

Lagerstyrning av reservdelar hos Mantena Sverige AB



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Författare: Pontus Stefansson, Oskar Ståhl

Handledare: Peter Berling

Abstract

Mantena Sverige AB is responsible for providing maintenance to Skånetrafiken's trains. The maintenance is done in their depot located outside of Helsingborg. Previously all sourcing and inventory control of spare parts used for repairs has been done by the company who built the trains and who has a warehouse located in the same building as Mantena's depot. However, Mantena is currently in the process of establishing their own organization for sourcing and inventory control. The purpose of this master's thesis is to construct a tool that will help Mantena in the development of an inventory control system.

The tool is built using Excel and Visual Basic and provides Mantena with forecasts of future demand as well as an (R,Q)-policy where the re-order points and order quantities needed to meet a predefined service requirement are calculated. The forecasts are done using Croston's method and the modified version of it proposed by Syntetos and Boylan. The order quantity is calculated by using the economic order quantity. The re-order point is calculated by using a compound process where a Bernoulli process represents time intervals between demands, and an empirical distribution represents demand sizes.

When building the tool the authors strived towards making it reliable, functional and user friendly. The aim was that any employee at Mantena should be able to use it, despite any possible lack of knowledge about inventory control.

Analysis of the historical demand data revealed that many spare parts had only been demanded a handful of times thus making the statistical calculations for these spare parts less reliable. For these spare parts an alternative, qualitative, method to determine re-order points and order quantities is presented in the report.

During the work process the authors identified several areas that should be investigated further in order to improve both the tool in itself and Mantena's work with inventory in general. Among these are the defining of suitable service levels and the defining of costs related to handling the inventory the most important.

Keywords: Forecasting, Inventory Control, (R,Q)-policy, Spare Parts

Förord

Detta examensarbete utgör slutpunkten på fem års studier på Civilingenjörsprogrammet Industriell Ekonomi vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet utfördes i samarbete med Mantena Sverige AB under våren 2014 och syftade till att vidareutveckla Mantenas lagerstyrning.

Författarna har under arbetets gång kommit i kontakt med flertalet personer vilkas kunskaper och synpunkter har varit till stor hjälp och utan dem hade examensarbetet inte gått att genomföra. Författarna vill rikta ett särskilt tack till vår handledare Peter Berling för hans stöd och vägledning under arbetets gång. Dessutom vill vi tacka Johan Eking, Jonas Lindelöf och Göran Pehrsson på Mantena för det arbete de lagt ner i att ta fram data och information och för att de varit oss behjälpliga närhelst vi behövt det.

Lund, Maj, 2014

Pontus Stefansson

Oskar Ståhl

Sammanfattning

Mantena Sverige AB ansvarar för underhållet av Skånetrafikens Pågatåg. Underhållet utförs vid företagets depå utanför Helsingborg och där finns även det lager som förser Mantena med de reservdelar de behöver för att reparera tågen. Detta lager sköts dock inte av Mantena själva utan av det företag som byggt Pågatågen, och de ansvarar således för att de reservdelar som behövs finns tillgängliga vid behov. Avtalet mellan Mantena och tåg tillverkaren som reglerar detta är på väg att upphöra och Mantena har beslutat att sedan övergå till materialförsörjning och lagerstyrning i egen regi. Att kunna visa på att detta arbete utförs på ett systematiskt och strukturerat sätt anses ge företaget en konkurrensfördel vid upphandlingar om framtida kontrakt. Av den anledningen tillmäter ledningen arbetet med införandet av egen materialförsörjning och lagerstyrning stor vikt.

Detta examensarbete fokuserar på Mantenas lagerstyrning och syftar till att ta fram ett verktyg som baserat på historisk efterfrågedata tar fram prognoser och bestämmer en lämplig beställningspunktspolicy för varje enskild reservdel.

Vid lagerstyrning av reservdelar finns flera faktorer som måste tas i beaktande. Dels är efterfrågan på en reservdel ofta slumpmässig, både i tid och storlek. För att gardera mot denna osäkerhet kan säkerhetslager användas. Två frågeställningar som måste besvaras vid införandet av en beställningspunktspolicy är hur mycket som skall hållas i säkerhetslager och i vilka kvantiteter inköp ska göras. I dessa måste kostnaderna för att hålla en reservdel i lager vägas mot kostnaderna att få brist. Vidare vill Mantena att denna beslutsprocess i så stor utsträckning som möjligt skall gå att automatisera och göras individoberoende. Alla dessa faktorer måste Mantenas lagerstyrning kunna hantera. Det verktyg som utvecklats är baserat på den teori som finns om ämnesområdet lagerstyrning och det är således väl lämpat att besvara frågorna om lagerstorlek och inköpskvantiteter. Vidare bidrar verktyget till att göra lagerstyrningen strukturerad och individoberoende.

I verktyget beräknas prognoserna med hjälp av Crostons prognostiseringsmetod vilken är speciellt utvecklad för artiklar med sporadisk efterfrågan, vilket ju stämmer väl överens med efterfrågan på många reservdelar. Den beställningspunktspolicy som används är (R,Q) och således beräknas för varje enskild reservdel lämplig orderkvantitet och beställningspunkt, givet den grad av service som önskas uppnås. Service definieras som *"andel av efterfrågan som kan tillgodoses direkt från lager"*, det vill säga fyllnadsgrad. Författarna föreslår att servicegraden återspeglar en

reservdels grad av kritiskhet, det vill säga hur viktig reservdelen är. Vid beräkningarna för beställningspunkten, R , modelleras efterfrågan med hjälp av en sammansatt process bestående av en Bernoulliprocess för att modellera hur ofta efterfrågan finns, och en empirisk fördelning för att modellera efterfrågans storlek. För att beräkna orderkvantiteten, Q , används den ekonomiska orderkvantiteten.

Verktyget är utvecklat i Excel och Visual Basic och använder historisk efterfrågedata från Mantenas affärssystem vid de beräkningar som görs. Då Mantena i dagsläget inte har någon särskild logistikavdelning har författarna strävat efter att utforma verktyget på ett sådant sätt att det är tydligt och lätt att använda även för personer som i huvudsak arbetar med andra frågor. Denna faktor bedömdes som särskilt viktigt då en analys av viktiga kvalitetsdimensioner gjordes, det vill säga vilka dimensioner som skall ligga till grund för bedömningen av hur väl verktyget fungerar. Utöver detta bedömdes även dimensionerna funktionalitet och tillförlitlighet som viktiga.

Vidare konstaterades det vid analys av efterfrågedata att många reservdelar enbart hade efterfrågats vid ett fåtal tidigare tillfällen. För dessa reservdelar blir de statistiska beräkningarna mindre tillförlitliga och således även de rekommendationer som verktyget ger, och för de med en mycket begränsad efterfrågehistorik kan det även vara nödvändigt att använda en kvalitativ bedömningsmetod istället. I rapporten presenteras riktlinjer för hur en sådan kvalitativ bedömning kan göras.

I diskussionskapitlet diskuteras effekterna av en implementering. Det konstateras att det av flera orsaker inte går att göra en sådan bedömning. Dels beror detta på avsaknaden av viktig information såsom priser och ledtider. Dels beror det på att ingen lagerhållning sker i dagsläget och således är det omöjligt att jämföra det föreslagna beställningspunktsystemet med en befintlig lagerstyrning.

Under arbetes gång har författarna identifierat ett flertal frågeställningar vilka bör utredas noggrannare för att säkerställa att verktyget, och lagerstyrningen i sin helhet, fungerar optimalt. Dels bör val av servicegrader undersökas. Vilka servicegrader är av relevans, och vilka beslutsregler skall tillämpas då de enskilda reservdelarna tilldelas en servicegrad? Dels bör alla de parametrar som används i de olika modellerna bestämmas med större noggrannhet än vad som görs i detta arbete. Det handlar bland annat om att bestämma kostnader för att lägga order och kostnader förknippade med att hålla lager.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|--|---|
| 1 | Inledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Lagerstyrning..... | 2 |
| 1.2.1 | Varför lager? | 2 |
| 1.2.2 | Reservdelar för järnvägsfordon | 3 |
| 1.3 | Problematisering..... | 4 |
| 1.4 | Syfte | 4 |
| 1.5 | Avgränsningar | 4 |
| 1.5.1 | Geografisk avgränsning..... | 4 |
| 1.5.2 | Lagrets struktur | 5 |
| 1.5.3 | Endast lagerstyrning..... | 5 |
| 1.5.4 | Kostnader och servicegrad givna | 5 |
| 1.6 | Rapportens disposition | 5 |
| 1.6.1 | Inledning | 5 |
| 1.6.2 | Metod..... | 5 |
| 1.6.3 | Teori | 5 |
| 1.6.4 | Empiri | 6 |
| 1.6.5 | Analys | 6 |
| 1.6.6 | Genomförande..... | 6 |
| 1.6.7 | Diskussion | 6 |
| 1.6.8 | Slutsatser..... | 6 |
| 2 | Metod..... | 7 |
| 2.1 | Ett arbetes karaktär | 7 |
| 2.2 | Examensarbetets karaktär | 7 |
| 2.3 | Strukturering och planering för genomförande av arbetet..... | 8 |
| 2.3.1 | Metodval för examensarbetet | 9 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.4 | Arbetsmoment..... | 9 |
| 2.4.1 | Litteraturstudie | 9 |
| 2.4.2 | Datainsamling | 9 |
| 2.4.3 | Analys..... | 10 |
| 2.4.4 | Modellering..... | 11 |
| 2.4.5 | Kvalitetsdimensioner | 11 |
| 2.4.6 | Prototyputveckling..... | 12 |
| 2.4.7 | Utvärdering | 13 |
| 2.4.8 | Genomförande av examensarbetet..... | 13 |
| 2.5 | Arbetets giltighet | 14 |
| 2.5.1 | Reliabilitet | 14 |
| 2.5.2 | Validitet..... | 14 |
| 2.5.3 | Representativitet | 14 |
| 2.5.4 | Projektets giltighet..... | 14 |
| 3 | Teori..... | 15 |
| 3.1 | Lager..... | 15 |
| 3.1.1 | Lagerrelaterade kostnader..... | 15 |
| 3.1.2 | Kostnader för brist i lager | 16 |
| 3.2 | Prognostisering | 17 |
| 3.2.1 | Glidande medelvärde..... | 17 |
| 3.2.2 | Exponentiell utjämning | 18 |
| 3.2.3 | Crostons metod för prognostisering..... | 18 |
| 3.3 | Klassificering | 20 |
| 3.4 | Klassificering av reservdelar..... | 20 |
| 3.4.1 | Allmän klassificering..... | 21 |
| 3.4.2 | Efterfrågemönster för reservdelar | 21 |
| 3.4.3 | Grad av kritiskhet..... | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5 | Metoder för att bestämma säkerhetslagrets storlek..... | 27 |
| 3.5.1 | Manuell bedömning..... | 27 |
| 3.5.2 | Baserat på bristkostnad | 27 |
| 3.5.3 | Baserat på servicenivå | 28 |
| 3.6 | Lagerstyrningsmetoder | 29 |
| 3.6.1 | (R, Q)-policy..... | 30 |
| 3.6.2 | Övriga lagerstyrningspolicier | 30 |
| 3.7 | Partiformningsmetoder | 31 |
| 3.7.1 | Ekonomisk orderkvantitet..... | 31 |
| 3.7.2 | Dynamisk partiformning | 33 |
| 3.8 | Beställningspunkt..... | 34 |
| 3.8.1 | Modellering av efterfrågan | 35 |
| 3.8.2 | Beräkning av beställningspunkt | 37 |
| 4 | Empiri..... | 41 |
| 4.1 | Aktörer inom svensk järnväg och järnvägsunderhåll..... | 41 |
| 4.1.1 | Trafikverket | 41 |
| 4.1.2 | Transportstyrelsen | 41 |
| 4.1.3 | SJ AB | 42 |
| 4.1.4 | Euromaint Rail AB | 42 |
| 4.1.5 | Länstrafikbolag..... | 42 |
| 4.2 | Den skånska järnvägen och dess aktörer..... | 43 |
| 4.2.1 | Skånetrafiken | 43 |
| 4.2.2 | Arriva Tåg AB..... | 43 |
| 4.2.3 | Alstom | 43 |
| 4.2.4 | Jernhusen | 43 |
| 4.3 | Företagsbeskrivning..... | 44 |
| 4.3.1 | Mantena Sverige AB..... | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Verksamheten i Helsingborg | 44 |
| 4.3.3 | Materialförsörjning på Mantena..... | 45 |
| 4.3.4 | Lagerstruktur på Mantena | 45 |
| 4.3.5 | Indata | 45 |
| 4.3.6 | Uttagsfrekvens | 46 |
| | Efterfrågan | 47 |
| 5 | Analys..... | 49 |
| 5.1 | Viktiga kvalitetsdimensioner..... | 49 |
| 5.2 | Efterfrågedata och prognosmetod | 49 |
| 5.2.1 | Startvärden för prognoser | 50 |
| 5.2.2 | Artiklar med mycket låg efterfrågan..... | 50 |
| 5.2.3 | Övrig indata..... | 51 |
| 5.3 | Tillämpning av klassificering | 51 |
| 5.3.1 | Klasser | 51 |
| 5.3.2 | Styrningsmetoder för de olika klasserna | 52 |
| 5.4 | Analys av lämplig efterfrågemodell | 53 |
| 5.5 | Lagerstrukturen på Mantena | 54 |
| 5.6 | Val av lagerstyrningsmodell | 55 |
| 6 | Genomförande..... | 57 |
| 6.1 | Sammanställning av data | 57 |
| 6.2 | Klassificering av efterfrågan och prognostisering..... | 58 |
| 6.2.1 | Crostons metod för sporadisk efterfrågan..... | 58 |
| 6.2.2 | Syntetos-Boylans modifiering | 59 |
| 6.3 | Beräkning av orderkvantitet | 59 |
| 6.4 | Beräkning av beställningspunkt | 60 |
| 6.5 | Validering | 61 |
| 7 | Diskussion | 63 |

| | | |
|--------|--|----------|
| 7.1 | Teoridiskussion | 63 |
| 7.1.1 | Bernoulliprocessen | 63 |
| 7.1.2 | Klassificering av efterfråga..... | 63 |
| 7.1.3 | Prognosmetod..... | 64 |
| 7.1.4 | Partiformningsmetod..... | 64 |
| 7.1.5 | Värdering av källor | 66 |
| 7.2 | Utvärdering av verktyget | 66 |
| 7.2.1 | Systemkvalitet | 66 |
| 7.2.2 | Processkvalitet | 69 |
| 7.3 | Möjligheter till jämförelser | 71 |
| 7.4 | Implementering | 71 |
| 7.5 | Begreppen avhjälpande och förebyggande underhåll..... | 72 |
| 8 | Slutsatser..... | 75 |
| 8.1 | Resultat | 75 |
| 8.2 | Reflektioner..... | 76 |
| 8.2.1 | Genomförande..... | 76 |
| 8.2.2 | Förslag på vidare arbete | 76 |
| 9 | Referenslista | 79 |
| 9.1 | Böcker | 79 |
| 9.2 | Tidskrifter..... | 79 |
| 9.3 | Hemsidor..... | 80 |
| 10 | Bilagor | LXXXII |
| 10.1 | Bilaga 1 - Val av fördelning för tid mellan efterfrågetillfällen | LXXXII |
| 10.2 | Bilaga 2 – Valideringsmodellen..... | LXXXIII |
| 10.2.1 | Resultat av validering..... | LXXXIII |
| 10.3 | Bilaga 3 - Exempelbilder från programmet..... | LXXXV |
| 10.4 | Bilaga 4 – Källkod | LXXXVIII |

Innehållsförteckning - Figurer

| | |
|--|----|
| Figur 2 - Intervall mellan efterfrågetillfällen | 22 |
| Figur 3 – Gränsvärden för klassificering av efterfrågan | 23 |
| Figur 4 - Ett (R, Q)-system med kontinuerlig tid och kontinuerlig efterfrågan..... | 30 |
| Figur 5 - Bestämning av ekonomisk orderkvantitet..... | 32 |
| Figur 6 - Schematisk bild av de intervall som studeras..... | 39 |
| Figur 7 – De viktigaste aktörerna kring drift och underhåll av Pågatågen..... | 42 |
| Figur 8 – En schematisk bild av projektets genomförande..... | 57 |

Innehållsförteckning – Tabeller

| | |
|---|----|
| Tabell 1 – Hanteringsförslag enligt egenskaper | 26 |
| Tabell 2 – Information om datamaterialet från Mantenas affärssystem. | 46 |
| Tabell 3 – Uttagsfrekvens för alla reservdelar | 46 |
| Tabell 4 – Efterfrågans medelvärden..... | 47 |

1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till examensarbetet för att ge läsaren en grundläggande förståelse för den kontext i vilken arbete är utfört. Därefter problematiseras ämnesområdet lagerstyrning för att visa på arbetets relevans vilket sedan leder in till problemformulering, syfte och avgränsningar. Kapitlet avslutas med en beskrivning av rapportens struktur och disposition.

1.1 Bakgrund

År 2001 fattade riksdagen ett historiskt beslut, efter drygt 70 år av statligt monopol bolagiserades Statens Järnvägar (SJ) och järnvägsbranschen konkurrensutsattes. Privata aktörer fick nu möjlighet att delta i upphandlingar om allt från drift till underhåll. År 2009 vann företaget Mantena Sverige AB (hädanefter endast Mantena) upphandlingen om underhåll av Skånetrafikens Pågatåg. Företaget är dotterbolag till norska Mantena AS, och är specialiserat på underhåll av järnvägsfordon. Avtalet med Skånetrafiken var Mantenas första i Sverige. Underhållet av Pågatågen sker i Jernhusens depå utanför Helsingborg och där är även Mantenas huvudkontor är placerat. Sedan dess har ytterligare upphandlingar vunnits och företaget är nu även verksamt i Östergötland och i Norrland, dock utgör fortfarande Skånetrafiken Mantenas största kund.

Mantena har sedan en tid påbörjat arbetet med att utveckla företagets materialförsörjning och lagerstyrning. Dessa områden anses vara av strategisk vikt och ett stort arbete med att ta fram nya individoberoende processer pågår. Förhoppningen med det här examensarbetet är att det ska kunna spela en roll i den nya lagerstyrningen av reservdelar på Mantena.



Ett Pågatåg på Lund C (Foto: Oskar Ståhl)

1.2 Lagerstyrning

1.2.1 Varför lager?

Syftet med att ha ett lager är att frikoppla olika flöden i försörjningskedjan (Jonsson & Mattson, 2011). Att man vill göra detta beror på ett flertal olika faktorer, ett sådant kan vara att inköp görs kartongvis medan förbrukningen sker styckevis. En annan viktig faktor är att man med hjälp av lager kan gardera mot osäkerhet och risk i försörjningskedjan. Till riskerna kan räknas sådant som felaktiga eller försenade inleveranser. Dessa risker kan till viss del minskas genom att man använder sig av flera leverantörer, eller att man har ett väl fungerande samarbete mellan företagen i försörjningskedjan. En osäkerhet som måste hanteras är till exempel variationer i efterfrågan. Med ett lager kan man skaffa sig en buffert som mot sådana svängningar.

Det kan således konstateras att det finns ett syfte att hålla lager. Nästa steg blir sedan att bestämma i vilka kvantiteter produkter som skall lagerhållas samt i vilka kvantiteter som inköp skall göras. En enkel lösning vore givetvis att lagerhålla alla produkter stora kvantiteter, då skulle all efterfrågan kunna tillgodoses oavsett hur mycket efterfrågan varierade. Dock skulle ett sådant förfaringssätt innebära att mycket kapital bands upp i lagret, kapital som kanske kommit till bättre nytta om det investerats i något annat. Samtidigt kan andra kostnader uppstå om lagret är för litet, den mest uppenbara är kanske förlorade intäkter till följd av att efterfrågan inte kan tillgodoses. Vidare skulle brist i lagret kunna leda till att man förlorar en kund för gott och således går miste om alla dennes framtida inköp. Ytterligare en kostnad som kan uppstå till följd av brist är förseningsavgifter orsakade av att leverans inte kan ske som avtalat.

Här går två motstridiga krav att skönja. Å ena sidan, för att undvika bristsituationer och för att man skall kunna hålla en hög grad av service gentemot kunderna krävs stora lager, med höga kostnader för bundet kapital som följd. Å andra sidan, för att minska kapitalbindningen krävs att lagernivåerna sänks, med ökad risk för brist och därtill hörande kostnader som följd.

Arbetet med att hitta den rätta balansen mellan service och bristkostnad kallas för lagerstyrning och innefattar bland annat beslut om hur mycket som skall köpas in och när (Axsäter, 2006). Många faktorer påverkar dessa beslut, inköpspris, efterfrågan, hur viktigt produkten anses vara och kostnader för lagerhållning för att nämna några.

För att underlätta detta arbete finns matematiska modeller vilka väger samman relevanta faktorer och utifrån detta avgör dels hur mycket som bör köpas in vid varje tillfälle, dels hur mycket lager som skall hållas. Ett mål med lagerstyrningen kan således beskrivas som att givet en önskad nivå av service minimera kostnaderna för lagerhållning.

1.2.2 Reservdelar för järnvägsfordon

Ett järnvägsfordon innehåller tusentals delar, alla vilka i olika utsträckning är nödvändiga för att fordonet ska kunna vara i drift. Alla dessa delar måste finnas tillgängliga under hela fordonets livslängd, vilken kan spänna över årtionden. Dessutom kan behovet för de olika reservdelarna se fundamentalt olika ut, vissa förbrukas i jämn takt över hela livscykeln medan andra bara behövs vid enstaka tillfällen och vissa kommer kanske aldrig till användning. (Eisingerich, Jönke & Wagner, 2012)

Det går alltså att urskilja tre problemområden kopplade till reservdelar och deras försörjning det stora antalet, den långa tidshorisonten och den stora variationen i efterfrågan. För att ha en tillräckligt god tillgänglighet av reservdelar krävs att alla dessa problemområden hanteras.

1.2.2.1 *Det stora antalet*

Att man ofta har tusentals, eller till och med tiotusentals reservdelar kopplade till en fordonsflotta ger upphov till flera problemställningar. Ett problem är lagerhållningen, både rent fysiskt men också ekonomiskt. I många fall kan det helt enkelt inte finnas plats att förvara en eller flera av alla reservdelar i lager vilket kräver en avvägning och prioritering av artiklarna. Ur en ekonomisk synvinkel måste man göra en avvägning mellan kostnaderna för bundet kapital och lagerhållning kontra eventuella bristkostnader. Det faktum att förbrukningen ofta är mycket oregelbunden och att antalet efterfrågade delar kan variera stort gör denna avvägning än svårare. (Cavalieri et al, 2008)

För järnvägsfordon tillkommer även det faktum att många delar har ett mycket högt värde som gör att även lagerhållning av små kvantiteter kan bli kostsam.

1.2.2.2 *Den långa horisonten*

Järnvägsfordon har ofta en livslängd som spänner över många år och de är i drift långt efter det att nyttillverkningen upphört.

Detta kan orsaka problem i fråga om materialförsörjningen, särskilt gäller det för de reservdelar som är unika för ett visst fordon. Återigen ställs man inför avvägningen mellan att köpa in för att säkerställa tillgången på material eller att beställa när behovet uppstår. Visserligen tillhandahåller tillverkaren ofta reservdelar, åtminstone under garantitiden, men icke desto mindre bör man redan när avtalet för fordonen träder i kraft säkerställa att man har en materialförsörjning som fungerar tillfredställande under hela livscykeln. (Eisingerich, Jönke & Wagner, 2012)

1.2.2.3 Den stora variationen i efterfrågan

Reservdelar uppvisar ofta en hög grad av oregelbundenhet både i tid mellan efterfrågetillfällena och i efterfrågans storlek. Detta gör att det kan vara mycket svårt att veta hur mycket man bör ha i lager och således finns mycket att vinna på att ha en väl fungerande prognostisering och lagerstyrning. (Eaves & Kingsman, 2004)

1.3 Problematisering

Vid implementeringen av egen lagerstyrning måste Mantena ta alla dessa områden i beaktning. Det resonemanget leder in till följande problemställningar:

- Hur ska Mantena hantera det stora antalet reservdelar som finns till Pågatågen?
- Hur ska Mantena hantera att efterfrågan uppvisar stor oregelbundenhet?

1.4 Syfte

Syftet med examensarbetet är att ta fram ett verktyg som kan hjälpa Mantena att på ett strukturerat och individoberoende sätt hantera den oregelbundenhet som åtgången på reservdelar uppvisar. Verktyget ska kunna användas för lagerstyrning på depån i Helsingborg och ska tillhandahålla klassificering, prognostisering samt beräkna beställningspunkt och orderkvantitet för artiklarna.

1.5 Avgränsningar

1.5.1 Geografisk avgränsning

Under arbetet studeras endast reservdelar på depån i Helsingborg. Detta beror på att det på övriga depåer förekommer tåg av andra typer samt att verksamheten på vid dessa depåer är betydligt mindre i omfattning.

1.5.2 Lagrets struktur

Inget förslag till ändring av lagerstruktur kommer att tas fram. Dels gör Mantenas kontraktbaserade verksamhet att allt för stora förändringar i lagerstruktur riskerar att bli utdaterad då nya upphandlingar vinnas, eller då befintliga avtal upphör. Dels skulle en djuplodande studie av lagerstruktur göra arbetet allt för omfattande.

1.5.3 Endast lagerstyrning

Hanteringen av företagets värdekedja omfattar många olika aspekter på företaget. I det här examensarbetet kommer dock endast lagerstyrningen behandlas. Andra aktiviteter som faller under begreppet materialförsörjning, såsom till exempel inköp, kommer inte behandlas.

1.5.4 Kostnader och servicegrad givna

I beräkningarna anses kostnader, till exempel orderkostnad och lagerhållningskostnad, vara givna. Eftersom de i vissa fall inte är kända av Mantena heller används, där så är nödvändigt, av författarna uppskattade värden. Någon ingående analys av dessa kostnaders faktiska värde kommer emellertid inte att presenteras. På samma sätt används en av författarna definierad servicenivå i beräkningarna.

1.6 Rapportens disposition

1.6.1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till examensarbetet för att ge läsaren en grundläggande förståelse för den kontext i vilken arbete är utfört. Därefter problematiseras ämnesområdet lagerstyrning för att visa på arbetets relevans vilket sedan leder in till problemformulering, syfte och avgränsningar. Kapitlet avslutas med en beskrivning av rapportens struktur och disposition.

