.

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A077	23039	57428	13442	713	94622
A018	27347	49007	22230	803	99387
A020	18632	47394	15466	1532	83024
A089	12981	24465	7296	126	44869
A019	16340	46138	13145	1187	76810

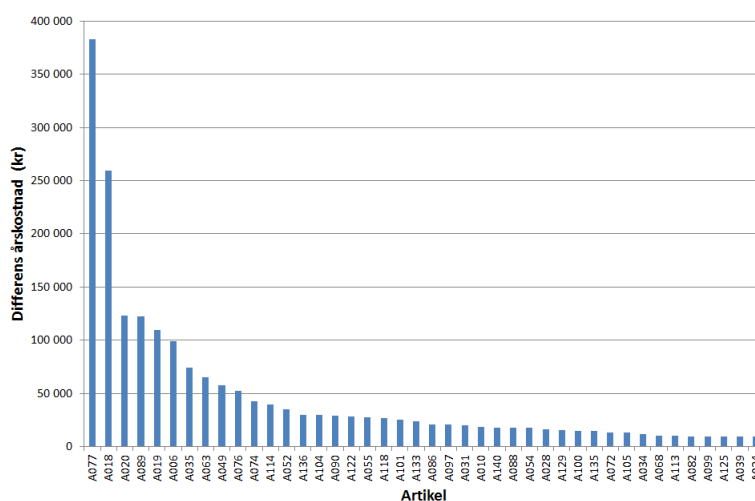
**Tabell 7.3:** Jämförelse av totala kostnader för de tre fallen. De röda (ökning) och gröna (minskning) siffrorna anger skillnaden mot optimala orderkvantiteter. Procentsiffran anger förändringen. 200 % innebär alltså tre gånger mer.

	kr/år	kr/år	kr/år	kr/år	kr/år
	Omställnings-kostnad	Hanterings- och lagerkostnad	Kostnad för bundet kapital i lager	Kostnad för bundet kapital i PIA	Årskostnad m.a.p. parametrar som är beroende av orderkvantiteten
<b>OPTIMALA</b>	947 124	3 008 283	1 028 583	47 863	5 031 853
<b>DAGENS ORDER-KVANTITETER</b>	3 267 934	3 144 764	783 748	34 149	7 230 595
	2 320 810	136 481	-244 836	-13 714	2 198 742
	245%	5%	-24%	-29%	44%
<b>OPTIMALA MED TIDSBEGRENSNING</b>	1 878 827	3 042 065	759 102	33 538	5 713 531
	931 703	33 782	-269 481	-14 325	681 679
	98%	1%	-26%	-30%	14%

I tabell 7.3 visas totala årskostnaden, för de tre olika fallen, för de parametrar som är beroende av orderkvantiteten. Att tillverka enligt dagens orderkvantiteter innebär en förhöjd totalkostnad med 44 % eller 2 199 tkr

jämfört med optimala. Att tillverka enligt optimala orderkvantiteter innebär således en kostnadsminskning med 30 %. Då restriktionen med en maximalt tillåten batchtid läggs på, dvs. fall 3, medför det en ökning av totala årskostnaden med 14 % eller 682 tkr jämfört med optimala. Detta innebär en minskning av kostnaderna med 21 % eller 1 517 tkr jämfört med dagens orderkvantiteter.

Figur 7.5 visar artikelvis hur mycket mer det skulle kosta per år att tillverka enligt dagens orderkvantiteter, än att tillverka i optimala kvantiteter. Diagrammet visar 42 av de 140 studerade artiklarna som har högst differens. Dessa står tillsammans för 90 % av den totala kostnadsdifferensen på 2 199 tkr. Således står övriga 98 artiklar för endast en tiondel av kostnadsdifferensen.



**Figur 7.5:** Differens i årskostnad mellan dagens och optimal orderkvantitet för respektive artikel. I diagrammet visas de artiklar som tillsammans står för 90 % av totala kostnadsdifferensen.

### 7.2.2 Analys

I avsnitt 6.3.3 diskuterades att det kunde vara av vikt att lägga till kostnadstermen för bundet kapital i PIA. Detta eftersom många av artiklarna har ett högt produktvärde. Det visar sig nu i optimalfallet att termen för bundet kapital i PIA endast utgör en liten andel av den totala kostnaden  $k_Q$ , se bilaga C.1.  $k_{PIA}$  utgör endast mellan 0,03 % och 3,3 % av respektive artikels totala kostnad. För 105 av de 140 studerade artiklarna utgör  $k_{PIA}$  mindre än 1 % och denna term ger så pass litet bidrag till hela kostnaden att den egentligen kunde försummas.

För varje artikel i optimalfallet står omställningskostnaden  $k_{su}$  för 4 - 46 % av  $k_Q$ , hanterings- och lagerkostnaden  $k_{SH}$  för 17 - 91 % och kostnaden för bundet kapital i lager  $k_{cap}$  för 5 - 48 %. Det syns tydligt att hanterings- och lagerkostnaden utgör den största andelen. Detta kan förklaras av att hanteringskostnaden till stor del består av truckkostnader och inkluderar alla pallar som måste hanteras. Mer rättvist hade varit att använda differensen mellan det minsta antalet pallar som måste hanteras och det antal som verkligen hanteras. Det är endast denna differens som är beroende av orderkvantiteten. Att hanteringskostnaden utgör den största andelen kan även bekräftas genom att studera de totala kostnaderna för de 140 artiklarna i tabell 7.3. Omställningskostnaden utgör här 19 % av totala årskostnaden, hanterings- och lagerkostnaden står för 60 %, kostnaden för bundet kapital i lager står för 20 % och kostnaden för bundet kapital i PIA står för endast 1 %.

I figur 7.3 ses att för optimalfallet blir kostnaderna för bundet kapital i lager och i PIA högre än om tillverkning sker enligt dagens orderkvantiteter. Dessa förhöjda kostnader hämtas dock in på omställnings- samt hanterings- och lagerkostnad, där framförallt omställningskostnaden är en stor post. Tillverkning enligt dagens orderkvantiteter skulle innebära tre och en halv gånger högre omställningskostnad än i optimalfallet.

Tidsbegränsningen med maximal produktionstid per batch gör att omställningskostnaden blir dubbelt så stor jämfört med optimalfallet. Genom att göra fler omställningar som genererar denna kostnad kan högre flexibilitet fås i produktionen.

Mindre orderkvantiteter resulterar i lägre medellagernivå vilket gör att kostnaden för bundet kapital i lager minskar. Detta syns tydligt i tabell 7.3, där både fall 2 och 3 har en lägre kostnad för bundet kapital i lager jämfört med fall 1. Samtidigt resulterar mindre orderkvantiteter i fler omställningar som därmed gör att fall 2 och 3 har högre omställningskostnader.

Det är endast ett fåtal artiklar som står för den största delen av den möjliga kostnadsminskningen om tillverkning sker i optimala orderkvantiteter jämfört med användande av dagens orderkvantiteter. Detta kan bero på att artiklarna har en hög efterfrågan och/eller att orderkvantiteten avviker stort från optimal kvantitet. Eftersom ca 100 artiklar endast står för en tiondel av årskostnaden bör fokus inte i första hand läggas på dem. Till att börja med bör företaget utreda om orderkvantiteterna för de artiklar som står för en stor andel av kostnadsdifferensen kan justeras. Genom insatser på få artiklar kan större delen av förbättringen fås. Artikel A077 står för 17 % av totala kostnadsdifferensen, vilket motsvarar 383 tkr per år.

## 7.3 Ställ- och batchtider

### 7.3.1 Resultat

Tabell 7.4 visar ställtiden, produktionstiden för en batch samt ställtidsandelen, dvs. ställtid i förhållande till total batchtid. Resultatet för alla artiklarna finns i bilaga C.2. Ställtidsandelen per artikel varierar från 0,4 % som minst till 19 % som mest. 117 stycken av totalt 140 artiklar har dock en ställtidsandel som ligger under 5 %. I bilaga D.2 och E.2 visas även tiderna och ställtidsandelarna för fall 2 och 3. I tabell 7.5 har summering av tiderna för alla artiklar, i de tre fallen, gjorts.

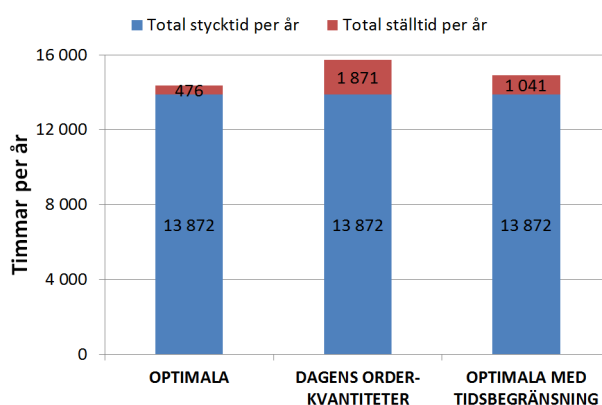
**Tabell 7.4:** Ställ- och batchtid för optimala orderkvantiteter.

Artikelnr.	Ställtid (h)	Batchtid (h)	Ställtidsandel
A077	3,3	90,6	4 %
A018	2,7	30,1	9 %
A020	1,3	68,9	2 %
A089	3,0	48,1	6 %
A019	1,2	68,4	2 %

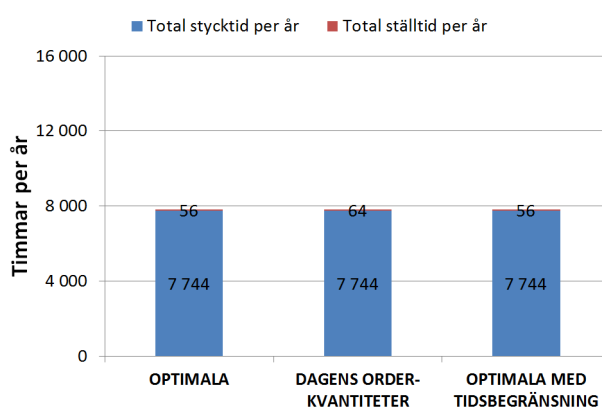
**Tabell 7.5:** Jämförelse av ställ- och batchtider för de tre fallen. De röda siffrorna anger ökningen mot optimala orderkvantiteter. Procentsiffran anger förändringen. 200 % innebär alltså tre gånger mer.

	h/år	h/år	h/år
	Total ställtid per år	Total stycktid per år	Total produktionstid per år
<b>OPTIMALA</b>	573	27 289	27 861
<b>DAGENS ORDER-KVANTITETER</b>	1 981	27 289	29 270
	1 409	0	1 409
	246% ▲	0%	5%
<b>OPTIMALA MED TIDSBEGRÄNSNING</b>	1 138	27 289	28 427
	566	0	566
	99% ▲	0%	2%

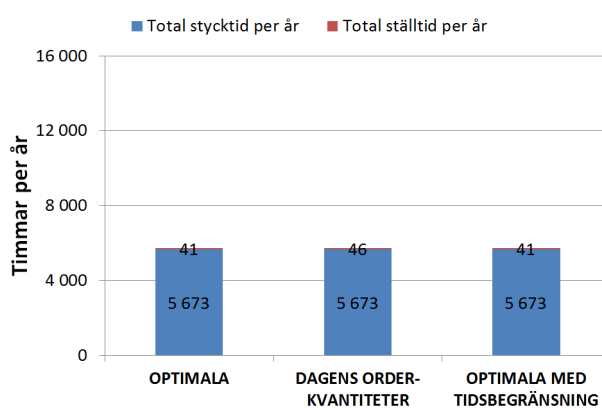
Hur total ställtid och stycktid per år fördelar sig i de tre olika fallen visas i figur 7.6 - 7.8. Varje figur representerar var och en de tre maskingrupperna WFL, U6 och U8. Det framgår tydligt att ställtidsandelen i U-maskinerna är väldigt liten. I de tre fallen utgör den endast 1 %. För WFL-maskinerna utgör ställtiden 3 % i fall 1, 12 % i fall 2 och 7 % i fall 3.



