



Pipe Chain

LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

# ***Dimensioneringsmetoder för minskad kapitalbindning i säkerhetslager***

- Utvärdering av dimensioneringsmetoder och  
förbättring av praktisk användbarhet

Författare: Erik Björling och Emil Pålsson

Handledare: Stig-Arne Mattsson, Chalmers Tekniska Högskola  
Klas Turesson, MA-system AB

Examinator: Johan Marklund, Lunds Tekniska Högskola



## **Förord**

Detta examensarbete har utförts i samarbete med PipeChain AB i Lund under hösten och vintern 2012 och ingår i avslutningen av vår mastersutbildning till civilingenjörer inom industriell ekonomi respektive maskinteknik.

En artikel om användning av olika metoder för dimensionering av säkerhetslager skriven av Stig-Arne Mattson och publicerad 2011 visar på att metoderna ger olika kapitalbindning vid samma servicenivå. Syftet med studien har varit att undersöka resultaten från artikeln samt skapa praktisk användning av metoderna i PipeChains nyutvecklade programvara.

Under examensarbetets gång har vi kommit i kontakt med många personer som bidragit med sina kunskaper och med värdefulla synpunkter på idéer och förslag, vilket har varit väldigt uppskattat. Vi vill tacka alla företag som bidragit med data och information som gjort det möjligt att genomföra studien. Speciellt tack riktas även till Stig-Arne Mattsson, vår handledare från Logistik och transport på Chalmers Tekniska Högskola som varit ett bra stöd och bollplank i diskussioner och vägskäl för att komma vidare i studien. Slutligen Klas Turesson, företagshandledare från PipeChain AB som har bidragit vid insamling av datamaterialet och varit väldigt hjälpsam vid lösningen av alla problem som uppstått under arbetets gång.

Lund, December, 2012

**Erik Björling**

**Emil Pålsson**

## Sammanfattning

<b>Titel</b>	Dimensioneringsmetoder för minskad kapitalbindning i säkerhetslager - Utvärdering av dimensioneringsmetoder och förbättring av praktisk användbarhet
<b>Författare</b>	Erik Björling och Emil Pålsson
<b>Handledare</b>	Stig-Arne Mattsson, Chalmers Tekniska Högskola Klas Turesson, MA-system AB
<b>Bakgrund</b>	<p>Lager binder kapital och detta torde vara av högsta angelägenhet för företagen att minimera. Därför är det viktigt att dimensionera sina beställningspunkter på ett sådant sätt att servicenivån uppfylls och samtidigt hålla så låg kapitalbindning som möjligt.</p> <p>Hur presterar de vanligaste dimensioneringsmetoderna med avseende på kapitalbindning i säkerhetslager och hur sätts dimensioneringsparametern för de bästa metoderna för att uppfylla en given servicenivå?</p>
<b>Syfte</b>	Projektet syftar till att utvärdera olika dimensioneringsmetoder av säkerhetslager med avseende på kapitalbindning samt göra resultaten praktiskt användbara.
<b>Metod</b>	Dimensioneringsmetodernas prestanda och utfall utvärderas med hjälp av simuleringsmodell, där verklig data från fem företag används.
<b>Slutsats</b>	<p>Vid jämförelse av olika dimensioneringsmetoder för beställningspunkter är resultatet att det skiljer relativt mycket i kapitalbindning i säkerhetslager och hur många enheter som behövs i säkerhetslager för att erhålla utsatt serviceförmåga. För orderradsservice är bristkostnad per orderrad den metod som generellt presterar bäst med avseende på att hålla en hög serviceförmåga till lägst kapitalbindning.</p> <p>Vid jämförelse av vilka parametervärden som motsvarar en given servicenivå skiljer det mellan metoderna. För tid och bristkostnadsmetoderna är det speciellt svårt, då ingen korrelation finns mellan parametervärde och erhållen servicenivå. Den enda metod som är någorlunda konsekvent i alla simuleringsfallen är fyllnadsgradservice (Serv2) vars parametervärde är relativt nära utsatt servicenivåmål.</p>

Då Serv2 är den metod som ger bäst överensstämmelse mellan parametervärde och utsatt servicenivå, kan den användas för att dimensionera de andra metoderna mer exakt. Genom användning av Serv2 baserade metoder öppnas möjligheten att använda en generell säkerhetstid eller bristkostnadsmetoderna för att på förhand kunna dimensionera säkerhetslagret mot en eftersökt servicenivå. Studien påvisar även att simulering av systemhistorik är den bästa och mest exakta metoden att dimensionera säkerhetslager med för att uppnå en önskad servicenivå, givet att efterfrågan följer samma mönster.

**Nyckelord** Kapitalbindning, säkerhetslager, lagerdimensionering, säkerhetstid, bristkostnad, lagerstyrning, beställningspunkter.

## Summary

<b>Title</b>	Dimensioning methods for reducing capital in safety stock - Evaluation of dimensioning methods and improvement of practical use
<b>Authors</b>	Erik Björling and Emil Pålsson
<b>Supervisors</b>	Stig-Arne Mattsson, Chalmers University of Technology Klas Turesson, MA-system AB
<b>Background</b>	<p>Stock binds capital and this should be of highest concern for companies to minimize. Therefore it is important to design their reorder points in such way that service levels are met while keeping as low capital as possible.</p> <p>How well do the most common dimensioning methods perform with respect to the capital in safety stock and how the parameter is set in the best-of-breed methods to meet a given service?</p>
<b>Objectives</b>	The project aims to evaluate different design methods of safety stock in terms of capital tied up in safety stock and make the results practically useful.
<b>Methods</b>	Stock dimensioning methods performance and outcomes evaluated by using a simulation model, where real data from five companies has been used.
<b>Conclusions</b>	<p>When comparing different dimensioning methods for reorder points is the result that it differs quite a lot in how much capital is tied up in safety stock and the number of units needed in safety stock to obtain desired service capabilities. The best method from the study, in keeping a high order line service with a minimum tied up capital is the shortage cost per order line.</p> <p>When comparing which parameter value that corresponds to a given order line service the methods differs. The lack of correlation between obtained service level and parameter value is especially apparent for time and cost methods. The only method that is fairly consistent in all simulation cases is fill rate (Serv2) whose parameter value is relatively close to the required service level.</p>

Since Serv2 is the method that gives the best match between the parameter value and required service level, it can be used to dimension the other methods more accurately. By using Serv2 based methods opens the possibility of dimensioning safety stock in advance with general safety time or shortage cost methods. The study also shows that the best and most accurate method to dimension security layer to achieve a required level of service, given that the demand follows the same pattern, is simulation of demand history.

**Keywords**

Tied up capital, safety stock, stock dimensioning, safety time, shortage cost, inventory control, reorder points.

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Problemformulering.....	2
1.2.1	Problembeskrivning .....	2
1.3	Syfte .....	3
1.4	Avgränsningar .....	3
1.5	Målgrupp.....	4
1.6	Rapportens disposition .....	5
2	Metodik.....	7
2.1	Forskningsansats.....	7
2.2	Undersökningsmetod.....	7
2.3	Datainsamling .....	8
2.4	Reliabilitet .....	9
2.5	Validitet.....	9
2.6	Objektivitet .....	10
2.7	Arbetsfördelning .....	10
2.8	Själv- och källkritik .....	10
3	Teori.....	11
3.1	Beordringssystem .....	11
3.1.1	Beställningspunktsystem .....	11
3.1.2	Erhållen servicenivå .....	12
3.2	Beräkning av medelvärde och standardavvikelse.....	13
3.2.1	Ledtidsjustering.....	13
3.3	Säkerhetslager.....	14
3.3.1	Dimensionering av säkerhetslager med tid som parameter.....	15
3.3.2	Dimensionering av säkerhetslager med statistiska metoder.....	15
3.3.3	Dimensionering av säkerhetslager med bristkostnad.....	17
3.4	Inspektionsintervall.....	18
3.4.1	Kontinuerlig inspektion .....	18



3.4.2	Periodisk inspektion .....	18
3.5	Överdrag .....	19
3.6	Extremvärden.....	20
3.7	Tidigare studier .....	21
4	Tillvägagångssätt.....	23
4.1	Övergripande undersökningsmodell.....	24
5	Simuleringsmodell och angreppssätt.....	25
5.1	Simuleringsmodell.....	25
5.2	Indata .....	25
5.3	Parametersättningsmodeller .....	25
5.3.1	Serv1 och Serv2.....	25
5.3.2	Tid.....	26
5.3.3	Bristkostnad .....	26
5.4	Mätning av säkerhetslager.....	27
5.5	Mätning av orderradsservice .....	27
5.6	Bearbetning av data.....	28
5.6.1	Manuell filtrering .....	28
5.6.2	Statistisk filtrering .....	28
5.7	Generering av data .....	30
5.8	Utdata .....	30
6	Simuleringsföretagen.....	31
6.1	Företagen .....	31
6.2	Simuleringsfall.....	31
6.2.1	Simuleringsfall 1.....	32
6.2.2	Simuleringsfall 2.....	33
6.2.3	Simuleringsfall 3.....	34
6.2.4	Simuleringsfall 4.....	35
6.2.5	Simuleringsfall 5.....	36
6.3	Jämförbarhet mellan simuleringsfallen .....	37
6.3.1	Analys av artikel och orderdata .....	38

7	Resultat från simuleringsfallens dimensionering.....	39
7.1	Resultat per simuleringsfallen .....	39
7.1.1	Simuleringsfall 1 .....	39
7.1.2	Simuleringsfall 2.....	41
7.1.3	Simuleringsfall 3.....	42
7.1.4	Simuleringsfall 4.....	44
7.1.5	Simuleringsfall 5.....	45
7.2	Resultat per dimensioneringsmetod .....	47
7.2.1	Serv1 .....	48
7.2.2	Serv2 .....	49
7.2.3	Tid.....	50
7.2.4	Bristkostnad per enhet .....	51
7.2.5	Bristkostnad per orderrad.....	52
8	Analys av dimensioneringsmetoder.....	53
8.1	Analys avseende kapitalbindning.....	53
8.1.1	Serv1 .....	53
8.1.2	Serv2 .....	54
8.1.3	Säkerhetstid .....	54
8.1.4	Bristkostnad per enhet .....	55
8.1.5	Bristkostnad per orderrad.....	55
8.2	Analys avseende användbarhet .....	56
8.2.1	Serv1 .....	56
8.2.2	Serv2 .....	57
8.2.3	Säkerhetstid .....	57
8.2.4	Bristkostnad per enhet .....	58
8.2.5	Bristkostnad per orderrad.....	58
9	Användning av gemensam säkerhetstid .....	59
9.1	Generell säkerhetstid.....	59
9.2	Känslighet i att sätta säkerhetstid.....	60

9.3	Lämplighetsanalys av säkerhetstid .....	61
9.3.1	Överlager.....	61
9.3.2	Känslighet i önskad serviceförmåga.....	62
9.3.3	Känslighet i ledtidssammansättning .....	63
9.3.4	Känslighet av variationskoefficienter.....	66
9.3.5	Slutsats .....	66
10	Slutsatser av dimensioneringsmetodernas kapitalbindning och användbarhet .	67
11	Metoder för parametersättning .....	69
11.1	Enkel metod för gemensam säkerhetstid .....	69
11.1.1	Ansats.....	69
11.2	Individuell säkerhetstid baserad på bristkostnad .....	70
11.2.1	Ansats.....	71
12	Utvärdering av parametersättningsmetoder.....	73
12.1	Enkel metod för gemensam säkerhetstid .....	73
12.2	Individuell säkerhetstid baserad på bristkostnad .....	75
13	Generella rekommendationer .....	77
	Förslag till vidare utredning .....	78
	Referenser.....	79
	Bilagor 1-4	



# 1 Inledning

---

*I detta kapitel introduceras bakgrunden, den problematik som initierat undersökningen, syftet och avgränsningar som gjorts samt en kort beskrivning av rapportens disposition.*

---

## 1.1 Bakgrund

Säkerhetslager behövs i ett företag när målet är att tillgodose kunders krav på att få beställda varor direkt från lager, trots tidsmässiga och volymmässiga variationer i kunders efterfrågan och variation i leverantörers ledtid. Den osäkerhet i efterfrågan under återanskaffningstid av varor till lager och vilken servicenivå som företagen bestämmer sig för att sätta är det som bestämmer storleken av säkerhetslagret. Lager binder kapital och torde vara av högsta angelägenhet för företagen att minimera.

I forskningsartikel publicerad 2011 (Mattsson, 2011a) påstås det att genom att använda bland annat tid som parameter för dimensionering av säkerhetslager istället för servicenivå, kan kapitalbindningen minska även vid bibehållen servicenivå mot kunderna. I studien påvisades det ge minskad kapitalbindning med 15 till 42 procent vid 97 procent orderradsservice. Orderradsservice beräknas som andelen av kompletta orderrader som kunde levereras direkt från lager. Varje orderrad kan bestå utav flera enheter av samma vara från unika kunder. Säkerhetstiden avser återstående tid med positivt lager vid inkommande inleverans. Fyllnadsgrad ser till hur stor andel av efterfrågan som kan hämtas direkt från lagret.

### PipeChain

PipeChain är en mjukvaruleverantör med huvudsäte i Lund med vision att:

*”bli en ledande leverantör av mjukvara inom supply chain management och därmed erbjuda en transparens som gör att du kan effektivisera din försäljningskedja och uppnå betydande lönsamhetsförbättringar och konkurrenskraft”, (PipeChain, 2012).*

Företaget ägs av det svenska konsultföretaget MA-system som inriktat sig på logistiklösningar och dess kringfrågor. PipeChain har sedan starten 1999 vuxit till över 10,000 aktiva användare i 30 olika länder hos 300 olika kunder. Kunderna återfinns inom tillverknings och distributionsföretag inom främst förpackning, konsumentvaror, telekom, fordon, hälsa och sjukvård.

Programvaran som PipeChain tillhandahåller jobbar med att sammankoppla olika enheter i försörjningskedjan och främst skapa en överblick över produktflödena mellan enheterna, men även ha möjligheter till automatiserade transaktioner. Detta skapas genom att öppna upp och dela information mellan olika aktörer samt enheter inom produktkedjan. Programmet jobbar med den universella enheten tid för att definiera högsta och lägsta lagernivåer som tillåts. Att sätta denna säkerhetstid för dimensionering av säkerhetslager är idag relativt odokumenterad och sker genom erfarenhet, uppskattningar, genom ingående analys av historisk eller prognostiserad data, vilket är tidsödande. I den nya avgränsade och standardiserade mjukvaran PipeChain View bör denna process med sättnig av initialtillstånd av säkerhetslager göras enklare och standardiserad för snabbare initiering av systemet hos kunder utan några större efterkalibreringar.

## 1.2 Problemformulering

Projektet kommer att vara uppdelat i två frågeställningar:

- Vilka resultat ger olika dimensioneringsmetoder avseende kapitalbindning, servicenivå och användbarhet?
- Är det möjligt att praktiskt använda de bäst presterande metoderna?

### 1.2.1 Problembeskrivning

I den första delen av studien kommer fem olika dimensioneringsmetoder att jämföras och utvärderas med avseende på kapitalbindning och användbarhet. De metoder vilka kommer att studeras är de statistiska metoderna Serv1 (cykelservice) och Serv2 (fyllnadsgradservice) samt de inte lika förekommande dimensioneringsmetoderna säkerhetstid, bristkostnad per enhet och bristkostnad per orderrad. Detta med utgångspunkt från verklig eller verklighetstrogen data som inte sällan skiljer sig från exakta teoretiska fördelningar och därmed få resultat som återspeglar verklighetens dilemma. Dimensioneringsmetoderna kommer att jämföras med avseende på hur de presterar på ett systemperspektiv av totala kapitalbindningen i säkerhetslagren samt användbarheten att uppnå en på förhand önskad servicenivå.

I andra delen av studien kommer det att undersökas hur resultaten från föregående avsnitt med de bäst presterande metoderna skulle vara möjliga att införa på nya system med begränsade resurser. Detta för att möjliggöra en enkel uppstart av ett PipeChain system ganska nära optimum och minska behovet av reaktiva korrigeringar samtidigt som kapitalbindningen kan minskas.

### 1.3 Syfte

Syftet är att utvärdera hur olika dimensioneringsmetoder av säkerhetslager förhåller sig gentemot varandra med avseende på minskad kapitalbindning vid bibehållen servicenivå på systemnivå.

I den andra delen av studien är syftet att hitta enkla metoder för att kunna underlätta parametersättningen i olika system för de eftersökta servicenivåerna.

### 1.4 Avgränsningar

Inom ramen för detta projekt kommer vissa avgränsningar att göras. Detta för att göra problemen mer hanterbara samt för att minska på komplexiteten som kan förekomma vid behandling av svår och icke tillrättalagd data.

#### **Fast och känd ledtid**

Ledtiden från olika leverantörer kan variera, vilket medför en extra dimension, både för verifieringen samt fastställning av starttillstånd för systemet. Då variation i ledtid för samma artikel och samma leverantör skulle öka komplexiteten i studien avsevärt, kommer ledtiden endast att behandlas som konstant. Dessutom är det svårt att finna tillförlitlig data över ledtidsvariationer. Den fasta ledtiden medför att leverantören eller företaget självt har oändlig kapacitet och kan producera hur mycket som helst när som helst.

#### **Fixa servicenivåer och mätningssätt**

Då studien riktar sig mot praktiskt använd metodik inom logistikstyrning kommer endast den vanligaste förekommande definitionen på erhållen serviceförmåga att undersökas. Därutöver kommer endast de mest frekvent förekommande servicenivåerna inom logistik och industribranschen att användas och studien behandlar inte hela spannet av servicenivåer från 0 till 100 procent. Detta för att inrikta studien mot vad som faktiskt används inom branscherna.

#### **Fasta orderkvantiteter**

Då ingen analys eller beräkning kommer att göras på hur företagen satt eller sätter orderkvantiteterna på varje detalj kommer de från företagen givna att anses vara optimala i varje enskilt fall. Orderkvantiteten kan påverka hur väl en satt servicenivå eller säkerhetstid överensstämmer med uppnådd servicenivå samt kapitalbindningen i lager. Avgränsningen har gjorts med hänseende till att beräkning och sättning av orderkvantiteter är en ganska lång och väldigt företagsspecifik process.

### **Specifika fallföretag**

Företags orderhistorik är svårt att få tillgång till, vilket avgränsar studien till att titta på specifika fallföretag som valts ut i samråd med PipeChain.

### **Produkter för lagerstyrning**

Alla produkter som finns på lager passar inte för lagerstyrning, d.v.s. produkter med endast extrema pikar och lågfrekventa i efterfrågemönster är produkter som är direkt olämpliga att lagerstyra. Detta beror på den höga lagernivå som behövs för att skapa en hög servicenivå för den sortens artiklar i förhållande till bidraget av erhållen servicenivå för systemet. Artiklar och produkter med sådant beteende kommer att sorteras bort för att inte påverka resultatet över vad som är önskvärt att studeras.

### **Trender i efterfrågan**

Trender medför icke oberoende dagsefterfrågan vilket ger upphov till att samtliga dimensioneringsmetoder underpresterar. Efterfrågetrender för artiklar kommer inte att tas hänsyn till i studien av beräkningstekniska skäl då efterfrågestruktur skulle behöva prognostiseras kontinuerligt. Istället kommer orderdata att genereras vilket medför att korrelationen försvinner.

### **Restnoterade order**

Vid simulering av systemen antas att inga order går förlorade ifall man ej klarar av att betjäna dem direkt från lager. De order som ej kan betjänas, restnoteras istället och ger en temporär negativ lagernivå, varefter restnoterad order betjänas direkt av nästkommande inleverans.

### **Oberoende dagsefterfrågan**

Det kommer att antas, att efterfrågan är stokastiskt oberoende och korrelationen på tidsintervallet  $t$  är noll, d.v.s. att ett uttags storlek idag inte påverkar uttagets storlek i morgon.

## **1.5 Målgrupp**

Rapportens första del som behandlar jämförelse av olika dimensioneringsmetoder för kapitalreducering av säkerhetslager, riktar sig till allmän upplysning inom logistiksammanhang om hur olika dimensioneringsmetoder påverkar den totala kapitalbindningen.



Den andra delen av studien med att finna enkla metoder för att uppnå kapitalreducering i säkerhetslagret riktar sig till företag likt PipeChain där sättnings av initialtillstånd i deras nya programvara bör vara enkelt och ge goda startvärden av nya system. Användningsområdet utanför företag som PipeChain och deras intressenter är företag vilka önskar enkla metoder för jämförelse och justering av dagens säkerhetslagernivåer.

## 1.6 Rapportens disposition

Examensarbetet består av tretton kapitel följt av referenser och bilagor.

**Kapitel 1 – Inledning,** I detta kapitel introduceras bakgrunden, den problematik som initierat undersökningen, syftet och avgränsningar som gjorts samt en kort beskrivning av rapportens disposition.

**Kapitel 2 – Metodik,** I detta kapitel redogörs vilken forskningsansats och undersökningsmetod som skall nyttjas. Vilka primära och sekundära källor som kommer att användas och tillvägagångssättet vid informationsinsamlingen. Kapitlet avslutas med argumentation kring examensarbetets reliabilitet och validitet, samt själv- och källkritik.

**Kapitel 3 – Teori,** I detta kapitel presenteras grundläggande teorier inom lagerstyrning som används i det här examensarbetet. I avsnittet presenteras beordringssystem, behandling av avvikande data, lagerdimensionering och servicenivåer, samt tidigare studier där problematik med lagerdimensionering och kapitalbindning studerats.

**Kapitel 4 – Tillvägagångssätt,** I detta kapitel beskrivs den verkliga arbetsprocessen övergripande, vilka metoder och angreppssätt som valts samt motivering till olika val som behövt göras under arbetets gång med stöd från referensramen som byggs upp av metodikkapitlet i rapporten.

**Kapitel 5 – Simuleringsmodell och angreppssätt,** I detta kapitel behandlas bearbetningsprocessen av ingående data, hur simuleringsmodellen och parametermodellerna är uppbyggda, samt datakaraktistik för simulerade företag.

**Kapitel 6 – Simuleringsföretagen,** I detta kapitel presenteras fem simuleringsfall där varje simuleringsfall är ett unikt företag. Kapitlet kommer bland annat behandla hur grunddata från företaget har behandlats samt karaktistiken av använd data i varje simuleringsfall.

**Kapitel 7 – Resultat från simuleringsfallens dimensionering,** I detta kapitel presenteras simuleringsresultaten över kapitalbindningen från slumpgenererad orderhistorik för samtliga företag samt sammanställning av dimensioneringsmetodernas prestanda relativt varandra.

**Kapitel 8** – *Analys av dimensioneringsmetoder*, I detta kapitel presenteras analyser över dimensioneringsmetodernas kapitalbindning och lagerdimensionering från de olika simuleringsfallen samt en analys över metodernas användbarhet.

**Kapitel 9** – *Användning av gemensam säkerhetstid*, I detta kapitel kommer känslighet, analyser samt slutsats angående möjligheten att sätta en generell säkerhetstid för dimensionering av säkerhetslager att presenteras.

**Kapitel 10** – *Slutsatser av dimensioneringsmetodernas kapitalbindning och användbarhet*, I detta kapitel presenteras slutsatserna av metodernas kapitalbindning i säkerhetslager samt sättning av parametervärden.