1.6.2 Metod

I detta kapitel presenteras metodteori översiktligt. Denna ligger sedan till grund för den metod som väljs för genomförandet av detta examensarbete. Metodvalet syftar till att säkerställa att examensarbetet genomförs på ett sådant sätt att kraven på vetenskaplighet nås.

1.6.3 Teori

I det tredje kapitlet presenteras den teori som arbetet bygger på. Till en början presenteras grundläggande teori om lagerhållning och reservdelar. Detta följs av ett avsnitt om klassificering av efterfrågan och reservdelar.

Därefter presenteras prognosmetoder och beställningspunktsystem. Avsnittet om beställningspunktsystem är uppdelad efter de två centrala begreppen orderkvantitet och beställningspunkt.

1.6.4 Empiri

I det fjärde kapitlet beskrivs det faktaunderlag som ligger till grund för examensarbetet. Kapitlet inleds med en kortfattad beskrivning av de aktörer som verkar inom svensk järnväg och är av intresse för Mantena och examensarbetet. Därefter följer en beskrivning av datamaterialet som används i det utvecklade verktyget.

1.6.5 Analys

I kapitel fem analyseras arbetet mot bakgrund av den teori som tidigare tagits upp. Först identifieras de kvalitetsparametrar som är av vikt i projektet. Även efterfrågedata och valet av prognosmetod analyseras. Därefter behandlas valet av efterfrågemodell. Kapitlet avslutas med en motivering av den lagerstyrningsmodell som författarna valt att använda i examensarbetet.

1.6.6 Genomförande

I kapitel sex presenteras en mer utförlig beskrivning av genomförandet av examensarbetet. Läsaren får först en överblick av arbetets gång och sedan en detaljerad redogörelse för hur det framtagna verktyget fungerar.

1.6.7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras först olika aspekter av den teori som använts och dess styrkor och svagheter. Sedan följer en utvärdering av det framtagna verktyget utifrån kvalitetsdimensionerna. Därefter följer en diskussion kring möjligheterna att identifiera de eventuella förbättringar den föreslagna lagerstyrningen skulle kunna ge. Kapitlet avslutats med en diskussion kring en eventuell implementering och de olika underhållsbegreppen.

1.6.8 Slutsatser

Kapitlet inleds med att resultaten av examensarbetet presenteras i sammanfattad form. Därefter följer författarnas egna reflektioner kring arbetet i stort och därefter ges förslag på vidare arbete.

2 Metod

I detta kapitel presenteras metodteori översiktligt. Denna ligger sedan till grund för den metod som väljs för genomförandet av detta examensarbete. Metodvalet syftar till att säkerställa att examensarbetet genomförs på ett sådant sätt att kraven på vetenskaplighet nås.

”Metodik är det grundläggande arbetsätt man väljer för sitt examensarbete.” (Höst et al. 2006). Metodiken ska ge de allmänna regler som skall följas under arbetes gång. Med hjälp av metodiken bestäms vilka metodregler som ska gälla, det vill säga de regler som skall gälla under projektets genomförande. Dessa garanterar att projektet genomförs på ett vetenskapligt sätt och att de resultat och slutsatser som nås uppfyller kraven på validitet, reliabilitet och objektivitet (Höst et al. 2006). Kort sagt kan man alltså säga att metodiken ska tillhandahålla ett ramverk för genomförande och ge stöd i arbetet att nå från initial problemformulering till slutgiltigt resultat och arbetets färdigställande.

2.1 Ett arbetes karaktär

Vetenskapliga studier genomförs i många olika former och av många olika anledningar. Beroende på vad författarna hoppas uppnå med sin studie kan arbetet ta sig olika uttryck och former. Enligt Höst et al. (2006) kan följande kategorier användas för att klassificera en studies karaktär:

- En **deskriptiv studie** söker ta reda hur det som studeras fungerar eller hur något utförs.
- En **explorativ studie** har som mål att på ett mer djuplodande och heltäckande sätt förklara hur det som ska studeras fungerar eller utförs.
- En **explanativ studie**, eller en förklarande studie, utforskar varför något fungerar som det gör genom att kartlägga olika orsaker och deras samband.
- En **problemlösande studie** är en studie som har som mål att hitta en lösning till ett identifierat problem.

2.2 Examensarbetets karaktär

Det här examensarbetet har inslag av flera av de ovan nämnda studietyperna. Arbetet inleds med en deskriptiv litteraturstudie i syfte att kartlägga järnvägsbranschen och ämnesområdet lagerstyrning. Syftet är också att kunna placera arbetet i ett större sammanhang.

Den efterföljande andra litteraturstudien har ett explorativt fokus. Efter att ha gjort den övergripande kartläggningen tränger författarna djupare in i ämnesområdet. Syftet är då att skaffa sig den nödvändiga teoretiska kunskapen som finns kopplad till ämnesområdet och vilken ligger till grund för det verktyg som skall utarbetas. Genom att ta del av forskningsresultat erhålls en bild av de arbetssätt och metoder som förespråkas av forskare inom området. Författarna lägger stor vikt vid att använda metoder och teorier som är underbyggda och som finns omnämnda i forskningsrapporter och facklitteratur.

Slutligen får arbetet en problemlösande karaktär. Här används de kunskaper som förvärvats under de inledande deskriptiva och explanativa litteraturstudierna för att ta fram det verktyg som ska användas vid arbetet med lagerstyrning. I denna fas ingår bland annat insamling av kvantitativ och kvalitativ data, modellerande samt analys av uppnådda resultat.

2.3 Strukturering och planering för genomförande av arbetet

Arbetes syfte och karaktär påverkar i hög grad hur man väljer att strukturera och planera arbetet, det vill säga vilken metod, eller kombination av metoder som används. Enligt Höst et al. (2006) kan metoderna delas in i följande fyra kategorier:

- **Kartläggning.** Dessa metoder syftar till att beskriva och sammanställa fakta kring det studerade objektet eller företaget.
- **Fallstudier.** Dessa är djuplodande studier av ett fenomen eller objekt.
- **Experiment.** Experiment är studier där man isolerar ett objekt eller ett fenomen för att genom manipulation av påverkande faktorer söker förklara orsakssamband.
- **Aktionsforskning.** Denna metod består av de tre stegen, observation, lösning och utvärdering. Inledningsvis observeras det studerade objektet och problemområden identifieras. Därefter utarbetas och implementeras ett lösningsförslag. I det sista steget utvärderas effekterna och resultaten av lösningsförslaget och rekommendationer för vidareutveckling tas fram.

2.3.1 Metodval för examensarbetet

Detta examensarbete kommer att vara en kombination av fallstudie och aktionsforskning. Det inledande arbetet med att på djupet analysera Mantena och dess verksamhet liknas vid en fallstudie och syftar till att beskriva dess verksamhet och identifiera de problem som finns.

Därefter övergår arbetet till att få karaktären av aktionsforskning. Baserat på fallstudien kommer ett förslag till lösning tas fram, dock kommer inte någon implementering ske inom ramen för examensarbetet vilket gör att arbetet med utvärdering och förbättringar inte kommer att kunna genomföras.

2.4 Arbetsmoment

När metod valts blir nästa steg att bestämma de olika arbetsmomenten som skall ingå i arbetet och hur dessa rent praktiskt skall genomföras.

2.4.1 Litteraturstudie

Ett moment som i princip alltid ingår i ett examensarbete är litteraturstudien. I ett inledande skede av examensarbetet syftar litteraturstudierna till att ge en överblick av det studerade ämnesområdet. Med hjälp av denna kunskap kan sedan problemformulering, syfte och avgränsningar preciseras. Dessa preciseringar ligger sedan till grund för de mer fokuserade och djuplodande litteraturstudierna som följer. Den kunskap som inhämtas i denna andra litteraturstudie ligger i forskningens framkant och utgör grunden för det fortsatta arbetet. När sedan resultatet av arbetet skall analyseras jämförs resultaten med litteraturen ännu en gång. På detta vis blir litteraturstudierna en iterativ process som genomsyrar hela examensarbetet. Något som är viktigt i arbetet med litteraturstudier är granskning och värdering av källor, detta för att säkerställa att den teori som skall användas är korrekt och pålitlig.

2.4.2 Datainsamling

Ytterligare ett arbetsmoment som ofta återkommer i examensarbeten är datainsamling. Både typen av data och metoden för att samla in den varierar beroende på examensarbetets karaktär och syfte. De data som inhämtas kan antingen vara av kvantitativ eller kvalitativ natur.

2.4.2.1 *Kvantitativ data*

Kvantitativ data är som namnet antyder av mätbar karaktär.

Det kan exempelvis handla om direkta kostnader, förbrukning av en produkt eller antal kunder som besöker en butik under en dag. Denna typ av data bearbetas och analyseras med hjälp av statistiska metoder.

2.4.2.2 Kvalitativ data

Kvalitativ data såsom intervjuer och beskrivningar är mer abstrakt till sin karaktär och kräver därför andra analysmetoder än kvantitativ data. Vid analys av kvalitativ data ligger fokus på uttolkning och förståelse (Hartman, 2004). Detta kan till exempel ske genom klassificering och kodning av det insamlade materialet, eller genom den analyserandes kunskaper och kompetens inom det studerade området.

Oavsett vilken typ av data som insamlas är det viktigt att det görs på ett sådant sätt att kraven på vetenskaplighet nås. I fallet med kvantitativ data kan det exempelvis handla om utformningen av stickprov och i fallet med kvalitativ data om formuleringen av intervjufrågor.

2.4.2.3 Primär- och sekundärdata

Vidare kan data var antingen var primär eller sekundär. Primärdata är sådan den som genomför undersökningen själv samlat in genom exempelvis observationer, intervjuer eller mätningar. Sekundärdata är data som någon annan samlat in. Exempel på sekundärdata är statistik från ett affärssystem, akademiska publikationer och arkivdata. Både i fallet med primär- och sekundärdata krävs ett kritiskt förhållningssätt då graden av korrekthet och pålitlighet skall bedömas. I fallet med primärdata vill man säkerställa att inhämtningen av data skett på ett sådant sätt att resultaten är oförvanskade och i fallet med sekundärdata krävs en källkritisk granskning.

2.4.3 Analys

När datamaterialet insamlats följer arbetet med att analysera det. Beroende på dess karaktär kan det antingen analyseras med hjälp av kvantitativa eller kvalitativa metoder. Nedan följer en kort beskrivning av de två olika metoderna.

2.4.3.1 Kvantitativ analys

Data av kvantitativ karaktär analyseras med hjälp av kvantitativa analysmetoder. Analysen sker enligt Hartman (2004) i två steg. I det första steget organiseras och beskrivs datamaterialet på ett sådant sätt att det går att använda i det fortsatta arbetet.

Exempel på detta är att ta fram histogram, diagram, medelvärden och varians. I det andra steget görs en statistisk analys med målet att bedöma allmängiltigheten av de resultat datamaterialet uppvisar.

2.4.3.2 *Kvalitativ analys*

För att analysera kvalitativ data används kvalitativa analysmetoder. Även i detta fall sker analysen enligt Hartman (2004) i två steg.

Inledningsvis kategoriseras datamaterialet, detta kallas även för kodning. Kodningen går ut på att finna relevanta begrepp kopplade till de frågor som ligger till grund för undersökningen. När dessa är identifierade kategoriseras och klassificeras dem. Kategorierna väljs så att de var och en belyser en viktig aspekt och att de tillsammans ger en helhetsbild av undersökningen.

Det andra steget utgörs av tolkning av det kategoriserade materialet och utifrån dessa kan slutsatser dras. Höst et al. (2006) betonar vikten av spårbarhet vid kvalitativa analyser. Med spårbarhet menar de möjligheten att härleda slutsatserna tillbaka till det specifika datamaterial som ligger till grund för dem.

2.4.4 *Modellering*

Att ta fram en modell, det vill säga en förenklad abstraktion av verkligheten är ytterligare ett arbetsmoment i många examensarbeten. När en modell tas fram är det viktigt att de för arbetet relevanta egenskaperna och aspekterna av det verkliga studieobjektet finns med samtidigt som det är viktigt att de mindre intressanta avgränsas bort. Detta för att få en modell som har en lämplig abstraktionsnivå och som är hanterbar och inte alltför komplex. Då modellen implementerats bör den valideras för att säkerställa att den återger verkligheten på det sätt som önskas, detta kan exempelvis göras genom simulering.

2.4.5 *Kvalitetsdimensioner*

En viktig del av arbetet utgörs av att bestämma vilka kvalitetsdimensioner som är relevans för de i arbetet inblandande parterna och hur de ska mätas. De ger en indikation på vilka delar av examensarbetet som är av störst vikt och var fokus skall läggas. Vidare kan kvalitetsdimensionerna utgöra ett underlag för utvärderingen av arbetet. Exempel på kvalitetsdimensioner är produktkvalitet, tjänstekvalitet, systemkvalitet och processkvalitet. De två sistnämnda kan utgöra en bra bedömningsgrund för arbeten vilka innefattar programvara och processer där människor och teknik samverkar (Höst et al. 2006).

2.4.5.1 Systemkvalitet

Med systemkvalitet menas kvalitet kopplad till programvara eller andra tekniskt komplexa system. För att bedöma kvaliteten av ett sådant arbete värderas bland annat systemets funktionalitet, tillförlitlighet, användarbarhet, underhållsbarhet och portabilitet. (Höst et al. 2006)

- **Funktionalitet** fokuserar på hur väl systemet löser de problem det är avsett för att lösa.
- **Tillförlitlighet** anger hur väl systemet fungerar, levererar den tillförlitlig och felfri information och prestanda?
- **Användarbarhet** anger hur svårt eller enkelt det är att använda systemet. Faktorer som lärbarhet, begriplighet och utseende är alla med och påverkar hur användarvänligt en programvara anses vara.
- **Underhållsbarhet** indikerar hur enkelt det är att utföra förändringar i systemet.
- **Portabilitet** syftar på hur väl systemet går att flytta mellan olika omgivningar. För programvara kan det exempelvis handla om möjligheten att köra programmet i olika operativsystem.

2.4.5.2 Processkvalitet

Processkvalitet syftar som namnet antyder till att bedöma hur väl en ny process fungerar. En av de faktorer som bedöms är effekt, det vill säga hur mycket som går att vinna på införandet av processen. Vidare bedöms kostnaden för införande, användarbarheten och acceptansen för den nya processen bland de tänkta användarna. (Höst et al. 2006).

2.4.6 Prototyputveckling

En prototyp är en förlaga eller tidig version av en färdig produkt. Arbetet med att ta fram en prototyp kännetecknas av att dess slutgiltiga specifikation inte är känd när arbetet inleds utan denna utkristalliserar under arbetets gång. Höst et al.(2006) föreslår ett evolutionärt angreppssätt vid prototyputveckling. Baserat på en initial idé utvecklas en första prototyp. Denna prototyp utvärderas och baserat på utvärderingen tas en ny specifikation fram.

Den nya specifikationen ligger sedan till grund för utvecklingen av en andra prototyp vilken även den utvärderas och utifrån denna tas en tredje specifikation fram varefter en ny prototyp utvecklas. Denna iterativa process upprepas till det att en färdig produkt finns.

2.4.7 Utvärdering

Ett av de avslutande momenten i examensarbetet är utvärderingen. Målsättningen med utvärderingen är enligt Höst et al. (2006) att göra en bedömning av arbetets kvalitet utifrån uppställda målsättningar och i vilken utsträckning målen kunde nås med den valda metoden. Utvärdering skall vara förutsättningslös och objektiv.

2.4.8 Genomförande av examensarbetet

Detta examensarbete inleds likt många andra med en litteraturstudie. Litteraturstudierna utgår ifrån den problemformulering som gjorts och syftar till att ge författarna de nödvändiga teoretiska kunskaperna vilka behövs för att kunna identifiera, lösa och analysera problemen på ett tillfredställande sätt. När litteraturstudierna avslutats och ämneskunskaperna förbättrats kommer problemformulering och syfte att förtydligas. I detta skede kommer även metod för genomförande preciseras jämte de tänkta resultaten av arbetet.

När problem och syfte klargjorts följer arbetet med att samla in nödvändig data. I detta arbete kommer både primär- och sekundärdata insamlas. Primärdata fås genom samtal med personal på företaget. Syftet med dessa data är att få en övergripande bild av företaget och den kontext i vilken problemet finns. Sekundärdata fås främst från företagets affärssystem.

Den tredje fasen går ut på att bestämma vilka kvalitetsdimensioner som är relevanta för arbetet. Dessa bestäms utifrån de behov och förutsättningar som finns hos Mantena och syftar till att säkerställa att de resultat som nås också kommer Mantena till gagn.

Sedan följer arbetet med att baserat på en analys av det insamlade datamaterialet skapa en modell av verkligheten. Utifrån denna modell och de fastställda kvalitetsdimensionerna påbörjas sedan arbetet med prototyputveckling.

Arbete avslutas sedan med en presentation av resultat, diskussion och slutsatser.

2.5 Arbetets giltighet

För att ett vetenskapligt arbete ska kunna bidra med något måste resultaten och arbetssättet vara trovärdigt. Flera olika faktorer påverkar ett arbetes trovärdighet. Enligt Höst et al. (2006) är det främst reliabilitet, validitet och representativitet som bygger upp denna trovärdighet.

2.5.1 Reliabilitet

Ett arbetes reliabilitet hänger i stor grad samman med arbetets genomförande. Genom att göra det möjligt för andra läsare att följa hur arbetet genomförts kan läsaren själv bedöma arbetet. Att genomföra datainsamling på ett strukturerat sätt är också av stor vikt. Målet är att ha en metod som minimerar risken för slumpmässiga fel. Detta kan uppnås genom att genomföra upprepade mätningar eller ställa samma fråga vid olika tillfällen i en intervju. Likartade resultat tyder på hög reliabilitet.

2.5.2 Validitet

Ett arbetes validitet är kopplat till förekomsten av systematiska fel. Genom att motivera vad som mäts och hur detta är kopplat till vad den avses användas till kan läsaren bedöma om författarna mäter det som önskas mätas. Att ha en god uppfattning om bakomliggande faktorer och att kunna ta hänsyn till detta bygger upp arbetets validitet.

2.5.3 Representativitet

Detta är ett mått på i vilken utsträckning studiens resultat kan appliceras på andra områden. Enligt Höst et al (2006) är det främst urvalet som avgör om ett arbete kan generaliseras. Som regel gäller att ett arbete inte kan generaliseras bortom den population urvalet är taget från.

2.5.4 Projektets giltighet

I det här projektet är det främst rapporten som bidrar till reliabilitet och validitet. Där kan läsaren följa resonemang om teorival och teorins tillämpning i projektet. På det sättet kan läsaren bedöma författarnas trovärdighet.

Dessutom presenteras källkoden till programmet som tagits fram. Genom att granska den kan läsaren själv sätta sig in i programmet och bedöma verktygets funktionalitet.

Vad gäller representativitet gör författarna inte anspråk på att ha gjort ett allmängiltigt program. Programmet är tvärtom framtaget särskilt för Mantena. Det kan däremot användas för andra depåer och för andra tågtyper.

3 Teori

I det tredje kapitlet presenteras den teori som examensarbetet bygger på. Först presenteras grundläggande teori om lagerhållning och reservdelar. Detta följs av ett avsnitt om klassificering av efterfrågan och reservdelar. Därefter presenteras prognosmetoder och beställningspunktsystem. Avsnittet om beställningspunktsystem är uppdelad efter de två centrala begreppen orderkvantitet och beställningspunkt.

3.1 Lager

Ett lagers primära uppgift är att frikoppla olika delar av materialflödet ifrån varandra. En av anledningarna till att man vill göra det är att man vill gardera sig mot störningar i leveranser och oväntade efterfrågeförändringar, det vill säga man önskar frikoppla tillgång och efterfrågan ifrån varandra. Ett lager med detta syfte kallas säkerhetslager och genom att använda sig av ett sådant kan man minska risken att hamna i bristsituationer. Att hålla ett säkerhetslager innebär rent praktiskt att man lagerhåller fler artiklar än vad som förväntas efterfrågas under en viss tidsperiod. Detta innebär att om efterfrågan trots allt blir större än förväntat finns en buffert att ta av och därmed kan bristsituationer undvikas. (Jonsson & Mattson, 2011)

3.1.1 Lagerrelaterade kostnader

Att hålla lager är förknippat med kostnader. Dessa kostnader kan delas in i sam- och särkostnader. Till samkostnaderna räknas sådan som normalt inte påverkas av mängden lagerhållna artiklar, såsom lagerhyra och personalkostnader. Givetvis kan dessa öka eller minska om mängden lagerhållna artiklar förändras drastiskt. Exempelvis kan en dramatisk ökning innebära att ett större lager måste hyras och personal nyanställs. För mindre förändringar i lagervolymer, exempelvis orsakade av tillfälliga efterfrågeförändringar, påverkas dessa dock inte och detta är gemensamt för alla samkostnader.

Särkostnader är däremot direkt kopplade till antalet lagerhållna artiklar och kan beskrivas som kostnaden för att lagerhålla ytterligare en artikel. Då säkerhetslager dimensioneras och vid beslut om inköpskvantiteter är särkostnaderna av stort intresse då antalet lagerhållna artiklar direkt påverkar företagets kostnader. Nedan följer en redogörelse för de viktigaste av dessa särkostnader.

3.1.1.1 Ordersärkostnad

Kostnader associerade med att hantera en order benämns ordersärkostnader och uppstår varje gång en ny order läggs.

Jonsson och Mattson (2011) identifierar två komponenter vilka är av intresse då den totala ordersärkostnaden för inköpsorder skall bestämmas, materialhanteringskostnader och orderhanteringskostnader.

Materialhanteringskostnader härrör som namnet antyder från kostnaderna för att hantera inköpt material. Det kan exempelvis handla om mottagning av gods, inspektion och inlagring. Orderhanteringskostnaderna är de kostnader som uppstår vid det administrativa arbetet med att lägga en order såsom hantering av rekvisitioner och leverantörskontakter.

3.1.1.2 Lagerhållningssärkostnad

Lagerhållningssärkostnader är de kostnader som är förknippade med att ha ytterligare en produkt i lager. Kostnaden kan delas in i tre komponenter, förvaringskostnad, osäkerhetskostnad och kapitalkostnad. (Jonsson & Mattson, 2011)

Kapitalkostnaden för en lagerförd artikel motsvaras av den avkastning man kunnat få om man valt att istället för att köpa in artikeln gjort en alternativ investering (Axsäter, 2006). Exempelvis kunde man istället för att köpa in en artikel valt att placera kapitalet på ett bankkonto och då fått en avkastning motsvarande bankräntan. Ofta används dock en högre ränta, bestämd internt inom företaget. För att motivera inköpet av artikeln bör den följaktligen på sikt generera en avkastning som är högre än denna interna ränta. Kapitalkostnaden kan således bestämmas som artikelns värde multiplicerat med räntan på den alternativa investeringen (Axsäter, 2006).

Förvaringskostnaden innefattar alla de kostnader som uppstår då man har ett lager och vilka förändras med lagerhållens volym. Dels är det kostnader kopplade till själva lagerlokalen såsom hyra av pallplatser. Dels är det kostnader för lagerrelaterade arbetsmoment och aktiviteter. (Jonsson & Mattson, 2011)

Osäkerhetskostnaden härrör från den risk och osäkerhet det innebär att lagerföra varor. Exempel på kostnader som räknas till denna kategori är kostnaden för inkurans, kostnaden för kasserade artiklar och kostnader för svinn. (Jonsson & Mattson, 2011)

3.1.2 Kostnader för brist i lager

Att inte lagerhålla artiklar, eller att inte lagerhålla tillräckliga kvantiteter av en artikel, är även det förknippat med kostnader. Denna kostnad uppstår då en icke lagerhållen artikel efterfrågas, och utgörs av inkomstbortfallet bristen i lagret orsakat. Utöver detta kan lagerbrister även orsaka kostnader i form av förseningsavgifter eller andra extra kostnader associerade med att kompensera en missnöjd kund.

3.2 Prognostisering

Syftet med en prognos är att utifrån historisk information säga något om framtiden. I fallet med materialflöden är det ofta av intresse att försöka uppskatta framtida efterfrågan av en artikel så att inköp kan göras i rätt kvantiteter och vid rätt tillfällen. Dock kan efterfrågan på en artikel variera slumpmässigt och därför är det ofta svårt att göra en exakt bedömning. Däremot kan man med hjälp av prognosmetoder och historisk efterfrågedata göra en uppskattning av den framtida efterfrågan. Utöver efterfrågans förväntade storlek tillhandahåller även flera prognosmetoder ett osäkerhetsmått, det vill säga ett mått på hur mycket den verkliga efterfrågan kan förväntas avvika från prognosen. Graden av osäkerhet påverkar hur stora säkerhetslager som hålls, där en hög grad av osäkerhet implicerar större säkerhetslager jämfört med en situation då osäkerheten är låg.

Nedan presenteras tre vanligt förekommande prognosmetoder. De skiljer sig på sättet de hanterar historisk data, antingen behandlar man all data lika eller så värderar man ny information högre än äldre. Dessa modeller kan enkelt utvidgas till att även ta hänsyn till trend, om man tror att efterfrågan förändras systematiskt med tiden, och säsong om man tror att efterfrågan är olika beroende på vilken tidsperiod man står i. De modeller som presenteras här tar emellertid inte hänsyn till vare sig trend eller säsong.

3.2.1 Glidande medelvärde

Den första metoden kallas för glidande medelvärde. Metoden går ut på att låta prognosen för en framtida period vara medelvärdet av ett bestämt antal tidigare perioder. Man studerar med andra ord inte all tillgänglig data, utan begränsar sig till de senaste datapunkterna. Detta görs för att ta hänsyn till det faktum att efterfrågan kan antas variera långsamt över tiden. Att ta med allt för gammal data, som uppvisar värden som inte längre är aktuella, kan därför försämra prognosen. En prognos med glidande medelvärdemetoden beräknas enligt följande formel: (Axsäter, 2006)

Låt:

$\bar{x}_{t,\tau}$: Prognosen gjord i perioden t , för perioden τ , där $\tau > t$

x_t : Verklig efterfrågan i period t

N : Antalet perioder som används i beräkningarna

$$\bar{x}_{t,\tau} = \frac{x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-N+1}}{N}$$

3.2.2 Exponentiell utjämning

Om man anser att nyare data är mer representativ och användbar än äldre data kan man använda metoden exponentiell utjämning. Tanken bakom exponentiell utjämning är att värdera en periods bidrag högre ju närmare i tiden den ligger.