Figur 7.6: Ställ- och stycktid för WFL-maskinerna.



Figur 7.7: Ställ- och stycktid för U6-maskinerna.



Figur 7.8: Ställ- och stycktid för U8-maskinerna.

### 7.3.2 Analys

Som ses i tabell 7.5 och figur 7.6 - 7.8 är den totala stycktiden för de tre fallen opåverkad. Detta är inte så konstigt eftersom alla artiklar ska bear-



betas, oavsett om de bearbetas i batcher eller inte. Ställtiden å andra sidan blir längre då tillverkning sker i dagens orderkvantiteter eller i optimala med batchtidsbegränsning, jämfört med optimalfallet. Vid tillverkning enligt dagens orderkvantiteter blir totala ställtiden per år tre och en halv gånger längre jämfört med vid optimala orderkvantiteter. Vid optimala kvantiteter med batchtidsbegränsning blir totala ställtiden dubbelt så lång. Längre total ställtid är en följd av generellt sett mindre orderkvantiteter.

Anledningen till att vissa artiklar i fall 1 har en ställtidsandel som är minimal är att dessa körs i någon av U-maskinerna där ställtiden bara är fem minuter och bearbetningstiden för en detalj kan vara upp mot tio timmar.

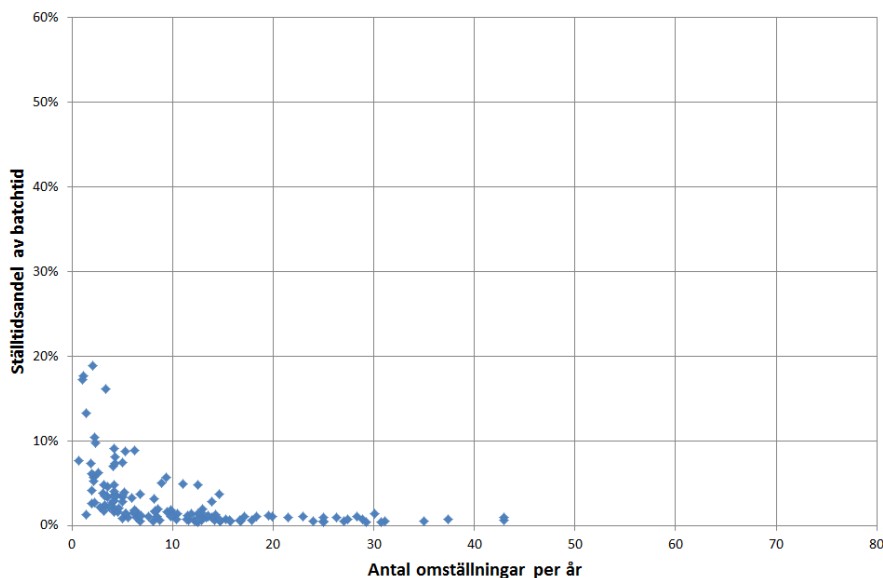
## 7.4 Ställtidsandel och omställningar

För varje artikel studeras sambandet mellan ställtidsandel och hur frekvent omställning sker för att se hur de förhåller sig till varandra.

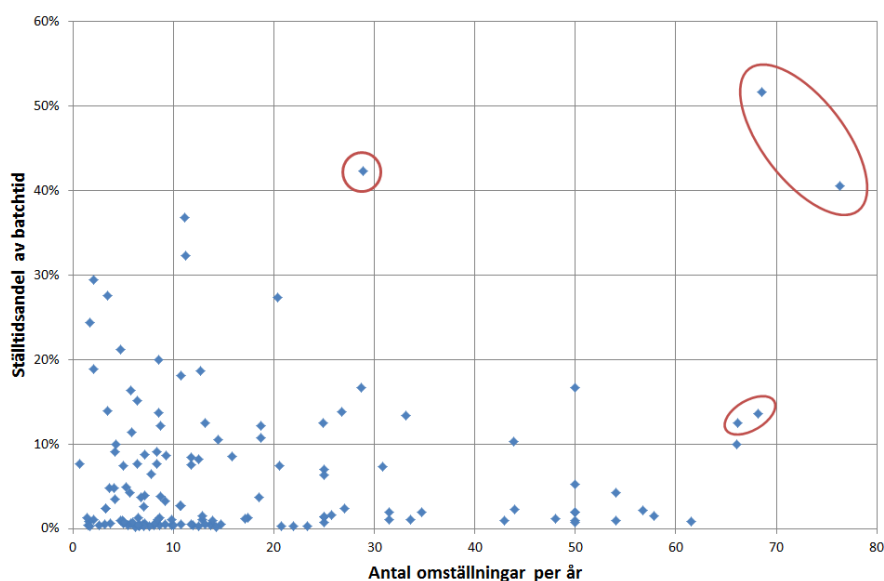
### 7.4.1 Resultat

I figur 7.9 -7.10 representerar varje punkt en artikel. Punkten visar ställtidsandelen av batchtiden och antal omställningar per år. I diagrammet med dagens orderkvantiteter syns tydligt att det finns en större spridning än i det som motsvarar optimala kvantiteter.

Punkter (artiklar) som befinner sig åt höger och upptill i spridningsdiagrammen representerar många omställningar per år och en hög ställtidsandel. I jämförelsen mellan optimala och dagens kvantiteter visar det sig att i det sistnämnda fallet finns fler artiklar som har dessa tendenser. Till exempel har artikel A077 76 omställningar per år och en ställtidsandel på 40 % i figur 7.10. Ett annat exempel är artikel A018 som har 69 omställningar och en ställtidsandel på 52 %. I optimalfallet, figur 7.9 har orderkvantiteterna för dessa gjorts större vilket resulterade i 4 respektive 6 omställningar och 4 % respektive 9 % ställtidsandelar.



Figur 7.9: Optimala orderkvantiteter.



Figur 7.10: Dagens orderkvantiteter.

### 7.4.2 Analys

Att punkterna är mer samlade kring nedre vänstra hörnet i optimalfallet följer av generellt sett större batcher. Detta medför färre omställningar per år samt att ställtidsandelen blir lägre. För de artiklar där antalet omställningar är störst är motsvarande ställtidsandel låg. Omvänt gäller för artiklar med högre ställtidsandel att antalet omställningar är färre. Detta förekommer i mindre utsträckning i fallet med dagens orderkvantiteter.

Det visar sig att de artiklar som har störst spridning och som är inringade i figur 7.10, faktiskt är de artiklar som i avsnitt 7.2 ger den största kostnadsbesparingen om deras orderkvantitet ändras till optimal.

Med ett spridningsdiagram över ställtidsandel och antal omställningar per år för dagens orderkvantiteter fås en överblick över alla artiklar. Om diagrammet liknar figur 7.9, dvs. att punkterna ligger samlade i närheten av koordinataxlarna, tyder det på att orderkvantiteterna är någorlunda rimliga. Om det däremot finns artiklar som ligger långt från axlarna, är det dessa artiklar som bör ses över.

## 7.5 Orderkvantitet och antal per pall

En jämförelse mellan optimal orderkvantitet med batchtidsbegränsning och antal detaljer per pall görs för att kunna rekommendera lämpliga orderkvan-

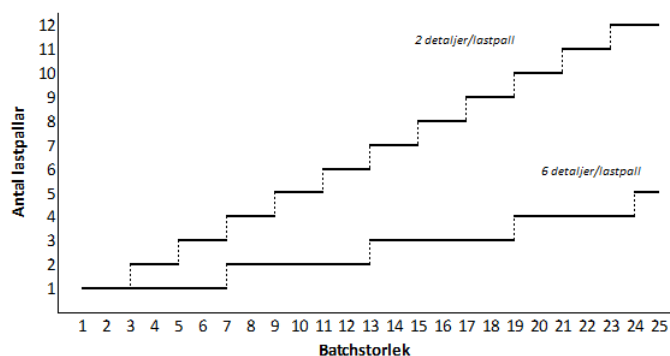
titeter utifrån praktiska aspekter.

I tabell 7.6 visas orderkvantitet,  $Q$ , och antal detaljer per pall för respektive artikel. Tabellen över samtliga artiklar finns i bilaga F.

**Tabell 7.6:** Jämförelse mellan orderkvantitet ( $Q$ ) med batchtidsbegränsning och antal per pall.

Artikelnr.	Q	Antal per pall
A077	4	1
A018	9	1
A020	18	6
A089	5	1
A019	30	10

Vid jämförelsen mellan  $Q$  och antal per pall i tabell 7.6 och bilaga F ses att  $Q$  ofta blir en multipel av det antal detaljer som ligger på en pall. Detta förklaras av att modellen tar hänsyn till antal detaljer per pall och att en orderkvantitet som är lika med vad som ryms på en pall plus ytterligare en, skulle resultera i att ytterligare en pall måste användas. Denna måste i sin tur hanteras både av truckar och av lagret vilket medför en högre kostnad för pallhantering. Hanteringskostnaden ökar alltså enligt en trappstege efter hur många pallar som behövs, se figur 7.11.



**Figur 7.11:** Trappstegen visar, för två olika pallkvantiteter, hur hanteringskostnaden indirekt ökar vid användningen av ytterligare en pall.

## Kapitel 8

# Rekommendation

Rekommendation om lämpliga orderkvantiteter görs nu för varje artikel enligt följande:

1. Utgångspunkten är  $Q$  med batchtidsbegränsning, dvs.  $Q$  i tabell 7.6 i avsnitt 7.5.
2. För varje artikel jämförs sedan denna orderkvantitet med antalet som ligger på en pall.
3. Om  $Q$  är lika med en multipel av antalet per pall, rekommenderas att företaget tillverkar i denna kvantitet.
4. Om  $Q$  inte är lika med en multipel av antalet detaljer per pall, rekommenderas en annan orderkvantitet så att det blir lika många detaljer per pall.

**Exempel:** Antag att  $Q$  motsvarar 11 stycken men det får plats 6 stycken per pall. För att tillgodose detta krävs 2 stycken pallar, men att ha 5 artiklar på den ena och 6 stycken på den andra vore olämpligt. Genom att välja orderkvantiteten 12 eller 10 kan 6 respektive 5 artiklar läggas per pall. Att avvika från 11 stycken innebär en kostnadsökning och därför väljs det alternativ av 12 och 10 som har den lägsta kostnaden med hänsyn till alla de parametrar som är beroende av orderkvantiteten. Detta behöver nödvändigtvis inte vara kvantitet 12, även om de två pallarna i det fallet utnyttjas maximalt. Att tillverka 12 stycken åt gången är givetvis mer kostnadseffektivt med hänsyn till hanteringskostnad och omställningskostnad men behöver inte vara det med hänsyn till kapitalkostnad i lager och PIA. Därför kan orderkvantitet 10 med endast 5 stycken per pall vara förenat med en lägre total kostnad och i så fall väljs denna.