**Kapitel 11** – *Metoder för parametersättning*, I detta kapitel presenteras möjliga sätt för praktisk användning av resultaten från dimensioneringsmetodernas kapitalbindning. Detta för initialsättning av tidsparametrar.

**Kapitel 12** – *Utvärdering av parametersättningsmetoder*, I detta kapitel kommer resultaten från att använda Serv2 som generell utgångsparameter för parametersättning av säkerhetstid och bristkostnadsmetoderna presenteras.

**Kapitel 13** – *Generella rekommendationer*, Här presenteras de generella rekommendationerna från studien.

**Kapitel 14** – *Förslag till vidare utredning*, Här presenteras områden och ämnen för vidare utveckling.

## 2 Metodik

---

*I detta kapitel redogörs vilken forskningsansats och undersökningsmetod som skall nyttjas. Vilka primära och sekundära källor som kommer att användas och tillvägagångssättet vid informationsinsamlingen. Kapitlet avslutas med argumentation kring examensarbetets reliabilitet och validitet, samt själv- och källkritik.*

---

### 2.1 Forskningsansats

I denna studie kommer abduktion (Björklund och Paulsson, 1994) som ansats att användas. Jämförelser sker i två riktningar, både från teoretiska grunder till verkliga utfall och från verkliga praktiska fall till att skapa hypoteser och teorier. Detta gör att man rör sig mellan de besläktade termerna induktion, härledning av resultat från givna premisser, och deduktion, härledning av resultatet från teorier, för att successivt bilda en förståelse.

### 2.2 Undersökningsmetod

Undersökningsmetoden som används i studien är av kvantitativ karaktär. Data är konkret och kan bearbetas statistiskt (Höst et al., 2006), och har formen av fallstudier, med fåtal men djupanalyserande datakällor (Lundahl och Skärvad, 1982). Insamlad information kommer användas vid simulering. Datainsamling och intervjuer kommer att göras på vissa specifika företag med djupgående analyser av empirisk logistikhänförd data från företagen, vilket kommer att ligga till grund för resultaten i rapporten. Fallstudiens information samlas in genom semi-strukturerade (Björklund och Paulsson, 1994) personliga intervjuer med företag som behandlar parametrar inom lagerföring. Semi-strukturerade intervjuer används på grund av osäkerheten om kunskapen hos de tillfrågade i ämnet. Detta gör att utvecklingsnivån i svar och frågor baseras på kunskapen hos de tillfrågade. Företagsdata som kommer att behandlas efterfrågas från både befintliga kunder till PipeChain idag och företag som har något förhållningssätt till lagerföring av artiklar. Data samlas in genom utdrag av historisk data hos dessa företag. Undersökningen kommer ej att innehålla någon kvalitativ analys då studien avser att endast behandla ren empirisk data från företag samt dess parametrar och hur de sätts. Företag kan ibland ha begränsade kunskaper och förståelse för vad systemen innehåller och vad som beräknas och ligger till grund för styrningen av företagen. Detta gör att en kvalitativ analys av företags- och branschens logistikhantering kan leda till att svar inte grundas på faktiska grunder, vilket i sin tur kan göra studien felaktig. Därför kommer undersökningarna att göras som en empirisk fallstudie där data och parametrar hämtas från företagen.

Sättning av startvärden kommer att byggas på samma kvantitativa fallstudie som används i föregående del. Data och information från företag är den insamlade och kommer att ligga till grund för slutsatserna vid initialsättning av startvärden.

## 2.3 Datainsamling

Information och data kan insamlas både som primär- och sekundärdata där primära källorna är de som erhålls eller skapats under projektets tidsperiod (Bell, 1995).

Sekundärdata är data som redan finns eller tas från ett annat sammanhang och används i undersökningen.

### **Primärdata**

Den primärdata som eftersöks kommer att inhämtas genom två kanaler. Det första är genom förfrågningar om lagerhistorik, lagerdata och även information om parametersättning hos befintliga kunder inom PipeChain. Vanligt förekommande parametersättning och databehandling ute på företag fås genom PipeChains mångåriga erfarenhet ute på marknaden.

Den andra kanalen är genom personliga besök, vilka innehåller både en intervju del och en del av insamling av order- och lagerdata. Besöken arrangeras av PipeChain och sker på svenska företag. Företag kommer att bli tillfrågade att medverka i studien via PipeChain, där företagen kommer att kompenseras genom att få ta del av exklusivt material i form av analys och slutsatser för deras data. Intervjudelen i samband med besöken skall ge information om vilka parametrar och värden som används specifikt vid sättning av servicenivåer hos företagen idag, vilket senare kommer att användas vid analys av systemprestanda. Rådata utav orderhistorik och lagerdata kommer att användas för simuleringsändamål för att skapa en verklig serie av händelser och se hur systemet reagerar och presterar på verklig data.

Orderhistoriken skall även användas som referensmaterial för slumpgenerering av nya unika orderhistorikserier för stabilisering inom simuleringsmodellen.

### **Sekundärdata**

Information och data kommer att insamlas från gamla uppdrag på PipeChain, där data är orörd och insamlad i annat syfte än studien, vilket klassificerar materialet som sekundärdata. Annan sekundär data i studien är teoriböcker och artiklar som skrivits i annat syfte än för denna studie. Denna information och data kommer att användas för att underbygga argument och modeller som används i rapporten, samt att simuleringar kommer att göras för utvärdering av systemets prestanda.

## 2.4 Reliabilitet

Reliabilitet anger enligt Bell (1995) hur väl en mätning med samma metod och objekt ger samma resultat vid olika tillfällen. Reliabilitet definieras även som *”graden av tillförlitlighet i mätinstrumentet”* (Wallén, 1993), vilket betyder sannolikheten att få samma värde vid upprepade försök.

Studien kommer att byggas upp av simuleringar på verklig data och händelser från företag, vilket medför att data och händelser är faktiska och gör att upprepning av samma orderhistorik och parametrar kommer ge exakt samma resultat vid varje återupprepning.

Informationen som inhämtas från intervjuerna med företagen innefattar endast faktisk data över hur de beräknar och vad de använder som mätetal, vilket gör att återupprepning av intervjun kommer ge samma resultat om inte företaget byter rutiner. Vid tveksamheter hos informationskällan om vad som beräknas kommer hjälp av handledare att tillfrågas. Vid fortsatt osäkerhet kommer information från källa ses som obrukbar och förkastas.

För att öka reliabiliteten av intervjuerna kan kontrollberäkningar göras på tillhandahållen data för att validera den erhållna informationen.

## 2.5 Validitet

Validitet av information är i vilken grad den är giltig och inte innehar systematiska fel (Wallén, 1997). Hög validitet återfås genom att studien inte har några systematiska fel och när det har tagits hänsyn till alla väsentliga parametrar.

Genom att använda flera olika källor till information, internt inom PipeChain, externt ute på företag, historisk data, välinsatt handledare i ämnet, samt endast väl ansedd teoretisk litteratur kommer risken att analysera på felaktiga teoretiska grunder och data att minskas. Vidare kommer data att manuellt rensas från uppenbara felaktigheter vilka skulle medfört minskad validitet på studien. Kompetens och diskussioner med forskare och konsulter i framkant av ämnet ger även betydande kontroll på att arbetsmetoder, sorteringar och avvägningar är av rimlig karaktär och inte motstridiga teori och verklighet.

## 2.6 Objektivitet

Objektivitet avser *"i vilken utsträckning värderingar påverkar studien"* (Björklund et al., 2003).

Risken för att vara subjektiv i en studie som behandlar validering av tidigare studie är i samband med valet av metoder och begränsningar som görs. Genom teoretiska referensramar samt användning av ny oberoende företagsorderdata minskas studiens inverkan av identisk upprepning och ger unika resultat.

Vid intervjuer kommer endast frågor som behandlar ren fakta att användas vilket utesluter direkt subjektivitet från intervjupersonerna.

## 2.7 Arbetsfördelning

Ingen speciell uppdelning kommer att ske av arbetsområden mellan författarna, då båda sitter på liknande kompetens inom området och mycket av arbetet kommer att ligga bakom hur simuleringsmodeller ska byggas upp, hur data skall bearbetas och hur resultaten skall tydjas.

## 2.8 Själv- och källkritik

Kritiken mot studien kan delas in i två delar. Självkritik, till vilket kan räknas erfarenheten och personliga relationer för författarna, sedan källkritik vilket behandlar källornas validitet och riktighet.

Då mestadels ren fakta och väl dokumenterade och accepterade teorier används kommer pålitligheten att vara hög. Källorna som används är från verkligheten och speglar verkligheten i företagen. Detta gör att kritiken som kan riktas mot källdata är urvalet av företag som ingår i studien då data och information är faktisk. Urvalet av företag är svårt då studien innefattar mycket känslig data och information vilket gör att få företag är villiga att lämna ut denna, vilket i sin tur gör studien lite vriden mot de företag som är öppna med information gentemot PipeChain, då det är de som går i god för uthämtningen av data från företagen. Data som hämtas från företag kan inte heller helt uteslutas vara orörd. Den kan manuellt ha manipuleras och förändrats samt att felaktigheter i handhavande ger konstig och orimlig data vid t.ex. inmatning av data till systemet. För att motverka dessa felaktigheter kommer klara fel att bortsorteras vid bearbetning av data. Genom validering av gammal sekundärdata minskas felet som kan fås genom att bara använda ny data, samt minskar felet som fås från studien av att data kommer från öppna företag i dagsläget.

Självkritiken som kan riktas mot författarna i studien är deras ringa erfarenheter, både av omfattning och av kompetens inom området som projektet berör.

### 3 Teori

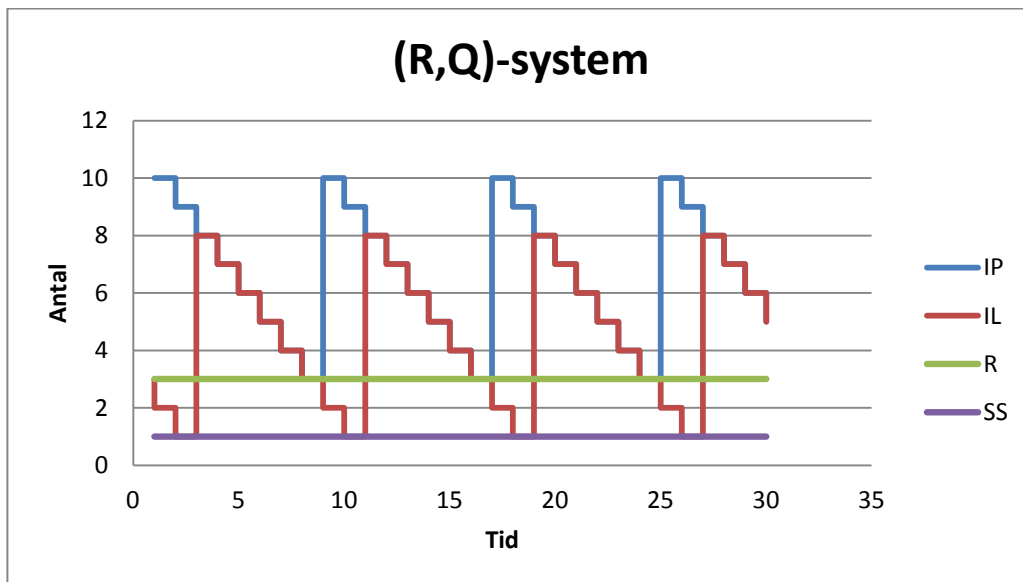
I detta kapitel presenteras grundläggande teorier inom lagerstyrning som används i det här examensarbetet. I avsnittet presenteras beordringssystem, behandling av avvikande data, lagerdimensionering och servicenivåer, samt tidigare studier där problematik med lagerdimensionering och kapitalbindning studerats.

#### 3.1 Beordringssystem

Några av de viktigaste faktorerna att påverka inom styrning av lager är att bestämma när en beställning ska ske och hur stor denna kvantitet ska vara. För att löpande kunna sköta detta krävs generella beslutsregler för hur detta ska ske för olika artiklar.

##### 3.1.1 Beställningspunktsystem

Det vanligaste systemet för att bestämma när en beställning ska ske och i vilka kvantiteter är att använda en beställningspunkt (Axsäter, 2006). Vid denna beställningspunkt utlöst genom att lagerpositionen (IP), se figur 3-1, nått en viss nivå beställs ett förutbestämt antal enheter. Denna beställningspunkt väljs så att man under ledtiden (LT) för återanskaffning av enheter klarar försörjningen med hänsyn till önskad servicenivå. Beställningspunktssystem finns i flera olika benämningar och konfigurationer bl.a. (R,Q) där man vid nivå R beställer Q enheter.



Figur 3-1 Lagarsystem av typen (R,Q), där beställning görs för  $R = 3$  av orderkvantiteten  $Q = 7$  och med ledtiden  $LT = 2$ , konstant efterfrågan av 1 st/t.e.

**Grundläggande begrepp:**

$R$  = Reorder point (Beställningspunkt)

$Q$  = Quantity (Orderkvantitet)

$IP$  = Inventory position (Lagerposition)

$IL$  = Inventory level (Lagernivå)

$LT$  = Lead Time (Leditid)

$D$  = Demand (Efterfrågan)

$SS$  = Safety Stock (Säkerhetslager)

**Samband:**

$SS = R - D(LT)$

$R = D(LT) + SS$

### 3.1.2 Erhållen servicenivå

Inom lagerhantering är ett av de viktigaste nyckeltalen den erhållna servicenivån. Det finns flera olika sätt att mäta den erhållna servicenivån och för att utvärdera utfallet är det viktigt att veta vilken typ av leveransförmåga man avser.

#### 3.1.2.1 Orderradsservice

Orderradsservice är ett av de enklaste servicenivåmått att mäta praktiskt, se ekvation 3-1. Erhållen servicenivå mäts som andelen totala orderrader som kan levereras direkt från lager, där varje orderrad kan innehålla olika stora kvantiteter av samma artikel. Metoden tar därmed ingen hänsyn till ifall en del av ordern kunde levereras. Orderradsservice är också den mest vanligt förekommande metoden att mäta servicenivå, enligt (Forslund och Jonsson, 2007) använder ca 68% av de svenska företagen orderradsservice.

$$\text{orderradsservice} = \frac{\text{antal kompletta orderrader levererade direkt från lager}}{\text{totalt antal orderrader}} \quad 3-1$$

#### 3.1.2.2 Efterfrågeservice

En metod som tar hänsyn till hur många enheter som kan levereras direkt från lager även ifall ej kompletta orderrader kan levereras är efterfrågeservice som är andelen totala enheter levererat, se ekvation 3-2.

$$\text{efterfrågeservice} = \frac{\text{antal enheter direkt från lager}}{\text{totalt antal enheter}} \quad 3-2$$



## 3.2 Beräkning av medelvärde och standardavvikelse

Då efterfrågan antas följa en viss fördelning krävs skattning av dess parametrar (Mattsson, 2007). I fallet med normalfördelning kräver den medelvärde och standardavvikelse. Vid beräkning av säkerhetslager gäller det att skatta fördelningen av efterfrågan under ledtiden. Ofta beräknas dessa parametrar med heldagar som tidsenhet för samtliga artiklar och man låter medelvärde och standardavvikelse vara dataurvalets medelvärde och standardavvikelse. En längre tidsperiod ex. månadsförbrukning skulle ge säkrare resultat med mindre variation, men samtidigt för att få statistiskt stabila parametervärden krävs ett visst antal observationer. I fallet månader krävs flera års historik vilket, dels kan vara svårt att erhålla, dessutom ej vara speciellt representativt för nuläget då alltför lång historik kan medföra problem med icke stationära medelvärden och standardavvikelser. För att säkerställa att dataurvalets standardavvikelse ej avviker för mycket från det sanna värdet rekommenderar Mattson ca 40 historiska mätpunkter för högrörliga artiklar, för medelrörliga ca 50 och för lågrörliga ca 80 mätpunkter.

### 3.2.1 Ledtidsjustering

När efterfrågefördelningens parametrar är beräknade på annan tidsenhet än ledtiden krävs ledtidsjustering av dessa parametrar så att fördelningen av efterfrågan under ledtiden erhålles. Enligt grundläggande matematisk statistik växer medelvärdet ( $\mu$ ) proportionellt mot tidsfaktorn (LT) för normalfördelning.

Hur standardavvikelsen ( $\sigma$ ) utvecklar sig beror på beroendet mellan de tidsperioder summeringen sker över. Vid fullständigt beroende växer standardavvikelsen ( $\sigma$ ) lika mycket som medelvärdet hos normalfördelningen. Råder det fullständigt oberoende växer standardavvikelsen ( $\sigma$ ) proportionellt mot roten ur tidsfaktorn (LT). Detta motsvarar en beroendefaktor  $c$  som ligger i intervallet  $[0,5 \ 1]$ .

Om den stokastiska variabeln  $X$  (se ekvation 3-3) är efterfrågan under en tidsperiod och ledtiden (LT) uttryckt i antalet tidsperioder gäller följande samband för ledtidsjustering då efterfrågan antas vara normalfördelad (se ekvation 3-4) (Blom et al., 2005).

$$X \in N(\mu, \sigma) \quad 3-3$$

$$XLT \in N(\mu LT, \sigma LT^c) \quad 3-4$$

### 3.3 Säkerhetslager

Inom all materialplanering finns osäkerhetsfaktorer av olika typer. Antalet kundankomster och hur stora uttag de gör innehåller en viss mängd stokastiska delar. Även osäkerhet i ledtid etc. kan förekomma. För att gardera sig mot dessa stokastiska variationer håller man säkerhetslager.

För dimensionering av detta säkerhetslager finns det ett antal metoder som kan kategoriseras efter vilken metodik de baseras på. Den första gruppen av dessa kallas bedömningsmetoder och bland dessa görs inga beräkningar utan dimensioneringen baseras till största grad på erfarenhet och intuition.

Den andra kategorin är proportionalitetsmetoder där man sätter dimensionen som ett antal dagars medelefterfrågan eller andel av leddistans efterfrågan. Inom den kategorin saknas det analytiska lösningar på vilken proportionalitetskonstant eller hur många dagar som ger viss erhållen teoretisk servicenivå och kräver således också en del erfarenhetsmässiga eller intuitiva bedömningar.

Tredje kategorin som är statistiska metoder baserar sig på antagande om att efterfrågan följer en viss statistisk fördelning. Givet antagandet om att efterfrågan följer en statistisk fördelning kan en explicit lösning på teoretisk servicegrad för vissa typer av fördelningar erhållas (Mattsson, 2011).

Fjärde kategorin baserar sig på att bristkostnader uppkommer i samband med brist i systemet. Även denna metod bygger på statistiska metoder och beställningspunkten räknas fram genom att minimera den förväntade totala kostnaden.

Vid dimensionering av säkerhetslager är det viktigt se till att "*dimensionera säkerhetslager på ett sådant sätt att den resursförbrukning som kapitalbindningen innebär står i rimlig proportion till de värden som en högre leveransförmåga innebär*" (Mattsson, 2011). Därför är det viktigt att veta dels vad som menas med leveransförmåga/servicenivå, samt skatta denna förmåga på förhand givet viss dimensionering av säkerhetslagernivå eller säkerhetstid.

### 3.3.1 Dimensionering av säkerhetslager med tid som parameter

När dimensionering av säkerhetslager sker med tid som parameter bygger sättningen av denna parameter generellt på bedömningar över hur lång säkerhetstiden bör vara (Mattsson, 2011a). Denna metod bygger därmed ej på några antaganden om efterfrågekaraktäristik som ger en explicit analytisk lösning på säkerhetstidens längd.

Med utgångspunkt från beställningspunkten  $R$  och medelefterfrågan kan beställningstidpunkten beräknas:

$$R = \mu * BT \quad 3-5$$

Där:

$$BT = LT + ST \quad 3-6$$

$$R = \mu(LT + ST) \quad 3-7$$

*Ekvationen kan skrivas så att given beställningspunkt ger en säkerhetstid.*

$$ST = \frac{R}{\mu} - LT \quad 3-8$$

### 3.3.2 Dimensionering av säkerhetslager med statistiska metoder

De statistiska metoderna för att dimensionera säkerhetslager bygger på att dimensionera utifrån en på förhand bestämd teoretisk serviceförmåga där denna förmåga definieras på olika sätt. De mest förekommande är Serv1 (Cykelservice) och Serv2 (Fyllnadsgradsservice) men även andra metoder förekommer (Mattsson, 2011).

#### 3.3.2.1 Cykelservice

Den enklaste av de statistiska metoderna för att dimensionera säkerhetslager med avseende på att explicit bestämma beställningspunkter är cykelservice, även benämnd Serv1 ( $S_1$ ). Cykelservice definieras som sannolikheten för positiv lagernivå under en lagercykel där lagercykel är tiden mellan påfyllnad (Axsäter, 2004). Sannolikheten för att lagernivån är positiv är sannolikheten att kvantiteten  $R$  räcker till förbrukningen under ledtiden, se ekvation 3-10.

$$S_1 = P(D(LT) \leq R) = P(D(LT) - R \leq 0) \quad 3-9$$

$$S_1 = \Phi\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) \quad 3-10$$

Detta motsvarar ledtidförbrukningens fördelningsfunktions värde för  $R$  och är således ganska lätt att praktiskt använda utan alltför komplexa beräkningar. Nackdelen med cykelservice är att metoden ej tar hänsyn till beställningskvantiteten varvid den verkliga servicegraden kan skilja sig avsevärt för kalkylerat värde. Därför kan ej metoden enligt Axsäter (2006) rekommenderas för lagerstyrning i praktiken.

### 3.3.2.2 Fyllnadsgradsservice

Fyllnadsgradsservice är en teoretiskt mer avancerad metod bland de statistiska metoderna som även tar hänsyn till beställningskvantiteten. Metoden benämns även Serv2 ( $S_2$ ) och definieras som andelen av efterfrågan som kan tillgodoses direkt från lager (Axsäter, 2004), se ekvation 3-11.

$$S_2 = P(IL \geq 0) \quad 3-11$$

Hur fyllnadsgradsservicen beräknas för de olika fördelningarna skiljer sig åt avsevärt då fördelningsfunktionen för lagernivån under en lagercykel ej blir allmäntligt definierad utan måste beräknas för varje fördelning separat. För de mest vanligt förekommande fördelningarna inom lagerstyrning, normal- och poissonfördelning, blir Serv2 (se ekvation 3-12 till 3-15) respektive (se ekvation 3-16 till 3-17).

*Normal:*

$$P(IL \leq x) = F(x) = \frac{\sigma'}{Q} \left( G\left(\frac{R-\mu'-x}{\sigma'}\right) - G\left(\frac{R+Q-\mu'-x}{\sigma'}\right) \right) \quad 3-12$$

$$G(x) = \varphi(x) - x(1 - \Phi(x)) \quad 3-13$$

$$G'(x) = \Phi(x) - 1 \quad 3-14$$

$$S_2 = P(IL \geq 0) = 1 - F(0) = 1 - \frac{\sigma'}{Q} \left( G\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) - G\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right) \right) \quad 3-15$$

*Poisson:*

$$P(IL = j) = \frac{1}{Q} \sum_{k=\max(R+1,j)}^{R+Q} P(D(LT) = k - j) \quad j \leq R + Q \quad 3-16$$

$$S_2 = P(IL \geq 0) = \sum_{j=0}^{R+Q} \sum_{k=\max(R+1,j)}^{R+Q} P(D(LT) = k - j) \quad 3-17$$

Vanliga antaganden är att använda poissonfördelning för lågfrekventa artiklar med hög spridning där normalfördelningsantagande annars skulle ge en ej försumber andel negativ ledtidsefterfrågan.