Låt:

$\hat{x}_{t,\tau}$: Prognosen för period τ gjord i period t , där $\tau > t$

\hat{a}_t : Prognos gjord i period t

x_t : Verklig efterfrågan i period t

α : Utjämningskonstant, $0 < \alpha < 1$

$$\hat{x}_{t,\tau} = \hat{a}_t = (1 - \alpha)\hat{a}_{t-1} + \alpha x_t$$

Prognosen för period τ gjord i period t beräknas med hjälp av prognosen för föregående period ($t - 1$) samt den faktiska efterfrågan i för innevarande period (t). Deras respektive bidrag viktas med hjälp av α . Ett högt α ger en prognos som är följsam med förändringar i efterfrågan, medan ett lågt α istället ger långsammare förändringar i prognosvärdena.

Den annorlunda viktningen framgår kanske tydligare om ovanstående uttryck utvecklas genom att utnyttja att \hat{a}_{t-1} är lika med förra periodens prognos. Uttrycket kan då skrivas enligt följande:

$$\hat{x}_{t,\tau} = \alpha x_t + \alpha(1 - \alpha)x_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 x_{t-2} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{n+1} x_{t-n-1}$$

Man kan alltså se att periodernas betydelse för prognosen avtar exponentiellt efter hur långt tillbaka i tiden de ligger, därav metodens namn. (Axsäter, 2006)

3.2.3 Crostons metod för prognostisering

Denna metod har fått sitt namn av dess skapare J. Croston och är en prognosmetod anpassad för produkter med sporadisk efterfrågan. Typiska artiklar som uppvisar sådan efterfrågan är reservdelar.

Metoden bygger på exponentiell utjämning med tillägget att modellens parametrar endast uppdateras efter en period med positiv efterfrågan. Tanken är att åtgärda problemen som uppstår om någon av de tidigare nämnda metoderna används för artiklar med sporadisk efterfrågan, nämligen att perioder utan efterfråga gör att prognoserna skrivs ned. Detta resulterar i att prognosen är som lägst precis innan en artikel efterfrågas. Detta kan leda till en betydande avvikelse mellan den prognostiserade efterfrågan och den verkliga.

Istället uppdateras prognoserna enligt följande.

Låt:

x_t : efterfrågan i period t

k_t : antalet perioder sedan senaste efterfrågetillfället

\hat{k}_t : prognostiserat antal perioder mellan två efterfrågetillfällen i slutet av period t

\hat{d}_t : prognostiserad storlek av efterfrågan i slutet av period t

\hat{a}_t : prognostiserad förbrukning per period i slutet av period t

Om:

$$x_t = 0$$

$$\hat{k}_t = \hat{k}_{t-1}$$

$$\hat{d}_t = \hat{d}_{t-1}$$

$$x_t > 0$$

$$\hat{k}_t = (1 - \alpha)\hat{k}_{t-1} + \alpha k_t$$

$$\hat{d}_t = (1 - \beta)\hat{d}_{t-1} + \beta x_t$$

$$\hat{a}_t = \hat{d}_t / \hat{k}_t$$

Där:

$$0 < \alpha < 1$$

$$0 < \beta < 1$$

De båda parametrarna α och β är på samma sätt som i exponentiell utjämning konstanter som anger hur stor vikt som ska läggas på det senaste värdet respektive tidigare prognoser. I praktiken avgör dessa två hur snabbt prognoserna följer variationer i efterfrågemönstret. Det är också värt att notera att denna metod till skillnad från glidande medelvärde och exponentiell utjämning tillhandhåller ett mått på förväntad tid mellan efterfrågetillfällena. (Axsäter, 2006; Croston, 1972)

3.2.3.1 Syntetos och Boylans modifiering

Boylan och Syntetos (2005) föreslår en modifiering av Crostons metod vilken enligt dem förbättrar den ursprungliga metodens resultat.

Vid uppdateringen av \hat{a}_t föreslår Boylan och Syntetos (2005) att följande uttryck används:

$$\hat{a}_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \hat{d}_t / \hat{k}_t$$

Faktorn $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ skriver ner värdet på prognosen något och parametern α är samma parameter som används vid beräkning av prognosen för intervalllängden för efterfrågetillfällena.

Boylan och Syntetos, tillsammans med Croston, konstaterar att denna metod i de flesta fall är att föredra då prognoser för artiklar med sporadisk efterfrågan skall göras. (Boylan et al. 2005)

3.3 Klassificering

I ett lager med många olika artiklar kan det vara intressant att dela in dem i olika kategorier baserat på lämpligt valda kriterier. Exempelvis kan man vilja skilja på artiklar med högt och lågt inköpspris, efterfrågemönster eller efter hur viktiga de bedöms vara för kunderna. Baserat på denna klassificering kan sedan hanteringen av de olika kategorierna differentieras så att företaget på bästa sätt utnyttjar sina resurser.

Då detta examensarbete studerar lagerstyrning av reservdelar kommer klassificeringsmetoder för dessa presenteras nedan.

3.4 Klassificering av reservdelar

Reservdelar kan klassificeras på många olika sätt, här presenteras tre olika klassificeringsmetoder. Den första metoden har ett lite bredare fokus och tar dels hänsyn till i vilken utsträckning en reservdel är unik för en särskild maskin eller ett särskilt fordon, dels reservdelens efterfrågemönster. Den andra metoden fokuserar på reservdelarnas efterfrågemönster medan den tredje metoden klassificerar reservdelar efter hur viktiga, eller hur kritiska, de är.

3.4.1 Allmän klassificering

Enligt Cavalieri et al (2008) kan reservdelar kategoriseras på följande vis:

- **Förbruknings- och stödjande artiklar.** Dessa förbrukas i en jämn takt och med små variationer i efterfrågad volym. Det kan exempelvis vara filter, oljor eller arbetshandskar. Vidare så finns ett stort antal tillverkare och tillgången på dessa produkter är god.
- **Generiska reservdelar.** Dessa kan användas till flera olika typer av maskiner eller fordon. Exempel på denna typ av reservdelar kan vara skruv, elektroniska eller mekaniska komponenter. Tillgången på dessa är i allmänhet god då det ofta finns ett flertal tillverkare.
- **Specifika reservdelar.** Dessa reservdelar är unika för en typ av maskin eller fordon. Ofta finns bara en eller ett fåtal tillverkare vilket kan göra materialförsörjningsfrågan mer problematisk.
- **Strategiska reservdelar.** Till denna kategori reservdelar hör viktiga delar vilka man förväntar sig att inte behöva byta ut under hela maskinen eller fordonets livscykel. Av den anledningen kan de karakteriseras de av mycket sporadisk efterfrågan, höga kostnader och långa ledtider. I vissa fall tillverkas de endast mot order vilket kan öka både kostnader och ledtid ytterligare.

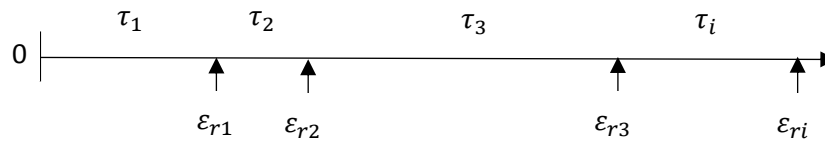
3.4.2 Efterfrågemönster för reservdelar

Ett sätt att klassificera reservdelar på är efter efterfrågemönster. Detta görs med hjälp av parametrarna, tid mellan efterfrågetillfällen, ADI; och variationen i efterfrågans storlek, CV^2 (Manzini et al. 2010).

Följande beteckningar används:

Låt:

N = Antal tidsintervall som studeras
 τ_i = Längd på tidsintervall i ,
 ε_{ri} = Efterfrågetillfälle i för reservdel r



Figur 1 - Intervall mellan efterfrågetillfällen

3.4.2.1 ADI – Genomsnittlig tid mellan efterfrågetillfällen

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N}$$

ADI anger det genomsnittliga tidsintervallet mellan två efter varandra följande tillfällen med efterfrågan. ADI-värdet beräknas som summan av alla tidsintervall och dividerat med det totala antalet tidsperioder som undersökts (Manzini et al, 2010).

3.4.2.2 CV^2 – Variationskoefficient

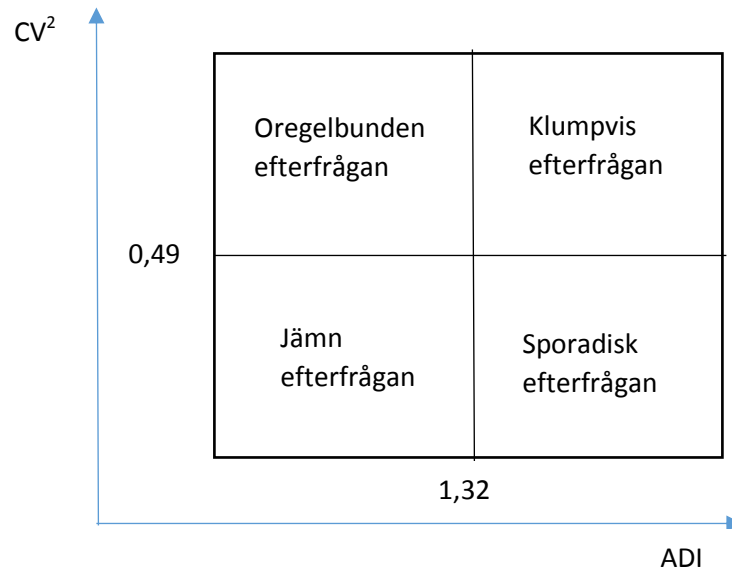
$$CV^2 = \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_{ri} - \varepsilon_i)^2}{N}}}{\varepsilon_a} \right)^2$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_{ri}}{N}$$

CV^2 är ett mått på hur antalet reservdelar som efterfrågas vid varje enskilt efterfrågetillfälle varierar. Ett högt CV^2 -värde indikerar en hög variation i antalet efterfrågade reservdelar medan ett lågt värde indikerar en låg variation. CV^2 -värdet beräknas som kvadraten av efterfrågans standardavvikelse dividerat med medelefterfrågan (Manzini et al, 2010).

3.4.2.3 Kategorier

Baserat på ADI och CV^2 delas efterfrågan på reservdelar in i de fyra kategorierna jämn, oregelbunden, sporadisk och klumpvis efterfrågan (Boylan et al, 2005; Ghobbar & Friend, 2002).



Figur 2 – Gränsvärden för klassificering av efterfrågan

De gränsvärden som presenteras i Figur 2 är framtagna av Boylan et al. (2005). Samtidigt skriver Eaves & Kingsman (2004) att exakt var gränsen mellan de olika kategorierna skall dras i mångt och mycket är ett företagsspecifikt beslut.

3.4.2.3.1 Jämn efterfrågan

Efterfrågan uppvisar en låg variation i antalet enheter som efterfrågas samtidigt som tidsintervallen mellan efterfrågetillfällen i medeltal är förhållandevis korta.

3.4.2.3.2 Sporadisk efterfrågan

Precis som den jämna efterfrågan är variationen i antalet efterfrågade enheter låg. Skillnaden mellan de två är att det genomsnittliga tidsintervallet mellan efterfrågetillfällen är större vid sporadisk efterfrågan.

3.4.2.3.3 Oregelbunden efterfrågan

Oregelbundenheten syftar främst på variationen i antalet enheter som efterfrågas, vilken i detta fall är hög. Tidsintervallen mellan efterfrågetillfällena är dock förhållandevis korta.

3.4.2.3.4 Klumpvis efterfrågan

Både tidsintervallen mellan efterfrågetillfällena och variationen i antalet efterfrågade enheter är stora.

3.4.3 Grad av kritiskhet

Ytterligare ett sätt att klassificera reservdelar är utifrån deras grad av kritiskhet (Botter & Fortuin, 2000). De tre graderna av kritiskhet är vital, essentiell och önskvärd och dessa anger i fallande skala hur viktig en reservdel är. Vad som avgör vilken klass en reservdel hamnar i är i viss utsträckning situationspecifik och kan till exempel vara kopplad till kontraktsvillkor, säkerhetsföreskrifter och en maskin eller fordons funktionalitet.

Med hjälp av klassificeringen kan man anpassa materialförsörjning och lagerstyrning så att de mest kritiska delarna alltid finns lagerförda och samtidigt undvika för stora lager av icke-kritiska artiklar.

3.4.3.1 Vitala

Detta är reservdelar som om de inte finns tillgängliga vid behov orsakar stora driftstörningar och kan därför ge upphov till stora kostnader. Exempel på reservdelar som kan klassificeras som vitala är sådana som då de saknas helt stoppar produktionen eller ger ett fordon körförbud. Graden av kritiskhet är för denna typ av reservdelar är mycket hög.

3.4.3.2 Essentiella

Detta är reservdelar med en medelhög grad av kritiskhet. Om de inte finns tillgängliga vid behov orsakar de kännbara störningar och kostnader. Det kan i detta fall handla om delar vilka när de går sönder orsakar kapacitetsnedsättningar, dock inte totalt stopp som i fallet med vitala reservdelar.

3.4.3.3 Önskvärda

Detta är reservdelar vilka endast orsakar små eller försumbara störningar och kostnader om de inte finns tillgängliga vid behov. Dessa reservdelar skulle även kunna definieras som icke-kritiska.

3.4.3.4 Andra faktorer

Givetvis kan reservdelar klassificeras utifrån ett otal andra aspekter än graden av kritiskhet. Botter och Fortuin (2000) nämner pris, responstid och efterfrågan som några av de faktorer som kan vara av relevans vid en klassificering.

Baserat på en klassificering enligt dessa faktorer kan sedan generella riktlinjer ges för hur de olika reservdelarna ska hanteras. Baserat på faktorerna pris, responstid och efterfrågan drar Botter och Fortuin (2000) upp de riktlinjer som presenteras i Tabell 1.

| Klassificering | | | Hantering |
|----------------|------------|-------------|--|
| Pris | Responstid | Efterfrågan | |
| Lågt | Kort | Låg | Lagerhåll i små kvantiteter i lokala lager. |
| Lågt | Kort | Hög | Lagerhåll i stora kvantiteter i lokala lager. |
| Lågt | Lång | Låg | Lagerhåll centralt, eller beställ vid behov om centrallager saknas. Säkerställ punktliga och snabba leveranser om beställning sker vid behov. |
| Lågt | Lång | Hög | Jämför lagerhållningskostnader med order- och transportkostnader för att avgöra hur stora kvantiteter som ska lagerhållas. |
| Högt | Kort | Låg | Lagerhåll centralt eller säkerställ snabb transport från leverantör om centrallager saknas. Eftersom efterfrågan är låg lagerhålls mindre kvantiteter. |
| Högt | Kort | Hög | Lagerhåll lokalt. Sök finna den minimala kvantitet som behövs för att för att möta servicekraven. |
| Högt | Lång | Låg | Avvägning mellan att lagerhålla och att beställa vid behov. |
| Högt | Lång | Hög | Avvägning mellan att lagerhålla eller beställa vid behov. Lagerhåll i centrallager om ett sådant finns |

Tabell 1 – Hanteringsförslag enligt egenskaper

Med responstid menas maximalt tillåten tid mellan det att ett fel identifieras till det att det ska vara åtgärdat.

3.5 Metoder för att bestämma säkerhetslagrets storlek

När mängden artiklar som skall hållas som säkerhetslager skall bestämmas finns det ett antal faktorer som måste tas i beaktande. Både Axsäter (2006) och Jonsson & Mattson (2011) skriver att rätt nivå på säkerhetslagret bestäms genom en avvägning mellan kostnaden för att hålla artiklar i lager och kostnaden att få brister i lagret. Den optimala nivån på säkerhetslagret fås då summan av dessa två kostnader är som minst.

Kostnaderna för att hålla artiklar i lager består som tidigare nämnts i huvudsak av lagerhållningskostnader och orderkostnader. Kostnaderna för brist kan kopplas till den klassificering som gjorts och där exempelvis reservdelar som klassificerats som vitala kan förväntas ha en hög bristkostnad. Vidare ger prognosen en indikation på efterfrågans storlek och i vilken utsträckning avvikelser kan förväntas förekomma. Tillsammans utgör dessa grunden för beslutet om vilken säkerhetslagernivå som är lämplig.

Nedan följer en beskrivning av några av de metoder som kan användas för att bestämma nivåerna på säkerhetslagret.

3.5.1 Manuell bedömning

Baserat på en erfarenhetsmässig bedömning kan säkerhetslagernivåerna bestämmas manuellt. Fördelen med denna metod är att faktorer som är svåra att kvantifiera kan vägas in i bedömningen. På det sättet kan bedömningen bli mer nyanserad i jämförelse med en matematisk bedömningsmetod. En nackdel med metoden är det faktum att dess tillförlitlighet beror av individen som gör bedömningen. Ytterligare en nackdel är att då det är många artiklar som handhas, som i fallet med reservdelar, blir metoden arbetskrävande och ineffektiv. (Jonsson & Mattson, 2011)

3.5.2 Baserat på bristkostnad

En annan metod för att bestämma säkerhetslagernivån är att kvantifiera kostnaden för att ha brist i lagret och sedan jämföra denna med kostnaden att hålla en artikel i lager och utifrån denna jämförelse hitta en lämplig nivå. Dock påtalar både Axsäter (2006) och Jonsson & Mattson (2011) svårigheterna med att på ett bra sätt bestämma hur hög bristkostnaden bör vara. Några av de faktorer som bör vägas in men som är svåra att kvantifiera är kostnaden för en förlorad order, kostnaden för en förlorad kund, eventuella rabatter och andra kostnader förknippade med att kompensera en kund som fått vänta på sin vara.

Både Axsäter (2006) och Jonsson & Mattson (2011) nämner istället användandet av servicenivåer som ett enklare sätt att bestämma säkerhetslagernivåer.

3.5.3 Baserat på servicenivå

Det finns ett antal olika definitioner av servicenivåer vilka presenteras nedan, men oavsett den exakta definitionen syftar de alla till att i någon form ange i vilken utsträckning en artikel skall finnas tillgänglig. Med hjälp av servicenivån kan säkerhetslagernivån för olika artiklar differentieras och anpassas till dess olika egenskaper (Jonsson & Mattson, 2011). Exempelvis kan en artikel av kritisk betydelse tilldelas en hög servicenivå för att säkerställa att den finns tillgänglig vid behov medan en icke-kritisk artikel kan tilldelas en lägre servicenivå för att minska det bundna kapitalet.

3.5.3.1 Cykelservice

En första definition av service är den så kallade cykelservicen. Definitionen lyder då *"sannolikheten att inte få brist under en lagercykel"* (Jonsson & Mattson, 2011), eller med andra ord *"sannolikheten att en ny leverans inkommit innan lagret tar slut"* (Axsäter, 2006). Detta är en relativt intuitiv och lättanvänd definition som dock har en betydande nackdel, nämligen är att den inte tar hänsyn till storleken på orderkvantiteten. Om en mycket stor order beställs så kommer lagret att räcka en längre tid och således blir tillfällen då brist kan uppstå få. Detta tar emellertid inte cykelservicen hänsyn till (Axsäter, 2006). Av denna anledning rekommenderar Axsäter (2006) inte användandet av denna definition av service.

3.5.3.2 Fyllnadsgrad

Den andra definitionen av service lyder *"andelen av efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lagret"* (Axsäter, 2006). Detta är enligt Axsäter (2006) en bättre definition av servicenivå jämfört med cykelservicedefinitionen, just därför att den tar hänsyn till orderstorleken. En nackdel med fyllnadsgraden jämfört med cykelservicen är att beräkningarna blir något mer komplexa.

3.5.3.3 Ready-rate

En tredje definition av service, på engelska kallad ready-rate, är *"andelen tid med positivt lagersaldo"* (Axsäter, 2006). Precis som i fallet med fyllnadsgrad tar denna metod hänsyn till orderstorleken och därmed är den att föredra framför cykelservicen. Denna definition av service har dock en svaghet när tiden mellan efterfrågetillfällena är lång och kvantiteten som efterfrågas varierar.

Då kan andelen tid man har positivt lager vara stor på samma gång som flera stora order inte kan mötas. (Axsäter, 2006)

3.6 Lagerstyrningsmetoder

Lagerstyrningen har som mål att svara på två viktiga frågor, "när ska en order läggas?" och "hur mycket ska beställas vid varje tillfälle?". För att besvara dessa två frågor finns flera olika metoder. En av dessa metoder är ett så kallat beställningspunktsystem. Målet med ett beställningspunktsystem är att identifiera ett visst lagersaldo vid vilket man lägger en order av en viss storlek. Detta lagersaldo kallas beställningspunkt. Storleken på den order som läggs kallas orderkvantitet. Valen av orderkvantitet och beställningspunkt påverkas av de kostnader som finns kopplade till att hålla lager, att ha brist i lager samt önskad servicenivå. Utöver dessa påverkar faktorer såsom tid mellan det att en order läggs och leverans sker, hur ofta en artikel efterfrågas och i vilka kvantiteter den efterfrågas.

Nedan definieras några av de mest centrala begreppen och sedan beskrivs vanligt förekommande beställningspunktsystem.

Två viktiga och snarlika begrepp är viktiga att skilja på, nämligen lagerposition och lagernivå. Lagerpositionen är definierad som det fysiska lagret där man räknar med beställda men ej levererade order och räknar bort order som efterfrågats men ännu inte levererats. Lagerpositionen ändras med andra ord direkt en order eller beställning uppkommer. Lagernivån är definierad som det fysiska lagret minus efterfrågade men ännu inte levererade order.

I beräkningar av beställningspunktsystem används följande begrepp Axsäter (2006):

IP: Lagerposition

IL: Lagernivå

R: Beställningspunkt

Q: Orderkvantitet

L: Ledtid

T: Inspektionsintervall

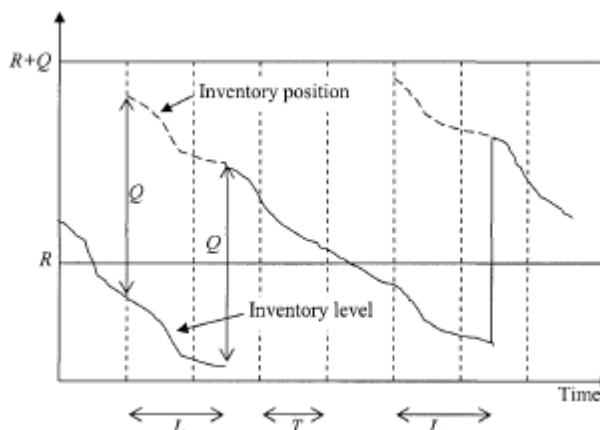
Ledtiden är tiden mellan ett beställningstillfälle och leverans av samma order. Under ledtiden befinner sig lagernivån per definition på eller under beställningspunkten (R).

Inspektionsintervallet (T) är tiden mellan de tillfällen då lagersaldot kontrolleras. Det är endast vid ett sådant tillfälle som en order kan läggas.

3.6.1 (R, Q)-policy

En vanlig variant av beställningspunktsystem är den så kallade (R,Q)-policyn. Generellt sett är beslutsregeln följande: När lagernivån (IL) når beställningspunkten (R) beställs den fördefinierade orderkvantiteten (Q).

Beställningspunkten motsvarar vald servicenivå, där en tidigare beställningspunkt ger en högre grad av service. Detta då fler artiklar finns i lager under ledtiden fram till det att den nya beställningen anländer. Figur 3 Visar grafiskt hur (R,Q)-policyn fungerar.



Figur 3 - Ett (R, Q)-system med kontinuerlig tid och kontinuerlig efterfrågan. (Källa: Axsäter 2006)

Två olika sätt är tänkbara när det gäller hur beställningar görs.

Antingen mäts lagernivån

kontinuerligt och en ny order läggs så fort lagernivån når beställningspunkten, detta kallas kontinuerlig inspektion. En annan metod är att bara inspektera lagernivån vid vissa tillfällen. Om lagernivån har nått beställningspunkten, eller underskridit den, vid ett inspektionstillfälle läggs en ny order. Detta kallas periodisk inspektion. Då periodisk inspektion används kommer lagernivån ibland hinna sjunka under beställningspunkten innan ordern läggs. Detta medför att en högre beställningspunkt måste användas för att säkerställa en given servicenivå jämfört med då kontinuerlig inspektion används. (Axsäter, 2006)

3.6.2 Övriga lagerstyrningspolicyer

Utöver (R,Q)-policyn finns även andra lagerstyrningspolicyer. Enligt Axsäter (2006) är en så kallad (s,S)-policy ett alternativ.

Grundprincipen för ett (s,S)-system är följande: låt s beteckna beställningspunkten.

På samma sätt som i en (R,Q)-policy så bevakar man hur lagerpositionen ligger i förhållande till beställningspunkten, antingen med periodisk eller kontinuerlig inspektion.

Om lagerpositionen nått, eller gått under, beställningspunkten läggs en beställning på det antal enheter som krävs för att nå upp till nivån S. Metoden skiljer sig alltså från (R,Q)-policy i det avseendet att den kvantitet som beställs varierar.

En annan variant på (s,S)-policy är en så kallad (S-1,S)-policy, eller på engelska base stock policy. Den går ut på att man beställer upp till S vid varje period man haft efterfrågan, oberoende av lagerposition. Med andra ord är det en (s,S) policy med beställningspunkt S-1, därav namnet. Axsäter (2006).

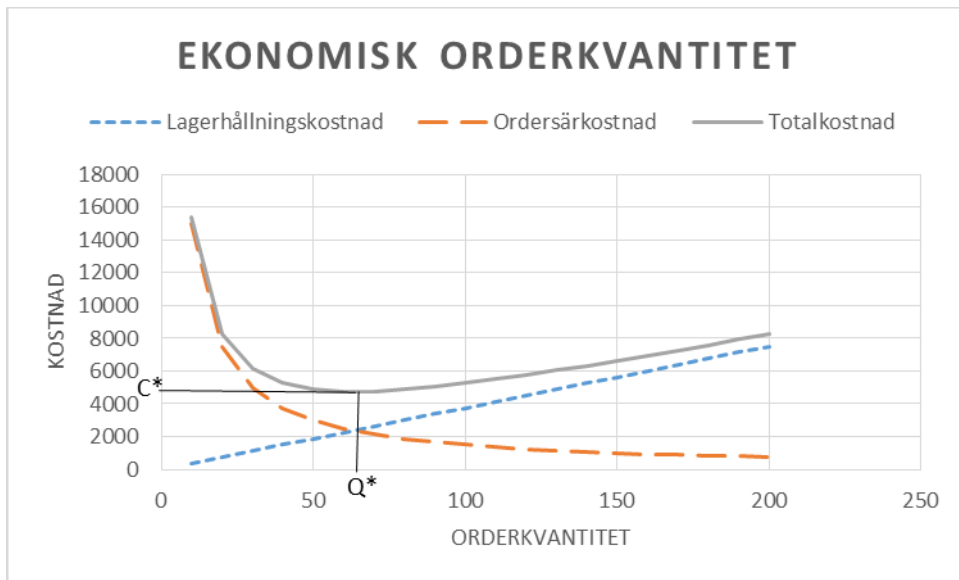
3.7 Partiformningsmetoder

Partiformningsmetoder är metoder som syftar till att bestämma orderkvantiteten, det vill säga den kvantitet som skall beställas då lagersaldot nått beställningspunkten. Utmaningen består i att väga kostnaderna för att beställa mycket vid samma tillfälle, och därmed öka lagerhållningskostnaderna, och kostnaderna för att beställa mindre kvantiteter oftare, vilket i sin tur leder till högre orderkostnader.