Utifrån jämförelsen rekommenderas Sandvik Rock Processing att tillverka artiklar i Greenfield enligt bilaga G. Ett utdrag ur denna visas i tabell 8.1.

**Tabell 8.1:** Rekommenderade orderkvantiteter, Q, för 25 av de 140 artiklarna.

Artikelnr.	Orderkvantitet
A077	4
A018	9
A020	18
A089	5
A019	30
A006	2
A035	24
A063	10
A049	20
A076	4
A074	8
A114	2
A052	6
A136	10
A104	3
A090	8
A122	4
A055	12
A118	4
A101	1
A133	10
A086	10
A097	3
A031	10
A010	12

Totala kostnader och tider för de rekommenderade orderkvantiteterna visas i bilaga H.

## Kapitel 9

# Diskussion

Om det visar sig att beläggningsgraden blir mindre än den antagna (85 %), finns det möjlighet att använda den extra tiden till att ställa om. På så vis finns möjligheten att ställa om fler gånger varvid orderkvantiteterna skulle kunna minskas. Det skulle innebära att lagerhållningskostnaden minskar eftersom medellagernivån blir lägre. Modellen ger således onödigt stort lagerbehov om det finns ledig kapacitet.

Då rekommenderade orderkvantiteter för merparten av artiklarna är större än dagens orderkvantiteter kan det förmodas att inköpskvantiteterna kan behöva justeras till större. Detta kan vara gynnsamt för inköpspriset för att mängdrabatt skulle kunna erhållas. Dock förändras inte den efterfrågade kvantiteten per år, utan bara antalet gånger beställning görs, och därmed kanske ingen rabatt erhålls. Leverantörerna kanske endast kan producera maximalt det antal ämnen som är inköpskvantiteten idag på grund av begränsad kapacitet. De kan även ställa krav på en minsta inköpskvantitet. Därför måste en diskussion föras med leverantörerna om hur ofta och i vilka kvantiteter de kan leverera.

Inköpskvantiteterna behöver nödvändigtvis inte vara lika med tillverkningsorderkvantiteterna. Det är dock önskvärt att antalet ämnen per pall överensstämmer så att delning av pall (omlastning) kan undvikas.

I beräkningen antas att årsbehovet är jämnt fördelat under året. Om det i verkligheten finns stora variationer i när efterfrågan inträffar kan det vara så att medellagernivån kommer att ändras och därmed ändras också kostnaden för lagerhållning.

Då årsbehovet är baserat på en prognos föreligger en osäkerhet i hur det verkliga utfallet kommer att bli. Rekommendationen är gällande för de årsbehov som utgår från den använda prognosen. Visar det sig att kommande prognoser kraftigt avviker från den använda bör årsbehoven uppdateras och

nya orderkvantiteter beräknas.

En annan osäkerhetsfaktor i indata är ställ- och stycktiderna. Dessa är grovt uppskattade av företaget och utgår från tiderna i de gamla maskinerna med en förbättringsfaktor. Skulle det visa sig att de nya ställtiderna är kortare än de uppskattade, kommer det att kosta mindre att ställa om en maskin och detta gynnar mindre batcher vilket gör att flexibiliteten ökar. Planering krävs så att paletterna på U-maskinerna hela tiden är laddade med nya jobb då detaljen som är i maskinen blir färdig. Om så inte sker innebär det att den yttre ställtiden kommer att leda till maskinstillestånd.

Kassationsandelen antas i beräkningsmodellen vara lika med noll för alla detaljer eftersom inga data finns att tillgå. Orderkvantiteterna som presenteras i rekommendationen avser lämpliga kvantiteter för att, ur produktionen, få ut  $Q$  godkända detaljer. Om kassationsandelen t.ex. skulle vara 50 % måste dubbelt så många råämnen tas in. Kostnaden för de råämnen som kommer att kasseras måste då fördelas på antalet godkända detaljer i batchen. Denna fördelning sköts av beräkningsmodellen under förutsättning att indata om kassationsandelar matas in.



## Kapitel 10

# Förslag till fortsatt arbete

Nedan beskrivs de tankar som uppstod under arbetets gång men som inte kunde tas med inom ramen för detta examensarbete. Den första delen är fortsatt arbete som kan vara intressant ur företagets perspektiv medan den andra delen är förslag till vidare akademiska studier.

### 10.1 SRP Svedala

Författarnas rekommendationer är optimala med avseende på bearbetningen, men inte för hela flödet. För att få helhetsperspektivet bör modellen därför även byggas på med inköpsprocessen, lagerhanteringen samt monteringen. Genom att studera alla processerna tillsammans kan en mer optimal helhetslösning fås än den suboptimering som blir då det endast tittas på varje avdelning för sig. Det kan vara lönsamt att få ett högre inköpspris per detalj om kostnaden någon annanstans i kedjan blir mindre än kostnadsökningen för inköp. Å andra sidan kan det totalt sett vara mer lönsamt att ha en högre kostnad i den interna logistikkedjan mot att få ett lägre inköpspris.

SRP bör fortsätta arbeta med beräkningsverktyget för att hålla det uppdaterat. Då alla artiklar är inkörda i Greenfield rekommenderas att följande görs:

- Lägg in nya ställ- och stycktider.
- Uppdatera årsbehoven.
- Uppdatera maskintimkostnaderna då produktionen är i full gång.

Det bör också undersökas exakta värden för hur många detaljer som ligger på en pall för varje artikel. Detta spelar roll i modellen då den tar hänsyn till antal per pall, och kostnaden per detalj blir dyrare så fort det måste

användas ytterligare en pall för att hantera en batch. Antal artiklar per pall är i dagsläget endast en uppskattning från företaget och därför finns en osäkerhet i parametern.

## 10.2 Akademiska studier

Det skulle vara intressant att göra en jämförelse mellan Ekonomisk orderkvantitet och Ståhls kostnadsmodell. Detta för att se hur stor skillnaden är mellan att beräkna produktvärdet exakt (Ståhl) och att använda ett konstant produktvärde som är oberoende av orderkvantiteten (EOQ).

# Kapitel 11

## Källförteckning

### 11.1 Litteratur

Axsäter S. *Inventory Control*. 2 uppl. Springer, New York 2006.

Hill A. och Hill T. *Manufacturing Operations Strategy*. 3 uppl. Palgrave Macmillan, New York 2009.

Hopp W. J. och Spearman M. L. *Factory Physics*. 3 uppl. McGraw-Hill, New York 2008.

Höst M., Regnell B. och Runesson P. *Att genomföra examensarbete*. Studentlitteratur, Lund 2006.

Jonsson P. och Mattsson S-A. *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*. Studentlitteratur, Lund 2005.

Jonsson P. och Mattsson S-A. *Produktionslogistik*. Studentlitteratur, Lund 2003.

Lantz A. *Intervjumetodik*. Studentlitteratur, Lund 1993.

Nahmias S. *Production and Operations Analysis*. 6 uppl. McGraw-Hill, New York 2009.

Oskarsson B., Aronsson H. och Ekdahl B. *Modern logistik - för ökad lönsamhet*. 3 uppl. Liber, Malmö 2003.

Skärvad P-H. och Olsson J. *FöretagsEkonomi 100*. 13 uppl. Liber, Malmö 2007.

Ståhl J-E. *Industriella tillverkningssystem del II - Länken mellan teknik och ekonomi*. 2 uppl. Författaren och Industriell produktion LTH vid Lunds universitet, Lund 2011.

Ståhl J-E. *Manufacturing Systems - the link between technology and economics*. Författaren och Industriell produktion LTH vid Lunds universitet, Lund 2012.

Wallén G. *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*. Studentlitteratur, Lund 1996.

## 11.2 Artiklar

Cheng T.C.E. *An economic order quantity model with demand-dependent unit cost*. European Journal of Operational Research 40. 1989, pp. 252-256.

Erlenkotter D. *Ford Whitman Harris and the economic order quantity model*. Operations Research, Vol. 38, No. 6. 1990, pp. 937- 946.

Karimi B., Fatemi Ghomi S.M.T. och Wilson J.M. *The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms*. Omega 31. 2003, pp.365-378.

Ståhl J-E. *NEXT STEP in Cost-based Sustainable Production Development - Cases from different production operations*. Division of Production and Materials Engineering, Lund University, 2012.

## 11.3 Elektroniska källor

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

[www.sandvik.com](http://www.sandvik.com)

## 11.4 Muntliga källor

*Peter Arvedsen*, External Quality Manager

*Carl-Johan Bjelkenäs*, Project Manager

*Anna Bjernetun*, Controller

*Sabine Blomqvist*, Project Manager

*Christopher Carlström*, Project Manager

*John Dahl*, IT

*Rickard Gilengren*, Produktionsplanerare

*Kersti Gullarbergs*, Quality

*Sofia Hedenström*, Logistics Manager

*Caj Lindskoug*, Manager Prod Engineering

*Ibrahim Mujadzic*, Project Manager

*Britt-Marie Mårtensson*, Inköpare

*Magnus Mårtensson*, Manager Prod Engineering

*Jonas Nilsson*, Production Manager

*Peter Nilsson*, Controller

*Håkan Persson*, Account Manager Comp. Supply

*Amanda Svensson*, Inköpare

*Jan-Eric Ståhl*, Professor vid institutionen för Industriell produktion, Lunds  
Tekniska Högskola

**Bilaga A**

**Indata**

## A.1 Ställ- och stycktider

Alla tider i nedanstående tabeller anges i minuter.

Med **Stycktid P** menas stycktiden i produktionssvets och **Stycktid R** betyder stycktiden i reparationssvets.

Artikelnr.	Ställtid	Stycktid	Stycktid P	Stycktid R
A001	284	441	0	0
A002	5	205	0	0
A003	5	205	0	0
A004	5	205	0	0
A005	5	205	0	0
A006	270	718	0	0
A007	5	486	0	0
A008	5	486	0	0
A009	79	74	0	0
A010	129	129	0	0
A011	48	48	0	0
A012	48	54	0	0
A013	5	142	0	0
A014	5	131	0	30
A015	54	54	0	0
A016	24	36	0	0
A017	84	180	0	0
A018	160	149	0	0
A019	72	50	0	0
A020	80	84	0	0
A021	36	66	0	0
A022	5	132	0	0
A023	5	184	0	30
A024	5	113	0	0
A025	5	320	210	240
A026	5	126	0	30
A027	125	93	0	0
A028	145	147	0	0
A029	5	139	0	0
A030	48	60	0	0
A031	158	137	0	0
A032	5	512	684	240
A033	5	164	0	30
A034	24	48	0	0
A035	48	72	0	0



Artikelnr.	Ställtid	Stycktid	Stycktid P	Stycktid R
A036	54	54	0	0
A037	5	180	0	30
A038	5	111	0	0
A039	139	139	0	0
A040	5	320	156	840
A041	5	468	0	240
A042	5	184	0	30
A043	5	177	0	0
A044	70	57	0	0
A045	5	234	0	1080
A046	5	180	0	30
A047	5	124	0	210
A048	5	154	0	0
A049	76	76	0	0
A050	5	243	0	30
A051	5	222	0	0
A052	171	243	0	0
A053	132	114	0	0
A054	99	68	0	0
A055	125	130	0	0
A056	24	66	0	0
A057	5	284	0	450
A058	5	332	0	0
A059	5	243	0	30
A060	5	504	0	150
A061	5	225	0	0
A062	5	360	0	0
A063	138	161	0	0
A064	5	133	0	0
A065	5	260	0	0
A066	5	351	120	300
A067	65	83	0	0
A068	293	96	0	0
A069	48	360	0	0
A070	48	360	0	0