Enligt en studie av Mattson (2003) visas det på att den erhållna servicenivån ökar med ökande Q värden gentemot den dimensionerande servicenivån enligt Serv2-metodik. Detta beror på att vid höga Q exponeras systemet för färre bristtillfällen relativt sätt.

### 3.3.3 Dimensionering av säkerhetslager med bristkostnad

Vid dimensionering av säkerhetslagernivåer baserade på bristkostnad utgår man från att varje brist i systemet ger upphov till en kostnad. Vad denna bristkostnad egentligen representerar skiljer sig åt, de mest förekommande är kostnad per bristtillfälle, kostnad per bristande enhet och kostnad per bristande enhet och tid som bristen varar (Silver et al., 1998).

Metoden bygger sedan på att minimera den totala kostnaden i systemet för både lagerhållningskostnader och brister givet beställningspunkten som parameter (Axsäter, 2004). Givet normalfördelad efterfrågan och kostnad per bristande enhet beräknas totala kostnaden per tidsenhet (För beräkning av bristkostnad per orderrad sätts  $\mu$  till medelvärdet för antalet kundorder istället för dagsefterfrågan):

$$C(R, Q) = hE(IL(R, Q)^+) + b\mu P(IL(R, Q) \leq 0) \quad 3-18$$

Ifall sannolikheten för negativ lagernivå är tillräckligt liten kan  $hE(IL(R, Q)^+)$  approximeras med  $hE(IL(R, Q))$  och således blir:

$$\begin{aligned} C(R, Q) &= hE(IL(R, Q)) + b\mu P(IL(R, Q) \leq 0) = h\left(R + \frac{Q}{2} - \mu\right) \\ &+ b\mu(1 - S_2(R, Q)) = h\left(R + \frac{Q}{2} - \mu\right) + b\mu - b\mu S_2(R, Q) \end{aligned} \quad 3-19$$

Genom att derivera med avseende på  $R$  nås minimum:

$$\frac{\partial C(R, Q)}{\partial R} = h - b\mu \frac{\partial S_2(R, Q)}{\partial R} \quad 3-20$$

$$-\frac{\partial S_2(R, Q)}{\partial R} = \frac{\sigma'}{Q} \frac{\partial}{\partial R} G\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) - \frac{\sigma'}{Q} \frac{\partial}{\partial R} G\left(\frac{R + Q - \mu'}{\sigma'}\right) \quad 3-21$$

Där:

$$G'(x) = \Phi(x) - 1 \quad 3-22$$

$$-\frac{\partial S_2(R, Q)}{\partial R} = \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) - \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R + Q - \mu'}{\sigma'}\right) \quad 3-23$$

Och:

$$\frac{\partial C(R, Q)}{\partial R} = h + \frac{b\mu}{Q} \left( \Phi\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) - \Phi\left(\frac{R + Q - \mu'}{\sigma'}\right) \right) \quad 3-24$$

Givet tillräckligt stort  $Q$  kommer ekvationen att bli:

$$\frac{\partial C(R, Q)}{\partial R} = h + \frac{b\mu}{Q} \left( \Phi\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) - 1 \right) \quad 3-25$$

Sätts derivatan till noll blir:

$$R = \sigma' \Phi^{-1}\left(1 - \frac{Qh}{bk\mu}\right) + \mu' \quad 3-26$$

### **3.4 Inspektionsintervall**

Hur ett system fungerar i verkligheten beror på hur ofta aktuell lagerposition jämförs med beställningspunkten. Inom lagerstyrning brukar två olika inspektionsintervall särskiljas.

#### **3.4.1 Kontinuerlig inspektion**

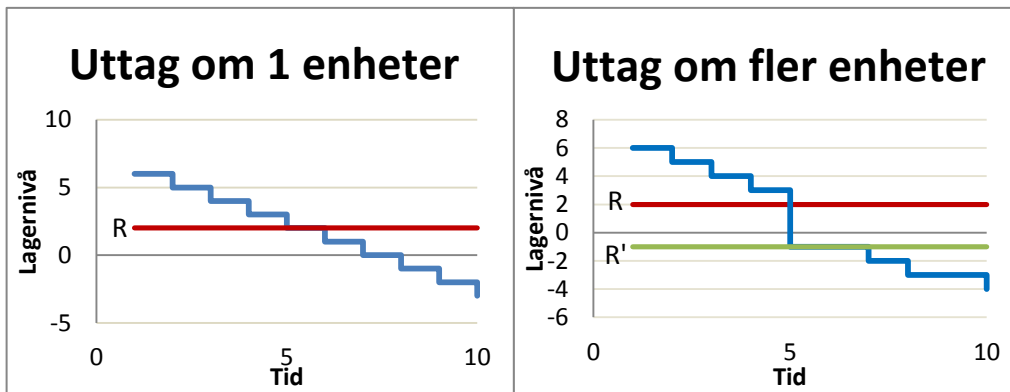
En kontinuerlig inspektion innebär att lagerpositionen övervakas kontinuerligt och möjlighet att lägga beställningar och korrigera i realtid när positionen nått tillräckligt lågt.

#### **3.4.2 Periodisk inspektion**

Vid periodisk inspektion inspekteras lagerpositionen endast vid vissa givna tidpunkter. Hur systemet ser ut mellan dessa tidpunkter tas ingen hänsyn till. Därför kommer beställning att ske vid det första inspektionstillfället där lagerpositionen ligger på beställningspunkten eller under. Jämfört med kontinuerlig inspektion krävs det att säkerhetslagret i detta fall inte bara ska buffra mot osäkerhet under ledtiden utan även osäkerhet under tiden för ett inspektionsintervall ( $T$ ) då nästa möjliga beställningstillfälle ligger  $T$  tidsenheter bort (Axsäter, 2006).

### 3.5 Överdrag

Alla beordringssystem bygger på att beställning sker när lagerpositionen nått t.ex. R enheter eller när täcktiden är ledtiden samt säkerhetstiden. Detta bygger dock på att endast uttag om en enhet i taget tillåts, annars riskerar lagerpositionen att hamna under given beställningspunkt eller beställningstidpunkt innan en order aktiveras (se figur 3-2). Det underskott som uppstår benämns som överdrag och kan leda till brister och lägre servicenivåer än planerat.



Figur 3-2 Illustration över verkliga beställningspunkter, vid uttag om fler enheter hamnar verkliga beställningspunkten (R) på -1 i figuren till höger.

För att kompensera för detta överdrag och således hålla den önskade servicenivån kan man sikta mot en högre servicenivå. Den metoden är dock lite svår att använda rent praktiskt då det kräver viss erfarenhet och intuition för att uppskatta hur mycket över den önskade servicenivån man ska sikta. En annan metod är att beräkna överdragets och justera beställningspunkten och säkerhetslagret med hjälp av beräkningar. Det mest användbara är att använda approximativa metoder som har härletts av Silver och Peterson (1985):

$$\mu_{\text{överdrag}} = \frac{\sigma^2 + \mu^2}{2\mu} - \frac{1}{2} \quad 3-27$$

$$\sigma_{\text{överdrag}} = \sqrt{\frac{\mu^3 + 3\sigma^2}{3} - \left(\frac{\sigma^2 + \mu^2}{2\mu}\right)^2 - \frac{1}{2}} \quad 3-28$$

I en studie av Stig-Arne Mattsson(2005) gjord med avseende på hur väl dessa approximativa metoder presterar framkom att medelöverdragets stämde väl vid simuleringar. Däremot fungerade formeln för överdragets standardavvikelse relativt dåligt och en bättre approximation gavs av att använda efterfrågans standardavvikelse per dag.

Då standardavvikelsen ej är additiv vid addition av normalfördelade stokastiska variabler blir den totala standardavvikelsen:

$$\sigma_{tot} = \sigma\sqrt{LT + 1}$$

3-29

### 3.6 Extremvärden

Vid behandling och analys av efterfrågedata finns det alltid efterfrågevärden som är exceptionellt större än normal förbrukning. Frågan är hur den typen av värden i praktisk lagerstyrning ska behandlas. Ska dessa värden ses som order vilka normalt ska kunna betjänas direkt från lager eller ska dessa vara beställningsorder och ej ingå i den normala lagerstyrningen. Extremvärden kan också uppstå vid manuella felinmatningar till systemet eller i samband med problem antingen med den praktiska lagerhanteringen eller vid systemproblem där order samlas till en viss tidpunkt.

Då tillgänglig efterfrågedata innehåller samtliga registrerade order eller uttag från lager antingen kontinuerligt eller periodiskt bör dessa värden exkluderas. Det handlar om order som är så stora att de bör specialbehandlas och rena felaktigheter.

Enligt Mattson (2007) så finns det ett antal förekommande metoder för att eliminera och exkludera dessa extremvärden. Den första metoden som används är att manuellt filtrera bort de värden som anses vara exceptionella och antingen är felinmatningar eller ej tillhör order som kan anses kunna betjänas direkt från lager. Den andra metoden är att använda statistisk filtrering och specialbehandla de order eller uttag som överskrider medelvärde med ett visst antal standardavvikelser.

Behandling av extremvärden kan ske på flera olika sätt. En metod är att exkludera tidsperioden då dessa order uppkom och således få data som är mer representativ för normalt varierande efterfrågan. En annan metod är att ersätta extremvärdet med antingen kontrollgränsens övre värde alternativt medelefterfrågan. I föregående studie i detta ämne (Mattson, 2011) valdes att ersätta alla efterfrågevärden som överskred medelvärde med tre standardavvikelser med medelvärde.



### 3.7 Tidigare studier

Tidigare studier som har gjorts inom detta område med att titta på olika metoder utanför de teoretiska metoderna för sättnings av säkerhetslager och hur dessa påverkar kapitalbindningen är få. Stig-Arne Mattssons rapport (2011a) om hur minskad kapitalbindning kan uppnås vid användning av säkerhetstid för att beräkna säkerhetslagrets storlek, istället för det vanligt använda säkerhetslagret med antal enheter, är kanske den första inom detta område.

Resultaten av Mattssons studie är att kapitalbindningen kan minskas med upp till 42 procent om man dimensionerar säkerhetslagret med säkerhetstid för samma orderradsservice som vid användning av fyllnadsgradservice. Ännu större differenser kan uppnås genom användning av bristkostnad som säkerhetsparameter.

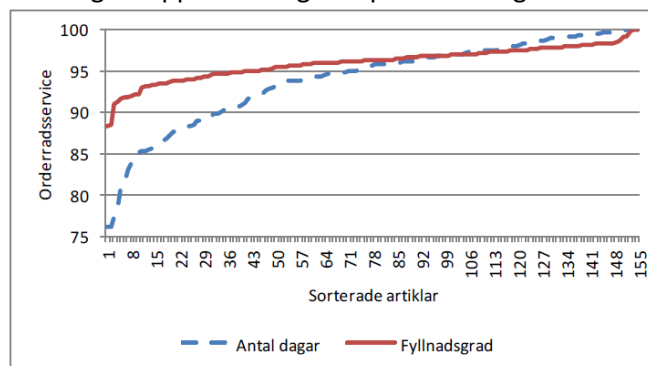
I Mattssons undersökning har fyra företag studerats. De studerade företagen verkar inom tillverkningsindustri och distributionsverksamhet.

Studiens syfte var att titta på artiklars erhållna servicenivå beroende på vilken metod och efterstavad leveransförmåga som används, samt inverkan på resultatet av orderstorlekar, ledtider och servicenivå i respektive metod.

Undersökningen behandlade fem olika metoder för säkerhetslagerdimensionering. Jämförda metoder var antal dagars efterfrågan, procent av efterfrågan under ledtiden, cykelservice, fyllnadsgrad och bristkostnad. Eftersträvd servicenivå var 97 procent. Simuleringar användes till för att nå upp till den eftersökta servicenivån som antingen beräknades genom volymvärdeservice, orderradsservice eller efterfrågeservice.

Resultaten av studien var att vid användning av tidsbaserad och bristkostnadsbaserad parameter för sättnings av säkerhetslagret uppnås en lägre kapitalbindning än

teoretiska antalsmetoder som fyllnadsgrad eller cykelservice. Studien visade att produkter med lågt pris och låg efterfrågevariation erhåller en högre servicenivå än den eftersträlvade, medan de dyrare produkterna med högre variation får en lägre servicenivå, se figur 3-3.



Figur 3-3 Grafisk illustration av Mattssons resultat vid differentieringen av artiklar med fyllnadsgrad med antal dagar som säkerhetslager med eftersträlvade system orderradsservicen av 97 procent.



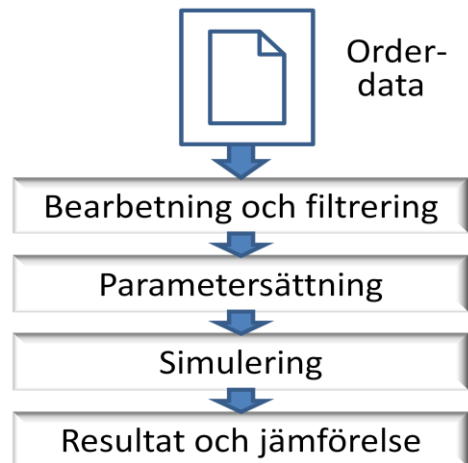
## 4 Tillvägagångssätt

*I detta kapitel beskrivs den verkliga arbetsprocessen övergripande, vilka metoder och angreppssätt som valts samt motivering till olika val som behövt göras under arbetets gång med stöd från referensramen som byggs upp av metodikkapitlet i rapporten.*

För att skapa en stabil teoretisk grund inom lagerstyrning och vad som tidigare gjorts inom ämnet av säkerhetslagerdimensionering och parametersättning gjordes en litteratursökning av tidigare och liknande studier. Detta för att skapa en bild av hur andra författare har angripit problemen, vilka deras källor var samt vilka avvägningar, antaganden och förenklingar som gjordes.

Efterföljande moment var en förinsamling av datamaterial för förståelse om vad som skulle kunna efterfrågas och vad som var möjligt att simulera på hos företagsdata. Den naturliga följden från analysen blev skapandet av simuleringsmodellen och modeller för parametersättning för återskapande av ett simulerat lagersystem med orderingångar, leveranser och beställningspunkter. Modeller verifierades genom manuell beräkning för slumpvist valda artiklar från förinsamlat datamaterial.

Nästkommade moment i studien var insamling av verklig företagsdata från besök på företag och uthämtning av datamaterial internt på PipeChain. Insamlat datamaterial var i behov av bearbetning och filtrering för att skapa en realistisk lagerföringsituation inför simulering av densamma. Data kom att filtreras genom manuell bortfiltrering och statistiska bortfiltreringsmetoder, se figur 4-1, med standardavvikelser och medelvärden.



Figur 4-1 Övergripande arbetsmetodik för studie av kapitalbindningen i säkerhetslagret.

För utökning av inhämtad datamängd och för att minska felsättningens inverkan av bland annat lagernivåers initialstarttillstånd eller olycklig inkommande orderfördelning kommer slumpgenerering att användas och slumpa fram ny orderhistorik över multipla tidsenheter. Resultaten från simuleringarna jämförs, utvärderas och analyseras genom undersökningsmodellen, se figur 4-2.

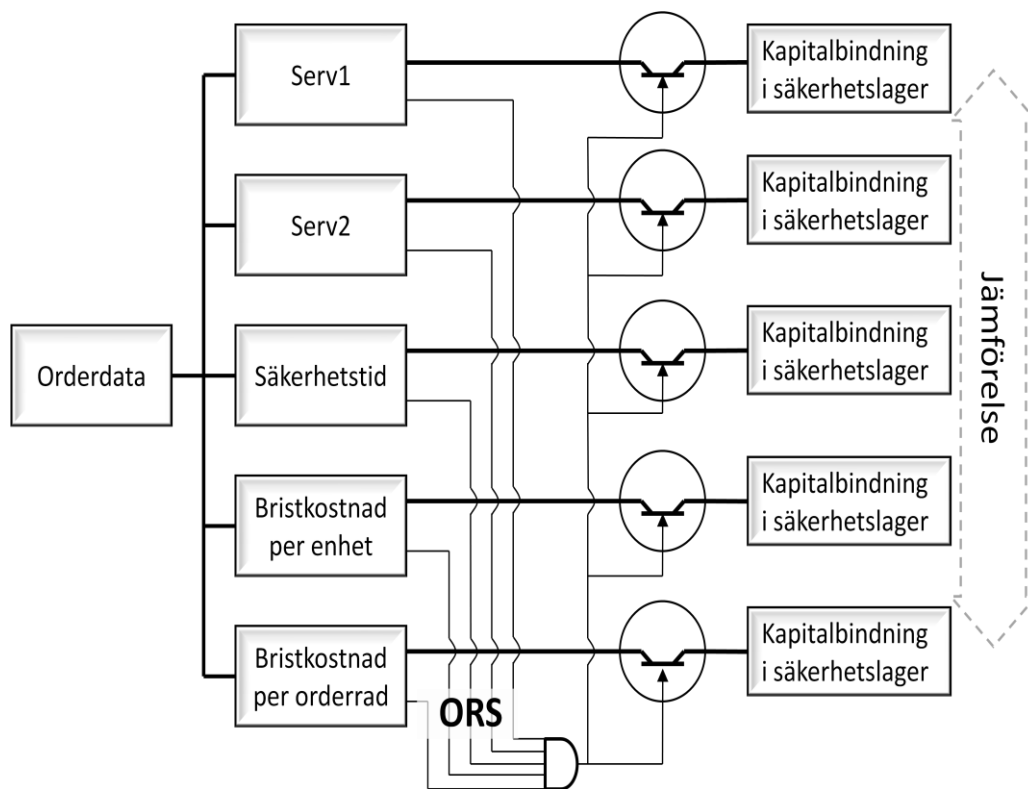
Simuleringsmodellen verifierades även genom användning av den verkliga orderhistoriken som senare samlades in från företagen, där samma ingående parametrar och orderhistorik gav samma totalkostnad som för företagen.

Resultaten och analysen från del 1 ligger sedan till grund för analys och framtagning av metoder för säkerhetslagerdimensionering i del 2. Metoderna testas sedan på befintlig orderhistorik och utvärderas.

Slutligen görs övergripande slutsatser över hela studien.

#### 4.1 Övergripande undersökningsmodell

Den övergripande undersökningsmodellen (se figur 4-2) bygger på att jämföra hur väl Serv1, Serv2, säkerhetstid och bristkostnad beräknat på två sätt presterar i förhållande till varandra med avseende på kapitalbindning vid dimensionering av säkerhetslager, givet samma erhållna servicenivå.



Figur 4-2 Schematisk bild över den övergripande undersökningsmodellen där kapitalbindningen jämförs vid samma erhållna orderradsservice (ORS) från flera dimensioneringsmetoder.

## 5 Simuleringsmodell och angreppssätt

---

*I detta kapitel behandlas bearbetningsprocessen av ingående data, hur simuleringsmodellen och parametermodellerna är uppbyggda, samt datakaraktistik för simulerade företag.*

---

### 5.1 Simuleringsmodell

Simuleringsmodellen består av en händelsedriven modell i programmet Matlab där man simulerar ett beställningspunktsystem av typen (R,Q) med fasta beställningspunkter och orderkvantiteter, givet ingående parametersättning. Det händelsedrivna inom modellen innebär att nästa transaktion i systemet blir nästa systemtidpunkt. En transaktion består utav antingen att ett uttag görs, en inleverans sker eller en kontroll av lagersaldot och eventuellt en påfyllnadsorder lägges. Inom scriptet finns det möjlighet att styra ifall kontroll av lagersaldo ska ske i samband med uttag och inleverans d.v.s. kontinuerligt eller ifall kontrollen ska periodiseras ex. varje dag.

### 5.2 Indata

Vid uppstart av systemet krävs inladdning av beställningspunkter, beställningskvantiteter samt ledtider för samtliga artiklar. Beställningspunkterna beräknas med matlab-script där parametern sätts och därefter returneras beställningspunkter för samtliga artiklar i systemet. Därefter laddas orderradshistorik in, antingen verklig eller slumpgenererad för att simulera systemet.

### 5.3 Parametersättningsmodeller

Modellerna för bestämning av beställningspunkter sker genom fem olika metoder. För samtliga simuleringsfall och metoder kommer överdrag att användas. Överdraget består av ekvation 3-27 för samtliga metoder samt 3-29 för samtliga metoder förutom tid.

#### 5.3.1 Serv1 och Serv2

Bestämning av beställningspunkter sker genom antagande om att dagsefterfrågans högra svans efterliknar en normalfördelnings relativt bra, grundat på studie av Mattsson (2011b). Studien visar att fallet även gäller för lågomsatta produkter. Därför kommer normalfördelning att användas för samtliga artiklar. Servicenivåerna beräknas genom användning av ekvationerna 3-10 och 3-15.  $S_1$  och  $S_2$  ökas iterativt med 0,05 procentenheter tills dess att systemet uppnår den eftersökta servicenivån. Ekvationerna bygger på medelefterfrågan, standardavvikelsen och ledtid per artikel där även Serv2 använder beställningskvantiteten.

### 5.3.2 Tid

Tidsparametern bestäms genom användning av medelvärdet samt ledtider per artikel. Genom att iterativt öka 0,1 dagar, se ekvation 3-7, tills dess att systemet uppnår den eftersökta servicenivån, fås tidsparametern i antal dagar.

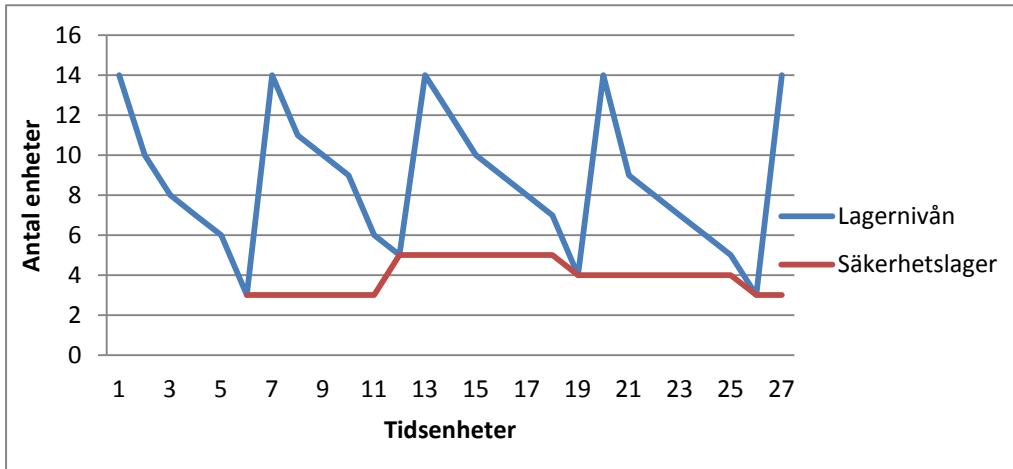
### 5.3.3 Bristkostnad

Kostnaden för brist beräknas genom att iterativt öka den fasta kostnaden för brist i ekvation 3-26 tills systemet överstiger den önskade servicenivån. Negativa beräknade beställningspunkter kommer att sättas till noll, då alla artiklar skall lagerföras. Att ha beställningspunkter som understiger noll innebär att kunder måste vänta tills fler kunder beställt produkten, vilket i viss mån strider mot att lagerföra en produkt.