Fyra partiformningsmetoder presenteras nedan, Ekonomisk orderkvantitet, Wagner-Within, Silver Meal och Part Period Balancing. Det är även värt att notera att orderkvantiteten är en av parametrarna som sedan används när beställningspunkten ska beräknas.

3.7.1 Ekonomisk orderkvantitet

En ofta använd modell för att beräkna orderkvantiteter är den ekonomiska orderkvantiteten (EOK). (Axsäter, 2006). Modellen väger särkostnaderna för att hålla en produkt i lager mot särkostnaderna för att lägga en order och utifrån denna avvägning bestäms orderkvantiteten som den kvantitet då tolkkostnaden är som lägst. (Mattson & Jonsson, 2011).



Figur 4 - Bestämning av ekonomisk orderkvantitet

Q : Orderkvantitet

C : Totalkostnad per tidsenhet

A : Ordersärkostnad

d : Efterfrågan per tidsenhet

h : Lagerhållningskostnad per enhet och tidsenhet

Kostnaden för att lagerhållning, givet att Q enheter beställs vid varje tillfälle, beräknas enligt:

$$C = \frac{Q}{2}h + \frac{d}{Q}A$$

Utifrån denna kostnadsfunktion kan sedan den optimala orderkvantiteten Q^* beräknas. Givet Q^* kan sedan kostnaden, vilken är den lägsta möjliga, beräknas:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2Ad}{h}}$$

$$C^* = \sqrt{2Adh}$$

För att modellen skall gälla krävs att följande antaganden är uppfyllda:

- Efterfrågan är konstant och kontinuerlig
- Order- och lagerhållningskostnaderna är konstanta över tid
- Orderkvantiteten behöver inte vara ett heltal
- Hela ordern levereras vid samma tillfälle
- Inga brister förekommer

Dessa antagande ger en något förenklad bild av verkligheten men Jonsson och Mattson (2011) menar att modellen ändå ger en tillräckligt god beslutsgrund för att bestämma lämplig orderkvantitet. Vidare påtalar Axsäter (2006) att totalkostnadskurvan kring den optimala orderkvantiteten är flack (se Figur 4) och således påverkar inte avvikelser i orderkvantitet, exempelvis orsakade av fasta beställningskvantiteter, den totala kostnaden i någon högre grad. Av samma anledning blir påverkan på totalkostnaden begränsad då osäkerhet finns kring de ingående parametrarnas riktighet.

3.7.2 Dynamisk partiformning

Vid sidan om ekonomisk orderkvantitet finns partiformningsmetoder som tillåter varierande efterfrågan. Målsättningen är precis som för den ekonomiska orderkvantiteten att minimera summan av kostnaderna för lagerhållning och orderhantering. Dessa metoder kallas dynamiska partiformningsmetoder och tre av dessa beskrivs nedan.

3.7.2.1 Wagner-Within

Den första modellen som till skillnad från EOK tillåter varierande efterfråga är Wagner-Within-algoritmen. Den har fått sitt namn efter amerikanerna H. Wagner och T. Within och är en metod som beräknar en optimal lösning på vad som kallas dynamisk partiformning. Metoden går ut på att hitta minsta kostnaden för att täcka efterfrågan under en viss period genom att jämföra kostnaden för att köpa in tidigt och lagerhålla och kostnaden för att göra flera inköp. För att täcka behovet över tre månader kan man till exempel beställa för alla tre månader på en gång, man kan beställa varje månad eller man kan beställa två gånger. Genom att på det sättet testa alla möjliga variationer hittar man det alternativ som ger lägst totalkostnad. (Axsäter, 2006)

3.7.2.2 *Silver-Meal*

Forskarna Silver och Meal presenterade en metod, uppkallad efter dem själva, som kan användas istället för Wagner-Within. Silver-Meal-algoritmen är en heuristisk metod, vilket innebär att den inte nödvändigtvis ger en optimal lösning. Enligt Axsäter (2006) kan det relativa felet bli stort mellan modellens lösning och den optimala lösningen. Rent praktiskt är det emellertid så att en heuristisk modell som Silver-Meal kan prestera bättre än en deterministisk metod som Wagner-Within. Detta därför att det inte är praktiskt möjligt att studera alla möjliga kombinationer av försörjningsstrategier. (Axsäter, 2006)

Arbetsgången för metoden är följande: Om en leverans kommer att ske i period ett, och därmed minst kommer att täcka hela behovet för den perioden, studeras möjligheten att inkludera även behovet för period två i leveransen. Om den genomsnittliga periodkostnaden är lägre i det fallet besluta att även behovet för period två köps in vid samma tillfälle. Sedan undersöks om det är fördelaktigt att även ta med behovet för period tre också. Först när genomsnittskostnaden per period ökar för första gången slutar man och en ny iteration tar vid. Precis som i Wagner-Within-algoritmen är det kostnaderna för att köpa in och lagrhålla flera perioders efterfrågan vid ett tillfälle som jämförs med att kostnaderna för att köpa in mindre kvantiteter oftare.

3.7.2.3 *Part-Period Balancing*

Ytterligare en heuristisk metod för att bestämma orderkvantiteter är den som på engelska kallas för Part-Period Balancing. Precis som för de andra metoderna för dynamisk partiformning görs en jämförelse mellan att köpa in flera perioders efterfrågan och lagrhålla, och att göra flera mindre inköp. Beslutsregelens är sådan att inköp görs för så många perioder att den totala lagerhållningskostnaden hamnar så nära orderkostnaden som möjligt, dock utan att överstiga den.

Då detta är en heuristisk metod är det inte säkert att optimalt resultat nås och Axsäter (2006) nämner att denna metod i allmänhet ger sämre resultat än Silver-Meal.

3.8 Beställningspunkt

Det sista steget i beställningssystemet är beräkningen av själva beställningspunkten, det vill säga den lagernivå vid vilken en ny order läggs. Det första som måste göras är att ta fram en modell för efterfrågan.

Därefter bestäms beställningspunkten utifrån denna modell och baserat på den sedan tidigare definierade fyllnadsgraden.

3.8.1 Modellering av efterfrågan

Innan beställningspunkten kan beräknas behövs alltså en teoretisk modell för efterfrågan. Efterfrågan av en artikel styrs av två stokastiska variabler, när i tiden efterfrågan sker och hur stor efterfrågan är när den väl sker. Kombinerat bildar de två fördelningarna en så kallad sammansatt fördelning. Denna används för att modellera efterfrågan för en artikel.

Det finns många olika exempel på sammansatta fördelningar, den som här beskrivs först, och som tillämpas i arbetet använder den så kallade Bernoulliprocessen för att modellera hur ofta en artikel efterfrågas. Denna kombineras sedan med en fördelning för efterfrågans storlek och syftet med modellen är att kunna beräkna sannolikheten för en viss efterfrågan under ett intervall. Detta kan sedan användas i lagerstyrningen för att beräkna efterfrågan under ledtiden.

3.8.1.1 Bernoulliprocessen

En Bernoulliprocess är en diskret stokastisk process som ofta beskrivs som upprepade Bernoulliförsök, till exempel singlar av en slant. Med en viss sannolikhet, p , blir utfallet lyckat (DeGroot & Schervish, 2012). Tiden mellan varje lyckat försök blir en geometriskt fördelad stokastisk variabel. Den geometriska fördelningen är en diskret fördelning över det antal Bernoulliförsök som går till nästa lyckade utfall. (MIT Open Courseware, 2010) Den geometriska fördelningens sannolikhetsfunktion är:

$$p(t) = (1 - p)^{t-1} * p$$

Med detta följer också att antalet lyckade försök i ett intervall är en binomialfördelad stokastisk variabel. Binomialfördelningen anger sannolikheten att få k lyckade försök vid totalt n försök där man varje gång har en sannolikhet p att lyckas (Blom et al. 2005). Binomialfördelningens sannolikhetsfunktion är:

$$p(t) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Tillämpningen i lagerstyrningsmodellen är att varje dag kan ses som ett Bernoulliförsök. Om artikeln efterfrågas anses försöket lyckat, om inte är försöket misslyckat.

I en sådan modell är tiderna mellan varje efterfrågetillfälle således geometriskt fördelade och antalet efterfrågetillfällen i ett intervall följer en binomialfördelning. (Montgomery & Runger, 1994).

3.8.1.2 Efterfrågans fördelning

Den andra delen av efterfrågemodellen, det vill säga efterfrågans storlek, utgör den så kallade sammansatta fördelning. Den betecknas f_j^k och är sannolikheten att k stycken kunder efterfrågar j stycken artiklar. Den sammansatta fördelningen är en stokastisk variabel som är oberoende av intervallängden samt efterfrågestorleken i andra försök.

Man kan bland annat direkt se att $f_0^0 = 1$. Med den tillämpning som sker i projektet är även $f_0^k = 0$. Det följer av att ett lyckat försök är definierat som ett tillfälle då en produkt efterfrågas. Varje gång en artikel efterfrågas är med andra ord efterfrågan alltid större än noll.

Varje f_j^k kan beräknas rekursivt med hjälp av alla f_j genom

$$f_j^k = \sum_{i=k-1}^{j-1} f_i^{k-1} f_{j-i}$$

Där:

$f_j =$ sannolikhet att en kund efterfrågar j enheter efterfrågas, $j = 1, 2, \dots$

$f_j^k =$ sannolikhet att k kunder efterfrågar totalt j enheter

3.8.1.3 Sammansatt process

Bernoulliprocessen och efterfrågans fördelning bildar en sammansatt fördelning. Denna fördelning är ett uttryck för sannolikheten för en viss efterfråga under ett tidsintervall t beräknas på följande sätt:

$$P(D(t) = j) = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{t}{k} p^k (1-p)^{t-k} f_j^k$$
$$P(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

Där:

$D(t)$: stokastisk efterfrågan i tidsintervallet t

$P(k)$: sannolikhet att k kunder anländer under tidsintervallet n dagar

p : sannolikheten att det finns efterfrågan under en dag.

t : tidsintervall

k : 0,1,2, ... antalet kunder

Värt att notera är att k rent praktiskt är uppåt begränsad till t . Detta beror på att det som mest kan finnas efterfrågan en gång per tidsenhet. (Axsäter, 2006)

3.8.1.4 Poissonprocess

Bernoulliprocessen har en tidskontinuerlig motsvarighet. I det tidskontinuerliga fallet är antalet efterfrågetillfällen i ett intervall Poissonfördelat. Vidare är tiderna mellan varje efterfrågetillfälle Exponentialfördelat.

Den sammansatta Poissonprocessen skrivs enligt följande, där f_j^k liksom tidigare är den fördelningen som representerar den efterfrågade kvantiteten:

$$P(D(t) = j) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} f_j^k$$

3.8.2 Beräkning av beställningspunkt

När väl efterfrågemodellen är framtagen kan beställningspunkten beräknas. Här redogörs för det iterativa förfaringsätt som beskrivs i Axsäter (2006) och som är väl lämpat att använda då orderkvantiteten och den förväntade beställningspunkten är förhållandevis små.

Förutsättningarna är följande: den fyllnadsgrad som önskas uppnås är känd, liksom orderkvantiteten. Det system som undersöks är ett system med periodisk inspektion, ledtid L och inspektionsintervall T. Beställningspunkten tilldelas initialt ett mycket lågt värde.

Baserat på dessa uppgifter beräknas motsvarande fyllnadsgrad. Denna jämförs sedan med den fyllnadsgrad som önskas uppnås. Om den beräknade fyllnadsgraden är lägre än den önskade ökas värdet på beställningspunkten med en enhet och därefter upprepas proceduren.

Detta görs till dess att beställningspunkten fått ett sådant värde att den beräknade fyllnadsgraden är lika stor, eller något större, än den önskade.

Nedan beskrivs de olika beräkningssteg som krävs för att beräkna fyllnadsgraden för ett givet värde på beställningspunkten.

$$\text{Fyllnadsgrad} = 1 - \frac{E(IL'')^- - E(IL')^-}{\mu T}$$

Där:

$$\mu = \text{Medelefterfrågan per tidsenhet}$$

$$E(IL') = \text{Den förväntade lagernivån vid tidpunkten } t + L$$

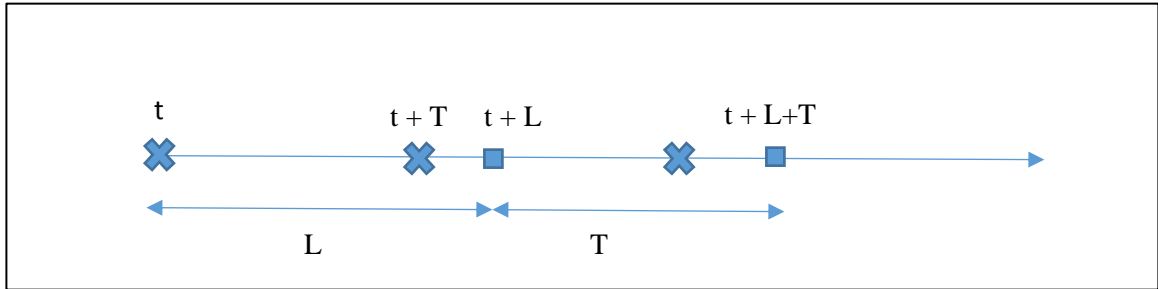
$$E(IL')^+ = \text{Den förväntade positiva lagernivån vid tidpunkten } t + L$$

$$E(IL')^- = \text{Den förväntade negativa lagernivån vid tidpunkten } t + L$$

För $E(IL'')$, $E(IL'')^+$ och $E(IL'')^-$ gäller samma definition med den enda skillnaden att tidpunkten är $t+L+T$ istället.

Det gäller alltså att bestämma den förväntade negativa lagernivån i början respektive i slutet av ett intervall av längd T. Det är viktigt att påpeka att en leverans kan ha skett i början av intervallet, det vill säga vid tidpunkten $t + L$, samt att intervallet slutar precis före nästa leverans kan komma, det vill säga vid tidpunkten $t + L + T$.

Figur 5 ger en schematisk bild av de olika tidpunkterna.



Figur 5 - Schematisk bild av de intervall som studeras

$E(IL'')^-$ skrivs med fördel om som

$$E(IL'')^- = E(IL'')^+ - E(IL'')$$

Då den förväntade lagernivån är likformigt fördelad över intervallet $[R+1; R+Q]$ (Axsäter, 2006) kan $E(IL'')$ skrivas som:

$$E(IL'') = R + \frac{(Q + 1)}{2} - \mu(L + T)$$

$E(IL'')^+$ beräknas genom

$$E(IL'')^+ = \sum_{j=1}^{R+Q} j * P(IL'' = j)$$

Det är alltså ett aritmetiskt medelvärde av alla möjliga positiva nivåer för lagernivån. Det är värt att notera att lagernivån per definition aldrig kan överstiga $R+Q$, och det är detta som ger den övre gränsen för summationen (Axsäter, 2006).

Sannolikheten att lagernivån har ett givet värde j beräknas sedan som den genomsnittliga sannolikheten att befinna sig på just den nivån. Detta kan ske på olika sätt, man kan exempelvis vid tiden t ha lagernivån j och sedan ha en efterfråga som är noll under intervallet $L + T$. På motsvarande sätt beräknar man samtliga sätt att efter ett intervall befinna sig på lagernivå j med följande formel:

$$P(IL'' = j) = \frac{1}{Q} \sum_{k=\max(R+1; j)}^{R+Q} P(D(L + T) = k - j) , j \leq R + Q$$

Det som återstår sedan är att beräkna sannolikheten att efterfrågan under ett intervall är ett visst värde. För detta används den efterfrågemodell som beskrivits tidigare, det vill säga den sammansatta processen.

Följande beteckningar gäller:

$$P(D(L + T) = j) = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{L + T}{k} p^k (1 - p)^{(L+T)-k} f_j^k$$

Första delen av uttrycket är sannolikheten att k stycken efterfrågetillfällen uppstår under intervallet och den sista faktorn är sannolikheten att totalt j enheter efterfrågas vid de k tillfällena.

Med denna sista relation kan slutligen $E(IL'')^+$ beräknas och i och med det kan fyllnadsgraden bestämmas.

Observera att de beräkningar som beskrivits ovan även gäller för $E(IL')$ och $E(IL'')^+$ den enda skillnaden är att L+T ersätts av L.

Målet med beräkningarna var att hitta det lägsta värde på beställningspunkten som gör att fyllnadsgraden når upp till önskad nivå. Det värde på fyllnadsgrad som fås i beräkningen jämförs alltså med målvärdet, om fyllnadsgraden inte når upp till en acceptabel nivå ökas beställningspunkten med en enhet och proceduren upprepas. Detta görs till dess att fyllnadsgraden är tillräckligt hög. Beställningspunkten bestäms således som det minsta värde vilket får fyllnadsgraden att nå önskad nivå.

4 Empiri

I det fjärde kapitlet beskrivs det faktaunderlag som ligger till grund för examensarbetet. Kapitlet inleds med en kortfattad beskrivning av de aktörer som verkar inom svensk järnväg och är av intresse för Mantena och examensarbetet. Därefter följer en beskrivning av datamaterialet som används i det utvecklade verktyget.

4.1 Aktörer inom svensk järnväg och järnvägsunderhåll

Det finns idag en mängd olika aktörer inom svensk järnväg. Att veta vem som gör vad och är ansvarig för vad är inte alltid helt enkelt. Här följer en kort överblick av de viktigaste aktörerna. Syftet är att ge en bakgrundsbeskrivning till den miljö som Mantena verkar i.

4.1.1 Trafikverket

Trafikverket är den myndighet som långsiktigt planerar byggnation, drift och underhåll av de statliga järnvägarna. I Trafikverkets uppdrag ingår även att verka för en grundläggande tillgänglighet i den interregionala kollektivtrafiken samt att verka för att de trafikpolitiska målen uppnås.

Trafikverket upphandlar även driften av ett antal sträckor som inte skulle drivas under kommersiella villkor, främst trafik i glesbygder. (SFS 2010)

4.1.2 Transportstyrelsen

Transportstyrelsen är den myndighet som ansvarar för att ta fram regler, följa upp hur regler följs, ge ut tillstånd etc. som gäller för de som bedriver verksamhet i och kring järnvägen. Vidare ska myndigheten enligt uppdraget från riksdagen arbeta för att de transportpolitiska målen nås. (SFS 2008)



(Foto: Göran Fält)

4.1.3 SJ AB

SJ är ett statligt bolag med uppdrag att driva lönsam persontrafik på järnväg.

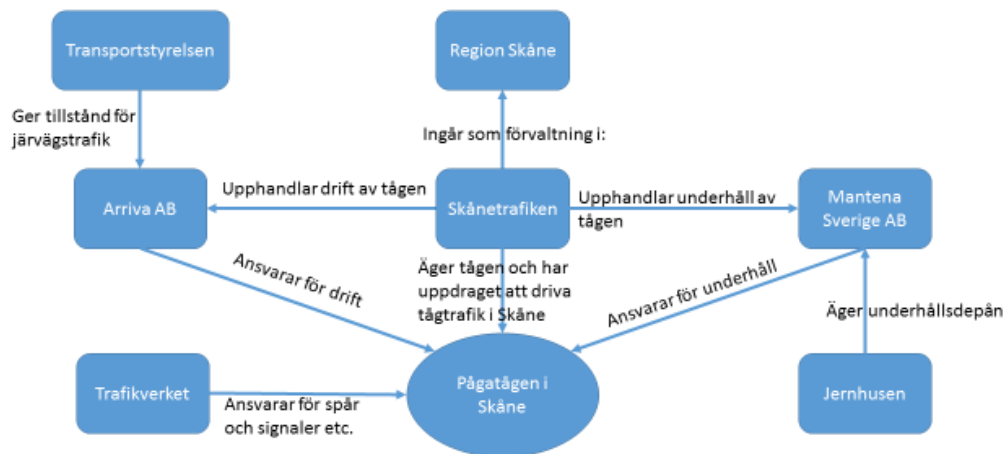
SJ har ett antal dotterbolag, bland andra Stockholmståg AB som driver pendeltågstrafiken i Stockholm och Norrlandståg som kör nattågstrafik i Norrland. (SJ 2014)

4.1.4 Euromaint Rail AB

Euromaint levererar underhåll av järnvägsfordon. Företaget har sitt ursprung i SJ:s maskindivision. I samband med bolagiseringen 2001 bildades företaget som ett av sex bolag som alla kommer från delar av statens järnvägars verksamhet. Sedan 2007 ägs Euromaint av private equity-bolaget Ratos. (Euromaint 2009)

4.1.5 Länstrafikbolag

På regional nivå är det landstingen som har ansvar för kollektivtrafik. Uppdraget att samordna kollektivtrafiken i länen ges av landstingen till länstrafikbolagen. I Skåne heter det Skånetrafiken, i Östergötland Östgötatrafiken och så vidare. Länstrafikbolagen upphandlar sedan driften och underhåll till andra företag. (Regeringen 2013).



Figur 6 – De viktigaste aktörerna kring drift och underhåll av Pågatågen

4.2 Den skånska järnvägen och dess aktörer

I varje kontrakt för drift och underhåll av järnvägsfordon är flera aktörer involverade. I fallet med Pågatågstrafiken i Skåne är förutom Mantena flera aktörer av stor vikt. Nedan följer en kortare beskrivning av de viktigaste aktörerna, Figur 6 visar schematiskt vilken roll de olika aktörerna har och hur de är kopplade till varandra.

4.2.1 Skånetrafiken

Skånetrafiken ingår som en förvaltning i Region Skåne, landstinget i Skåne län. Uppdraget är att driva kollektivtrafik i Skåne. Förutom Pågatågstrafiken drivs även omfattande busstrafik i hela länet. Det är även Skånetrafiken som bestämmer rutter, tidtabeller och resetaxor för kollektivtrafiken. Tillsammans med fem andra länstrafikbolag samt danska Trafikstyrelsen är även Skånetrafiken med och driver Öresundstågen.

Det är Skånetrafiken som äger järnvägsfordonen som Mantena underhåller. Vidare är det även Skånetrafiken som lägger ut uppdrag om drift och underhåll för upphandling. (Skånetrafiken 2013).

4.2.2 Arriva Tåg AB

Arriva är en av Europas största operatörer inom kollektivtrafik. Företaget har sina rötter i Storbritannien och anställer i dagsläget drygt 55 000 personer. Det är i dagsläget Arriva Tåg AB som har ansvar för att köra Skånetrafikens Pågatåg. (Arriva 2013)

4.2.3 Alstom

Alstom är företaget som tillverkat Skånetrafikens nya Pågatåg. Modellen är av typ Coradia Nordic X61 och fordonen är tillverkade i Alstoms fabrik i Salzgitter i Tyskland. Alstom ansvar idag för att förse Mantena med reservdelar. (Alstom 2014)

4.2.4 Jernhusen

Jernhusen är ett statligt företag som äger och förvaltar fastigheter i anslutning till järnvägen, till exempel stationshus och depåer. Företaget bildades år 2001 i samband med bolagiseringen av Statens järnvägar. Det är Jernhusen som äger depåerna där Mantena har sin verksamhet. (Jernhusen 2011)

4.3 Företagsbeskrivning

4.3.1 Mantena Sverige AB

Mantena bildades år 2009. Man är ett dotterbolag till norska Mantena AS, vilket i sin tur är det bolag i NSB-koncernen (Norsk Statsbane) som arbetar med underhåll av järnvägsfordon.

Liksom moderbolaget i Norge så levererar Mantena underhållstjänster för järnvägsfordon. Etableringen i Sverige



skedde i samband med att man vann upphandlingen av underhåll för Skånetrafikens Pågatåg. *Två Pågatåg servas i depån i Helsingborg (Foto: Mantena)*

Mantena har i dagsläget underhållsdepåer på tre platser i landet, i Helsingborg, i Boxholm utanför Linköping samt i Umeå. Huvudkontoret är beläget i anslutning till underhållsdepån i Helsingborg. Depåerna hyrs av Jernhusen och är valda på grund av sin närhet till Mantenas nuvarande uppdragsgivare, Skånetrafiken, Östgötatrafiken och Norrtåg.

Underhållet som utförs vid depåerna är indelat i två kategorier:

- **Förebyggande underhåll.** Detta är planerat underhåll som utförs vid givna kilometerintervall, exempelvis utförs underhåll när tåget kört 50 000 km, 500 000 km och 1 000 000 km. Vid varje sådant tillfälle utförs ett för intervallet förutbestämt underhållsarbete, det kan innefatta både byte och kontroll av delar.
- **Avhjälpan underhåll.** Oplanerat underhåll för att avhjälpa skador och annan åverkan på tågen.

4.3.2 Verksamheten i Helsingborg

I Helsingborg har Mantena både sitt huvudkontor och en underhållsdepå. Här underhåller man Skånetrafikens alla Pågatåg och Mantena ansvarar för att det finns ett enligt avtal specificerat antal tåg tillgängliga för trafik.

4.3.3 Materialförsörjning på Mantena

I avtalet mellan Alstom och Mantena står det att Alstom ansvarar för att försörja Mantena med de reservdelar som behövs för att underhålla tågen.

För att kunna uppfylla detta har Alstom förlagt ett lager till underhållsdepån och därifrån hämtar Mantena ut de reservdelar de behöver. Detta innebär att Mantena själva inte håller något eget lager utan istället köper den tjänsten av Alstom.

När avtalet med Alstom löper ut ska Mantena emellertid sköta inköp och lagerhållning av reservdelar själva och Mantena har redan börjat förbereda och planera den övergången. Eftersom en välfungerande materialförsörjning är något som efterfrågas vid upphandlingar av underhåll har ledningen identifierat materialförsörjning som ett strategiskt viktigt område och något som man måste bli bättre på för att ge företaget bättre möjligheter att vinna framtida upphandlingar. Utöver trovärdighetsaspekten gentemot upphandlare strävar Mantena efter att, om möjligt, även minska sina kostnader och öka tillgängligheten på reservdelar i och med övertagandet av materialförsörjningen från Alstom.