Artikelnr.	Ställtid	Stycktid	Stycktid P	Stycktid R
A071	141	172	0	0
A072	97	113	0	0
A073	5	131	0	30
A074	71	181	0	0
A075	5	328	0	0
A076	183	332	0	0
A077	198	291	0	0
A078	5	483	540	600
A079	5	137	0	0
A080	60	72	0	0
A081	60	96	0	0
A082	5	442	0	90
A083	5	596	750	240
A084	5	212	0	0
A085	5	187	0	0
A086	71	153	0	0
A087	5	389	0	180
A088	183	332	0	0
A089	180	246	0	0
A090	138	161	0	0
A091	5	73	0	0
A092	5	202	0	120
A093	5	210	0	0
A094	5	231	0	0
A095	24	210	0	0
A096	5	177	0	300
A097	189	428	0	0
A098	5	504	0	90
A099	5	644	306	300
A100	5	739	552	420
A101	5	420	0	120
A102	24	210	0	0
A103	5	231	0	0
A104	60	390	0	0
A105	5	370	0	120

Artikelnr.	Ställtid	Stycktid	Stycktid P	Stycktid R
A106	5	507	0	300
A107	5	216	0	0
A108	5	442	0	150
A109	5	256	0	0
A110	5	488	0	60
A111	18	113	0	0
A112	5	210	0	210
A113	72	600	0	0
A114	72	630	0	0
A115	5	504	0	120
A116	30	84	0	0
A117	36	84	0	0
A118	59	390	0	0
A119	5	507	0	0
A120	5	672	0	0
A121	24	30	0	0
A122	30	150	0	0
A123	5	252	0	0
A124	5	324	0	0
A125	5	90	0	0
A126	5	180	0	0
A127	5	252	0	0
A128	5	180	0	0
A129	36	264	0	0
A130	29	24	0	0
A131	29	48	0	0
A132	24	48	0	0
A133	113	97	0	0
A134	120	360	0	0
A135	189	367	0	0
A136	135	142	0	0
A137	108	432	0	0
A138	135	162	0	0
A139	279	432	0	0
A140	279	441	0	0

## A.2 Årsbehov, ämnespris och antal per pall

Årsbehoven är hämtade från Movex 2012-11-02 samt 2012-11-05.

Artikelnr.	Årsbehov	Ämnespris	Antal per pall
A001	3,3	50558	1
A002	48,4	11864	2
A003	51,6	11864	2
A004	3,3	14664	1
A005	3,3	14664	1
A006	20,4	81379	1
A007	31,5	20449	1
A008	33,6	20449	1
A009	38,2	542	6
A010	34,3	1180	4
A011	72,1	478	40
A012	113,9	1021	20
A013	20,2	2993	4
A014	22,4	5443	4
A015	81,6	583	36
A016	255,2	642	24
A017	4,2	17869	1
A018	68,6	34427	1
A019	661,4	1394	10
A020	408,9	3268	6
A021	215,8	937	20
A022	64,3	5068	4
A023	61,2	12230	2
A024	54,0	12617	1
A025	57,8	78524	1
A026	26,0	15224	1
A027	23,6	15518	1
A028	141,2	2815	2
A029	53,2	9176	1
A030	210,8	564	50
A031	63,4	21270	1
A032	54,0	56930	1
A033	68,9	23372	1
A034	868,4	823	25
A035	396,5	1710	6

Artikelnr.	Årsbehov	Ämnespris	Antal per pall
A036	274,7	567	30
A037	74,2	7922	3
A038	54,4	3596	4
A039	76,9	2520	5
A040	54,8	46722	1
A041	12,9	127601	1
A042	20,2	12230	2
A043	78,9	35336	1
A044	213,2	2506	12
A045	4,2	39262	1
A046	19,2	7922	3
A047	42,8	18331	1
A048	51,4	7638	2
A049	143,7	1998	12
A050	39,8	18017	2
A051	59,1	5844	2
A052	86,5	4359	2
A053	85,9	2017	2
A054	188,4	3002	12
A055	246,2	10447	6
A056	566,1	2184	3
A057	3,2	28591	1
A058	12,9	132026	1
A059	16,8	18017	2
A060	62,2	38061	1
A061	58,9	14480	2
A062	10,5	18406	1
A063	149,7	3624	6
A064	262,9	7646	3
A065	140,0	26419	2
A066	20,8	27974	1
A067	23,2	1766	6
A068	27,8	1720	2
A069	65,8	9974	2
A070	65,3	2212	2

Artikelnr.	Årsbehov	Ämnespris	Antal per pall
A071	94,1	3222	2
A072	83,5	2260	6
A073	4,2	5443	4
A074	153,9	4073	6
A075	6,1	16463	1
A076	74,7	9161	1
A077	76,3	3825	1
A078	18,3	36465	1
A079	19,7	6974	1
A080	84,1	1008	6
A081	139,5	1444	6
A082	6,9	44498	1
A083	61,5	95701	1
A084	71,5	18367	2
A085	34,8	10945	2
A086	79,1	2677	7
A087	28,4	27603	1
A088	34,9	7810	1
A089	28,9	3645	1
A090	79,2	3136	6
A091	102,6	5771	3
A092	20,0	31954	1
A093	23,0	9065	2
A094	15,3	11697	1
A095	20,3	37289	1
A096	23,7	46544	1
A097	21,5	65181	1
A098	21,5	67741	1
A099	37,4	119749	1
A100	42,9	165095	1
A101	19,5	261480	1
A102	55,7	47101	1
A103	56,7	80978	1
A104	33,1	80596	1
A105	30,1	165576	1

Artikelnr.	Årsbehov	Ämnespris	Antal per pall
A106	13,9	199188	1
A107	44,0	11092	1
A108	48,0	52773	1
A109	47,0	23068	1
A110	9,8	80417	1
A111	26,8	40083	1
A112	27,0	28146	1
A113	18,7	159921	1
A114	43,9	183787	1
A115	42,9	288018	1
A116	50,0	1619	4
A117	50,0	3521	12
A118	50,0	2582	2
A119	50,0	100004	1
A120	50,0	115205	1
A121	50,0	3005	10
A122	50,0	49639	1
A123	50,0	47507	1
A124	50,0	13979	2
A125	50,0	5810	1
A126	50,0	3191	2
A127	50,0	9948	1
A128	50,0	9504	2
A129	50,0	7249	2
A130	50,0	6257	12
A131	50,0	7499	6
A132	50,0	3322	6
A133	22,3	3720	2
A134	12,8	5404	3
A135	23,4	3932	3
A136	22,4	1922	2
A137	2,1	2505	3
A138	4,1	1788	2
A139	13,9	39985	1
A140	34,1	46776	1

### A.3 Allmän indata

Skär, reparation, underhåll, förbrukningmaterial	300	kr
Avskrivning	600	kr
Avdelnings OH	658	kr
Produktions OH	75	kr
<b>Maskintimkostnad vid drift</b>	<b>1633</b>	kr
Skär, reparation, underhåll, förbrukningmaterial	100	kr
Avskrivning	600	kr
Avdelnings OH	578	kr
Produktions OH	75	kr
<b>Maskintimkostnad vid stillestånd</b>	<b>1353</b>	kr
<b>Svets(maskin)timkostnad</b>	<b>903</b>	kr
<b>Beläggningsgrad</b>	<b>85</b>	%
<b>Lönetimkostnad</b>	<b>294</b>	kr
<b>Internränta</b>	<b>10</b>	%
Timkostnad planeringen	600	kr
Tid per order	20	min
<b>Kostnad för ordersläpp</b>	<b>200</b>	kr
<b>Truckkostnad per pall</b>	<b>600</b>	kr
<b>Lagerkostnad per pall</b>	<b>600</b>	kr

Maskin	Operatörer/maskingrupp	Operatörer/maskin
WFL	4	1
U6	4	1
U8	4	1,33



## Bilaga B

# Orderkvantiteter

Orderkvantiteterna presenteras för de tre fallen:

1. Optimala orderkvantiteter
2. Dagens orderkvantiteter (applicerade i Greenfield)
3. Optimala orderkvantiteter med hänsyn till maximal batchtid

Optimala orderkvantiteter förkortas i tabellerna som  $Q$ .

Antal omställningar förkortas som  $Omst$ .

Artikelnr.	Optimala		Dagens		Max. batchtid	
	Q	Omst.	Q	Omst.	Q	Omst.
A001	3	1,1	2	1,7	3	1,1
A002	4	12,1	6	8,1	4	12,1
A003	4	12,9	6	8,6	4	12,9
A004	1	3,3	1	3,3	1	3,3
A005	1	3,3	1	3,3	1	3,3
A006	5	4,1	1	20,4	1	20,4
A007	2	15,8	1	31,5	2	15,8
A008	2	16,8	1	33,6	2	16,8
A009	18	2,1	6	6,4	18	2,1
A010	16	2,1	4	8,6	11	3,1
A011	37	1,9	20	3,6	33	2,2
A012	40	2,8	20	5,7	29	3,9
A013	4	5,1	4	5,1	4	5,1
A014	4	5,6	6	3,7	4	5,6
A015	36	2,3	20	4,1	29	2,8
A016	48	5,3	24	10,6	44	5,8
A017	2	2,1	2	2,1	2	2,1
A018	11	6,2	1	68,6	9	7,6
A019	80	8,3	10	66,1	30	22,0
A020	48	8,5	6	68,2	18	22,7
A021	40	5,4	20	10,8	24	9,0
A022	8	8,0	8	8,0	8	8,0
A023	4	15,3	8	7,7	4	15,3
A024	4	13,5	1	54,0	4	13,5
A025	2	28,9	1	57,8	2	28,9
A026	2	13	3	8,7	2	13,0
A027	7	3,4	5	4,7	7	3,4
A028	28	5,0	12	11,8	10	14,1
A029	4	13,3	8	6,7	4	13,3
A030	50	4,2	30	7,0	26	8,1
A031	12	5,3	5	12,7	10	6,3
A032	2	27,0	1	54,0	2	27,0
A033	3	23,0	5	13,8	3	23,0
A034	75	11,6	25	34,7	33	26,3
A035	42	9,4	6	66,1	22	18,0

Artikelnr.	Optimala		Dagens		Max. batchtid	
	Q	Omst.	Q	Omst.	Q	Omst.
A036	60	4,6	30	9,2	29	9,5
A037	6	12,4	12	6,2	6	12,4
A038	8	6,8	10	5,4	8	6,8
A039	25	3,1	12	6,4	10	7,7
A040	2	27,4	4	13,7	2	27,4
A041	1	12,9	1	12,9	1	12,9
A042	2	10,1	4	5,1	2	10,1
A043	3	26,3	6	13,2	3	26,3
A044	36	5,9	30	7,1	27	7,9
A045	1	4,2	2	2,1	1	4,2
A046	3	6,4	6	3,2	3	6,4
A047	3	14,3	6	7,1	3	14,3
A048	4	12,9	2	25,7	4	12,9
A049	36	4,0	5	28,7	20	7,2
A050	2	19,9	6	6,6	2	19,9
A051	4	14,8	6	9,9	4	14,8
A052	20	4,3	6	14,4	6	14,4
A053	24	3,6	12	7,2	13	6,6
A054	36	5,2	16	11,8	22	8,6
A055	30	8,2	12	20,5	11	22,4
A056	33	17,2	18	31,5	24	23,6
A057	1	3,2	2	1,6	1	3,2
A058	1	12,9	1	12,9	1	12,9
A059	2	8,4	2	8,4	2	8,4
A060	2	31,1	3	20,7	2	31,1
A061	4	14,7	4	14,7	4	14,7
A062	1	10,5	4	2,6	1	10,5
A063	30	5,0	6	25,0	9	16,6
A064	9	29,2	12	21,9	9	29,2
A065	4	35,0	6	23,3	4	35,0
A066	2	10,4	3	6,9	2	10,4
A067	12	1,9	4	5,8	12	1,9
A068	20	1,4	8	3,5	13	2,1
A069	8	8,2	14	4,7	4	16,5
A070	10	6,5	10	6,5	4	16,3