För bristkostnadsberäkning kommer lagerföringskostnadsprocentsatsen att sättas till 20 procent då denna är svåruppskattad och den kommer inte att inverka på hur väl metoden presterar med avseende på kapitalbindning. Lagerföringskostnaden i procent påverkar endast ingående parametervärde till beräkningarna proportionellt mot procentsatsen.

## 5.4 Mätning av säkerhetslager

Säkerhetslagren beräknas genom avläsning av lagernivåerna vid inleveranser samt tidpunkter för dessa. Initial säkerhetslagernivå sätts till det teoretiska säkerhetslagret av beställningspunkten minus medelefterfrågan under ledtiden. Mellan två inleveranser ges säkerhetslagernivån av föregåendes värde, se figur 5-1. Lagernivåer vilka understiger 0 enheter vid inleverans kommer ge en säkerhetslagernivå av 0 enheter, vilket innebär att säkerhetslagret aldrig kan bli negativt.



Figur 5-1 Medelsäkerhetslagret för artikeln ovan är 4 enheter där lagernivån viktas genom antalet tidsenheter mellan inleveranserna.

## 5.5 Mätning av orderradsservice

Orderradsservice beräknas både per artikel och för hela systemet genom orderradshistorik över klarade och inte klarade orderrader. 97 procents orderradsservice kommer att användas som eftersökt servicenivå för samtliga simuleringsfall. Procentsatsen bygger på den mest förekommande servicenivån inom industrin och vad som har använts i tidigare studier.

## 5.6 Bearbetning av data

Inför simuleringarna sker bearbetning av all data för att ta bort uppenbara fel och data som är obrukbar. Detta gäller artiklar som saknar väsentlig information eller data som uppkommit genom den mänskliga felfaktorn. Både manuell och statistisk bearbetning genomförs.

Artikeldata som söks för att kunna användas vid beräkning och lagerstyrning är data med:

- **Relativt frekvent åtgång** – produkter vilka sällan efterfrågas finns oftast liten vinning i att lagerföra. Skulle fallet vara att produkten måste lagerföras kan detta göras genom enskild styrning och inte ingå i någon samlad lagerstyrningsmetod.
- **Rimliga kundorderkvantiteter** – exceptionellt stora differenser av orderkvantiteter är inte rimligt att behandla med vanlig lagerföring, då endast ett fåtal stora orderkvantiteter ger stora genomslag. Vid stora orderkvantiteter kan säkerligen en överenskommelse ske om uppdelning av leveranser eller produktion mot kundorder.

Data som inte uppfyller kraven ovan kommer att bortfiltreras genom de två huvudstegen, manuell och statistisk filtrering.

### 5.6.1 Manuell filtrering

För att få bort uppenbar felaktig data eller bristfällig data görs först en manuell filtrering av artiklarna. Bortfiltreringskriterierna för order och artiklar är:

- **Bristfällig kärninformation.** Om artikelparametrar är orimliga eller svåra att uppskatta, blir de till irrelevanta för studien. Kärninformation om artiklar är ledtider, beställningskvantiteter och pris.
- **Inmatningsfel.** Fel där ordernummer eller produktnummer är identiskt med orderkvantiteten.

### 5.6.2 Statistisk filtrering

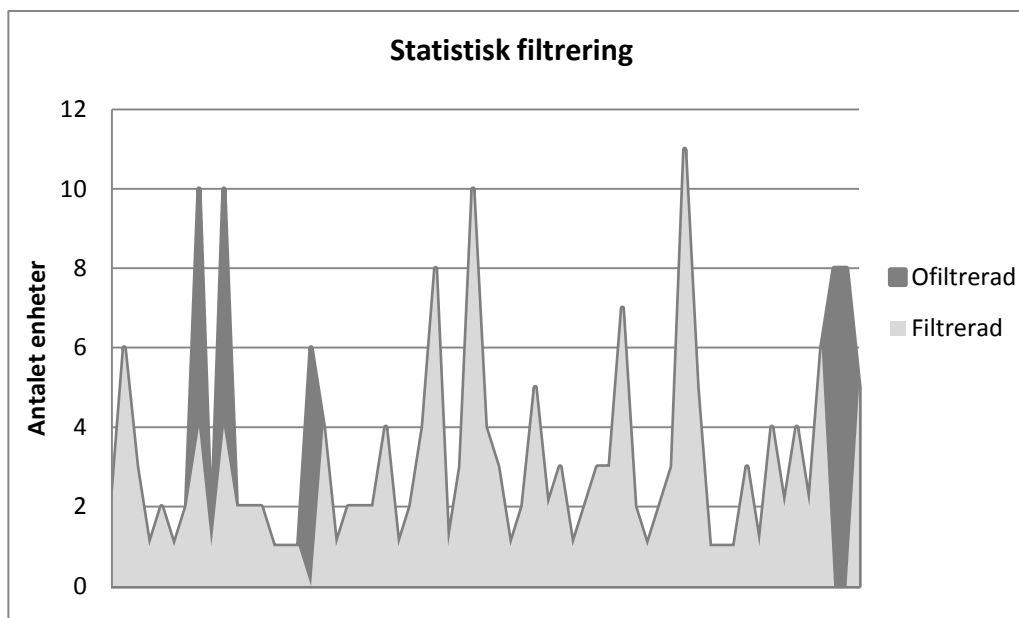
Artiklar och order med avvikelser mot önskad lagerstyrningskaraktäristik filtreras bort genom två statistiska filtreringsmetoder. Filtreringsmetoderna itereras tills dessa att inga kundorder överstiger den satta övre gräns som är fallspecifik för varje simuleringsföretag. Metoderna utförs i kommande följd.

**Stora kundorderkvantiteter** filtreras bort genom användning av medelkundorder och dess standardavvikelse per artikel. Kundorder som överstiger ordermedelvärdet plus en multipel av standardavvikelsen kommer att tas bort. Metoden filtrerar därmed bort kundorder vilka relativt sig själva har stora orderkvantiteter.



**Ojämn efterfrågan** filtreras bort genom användning av medelefterfrågestorleken och standardavvikelsen per dag och artikel. Kundorder vilka överstiger medelefterfrågan plus multipel av standardavvikelser per dag bortsorteras. Bortsorterade kundorder har en karakteristik som sker sällan i tiden och/eller relativt dagsefterfrågan i stora kvantiteter.

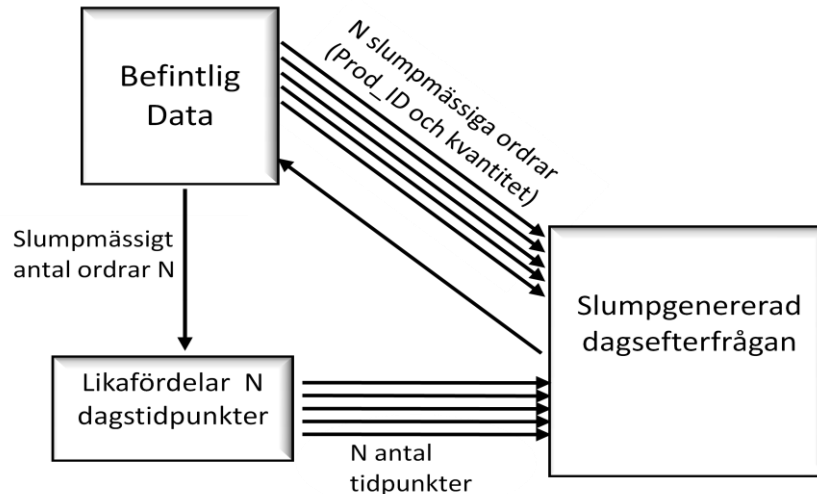
Exempel på den statistiska filtreringsmetodens bortsortering, se figur 5-2. Den mörkare ytan representerar dagsefterfrågan för en artikel i simuleringsfall 3. Vid bortfiltrering av stora kundorder som avviker mycket relativt artikelns karakteristik fås den ljusare ytan i figuren.



Figur 5-2 Bortfiltrering av stora kundorder från orderhistoriken genom två statistiska filtreringsmetoder.

## 5.7 Generering av data

För att säkerställa att det simulerade systemet blir stabilt och inte påverkas av de initiala lagernivåer som måste sättas i systemet vid uppstart, krävs simulering över en tidsperiod som innehåller tillräckligt många lagercykler för att ge tillförlitligt resultat med avseende på servicenivåer. Tillgänglig indata är i många fall ej tillräcklig för att erhålla den stabiliteten p.g.a. relativt långa ledtider och låg efterfrågan i förhållande till orderkvantiteten. För att undvika dessa problem har längre dataserier skapats från filtrerad originaldata genom bootstrapping (se figur 5-3).



*Figur 5-3 Schematisk princip för slumpgenerering av ny orderdata där dagsefterfrågan delas upp över dagen och slumpas ut över slumpmässiga dagar.*

För att säkerställa att ny data ej har några beroenden som kan påverka orderradsservice har slumpmässigt antal order  $N$  dragits från fördelningen av antal orderrader per dag hos grunddata. Därefter placeras de ut jämnt fördelade över den faktiska dagen, vilket leder till att orderrader ej inträffar samtidigt och således möjliggör bättre mätning av vilka orderrader som kan betjänas direkt från lager. När tidpunkterna är utplacerade tilldelas dessa med en slumpmässig order från grunddata med artikelnummer och tillhörande kvantitet.

## 5.8 Utdata

Systemet returnerar erhållen orderradsservice och efterfrågeservice för den simulerade dataserien både för enskilda artiklar och totalt för systemet. Systemet returnerar även säkerhetslagernivå och lagernivå både för enskilda artiklar och totalt för systemet.

## 6 Simuleringsföretagen

---

*I detta kapitel presenteras fem simuleringsfall där varje simuleringsfall är ett unikt företag. Kapitlet kommer bland annat behandla hur grunddata från företag har behandlats samt karaktistiken av använd data i varje simuleringsfall.*

---

### 6.1 Företagen

Medverkande företag i studien representerar flera branscher och har verksamhet inom alltifrån tillverkning till inköp och lagerföring. Företagen återfinns inom olika produktkategorier från dagligvaruhandel till mer kundspecifika produkter.

Gemensamma faktorn för samtliga företag är att de alla arbetar med färdiga slutprodukter till slutkonsumenter.

### 6.2 Simuleringsfall

För varje företag kommer ett unikt simuleringsfall att skapas där orderhistoriken filtreras med fallspecifika standardavvikelser. Utifrån filtrerade orderdata kommer ny orderhistorik att genereras för varje simuleringsfall och används i samtliga dimensioneringsmetoder.

### 6.2.1 Simuleringsfall 1

Tillverkande grossistföretag med detaljerad orderhistorik över tidpunkt och datum vid lagd order. Orderhistoriken sträcker sig över ett år. Data innehåller stort underlag av artiklar med artikeldata av ledtider, beställningskvantiteter och priser. Tillverkning sker i kontinuerlig 24 timmars produktion fem dagar i veckan. Stort underlag av artiklar totalt 860 artiklar. Policy om "Make to Order" sker vid produktion av färre än 12 enheter per år från grundorderhistoriken. Artikeldatakaraktistiken är väldigt spridd inom ett stort intervall där små eller inga korrelationer finns mellan priser, ledtider och beställningskvantiteter. Artiklarna efterfrågas relativt jämnt under hela året. Produktlivslängden är flera år för merparten av artiklarna.

#### Filtrering

De stora variationerna som finns inom aktuell orderhistorik och artikeldata medför att bortsorteringen genom statistiska metoder kommer att använda multiplerna av standardavvikelseerna enligt nedan:

Sorteringsmetodik	Använd multipel av standardavvikelse
Medelorderstorlek	3
Medelförbrukning per dag	6

Multipel vid bortsortering av medelförbrukning per dag relativt medelorderstorleken är lägre p.g.a. antalet enheter per order är stor samt frekvensen av inkommande order är medel till låg för en stor andel av artiklarna. För att inte sortera bort alla dessa artiklar och order används en högre multipel på bortsorteringen.

Resultatet av sorteringen resulterar i tabellen nedan.

- Antalet kvarvarande simulerade artiklar är 828 stycken

Tabell 6-1 Order och artikelkaraktistisk för simulering av företag 1

	Min	Max	Medel	Std	Median
Q (enheter)	1	1 100	33,04	63,9	12
Ledtid (dagar)	0,08	37,5	2	2	1,7
Medelvärde dagefterfrågan	0,02	228,6	2,7	10,4	0,6
Std dagefterfrågan	0,12	341,15	4,98	17,01	1,4
Std/Medel	0,36	13,05	2,9	2,0	2,3
Pris (kr)	5,29	16 087,6	987,5	1 316,5	741,6
Orderstorlek (enheter)	1	800	7,3	24,8	2

## 6.2.2 Simuleringsfall 2

Grossistföretag med detaljerad orderhistorik över datum och sekvens av inkommande order. Orderhistoriken består av två representativa månader för helårskaraktistik. Stort underlag av antal artiklar med artikeldata av ledtider, beställningskvantiteter och priser. Företaget har in och utleveranser under vardagar. Underlaget av artiklar är 3078 stycken och 66851 stycken orderrader där många är kundspecifika och sällan efterfrågade. Dessa order kommer att filtreras bort genom manuell filtrering. Återstående artikeldata har en medelstor spridning inom såväl ledtider, pris och kvantitet som frekvensen av efterfrågetillfällen.

### Filtrering

Variationerna inom aktuell orderhistorik och artikeldata medför att bortsorteringen genom statistiska metoder kommer att använda multiplerna av standardavvikelseerna enligt nedan:

Sorteringsmetodik	Använd multipel av standardavvikelse
Medelorderstorlek	3
Medelförbrukning per dag	3

Multipel för båda standardavvikelseerna är tre p.g.a. att artikelkaraktistiken av efterfrågan både per dag och order är relativt jämn. Större orderkvantiteter sker mer undantagsvis.

Resultatet av sorteringen resulterar i tabellen nedan.

- Antalet kvarvarande simulerade artiklar är 1942 stycken

Tabell 6-2 Order och artikelkaraktistik för simulering av företag 2

	Min	Max	Medel	Std	Median
Q (enheter)	1	80 000	515,95	2 940,7	48
Ledtid (dagar)	1	19	2,9	3,1	2
Medelvärde dagefterfrågan	0,1	1 135	7,7	40,2	1,1
Std dagefterfrågan	0,32	530	7,96	24,3	1,75
Std/Medel	0,3	6,6	2,0	0,8	1,9
Pris (kr)	0,06	2 181,9	132,09	262,4	26
Orderstorlek (enheter)	1	300	11,5	25,8	3

### 6.2.3 Simuleringsfall 3

Handelsföretag med detaljerad orderhistorik över datum och tidpunkt för lagd order. Orderhistoriken sträcker sig över 7 månader med stort underlag av antal artiklar med artikeldata av ledtider, beställningskvantiteter och priser. Underlaget av artiklar är 342 stycken och 42229 stycken orderrader där många är sällan efterfrågade. Återstående artikeldata har en medelstor spridning inom såväl ledtider, pris och kvantitet som frekvensen av efterfrågetillfällen.

#### Filtrering

Bortsorteringen av artikeldata och orderhistorik genom statistiska metoder kommer att använda multiplerna av standardavvikelseerna enligt nedan:

Sorteringsmetodik	Använd multipel av standardavvikelse
Medelorderstorlek	3
Medelförbrukning per dag	3

Relativt snäva multipler av standardavvikelse används p.g.a. likande order och artikelkaraktäristik.

Resultatet av sorteringen resulterar i tabellen nedan:

- Antalet slutligt simulerade artiklar är 261 stycken

Tabell 6-3 Order och artikelkaraktäristik för simulering av företag 4

	Min	Max	Medel	Std	Median
Q (enheter)	1	5 000	95	357	30
Ledtid (dagar)	1	51	11,1	6,8	10
Medelvärde dagesefterfrågan	0,01	22,5	1,3	2,1	0,7
Std dagesefterfrågan	0,11	33,05	2,02	2,8	1,2
Std/Medel	0,6	8,7	2,3	1,3	2,1
Pris (kr)	6	29 235	1771	3439	699
Orderstorlek (enheter)	1	70	1,4	1,6	1

#### 6.2.4 Simuleringsfall 4

Tillverkande företag inom livsmedelsbranschen med produktion fem dagar i veckan. Hög omsättningshastighet med korta ledtider på alla artiklar. Orderhistoriken består utav 15 månaders data. Artikelunderlaget är 48 stycken med relativt jämn medelefterfrågan per dag. Produkternas livslängd är kort. Beställningskvantiteter saknas och kommer att approximeras som två dagars medelefterfrågan vilket baseras på den höga omsättningshastigheten och korta ledtider av produkterna, samt produkternas korta livslängd. Medelefterfrågan från dessa två dagar kommer att avrundas uppåt till närmsta heltal då detaljer beställs i heltal. Orderhistoriken innehåller antal, datum och sekvens vid inkommande.

#### Filtrering

Bortsorteringen av artikeldata och orderhistorik genom statistiska metoder kommer att använda multiplerna av standardavvikelsena enligt nedan:

Sorteringsmetodik	Använd multipel av standardavvikelser
Medelorderstorlek	3
Medelförbrukning per dag	3

Relativt snäva multipler av standardavvikelser används p.g.a. likande order- och artikelkaraktistik.

Resultatet av sorteringen resulterar i tabellen nedan:

- Antalet slutligt simulerade artiklar är 39 stycken

Tabell 6-4 Order och artikelkaraktistik för simulering av företag 4

	Min	Max	Medel	Std	Median
Q (enheter)	1	51	11	11	8
Ledtid (dagar)	1	1	1	0	1
Medelvärde dagefterfrågan	0,03	23,8	3,8	5,0	2,1
Std dagefterfrågan	0,06	16,4	2,7	3,4	1,9
Std/Medel	0,6	4,7	1,4	1,2	0,8
Pris (kr)	159	6 650	4 395	1 582	4 494
Orderstorlek (enheter)	0,001	38	0,47	0,9	0,2

### 6.2.5 Simuleringsfall 5

Företaget är främst aktivt inom tillverkning av heminredningsprodukter. Stort underlag av antal artiklar och olika artikelkaraktistik. Orderhistoriken är sammanställd varje vecka under 1 år, där det inte går att utläsa tidpunkt. Återskapandet av mer verklighetsbaserad dataserie sker genom slumpgenerering där varje order placeras ut på slumpmässigt vald veckodag för 689 artiklar. Beställningskvantiteter saknas och kommer att uppskattas som två veckors medelefterfrågan. Medelefterfrågan från dessa två veckor kommer att avrundas uppåt till närmsta heltal då detaljer beställs i heltal.

#### Filtrering

Bortsorteringen av artikeldata och orderhistorik genom statistiska metoder kommer att använda multiplerna av standardavvikelseerna enligt nedan:

Sorteringsmetodik	Använd multipel av standardavvikelser
Medelorderstorlek	3
Medelförbrukning per dag	3

Relativt snäva multipler av standardavvikelser används p.g.a. likande order och artikelkaraktistik.

Resultatet av sorteringen resulterar i tabellen nedan:

- Antalet simulerade artiklar är 664 stycken

Tabell 6-5 Order och artikelkaraktistik för simulering av företag 5

	Min	Max	Medel	Std	Median
Q (enheter)	1	534	11	33	2
Ledtid (dagar)	1	51	6	9	1
Medelvärde dagefterfrågan	0,01	53,4	1,1	3,3	0,1
Std dagefterfrågan	0,04	22,3	0,9	1,9	0,24
Std/Medel	0,4	5,7	2,2	1,4	1,8
Pris (kr)	112	7 341	983,06	873,6	717,3
Orderstorlek (enheter)	1	100	2,4	2,5	2



### 6.3 Jämförbarhet mellan simuleringsfallen

För att möjliggöra jämförelse av dimensioneringsmetoderna mellan olika simuleringsfall måste samma inspektionsintervall och lagerstyrningsmetodik användas i simuleringsfallen.

Utgångspunkten för jämförelse mellan olika dimensioneringsmetoder kommer att utgå ifrån hur det nyutvecklade PipeChainsystemet kommer att arbeta. Systemet kommer att arbeta med periodisk inspektion av lagernivåer som hämtas från företagets lagerstyrningssystem. Inspektionsintervallet kommer att ske på dagsbasis.

Det periodiska inspektionsintervallet medför att beställningar från företaget också sker periodiskt.

För att starta upp ett lagersystem behöver initiala lagernivåer sättas. Som startvärden kommer  $R+(Q/2)$  att användas. För att minimera inverkan av att initiala lagernivåerna avviker mycket från när systemet blir stabilt kommer simuleringsperioden att genereras över 6000 dagar. Den långa orderserien kommer att minimera inverkan av eventuella avvikelser av lagernivåerna vid uppstartning.

### 6.3.1 Analys av artikel och orderdata

All grunddata som ingår i studien kommer från fem företag som är oberoende av varandra och inom olika marknader och branscher. Den gemensamma faktorn mellan företagen är att alla producerar eller tillhandahåller konsumentfärdiga produkter.

För fyra av simuleringsföretagen har en komplett orderhistorik av samtliga artiklar tillhandahållits. För det femte (simuleringsfall 3) hade ett urval av artiklar utifrån tillverkare, rörelsekod och pris gjorts av företaget. Det är omöjligt att utvärdera huruvida detta urval av artiklar är representativt för hela företaget. Karakteristiken för simuleringsfall 3 avviker dock inte signifikant från andra simuleringsfall och kan därmed anses vara representativt för företaget och ingå i studien.

Erhållen artikeldata från företagen var bristfällig i två simuleringsfall med avsaknad av beställningskvantiteter. I simuleringsfall 4 och 5 är dessa därför uppskattade, baserat på huvudkarakteristiken av ingående orderhistorik och artikelkarakteristik. Orderkvantiteterna är möjligen inte exakt de som används i företagen men bör ge en tillräckligt bra överensstämmelse mot vad som skulle kunna användas.

I simuleringsfall 4 innehar alla artiklar liknande karakteristik med avseende på efterfrågemönster och artikeldata vilket medför att antagandet ger en bra efterliknelse av beställningskvantiteterna. Metoden ger kanske inte lika bra överensstämmelse för lågfrekventa artiklar med stora kundorderkvantiteter i simuleringsfall 5. Här får artiklarna en beställningskvantitet som i en del fall är mindre än medelkundordern. Beställningarna kommer att läggas vid varje efterfrågetillfälle vilket minskar möjligheterna att klara kompletta orderrader. Detta inverkar på den totala servicenivån i samtliga dimensioneringsfall. Att låta dessa artiklar ingå i studien kan ifrågasättas då dessa kan anses tillverkas mot kundorder och inte ligga på lager. Dock avser studien att titta på alla artiklar och orderkvantiteter, vilka inte är oproportionerligt stora eller för lågfrekventa att ordarna ska tillverkas eller beställas mot kundorder. Var denna gräns går är svår att avgöra utan att gå in i varje specifikt fallföretag.