4.3.4 Lagerstruktur på Mantena

Mantena bedriver verksamhet på tre orter i Sverige, Helsingborg, Boxholm och Umeå. På varje ort finns en depå där underhållet sker och på varje depå finns ett lager. För framtiden, när lagerstyrning och inköp kommer ske i företagets egen regi är planerna att behålla samma struktur. Däremot kommer inköp att ske centralt från huvudkontoret i Helsingborg. Lagret i Helsingborg, som också är det största, kommer dock få en lite annorlunda funktion. Där kommer lagernivåerna vara lite högre för att ha en buffert som även de andra depåerna kan nyttja.

4.3.5 Indata

De data som ligger till grund för analys och de beräkningar som gjorts är hämtade från Mantenas affärssystem. I tabellen nedan specificeras vilken data som hämtats.

| Specifikationer för den data som hämtats från Mantenas affärssystem | |
|--|---|
| Tidsperiod | Juni 2010 – Februari 2014 |
| Depå | Helsingborg |
| Tågtyp | Coradia Nordic X61 |
| Information | <ul style="list-style-type: none"> • Artikelnummer • Beskrivning av reservdelen • Transaktionsdatum • Uttagen kvantitet |
| Antal artikelnummer | 965 |

Tabell 2 – Information om datamaterialet från Mantenas affärssystem.

4.3.6 Uttagsfrekvens

För att få en uppfattning om hur ofta de olika reservdelarna efterfrågas presenteras i Tabell 3 en sammanställning om uttagsfrekvenser för samtliga artiklar. Exempelvis kan ur tabellen utläsas att 715 reservdelar har efterfrågats mellan en och fem gånger.

| <i>Uttagsfrekvens för alla reservdelar</i> | |
|--|-----------------|
| <i>Antal uttag</i> | <i>Frekvens</i> |
| 1-5 | 715 |
| 6-10 | 79 |
| 11-15 | 36 |
| 16-20 | 28 |
| 21-25 | 17 |
| 26-30 | 15 |
| 31-35 | 10 |
| 36-40 | 11 |
| 41-45 | 8 |
| 46-50 | 9 |
| Fler | 37 |

Tabell 3 – Uttagsfrekvens för alla reservdelar

Efterfrågan

I Tabell 4 presenteras en sammanställning av medelvärdena för de olika reservdelarnas efterfrågan. Den vanligaste kvantiteten som tas ut ur lagret är en enhet.

| <i>Efterfrågans medelvärde</i> | <i>Frekvens</i> |
|--------------------------------|-----------------|
| 1 | 679 |
| 2 | 189 |
| 3 | 26 |
| 4 | 24 |
| 5 | 10 |
| 6 | 4 |
| 7 | 3 |
| 8 | 6 |
| 9 | 2 |
| 10 | 4 |
| 11 | 3 |
| 12 | 0 |
| 13 | 0 |
| 14 | 1 |
| 15 | 3 |
| Fler | 11 |

Tabell 4 – Efterfrågans medelvärden

5 Analys

I kapitel fem analyseras arbetet mot bakgrund av den teori som tidigare tagits upp. Först identifieras de kvalitetsparametrar som är av vikt i projektet. Även efterfrågedata och valet av prognosmetod analyseras. Därefter behandlas valet av efterfrågemodell. Kapitlet avslutas med en motivering av den lagerstyrningsmodell som författarna valt att använda i examensarbetet.

5.1 Viktiga kvalitetsdimensioner

Som nämnts tidigare i metodkapitlet kan kvalitetsdimensionerna delas upp i system- och processkvalitet. Det som har varit av särskild vikt för författarna har varit att utveckla ett funktionellt, tillförlitligt och användarvänligt verktyg. Att verktyget ska göra det som sägs, och leverera bra resultat anses självklart. Att det dessutom måste vara lättanvänt beror på att de som ska använda verktyget på Mantena inte nödvändigtvis har den teoretiska bakgrund till lagerstyrning som krävs för att till fullo sätta sig in i de beräkningar som görs. Därför är det viktigt att användaren ändå kan förstå vad verktyget gör och vilka resultat det ger. Vad gäller processkvalitet är det viktigaste att verktyget får en så bred acceptans som möjligt på Mantena.

5.2 Efterfrågedata och prognosmetod

Det datamaterial som ligger till grund för arbetet uppvisar flera olika egenskaper som på ett eller annat sätt behöver analyseras och tas i beaktande. Tabell 3 i kapitel 4.3.7 visar upp den stora variation som finns i hur ofta olika artiklar efterfrågas. Spannet sträcker sig från efterfrågan i princip varje dag till att det bara finns ett enda registrerat uttag under hela tidsperioden. Dessutom finns variationer i hur mycket som efterfrågas vid varje tillfälle. Det som kan konstateras är att för mindre än 10 % av artiklarna har den genomsnittliga uttagsstorleken varit ett eller mer.

Det finns med andra ord många artiklar med en mycket låg åtgång. Enligt Babiloni et al. (2010) avgör intervalllängd mellan efterfråga och efterfrågans storlek vilken prognosmetod som är lämpligast att använda. Vidare betonas att vanliga prognosmetoder presterar dåligt vid sporadisk efterfrågan.

Även Croston (1972), Syntetos och Boylan(2001) har kommenterat svagheten hos vanligare prognosmetoder när det kommer till reservdelar. Problemet består i att de långa perioderna utan efterfrågan som kännetecknar reservdelar gör att prognoserna skrivs ner och följaktligen är som lägst precis före ett efterfrågetillfälle.

Analys av data indikerar alltså att Crostons metod och Syntetos-Byolans modifiering av Crostons metod är lämpliga att använda.

Enligt klassificeringen som finns beskriven i kapitel 3.4.2 används Syntetos-Boylans modifiering av Crostons metod för artiklar i kategorierna sporadisk, oregelbunden och klumpvis efterfrågan. För reservdelar med jämn efterfrågan används Crostons metod.

5.2.1 Startvärden för prognoser

Vid varje beräkning av en ny prognos tas värdet på föregående periods prognos i beaktning. En fråga blir således hur den första prognosen ska beräknas. Formler för beräkning av prognoser finns i teorikapitlet 3.2. Flera angreppssätt är tänkbara. Eftersom det i fallet med det här projektet finns en historik kan man välja ett medelvärde av de första perioderna som startvärde. Problemet med det är att prognosen blir bättre än en vanlig prognosuppdatering eftersom den är baserad på verkliga utfall.

En annan metod, som också är den metod som författarna valde, är att under första perioden inte ta in någon föregående prognos. Resultatet blir att den första prognosen blir samma som den faktiska efterfrågan i första perioden, alternativt spås andra intervallängden bli lika lång som den första om det är intervall mellan efterfrågetillfällen som studeras.

Vilken metod som än används är en period med sämre prognoser i början svår att undvika. Eftersom de prognosmetoder som används är baserade på exponentiell utjämning kommer emellertid betydelsen av dessa första prognoser att avta exponentiellt. Detta gör att problemet med startvärden är övergående.

5.2.2 Artiklar med mycket låg efterfrågan

För de artiklar som bara har ett fåtal registrerade uttag överhuvudtaget är emellertid inte heller Crostons modell direkt lämplig att använda. Osäkerheten i prognosen och beräkningen av beställningspunkt och orderkvantitet blir högre när det inte finns mycket data att basera beräkningarna på. Rent praktiskt är det möjligt att köra programmet för tre uttag och uppåt, men kvaliteten på resultaten går att ifrågasätta.

För att ändå kunna bilda sig en uppfattning om hur sådana artiklar ska lagerföras kan man utvärdera dem efter deras grad av kritiskhet. För en beskrivning denna bedömning hänvisas läsaren till teorin i kapitel 3.4.3. Det som enligt personalen på Mantena spelar störst roll i just deras verksamhet är vilken typ av fel som reservdelen är kopplad till. Ett stoppande fel, det vill säga ett fel som gör att tåget inte får lämna verkstaden förrän det är åtgärdat, klassas av naturliga skäl som viktiga. Det är en parameter som vägs in i bedömningen av hur artikeln ska lagerföras.

5.2.3 Övrig indata

Vid analysen av indata kan det också konstateras att mycket av de data som behövs för att beräkna den ekonomiska orderkvantiteten och beställningspunkten saknas. Vad gäller den ekonomiska orderkvantiteten finns endast efterfrågan tydligt angiven. Internräntan vilken ligger till grund för lagerhållningskostnaden är inte entydigt specificerad utan kan enligt Mantena anta värden mellan fem och tio procent beroende på hur risknivån bedöms. Information om priser finns endast för ett fåtal artiklar. Kostnader för order och lagerhållning saknas helt.

Av de data som behövs för att bestämma beställningspunkt saknas för majoriteten av reservdelarna information om ledtid och inspektionsintervall samtidigt som den bristfälliga informationen kring orderkvantiteten även den påverkar beräkningarna av beställningspunkter. Något som Mantena för närvarande arbetar med är att identifiera vilka artiklar som kan orsaka stoppande fel. Detta är viktig information då till exempel servicegraden bestäms.

5.3 Tillämpning av klassificering

För att underlätta arbetet med lagerstyrningen anser författarna att reservdelarna bör klassificeras. Målet med klassificeringen är att kunna differentiera styrningen av de olika reservdelarna på ett sådant sätt att Mantena kan utnyttja sina resurser på ett effektivt sätt. Då antalet reservdelar är mycket stort och då informationen om dessa inte funnits sammanställd har författarna valt att enbart ta fram lämpliga kategorier, alltså har ingen faktisk indelning av reservdelarna gjorts. Klasserna är valda utifrån den teori i ämnet som presenterats tidigare och den empiri som samlats in.

5.3.1 Klasser

Vid klassificeringen av reservdelarna föreslår författarna att följande kategorier används:

- Stoppande fel och icke-stoppande fel
- Pris
- Efterfrågan

Ett stoppande fel är ett fel av sådan karaktär att tåget av drift- eller säkerhetsskäl inte får lämna depån. Reservdelar till sådana fel bör därför betecknas som kritiska, för att återkoppla till den klassificering som Botter och Fortuin (2000) gör. Vidare är det värt att notera att det för att åtgärda ett stoppande fel kan krävas flera olika reservdelar och således bör alla dessa klassas som kritiska.

Reservdelar kopplade till stoppande fel bör enligt författarna tilldelas en mycket hög servicegrad för att säkerställa att de finns tillgängliga när ett stoppande fel behöver åtgärdas.

Icke-stoppande fel är som namnet antyder fel vilka inte orsakar driftstopp. Av den anledningen kan reservdelar kopplade till sådana fel betecknas som icke-kritiska och därför tilldelas en lägre servicegrad än reservdelarna kopplade till stoppande fel.

Priset på de olika reservdelarna sträcker sig från några enstaka kronor upp till hundratusentals kronor. Eftersom kapitalkostnaden enligt bland annat Jonsson och Mattsson (2011) utgör en stor del av kapitalbindningskostnaden anser författarna att pris bör utgöra en klassificeringskategori.

En reservdels efterfrågan styr i hög grad dess lagerstyrning både i fråga om storlek på lager och inköpskvantiteter och kan därför vara en lämplig faktor att klassificera, något som även Botter och Fortuin (2000) föreslår.

Genom att bedöma dessa tre faktorer kan reservdelarna delas in i åtta olika klasser och de riktlinjer för lagerstyrning som presenteras i teorikapitlet 3.4.3 anses kunna utgöra en grund för hur Mantena ska hantera sina olika reservdelar.

5.3.2 Styrningsmetoder för de olika klasserna

Beroende på vilken av de åtta olika klasserna en reservdel hamnar ges olika rekommendationer för hur den ska lagerstyras. Dock dras den viktigaste skiljelinjen i detta arbete mellan de reservdelar vilka har en mycket låg efterfrågan, det vill säga reservdelar med enbart ett fåtal efterfrågetillfällen under den studerade perioden, och övriga reservdelar.

Författarna föreslår att de reservdelar som hör till den första kategorin styrs enligt de riktlinjer som Botter och Fortuin (2000) ger, och som beskrivs i kapitel 3.4.3. Den klassificering som gjorts styr då hur mycket som lagerhålls och hur inköp görs.

Reservdelar med en högre efterfrågan bör enligt författarna styras med det program som utvecklats i samband med detta examensarbete. Pris och efterfrågan klassificeras då inte utan de exakta värdena är viktiga och används som ingående parametrar. Klassificeringen av stoppande respektive icke- stoppande avgör vilken grad av service som önskas uppnås och bidrar på det sättet till att bestämma hur styrningen ska ske.

5.4 Analys av lämplig efterfrågemodell

En genomgång av indatamaterialet ger en bild som till stor del överensstämmer med den beskrivning som Babiloni et al. (2010) ger av ett efterfrågemönster med många perioder utan efterfrågan. Enligt Axsäter (2006) gör detta att en diskret efterfrågemodell är lämplig att använda vid utformningen av (R,Q)-policyn.

Vidare konstateras från datamaterialet att det är lämpligt att studera efterfrågan på dagsbasis. Varje uttag registreras i affärssystemet det exakta klockslaget uttaget sker. Det vore emellertid inte lämpligt att använda efterfrågan per sekund, vilket i praktiken skulle motsvara en kontinuerlig tidsmodell, med tanke på det mycket stora antalet perioder det skulle medföra mellan två efterfrågetillfällen som kan ligga månader ifrån varandra.

Det finns två komponenter som måste bestämmas för att kunna modellera efterfrågan, en modell för när efterfrågan äger rum och, eftersom studierna av datamaterialet visar att det finns en betydande mängd artiklar som efterfrågas i andra kvantiteter än ett, en modell för hur storleken på efterfrågan.

Beträffande den första modellen kan följande observeras. Eftersom efterfrågan endast kan ske på dagsbasis enligt den valda modellen kan man betrakta varje dag som ett Bernoulliförsök. Det vill säga varje dag sker efterfrågan med en viss sannolikhet p , vilket i teorin motsvarar ett lyckat försök.

Av detta följer att efterfrågan representeras av en så kallad Bernoulliprocess, där sannolikheten att k stycken kunder anländer inom ett visst intervall på n dagar kan representeras av binomialfördelningen. Den är definierad som sannolikheten att få k lyckade försök av totalt n stycken försök. Slutligen skulle den geometriska fördelningen passa bra för att representera hur många dagar som går mellan varje efterfrågetillfälle. Den geometriska fördelningen motsvarar antalet av varandra oberoende försök som krävs innan man får ett lyckat utfall om varje försök har sannolikheten p att lyckas.

Tester med mjukvaran Statfit stärker bilden av Bernoulliprocessen som lämplig efterfrågemodell. Genom att mata in de uppmätta längderna av intervallen mellan dagar då efterfråga sker som dataserier prövar Statfit vilka sannolikhetsfördelningar som bäst approximerar de olika serierna. I bilaga 10.2 finns en utförligare beskrivning av de tester som genomförts, vilket urval av artiklar som gjorts för att få en heltäckande bild samt vilka tester som programmet använder.

Resultaten av testerna visar att den geometriska fördelningen är den som bäst approximerar hur intervalllängderna varierar. Detta förstärker alltså bilden av en Bernoulliprocess.

Den andra komponenten i efterfrågemodellen är den så kallade sammansatta fördelningen. Den ska representera hur storleken på efterfrågan varierar. Samma typ av test, baserat på de registrerade kvantiteter som efterfrågats, i Statfit gav emellertid inte ett tillfredställande svar. Ingen fördelning kunde sägas passa så bra att den kan användas för att modellera hur de efterfrågade kvantiteterna varierar.

Närmare studier av datamaterialet ger emellertid en annan infallsvinkel. De kvantiteter som efterfrågas varierar inte helt slumpmässigt, utan det finns vissa kvantiteter som är betydligt mer vanligt förekommande än andra. Utifrån varje artikels tidigare uttag kan en empirisk fördelning skapas. Detta innebär att de alla tidigare efterfrågestorlekar och antalet förekomster av dessa bestämmer sannolikheten för att en viss kvantitet efterfrågas. Då igen teoretisk fördelning ansågs lämplig valde författarna att använda denna metod för att beskriva efterfrågestorlekens fördelning.

Vissa brister finns i detta sätt att representera hur storleken på efterfrågan varierar. En sådan är att kvantiteter som ännu inte efterfrågats enligt modellen får sannolikheten noll. Detta kan dock ses som ett övergående problem, varje gång verktyget körs på nytt uppdateras den empiriska fördelningen till att innehålla samtliga nya värden. Ju längre modellen varit i bruk desto bättre kommer den empiriska fördelningen att representera de faktiska sannolikheterna.

5.5 Lagerstrukturen på Mantena

Den decentraliserade lagerstrukturen på Mantena passar företaget väl. Dels är den stora geografiska spridningen på depåerna något som talar mot ett centrallager. Dessutom finns en osäkerhet kring var verksamheten kommer ligga i framtiden, nya order kan vinnas eller förloras och beroende på detta förändras vad som är en lämplig placering av ett centrallager. Slutligen slipper man att organisera den extra distribution som måste till för att samordna transporter mellan de olika lagren.

Nackdelen med det nuvarande upplägget är att man går miste om de eventuella skalfördelar som centralisering kan medföra. För de artiklar som används på alla tre depåer skulle en central lagerhållning kunna medföra besparingar. (Jonsson, Mattsson 2011)

5.6 Val av lagerstyrningsmodell

Av de modeller som presenteras i teorikapitlet används (R, Q)-policyn i projektet. Utifrån befintlig efterfrågedata framgår det, som nämnts ovan, att det finns allt från mycket lågfrekventa till mycket högfrekventa artiklar. Modellen som tas fram måste med andra ord kunna hantera båda dessa ytterligheter.

För lågfrekventa artiklar är det även så att de tre metoderna i praktiken blir mer och mer lika varandra. När det är långt mellan efterfrågetillfällena och kvantiteterna som efterfrågas oftast är ett närmar sig den optimala orderkvantiteten ett. Det är med andra ord en base-stock policy.

Skillnaden mellan periodisk och kontinuerlig inspektion blir även den mindre och mindre när tiden mellan efterfrågetillfällena blir längre. Sannolikheten att lagernivån ska sjunka under beställningspunkten innan en ny inspektion sker minskar vilket gör att de två blir mer och mer lika.

Enligt Axsäter (2006) kan man visa att (s, S)-policyn under vissa förutsättningar är den teoretiskt bästa metoden. Det framhålls dock att skillnaden i kostnad är mycket liten. Dessutom är (R, Q)-policyn enligt Axsäter enklare att implementera i praktiken.

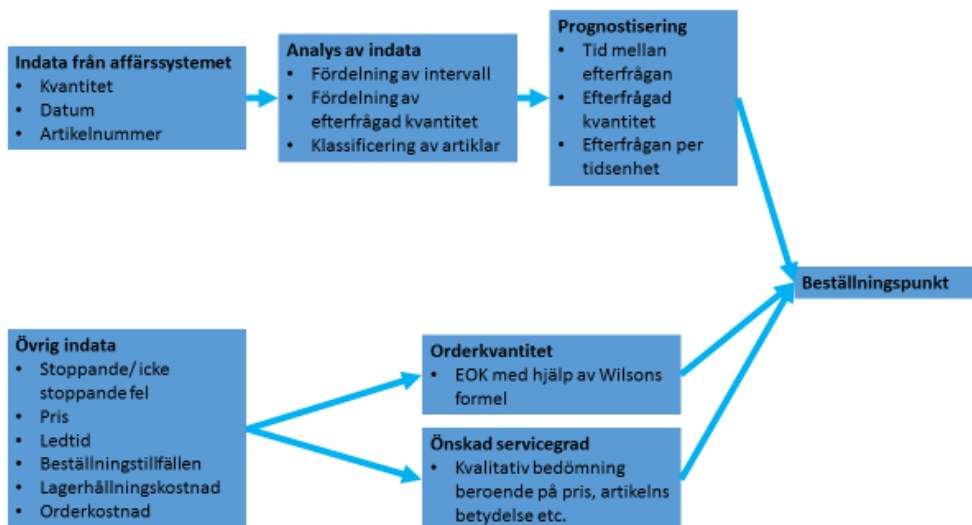
Slutligen finns det faktum att många artiklar köps in i fasta batchstorlekar. När så är fallet passar en (R, Q)-policy bättre än övriga lagerstyrningsmodeller. Man kan även visa att (R, Q) är den optimala metoden när produkter måste beställas i fasta batcher. (Axsäter, 2006)

Utifrån detta har författarna valt att använda en (R,Q)-policy som lagerstyrningsmodell.

6 Genomförande

I kapitel 6 presenteras en mer utförlig beskrivning av genomförandet av examensarbetet. Läsaren får först en överblick av arbetets gång och sedan en detaljerad redogörelse för hur det framtagna verktyget fungerar.

Baserat på teorin och analysen av datamaterialet har författarna valt att konstruera ett program för bestämning av (R, Q)-policyer. De olika arbetsmomenten under projektets gång beskrivs schematiskt i figur 8. Vidare finns ett antal exempelbilder från det färdigutvecklade verktyget i bilaga 10.3 och källkoden återfinns i bilaga 10.4.



Figur 7 – En schematisk bild av projektets genomförande

6.1 Sammanställning av data

Till grund för de beräkningar som görs ligger alltså data från Mantenas affärssystem. Artiklarna kommer utan någon inbördes ordning. Därför är en organisering av data det första steget i arbetet. Artiklarna sammanfattas i en pivottabell där varje artikelnummer kopplas ihop med de uttag som gjorts av denna, och de datum dessa uttag skett.

Detta sammanställda datamaterial ligger sedan till grund för de beräkningar som görs vid klassificering, prognostisering och bestämning av orderkvantitet och beställningspunkt.

6.2 Klassificering av efterfrågan och prognostisering

För att klassificera efterfrågan för en reservdel hämtas från datamaterialet tidsintervallen mellan efterfrågetillfällena och efterfrågad kvantitet vid varje sådant tillfälle. Intervallen mellan uttagen och storleken på desamma kvantifieras sedan med måtten ADI och CV^2 . För definition av ADI och CV^2 hänvisas läsaren till teorikapitlet 3.4.2.

Utifrån dessa två mått klassificeras produkterna i fyra kategorier enligt systemet föreslaget av Syntetos, Boylan och Croston (2005). Enligt Syntetos et al. (2005) är lämpliga cut-off värden 1,32 för ADI och 0,49 för CV^2 och dessa används här för att göra klassificeringen. De fyra kategorierna är:

- **Jämn efterfrågan** – Artikeln efterfrågas med korta och intervall och i jämna kvantiteter.
- **Sporadisk efterfrågan** – Det är långt mellan efterfrågetillfällena och variationen i efterfrågad kvantitet är låg.
- **Oregelbunden efterfrågan** – Antalet artiklar som efterfrågas vid varje tillfälle varierar mycket. Intervallen mellan tillfällena är korta.
- **Klumpvis efterfrågan** - Intervallen mellan efterfrågetillfällen är långa och variationen i efterfrågad kvantitet är stor.

Syntetos, Boylan och Croston (2005) föreslår även att de tre översta kategorierna prognostiseras med Syntetos-Boylans modifiering av Crostons prognosmetod. För artiklar med klumpvis efterfrågan fungerar enligt Syntetos et al. Crostons metod bäst. Val av prognosmetod sker i enlighet med denna rekommendation.

6.2.1 Crostons metod för sporadisk efterfrågan

Det totala antalet dagar som finns med i beräkningarna bestäms som intervallet mellan det första och senaste datumet med efterfrågan. Vidare är det sedan tidigare känt vilka datum då efterfrågan funnits, antalet av dessa datum summeras för att kunna användas i beräkningarna.

Crostons metod har två parametrar, α och β . Dessa reglerar hur mycket vikt som ska läggas på det senaste efterfrågetillfället de prognoser som redan gjorts.

Om inget annat anges sätts båda till 0,3. Det sista steget innan själva prognostiseringsarbetet kan inledas är att beräkna längden på alla intervall mellan efterfrågetillfällen.

Med hjälp av dessa parametrar beräknas sedan prognoserna för efterfrågan per period, efterfrågans storlek och tid mellan efterfrågetillfällen. En utförlig beskrivning av beräkningarna bakom prognoserna finns i kapitel 3.2.3.

Alla datum i det studerade tidsintervallet går igenom i kronologisk ordning och för varje datum uppdateras de tre värdena i enlighet med Crostons metod. De sista värdena som beräknas utgör prognosen för kommande perioder och utgör indata till beräkningen av beställningspunkten.

6.2.2 Syntetos-Boylans modifiering

Som tidigare nämnts används för vissa artiklar en modifierad variant av Crostons metod, framtagen av Syntetos och Boylan. De båda metoderna är uppbyggda på samma sätt med den enda skillnaden att den modifierade varianten multiplicerar prognosen för efterfråga per tidsenhet med en dämpande faktor $1 - \frac{\alpha}{2}$. Parametern α är samma parameter som används vid prognostisering av intervalllängden mellan efterfrågetillfällen.

6.3 Beräkning av orderkvantitet

Från prognostiseringen erhålls den förväntade efterfrågan per tidsenhet. Den används sedan i bestämmandet av orderkvantiteten, den första komponenten i (R,Q)-policyn. Orderkvantiteten bestäms med hjälp av modellen för ekonomisk orderkvantitet, det vill säga en avvägning mellan kostnaden för att lägga en order och kostnaden för att hålla en reservdel i lager görs. Modellens parametrar är efterfrågan per tidsenhet, lagerhållningskostnad per enhet och tidsenhet samt orderkostnad, se teorikapitel 3.7.1 för en utförligare beskrivning av modellen. Tidsenheten som används i beräkningarna är år. Detta val motiveras av att lagerhållningskostnaden baseras på internränta, vilken är en årsränta.

Efterfrågan per år bestäms som efterfrågan per dag, värdet på detta tas från prognosen, multiplicerat med 365, det vill säga antalet dagar på ett år.

Lagerhållningskostnaden beräknas som reservdelens pris multiplicerat med Mantenas internränta, det vill säga det alternativa avkastningskravet på kapitalet.

Ingen specifik lagerhållningsränta beräknas, detta motiveras med det faktum att enligt Jonsson & Mattson (2011) utgör en stor del av lagerhållningskostnaden av kapitalkostnaden och att de övriga kostnadskomponenterna, förvarings- och osäkerhetskostnad i dagsläget inte är kända.