Artikelnr.	Optimala		Dagens		Max. batchtid	
	Q	Omst.	Q	Omst.	Q	Omst.
A071	22	4,3	12	7,8	8	11,8
A072	24	3,5	9	9,3	13	6,4
A073	3	1,4	3	1,4	3	1,4
A074	24	6,4	5	30,8	8	19,2
A075	1	6,1	4	1,5	1	6,1
A076	15	5,0	4	18,7	4	18,7
A077	18	4,2	1	76,3	4	19,1
A078	1	18,3	2	9,2	1	18,3
A079	2	9,9	4	4,9	2	9,9
A080	24	3,5	16	5,3	21	4,0
A081	30	4,7	16	8,7	16	8,7
A082	1	6,9	4	1,7	1	6,9
A083	2	30,8	1	61,5	2	30,8
A084	4	17,9	6	11,9	4	17,9
A085	4	8,7	2	17,4	4	8,7
A086	21	3,8	5	15,8	10	7,9
A087	2	14,2	4	7,1	2	14,2
A088	11	3,2	4	8,7	4	8,7
A089	11	2,6	1	28,9	5	5,8
A090	24	3,3	6	13,2	9	8,8
A091	9	11,4	6	17,1	9	11,4
A092	2	10,0	4	5,0	2	10,0
A093	2	11,5	4	5,8	2	11,5
A094	2	7,7	3	5,1	2	7,7
A095	3	6,8	3	6,8	3	6,8
A096	2	11,9	4	5,9	2	11,9
A097	5	4,3	2	10,8	3	7,2
A098	1	21,5	2	10,8	1	21,5
A099	1	37,4	3	12,5	1	37,4
A100	1	42,9	3	14,3	1	42,9
A101	1	19,5	3	6,5	1	19,5
A102	4	13,9	3	18,6	4	13,9
A103	2	28,4	1	56,7	2	28,4
A104	3	11,0	1	33,1	3	11,0
A105	1	30,1	3	10,0	1	30,1

Artikelnr.	Optimala		Dagens		Max. batchtid	
	Q	Omst.	Q	Omst.	Q	Omst.
A106	1	13,9	1	13,9	1	13,9
A107	3	14,7	1	44,0	3	14,7
A108	2	24,0	1	48,0	2	24,0
A109	3	15,7	4	11,8	3	15,7
A110	1	9,8	1	9,8	1	9,8
A111	3	8,9	1	26,8	3	8,9
A112	2	13,5	1	27,0	2	13,5
A113	2	9,4	1	18,7	2	9,4
A114	3	14,6	1	43,9	2	22,0
A115	1	42,9	1	42,9	1	42,9
A116	12	4,2	4	12,5	12	4,2
A117	12	4,2	12	4,2	12	4,2
A118	8	6,3	2	25,0	4	12,5
A119	2	25,0	1	50,0	2	25,0
A120	2	25,0	1	50,0	2	25,0
A121	10	5,0	10	5,0	10	5,0
A122	4	12,5	1	50,0	4	12,5
A123	2	25,0	1	50,0	2	25,0
A124	4	12,5	2	25,0	4	12,5
A125	4	12,5	1	50,0	4	12,5
A126	4	12,5	2	25,0	4	12,5
A127	3	16,7	1	50,0	3	16,7
A128	4	12,5	2	25,0	4	12,5
A129	8	6,3	2	25,0	6	8,3
A130	12	4,2	12	4,2	12	4,2
A131	12	4,2	6	8,3	12	4,2
A132	12	4,2	6	8,3	12	4,2
A133	10	2,2	2	11,2	10	2,2
A134	6	2,1	3	4,3	4	3,2
A135	12	2,0	4	5,9	3	7,8
A136	12	1,9	2	11,2	10	2,2
A137	3	0,7	3	0,7	3	0,7
A138	4	1,0	2	2,1	4	1,0
A139	6	2,3	4	3,5	3	4,6
A140	8	4,3	4	8,5	3	11,4



## Bilaga C

# Optimalt resultat

Observera att årskostnaden  $k_Q$  bara är kostnaden för de parametrar som är beroende av tillverkningsorderkvantiten. Kostnaderna är angivna per år, dvs. efterfrågan multiplicerat med kostnaden per detalj. Ställtid och batchtid är per batch och ingen totaltid. Följande beteckningar används som förkortningar i tabellerna:

- Årskostnad,  $k_Q$
- Omställningskostnad,  $k_{su}$
- Hanterings- och lagerkostnad,  $k_{SH}$
- Kostnad för bundet kapital i lager,  $k_{cap}$
- Kostnad för bundet kapital i PIA,  $k_{PIA}$

## C.1 Optimala kostnader per år

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A001	8560	4000	10486	50	23097
A002	1661	18140	3898	118	23817
A003	1771	19260	3898	126	25055
A004	453	3240	1120	2	4816
A005	453	3240	1120	2	4816
A006	30239	16056	27413	1330	75038
A007	2162	23250	3849	172	29433
A008	2306	24720	3849	183	31058
A009	4614	6044	3070	19	13748
A010	7573	7974	4958	50	20554
A011	2568	2159	4244	34	9004
A012	3752	5187	6112	95	15145
A013	693	4640	1658	12	7003
A014	769	5080	2193	18	8060
A015	3360	2413	4729	48	10551
A016	3503	8643	4772	110	17029
A017	4842	4140	2588	6	11576
A018	27347	49007	22230	803	99387
A019	16340	46138	13145	1187	76810
A020	18632	47394	15466	1532	83024
A021	5331	8753	6811	235	21131
A022	1103	12453	3994	98	17647
A023	2100	22620	3941	137	28798
A024	1853	37500	3367	68	42788
A025	4203	41660	10041	629	56533
A026	1784	19400	2059	22	23265
A027	11577	19034	6838	51	37501
A028	20029	51769	11783	621	84201
A029	1825	36980	2868	66	41739
A030	5555	3973	7032	203	16763
A031	22842	46297	16060	477	85675
A032	3926	39000	9617	806	53349
A033	3152	47733	4516	172	55573
A034	7628	24957	9779	1020	43385
A035	12439	45738	9256	698	68131



Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A036	6786	7610	7775	267	22439
A037	1697	18513	4568	176	24955
A038	933	10720	3086	52	14791
A039	11723	12843	9807	264	34637
A040	3984	39560	7997	422	51964
A041	1876	10920	7548	160	20504
A042	1386	8680	1975	23	12064
A043	3610	54400	6289	308	64606
A044	11393	13644	8424	300	33761
A045	611	3960	3551	10	8132
A046	878	5720	2288	23	8909
A047	2075	30333	4136	69	36614
A048	1764	19190	2675	63	23692
A049	8326	9783	8775	257	27142
A050	2731	16520	2770	84	22106
A051	2028	21885	2816	99	26828
A052	20326	32815	13631	721	67492
A053	12969	33686	7689	188	54532
A054	14274	12267	10067	375	36983
A055	28114	29261	23058	2351	82784
A056	11301	123251	7668	801	143022
A057	439	3160	2430	7	6036
A058	1876	10920	7254	113	20163
A059	1153	7320	2769	35	11277
A060	4268	44740	5989	584	55582
A061	2021	21815	4565	188	28588
A062	1441	9000	1594	18	12053
A063	18870	18968	14600	920	53358
A064	4009	60222	5660	605	70497
A065	4804	50200	7215	866	63085
A066	1427	15760	4977	108	22272
A067	3439	3907	3000	15	10361
A068	11172	14618	5741	38	31569
A069	10837	23785	9389	603	44614
A070	8604	23896	7836	400	40736

<b>Artikelnr.</b>	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A071	16611	35685	10754	440	63490
A072	9283	11446	7898	191	28818
A073	192	1720	1647	3	3561
A074	12568	19073	13033	950	45624
A075	837	5480	1437	9	7762
A076	25057	54816	16356	1094	97323
A077	23039	57428	13442	713	94622
A078	2512	15240	3910	96	21758
A079	1352	14990	1211	10	17563
A080	5771	11511	4500	66	21848
A081	7659	17880	7586	248	33373
A082	1003	6120	3187	31	10341
A083	4472	44250	13958	1642	64322
A084	2453	26225	5250	258	34186
A085	1194	13380	3581	72	18226
A086	7382	9333	8864	269	25849
A087	1949	21080	4580	154	27763
A088	15964	28175	11330	344	55813
A089	12981	24465	7296	126	44869
A090	12479	10980	11139	362	34960
A091	1565	24600	3818	91	30074
A092	1454	15200	4240	57	20952
A093	1578	9800	1691	24	13093
A094	1050	11910	2031	21	15012
A095	4458	15333	6796	100	26688
A096	1723	17790	5975	85	25573
A097	22309	16760	20551	644	60264
A098	3126	17800	4469	162	25558
A099	5439	30520	7878	635	44471
A100	6238	34920	10712	1144	53015
A101	2836	16200	14024	422	33482
A102	9174	38605	11011	455	59245
A103	3891	40890	8960	425	54166
A104	18172	23867	14349	649	57036
A105	4377	24680	9131	368	38556

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A106	2021	11720	11266	285	25292
A107	2013	31133	2869	82	36098
A108	3490	34800	7317	508	46115
A109	2150	33133	4885	191	40360
A110	1425	8440	5040	82	14987
A111	4414	19667	6665	73	30819
A112	1853	20100	4036	74	26063
A113	18479	14290	18326	733	51828
A114	28921	31067	31177	3091	94256
A115	6238	34920	15514	1231	57903
A116	3431	10133	2882	31	16478
A117	4118	3933	4033	49	12133
A118	10036	18650	6893	294	35874
A119	3635	36200	11980	1060	52876
A120	3635	36200	14142	1641	55618
A121	3294	4600	2096	10	10000
A122	10294	34900	11085	300	56579
A123	3431	36200	5690	250	45572
A124	1716	18700	5199	246	25861
A125	1716	34900	1835	26	38477
A126	1716	18700	1977	45	22437
A127	2424	35133	2970	107	40634
A128	1716	18700	3240	88	23743
A129	6176	18650	6861	245	31932
A130	3294	3933	4333	18	11578
A131	3294	7033	5610	46	15984
A132	2745	7033	3097	23	12898
A133	6887	10136	3829	23	20875
A134	7027	4187	5807	65	17086
A135	10117	7470	10808	215	28610
A136	6917	10693	4515	34	22160
A137	2075	1160	2945	6	6186
A138	3798	2635	1773	3	8209
A139	17742	12403	17236	334	47716
A140	32645	26113	25681	1270	85708

## C.2 Optimala ställ- och batchtider

Ställ- och batchtider anges i timmar.