## 7 Resultat från simuleringsfallens dimensionering

---

*I detta kapitel presenteras simuleringsresultaten över kapitalbindningen från slumpgenererad orderhistorik för samtliga företag samt sammanställning av dimensioneringsmetodernas prestanda relativt varandra.*

---

### 7.1 Resultat per simuleringsfallen

För varje simuleringsfall presenteras dimensioneringsmetodens parametervärde för att uppnå önskad servicenivå, antalet enheter i säkerhetslager, totala värdet av säkerhetslagret samt snittvärdet för de enheter som placeras i säkerhetslagret. Resultaten är för erhållen 97 procents orderradsservice.

#### 7.1.1 Simuleringsfall 1

Resultaten från simuleringen (se tabell 7-1) visar att Serv1 ligger på samma parametervärde av 97 procent som erhålls i orderradsservice medan Serv2 behöver ett högre parametervärde på 99,4 procent för att uppnå den eftersökta servicenivån. Bland de andra dimensioneringsmetodernas parametervärden finns inga riktvärden för hur bra de presterar med hänsyn till erhållen servicegrad, då det i dagsläget inte finns någon korrelation mellan dess parametervärden och erhållen procentsats.

Antalet enheter i säkerhetslager för att uppnå 97 procent orderradsservice varierar mellan 11 192 till 14 662 enheter. Bristkostnad per orderrad dimensionerar minst antal och bristkostnad per enhet flest antal enheter i lager. Övriga metoder placerar sig i det lägre området av intervallet.

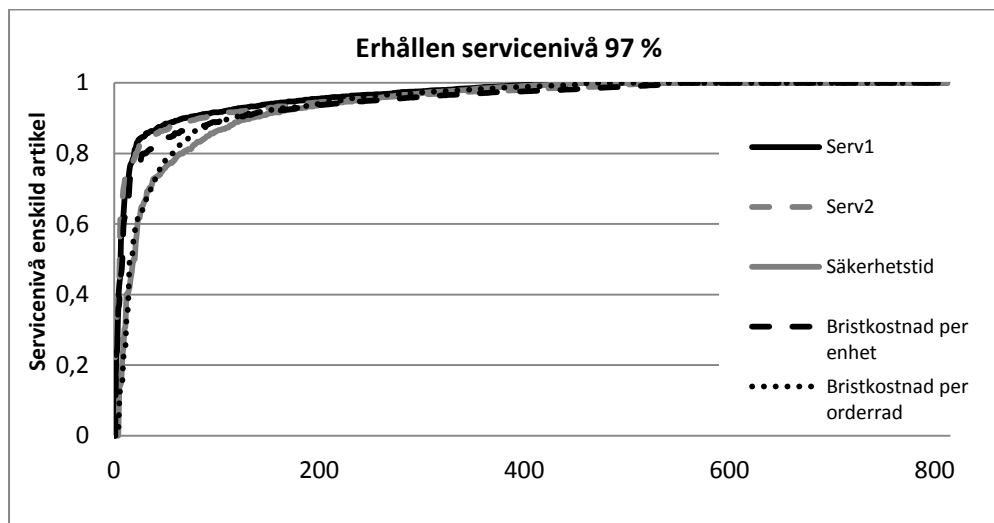
Värdet på totala antalet produkter som lagerförs i säkerhetslagret finns inom ett spann av drygt 1,2 miljoner kronor. Lägsta kapitalbindningen återfinns hos bristkostnad per orderrad på 6,3 miljoner och högst för bristkostnad per enhet på 7,5 miljoner, vilket korrelerar med resultatet av antalet enheter som lagerförs. Andra metoder ligger jämnt fördelade inom kapitalbindningsintervallet.

Snittvärdet för produkter, vilka placeras i säkerhetslagret varierar mellan 514 till 586 kronor där bristkostnad per enhet har det lägsta värdet och Serv1 det högsta. Övriga metoder placerar sig i den övre delen av intervallen med ett snittvärde mellan 562 till 576 kr.

Tabell 7-1 Resultatet från körning av de fem metoderna vid 97 procents erhållen orderradsservice.

	Parameter- värde	Antal enheter (st)	Värde (kr)	Snittvärde (kr)
<b>Serv1 (%)</b>	97	11 547	6 768 400	586
<b>Serv2 (%)</b>	99,4	12 415	7 149 100	576
<b>Säkerhetstid i dagar</b>	5,7	11 638	6 654 900	572
<b>Bristkostnad per enhet (kr)</b>	32 000	14 662	7 539 500	514
<b>Bristkostnad per orderrad (kr)</b>	180 000	11 192	6 286 500	562

Artiklarnas individuella orderradsservice tenderar att efterlikna varandra mellan alla dimensioneringsmetoderna, se figur 7-1. Alla dimensioneringsmetoderna kommer att få några artiklar med närmare noll i orderradsservice och för bristkostnadsmetoderna kommer fler artiklar att få en lägre servicenivå jämfört med de andra dimensioneringsmetoderna.



Figur 7-1 Sorterade artiklars orderradsservice plottad för respektive dimensioneringsmetod.

### 7.1.2 Simuleringsfall 2

Simuleringen av företag 2 (se tabell 7-2) visar att Serv1 ligger på en väldigt låg nivå på 50 procent medan Serv2 lyckas prestera nästan exakt mot vad som eftersökts, med 96,7 procent orderradsservice. För de andra dimensioneringsmetodernas parametervärden finns inga riktvärden för hur de presterar med hänsyn till erhållen servicegrad då det i dagsläget inte finns någon korrelation mellan dess parametervärden och erhållen procentsats.

Antalet enheter i säkerhetslagret varierar mycket mellan metoderna, skillnaden mellan min max är nästan 400 procent. Serv2 placerar minst antal i lager på 12 070 stycken enheter och bristkostnad per enhet flest på 60 076 enheter. Övriga dimensioneringsmetoder återfinns runt 23 000 enheter.

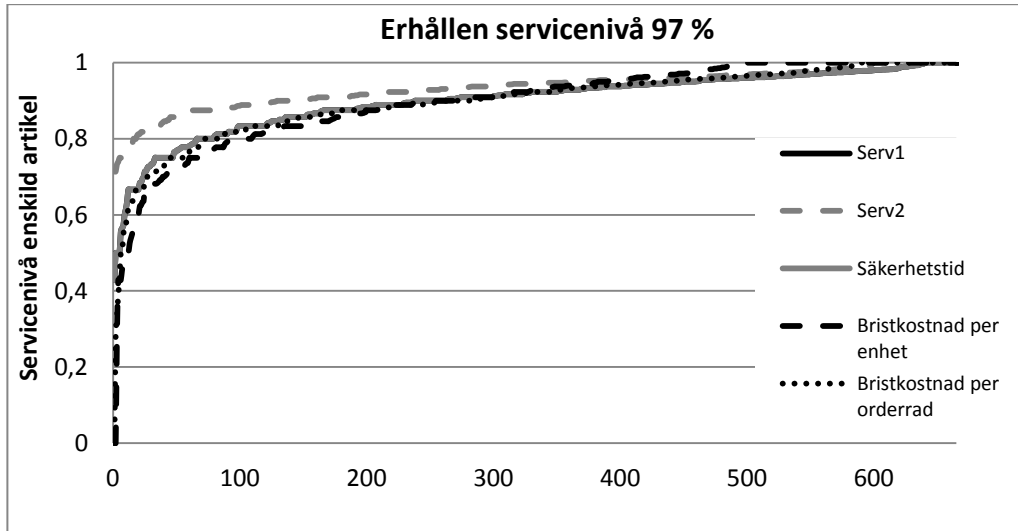
Totala värdet av produkter vilka lagerförs i säkerhetslagret varierar mellan 270 000 kronor till 470 000 kronor där medelvärdet för samtliga metoder är närmare 375 000 kronor. Lägsta kapitalbindningen ges av bristkostnad per orderrad och högsta av Serv2.

Snittvärdet för produkter vilka placeras i säkerhetslagret varierar mellan 6,7 till 39,3 kronor där bristkostnad per enhet har det lägsta värdet och Serv2 det högsta. Övriga metoder har ett snittvärde av 10 för bristkostnad per orderrad och 17,9 för Serv1 och säkerhetstid i dagar.

Tabell 7-2 Resultatet från körning av de fem metoderna vid 97 procents erhållen orderradsservice.

	Parametervärde	Antal enheter (st)	Värde (kr)	Snittvärde (kr)
<b>Serv1 (%)</b>	50	20 417	366 250	17,9
<b>Serv2 (%)</b>	96,7	12 070	474 420	39,3
<b>Säkerhetstid i dagar</b>	0,2	20 419	366 270	17,9
<b>Bristkostnad per enhet (kr)</b>	900	60 076	403 520	6,7
<b>Bristkostnad per orderrad (kr)</b>	2 800	27 282	272 490	10,0

Artiklarnas individuella orderradsservice tenderar att efterlikna varandra mellan merparten av dimensioneringsmetoderna med enda avvikelser från Serv2, vilket ger lägstnivån av 70 procent, se figur 7-2. För bristkostnadsmetoderna kommer artiklar att få en orderradsservice som är närmare noll för ett par artiklar medan säkerhetstid och Serv1 inte dimensionerar under 43 procent. Serv1 och säkerhetstid presterar lika för alla artiklar, därför syns inte Serv1-linjen.



Figur 7-2 Sorterade artiklars orderradsservice plottad för respektive dimensioneringsmetod.

### 7.1.3 Simuleringsfall 3

Varken Serv1 och Serv2 (se tabell 7-3) lyckas helt överensstämna med verkligt utfall av 97 procent orderradsservice där båda uppnår eftersökt nivå med ett lägre parametervärde. Serv2 är endast 1,4 procentenheter ifrån och Serv1 betydligt längre ifrån med 36 procentenheter. För de andra dimensioneringsmetodernas parametervärden finns inga riktvärden för hur bra de presterar med hänsyn till erhållen servicegrad då det i dagsläget inte finns någon korrelation mellan dess parametervärden och erhållen procentsats.

Totala antalet enheter i säkerhetslager som behövs för att uppnå eftersökt servicenivå varierar med cirka 1 300 enheter, där den bästa metoden med hänsyn till få enheter i lager är säkerhetstid i dagar med cirka 1 070 enheter.

Bristkostnadsmetoderna ger flest enheter i säkerhetslager med cirka 2 370 enheter för båda metoderna.

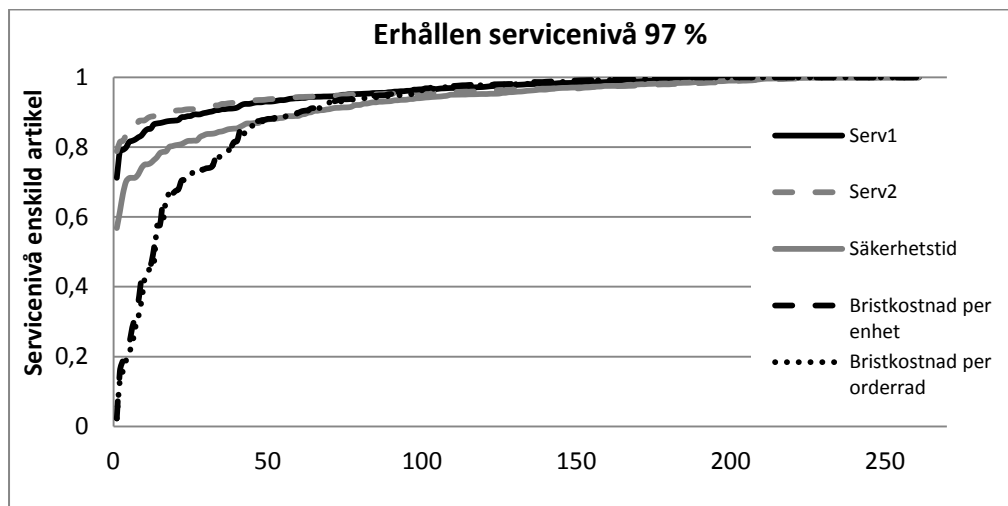
Den lägsta kapitalbindningen för systemet ges av bristkostnad per orderrad och bristkostnad per enhet på cirka 720 000 kronor. Resterande metoder ger en kapitalbindning mellan 1 och 1,3 miljoner kronor.

Snittvärdet per produkt avspeglar kapitalbindningen väl för respektive dimensioneringsmetod där bristkostnadsmetoderna har lägst snittvärde och Serv2 högst.

Tabell 7-3 Resultatet från körning av de fem metoderna vid 97 procents erhållen orderradsservice.

	Parametervärde	Antal enheter (st)	Värde (kr)	Snittvärde (kr)
Serv1 (%)	61	1 177	1 167 600	992
Serv2 (%)	95,6	1 269	1 306 900	1 030
Säkerhetstid i dagar	1	1 068	1 031 000	965
Bristkostnad per enhet (kr)	17 000	2 371	723 170	305
Bristkostnad per orderrad (kr)	16 000	2 370	722 720	305

Artiklarnas individuella orderradsservice varierar mycket mellan olika dimensioneringsmetoder, se figur 7-3. Bristkostnadsmetoderna kommer att ge artiklar en orderradsservice närmare noll för ett par artiklar medan de statistiska dimensioneringsmetoderna Serv1, Serv2 samt tid inte dimensionerar under 55 procent. Serv2 ger den jämnaste servicenivån.



Figur 7-3 Sorterade artiklars orderradsservice plottad för respektive dimensioneringsmetod.

#### 7.1.4 Simuleringsfall 4

Statistiska metoderna Serv1 och Serv2 lyckas inte överensstämma med verkligt utfall av 97 procent orderradsservice (se tabell 7-4) där Serv1 behöver ett parametervärde på 82 procent medan Serv2 95 procent för att uppnå eftersökt servicenivå. För de andra dimensioneringsmetodernas parametervärden finns inga riktvärden för hur bra de presterar med hänsyn till erhållen servicegrad då det i dagsläget inte finns någon korrelation mellan dess parametervärden och erhållen procentsats.

Totala differensen mellan de olika metodernas antal enheter i säkerhetslager är små, med differenser av cirka 10 procent mellan högsta och lägsta, vilket motsvarar 40 enheter. Bristkostnad per orderrad placerar minst antal enheter i säkerhetslager medan bristkostnad per enhet placerar flest.

Likt antalet enheter i säkerhetslager följer kapitalbindningen samma mönster med att bristkostnad per orderrad har lägsta kapitalbindningen och bristkostnad per enhet högst.

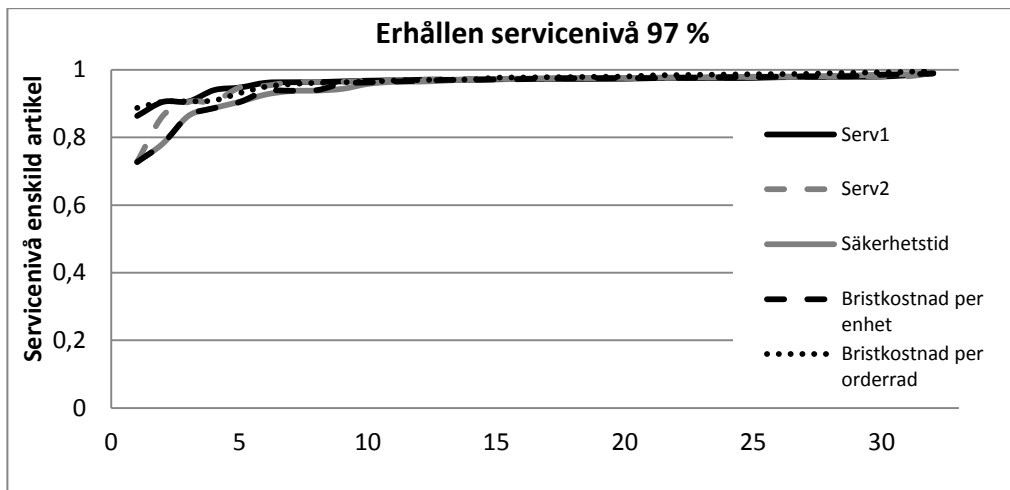
Dimensioneringsmetodernas snittvärde följer inte samma mönster som för kapitalbindningen och antalet enheter i säkerhetslager, då bristkostnad per enhet har lägst pris och säkerhetstid högst. Snittvärdena för de olika dimensioneringsmetoderna är väldigt samlade runt 4 825 kronor med avvikelse av cirka 1 procent upp och ner.

Tabell 7-4 Resultatet från körning av de fem metoderna vid 97 procents erhållen orderradsservice.

	Parametervärde	Antal enheter (st)	Värde (kr)	Snittvärde (kr)
<b>Serv1 (%)</b>	82	396	1 913 300	4 831
<b>Serv2 (%)</b>	95	412	1 981 700	4 810
<b>Säkerhetstid i dagar</b>	1,25	399	1 935 000	4 849
<b>Bristkostnad per enhet (kr)</b>	14 000	417	1 993 300	4 780
<b>Bristkostnad per orderrad (kr)</b>	6 600	377	1 828 100	4 849

Artiklarnas individuella orderradsservice ligger för samtliga dimensioneringsmetoder över 70 procent, se figur 7-4. Artiklar med lägst individuell orderradsservice ges av metoderna bristkostnad per enhet, Serv2 och säkerhetstid.





Figur 7-4 Sorterade artiklars orderradsservice plottad för respektive dimensioneringsmetod.

### 7.1.5 Simuleringsfall 5

Serv1 och Serv2 lyckas inte helt överensstämna med verkligt utfall av 97 procent orderradsservice (se tabell 7-5) där båda metoderna behöver en högre procentsats än erhållen. Parametervärdet för Serv1 är endast 1,3 procentenheter ifrån medan Serv2 behöver höga 99,86 procent. För de andra dimensioneringsmetodernas parametervärden finns inga riktvärden för hur bra de presterar med hänsyn till erhållen servicegrad då det i dagsläget inte finns någon korrelation mellan dess parametervärden och erhållen procentsats.

Antalet enheter som placeras i säkerhetslager är flest för säkerhetstid i dagar med 3 905 enheter. Detta motsvarar 909 fler enheter än den dimensioneringsmetod med näst flest enheter i säkerhetslager. Minst antal enheter placerar de statistiska dimensioneringsmetoderna.

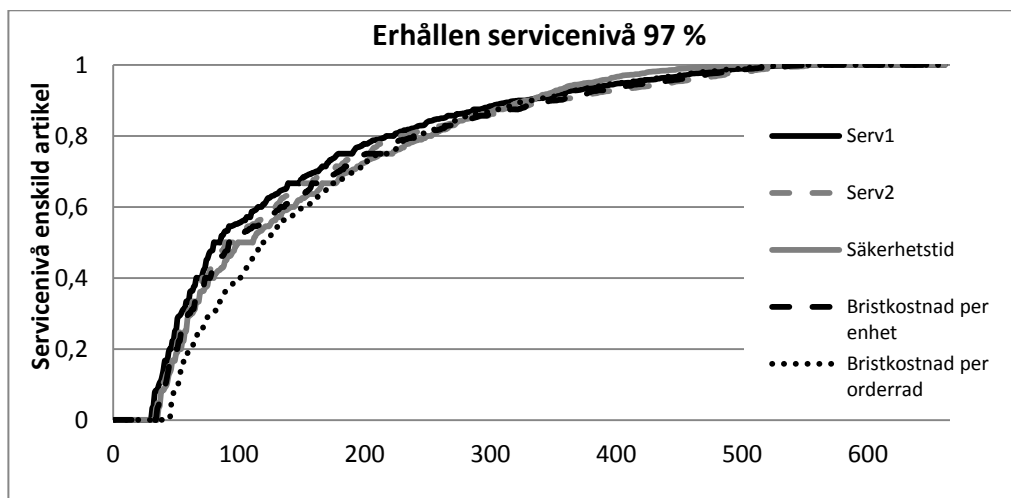
Säkerhetstid har högst värde i säkerhetslager med 2,4 miljoner kronor medan bristkostnad per enhet har 1,74 miljoner kronor som är den lägsta kapitalbindningen bland metoderna.

Snittvärdet för produkter i säkerhetslager varierar mellan 615 kronor för säkerhetstid i dagar till 667 kronor för Serv2.

Tabell 7-5 Resultatet från körning av de fem metoderna vid 97 procents erhållen orderradsservice.

	Parametervärde	Antal enheter (st)	Värde (kr)	Snittvärde (kr)
Serv1 (%)	98,3	2 756	1 814 300	658
Serv2 (%)	99,86	2 746	1 832 900	667
Säkerhetstid i dagar	5,7	3 905	2 402 100	615
Bristkostnad per enhet (kr)	76 000	2 786	1 742 000	625
Bristkostnad per orderrad (kr)	600 000	2 996	1 867 200	623

De individuella artikelorderradsservicenivåerna är väl differentierade för samtliga dimensioneringsmetoder, se figur 7-5. Samtliga metoder ger liknande karakteristik där flera artiklar ges orderradsservicen noll samtidigt som cirka 100 artiklar ges orderradsservicen 100 procent.



Figur 7-5 Sorterade artiklars orderradsservice plottad för respektive dimensioneringsmetod.

## 7.2 Resultat per dimensioneringsmetod

För varje dimensioneringsmetod sammanställs dess kapitalbindning relativt andra dimensioneringsmetoder för samtliga simuleringsfall. Detta för att skapa en överskådlig bild av metodens relativa kapitalbindning i säkerhetslager.

För varje dimensioneringsmetod sammanställs kapitalbindningen (värde) i tabellerna relativt max och min. Där max är den högsta kapitalbindningen i simuleringsfallet och min är den lägsta. Värde relativt max på minus 10 procent innebär således att metoden har en kapitalbindning som är 10 procent lägre än metoden med högst. Vid värde relativt min på 10 procent innebär således att metoden har en kapitalbindning som är 10 procent högre än metoden med lägst.

### 7.2.1 Serv1

Parametervärdet för Serv1 (se tabell 7-6) varierar från 50 till 98,3 procent. Vid två tillfällen hamnar servicenivån mindre än 1,5 procentenheter från parametervärdet varav ett tillfälle ges exakt samma. Kapitalbindningen i säkerhetslager för Serv1-metoden varierar med en ökning på mellan 4,2 till 34,4 procent jämfört med metoden med lägst kapitalbindning.

Tabell 7-6 Sammanställda resultat över alla simuleringar av prestandan av Serv1.

	Parametervärde	Värde relativt	
		Max	Min
Simuleringsfall 1	97	-10,2 %	7,7 %
Simuleringsfall 2	50	-22,8 %	34,4 %
Simuleringsfall 3	83.5	-2,1 %	40,0 %
Simuleringsfall 4	82	-4,0 %	4,7 %
Simuleringsfall 5	98.3	-24,5 %	4,2 %

Metoden ger artiklar med 100 eller väldigt nära 100 procent orderradsservice i samtliga simuleringsfall, se tabell 7-7. Den lägsta servicenivån varierar från 0 till 86 procent. Den oviktade medelservicenivån för alla artiklar är nära 96,5 procent i de första fyra simuleringsfallen med standardavvikelse lägre än 10 procentenhet. För simuleringsfall 5 är medelservicenivån cirka 80 procent och har en större varians.

Tabell 7-7 Karakteristik av individuella artiklars orderradsservice.