Orderkostnaden har Mantena ännu inte någon skattning för utan författarna har använt en uppskattad kostnad. Denna uppskattning baseras på transportkostnader och den arbetstid som krävs för att hantera en order, dels det administrativa arbetet men även arbetet med godsmottagning och inlagring. Att ta mer utförligt beräkna orderkostnaden är ett arbete som ligger utanför ramen av det här examensarbetet.

Baserat på de ovanstående parametrarna görs sedan beräkningen för att få fram rekommenderad orderkvantitet.

Valet av ekonomisk orderkvantitet motiveras med att både Axsäter (2006) och Jonsson & Mattson (2011) skriver att modellen är väl etablerad och ofta använd. Vidare är den orderkvantitet som beräknas inte tänkt att alltid användas rakt av utan kan istället tjäna som ett riktvärde. Den faktiska orderkvantiteten anpassas sedan efter faktorer som batchstorlek, eventuella kvantitetsrabatter m.m. Att en modell som inte tar hänsyn till bristkostnader, vilket ju inte den ekonomiska orderkvantiteten gör, används beror av att dessa bristkostnader i dagsläget inte är kända och att de är svåra att uppskatta. Slutligen valdes dynamiska modeller såsom Wagner-Within och Silver-Meal bort av två anledningar. Dels kan inte den framtida efterfrågan prognostiseras med sådan tydlighet som dessa modeller kräver, dels skulle beräkningen av beställningspunkten försvåras betydligt om orderkvantiteten var dynamisk.

6.4 Beräkning av beställningspunkt

Den andra fasen i beräkningen av (R,Q) -policyn är att ta fram beställningspunkten. För att kunna beräkna dessa krävs att följande parametrar är kända:

- Orderkvantitet
- Önskad servicenivå
- Ledtid
- Inspektionsintervall
- Ankomstintervallens fördelning
- Efterfrågestorlekens fördelning

Orderkvantiteten har beräknats med hjälp av ekonomisk orderkvantitet och önskad servicenivå fås från reservdelens klassificering. Vidare anses leddelen och inspektionsintervallet vara givna och fördelningarna är kända sedan tidigare. Från prognosen tas sedan förväntad tid mellan två efterfrågetillfällen. Baserat på denna beräknas dels sannolikheten att efterfrågan sker under dag, dels förväntad efterfrågan under intervallet mellan två inspektionstillfällen.

Beräkningen av beställningspunkten är en iterativ process där alla ingående parametrar bortsett från beställningspunkten är konstanta. I det första steget sätts beställningspunkten till att vara den negativa orderkvantiteten (-Q) och baserat på detta beräknas fyllnadsgraden. Denna jämförs sedan med den fördefinierade, önskade, fyllnadsgraden och om den beräknade fyllnadsgraden är mindre än den önskade så ökas beställningspunkten med en enhet och sedan görs beräkningarna om. Detta upprepas till det att beställningspunkten är så pass stor att den beräknade fyllnadsgraden är lika med eller större än den önskade. För de fullständiga matematiska formlerna hänvisas läsaren till kapitel 3.8.

6.5 Validering

För att säkerställa att modellen ger korrekta värden konstruerades en simuleringsmodell i programmet Extend. Där skapas ett virtuellt lager som styrs enligt den givna policyn. Målet är att se om servicenivån lever upp till de önskvärda värdena givet att alla parametrar är samma. En bild av valideringsmodellen finns i bilaga 10.2.

Innan simuleringen börjar ställs alla parametrar in. Idén under simuleringen är att representera varje tillfälle som en reservdel efterfrågas som en kundankomst. Varje kund efterfrågar sedan ett visst antal artiklar enligt den empiriska fördelningen som skattats tidigare i modellen. Detta värde blir ett attribut som kunden tar med sig in i systemet.

Likaså ställs fördelningen enligt vilken kunderna ska ankomma till systemet in. Enligt tidigare resultat sker detta enligt en Bernoulliprocess. Detta betyder i sin tur att tiden mellan kundankomsterna är geometriskt fördelad. Sannolikheten för en kundankomst är unik för varje reservdel.

Själva lagret simuleras med hjälp av ett "Resource-block". Lagernivån är densamma som antalet tillgängliga resurser. En kund sammanfogas med det antal produkter samma kund efterfrågar i ett "Batch-block".

Det som ska mätas av modellen är som bekant servicenivån. Enligt den definition av servicenivå som används i det här projektet ska för en servicenivå på 95 % motsvaras av att minst 95 % av kunderna kan få det de efterfrågar direkt, d.v.s. att de inte behöver vänta på att nya produkter levereras till lagret. Metoden som används för att mäta servicegraden är genom att ge varje kund ytterligare ett attribut, `hasWaited`, som sätts till 1 om den aktuella kunden behövt vänta och till 0 om ingen väntan behövdes. I slutet av modellen skiljs sedan kunder som väntat av från de som inte väntat till olika Exit-block. Genom att räkna hur många som lämnat systemet i de olika blocken kan servicenivån fastställas.

7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras först olika aspekter av den teori som använts och dess styrkor och svagheter. Sedan följer en utvärdering av det framtagna verktyget utifrån kvalitetsdimensionerna. Därefter följer en diskussion kring möjligheterna att identifiera de eventuella förbättringar den föreslagna lagerstyrningen skulle kunna ge. Kapitlet avslutats med en diskussion kring en eventuell implementering och de olika underhållsbegreppen.

7.1 Teoridiskussion

Nedan följer en diskussion kring några av de aspekter av den tillämpade teorin som författarna ansett vara av intresse.

7.1.1 Bernoulliprocessen

I den studerade litteraturen används ofta Poissonprocessen alternativt en normalapproximation för att modellera efterfrågan. Till viss del kan detta kanske förklaras med att det i litteraturen till största delen är kontinuerlig tid som studerats. I det här projektet har en diskret tidsmodell valts, nämligen Bernoulliprocessen. Av författarna värderades faktorer som den låga frekvensen på efterfrågan och de relativt små kvantiteterna högt i valet av efterfrågemodell och då ansågs Bernoulliprocessen bäst lämpad att modellera detta.

Eftersom normalfördelningen är symmetrisk kring medelvärdet och tillåter negativa värden är den rent av olämplig att använda. Vid låga kvantiteter blir sannolikheten att få negativ efterfrågan, vilket naturligtvis inte är önskvärt, för hög. Poissonprocessen hade kunnat vara en tänkbar kandidat som efterfrågemodell. Diskret tid passar emellertid bättre in på de beräkningar som ligger till grund för modellen. Där kan efterfrågan endast ske på dagsbasis. Följden av detta blir diskreta tidsintervall mellan varje efterfrågetillfälle.

Ett litet frågetecken kring valet som är värt att nämna är frånvaron av liknande exempel i litteraturen. Där har istället tonvikten legat på att hitta bra prognosmetoder. Detta projekt skulle kunna utgöra ett exempel på en tillämpning av Bernoulliprocessen.

7.1.2 Klassificering av efterfråga

En potentiell brist med sättet att klassificera produkterna ligger i begreppet ADI, det vill säga genomsnittlig tid mellan efterfrågetillfällena. Precis som namnet antyder är det ett medelvärde av de intervallängder som hittills uppmätts. Med andra ord säger det inget om variationen av intervallängderna.

Följden av detta blir att kategorin sporadisk efterfrågan endast anger den tid som i genomsnitt går mellan efterfrågetillfällena.

Om man istället tror att intervallen mellan efterfrågetillfällena uppvisar en stor variation kan detta vara av större intresse än den genomsnittliga tiden. Är intervallet mellan varje efterfrågetillfälle långt men i stort sätt alltid det samma är det enkelt att styra. Svårigheten ligger i att hantera situationer som uppvisar stor variation. Då måste en avvägning ske mellan att ha mycket i lager för att vara beredd på det värsta och att hålla lagren nere för att spara kostnader.

Effekten av att mäta medelvärde istället för variation på hur modellen presterar är dock inte stor. Klassificeringen av artiklar avgör om det är Crostons prognosmetod eller Syntetos-Boylans modifierade metod som används.

Ur ett användarperspektiv däremot kan det vara av värde att få en signal om både medelvärde och variation. Där är det kanske till och med mer intressant med medelvärde då detta är ett tal i antal dagar och som man därmed enklare kan relatera till. Ett variansmått saknar samma tydliga enhet och blir följaktligen mer abstrakt.

7.1.3 Prognosmetod

De prognosmetoder som används i modellen tar vare sig hänsyn till trend eller säsong. Det är enkla tillägg som skulle kunna vägas in i modellen om en vidare analys av visade på förekomsten av dessa variationer och om Mantena anser det intressant. Problemen vid en implementering skulle dels kunna vara att endast vissa artiklar berörs av variationerna och dels är det möjligt att de varierar på olika sätt. Det krävs alltså en bedömning artikel för artikel. Detta är en bedömning som både kräver kunskap om de olika reservdelarna och tid för att genomföras.

7.1.4 Partiformningsmetod

Vad gäller valet av ekonomisk orderkvantitet som partiformningsmetod kan flera argument framföras både till fördel och till nackdel för densamma. I teorikapitlet listas följande förutsättningar som måste vara uppfyllda för att modellen ska gälla:

- Efterfrågan är konstant och kontinuerlig
- Order- och lagerhållningskostnaderna är konstanta över tid
- Orderkvantiteten behöver inte vara ett heltal
- Hela ordern levereras vid samma tillfälle
- Inga brister förekommer

Av dessa kan den andra, den tredje och den fjärde förutsättningen anses vara uppfyllda.

Däremot är det första antagandet inte helt förenligt med situationen på Mantena. Det är uttrycket för lagerhållningskostnad som förutsätter att efterfrågan är konstant och kontinuerlig. I modellen används lagerhållningskostnad per enhet multiplicerat med det genomsnittliga antalet artiklar som finns i lager för att beräkna lagerhållningskostnaden. När efterfrågan inte är konstant och kontinuerlig kan det genomsnittliga lagret inte längre räknas ut med uttrycket $\frac{Q}{2} * h$.

Det femte antagandet, att inga brister förekommer, är inte heller uppfyllt. Det finns en utökad variant av EOK-modellen som tillåter brist (Axsäter, 2006, s. 59). Den kräver emellertid att det finns bristkostnader definierade som på ett bra sätt speglar de direkta och indirekta kostnader som är förknippade med brist. Några sådana är mycket svåra att uppskatta. I Mantenas fall finns för vissa artiklar direkta kostnader, exempelvis viten som måste betalas om tåg inte är tillgängliga. Om ett tåg inte skulle vara tillgängligt på grund av att en del inte fanns i lager när den efterfrågades kan vitena som följer direkt kopplas till den bristen. Om det däremot är brist på en artikel som inte leder till att tåget inte kan lämna depån blir det svårare. Kostnaden uppstår i så fall i att användarna får en sämre eller mindre bekväm resa, detta kan i värsta fall leda till att färre reser med tåg vilket på mycket lång sikt kan påverka Mantena. Det skulle också kunna påverka Mantenas rykte och förmåga att vinna framtida order, i sådana fall kan kostnaden bli otroligt hög då en order är värd mångmiljonbelopp. Det som blir uppenbart är att kostnaderna lätt blir långsökta och mycket svåra att kvantifiera. Mot bakgrund av detta tillför anpassningen till att tillåta brist inte mycket till modellen. Konsekvensen blir helt enkelt att en förenklad bild av verkligheten får användas.

Det som däremot talar till modellens fördel är att den är robust kring optimum, vilket gör att avvikelser från det teoretiskt önskvärda scenariot inte får stora utslag (Axsäter, 2006). Dessutom gör den stora variationen produkterna emellan vad gäller efterfrågan samt den relativt korta tiden systemet varit igång att det i praktiken är svårt att göra en bättre anpassning.

Vidare är det trots ovan nämnda brister viktigt att framhålla fördelarna med en förenklad, men ofta använd, metod. Den nämns ofta i litteratur (Axsäter, Jonsson och Mattson, m.fl.) och får alltså anses vara en erkänd metod.

Detta kan bidra till att personalen som ska använda verktyget får förtroende för det, vilket i sin tur underlättar en implementering.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att alla villkoren för EOK-modellen inte är helt uppfyllda. Den inbyggda robustheten gör emellertid att detta inte är alltför allvarligt. Utöver detta kan inköpskvantiteten komma att ändras av andra orsaker. Till exempel kanske det anses fördelaktigt av personalen på Mantena att samla inköp av samtliga artiklar hos en leverantör på en faktura. Då kan beställning ske även om lagerpositionen inte ännu nått beställningspunkten.

Slutligen är det värt att tillägga att användningen av EOK inte utesluter användandet av andra partiformningsmetoder som ett komplement.

7.1.5 Värdering av källor

De teorier som presenteras i arbetet samt de påståenden som görs som inte är författarnas egna åsikter utan bygger alla på de källor som läsaren hänvisas till. Författarna har under litteratursökningarna tagit följande punkter i beaktande för att uteslutande kunna referera till källor med hög trovärdighet.

- LUBsearch, Lunds Universitets Biblioteks söksystem, har använts. På LUBsearch finns alla sökresurser som är kopplade till Lunds Universitets Bibliotek vilket författarna anser bidra till källornas trovärdighet.
- Triangulering har används i hög utsträckning. Det vill säga att trovärdigheten ökar om flera oberoende källor stödjer samma påstående eller teori.
- Källornas ursprung har granskats. De källor som används kommer från erkända skolor eller har publicerats i erkända tidskrifter.

7.2 Utvärdering av verktyget

Nedan följer en utvärdering baserad på de kvalitetsparametrar som beskrevs i metodkapitlet 2.4.5.

7.2.1 Systemkvalitet

I metodkapitlet presenterades fem stycken kvalitetsparametrar som är viktiga vid utvärdering av systemkvaliteten. Dessa är funktionalitet, tillförlitlighet, användarbarhet, underhållsbarhet och portabilitet. Var och en av dessa kvalitetsdimensioner belyser olika sidor av det utvecklade verktyget.

7.2.1.1 *Funktionalitet*

Syftet med arbetet var att ta fram ett verktyg för lagerstyrning som kan hantera den oregelbundenhet som åtgången på reservdelar uppvisar hos Mantena. Det verktyg som utvecklats beräknar orderkvantitet och beställningspunkt utifrån en önskad fyllnadsgrad. En diskret tidsmodell används och de prognosmetoder som används är utvecklade för att hantera just reservdelar. Man kan alltså säga att verktyget gör det som det var tänkt att göra.

Dock är verktyget begränsat så till vida att det inte kan handskas med de situationer då endast ett uttag har skett under perioden som datamaterialet gäller för. Detta beror på att programmets olika komponenter är beroende av att det finns en serie med historisk data att basera beräkningarna på. I dessa fall behövs en alternativ metod för att bestämma hur lagret skall styras och en sådan funktion tillhandhåller inte programmet.

7.2.1.2 *Tillförlitlighet*

Verktyget är beroende av korrekt indata för att leverera korrekta resultat, det finns således inga inbyggda filter i programmet vilka tar bort felaktiga uppgifter som exempelvis negativ förbrukning. Vidare förutsätts att alla tidsintervall mellan efterfrågetillfällen för alla reservdelar kan representeras av en geometrisk fördelning. Detta antagande har stöd i de stickprov som gjorts och i den teori vilken modellen bygger på men det kan variera från artikel till artikel hur väl den geometriska fördelningen representerar dessa tidsintervall.

Vad gäller den empiriska skattningen av efterfrågestorlekens fördelning finns en begränsning i det att framtida värden endast antas anta redan observerade värden. Detta innebär att sannolikheten för en annan efterfrågan än redan uppmätta värden i modellen är lika med noll. Dock ansågs detta vara den mest rimliga metoden för att bestämma fördelningen då den statistiska analysen inte gav några tydliga indikationer på en fördelningsfamilj som på ett acceptabelt sätt kunde representera variationen i efterfrågad kvantitet.

Alla de beräkningar som görs är som tidigare nämnts helt baserade på de indata som hämtats från affärssystemet och dessa data uppdateras inte automatiskt vilket innebär att med tiden kommer risken för att de värden som beräknats är inkorrekta öka. För att åtgärda detta måste ny, uppdaterad data hämtas från affärssystemet och därefter får programmet köras igen. Författarna föreslår därför att ny efterfrågedata alltid tas fram när verktyget ska köras.

7.2.1.3 *Användarbarhet*

Författarna har ägnat mycket tid åt att försöka göra verktyget intuitivt och lätt att använda. När resultaten för de individuella reservdelarna data presenteras visas för användaren både siffor och diagram över prognostiserade värden samt beställningspunkt och orderkvantitet. De celler där uppgifter om ledtid, önskad service och pris m.fl. skall föras in är tydligt markerade. För att ytterligare underlätta användandet finns funktioner inlagda vilka upplyser användaren om felaktig data förts in i programmet. Resultaten av beräkningarna presenteras även de i tydligt markerade celler och således bör det inte råda några tvivel om rekommenderade värden för beställningspunkt och orderkvantiteter samt uppnådd servicegrad. För den särskilt intresserade användaren finns även en funktion för att se de parametrar som ligger till grund för beräkningarna.

Ytterligare en aspekt som är av relevans då verktygets användarbarhet diskuteras är det faktum att alla reservdelar måste hanteras individuellt. Nackdelen är givetvis att processen med att bestämma lämpliga orderkvantiteter och beställningspunkter blir betydligt mer arbetskrävande jämfört med om alla kunnat bestämmas samtidigt. Att konstruera ett sådant program hade dock blivit mer komplicerat och tidskrävande eftersom information som ledtid och pris är olika för olika artiklar. Denna information finns i dagsläget inte i de data som erhålls från affärssystemet. Att varje enskild artikel kan hanteras separat kan även ses i som en fördel då det ger större möjligheter till modifieringar baserat på den enskilda reservdelens egenskaper och förutsättningar.

För att ytterligare öka användarbarheten har författarna tagit fram utförliga instruktioner för hur användaren skall gå tillväga. Det slutgiltiga omdömet kring verktygets användarbarhet får emellertid de faktiska användarna på Mantena ge.

7.2.1.4 *Underhållsbarhet*

Verktyget är skapat i Excel och Visual Basic. Ingen av programmeringskoden är skyddad utan allt finns tillgängligt för modifiering. Författarna har strävat efter att göra koden lättförståelig, dels genom att namnge konstanter, variabler, vektorer och så vidare på ett lättfattligt sätt, dels genom att all kod kommenterats utförligt.

En ytterligare hjälp för den användare som önskar modifiera systemet är den schematiska bild över systemets uppbyggnad som tagits fram. Slutligen bör det påpekas att tanken aldrig varit att koden skriven i Visual Basic skall modifieras av användaren utan alla förändringar är tänkta att göras i Excels arbetsböcker.

Den enda del av programmet som bör modifieras är den indata som ligger till grund för beräkningarna. Dessa data hämtas från Mantenas affärssystem och vid överförandet är det viktigt att ny data är ordnad på samma sätt som den gamla, om den avviker kommer programmet inte att fungera. Detta är dock ingen särskilt svår arbetsuppgift om man är bekant med affärssystemet och programmet. Det finns inget hinder för att inkludera nya artiklar i beräkningarna. Bara de finns med i affärssystemet och skrivs ut på samma format som övriga artiklar.

7.2.1.5 Portabilitet

Då verktöget används i Excel, vilket är ett mycket vanligt förekommande program, kan portabiliteten anses vara god. Så vitt författarna vet fungerar programmet på alla datorer med Excel av version 2010 eller senare. Vidare gäller för Mantena att alla depåer är anslutna till samma affärssystem vilket innebär att data och den formatering av data som krävs för att köra programmet finns att tillgå vid alla depåer.

Portabilitet har dock inte ansetts som en särskilt viktig kvalitetsparameter, fungerar programmet hos Mantena anses tillfredsställande. Av den anledningen har inget arbete utöver säkerställandet av detta faktum gjorts.

7.2.2 Processkvalitet

Ytterligare en aspekt som bör utvärderas är processkvaliteten, det vill säga hur väl kommer den utvecklade lagerstyrningen och verktöget passa in i det arbete som utförs på Mantena. Nedan följer en diskussion kring de kvalitetsaspekter som beskrivits i metodkapitlet.

7.2.2.1 Effekt

Införandet av en systematiserad och strukturerad lagerstyrning baserad på vetenskaplig teori bör resultera i en lagerstyrning som bidrar till att Mantena på ett kostnadseffektivt sätt kan uppfylla de krav som åligger dem. Detta går dock inte att verifiera då ingen implementering sker inom ramen för examensarbetet.

7.2.2.2 Införandekostnad

Kostnaderna för införandet av den föreslagna lagerstyrningen kommer i huvudsak härröra ur det arbete som krävs för att identifiera och kvantifiera de ingående parametrarna. Även den arbetstid som läggs på att sedan beräkna orderkvantitet och beställningspunkt kommer att bidra till införandekostnaden.

Dock är kostnaderna för användandet av själva programvaran försumbara.

För att använda programvaran krävs, till skillnad från kommersiella lagerstyrningsprogram, ingen licens. Den är även anpassad till Mantenas affärssystem och kan således tas i bruk omgående. Inte heller någon särskild utbildning krävs för personalen, de tänkta användarna arbetar redan med implementeringen av lagerstyrning och materialförsörjning och är således bekanta med terminologi och det datamaterial som används.

7.2.2.3 Användarbarhet

Den föreslagna lagerstyrningen bör till sin utformning vara intuitiv och lättanvänd. Efter det att alla beställningspunkter och orderkvantiteter bestämts och förts in i affärssystemet kommer affärssystemet meddela när en lagersaldot för en reservdel nått beställningspunkten samt förslagen inköpskvantitet.

7.2.2.4 Automatiseringsgrad

Lagerstyrningen kommer att automatisera beslut om vid vilket lagersaldo en order skall läggas samt i vilken kvantitet som skall beställas. Dock måste beställningspunkter och orderkvantiteter beräknas enskilt för alla reservdelar. Det finns i programmet ingen funktion för att göra alla beräkningarna utan varje artikel måste hanteras individuellt. Däremot är detta ett arbete som troligtvis endast kommer utföras sällan, särskilt gäller det de mycket lågfrekventa artiklarna, och således kommer den totala arbetsinsatsen ändå bli relativt liten.

Ett annat moment som i dagsläget inte är automatiserat är införandet av de beräknade orderkvantiteterna och beställningspunkterna i affärssystemet.

7.2.2.5 Acceptans

Att föreslå införandet av en strukturerad och systematisk lagerstyrning kommer med all sannolikhet inte möta något motstånd hos Mantena. Däremot kan en viss tvekan finnas om huruvida den av författarna föreslagna metoden för lagerstyrning är den mest lämpade för Mantena.

Dels kan det vara så att den föreslagna metoden i detta tidiga skede av Mantenas arbete med materialförsörjning och lagerstyrning är alltför avancerad. Det som är av störst vikt för Mantena just nu är inte att optimera sina lagernivåer, utan att säkerställa att de reservdelar som behövs finns tillgängliga, även om det innebär höga lagernivåer.

Dels kan det eventuellt finnas en viss tvekan kring författarnas brist på erfarenhet, vilket skulle kunna innebära att Mantena väljer att, istället för att på sikt införa den av författarna föreslagna lagerstyrningen, väljer att utveckla en helt egen metod.

7.3 Möjligheter till jämförelser

Mantenas arbete med upprättandet av egna materialförsörjning och lagerstyrning har pågått parallellt med examensarbetet. Detta har inneburit att data och information inte alltid funnits tillgänglig. Detta i sin tur har medfört att någon implementering av verktyget och den föreslagna lagerstyrningen inte varit möjlig. Således är det svårt att uppskatta i vilken utsträckning ett införande av den av författarna föreslagna lagerstyrningen skulle påverka service gentemot Skånetrafiken, lagerrelaterade kostnader etc. Dock kommer jämförelser kunna göras när väl Mantena har tagit över arbetet med materialförsörjning. De jämförelser som kommer att kunna göras är:

- Hur mycket betalade Mantena till tågtilverkaren Alstom för reservdelar och hur mycket kostar materialförsörjningen när den sker i egen regi?
- Vid hur många tillfällen har Mantena inte lyckats leva upp till de krav som finns stipulerade i deras avtal med Skånetrafiken, jämför fallen då Alstom tillhandhöll reservdelarna och då Mantena själva haft ansvaret.

7.4 Implementering

För Mantena är det i detta inledande skede av implementeringsprocessen viktigast att skapa ett materialförsörjningssystem som fungerar, snarare än ett som optimerar lagernivåer och minimerar kostnader. Således kan en eventuell implementering av den av författarna framtagna lagerstyrning modellen behöva anstå till det att Mantena har en fungerande materialförsörjning. I ett sådant skede är det också lättare att analysera potentiella vinster med införande av en mer raffinerad lagerstyrning då man enklare kan jämföra befintliga kostnader med de uppskattade kostnaderna efter en implementering.

För att den framtagna modellen skall ge tillförlitliga svar krävs även att de ingående parametrarna är kända, eller har skattats på ett trovärdigt sätt. I detta skede, när ingen egen materialförsörjning finns kan dessa i varierande utsträckning vara svåra att uppskatta. Exempel på detta kan vara orderkostnaden som används när den ekonomiska orderkvantiteten beräknas. Det är inte orimligt att anta att en sådan kostnad kan uppskattas bättre då man har praktisk erfarenhet av att genomföra de olika moment vilka påverkar kostnaden.

Vidare är de stora skillnaderna i förbrukningsmönster mellan de olika reservdelarna något som problematiserar en implementering. I ena änden av spektrumet återfinns reservdelar med en förhållandevis jämn och stabil efterfrågan. För dessa finns gott om data så de prognoser och parameterskattningar som görs kan anses tillförlitliga. I den andra änden av spektrumet finns reservdelar som under en flerårsperiod endast efterfrågats en eller ett fåtal gånger. Den begränsade data som då återfinns räcker inte för att på ett tillförlitligt sätt göra prognoser och skatta parametrar. För den första kategorin gäller således att lagerstyrning kan ske med hjälp av ett beställningspunktsystem medan för den andra kategorin måste andra metoder tillämpas såsom styrning baserat på klassificering. Mellan dessa två ändpunkter finns ett stort antal reservdelar vilka är svårare att avgöra med vilken metod de ska hanteras. Att använda beställningspunkter och orderkvantiteter innebär att arbetet i högre grad går att automatisera men osäkerheten kring de resultat som fås ökar då mängden tillgänglig data minskar och att besluta var gräns mellan de två metoderna skall dras är en inte helt lätt uppgift.