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A001	4,7	26,8	18%
A002	0,1	13,8	1%
A003	0,1	13,8	1%
A004	0,1	3,5	2%
A005	0,1	3,5	2%
A006	4,5	64,3	7%
A007	0,1	16,3	1%
A008	0,1	16,3	1%
A009	1,3	23,5	6%
A010	2,2	36,5	6%
A011	0,8	30,4	3%
A012	0,8	36,8	2%
A013	0,1	9,6	1%
A014	0,1	8,8	1%
A015	0,9	33,3	3%
A016	0,4	29,2	1%
A017	1,4	7,4	19%
A018	2,7	30,1	9%
A019	1,2	68,4	2%
A020	1,3	68,9	2%
A021	0,6	44,6	1%
A022	0,1	17,7	0%
A023	0,1	12,4	1%
A024	0,1	7,6	1%
A025	0,1	10,7	1%
A026	0,1	4,3	2%
A027	2,1	13,0	16%
A028	2,4	71,0	3%
A029	0,1	9,3	1%
A030	0,8	50,8	2%
A031	2,6	30,1	9%
A032	0,1	17,2	0%
A033	0,1	8,3	1%
A034	0,4	60,4	1%
A035	0,8	51,2	2%

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A036	0,9	54,9	2%
A037	0,1	18,1	0%
A038	0,1	14,9	1%
A039	2,3	60,3	4%
A040	0,1	10,7	1%
A041	0,1	7,9	1%
A042	0,1	6,2	1%
A043	0,1	8,9	1%
A044	1,2	35,4	3%
A045	0,1	4,0	2%
A046	0,1	9,1	1%
A047	0,1	6,3	1%
A048	0,1	10,4	1%
A049	1,3	46,9	3%
A050	0,1	8,2	1%
A051	0,1	14,9	1%
A052	2,9	84,0	3%
A053	2,2	47,8	5%
A054	1,7	42,3	4%
A055	2,1	66,9	3%
A056	0,4	36,7	1%
A057	0,1	4,8	2%
A058	0,1	5,6	1%
A059	0,1	8,2	1%
A060	0,1	16,9	0%
A061	0,1	15,1	1%
A062	0,1	6,1	1%
A063	2,3	82,9	3%
A064	0,1	20,0	0%
A065	0,1	17,4	0%
A066	0,1	11,8	1%
A067	1,1	17,6	6%
A068	4,9	36,9	13%
A069	0,8	48,8	2%
A070	0,8	60,8	1%

<b>Artikelnr.</b>	<b>Ställtid</b>	<b>Batchtid</b>	<b>Ställtidsandel</b>
A071	2,4	65,3	4%
A072	1,6	47,0	3%
A073	0,1	6,7	1%
A074	1,2	73,6	2%
A075	0,1	5,5	2%
A076	3,1	85,9	4%
A077	3,3	90,6	4%
A078	0,1	8,1	1%
A079	0,1	4,6	2%
A080	1,0	29,8	3%
A081	1,0	49,0	2%
A082	0,1	7,5	1%
A083	0,1	20,0	0%
A084	0,1	14,2	1%
A085	0,1	12,6	1%
A086	1,2	54,7	2%
A087	0,1	13,0	1%
A088	3,1	63,8	5%
A089	3,0	48,1	6%
A090	2,3	66,8	3%
A091	0,1	11,0	1%
A092	0,1	6,8	1%
A093	0,1	7,1	1%
A094	0,1	7,8	1%
A095	0,4	10,9	4%
A096	0,1	6,0	1%
A097	3,2	38,8	8%
A098	0,1	8,5	1%
A099	0,1	10,8	1%
A100	0,1	12,4	1%
A101	0,1	7,1	1%
A102	0,4	14,4	3%
A103	0,1	7,8	1%
A104	1,0	20,5	5%
A105	0,1	6,2	1%

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A106	0,1	8,5	1%
A107	0,1	10,9	1%
A108	0,1	14,8	1%
A109	0,1	12,9	1%
A110	0,1	8,2	1%
A111	0,3	5,9	5%
A112	0,1	7,1	1%
A113	1,2	21,2	6%
A114	1,2	32,7	4%
A115	0,1	8,5	1%
A116	0,5	17,3	3%
A117	0,6	17,4	3%
A118	1,0	53,0	2%
A119	0,1	17,0	0%
A120	0,1	22,5	1%
A121	0,4	5,4	7%
A122	0,5	10,5	5%
A123	0,1	8,5	1%
A124	0,1	21,7	0%
A125	0,1	6,1	1%
A126	0,1	12,1	1%
A127	0,1	12,7	1%
A128	0,1	12,1	1%
A129	0,6	35,8	2%
A130	0,5	5,3	9%
A131	0,5	10,1	5%
A132	0,4	10,0	4%
A133	1,9	18,0	10%
A134	2,0	38,0	5%
A135	3,2	76,6	4%
A136	2,3	30,6	7%
A137	1,8	23,4	8%
A138	2,3	13,1	17%
A139	4,7	47,9	10%
A140	4,7	63,5	7%





**Bilaga D**

**Dagens orderkvantiteter**

## D.1 Dagens kostnader per år

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A001	12840	3510	7144	34	23528
A002	1107	17933	5842	178	25061
A003	1180	19000	5842	189	26212
A004	453	3240	1120	2	4816
A005	453	3240	1120	2	4816
A006	151195	16920	5831	276	174222
A007	4323	25800	1929	86	32138
A008	4612	27480	1929	92	34112
A009	13841	5693	1109	7	20650
A010	30294	7460	1395	14	39163
A011	4750	3484	2330	18	10582
A012	7504	5156	3095	48	15802
A013	693	4640	1658	12	7003
A014	512	6427	3285	28	10252
A015	6048	3864	2666	27	12605
A016	7005	9107	2405	56	18573
A017	4842	4140	2588	6	11576
A018	300820	55480	2255	78	358633
A019	130719	53512	1745	155	186131
A020	149059	55120	2046	199	206424
A021	10663	9232	3435	118	23448
A022	1103	12453	3994	98	17647
A023	1050	22290	7875	274	31489
A024	7412	43800	848	17	52076
A025	8405	46840	5025	315	60585
A026	1190	19133	3084	33	23440
A027	16208	18104	4942	37	39292
A028	46734	48313	5183	271	100502
A029	913	38050	5728	132	44822
A030	9258	6221	4250	123	19853
A031	54820	43576	6840	201	105438
A032	7853	43800	4813	403	56869
A033	1891	47096	7521	287	56795
A034	22884	28389	3286	342	54901
A035	87071	53467	1389	103	142030

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A036	13573	7925	3931	135	25564
A037	849	18477	9128	353	28806
A038	747	12680	3855	65	17347
A039	24423	14617	4824	129	43993
A040	1992	38020	15986	845	56843
A041	1876	10920	7548	160	20504
A042	693	8270	3941	45	12950
A043	1805	53570	12569	615	68559
A044	13671	16013	7039	250	36974
A045	305	4140	7093	21	11559
A046	439	5680	4568	46	10733
A047	1037	30707	8264	139	40147
A048	3527	21160	1341	32	26060
A049	59949	23592	1324	38	84904
A050	910	15067	8295	252	24524
A051	1352	21500	4220	149	27221
A052	67754	30633	4283	224	102894
A053	25938	30802	3951	96	60786
A054	32116	17685	4564	169	54533
A055	70285	29923	9344	948	110500
A056	20719	123110	4200	438	148468
A057	220	3440	4852	13	8525
A058	1876	10920	7254	113	20163
A059	1153	7320	2769	35	11277
A060	2846	43267	8980	876	55968
A061	2021	21815	4565	188	28588
A062	360	9225	6351	72	16008
A063	94349	20560	3098	192	118199
A064	3007	59362	7544	807	70720
A065	3203	48467	10819	1299	63787
A066	952	15667	7462	162	24242
A067	10317	5240	1070	5	16632
A068	27930	11435	2580	17	41961
A069	6193	24880	16373	1053	48498
A070	8604	23896	7836	400	40736

<b>Artikelnr.</b>	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A071	30454	33398	5970	243	70065
A072	24754	14189	3060	73	42077
A073	192	1720	1647	3	3561
A074	60327	25224	2807	203	88560
A075	209	6365	5722	34	12331
A076	93965	50955	4579	302	149800
A077	414698	61640	1049	52	477439
A078	1256	14010	7813	193	23271
A079	676	15205	2414	20	18315
A080	8657	12313	3032	44	24046
A081	14360	19238	4091	134	37822
A082	251	6885	12721	125	19982
A083	8943	49800	6983	821	66548
A084	1636	25633	7871	386	35526
A085	2388	14520	1794	36	18738
A086	31006	13256	2198	66	46526
A087	974	20860	9152	308	31295
A088	43901	25085	4308	129	73423
A089	142795	23720	928	15	167457
A090	49916	11160	2952	95	64122
A091	2347	25140	2548	61	30096
A092	727	15400	8472	114	24714
A093	789	9250	3373	48	13460
A094	700	12000	3042	32	15774
A095	4458	15333	6796	100	26688
A096	862	17805	11941	169	30777
A097	55772	16250	8403	261	80686
A098	1563	16250	8930	324	27067
A099	1813	26733	23616	1904	54066
A100	2079	30400	32119	3432	68030
A101	945	14800	42055	1266	59067
A102	12232	38933	8268	341	59775
A103	7782	45960	4484	213	58439
A104	54516	27080	4847	218	86661
A105	1459	21867	27375	1105	51806

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A106	2021	11720	11266	285	25292
A107	6039	35800	962	27	42828
A108	6980	39000	3663	254	49897
A109	1613	32950	6511	254	41328
A110	1425	8440	5040	82	14987
A111	13242	22040	2241	24	37547
A112	3706	22200	2022	37	27965
A113	36959	15560	9221	368	62107
A114	86764	35720	10470	1034	133988
A115	6238	34920	15514	1231	57903
A116	10294	10600	993	11	21897
A117	4118	3933	4033	49	12133
A118	40146	20600	1794	76	62616
A119	7271	40600	5994	530	54396
A120	7271	40600	7075	821	55767
A121	3294	4600	2096	10	10000
A122	41175	40600	2808	75	84658
A123	6863	40600	2849	125	50437
A124	3431	20600	2604	123	26758
A125	6863	40600	465	6	47934
A126	3431	20600	993	22	25046
A127	7271	40600	996	36	48902
A128	3431	20600	1624	44	25699
A129	24705	20600	1759	62	47126
A130	3294	3933	4333	18	11578
A131	6588	7267	2828	23	16706
A132	5490	7267	1568	12	14336
A133	34433	9520	911	5	44869
A134	14054	4013	3000	33	21101
A135	30350	9390	3806	75	43621
A136	41504	9560	934	7	52005
A137	2075	1160	2945	6	6186
A138	7597	2240	996	1	10834
A139	26613	11435	11641	224	49914
A140	65289	24565	13066	641	103561

## D.2 Dagens ställ- och batchtider

Ställ- och batchtider anges i timmar.