	Min	Max	Medel	Std
Simuleringsfall 1	71 %	100 %	96,1 %	4,79 %
Simuleringsfall 2	43 %	100 %	96,6 %	6,86 %
Simuleringsfall 3	0 %	100 %	96,5 %	7,85 %
Simuleringsfall 4	86 %	99 %	96,4 %	2,62 %
Simuleringsfall 5	0 %	100 %	79,5 %	26,8 %

### 7.2.2 Serv2

Parametervärdet för den statistiska dimensioneringsmetoden Serv2 (se tabell 7-8) varierar mellan 95,6 till 99,86 procent. Största avvikelserna mellan erhållen servicenivå och parametervärdet är 2,86 procentenheter där minsta avvikelserna är 0,3 procentenheter. Kapitalbindningen i säkerhetslager för Serv2-metoden varierar med en ökning på mellan 5,2 till 74,1 procent jämfört med den dimensioneringsmetod med lägst kapitalbindning.

Tabell 7-8 Sammanställda resultat över alla simuleringar av prestandan av Serv2.

	Parametervärde	Värde relativt	
		Max	Min
Simuleringsfall 1	99.4	-5,2 %	13,7 %
Simuleringsfall 2	96.7	0,0 %	74,1 %
Simuleringsfall 3	94.8	0,0 %	43,0 %
Simuleringsfall 4	95	-0,6 %	8,4 %
Simuleringsfall 5	99.86	-23,7 %	5,2 %

Metoden ger artiklar med 100 eller väldigt nära 100 procent orderradsservice i samtliga simuleringsfall, se tabell 7-9. Den lägsta servicenivån är 0 procent i ett fall och varierar sedan mellan 22 till 79 procent. Den oviktade medelservicenivån för alla artiklar varierar lite för de fyra första simuleringsfallen där ett simuleringsfall har 97,7 procent och resterande har närmare 96 procent. Standardavvikelserna är lägre än 10 procentenheter för dessa fallen. För simuleringsfall 5 är medelservicenivån cirka 78 procent och har en mycket större varians.

Tabell 7-9 Karakteristik av individuella artiklars orderradsservice.

	Min	Max	Medel	Std
Simuleringsfall 1	79 %	100 %	96,0 %	3,71 %
Simuleringsfall 2	71 %	100 %	97,7 %	4,32 %
Simuleringsfall 3	22 %	100 %	96,0 %	7,12 %
Simuleringsfall 4	73 %	99 %	95,8 %	4,94 %
Simuleringsfall 5	0 %	100 %	77,9 %	27,3 %

### 7.2.3 Tid

Parametervärdet för säkerhetstid (se tabell 7-10) varierar från 0,2 till 5,7 dagar för att uppnå en servicenivå av 97 procent orderradsservice. Kapitalbindningen i säkerhetslager varierar med en ökning på 5,3 till 37,9 procent jämfört med metoden med lägst kapitalbindning.

Tabell 7-10 Sammanställda resultat över alla simuleringar av prestandan av tid.

	Parametervärde	Värde relativt	
		Max	Min
Simuleringsfall 1	5.7	-11,7%	5,9%
Simuleringsfall 2	0.2	-22,8%	34,4%
Simuleringsfall 3	3.8	-26,3%	5,3%
Simuleringsfall 4	1.25	-2,9%	5,8%
Simuleringsfall 5	5.7	0,0%	37,9%

Metoden ger artiklar med 100 eller väldigt nära 100 procent orderradsservice i samtliga simuleringsfall, se tabell 7-11. Den lägsta servicenivån är mellan 0 till 73 procent. Den oviktade medelservicenivån för alla artiklar varierar lite i de fyra första simuleringsfallen där tre simuleringsfall har nära 94 procent i servicenivå och ett simuleringsfall 96,6 procent. Standardavvikelserna överstiger inte 15 procentenheter i något av dessa fallen. I simuleringsfall 5 är medelservicenivån cirka 78 procent samt har en större varians.

Tabell 7-11 Karakteristik av individuella artiklars orderradsservice.

	Min	Max	Medel	Std
Simuleringsfall 1	57 %	100 %	93,3 %	7,71 %
Simuleringsfall 2	43 %	100 %	96,6 %	6,86 %
Simuleringsfall 3	0 %	100 %	94,0 %	1,31 %
Simuleringsfall 4	73 %	99 %	94,9 %	5,93 %
Simuleringsfall 5	0 %	100 %	77,7 %	2,87 %

#### 7.2.4 Bristkostnad per enhet

Parametervärdet för bristkostnad per enhet (se tabell 7-12) varierar från 900 till 76 000 kronor. Kapitalbindningen i säkerhetslagren för dimensionering med metoden bristkostnad per enhet varierar med en ökning på 0 till 48,1 procent jämfört med metoden med lägst kapitalbindning.

Tabell 7-12 Sammanställda resultat över alla simuleringar av prestandan av bristkostnad per enhet.

	Parametervärde	Värde relativt	
		Max	Min
<b>Simuleringsfall 1</b>	32 000	0,0 %	19,9 %
<b>Simuleringsfall 2</b>	900	-14,9 %	48,1 %
<b>Simuleringsfall 3</b>	17 000	-27,9 %	3,1 %
<b>Simuleringsfall 4</b>	14 000	0,0 %	9,0 %
<b>Simuleringsfall 5</b>	76 000	-27,5 %	0,0 %

Metoden ger artiklar med 100 eller väldigt nära 100 procent orderradsservice i samtliga simuleringsfall, se tabell 7-13. Den lägsta servicenivån är nästan noll i fyra simuleringsfall och 73 procent i ett fall. Den oviktade medelservicenivån för alla artiklar varierar lite i de fyra första simuleringsfallen med en servicenivå som överstiger 91,5 procent i samtliga fall. Den högsta medelservicenivån sker i simuleringsfall 2 med 96,5 procent. Standardavvikelsena överstiger inte 17 procentenheter i något av dessa fallen. I simuleringsfall 5 är medelservicenivån cirka 78 procent samt har en större varians.

Tabell 7-13 Karakteristik av individuella artiklars orderradsservice.

	Min	Max	Medel	Std
<b>Simuleringsfall 1</b>	2 %	100 %	91,5 %	16,6 %
<b>Simuleringsfall 2</b>	0 %	100 %	96,5 %	8,61 %
<b>Simuleringsfall 3</b>	0 %	100 %	95,1 %	8,71 %
<b>Simuleringsfall 4</b>	73 %	99 %	95,0 %	5,92 %
<b>Simuleringsfall 5</b>	0 %	100 %	77,5 %	27,8 %

### 7.2.5 Bristkostnad per orderrad

Parametervärdet för bristkostnad per orderrad (se tabell 7-14) varierar från 2 800 till 600 000 kr. Kapitalbindningen i säkerhetslager för bristkostnad per orderrad är lägst i fyra av fem simuleringsfall.

Tabell 7-14 Sammanställda resultat över alla simuleringar av prestandan av bristkostnad per orderrad.

	Parametervärde	Värde (kr) relativt	
		Max	Min
Simuleringsfall 1	180 000	-16,6 %	0 %
Simuleringsfall 2	2 800	-42,6 %	0 %
Simuleringsfall 3	16 000	-30,0 %	0 %
Simuleringsfall 4	6 600	-8,3 %	0 %
Simuleringsfall 5	600 000	-22,3 %	7,2 %

Metoden ger artiklar med 100 procent orderradsservice i samtliga simuleringsfall, se tabell 7-15. Den lägsta servicenivån är nästan noll i fyra simuleringsfall och 89 procent i ett fall. Den oviktade medelservicenivån för alla artiklar varierar lite i de fyra första simuleringsfallen med en servicenivå som överstiger 91,1 procent. I simuleringsfall 2 och 4 är servicenivån ungefär 96,5 procent. Standardavvikelseerna överstiger inte 17,1 procentenheter i något av de första fyra simuleringsfallen. I simuleringsfall 5 är medelservicenivån cirka 76 procent samt har en större varians.

Tabell 7-15 Karakteristik av individuella artiklars orderradsservice.

	Min	Max	Medel	Std
Simuleringsfall 1	2 %	100 %	91,1 %	17,1 %
Simuleringsfall 2	0 %	100 %	96,5 %	7,67 %
Simuleringsfall 3	0 %	100 %	94,4 %	13,0 %
Simuleringsfall 4	89 %	100 %	96,7 %	2,87 %
Simuleringsfall 5	0 %	100 %	76,1 %	30,3 %



## 8 Analys av dimensioneringsmetoder

I detta kapitel presenteras analyser över dimensioneringsmetodernas kapitalbindning och lagerdimensionering från de olika simuleringsfallen samt en analys över metodernas användbarhet.

### 8.1 Analys avseende kapitalbindning

Kapitalbindningen i säkerhetslagren varierar mycket mellan dimensioneringsmetoderna, se tabell 8-1. Den största differensen mellan två ytterligheter av dimensioneringsmetoder sker i simuleringsfall 3, där metoden med högst kapitalbindning binder 81 procent mer än den med lägst. I simuleringsfall 2 är samma differens mellan två dimensioneringsmetoder 74 procent.

Tabell 8-1 Sammanfattning av relativ kapitalbindning vid dimensionering med de olika metoderna.

	Serv1	Serv2	Säkerhets tid	Bristkostnad (enhet)	Bristkostnad (orderrad)
Simuleringsfall 1	8%	14%	6%	20%	0%
Simuleringsfall 2	34%	74%	34%	48%	0%
Simuleringsfall 3	62%	81%	43%	0%	0%
Simuleringsfall 4	5%	8%	6%	9%	0%
Simuleringsfall 5	4%	5%	38%	0%	7%

Den mätbara karakteristiken för ett säkerhetslager är antalet enheter samt ett snittpris. Dessa två mätetal i kombination ger kapitalbindningen, där ett lågt snittpris prioriterar att hålla hög servicenivå för billigare produkter.

#### 8.1.1 Serv1

Dimensionering av säkerhetslager med Serv1 med avseende på kapitalbindning över alla simuleringsfallen är relativt jämn i hur den presterar gentemot andra dimensioneringsmetoder. Metoden ger i samtliga fall en kapitalbindning i medel och lägre intervallet av de andra metodernas kapitalbindning i säkerhetslager.

Antalet lagerförda enheter som placeras i säkerhetslager för att uppnå en erhållen orderradsservicenivå av 97 procent är väldigt likt antalet för säkerhetstid i dagar. Avvikelsen mellan metoderna sker i simuleringsfall 5 där Serv1 placerar betydligt färre enheter i lager.

Av de produkter som placeras i säkerhetslager har enheterna ett snittvärde som i relation till de andra dimensioneringsmetoderna är bland de högre i samtliga simuleringsfall.

### 8.1.2 Serv2

Genom dimensionering med Serv2 fås en kapitalbindning vilken är bland de högsta i samtliga simuleringsfall. I två av simuleringsfallen är metoden den klart dyraste metoden.

Antalet enheter vilka placeras i säkerhetslager varierar mellan de olika dimensioneringsmetoderna. Metoden placerar överlag färre antal enheter i säkerhetslager i relation till de andra dimensioneringsmetoderna.

Trots att metoden dimensionerar med färre antal enheter i säkerhetslager korrelerar inte detta mot kapitalbindningen som är i det övre intervallet i samtliga simuleringar. Detta beror på att snittvärdet för enheterna som placeras i säkerhetslager är bland de högsta i samtliga fem simuleringsfallen.

### 8.1.3 Säkerhetstid

I merparten av simuleringsfallen dimensionerar säkerhetstid bättre än de statistiska metoderna med avseende på kapitalbindningen. Undantaget är simuleringsfall 5 där metoden är klart den dyraste metoden att dimensionera med.

Säkerhetstid med avseende på antalet enheter i säkerhetslager varierar från att vara den metod med minst antal enheter till att ha absolut flest. Förutom extremfallet i simuleringsfall 5 när säkerhetstid placerar flest antal enheter i säkerhetslager finns starka korrelationer till antalet enheter Serv1 placerar och säkerhetstid placerar. I flera simuleringsfall skiljer det endast ett fåtal enheter mellan metoderna. I extremfallet skiljer det 10 procent i antalet enheter i säkerhetslager mellan dimensioneringsmetoderna.

Snittvärdet av de enheter säkerhetstid dimensionerar i säkerhetslager varierar mycket från simuleringsfall till simuleringsfall. Metoden har det lägsta snittpriset i ett simuleringsfall, högst i nästa och i medelhög i relation till de andra dimensioneringsmetoderna.

Tendenserna av att metoden presterar mycket bra i vissa simuleringsfall och inte i andra kan bero på sammansättningen av data. Dock är det tveksamt om detta är enda orsaken till de stora variationerna av resultaten och ytterligare analys behövs för att klarlägga detta.

#### 8.1.4 Bristkostnad per enhet

Bristkostnad per enhet har den absolut lägsta kapitalbindningen i ett av simuleringsfallen och i ett fall en höjning med 0,1 procent jämfört med lägsta värdet. I resterande tre simuleringsfall är kapitalbindningen för dimensioneringsmetoden antingen den högsta eller bland de högsta.

Generellt dimensionerar metoden flest antal enheter i säkerhetslager för att uppnå en viss servicenivå ut mot kunderna. Anledningen till att många enheter placeras i säkerhetslager är att i simuleringsfallen finns negativ korrelation mellan pris och efterfrågan.

Metoden kommer alltid att dimensionera mot att minimera lagerkostnaden gentemot sannolikheten att brist uppkommer. Genom att sätta en generell brist per enhet kommer dimensioneringsmetoden att försöka lagerföra enheter med lågt pris framför enheter med högre pris vilket genomlyser alla simuleringar där snittpriset per enhet är det lägsta i de flesta fall. Då bristkostnaden i relation till artikelpriset blir större för enheter med lägre produktpris än dyrare artiklar kommer de billigare artiklarna att ha en högre individuell orderradsservice än dyrare artiklar.

Att metoden inte ger den lägsta kapitalbindningen trots att ekonomisk hänsyn tas till enheters pris och minimering av total kostnad beror på den eftersökta serviceförmågan. Eftersökt service från företagen är orderradsservice vilket metoden inte tar hänsyn till utan bara att tillgodose viss procentandel av antalet enheter. Problematiken, vilken finns hos de flesta dimensioneringsmetoder, ligger i att vid icke kompletta orderrader kommer servicenivån att bli noll även om man kan tillgodose 99 procent av orderraden.

#### 8.1.5 Bristkostnad per orderrad

Samtliga simuleringsfall ger entydiga resultat att bristkostnadsmetoderna ger lägsta totala systemkapitalbindningen. Bristkostnad per orderrad ger i fyra fall lägst kapitalbindning. I fallet där bristkostnad per enhet presterar bäst är differensen till denna metod 7 procent.

Anledningen till att metoden presterar i topp vad det gäller att uppnå en viss orderradsservicenivå med avseende på att hålla en låg kapitalbindning är att den tar hänsyn till antalet enheter per orderrad. Metoden minimerar den förväntade kostnaden för att lagerhålla ett antal snittorderrader gentemot bristsannolikheten för en snittorderrad.

För antalet enheter i säkerhetslager ger metoden lägst antal i två simuleringsfall vilket beror på sammansättningen av orderraderna, samt pris per orderrad.

## 8.2 Analys avseende användbarhet

Bland de olika dimensioneringsmetoderna är det olika svårt att sätta den dimensionerade parametern så att en orderradsservicenivå av 97 procent uppnås för systemet. Det är lättare att sätta parametern för metoder där korrelationen mellan erhållen servicenivå och parametervärde är hög.

### 8.2.1 Serv1

För merparten av simuleringsfallen är parametervärdet lägre än erhållen servicenivå och för vissa fall är avvikelsen mellan parametervärdet och erhållen servicenivå stor. I två simuleringsfall är avvikelsen liten mellan parametervärdet och den erhållna orderradsservicenivån.

Simuleringsfall 2 och 3 avviker mest från resterande simuleringsfall. Simuleringsfall 2 är mest avvikande med ett parametervärde av 50 procent. Betydelsen av detta är ett obefintligt teoretiskt säkerhetslager, vilket medför en obefintlig teoretisk kapitalbindning i säkerhetslager. Att kapitalbindningen inte är noll i detta fall beror på att alla tillfällen med negativa lagernivåer vid inleverans ger ett uppmätt säkerhetslager av noll enheter samt att inleveranser ibland sker innan lagret tagit slut. Detta skapar alltid ett positivt säkerhetslager som kommer att binda kapital. Att metoden behöver ett så lågt parametervärde som 50 procent beror på att företaget använder väldigt stora orderkvantiteter i förhållande till medelefterfrågan vilket ger långa lagercykler. Långa lagercykler i kombination med företagets korta ledtider för många artiklar medför få och korta bristtillfällen.

Faktorer som påverkar att Serv1:s parametervärden varierar ganska mycket för att uppnå en specifik erhållen orderradsservicenivå är bland annat att metoden inte dimensionerar för hur stora orderkvantiteter som beställs utan bara till efterfrågansmedelvärde, standardavvikelse samt ledtid. Ytterligare en faktor till stora variationer av parametervärden är att metoden ej tar hänsyn till kundorderkvantitetens storlek.

För artiklars individuella orderradsservice är Serv1 tillsammans med den andra statistiska dimensioneringsmetoden Serv2 de metoder med jämnast servicenivå över hela systemen.

### 8.2.2 Serv2

Serv2:s parametervärden ligger maximalt 2,86 procentenheter ifrån eftersökt servicenivå på 97 procent för alla simuleringsfall. Dimensioneringsmetoden har väldigt samlade parametervärden och erhållen orderradsservicenivå är väldigt nära parametervärdet för dimensioneringsmetoden. Parameterns medelvärde från samtliga simuleringsfall är 97,3 procent, vilket är endast en avvikelse av 0,3 procentenheter från eftersökt orderradsservice. Detta gör metoden till den bästa dimensioneringsmetod från studien med avseende på att sätta ett parametervärde och därigenom uppnå en önskad orderradsservice.

Trots att Serv1 och Serv2 är väldigt närbesläktade beräkningsmetoder ger de väldigt olika resultat med avseende på möjligheten att förutsäga den erhållna orderradsservice för systemet utifrån parametervärdena. Skillnaden mellan dimensioneringsmetoderna är att Serv2 tar hänsyn till beställningskvantiteter vilket Serv1 inte gör.

Resultaten för artiklarnas individuella orderradsservice är att Serv2 tillsammans med Serv1 är de metoder med minst skillnad i servicenivå mellan artiklarna. Artiklarna håller jämnare individuella servicenivåer än vid dimensionering med övriga metoder.

### 8.2.3 Säkerhetstid

Den generella säkerhetstidens längd varierar mycket mellan simuleringsfallen, där metoden i många fall efterliknar Serv1 i beteende. Anledning till detta kan vara att de båda metoderna ej tar hänsyn till beställningskvantiteter och därmed antalet bristtillfällen.

Korrelationen mellan parametervärdena för Serv1 och säkerhetstid syns tydligt i simuleringsfallet när Serv1 behöver ett parametervärde 50 procent. I detta fallet kommer säkerhetstid att behöva 0,2 dagar i säkerhetslager. Om säkerhetstiden i detta fall skulle vara noll dagar kommer dimensioneringsmetoderna att ge exakt samma utfall. Detta beror på att vid ett parametervärde för Serv1 av 50 procent dimensioneras inget säkerhetslager alls vilket är detsamma som för säkerhetstiden noll. Detta innebär att vid en säkerhetstid på 0,2 dagar, så är säkerhetslagret nästan noll och metoderna ger ungefär samma resultat.

Att förutsäga vad en viss säkerhetstid i dagar ger för erhållen orderradsservicenivå är väldigt svårt. I de studerade simuleringsfallen varierade parametervärdena från 0,2 till 5,7 dagar för att uppnå motsvarande servicenivå.

#### **8.2.4 Bristkostnad per enhet**

Bristkostnad per enhets parametervärden varierar väldigt mycket mellan olika simuleringsfall och det är väldigt svårt att uppskatta vilken erhållen orderradsservicenivå som motsvaras av ett parametervärde. För att uppskatta dimensioneringsmetodens erhållna servicenivå behövs simulering.

#### **8.2.5 Bristkostnad per orderrad**

Liksom vid dimensionering med bristkostnad per enhet varierar parametervärdena mycket mellan olika simuleringsfall för att uppnå en orderradsservicenivå av 97 procent. Att uppskatta en generell orderradsbrist för ett system med väldigt många påverkande faktorer är svårt. För att uppskatta dimensioneringsmetodens erhållna servicenivå behövs simulering.

## 9 Användning av gemensam säkerhetstid

---

*I detta kapitel kommer känslighet, analyser samt slutsats angående möjligheten att sätta en generell säkerhetstid för dimensionering av säkerhetslager att presenteras.*

---

### 9.1 Generell säkerhetstid

Användningen av en generell säkerhetstid för ett helt system är en enkel metod för att kunna dimensionera ett säkerhetslager. Metoden kan dock ge hög kapitalbindning i vissa fall.

En gemensam säkerhetstid är den tredje bästa metoden i de fyra första simuleringsfallen på att dimensionera säkerhetslagret för att uppnå en given orderradsservicenivå med minsta kapitalbindningen och i det femte simuleringsfallet medför metoden den klart största kapitalbindningen.

För att skapa förståelse för hur dimensioneringsmetoden dimensionerar säkerhetslager och varför vissa fall avviker kraftigt, kommer en känslighets- samt lämplighetsanalys göras.

## 9.2 Känslighet i att sätta säkerhetstid

För vissa typer av karaktäristik för artiklar och efterfrågemönster presterar en gemensam säkerhetstid relativt bra gentemot Serv1 och Serv2 med avseende på kapitalbindning. Däremot finns ingen direkt koppling mellan en viss säkerhetstid i antal dagar och en specificerad orderradsservice. I simuleringsfallen har säkerhetstiden ökats successivt ända tills erhållen serviceförmåga är samma som den önskade, vilket är praktiskt svårt att genomföra vid initialsättning av parametrar, se tabell 9-1.

Tabell 9-1 Säkerhetstiden i dagar ökas tills önskad orderradsservicen (ORS) erhålls.

Säkerhetstid i dagar	ORS	Kapitalbindning
0	83%	898 610 kr
1	89%	1 090 600 kr
2	93%	1 289 700 kr
3	95%	1 514 800 kr
4	97%	1 793 900 kr
5	98%	2 050 500 kr
6	98%	2 320 500 kr
7	99%	2 601 900 kr
8	99%	2 846 400 kr

Denna tabell visar vilken säkerhetstid i antal dagar som ger en viss orderradsservice för simuleringsföretag 3 där säkerhetstid ger en relativt låg kapitalbindning. Ur tabellen kan avläsas att skillnaden mellan en extra säkerhetsdag från noll dagar till en ger 6 procentenheter högre orderradsservicenivå och 200 000 kronor dyrare kapitalbindning. Samma ökning av antalet dagar fast från fyra dagar till fem ger 1 procentenhet ökning av orderradsservicen och en ökning med 250 000 kronor i kapitalbindning.

Förutom en relativ okänslighet mot ändring av säkerhetstid med avseende på orderradsservice, kan utläsas att marginalkostnaden för att öka servicenivån är ökande och att kapitalbindningen i säkerhetslager ökar mycket för varje extra procentenhet ökad serviceförmåga.