7.5 Begreppen avhjälpande och förebyggande underhåll

Som tidigare nämnts delar Mantena in underhållet som de utför i två kategorier, förebyggande och avhjälpande underhåll. Då vissa oklarheter föreligger kring dessa vill författarna problematisera begreppen och visa på vikten av tydliga definitioner.

Det förebyggande underhållet är planerat underhåll som utförs med jämna mellanrum, framförallt är det känt när det kommer att ske vilket underlättar planeringen. Avhjälpande underhåll å andra sidan är oplanerat underhåll som måste utföras för att åtgärda ett fel som upptäckts utanför ramen för det planerade underhållet.

Det är emellertid värt att ställa sig frågan, hur planerat det förebyggande underhållet egentligen är. Ur ett lagerstyrningsperspektiv är det slumpmässigheten i åtgången av material som är av intresse. Det man därför måste skilja på är kontroller av delar och byten av delar. Om det på underhållsprotokollet endast står något i stil med "byt vid behov" innebär det alltså att den aktuella delen endast byts i vissa fall med följden att åtgången av artikeln blir slumpmässig.

Slutsatsen av detta blir att man mellan de två kategorierna inte kan dra en tydlig gräns och kalla avhjälpande underhåll oplanerat och förebyggande underhåll planerat.

Det man kan konstatera är emellertid att eventuella regelbundenheter kommer att fångas upp av verktyget i och med att den empiriska fördelningen kommer att anpassas till frekvent förekommande kvantiteter och att den genomsnittliga intervallängden hamnar kring vanligt förekommande värden.

8 Slutsatser

Kapitlet inleds med att resultaten av examensarbetet presenteras i sammanfattad form.

Därefter följer författarnas egna reflektioner kring arbetet i stort och slutligen ges förslag på vidare arbete.

8.1 Resultat

När studiens resultat summeras kan man skilja på två olika typer av resultat. Först finns de övergripande resultaten där verktyget som tagits fram placeras i ett större sammanhang och som går ut på att ge lagerstyrningsarbetet en mer systematisk och individoberoende karaktär. Utöver detta finns de mer praktiska resultaten, med detta menas själva verktyget.

Ett övergripande resultat med examensarbetet är att det till viss del har bidragit till ett nytt synsätt på lagerstyrning hos Mantena. Tidigare arbetsmetoder har byggt på bedömningar av erfarna personer på företaget. Med detta sagt vill författarna vara tydliga med att meningen på intet sätt är att förminska vikten av erfarenhet eller föreslå att det inslaget ersätts. Tvärtom är det naturligtvis viktigt att tillvara ta den kompetens som finns i företaget. Problemet med att till allt för stor del förlita sig på personliga bedömningar är dock att man blir sårbar för om personerna i fråga av en eller annan anledning slutar på företaget. Det är också svårt att ta med sig kunskapen om till exempel en ny depå skulle öppnas.

Det här examensarbetet har visat hur ett individoberoende verktyg kan introduceras som komplement till tidigare arbetsmetoder. Verktyget är baserat på vetenskapliga metoder och kan användas på ett systematiskt sätt i arbetet med lagerstyrning.

På en mer praktisk nivå är det stora resultatet av examensarbetet verktyget i sig självt. Det är baserat på hur man bör gå till väga enligt de forskningsresultat som tidigare tagits fram. Teorin har i viss mån anpassats till att passa för reservdelar i allmänhet, och på Mantena specifika situation i synnerhet.

Verktyget beräknar, med hjälp av historisk efterfrågedata, fram ett lagerstyrningsförslag enligt en (R,Q)-policy. I detta ingår prognostisering enligt Crostons metod för prognostisering av artiklar med sporadisk efterfrågan. Dessa prognoser presenteras såväl grafiskt som i siffror med medelvärde och variation för användaren. Baserat på dessa parametrar beräknas sedan beställningspunkt och orderkvantitet.

En simulering av ett fiktivt lager som styrs enligt den lagerstyrningspolicy som verktyget beräknar visar att uppsatta servicemål nås för åtta av de tio utvalda artiklarna. Ingen av artiklarna hamnade mer än en procentenhet under det uppsatta servicemålet. De två artiklar som fick den lägsta servicen är båda artiklar med relativt få registrerade uttag.

Verktyget är baserat på Visual Basic-programmering och används genom Microsoft Excel, ett program som är mycket använt och välkänt för de flesta. Det går att använda i så stor utsträckning användaren vill. För användare av verktyget är dessutom källkoden fullt tillgänglig och redigerbar i Visual Basic. Detta gör att den som vill sätta sig in i programmets funktion kan göra det, likaså är det möjligt att göra modifikationer i koden för att inkludera fler aspekter i beräkningarna.

8.2 Reflektioner

8.2.1 Genomförande

Arbetet med att implementera lagerstyrning är som redan nämnts otalet gånger ett arbete som fortfarande pågår hos Mantena. Detta har inneburit att mycket av de data och information som krävts för att praktiska kunna använda den av författarna utvecklade modellen saknats. Således har författarna inte haft möjlighet att i detta examensarbete presentera några kvantitativa resultat, såsom möjliga besparingar, kostnader för lagerhållning etc.

Däremot har det faktum att examensarbetet behandlat just det ämne som nu i högsta grad är aktuellt inneburit att författarna har upplevat att det från Mantenas sida funnits ett genuint intresse.

8.2.2 Förslag på vidare arbete

Författarnas förhoppning är att detta examensarbete har medvetandegjort och visat på de möjligheter och vinster som finns med att införa en vetenskapligt baserad lagerstyrning. För att implementera en sådan lagerstyrning krävs dock att de data och fakta som behövs sammanställs och görs lättillgänglig. En enligt författarna viktig aspekt är att alla inblandade parter har kunskap om, och varför viss data behövs för att säkerställa dess tillförlitlighet. Om den kunskapen saknas och den upplevda känslan är att vissa uppgifter förs in i affärssystemet "bara för att" ökar risken för slarv och felaktig information, vilket i förlängningen försämrar lagerstyrningsarbetet.

För Mantena handlar ett fortsatt arbete således om att identifiera och bestämma de parametrar och data som behövs och sedan säkerställa att alla inblandade parter har förståelse för varför denna information är av vikt, och hur de skall användas.

9 Referenslista

9.1 Böcker

Axsäter, S. (2006) Inventory Control. New York: Springer

Blom, G, Enger, J, Englund, G, Grandell, J, Holst, L. (2005) Sannolikhets-teori och statistikteori med tillämpningar. Lund: Studentlitteratur.

Bårström, Sven och Granbom, Pelle. 2012. *Den svenska järnvägen* Trafikverket, Borlänge

Cavaleri, S, Garetti, M, Macchi, M & Pinto, R. (2008) A decision-making framework for managing maintenance spare parts. Production Planning Control: The Management of Operations, vol 19, no 4, s 379-396

DeGroot, M, Schervish, M. (2012) Probability and Statistics. New Jersey: Pearson

Hartman, J. (2004) Vetenskapligt tänkande, från kunskapsteori till metodteori. Lund: Studentlitteratur.

Höst, M, Regnell, B, Runeson P. (2006) Att genomföra examensarbete. Lund: Studentlitteratur

Jonsson, P , Mattsson P.A, (2011) Logistik, läran om effektiva materialflöden. Lund: Studentlitteratur

Manzini, R., Regattieri, A., Phan, H. & Ferrari, E. (2010) Maintenance for Industrial Systems, s 422-423. London: Springer.

Montgomery, D, Runger G, (1994) Applied Statistics and Probability for Engineers, Hoboken: John Wiley & Sons Inc.

Nationalencyklopedin (2014) – Reservdel [online]

http://www.ne.se/sve/reservdel?i_h_word=reservdel [Hämtat 2014-03-18]

9.2 Tidskrifter

Botter, R, Fortuin, L. (2000) Stocking strategy for service parts, a case study. International Journal of Operations and Production Management, vol 20, n0 6, s 656 - 674

Boylan, J.E, Croston, J.D, Syntetos, A.A. (2005) On the categorization of demand patterns. The journal of the operational research society, vol 56, no 5, s 495-503.

Boylan, J.E, Syntetso A.A. (2005) The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, vol 21, s 303 -314

Croston, J.D. (1972) Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Operational Research Quarterly*, vol 23, no 3, s 289-303.

Eaves, A.H.C, Kingsman B.G. (2004) Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. *Journal of the Operational Research Society*, vol 55, s 431-437

Eisingerich, A, Jönke R, Wagner, S. (2012) A Strategic Framework for Spare Parts Logistics. *California Management Review*, vol 54, no 4, s 69 -92

Ghobbar, A.A & Friend, C.H. (2002) Sources of intermittent demand for aircraft spare parts within airline operations. *Journal of Air Transport Management*, vol. 8, s. 221-231

Syntetos, A.A, 2005. On the categorization of demand patterns. *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, s. 500.

9.3 Hemsidor

Alstom (2014) *Alstom Pressrum*. Hämtad 12 februari 2014 från <http://www.alstom.com/sweden/se/pressrum/>

Arriva (2013) *Arrivagruppen – från liten till stor*. Hämtad 19 april från <http://www.arriva.se/sv/content/arrivagruppen-fran-liten-till-stor>

Euromaint (2009). *Om Euromaint Rail*. Hämtad 12 februari från <http://www.euromaint.com/sv/Euromaint-Rail/Om-EuroMaint-Rail/Historia/>

Jernhusen (2011). *Om Jernhusen*. Hämtad den 12 februari 2014 från <http://www.jernhusen.se/Om-Jernhusen/>

MIT Open Courseware (2010) *Probabilistic Systems Analysis and Applied Probability – Lecture 13: Bernoulli Process*. Hämtad den 11 april 2014 från <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-041-probabilistic-systems-analysis-and-applied-probability-fall-2010/video-lectures/lecture-13-bernoulli-process/>

Regeringen (2013) *Kommuners och landstings uppgifter*. Hämtad 19 maj 2014 från <http://www.regeringen.se/sb/d/1906/a/152464>

SFS 2010:185. *Förordning med instruktion för Trafikverket*. Hämtad 12 februari 2014 från http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-2010185-med-inst_sfs-2010-185/?bet=2010:185

SFS 2008:1300. *Förordning med instruktion för Transportstyrelsen*. Hämtad 12 februari 2014 från http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-20081300-med-ins_sfs-2008-1300/

SJ (2014) *Vår trafik*. Hämtad 12 februari från <http://www.sj.se/sj/jsp/polopoly.jsp?d=18243&a=150113&l=sv&l=sv&intcmp=1150113>

Skånetrafiken (2013) *Om oss*. Hämtad 12 februari från <http://www.skånetrafiken.se/templates/InformationPage.aspx?id=34322&epslangua ge=SV>

10.2 Bilaga 2 – Valideringsmodellen

Valideringsmodellen är gjord i programmet ExtendSim 8. I de tester som gjorts användes följande simuleringsinställningar:

- En tidsenhet = en dag
- Antal dagar: 10 000
- Antal körningar: 50

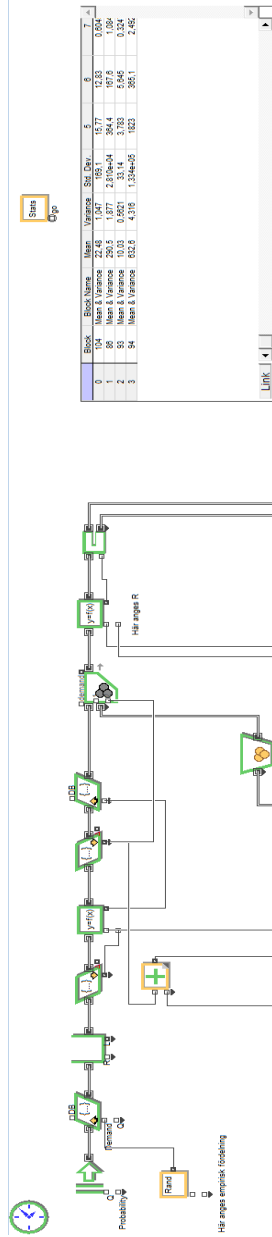
10.2.1 Resultat av validering

Ett stickprov på 10 artiklar valdes ut för att testa modellen. Artiklarna valdes från både hög- och lågfrekventa artiklar för att få en heltäckande bild av hur modellen fungerar. Vid simuleringarna användes en ledtid på fem dagar för förbrukningsartiklar och trettio dagar för större artiklar. Priset sattes för förbrukningsartiklar till 100 kronor och till 1000 kronor för större artiklar. I samtliga fall användes ett inspektionsintervall på en dag. Som servicenivå sattes för samtliga artiklar 0,95.

Följande resultat uppmättes:

| Arikelnummer | Uppmätt servicegrad |
|---------------------|----------------------------|
| DTR0009170811-A | 0,97 |
| 1045821 | 0,96 |
| 1115910 | 0,99 |
| DTR0009172787-A | 0,98 |
| DTR0000268424-A | 0,99 |
| 1140954 | 0,96 |
| 1168306 | 0,97 |
| 1194237 | 0,94 |
| 1178635 | 0,94 |
| 1194279 | 0,95 |

Det kan alltså konstateras att två av tio artiklar fick en service nivå under den önskade, i ett fall blev den uppmätta servicen precis den önskade. I resten av fallen uppmättes en service nivå som var högre än den önskade.



10.3 Bilaga 3 - Exempelbilder från programmet

Nedan följer ett antal bilder från programmet. De är arrangerade i kronologiskt ordning och börjar med att visa rådata från affärssystemet och slutar med att visa beräknad beställningspunkt, orderkvantitet och prognoser.

Utdrag från affärssystemet. ITEMNUM är artikelnummer. LOCATION anger vilket Pågatåg det är som behövt repareras. TRANSDATE är datumet då reservdelen togs från lager. QUANTITY är uttagen kvantitet. SITEID är depån där reparationen sker. REFWO är aktuell arbetsorder. MAXIMO_MATUSETRANS_DESCRIPTION är en beskrivning av reservdelen.

| ITEMNUM | LOCATION | TRANSDATE | QUANTITY | SITEID | REFWO | MAXIMO_MATUSETRANS_DESCRIPTION |
|-----------------|--------------|------------|----------|----------|-------|--------------------------------|
| DTR0009458063-A | X61-08 | 2011-03-02 | -16 | HELSINGB | 14000 | Break pad, left & right |
| DTR0009458063-A | X61-08 | 2011-03-02 | -10 | HELSINGB | 15715 | Break pad, left & right |
| DTR0009458123-A | X61-21-M1-37 | 2011-03-07 | -1 | HELSINGB | 7140 | Contact bank / Sencetive Edge |
| DTR0009458803-A | X61-07-M1 | 2011-03-09 | -1 | HELSINGB | 11154 | CONTACT SEAL |
| 1173289 | X61-07 | 2010-06-23 | -1 | HELSINGB | 2438 | A1_KB606_Std_links |
| DTR0009458063-A | X61-17 | 2011-03-06 | -6 | HELSINGB | 15709 | Break pad, left & right |

Utdrag från pivottabellen där alla artiklar sammanställts. I pivottabellen finns alla data från affärssystemet sorterad så att den går att använda till beräkningarna. Row Labels anger artikelnummer. Count of TRANSDATE anger vid hur många tillfällen en artikel efterfrågats. Sum of QUANTITY anger det totala antalet efterfrågade enheter.

| Row Labels | Count of TRANSDATE | Sum of QUANTITY |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| 1167430 | 1528 | -11532 |
| 1115910 | 690 | -947 |
| 1140421 | 546 | -2186 |
| 1140954 | 545 | -1092 |
| DTR0009458063-A | 508 | -7516 |
| DTR0009170811-A | 197 | -377 |
| 1205668 | 191 | -2519 |

Genom att dubbelklicka på en artikel öppnas ett nytt arbetsblad för den artikeln och följande information visas.

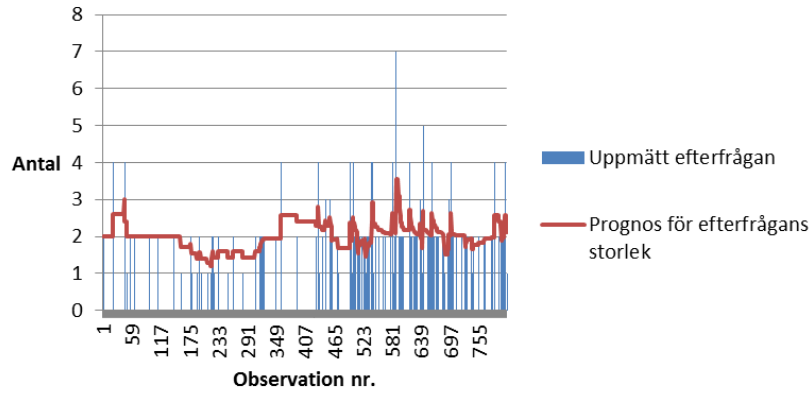
| | |
|--|------------------------|
| Artikel | Hållare till Toapapper |
| Artikel nr | DTR0000268424-A |
| ADI | 5,364238411 |
| CV2 | 0,184386884 |
| Klassificering | Intermittent |
| Prognosmetod | Syntetos-Boylan |
| Förväntad tid mellan efterfrågetillfällen (k hatt) | 2,44303608 |
| Förväntad storlek på efterfrågan (d hatt) | 2,108106625 |
| Efterfrågan per tidsenhet (a hatt) | 0,733468755 |
| Efterfrågans std | 1,308388532 |
| Efterfrågans varians | 1,711880551 |
| Efterfrågeintervallens std | 2,216011804 |
| Alpha | 0,3 |
| Beta | 0,3 |
| p | 0,409326742 |
| my | 0,842889936 |

I samma arbetsblad görs sedan beräkningarna för artikeln och en bestämning av beställningspunkt och orderkvantitet sker. Värdena i de gröna fälten fylls i av användaren. Värdena i de gula fälten beräknas av programmet baserat på de införda värdena samt värdena från bilden ovan.

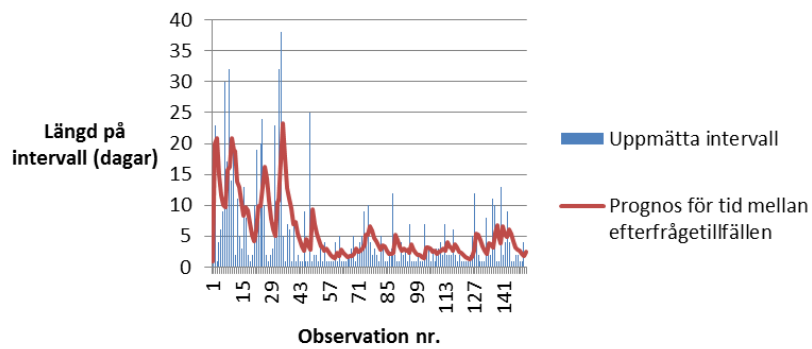
| | |
|---|-------------|
| Ledtid (dagar) | 5 |
| Tid mellan kontroll av lagersaldo (dagar) | 2 |
| Önskad servicenivå ($0 < x < 1$) | 0,99 |
| Pris per styck | 300 |
| R | 9 |
| Q | 49 |
| Uppnådd servicegrad | 0,992929494 |

Grafer för de prognoser som görs. De blåa staplarna representerar data från affärssystemet. Den röda linjen utgör prognosen.

Prognos för efterfrågans storlek

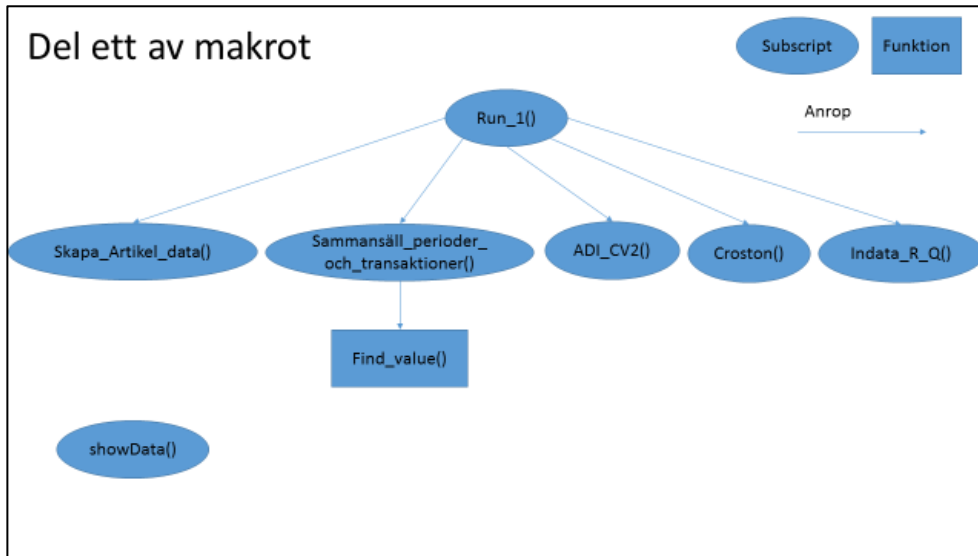


Prognos för tid mellan efterfrågetillfällen



10.4 Bilaga 4 – Källkod

Nedan presenteras en schematisk bild över programstrukturen, därefter följer källkoden i sin helhet.



I del ett sammanställs och formateras rådata så att den går att använda för de vidare beräkningarna. Därefter görs en klassificering enligt ADI och CV². Därefter beräknas prognoser med Croston.

Run_1()

Det subscript som användaren kör. Anropar övriga subscripts.

Skapa_artikel_data()

Detta makro körs i arket som skapas för en enskild artikel vald från arket "pivot". Man får då ett nytt ark, namngett efter artikeln i fråga. Här sammanställs den information som behövs för att kunna göra prognostiseringen och de andra beräkningarna.

Sammanställ_perioder_och_transaktioner()

I detta makro så skapas en lista med ALLA datum mellan första och senaste datumet med efterfrågan. Till listan kopplas även efterfrågan vid de olika datumerna. Efterfrågan kan således antingen vara 0 eller positiv vid varje datum.

ADI_CV2()

'Detta makro beräknar ADI och CV2 vilka används för att klassificera artiklarna samt för att välja vilken prognosmetod som ska användas

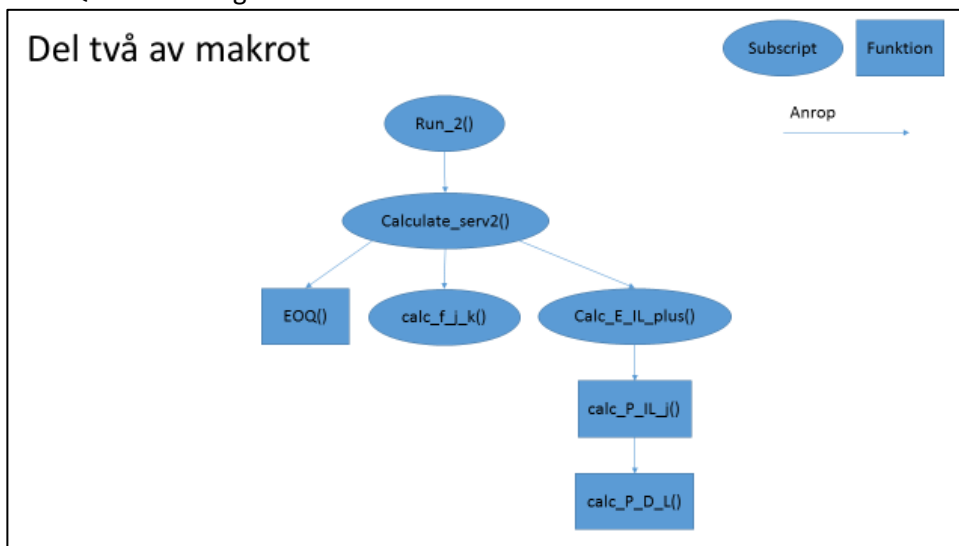
- ADI: Medelvärdet av alla tidsintervall mellan efterfrågetillfällen
- CV2: Mått på efterfrågestorlekens variation

Croston()

Detta makro skapar prognoser, antingen mha Crostons modell eller med hjälp av Syntetos-Boylans modifierade modell.

Indata_R_Q()

Här formateras cellerna i excelarket så att de är redo att göra beräkningarna för R och Q. Namnet något missvisande.



I del två av makrot sker beräkningarna för att bestämma orderkvantitet och beställningspunkt i enlighet med den beskrivna teorin.

Run_2()

Det subscript som användaren kör.

Calculate_serv2()

Här beräknas fyllnadsgraden (serv2) enligt den teori som presenterats i rapporten.

EOQ()

Beräknar den ekonomiska orderkvantiteten (EOQ). Uträkningarna baseras på pris (price), efterfrågan (demand), och lagerhållningskostnad (holding_cost) och orderkostnad (order_cost)

Calc_f_j_k()

Här skapas vektorn f_j_k() vilken innehåller sannolikheterna för att k kunder efterfrågar j enheter

Calc_E_IL_plus()

Funktionen beräknar förväntad positiv lagernivå.

Calc_P_IL_j()

Funktionen beräknar sannolikheten att lagernivån är j.

Calc_P_D_L()

Funktionen beräknar sannolikheten under ledtid är j. Beräkningarna bygger på en Bernoulliprocess där antalet kundankomster under ledtiden bestäms med hjälp av binomialfördelningen.