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A001	4,7	19,4	24%
A002	0,1	20,6	0%
A003	0,1	20,6	0%
A004	0,1	3,5	2%
A005	0,1	3,5	2%
A006	4,5	16,5	27%
A007	0,1	8,2	1%
A008	0,1	8,2	1%
A009	1,3	8,7	15%
A010	2,2	10,7	20%
A011	0,8	16,8	5%
A012	0,8	18,8	4%
A013	0,1	9,6	1%
A014	0,1	13,2	1%
A015	0,9	18,9	5%
A016	0,4	14,8	3%
A017	1,4	7,4	19%
A018	2,7	5,2	52%
A019	1,2	9,6	13%
A020	1,3	9,8	14%
A021	0,6	22,6	3%
A022	0,1	17,7	0%
A023	0,1	24,7	0%
A024	0,1	2,0	4%
A025	0,1	5,4	2%
A026	0,1	6,4	1%
A027	2,1	9,8	21%
A028	2,4	31,8	8%
A029	0,1	18,6	0%
A030	0,8	30,8	3%
A031	2,6	14,1	19%
A032	0,1	8,6	1%
A033	0,1	13,7	1%
A034	0,4	20,4	2%
A035	0,8	8,0	10%

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A036	0,9	27,9	3%
A037	0,1	36,1	0%
A038	0,1	18,6	0%
A039	2,3	30,2	8%
A040	0,1	21,4	0%
A041	0,1	7,9	1%
A042	0,1	12,4	1%
A043	0,1	17,8	0%
A044	1,2	29,7	4%
A045	0,1	7,9	1%
A046	0,1	18,1	0%
A047	0,1	12,5	1%
A048	0,1	5,2	2%
A049	1,3	7,6	17%
A050	0,1	24,4	0%
A051	0,1	22,3	0%
A052	2,9	27,2	10%
A053	2,2	25,0	9%
A054	1,7	19,7	8%
A055	2,1	28,0	7%
A056	0,4	20,2	2%
A057	0,1	9,5	1%
A058	0,1	5,6	1%
A059	0,1	8,2	1%
A060	0,1	25,3	0%
A061	0,1	15,1	1%
A062	0,1	24,1	0%
A063	2,3	18,4	12%
A064	0,1	26,7	0%
A065	0,1	26,1	0%
A066	0,1	17,6	0%
A067	1,1	6,6	16%
A068	4,9	17,7	28%
A069	0,8	84,8	1%
A070	0,8	60,8	1%

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A071	2,4	36,7	6%
A072	1,6	18,6	9%
A073	0,1	6,7	1%
A074	1,2	16,3	7%
A075	0,1	21,9	0%
A076	3,1	25,2	12%
A077	3,3	8,2	40%
A078	0,1	16,2	1%
A079	0,1	9,2	1%
A080	1,0	20,2	5%
A081	1,0	26,6	4%
A082	0,1	29,6	0%
A083	0,1	10,0	1%
A084	0,1	21,3	0%
A085	0,1	6,3	1%
A086	1,2	13,9	9%
A087	0,1	26,0	0%
A088	3,1	25,2	12%
A089	3,0	7,1	42%
A090	2,3	18,4	12%
A091	0,1	7,4	1%
A092	0,1	13,6	1%
A093	0,1	14,1	1%
A094	0,1	11,6	1%
A095	0,4	10,9	4%
A096	0,1	11,9	1%
A097	3,2	17,4	18%
A098	0,1	16,9	0%
A099	0,1	32,3	0%
A100	0,1	37,0	0%
A101	0,1	21,1	0%
A102	0,4	10,9	4%
A103	0,1	3,9	2%
A104	1,0	7,5	13%
A105	0,1	18,6	0%



Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A106	0,1	8,5	1%
A107	0,1	3,7	2%
A108	0,1	7,5	1%
A109	0,1	17,1	0%
A110	0,1	8,2	1%
A111	0,3	2,2	14%
A112	0,1	3,6	2%
A113	1,2	11,2	11%
A114	1,2	11,7	10%
A115	0,1	8,5	1%
A116	0,5	6,1	8%
A117	0,6	17,4	3%
A118	1,0	14,0	7%
A119	0,1	8,5	1%
A120	0,1	11,3	1%
A121	0,4	5,4	7%
A122	0,5	3,0	17%
A123	0,1	4,3	2%
A124	0,1	10,9	1%
A125	0,1	1,6	5%
A126	0,1	6,1	1%
A127	0,1	4,3	2%
A128	0,1	6,1	1%
A129	0,6	9,4	6%
A130	0,5	5,3	9%
A131	0,5	5,3	9%
A132	0,4	5,2	8%
A133	1,9	5,1	37%
A134	2,0	20,0	10%
A135	3,2	27,6	11%
A136	2,3	7,0	32%
A137	1,8	23,4	8%
A138	2,3	7,7	29%
A139	4,7	33,5	14%
A140	4,7	34,1	14%



## Bilaga E

# Batchtidsbegränsning

I denna bilaga visas kostnader och tider för optimala orderkvantiteter med batchtidsbegränsning.

## E.1 Kostnader per år

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A001	8560	4000	10486	50	23097
A002	1661	18140	3898	118	23817
A003	1771	19260	3898	126	25055
A004	453	3240	1120	2	4816
A005	453	3240	1120	2	4816
A006	151195	16920	5831	276	174222
A007	2162	23250	3849	172	29433
A008	2306	24720	3849	183	31058
A009	4614	6044	3070	19	13748
A010	11016	8036	3473	35	22560
A011	2879	2348	3794	30	9050
A012	5175	6699	4452	69	16395
A013	693	4640	1658	12	7003
A014	769	5080	2193	18	8060
A015	4171	2851	3827	39	10888
A016	3821	9320	4378	101	17620
A017	4842	4140	2588	6	11576
A018	33424	48084	18235	658	100402
A019	43573	45893	5002	450	94918
A020	49686	47233	5880	580	103380
A021	8886	13788	4110	142	26926
A022	1103	12453	3994	98	17647
A023	2100	22620	3941	137	28798
A024	1853	37500	3367	68	42788
A025	4203	41660	10041	629	56533
A026	1784	19400	2059	22	23265
A027	11577	19034	6838	51	37501
A028	56081	48184	4358	228	108851
A029	1825	36980	2868	66	41739
A030	10683	7086	3694	107	21569
A031	27410	45308	13426	398	86542
A032	3926	39000	9617	806	53349
A033	3152	47733	4516	172	55573
A034	17336	38041	4325	451	60153
A035	23747	49259	4885	367	78259

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A036	14041	8178	3803	131	26153
A037	1697	18513	4568	176	24955
A038	933	10720	3086	52	14791
A039	29308	11966	4057	108	45439
A040	3984	39560	7997	422	51964
A041	1876	10920	7548	160	20504
A042	1386	8680	1975	23	12064
A043	3610	54400	6289	308	64606
A044	15190	17593	6347	225	39355
A045	611	3960	3551	10	8132
A046	878	5720	2288	23	8909
A047	2075	30333	4136	69	36614
A048	1764	19190	2675	63	23692
A049	14987	11259	4930	144	31320
A050	2731	16520	2770	84	22106
A051	2028	21885	2816	99	26828
A052	67754	30633	4283	224	102894
A053	23942	33274	4263	104	61583
A054	23357	13189	6215	231	42991
A055	76675	32535	8582	870	118661
A056	15539	122738	5587	584	144448
A057	439	3160	2430	7	6036
A058	1876	10920	7254	113	20163
A059	1153	7320	2769	35	11277
A060	4268	44740	5989	584	55582
A061	2021	21815	4565	188	28588
A062	1441	9000	1594	18	12053
A063	62899	24487	4536	283	92205
A064	4009	60222	5660	605	70497
A065	4804	50200	7215	866	63085
A066	1427	15760	4977	108	22272
A067	3439	3907	3000	15	10361
A068	17188	13609	3897	25	34719
A069	21675	24230	4733	303	50941
A070	21510	24055	3181	162	48908

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A071	45681	32983	4056	164	82884
A072	17138	14646	4350	105	36239
A073	192	1720	1647	3	3561
A074	37704	28133	4421	321	70579
A075	837	5480	1437	9	7762
A076	93965	50955	4579	302	149800
A077	103675	51995	3236	169	159074
A078	2512	15240	3910	96	21758
A079	1352	14990	1211	10	17563
A080	6596	12812	3950	58	23416
A081	14360	19238	4091	134	37822
A082	1003	6120	3187	31	10341
A083	4472	44250	13958	1642	64322
A084	2453	26225	5250	258	34186
A085	1194	13380	3581	72	18226
A086	15503	12274	4281	129	32188
A087	1949	21080	4580	154	27763
A088	43901	25085	4308	129	73423
A089	28559	21496	3475	59	53589
A090	33277	13520	4316	139	51253
A091	1565	24600	3818	91	30074
A092	1454	15200	4240	57	20952
A093	1578	9800	1691	24	13093
A094	1050	11910	2031	21	15012
A095	4458	15333	6796	100	26688
A096	1723	17790	5975	85	25573
A097	37181	16133	12452	389	66156
A098	3126	17800	4469	162	25558
A099	5439	30520	7878	635	44471
A100	6238	34920	10712	1144	53015
A101	2836	16200	14024	422	33482
A102	9174	38605	11011	455	59245
A103	3891	40890	8960	425	54166
A104	18172	23867	14349	649	57036
A105	4377	24680	9131	368	38556

Artikelnr.	$k_{su}$	$k_{SH}$	$k_{cap}$	$k_{PIA}$	$k_Q$
A106	2021	11720	11266	285	25292
A107	2013	31133	2869	82	36098
A108	3490	34800	7317	508	46115
A109	2150	33133	4885	191	40360
A110	1425	8440	5040	82	14987
A111	4414	19667	6665	73	30819
A112	1853	20100	4036	74	26063
A113	18479	14290	18326	733	51828
A114	43382	31930	20824	2063	98198
A115	6238	34920	15514	1231	57903
A116	3431	10133	2882	31	16478
A117	4118	3933	4033	49	12133
A118	20073	18700	3494	149	42415
A119	3635	36200	11980	1060	52876
A120	3635	36200	14142	1641	55618
A121	3294	4600	2096	10	10000
A122	10294	34900	11085	300	56579
A123	3431	36200	5690	250	45572
A124	1716	18700	5199	246	25861
A125	1716	34900	1835	26	38477
A126	1716	18700	1977	45	22437
A127	2424	35133	2970	107	40634
A128	1716	18700	3240	88	23743
A129	8235	18467	5160	184	32046
A130	3294	3933	4333	18	11578
A131	3294	7033	5610	46	15984
A132	2745	7033	3097	23	12898
A133	6887	10136	3829	23	20875
A134	10541	5680	3936	44	20201
A135	40467	6840	2931	58	50295
A136	8301	10168	3799	29	22296
A137	2075	1160	2945	6	6186
A138	3798	2635	1773	3	8209
A139	35485	11067	8843	170	55564
A140	87052	24533	9912	484	121982

## E.2 Ställ- och batchtider

Ställ- och batchtider anges i timmar.