### 9.3 Lämplighetsanalys av säkerhetstid

Från simuleringsresultaten framkom det att det finns fall då en gemensam säkerhetstid presterar mycket dåligt med avseende på att hålla en låg kapitalbindning. Vilka fall och vad som utmärker dem bör analyseras närmare för att kunna identifiera fall där en gemensam säkerhetstid ej är lämpligt för säkerhetslagerdimensionering.

#### 9.3.1 Överlager

Vid dimensionering av säkerhetslager med tid som parameter uppkommer i vissa fall överlager hos vissa produkter. Detta är ett resultat av att metoden ej har förmåga att ta hänsyn till variation i ledtidsefterfrågan. Vid ett exemplarsystem av två artiklar med samma ledtid (1dag), uttagskvantiteter om 1 styck, samma normalfördelade dagsefterfrågan, men variationskoefficient på 1 respektive 2 kommer dessa artiklar att få olika servicenivå, se tabell 9-2.

Tabell 9-2 Visas sannolikheten för ingen brist under ledtiden för två artiklar och den totala orderradsservicen för båda artiklarna tillsammans.

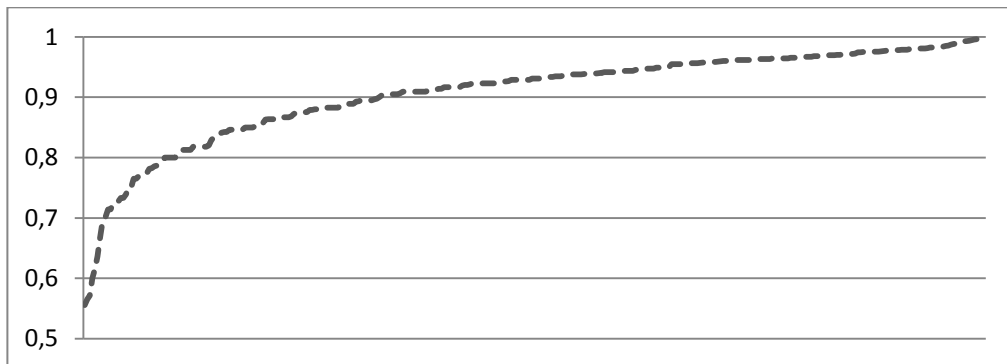
Säkerhetstid i dagar	Artikel1	Artikel2	Tot
0	50%	50%	50%
1	84,1%	69,1%	76,6%
2	97,7%	84,1%	90,9%
3	99,9%	93,3%	96,6%
4	100%	97,7%	98,9%

Om man önskar att sannolikheten för ingen brist under ledtid är 97 procent krävs det över 3 dagar (3,1 dagar) gemensam säkerhetstid. Vid dimensionering genom individuella säkerhetstider krävs det 1,88 dagar för artikel 1 och 3,76 dagar för artikel 2, vilket ger ett medelvärde på 2,82 dagar. Detta ger totalt 10 procent mindre teoretiskt säkerhetslager, p.g.a. att en gemensam säkerhetstid ger ett överlager för artikel 1 och en serviceförmåga på nära 100 procent. När sannolikheten för brist kan sänkas, minskar denna effekt. Vid 50 procent är den gemensamma säkerhetstiden på noll dagar samma som för varje enskild artikel dimensionerad med Serv1.

### 9.3.2 Känslighet i önskad serviceförmåga

Resultaten från simuleringen visade i vissa fall att gemensam säkerhetstid gav upphov till överlager för vissa produkter då säkerhetstiden även skulle kunna ge acceptabel servicenivå för artiklar med annan karaktäristik, detta för att kunna uppnå den önskade systemserviceförmågan.

Då metoden med gemensam säkerhetstid ej tar hänsyn till olika ledtider eller skilda efterfrågemönster, kommer metoden att leda till en differentiering mellan olika artiklar, se figur 9-1.



Figur 9-1 Schematisk illustration över differentiering av orderradsservice mellan artiklar med varierande ledtider, efterfrågemönster och artikelkaraktäristik vid användning av gemensam säkerhetstid. Erhållen systemservicenivå i detta fall är 97 procent.

Den totala systemserviceförmågan ges sedan av det viktade medelvärdet för alla artiklar i systemet.

Enligt tabell 9-2 är skillnaden i hur gemensam säkerhetstid presterar jämfört med att på något sätt beräkna säkerhetslagernivåerna för varje produkt enskilt i viss mån beroende av önskad servicenivå. För simuleringsfall 5 presterar de olika metoderna enligt nedan, se tabell 9-3, med avseende på kapitalbindning i säkerhetslager för olika servicenivåer. Vid lägre orderradsservicenivåer ger säkerhetstid lägre kapitalbindning än Serv1 och det motsatta sker vid högre servicenivåer.

Tabell 9-3 Olika eftersökta orderradsservicenivåer ger olika kapitalbindning.

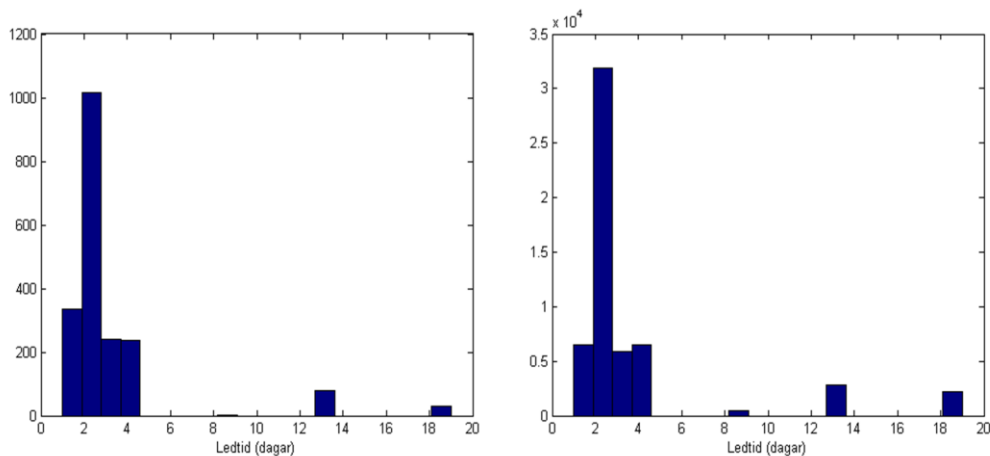
ORS	Serv1	Säkerhetstid	% ökning
93%	1 394 800 kr	1 359 100 kr	-2,63
94%	1 576 100 kr	1 583 700 kr	0,48
95%	1 830 500 kr	1 855 000 kr	1,32
96%	2 106 000 kr	2 333 100 kr	9,73

### 9.3.3 Känslighet i ledtidssammansättning

Då det finns tendenser till att ledtidernas sammansättning i allra högsta grad påverkar möjligheten till att använda en gemensam säkerhetstid för alla artiklar i systemet bör ledtidssammansättningen analyseras innan en gemensam säkerhetstid sätts. Då man önskar uppnå en viss servicenivå i efterfrågan eller orderrad bör ledtidens sammansättning viktas med avseende på antalet förekomster av orderrader eller efterfrågade enheter. Produkter med låg efterfrågan och avvikande ledtid påverkar ej serviceförmågan i samma utsträckning som produkter med hög efterfrågan och avvikande ledtid. I denna studie där orderradsservice eftersöks replikeras ledtiderna för varje artikel med det totala antalet orderrader för att sedan skapa frekvensdiagram för olika ledtider:

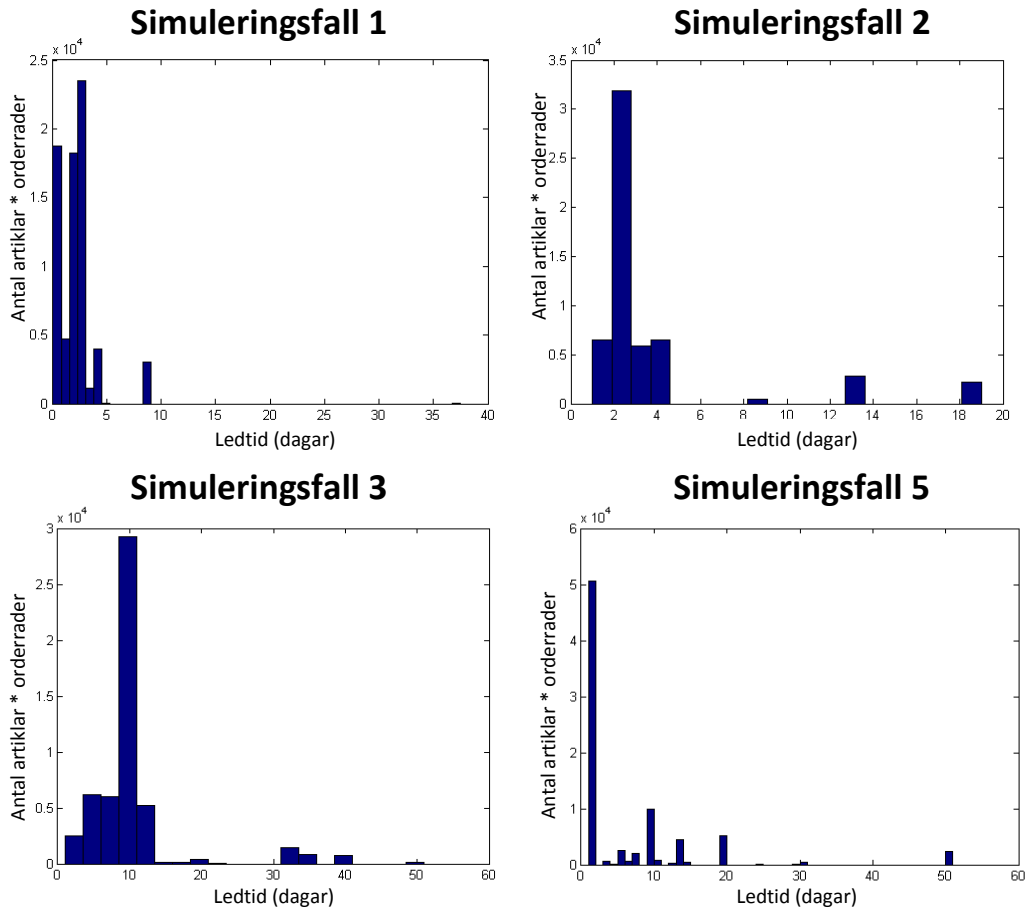
1. Replikera ledtiden med antalet orderrader, d.v.s. 3 orderrader ger [LT,LT,LT]
2. Gör detta för samtliga artiklar
3. Lägg ihop alla artiklars ledtider
4. Skapa ett histogram för ledtiderna
5. Dividera med totalt antal orderrader

För simuleringsföretag 2 leder viktningen till att frekvensen hos de högsta ledtiderna blir av större vikt och inverkar mer på orderradsservicen än för det oviktade fallet, se figur 9-2.



Figur 9-2 Bilden till vänster visar antalet artiklar med viss ledtid. Bilden till höger är antalet artiklar viktat med antalet förekomster av orderrader.

De grafiska illustrationerna över artiklars viktade ledtidssammansättning för simuleringsfallen syns i figur 9-3, utom för simuleringsfall 4 vilket har samma ledtid för alla produkter och skulle enbart ha varit en stapel vid ledtiden 1 dag. Viktningen görs med avseende på antalet orderrader varje artikels ledtid förekommer i orderhistoriken.



Figur 9-3 Grafer över de viktad artikelorderraderna vid respektive ledtider för fyra av simuleringsföretagen.

Vid analys av orderradersviktade ledtider syns inga tydliga tendenser till när säkerhetstid presterar bättre eller sämre.

Den övergripande karakteristiken för alla simuleringsfall är att merparten av de efterfrågade artiklarna är lokaliserade till vänster i graferna. Vid 97 procent orderradsservice presterar dimensionering med säkerhetstid bra i alla simuleringsfall förutom för det femte. Att resultatet av simuleringsfall 5 avviker kan bero på att merparten av efterfrågade artiklar har den lägsta ledtiden. Vid en ökning av servicenivån till 98 procent för simuleringsfall 2 presterar säkerhetstid sämre än de andra metoderna. I detta fallet kommer säkerhetstiden att dimensionera mycket fler antal enheter i säkerhetslager och därmed också få en högre kapitalbindning. Upprepas detta för simuleringsfall 1 som har väldigt lik karakteristik är resultaten inte alls lika. Här presterar metoden lika bra som för 97 procent i relation till de andra metoderna.

Generellt finns tendenser hos de fallföretag där gemensam säkerhetstid ej fungerar speciellt väl, till att det finns relativt stor frekvens av artiklar med ledtider som avviker procentuellt mycket uppåt från typvärdet. För att uppnå totala systemserviceförmågan krävs att även artiklar med relativt lång ledtid har en någorlunda hög serviceförmåga. Detta kräver en säkerhetstid avpassad för dessa artiklar, givet antagandet att serviceförmågan för en artikel är i viss mån proportionerlig mot dess säkerhetstid i förhållande till ledtid. Används denna säkerhetstid även för produkterna med typvärdesledtiden riskerar dessa att få väldigt höga lager. Detta påverkar totala kapitalbindningen, då dessa produkter står för stor del av totala säkerhetslagret, vilket är proportionellt mot efterfrågans storlek.

För simuleringsföretag 2 hamnade säkerhetstiden på åtta dagar för samma serviceförmåga som för företagets egna beställningspunkter. Denna tid krävs för att nå acceptabel serviceförmåga för artiklar med ledtid över tio dagar, vilket leder till ett extremt överlager för produkter med tre dagars ledtid. Värt att nämna är att hos fallföretaget används generellt stora beställningskvantiteter vilket resulterar i få bristexponeringar och således är serviceförmågan för ingen säkerhetstid 97 procent.

Ett mått för hur mycket ledtiderna avviker från typvärdet i procent är att beräkna väntevärdet i avvikelse från typvärdet, för alla artiklar som ligger över detta värde i frekvensdiagrammet för viktade ledtider. Detta väntevärde divideras sedan med typvärdet:

1. Identifiera typvärdesledtiden  $LT_{\text{typvärde}}$
2. Beräkna väntevärdet  $E(I)$  för ledtid fördelningen på intervallet  $I: [LT_{\text{typvärde}}, \infty]$
3. Avvikelsen blir:  $E(I) - LT_{\text{typvärde}}$
4. Kvoten (procentuella avvikelsen) blir:  $(E(I) - LT_{\text{typvärde}}) / LT_{\text{typvärde}}$

Andelen artiklar som har en högre ledtid än typvärdet påverkar också. Är andelen väldigt liten kan man tillåta sig att ha väldigt låg servicenivå för dessa artiklar och ändå uppnå en total systemserviceförmåga. När andelen är betydande kan man ej bortse från dessa artiklar och deras inverkan på den totala serviceförmågan.

Beräkning av andelen sker genom:

$$\text{Andel artiklar med ledtid över typvärdesledtid} = \frac{\int_{LT_{\text{typvärde}}}^{\infty} LT}{\int_{-\infty}^{\infty} LT}$$

Resultaten över simuleringsfallen framgår i tabell 9-4 där simuleringsfall 4 inte är inkluderat på grund av att alla artiklarna har exakt samma ledtid. Detta innebär att kvot och procent av artiklar med ledtid över typvärde är noll.

Tabell 9-4 Kvot i tabellen är mellan väntevärde från den viktade artikelledtiden mot typvärdet av artikelledtider. Procent av artiklar med ledtid över typvärde är andel av de viktade artikelledningarna som överstiger typvärdet.

	Kvot	Procent av artiklar med ledtid över typvärde
<b>Simuleringsfall 1</b>	0,97	22 %
<b>Simuleringsfall 2</b>	5,05	46 %
<b>Simuleringsfall 3</b>	1,12	35 %
<b>Simuleringsfall 5</b>	13,46	56 %

Av tabellen ovan tillsammans med kapitalbindningsresultaten från studien framgår att säkerhetstid ej fungerar bra för företag 5. Detta företag har en relativt hög kvot. Även andelen artiklar som har längre ledtid än typvärdet påverkar också hur en gemensam säkerhetstid presterar. Fallföretag 5 har även en stor andel artiklar över typvärdesledtiden.

För fallföretag 2 som också har en relativt hög kvot finns indikationer enligt analysmetodiken att en gemensam säkerhetstid ej skulle prestera väl. Vid fallet 97% orderradsservice ligger säkerhetstiden på närmare 0 dagar vilket gör att ledtidens sammansättning ej vållar problem vid denna servicenivå.

#### 9.3.4 Känslighet av variationskoefficienter

I enlighet med exemplet i tabell 9-2 så påverkar variationskoefficienterna hur väl tid som parameter vid säkerhetslagerdimensionering presterar. Givet antagandet i ekvation 3-29 så sjunker variationen relativt ökad ledtid och det är logiskt sett den faktorn som bör beaktas vid en analys för möjligheten att använda en gemensam tid som parameter. Bland de företag som studerades var det endast simuleringsfall 5 som utmärkte sig genom att ha en annorlunda sammansättning med samma analysmetod som för ledtidssammansättning.

#### 9.3.5 Slutsats

Ingen av de ingående sammansättningarna för artiklarnas karaktäristik ensamt kan entydigt förklara när tid som parameter riskerar att ge överlager av vissa produkter, förutom ledtidens sammansättning i viss mån. Det som påverkar är alltså en kombination av ledtid, önskad servicenivå, variationskoefficienter, orderkvantiteter och uttagskvantiteter. Vid mätning med avseende på kapitalbindning påverkar även sammansättningen av artiklarnas värde tillsammans med övriga faktorer resultatet. Därför är det mycket svårt att på ett enkelt sätt analysera hur väl metoden presterar för ett system, givet analys av varje faktor isolerad.

## 10 Slutsatser av dimensioneringsmetodernas kapitalbindning och användbarhet

---

*I detta kapitel presenteras slutsatserna av metodernas kapitalbindning i säkerhetslager samt sättning av parametervärden.*

---

När de olika metoderna för att dimensionera säkerhetslager har jämförts med avseende på kapitalbindning har olika beteenden framkommit. I merparten av simuleringsfallen ger Serv2 den absolut högsta kapitalbindningen. Vid jämförelse mellan Serv1 och Serv2 tenderar Serv1 att ge en lägre kapitalbindning då den tillåts differentiera något mer och på något sätt undviker att hålla en hög servicenivå på artiklar vars karaktäristik gör det kostsamt att hålla hög servicenivå. Däremot möter Serv1 orderradsservice relativt dåligt då det oftast skiljer ganska mycket mellan en teoretisk cykelservice och en uppmätt orderradsservice. För Serv2 kommer dimensioneringsparametern ofta relativt nära den uppmätta orderradsservicen, vilket gör att den är den enda metoden som är någorlunda acceptabel om man på förhand vill dimensionera säkerhetslager och erhålla en utsatt servicenivå. Att Serv2 presterar bra med avseende på att möta utsatt servicenivå beror till stor del på att teoretisk fyllnadsgradsservice och orderradsservice blir samma givet normalfördelad efterfrågan och uttagskvantiteter på en styck.

Att använda en gemensam säkerhetstid för att dimensionera säkerhetslager presterar i de flesta fall ganska bra med avseende på kapitalbindningen jämfört med Serv1 och Serv2. Däremot så finns det vissa fall där man genom dimensioneringsmetoden skapar stora överlager av vissa produkter, fall som är svåra att identifiera genom enkla analyser av artiklarnas karaktäristik. Dimensioneringsparametern i form av tid är dessutom mycket svår att skatta om man på förhand vill dimensionera utifrån att möta en given orderradsservice. Detta leder till att metoden med att använda sig av en gemensam säkerhetstid ej är att föredra ifall målet är att på förhand sätta en dimensioneringsparameter och sedan uppnå en utsatt orderradsservice och samtidigt hålla en låg kapitalbindning. Vill man använda sig av en gemensam säkerhetstid riskerar man att behöva efterkorrigera parametern relativt mycket för att uppnå utsatt servicenivå.

Bristkostnadsmetoderna är de metoderna som presterar bäst med avseende på att hålla en låg kapitalbindning. Detta resultat är ganska väntat då de optimerar de totala kostnaderna för att hålla lager för olika artiklar jämfört med att brister uppstår/hålla en viss servicenivå. Beroende på vilken definition av servicenivå man eftersträvar bör bristkostnaden vara per brist av servicenivå, t.ex. vid orderradsservice är en fast bristkostnad per orderrad den metod som presterar bäst. Nackdelen med bristkostnadsmetoderna är att det precis som i fallet med gemensam säkerhetstid är mycket svårt att skatta storleken på bristkostnaden för att uppnå utsatt servicenivå.





## 11 Metoder för parametersättning

I detta kapitel presenteras möjliga sätt för praktisk användning av resultaten från dimensioneringsmetodernas kapitalbindning. Detta för initialsättning av tidsparametrar.

Från jämförelsen mellan olika dimensioneringsmetoder framkom det att metoden med att sätta en gemensam säkerhetstid generellt presterade bättre än de statistiska metoderna med avseende på kapitalbindning i förhållande till uppmätt orderradsservice. När det gäller bristkostnadsmetoderna så presterade de alltid bättre än samtliga övriga metoder. Problemet med dessa metoder är dock att det är mycket svårt att uppskatta vilket parametervärde som motsvarar en viss servicenivå.

För att bredda användningsområdet av dessa dimensioneringsmetoder kommer två beräkningsmetoder att utvecklas. En enkel metod där man sätter en generell säkerhetstid för hela systemet, samt en metod som genom bristkostnadsmetodik ger individuella säkerhetstider för varje artikel. Målet med dessa metoder är att kunna dimensionera parametrarna på förhand och uppnå en serviceförmåga ganska nära det önskade värdet.

### 11.1 Enkel metod för gemensam säkerhetstid

Då PipeChain önskar att använda en gemensam säkerhetstid för samtliga artiklar vid uppstart av PipeChain View-systemet finns det all anledning till att försöka sätta säkerhetstiden så nära det värde som motsvarar en viss serviceförmåga som möjligt. Vid uppstart har man generellt sett ingen möjlighet till att göra en djupare analys av artiklarnas karaktäristik, utan måste förenkla och generalisera.

#### 11.1.1 Ansats

Då Serv2 är den enda metod som träffar utsatt servicenivå någorlunda väl, blir Serv2baserad metodik en första ansats till att lösa problemet med att bestämma initial säkerhetstid. Givet ursprungsformeln för Serv2 (se ekvation 3-15) kan den skrivas om enligt följande:

$$S_2(R, Q, \sigma', \mu') = 1 - \frac{\sigma'}{Q} \left( G \left( \frac{R - \mu'}{\sigma'} \right) - G \left( \frac{R + Q - \mu'}{\sigma'} \right) \right)$$

.....

.....

$$S_2(ST, \alpha, \beta) = 1 - \alpha\beta \left( G \left( \frac{1}{\beta} ST \right) - G \left( \frac{1}{\beta} ST + \frac{1}{\alpha\beta} \right) \right)$$

*Komplett omskrivning se (se bilaga 1).*

*Där:*

$$\alpha = \frac{\mu}{Q}$$

$$\beta = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{LT}$$

Detta ger således Serv2 uttryckt som en funktion av säkerhetstid, alfa och beta. Alfa motsvarar beställningsfrekvensen och beta motsvarar variationskoefficienten multiplicerad med roten ur ledtiden. Om denna formel används på varje enskild artikel ger den individuella säkerhetstider och beställningspunkterna motsvarar samma dimensionering som Serv2 ger.

Målet är att finna enkla generella tumregler för att sätta en gemensam säkerhetstid för samtliga lagerförda artiklar vid t.ex. uppstart av ett PipeChain View-system utan större beräkningar. För att skapa översiktliga och manuella metoder görs detta företrädesvis med grafiska lösningar. Enkla grafiska lösningar ger användaren större förståelse av hur saker förhåller sig och kan utan större beräkningsförståelse skapa en egen uppfattning om hur olika parametrar påverkar resultatet. Genom fixering av Serv2-parametern vid fasta servicenivåer kan numeriska nivåkurvor skapas med avseende på säkerhetstider, där alfa och beta blir parametrarna.

## **11.2 Individuell säkerhetstid baserad på bristkostnad**

Från föregående studie framkom det att bristkostnadsmetoderna presterar överlägset bäst med avseende på att minimera kapitalbindningen i förhållande till att erhålla en viss serviceförmåga. Problemet med bristkostnadsmetodik är att skatta bristkostnaden. Bristkostnaden skattas oftast som en generell kostnad som uppkommer i samband med att en brist uppstår. Att skatta hur mycket ett bristtillfälle kostar är svårt då det varierar kraftigt från brist till brist och kund till kund. Dessutom finns ingen generell koppling mellan bristkostnaden i absoluta tal och en serviceförmåga. Då företag generellt sett mäter serviceförmåga som en procentsats i form av orderradsservice eller efterfrågeservice är ren bristkostnadsmetodik svårt att använda vid praktisk lagerstyrning.

### 11.2.1 Ansats

Serv2 presterar relativt väl med avseende på satt parametervärde och erhållen servicenivå. Därför kommer ansatsen att bli att använda en Serv2-baserad metodik för att sätta en initial systembristkostnad med avseende på att erhålla utsatt serviceförmåga.

Med den förenklade formeln för att beräkna R (se ekvation 3-26) givet en viss bristkostnad kan detta konverteras till en säkerhetstid och sedan beräkna Serv2:

$$\frac{\partial C}{\partial R} = h + \frac{b\mu}{Q} \left( \Phi\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) - 1 \right) = 0$$

$$R = \sigma' \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{Qh}{\mu b} \right) + \mu'$$

.....

.....

$$S_2(\alpha, \beta, h, b) = 1 - \alpha\beta \left( G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha b}\right)\right) - G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha b}\right) + \frac{1}{\alpha\beta}\right) \right)$$

*Komplett omskrivning se(se bilaga 2).*

*Där:*

$$\alpha = \frac{\mu}{Q}, \quad \beta = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{LT}$$

*h = pris \* lagerföringskostnad*

*b = bristkostnad*

Av detta kommer b parametern att successivt ökas tills funktionsvärdet i viktat medeltal för systemet är vald Serv2.

*Bristkostnad per enhet:*

$$\text{vald Serv2} = \sum_{\text{alla artiklar } i} \frac{\text{efterfrågan för artikel } i}{\text{total efterfrågan}} S_2(\alpha_i, \beta_i, h_i, b)$$

*Bristkostnad per orderrad:*

$$\text{vald Serv2} = \sum_{\text{alla artiklar } i} \frac{\text{antal orderrader för artikel } i}{\text{totalt antal orderrader}} S_2(\alpha_i, \beta_i, h_i, b)$$

*Där  $\mu$  i  $\alpha, \beta$  sätts till medelvärdet för antalet kundorder*

När b parametern har beräknats kan den enkelt användas genom ekvation 3-8 samt 3-26 för att beräkna individuella säkerhetstider för alla artiklar i systemet. Ekvationen blir då:

$$ST = \frac{\sigma' \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{Qh}{b\mu} \right) + \mu'}{\mu} - LT$$



## 12 Utvärdering av parametersättningsmetoder

I detta kapitel kommer resultaten från att använda Serv2 som generell utgångsparameter för parametersättning av säkerhetstid och bristkostnadsmetoderna presenteras.

Vid användning av den grafiska metoden för att sätta en gemensam säkerhetstid beräknas först alfa och betavärden för samtliga artiklar i sortimentet. Därefter viktas de enligt samma princip som för viktningen av ledtider, se kapitel 9.3.3.

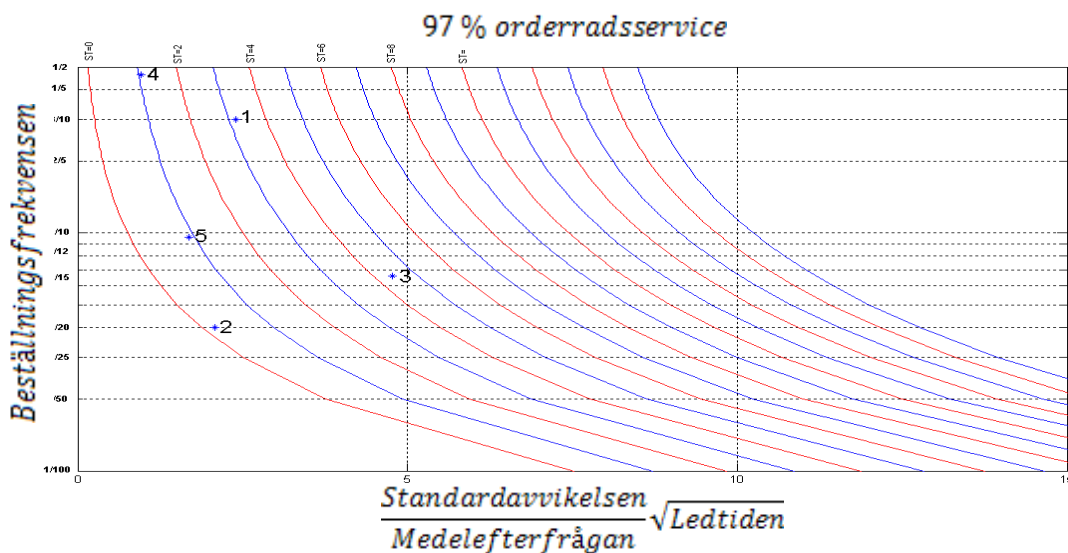
### 12.1 Enkel metod för gemensam säkerhetstid

Vid användning av den grafiska metoden för att sätta en gemensam säkerhetstid beräknas först viktade alfa och betavärden. Fallföretagens parametervärden kan utläsas i tabell 12-1.

Tabell 12-1 Beställningsfrekvensen alfa och variationskoefficienten beta för simuleringsföretagen från del 1 av studien.

	Alfa	Beta
Simuleringsfall 1	0,30	2,4
Simuleringsfall 2	0,04	2,1
Simuleringsfall 3	0,07	4,8
Simuleringsfall 4	0,46	0,96
Simuleringsfall 5	0,10	1,7

Sedan plottas dessa värden ut i en figur 12-1 för 97 procent där varje nivåkurva motsvaras av säkerhetstiden i hela antal dagar. Företagets gemensamma säkerhetstid avrundas till hela dagar.



Figur 12-1 Plottade omsättningshastigheter i den vertikala axeln och variationskoefficienter i horisontella axeln av fallföretagen från del 1 av studien. Numrerade punkter avser studerade simuleringsfall. Varje nivåkurva representerar en säkerhetstid i hela antal dagar. Från 0 till 16 dagar.

För att utvärdera hur metoden presterar beräknas beställningspunkterna utifrån grafiskt avlästa säkerhetstider och sedan används simulering. Därefter jämförs uppmätt orderradsservice med erhållen orderradsservice för Serv2 med 97% som dimensioneringsparameter. Jämförelsen för fallföretagen presenteras i tabell 12-2. Störst avvikelse mellan erhållen och dimensionerad servicenivå sker i simuleringsfall 4 med 1,4 procentenheter. Avvikelsen mot eftersökt orderradsservice är 0,7 procentenheter för båda metoderna vilket gör dem likvärdiga i att nå 97 procent orderradsservice.

**Tabell 12-2 Säkerhetstiden avrundat i heldagar presterar relativt likt erhållen servicenivå från Serv2.**

	<b>Säkerhetstid i heldagar</b>	<b>Erhållen orderradsservice vid användning av säkerhetstiden</b>	<b>Erhållen orderradsservice vid användning av Serv2</b>
<b>Simuleringsfall 1</b>	3	95,4%	96,0%
<b>Simuleringsfall 2</b>	0	97,0%	97,0%
<b>Simuleringsfall 3</b>	4	98,8%	98,0%
<b>Simuleringsfall 4</b>	1	96,3%	97,7%
<b>Simuleringsfall 5</b>	1	92,4%	92,6%

Bland dessa fallföretag presterar metoden väl överlag. Den största avvikelsen återfinns i simuleringsfall 5 där uppmätt orderradsservice är 4,6 procentenheter under utsatt mål. I detta fall presterade dock även Serv2 dåligt.

För simuleringsfallen verkar Serv2 beräknat på varje enskild artikel, jämfört med att använda Serv2baserad metodik med att sätta en säkerhetstid baserat på viktade medelvärden, ge samma tendenser till under respektive överskattning av servicenivåer. Överlag verkar den grafiska metoden prestera någorlunda med avseende på att uppnå utsatt mål, i alla fall verkar den inte prestera nämnvärt sämre än Serv2 för fallföretagen.

## 12.2 Individuell säkerhetstid baserad på bristkostnad

Resultaten från beräkning av gemensam bristkostnad med den Serv2baserade metoden återfinnes i tabell 12-3 och tabell 12-4. Bland dessa resultat kan man se att metoden för brist per enhet presterar ungefär lika bra som Serv2. Tendenserna till överskattning resp. underskattning är samma. För fallet där bristkostnad per orderrad skattas är spridningen lite större och metoden träffar lite sämre. Dock sker inga större avvikelser från eftersökt servicenivå av 97 procent.

Tabell 12-3 Bristkostnad per enhet presterar väldigt likt Serv2 i samtliga simuleringsfall för en eftersökt servicenivå av 97 procent.

	Bristkostnad	Erhållen orderradsservice	Erhållen orderradsservice vid användning av Serv2
Simuleringsfall 1	56 129	96,0 %	96,0 %
Simuleringsfall 2	34 53	97,0 %	97,0 %
Simuleringsfall 3	313 706	99,2 %	98,0 %
Simuleringsfall 4	100 402	97,6 %	97,7 %
Simuleringsfall 5	33 444	93,7 %	92,6 %

Tabell 12-4 Bristkostnad per orderrad presterar väldigt likt Serv2 i samtliga simuleringsfall för en eftersökt servicenivå av 97 procent.

	Bristkostnad	Erhållen orderradsservice	Erhållen orderradsservice vid användning av Serv2
Simuleringsfall 1	351 822	95,6 %	96,0 %
Simuleringsfall 2	32 955	99,0 %	97,0 %
Simuleringsfall 3	296 742	99,3 %	98,0 %
Simuleringsfall 4	54 978	98,1 %	97,7 %
Simuleringsfall 5	85 459	93,2 %	92,6 %

Metoden bygger på att vikta Serv2 över hela systemet, vilket leder till att i många fall Serv2 tvingas beräknas för relativt låga servicenivåer. Detta leder till en ökad känslighet i hur väl Serv2 presterar. Skillnader mellan Serv2 för en artikel och uppmätt orderradsservice skiljer mer vid lägre servicenivåer än vid högre. Vid låga servicenivåer och beställningspunkter ger felskattningar av beräknad beställningspunkt större utslag än för högre servicenivåer då  $\frac{\partial^2 S_2(R,Q)}{\partial R^2}$  är negativ för Q större än 0 (se bilaga 3). För vissa av artiklarna och företagen kan även ett normalfördelningsantagande ge problem med betydande andel negativ efterfrågan, vilket gör att serv2 presterar dåligt. Speciellt för låga servicenivåer blir problemet stort då den kumulativa fördelningsfunktionen för normalfördelad ledtidsefterfrågan skiljer mer från verklig efterfrågan än för höga servicenivåer, givet att verklig ledtidsefterfrågan ej är normalfördelad. Därför finns anledning till att vidareutveckla metodiken och ev. använda andra fördelningar som mer korrekt avspeglar verklig efterfrågan.



## 13 Generella rekommendationer

Beroende på hur ingående analys av efterfrågedata som ges möjlighet till vid uppstart av ett system blir förfarandet lite olika.

Vid ytterst begränsad möjlighet till analys av data kan metoden med att grafiskt sätta en generell säkerhetstid (se bilaga 4) användas. Metoden presterar ganska bra på att uppnå utsatt mål för serviceförmågan och är enkel att använda. När det gäller kapitalbindning i förhållande till serviceförmåga ges inga garantier på att den blir speciellt låg. I merparten av simuleringsfallen blir den lägre än för Serv-metoderna givet samma serviceförmåga. Dock presterar bristkostnadsmetoderna generellt sett bättre i avseende till att minimera kapitalbindningen mot att uppnå en viss servicenivå.

Finns det möjlighet till att göra en grundligare analys och lite mer beräkningar är bristkostnadsmetoderna att föredra om målet är att reducera bundet kapital i säkerhetslager. Däremot är bristkostnaden mycket svår att uppskatta när målet är att uppnå en viss serviceförmåga. Metoden med att använda Serv2baserad metodik fungerar någorlunda med avseende på detta, speciellt om Serv2 presterar väl. I studiens simuleringsfall är då avvikelserna mellan dessa två metoders servicenivå endast 2 procentenheter.

## **Förslag till vidare utredning**

### **Undersöka fenomen till att en gemensam säkerhetstid underpresterar:**

I studien framkom det att en gemensam säkerhetstid underpresterar för vissa servicenivåer. Dels finns det en övre gräns, vars värde inte entydigt kunde besvaras med den undersökningsmetodik som genomfördes. Enligt analysen var ledtidens sammansättning en av de viktigaste faktorerna. Det finns dock anledning till att vidare undersöka detta och hur övriga faktorer samverkar.

Vid negativa säkerhetstider som ej upptagits i rapporten fanns det också tendenser mot att kapitalbindningen vid dimensionering med en gemensam säkerhetstid presterade avsevärt sämre än vid dimensionering med t.ex. Serv1. Beteenden kring en negativ gemensam säkerhetstid bör därför undersökas närmare innan användning om målet är att erhålla en låg kapitalbindning i säkerhetslager.

### **Vidareutveckla individuella säkerhetstider beräknade med Serv2-metodik:**

Då bristkostnad är den bästa metoden med avseende på att erhålla en viss servicenivå med minsta möjliga kapitalbindning torde det vara av intresse att använda metoden praktiskt. Problemet är att skatta parametervärdet, speciellt om målet är att uppnå en viss servicenivå. I studien gjordes försök med att använda Serv2-baserad metodik för att lösa problemet. Detta innebar dock att Serv2 tvingades dimensionera för relativt låga servicenivåer och därmed vissa problem med precisionen. En av anledningarna till problem med precisionen för metoden vid låga servicenivåer kan vara normalfördelningsantagande för ledtidsefterfrågan. Vid högre servicenivåer används endast ledtidsefterfrågans högra svans, där verkar normalfördelningen ligga närmare ledtidsefterfrågan. Vid lägre servicenivåer kommer sannolikheter närmare ledtidsefterfrågans medelvärde att användas och där skiljer sig ofta normalfördelningen mer från verklig efterfrågan.

Därför finns det all anledning till att prova med andra fördelningar eller förbättra metodiken och därmed öka precisionen i metoden.

### **Utöka dataunderlaget:**

Studien har innefattat fem företag inom spridda branscher och produkter med relativt entydiga resultat. Genom att utöka dataunderlaget kan fler faktorer som påverkar olika dimensioneringsmetoders beteende framkomma och med det tydligare fastslå vilka faktorer som inverkar mest i respektive metod.

## Referenser

### Skriftliga källor

Axsäter Sven (2006); *Inventory Control*, New York, Springer

Bell Judith (1995); *Introduktion till forskningsmetodik*, Lund, Studentlitteratur

Björklund Maria, Paulsson Ulf (1994); *Seminarieboken – att skriva, presentera och opponera*, Lund, Studentlitteratur

Blom Gunnar, Enger Jan, Englund Gunnar, Grandell Jan, Holst Lars (2005); *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*, Lund, Studentlitteratur

Forslund Helena, Jonsson Patrik (2007); *Hur arbetar svensk industri med mätning av leveransprecision*, Växjö, Konferenspublikation från PLANs forsknings- och tillämpningskonferens

Höst Martin, Regnell Björn, Runeson Per (2006); *Att genomföra examensarbete*, Lund, Studentlitteratur

Lundahl Ulf, Skärvad Per-Hugo (1982); *Utredningsmetodik för samhällsvetare och ekonomer*, Lund, Studentlitteratur

Mattsson Stig-Arne (2007); *Standardavvikelser för säkerhetslagerberäkningar*, Lund, Next generation innovative logistics (NGIL)

Mattsson Stig-Arne (2010); *Effektiv materialstyrning – en handbok för att lyckas*, Helsingborg, Permatron

Mattsson Stig-Arne (2011a); *Utvärdering av fem metoder för dimensionering av säkerhetslager med avseende på kapitalbindning*, Göteborg, Chalmers tekniska högskola

Mattsson Stig-Arne (2011b); *Val av efterfrågefördelning för bestämning av beställningspunkter för lågomsatta artiklar*, Göteborg, Chalmers tekniska högskola

Silver Edward A., Pyke David F., Peterson Rein (1998); *Inventory management and production planning and scheduling*, John Wiley & Sons

Wallén Göran (1993); *Vetenskapsteori och forskningsmetodik*, Lund, Studentlitteratur

### Elektroniska källor

PipeChain, PipeChain 2012, <http://www.pipechain.se/sv-SE/Foretag> (Hämtad 2012-12-21)

## Bilagor

### Härledning av Serv2(Säkerhetstid):

$$S_2(R, Q, \sigma', \mu') = 1 - \frac{\sigma'}{Q} \left( G \left( \frac{R - \mu'}{\sigma'} \right) - G \left( \frac{R + Q - \mu'}{\sigma'} \right) \right)$$

$$G(x) = \varphi(x) - x(1 - \Phi(x))$$

Om:

$$\sigma' = \sigma\sqrt{LT}$$

$$\mu' = \mu LT$$

Kan Serv2 skrivas om till:

$$S_2(R, Q, \sigma, \mu, LT) = 1 - \frac{\sigma\sqrt{LT}}{Q} \left( G \left( \frac{R - \mu LT}{\sigma\sqrt{LT}} \right) - G \left( \frac{R + Q - \mu LT}{\sigma\sqrt{LT}} \right) \right)$$

Där beställningspunkten kan i sin tur skrivas om till:

$$R = \mu LT + \mu ST$$

Vilket ger:

$$\begin{aligned} S_2(ST, Q, \sigma, \mu, LT) &= 1 - \frac{\sigma\sqrt{LT}}{Q} \left( G \left( \frac{\mu LT + \mu ST - \mu LT}{\sigma\sqrt{LT}} \right) - G \left( \frac{\mu LT + \mu ST + Q - \mu LT}{\sigma\sqrt{LT}} \right) \right) = \\ &= 1 - \frac{\sigma\sqrt{LT}}{Q} \left( G \left( \frac{\mu ST}{\sigma\sqrt{LT}} \right) - G \left( \frac{\mu ST + Q}{\sigma\sqrt{LT}} \right) \right) = 1 - \frac{\sigma\sqrt{LT}}{Q} \left( G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST \right) - G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST + \frac{Q}{\sigma\sqrt{LT}} \right) \right) \end{aligned}$$

$$1 - \frac{\mu Q \sigma\sqrt{LT}}{Q \mu Q} \left( G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST \right) - G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST + \frac{Q \mu Q}{\mu Q \sigma\sqrt{LT}} \right) \right) =$$

$$1 - \frac{\mu \sigma\sqrt{LT}}{Q \mu} \left( G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST \right) - G \left( \frac{\mu}{\sigma\sqrt{LT}} ST + \frac{Q}{\mu \sigma\sqrt{LT}} \right) \right) =$$

Om:

$$\alpha = \frac{\mu}{Q}$$

$$\beta = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{LT}$$

Kan Serv2 omskrivas till:

$$S_2(ST, \alpha, \beta) = 1 - \alpha\beta \left( G \left( \frac{1}{\beta} ST \right) - G \left( \frac{1}{\beta} ST + \frac{1}{\alpha\beta} \right) \right)$$

### Härledning av Serv2(Bristkostnad)

$$\frac{\partial C}{\partial R} = h + \frac{b\mu}{Q} \left( \Phi\left(\frac{R - \mu'}{\sigma'}\right) - 1 \right) = 0$$

Där:

$h = \text{pris} * \text{lagerföringskostnad}$

$b = \text{bristkostnad}$

$$R = \sigma' \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{Qh}{\mu b} \right) + \mu'$$

$$R = \mu L_T + \mu S_T$$

$$\mu L_T + \mu S_T = \sigma \sqrt{L_T} \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{Qh}{\mu b} \right) + \mu L_T$$

$$S_T = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{L_T} \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{Qh}{\mu b} \right)$$

$$\alpha = \frac{\mu}{Q}$$

$$\beta = \frac{\sigma}{\mu} \sqrt{L_T}$$

$$\frac{h}{b} = \gamma$$

$$S_T = \beta \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \gamma \right)$$

$$S_T = \beta \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \frac{h}{b} \right)$$

Givet föregående formel för Serv2 (ST) blir detta

$$S_2(ST, \alpha, \beta) = 1 - \alpha \beta \left( G\left(\frac{1}{\beta} ST\right) - G\left(\frac{1}{\beta} ST + \frac{1}{\alpha \beta}\right) \right)$$

$$S_2(\alpha, \beta, \gamma) = 1 - \alpha \beta \left( G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha} \gamma\right)\right) - G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha} \gamma\right) + \frac{1}{\alpha \beta}\right) \right)$$

$$S_2(\alpha, \beta, h, b) = 1 - \alpha \beta \left( G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha} \frac{h}{b}\right)\right) - G\left(\Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\alpha} \frac{h}{b}\right) + \frac{1}{\alpha \beta}\right) \right)$$

## Härledning av andra derivata för Serv2 med avseende på R

Ur ekvation 3-14 och 3-15 fås:

$$-\frac{\partial S_2(R,Q)}{\partial R} = \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) - 1 - \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right) + 1$$

$$\frac{\partial S_2(R,Q)}{\partial R} = \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right) - \frac{1}{Q} \Phi\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) = \frac{1}{Q} \left( \Phi\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right) - \Phi\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) \right)$$

$$\frac{\partial^2 S_2(R,Q)}{\partial R^2} = \frac{1}{Q\sigma'} \left( \varphi\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right) - \varphi\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right) \right) = \frac{1}{Q\sigma'\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{R+Q-\mu'}{\sigma'}\right)^2} - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{R-\mu'}{\sigma'}\right)^2} \right) =$$

$$\frac{1}{Q\sigma'\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{1}{2\sigma'^2}(R+Q-\mu')^2} - e^{-\frac{1}{2\sigma'^2}(R-\mu')^2} \right)$$

Vilket är negativt för  $Q > 0$  då  $R + Q - \mu' > R - \mu'$

# Beställningsfrekvensen