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A001	4,7	26,8	18%
A002	0,1	13,8	1%
A003	0,1	13,8	1%
A004	0,1	3,5	2%
A005	0,1	3,5	2%
A006	4,5	16,5	27%
A007	0,1	16,3	1%
A008	0,1	16,3	1%
A009	1,3	23,5	6%
A010	2,2	25,7	8%
A011	0,8	27,2	3%
A012	0,8	26,9	3%
A013	0,1	9,6	1%
A014	0,1	8,8	1%
A015	0,9	27,0	3%
A016	0,4	26,8	1%
A017	1,4	7,4	19%
A018	2,7	25,1	11%
A019	1,2	26,4	5%
A020	1,3	26,7	5%
A021	0,6	27,0	2%
A022	0,1	17,7	0%
A023	0,1	12,4	1%
A024	0,1	7,6	1%
A025	0,1	10,7	1%
A026	0,1	4,3	2%
A027	2,1	13,0	16%
A028	2,4	26,9	9%
A029	0,1	9,3	1%
A030	0,8	26,8	3%
A031	2,6	25,5	10%
A032	0,1	17,2	0%
A033	0,1	8,3	1%
A034	0,4	26,8	1%
A035	0,8	27,2	3%



Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A036	0,9	27,0	3%
A037	0,1	18,1	0%
A038	0,1	14,9	1%
A039	2,3	25,5	9%
A040	0,1	10,7	1%
A041	0,1	7,9	1%
A042	0,1	6,2	1%
A043	0,1	8,9	1%
A044	1,2	26,9	4%
A045	0,1	4,0	2%
A046	0,1	9,1	1%
A047	0,1	6,3	1%
A048	0,1	10,4	1%
A049	1,3	26,6	5%
A050	0,1	8,2	1%
A051	0,1	14,9	1%
A052	2,9	27,2	10%
A053	2,2	26,9	8%
A054	1,7	26,5	6%
A055	2,1	25,8	8%
A056	0,4	26,8	1%
A057	0,1	4,8	2%
A058	0,1	5,6	1%
A059	0,1	8,2	1%
A060	0,1	16,9	0%
A061	0,1	15,1	1%
A062	0,1	6,1	1%
A063	2,3	26,5	9%
A064	0,1	20,0	0%
A065	0,1	17,4	0%
A066	0,1	11,8	1%
A067	1,1	17,6	6%
A068	4,9	25,7	19%
A069	0,8	24,8	3%
A070	0,8	24,8	3%

<b>Artikelnr.</b>	<b>Ställtid</b>	<b>Batchtid</b>	<b>Ställtidsandel</b>
A071	2,4	25,3	9%
A072	1,6	26,2	6%
A073	0,1	6,7	1%
A074	1,2	25,3	5%
A075	0,1	5,5	2%
A076	3,1	25,2	12%
A077	3,3	22,7	15%
A078	0,1	8,1	1%
A079	0,1	4,6	2%
A080	1,0	26,2	4%
A081	1,0	26,6	4%
A082	0,1	7,5	1%
A083	0,1	20,0	0%
A084	0,1	14,2	1%
A085	0,1	12,6	1%
A086	1,2	26,7	4%
A087	0,1	13,0	1%
A088	3,1	25,2	12%
A089	3,0	23,5	13%
A090	2,3	26,5	9%
A091	0,1	11,0	1%
A092	0,1	6,8	1%
A093	0,1	7,1	1%
A094	0,1	7,8	1%
A095	0,4	10,9	4%
A096	0,1	6,0	1%
A097	3,2	24,5	13%
A098	0,1	8,5	1%
A099	0,1	10,8	1%
A100	0,1	12,4	1%
A101	0,1	7,1	1%
A102	0,4	14,4	3%
A103	0,1	7,8	1%
A104	1,0	20,5	5%
A105	0,1	6,2	1%

Artikelnr.	Ställtid	Batchtid	Ställtidsandel
A106	0,1	8,5	1%
A107	0,1	10,9	1%
A108	0,1	14,8	1%
A109	0,1	12,9	1%
A110	0,1	8,2	1%
A111	0,3	5,9	5%
A112	0,1	7,1	1%
A113	1,2	21,2	6%
A114	1,2	22,2	5%
A115	0,1	8,5	1%
A116	0,5	17,3	3%
A117	0,6	17,4	3%
A118	1,0	27,0	4%
A119	0,1	17,0	0%
A120	0,1	22,5	0%
A121	0,4	5,4	7%
A122	0,5	10,5	5%
A123	0,1	8,5	1%
A124	0,1	21,7	0%
A125	0,1	6,1	1%
A126	0,1	12,1	1%
A127	0,1	12,7	1%
A128	0,1	12,1	1%
A129	0,6	27,0	2%
A130	0,5	5,3	9%
A131	0,5	10,1	5%
A132	0,4	10,0	4%
A133	1,9	18,0	10%
A134	2,0	26,0	8%
A135	3,2	21,5	15%
A136	2,3	25,9	9%
A137	1,8	23,4	8%
A138	2,3	13,1	17%
A139	4,7	26,3	18%
A140	4,7	26,7	17%



## Bilaga F

# Orderkvantitet och antal per pall

Observera att  $Q$  i följande tabeller är det  $Q$  som utgår från optimala orderkvantiteter men har minskats ner på de artiklar där batchtiden överskrider maximalt tillåten batchtid.

Artikelnr.	Q	Antal per pall
A001	3	1
A002	4	2
A003	4	2
A004	1	1
A005	1	1
A006	1	1
A007	2	1
A008	2	1
A009	18	6
A010	11	4
A011	33	40
A012	29	20
A013	4	4
A014	4	4
A015	29	36
A016	44	24
A017	2	1
A018	9	1
A019	30	10
A020	18	6
A021	24	20
A022	8	4
A023	4	2
A024	4	1
A025	2	1
A026	2	1
A027	7	1
A028	10	2
A029	4	1
A030	26	50
A031	10	1
A032	2	1
A033	3	1
A034	33	25
A035	22	6

Artikelnr.	Q	Antal per pall
A036	29	30
A037	6	3
A038	8	4
A039	10	5
A040	2	1
A041	1	1
A042	2	2
A043	3	1
A044	27	12
A045	1	1
A046	3	3
A047	3	1
A048	4	2
A049	20	12
A050	2	2
A051	4	2
A052	6	2
A053	13	2
A054	22	12
A055	11	6
A056	24	3
A057	1	1
A058	1	1
A059	2	2
A060	2	1
A061	4	2
A062	1	1
A063	9	6
A064	9	3
A065	4	2
A066	2	1
A067	12	6
A068	13	2
A069	4	2
A070	4	2

Artikelnr.	Q	Antal per pall
A071	8	2
A072	13	6
A073	3	4
A074	8	6
A075	1	1
A076	4	1
A077	4	1
A078	1	1
A079	2	1
A080	21	6
A081	16	6
A082	1	1
A083	2	1
A084	4	2
A085	4	2
A086	10	7
A087	2	1
A088	4	1
A089	5	1
A090	9	6
A091	9	3
A092	2	1
A093	2	2
A094	2	1
A095	3	1
A096	2	1
A097	3	1
A098	1	1
A099	1	1
A100	1	1
A101	1	1
A102	4	1
A103	2	1
A104	3	1
A105	1	1



Artikelnr.	Q	Antal per pall
A106	1	1
A107	3	1
A108	2	1
A109	3	1
A110	1	1
A111	3	1
A112	2	1
A113	2	1
A114	2	1
A115	1	1
A116	12	4
A117	12	12
A118	4	2
A119	2	1
A120	2	1
A121	10	10
A122	4	1
A123	2	1
A124	4	2
A125	4	1
A126	4	2
A127	3	1
A128	4	2
A129	6	2
A130	12	12
A131	12	6
A132	12	6
A133	10	2
A134	4	3
A135	3	3
A136	10	2
A137	3	3
A138	4	2
A139	3	1
A140	3	1



**Bilaga G**

**Rekommenderad  
orderkvantitet**

Artikelnr.	Orderkvantitet
A001	3
A002	4
A003	4
A004	1
A005	1
A006	2
A007	2
A008	2
A009	18
A010	12
A011	33
A012	28
A013	4
A014	4
A015	29
A016	44
A017	2
A018	9
A019	30
A020	18
A021	24
A022	8
A023	4
A024	4
A025	2
A026	2
A027	7
A028	10
A029	4
A030	25
A031	10
A032	2
A033	3
A034	32
A035	24

<b>Artikelnr.</b>	<b>Orderkvantitet</b>
A036	30
A037	6
A038	8
A039	10
A040	2
A041	1
A042	2
A043	3
A044	27
A045	1
A046	3
A047	3
A048	4
A049	20
A050	2
A051	4
A052	6
A053	12
A054	22
A055	12
A056	24
A057	1
A058	1
A059	2
A060	2
A061	4
A062	1
A063	10
A064	9
A065	4
A066	2
A067	12
A068	14
A069	4
A070	4

Artikelnr.	Orderkvantitet
A071	8
A072	12
A073	3
A074	8
A075	1
A076	4
A077	4
A078	1
A079	2
A080	20
A081	15
A082	1
A083	2
A084	4
A085	4
A086	10
A087	2
A088	4
A089	5
A090	8
A091	9
A092	2
A093	2
A094	2
A095	3
A096	2
A097	3
A098	1
A099	1
A100	1
A101	1
A102	4
A103	2
A104	3
A105	1

<b>Artikelnr.</b>	<b>Orderkvantitet</b>
A106	1
A107	3
A108	2
A109	3
A110	1
A111	3
A112	2
A113	2
A114	2
A115	1
A116	12
A117	12
A118	4
A119	2
A120	2
A121	10
A122	4
A123	2
A124	4
A125	4
A126	4
A127	3
A128	4
A129	6
A130	12
A131	12
A132	12
A133	10
A134	4
A135	3
A136	10
A137	3
A138	4
A139	3
A140	3





## Bilaga H

# Kostnader och tider för rekommendation

I tabell H.1 ses att de rekommenderade orderkvantiteterna ger en besparing på 36 % jämfört med dagens orderkvantiteter. Att rekommendationen ger en högre årskostnad än vid optimala orderkvantiteter, har sin förklaring i att de rekommenderade har en begränsning i produktionstid per batch vilket medför att fler omställningar måste göras och således ökar omställningskostnaden.

**Tabell H.1:** Jämförelse av kostnader för det rekommenderade fallet mot dagens och optimalt

	kr/år	kr/år	kr/år	kr/år	kr/år
	Omställningskostnad	Hanterings- och lagerkostnad	Kostnad för bundet kapital i lager	Kostnad för bundet kapital i PIA	Årskostnad m.a.p. parametrar som är beroende av orderkvantiteten
<b>DAGENS ORDERKVANTITETER</b>	3 267 934	3 144 764	783 748	34 149	7 230 595
<b>OPTIMALA</b>	947 124	3 008 283	1 028 583	47 863	5 031 853
	-2 320 810	-136 481	244 836	13 714	-2 198 742
	● -71%	● -4%	◆ 31%	◆ 40%	● -30%
<b>REKOMMENDATION</b>	1 795 981	3 028 989	764 922	33 891	5 623 783
	-1 471 953	-115 774	-18 825	-258	-1 606 811
	● -45%	● -4%	● -2%	● -1%	● -22%

Då detaljerna tillverkas enligt rekommenderade orderkvantiteter, kommer den totala ställtiden per år, se tabell H.2, att bli halverad jämfört med om tillverkning skulle ske enligt dagens orderkvantiteter.

140BILAGA H. KOSTNADER OCH TIDER FÖR REKOMMENDATION

**Tabell H.2:** Jämförelse av ställ- och stycktider för det rekommenderade fallet mot dagens och optimalt

	h/år	h/år	h/år
	Total ställtid per år	Total stycktid per år	Total produktionstid per år
<b>DAGENS ORDER- KVANTITETER</b>	<b>1 981</b>	<b>27 289</b>	<b>29 270</b>
<b>OPTIMALA</b>	<b>573</b>	<b>27 289</b>	<b>27 861</b>
	-1 409	0	-1 409
	● -71%	▲ 0%	● -5%
<b>REKOMMENDATION</b>	<b>1 088</b>	<b>27 289</b>	<b>28 377</b>
	-893	0	-893
	● -45%	▲ 0%	● -3%