Del ett av makrot

Sub Run_1()

' Det subscript som användaren kör. Anropar övriga subscripits.

```
Call Skapa_Artikel_data  
Call sammanställ_perioder_och_transaktioner  
Call ADI_CV2  
Call Croston  
Call indata_R_Q
```

```
ActiveSheet.Buttons.Add(273.75, 114, 114.75, 57).Select  
Selection.OnAction = "Run_2"  
Selection.Caption = "Beräkna R,Q"
```

```
Columns("P:P").EntireColumn.AutoFit
```

```
ActiveSheet.Buttons.Add(464.25, 24, 103.5, 53.25).Select  
Selection.Caption = "Visa/Dölj ytterligare data"
```

```

Selection.OnAction = "showData"

Range("a1").Select

End Sub
Private Sub Skapa_Artikel_data()
'Detta makro körs i arket som skapas för en enskild artikel vald från arket "pivot".
'Man får då ett nytt ark, namngett efter artikeln i fråga. Här sammanställs den
information som behövs
'för att kunna göra prognostiseringen.

'skapar nya arket och lägger in datum då efterfrågan har funnits
  Dim tabell As ListObject
  Set tabell = ActiveSheet.ListObjects(1)
  ActiveSheet.Name = "temp"

  Selection.ListObject.ListColumns.Add Position:=1
  Selection.ListObject.ListColumns.Add Position:=1
  Selection.ListObject.ListColumns.Add Position:=1
  Cells(1, 1) = "Transaction date"
  Cells(1, 2) = "End of month"
  Cells(1, 3) = "Cumulative demand"

  Range("A2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "=ROUNDDOWN(LEFT([@TRANSDATE],10),0)"

  Range("A2").Select
  Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
  Selection.NumberFormat = "m/d/yyyy"

  Range("B3").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(AND(DAY([@[Transaction Date]])=DAY(R[1]C[-1]),MONTH([@[Transaction
Date]])=MONTH(R[1]C[-1]),YEAR([@[Transaction Date]])=YEAR(R[1]C[-1])),""""",""x""")"

  Range("C2").Select
  ActiveCell.Value = -40

```


'Skriver in efterfrågan vid respektive datum

```
Dim pos As Integer  
Range("A2").Select  
Selection.End(xlDown).Select  
pos = ActiveCell.Row
```

```
Range("C2") = Cells(2, 8)
```

```
For i = 3 To pos  
  If Cells(i - 1, 2) = "x" Then  
    Cells(i, 3) = Cells(i, 8)  
  Else  
    Cells(i, 3) = Cells(i - 1, 3) + Cells(i, 8)  
  End If  
Next
```

```
For i = 2 To pos  
  Cells(i, 3) = -Cells(i, 3)  
Next
```

```
Range("B2").Select  
ActiveSheet.ListObjects(1).Range.AutoFilter Field:=2, Criteria1:= _  
  "<>"  
tabell.Range.Select  
Selection.SpecialCells(xlCellTypeVisible).Select  
Selection.Copy  
Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
  :=False, Transpose:=False
```

'döljer kolumnerna som inte är av direkt intresse för ökad läsbarhet

```
Columns("A:A").Select  
Selection.EntireColumn.Hidden = True  
Columns("B:B").Select  
Selection.EntireColumn.Hidden = True  
Columns("C:C").Select
```

```
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("D:D").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("E:E").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("F:F").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("G:G").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("H:H").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("I:I").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("J:J").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("K:K").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("L:L").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("M:M").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("N:N").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("O:O").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
```

'visa namn och artikelnummer

```
Cells(1, 16) = "Artikel"
Cells(1, 17) = Cells(2, 12)
Cells(2, 16) = "Artikel nr"
Cells(2, 17) = Cells(2, 4)
```

'döper arket till artikelns namn

```
ActiveSheet.Name = Cells(2, 4) ' OBS om namnet >31 tecken går det ej!
```

'korrigerar buggen med att första datumet inte får rätt formatering

```
Cells(2, 14).Select
Selection.NumberFormat = "m/d/yyyy"
```

```
Application.DisplayAlerts = False
Worksheets("temp").Delete
Application.DisplayAlerts = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub sammanställ_perioder_och_transaktioner()
'I detta makro så skapas en lista med ALLA datum mellan första och senaste datumet
med efterfrågan
'Till listan kopplas även efterfrågan vid de olika datumen. Efterfrågan kan således
antingen vara
' 0 eller positiv.
```

```
'skapar lista med alla dagar mellan start och slutdatum (inklusive datum utan
efterfrågan) i kolumn N
```

```
start_date = Cells(2, 1) 'första datumet
```

```
Cells(2, 14) = start_date
```

```
end_date = Application.WorksheetFunction.Index(Range("A:A"),
```

```
Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A"))) 'sista datumet, hämtas från
sista posten i A-kolumnen
```

```
Cells(1, 14) = "Date" 'rubrik för kolumnen där alla datum finns
```

```
i = 3
```

```
While Cells(i - 1, 14) < end_date
```

```
Cells(i, 14).FormulaR1C1 = "=DATE(YEAR(R[-1]C),MONTH(R[-1]C),DAY(R[-1]C)+1)"
```

```
'kollar datumet i cellen ovan och adderar en dag, fram till det att det sista datumet i
serien nåtts
```

```
i = i + 1
```

```
Wend
```

```
'lägger till efterfrågan för varje period, om efterfrågan finns hämtas de från kolumn C,
annars 0
```

```
Cells(1, 15) = "Transaction" 'rubrik
```

```
last_post = 2 'index för att veta var i kolumn C som efterfrågan för ett specifikt
datum finns
```

```
For j = 2 To Application.WorksheetFunction.CountA(Range("N:N"))
```

```
If find_value(Cells(j, 14)) = True Then
```

```

        Cells(j, 15) = Cells(last_post, 3) 'hämtar datumets efterfrågan från kolumn C
        last_post = last_post + 1
    Else
        Cells(j, 15) = 0 'ingen efterfrågan vid det undersökta datumet
    End If
Next

End Sub

Function find_value(datum) As Boolean
'jämför datum från kolumn N där alla datum finns med kolumn A där enbart datum
med efterfrågan finns
'find_value: om false finns ingen efterfrågan vid datumet som undersöks, om true
finns efterfrågan

    find_value = False

    For i = 2 To Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A"))
        If Cells(i, 1) = datum Then
            find_value = True
            Exit Function
        End If
        If Cells(i, 1) > datum Then
            Exit Function
        End If
    Next

End Function

Private Sub ADI_CV2()
'Detta makrov beräknar ADI och CV2 vilka används för att klassificera artiklarna samt
för att välja vilken
'prognosmetod som ska användas
'ADI: Medelvärde av alla tidsintervall mellan efterfrågetillfällen
'CV2: Mått på efterfrågestorlekens variation

    ActiveSheet.Select
    Dim ADI, CV2, N, e_a, sum, sum_of_DI As Double

```

```

sum = 0
ADI = 0
CV2 = 0
sum_of_DI = 0 'summan av alla intervallängder (sum of Demand Intervals)

' beräknar ADI
For i = 2 To Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A")) - 1
    sum_of_DI = (Cells(i + 1, 1) - Cells(i, 1)) + sum_of_DI
Next

ADI = sum_of_DI / (Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A")) - 2)
Cells(3, 25) = ADI
Cells(3, 24) = "ADI"

' beräknar CV2, beräknad enligt formel i Spare Parts Forecasting and Management
s.410
N = Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A")) - 2 'antal tidsintervall
som undersöks
e_a = Application.WorksheetFunction.sum(Range("C:C")) / N

For j = 2 To Application.WorksheetFunction.CountA(Range("C:C")) - 2
    sum = sum + (Cells(j, 3) - e_a) ^ 2
Next

CV2 = (Sqr(sum / N) / e_a) ^ 2
Cells(4, 25) = CV2
Cells(4, 24) = "CV2"

'klassificering baserad på ADI och CV2 enl. fyrfältare i Spare Parts Forecasting and
Management s.411 mfl, och val av prognosmetod
Cells(5, 16) = "Klassificering"
Cells(6, 16) = "Prognosmetod"
If ADI < 1.32 Then
    If CV2 < 0.49 Then
        Cells(5, 17) = "Smooth" 'klassificering
        Cells(6, 17) = "Croston" 'prognosmetod
    Else
        Cells(5, 17) = "Erratic"
        Cells(6, 17) = "Syntetos-Boylan"
    End If
End If

```

```

    End If
Else
    If CV2 < 0.49 Then
        Cells(5, 17) = "Intermittent"
        Cells(6, 17) = "Syntetos-Boylan"
    Else
        Cells(5, 17) = "Lumpy"
        Cells(6, 17) = "Syntetos-Boylan"
    End If
End If

End Sub

Private Sub Croston()
'Detta makro skapar prognoser, antingen mha Crostons modell (Se Axsäter 2006) eller
mha
'Syntetos-Boylans modifierade Crostonmodell (REFERENS?)
'x_t(t): Efterfrågan i period t
'k_t(t):antal dagar sedan förra datumet med efterfrågan
'k_hatt_t(t):Skattat medelvärde för antal dagar mellan efterfrågetillfällen
'vid slutet av period t
'd_hatt_t(t): skattat medelvärde på efterfrågans storlek vid slutet av
'period t
'a_hatt_t(t): skattat medelvärde på efterfrågans storlek per period
'vid slutet av period t
't = antal dagar totalt mellan första och sista datumen med efterfrågan
'v = antal dagar med efterfrågan i tidsintervallet
'alpha: 0<alpha<1, avgör hur mycket vikt som ska läggas på historisk data resp på de
senaste värden när
'k_hatt_t uppdateras
'beta: 0<beta<1, avgör hur mycket vikt som ska läggas på historisk data resp på de
senaste värden när
'd_hatt_t uppdateras

    Dim days_with_demand(), all_days(), x_t() As Variant
    Dim k_t() As Integer
    Dim alpha, beta As Double
    Dim k_hatt_t(), d_hatt_t(), a_hatt_t(), index_at_demand(), deflating_factor As
Double

```

```
T = Application.WorksheetFunction.CountA(Range("N:N")) - 1
v = Application.WorksheetFunction.CountA(Range("A:A")) - 1
```

```
ReDim k_t(1 To v)
ReDim k_hatt_t(1 To T)
ReDim d_hatt_t(1 To T)
ReDim a_hatt_t(1 To T)
ReDim index_at_demand(1 To v)
```

'Om Syntetos-Boylans prognosmetod används är faktorn enligt formel, om Croston används faktorn 1

```
'Kollar vad resultaten från ADI_CV2()
If Cells(6, 17) = "Croston" Then
    deflating_factor = 1
Else
    deflating_factor = 1 - (0.3 / 2)
End If
```

'Sätt värden på alpha och beta, 0,3 används om inget annat angetts

```
Cells(13, 24) = "Alpha"
Cells(14, 24) = "Beta"
If Cells(13, 25).Value = Empty Then
    Cells(13, 25).Value = 0.3
End If

If Cells(14, 25).Value = Empty Then
    Cells(14, 25).Value = 0.3
End If
alpha = Cells(13, 25)
beta = Cells(14, 25)
```

'vektorn x_t innehåller efterfrågan för alla t dagar

```
x_t() = Range(Cells(2, 15), Cells(T + 1, 15))
```

'vektorn all_days innehåller alla dagar i intervallet mellan första och sista dagen med efterfrågan

```
all_days() = Range(Cells(2, 14), Cells(T + 1, 14))
```

```
'vektorn days_with_demand innehåller alla dagar med efterfrågan
days_with_demand() = Range(Cells(2, 1), Cells(v + 1, 1))
```

```
'startvärden för k_hatt_t, d_hatt_t och a_hatt_t
```

```
k_hatt_t(1) = 1
d_hatt_t(1) = x_t(1, 1)
a_hatt_t(1) = d_hatt_t(1) / k_hatt_t(1)
Cells(2, 19) = k_hatt_t(1)
Cells(2, 20) = d_hatt_t(1)
Cells(2, 21) = a_hatt_t(1)
```

```
'k_t innehåller alla intervall mellan efterfrågetillfällen
```

```
For i = 1 To v - 1
    k_t(i) = days_with_demand(i + 1, 1) - days_with_demand(i, 1)
Next
```

```
'uppdatering av k_hatt_t, d_hatt_t och a_hatt_t
```

```
index_at_demand(1) = 1 'räknare så att rätt värden hämtas ur vektorn
Dim j As Integer
j = 2 'räknare så att rätt värden hämtas ur vektorn
```

```
For i = 2 To T
```

```
    If find_value(all_days(i, 1)) = True Then
        If j = 2 Then
            k_hatt_t(i) = k_t(j - 1)
        Else
            k_hatt_t(i) = (1 - alpha) * k_hatt_t(i - 1) + alpha * k_t(j - 1)
        End If
        d_hatt_t(i) = (1 - beta) * d_hatt_t(i - 1) + beta * x_t(i, 1)
        index_at_demand(j) = i
        j = j + 1
    Else
        k_hatt_t(i) = k_hatt_t(i - 1)
        d_hatt_t(i) = d_hatt_t(i - 1)
    End If
```

```
a_hatt_t(i) = deflating_factor * (d_hatt_t(i) / k_hatt_t(i))
Cells(i + 1, 19) = k_hatt_t(i)
```



```
Cells(i + 1, 20) = d_hatt_t(i)
Cells(i + 1, 21) = a_hatt_t(i)
```

Next

```
Cells(7, 16) = "Förväntad tid mellan efterfrågetillfällen (k hatt)"
Cells(8, 16) = "Förväntad storlek på efterfrågan (d hatt)"
Cells(9, 16) = "Efterfrågan per tidsenhet (a hatt)"
Cells(1, 19) = "k_hatt"
Cells(1, 20) = "d_hatt"
Cells(1, 21) = "a_hatt"
Cells(7, 17) = k_hatt_t(T) 'utskrift av aktuellt värde
Cells(8, 17) = d_hatt_t(T) 'utskrift av aktuellt värde
Cells(9, 17) = a_hatt_t(T) 'utskrift av aktuellt värde
```

```
'dölj kolumnerna med historiska värden för ökad läsbarhet
Columns("S:S").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("T:T").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("U:U").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
```

```
'beräknar var och std för prognoserna
'std_d_t: std för efterfrågans storlek
'var_d_t: var för efterfrågans storlek
'std_k_t: std för intervallen mellan efterfrågetillfällenas längd
'var_k_t: var för intervallen mellan efterfrågetillfällenas längd
```

```
Dim std_d_t(), var_d_t(), std_k_t(), var_k_t() As Double
```

```
ReDim std_d_t(1 To T)
ReDim var_d_t(1 To T)
ReDim std_k_t(1 To v)
ReDim var_k_t(1 To v)
```

```
Cells(10, 24) = "Efterfrågans std"
Cells(11, 24) = "Efterfrågans varians"
Cells(12, 24) = "Efterfrågeintervallens std"
```

'beräkningar av viktade värden för std, och var enligt Axsäter 2006

var_k_t(1) = 1 'startvärde

std_k_t(1) = Sqr(var_k_t(1)) 'startvärde

For k = 2 To v

 If k = 2 Then

 var_k_t(k) = (k_t(k - 1) - k_hatt_t(index_at_demand(k - 1))) ^ 2

 Else

 var_k_t(k) = (1 - alpha) * var_k_t(k - 1) + alpha * (k_t(k - 1) -
k_hatt_t(index_at_demand(k - 1))) ^ 2

 End If

 std_k_t(k) = Sqr(var_k_t(k))

 Cells(12, 25) = std_k_t(k)

Next

var_d_t(1) = 1

std_d_t(1) = Sqr(var_d_t(1))

For k = 2 To T

 If k = 2 Then

 var_d_t(k) = (x_t(k, 1) - a_hatt_t(k - 1)) ^ 2

 std_d_t(k) = Sqr(var_d_t(k))

 Else

 var_d_t(k) = (1 - alpha) * var_d_t(k - 1) + alpha * (x_t(k, 1) - a_hatt_t(k - 1)) ^ 2

 std_d_t(k) = Sqr(var_d_t(k))

 Cells(11, 25) = var_d_t(k)

 Cells(10, 25) = Sqr(var_d_t(k))

 End If

Next

Cells(1, 22) = "förändringar av k_hatt_t"

Cells(1, 23) = "k_t"

For i = 1 To v

 Cells(1 + i, 22) = k_hatt_t(index_at_demand(i))

 Cells(1 + i, 23) = k_t(i)

Next

```

'döljer kolumner med historiska värden för ökad läsbarhet
Columns("X:X").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("Y:Y").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("V:V").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True
Columns("W:W").Select
Selection.EntireColumn.Hidden = True

'Skapar diagram för efterfrågan
ActiveSheet.Shapes.AddChart.Select
ActiveChart.PlotVisibleOnly = False
ActiveChart.ChartType = xlLineMarkers
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range(Cells(2, 15), Cells(T + 1, 15))
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "Uppmätt efterfrågan"

ActiveChart.SeriesCollection.Add _
    Source:=Range(Cells(2, (20)), Cells(T + 1, 20))
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "Prognos för efterfrågans storlek"
ActiveChart.ChartType = xlLine 'ger staplar
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ger staplar
ActiveChart.SeriesCollection(1).ChartType = xlColumnClustered 'ger staplar
ActiveChart.PlotVisibleOnly = False

ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleAboveChart)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Prognos för
efterfrågans storlek"
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryCategoryAxisTitleAdjacentToAxis)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Observation nr."

    ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueAxisTitleHorizontal)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Antal"
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 4).ParagraphFormat
    .TextDirection = msoTextDirectionLeftToRight
    .Alignment = msoAlignCenter
End With
Dim Ch As ChartObject

```

```

Set Ch = ActiveSheet.ChartObjects(1)
With Ch
    .Top = Range("AD3").Top
    .Width = Range("AD3:AK17").Width
    .Height = Range("AD3:AK17").Height
End With

'skapar diagram för tidsintervall mellan efterfrågetillfällena
ActiveSheet.Shapes.AddChart.Select
ActiveChart.PlotVisibleOnly = False
ActiveChart.ChartType = xlLineMarkers
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range(Cells(2, 23), Cells(v + 1, 23))
ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "Uppmätta intervall"

ActiveChart.SeriesCollection.Add _
    Source:=Range(Cells(2, 22), Cells(v + 1, 22))
ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "Prognos för tid mellan efterfrågetillfällen"
ActiveChart.ChartType = xlLine 'ger staplar
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ger staplar
ActiveChart.SeriesCollection(1).ChartType = xlColumnClustered 'ger staplar
ActiveChart.PlotVisibleOnly = False

ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.SetElement (msoElementChartTitleAboveChart)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Prognos för tid mellan
efterfrågetillfällen"
ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryCategoryAxisTitleAdjacentToAxis)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Observation nr."

ActiveChart.SetElement (msoElementPrimaryValueAxisTitleHorizontal)
Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters.Text = "Längd på intervall
(dagar)"
With Selection.Format.TextFrame2.TextRange.Characters(1, 4).ParagraphFormat
    .TextDirection = msoTextDirectionLeftToRight
    .Alignment = msoAlignCenter
End With

Dim Ch2 As ChartObject

```

```

Set Ch2 = ActiveSheet.ChartObjects(2)
With Ch2
    .Top = Range("AD18").Top
    .Width = Range("AD18:AK32").Width
    .Height = Range("AD18:AK32").Height
End With

End Sub

Sub indata_R_Q()
'Här formateras cellerna i excelarket så att de är redo att göra beräkningarna för R
och Q. Namnet något missvisande.
Cells(17, 16) = "Ledtid (dagar)"
Cells(18, 16) = "Tid mellan kontroll av lagersaldo (dagar)"
Cells(19, 16) = "Önskad servicenivå (0<x<1)"
Cells(20, 16) = "Pris per styck"
Cells(17, 17) = "Ange ledtid här"
Cells(18, 17) = "Ange tid mellan kontroll här"
Cells(19, 17) = "Ange servicegrad här"
Cells(20, 17) = "Ange pris här"
Range("P17:Q20").Interior.ColorIndex = 43
Range("Q17:Q20").Select
    Selection.Font.Italic = True
    Selection.Font.Size = 8

End Sub

Sub showData()
If Range("p3") = "" Then
    Range("x3:Y4").Copy
    Range("p3:q4").PasteSpecial
    Range("x10:Y16").Copy
    Range("p10:q16").PasteSpecial

    Range("a1").Select
    Application.CutCopyMode = False
Else
    Range("p3:q4").Value = ""
    Range("p10:q16").Value = ""

```

```
        Range("a1").Select
        Application.CutCopyMode = False
    End If
End Sub
```

Del två av makrot

```
Public f_j_k() As Double 'vektor med sannolikheterna för att k kunder efterfrågar j enheter
```

```
Public p As Double 'sannolikheten att en kund ankommer
```

```
Public d_max As Double
```

```
Sub Run_2()
```

```
' Det subscript som användaren kör. Anropar övriga subscripits.
```

```
Call calculate_serv2
```

```
End Sub
```

```
Function EOQ() As Double
```

```
'Beräknar den ekonomiska orderkvantiteten. Uträkningarna baseras på
```

```
' pris (price), efterfrågan (demand), och lagerhållningskostnad (holding_cost) och orderkostnad '(order_cost)
```

```
    Dim price, demand, holding_cost, order_cost, Q As Double
```

```
    price = Cells(20, 17)
```

```
    demand = Cells(9, 17) 'a_hatt
```

```
    order_cost = 200 'hur att uppskatta på ett bra sätt?
```

```
    holding_cost = price * 0.15 'internränta??
```

```
    EOQ = Application.WorksheetFunction.RoundUp(Sqr((2 * order_cost * demand * 365) / holding_cost), 0)
```

```
    'EOQ = Sqr((2 * order_cost * demand * 365) / holding_cost)
```

```
End Function
```

```
Private Sub calculate_serv2()
```

'Här beräknas fyllnadsgraden (serv2) enligt den teori som presenterats i rapporten.
's2: beräknad servicegrad
'riktvarde: den servicegrad som skall uppnås
'L: ledtid
'T: inspektionsintervall
'Q: orderkvantitet
'R: beställningspunkt
'p: sannolikhet att en kund ankommer
'my: förväntad dalgig efterfrågan (a_hatt från prognostiseringen)
'E_IL_biss: förväntad lagernivå vid slutat av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L+T
'E_IL_biss_plus: förväntad positiv lagernivå vid slutat av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L+T
'E_IL_biss_minus: förväntad negativ lagernivå vid slutat av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L+T
'E_IL_prim: förväntad lagernivå vid början av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L
'då leverans preics kan ha skett
'E_IL_prim_plus: förväntad positiv lagernivå vid början av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L
'då leverans preics kan ha skett
'E_IL_prim_minus: förväntad negativ lagernivå vid början av det undersökta intervallet dvs vid tidpunkten L
'då leverans preics kan ha skett

Dim s2, L, T, R, riktvarde, w As Double
Dim my, E_IL_biss, E_IL_biss_plus, E_IL_biss_minus As Double
Dim E_IL_prim, E_IL_prim_plus, E_IL_prim_minus As Double
Dim incorrect_values, incorrect_service As Boolean

p = 1 / Cells(7, 17)
my = (1 / Cells(7, 17)) * Application.WorksheetFunction.Average(Range("C:C"))

L = Cells(17, 17)
T = Cells(18, 17) 'skall fås från Mantena

incorrect_values = False
incorrect_service = False

```

For Each cell In Range("Q17:Q20")
    If Application.WorksheetFunction.IsNumber(cell) = False Then
        cell.Value = ""
        incorrect_values = True
    End If
    If cell.Value <= 0 Then
        cell.Value = ""
        incorrect_values = True
    End If
Next

If Cells(19, 17) > 1 Then
    Cells(19, 17).Value = ""
    incorrect_service = True
End If

If Cells(19, 17) <= 0 Then
    Cells(19, 17).Value = ""
    incorrect_service = True
End If

If incorrect_service Or incorrect_values = True Then
    MsgBox "Vänligen kontrollera införda värden", vbCritical, "Felaktig indata"
    Exit Sub
End If
Q = EOQ()
R = -Q
riktvarde = Cells(19, 17) 'skall fås från Mantena, alt bestämmas mha av klassificering
Call calc_f_j_k(L + T)

Cells(15, 24) = "p"
Cells(15, 25) = p
Cells(16, 24) = "my"
Cells(16, 25) = my

```

'w = 1 räknare för kontrollutskriften


```

While s2 < riktvarde
    E_IL_biss = R + ((Q + 1) / 2) - (my * (L + T))
    E_IL_biss_plus = calc_E_IL_plus(R, Q, L + T)
    E_IL_biss_minus = E_IL_biss_plus - E_IL_biss

    E_IL_prim = R + ((Q + 1) / 2) - (my * L)
    E_IL_prim_plus = calc_E_IL_plus(R, Q, L)
    E_IL_prim_minus = E_IL_prim_plus - E_IL_prim

    s2 = 1 - (E_IL_biss_minus - E_IL_prim_minus) / (my * T)
    R = R + 1

    'Utskrifter för kontroll av värdena
    'Cells(1 + w, 29) = E_IL_biss_plus
    'Cells(1 + w, 30) = E_IL_biss
    'Cells(1 + w, 32) = E_IL_prim_plus
    'Cells(1 + w, 33) = E_IL_prim
    'w = w + 1
Wend

'utskrifter
Cells(21, 16) = "R"
Cells(21, 17) = R
Cells(22, 16) = "Q"
Cells(22, 17) = Q
Cells(23, 16) = "Uppnådd servicegrad"
Cells(23, 17) = s2
Range("P21:Q23").Interior.ColorIndex = 44

End Sub
Private Sub calc_f_j_k(time_interval)
' Makrot skapar vektorn f_j_k() vilken innehåller sannolikheterna för att k kunder
efterfrågar j enheter
' max_customer: baserat på ledtid L och inspektionsintervall T bestäms maximalt
antal kundensom kan ankomma
' i det undersökta intervallet som L+T, dvs maximalt en kund per dag (detta enligt vår
modell)

```

' max_so_far: den största efterfrågan som finns registrerad i datan. Det antas att detta utgör den maximala efterfrågan
 ' som kan uppstå.
 ' d_max: den största möjliga efterfrågan under ett tidsintervall, definierad som
 ' en kund ankommer varje dag under intervallet och varje kund efterfrågar största möjliga kvantitet

```
Dim max_customer As Double
max_customer = time_interval ' ledtid + inspektionsintervall Dim sum_i As Variant
v = Application.WorksheetFunction.CountA(Range("C:C")) - 1 'antalet dagar med
efterfrågan
```

```
Dim demand_per_day(), max_so_far, total_demand, demand_sizes() As Integer
ReDim demand_per_day(0 To v) 'vektor med alla efterfrågan
```

'loopen läser in all efterfrågan i demand_per_day() samt summerar ihop i total_demand och sparar den största efterfrågade

'kvantiteten max_so_far

```
For k = 1 To v
```

```
    demand_per_day(k) = Cells(k + 1, 3)
```

```
    total_demand = total_demand + demand_per_day(k)
```

```
    If demand_per_day(k) > max_so_far Then
```

```
        max_so_far = demand_per_day(k)
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
ReDim demand_sizes(0 To max_so_far)
```

```
Dim temp As Integer
```

```
temp = 0
```

```
d_max = max_customer * max_so_far 'se sub-förklaring
```

ReDim f_j_k(0 To d_max, 0 To max_customer) 'vektor med sannolikheterna för att k kunder efterfrågar j enheter

'loopen läser in sannolikheter i f_j_k() för det fallet då vi endast har en kund. Den läser även in värden i vektorn demand_sizes() där

'värden går från 1 till max_so_far dvs den största registrerade efterfrågekvantiteten

```
For i = 0 To max_so_far
```

```
    For k = 0 To v
```

```

    If i = 0 Then
        f_j_k(i, 0) = 1 'sannolikheten att inga kunder inte efterfrågar några produkter
        f_j_k(i, 1) = 0 'sannolikheten att en kund inte efterfrågar något (=0 enl
definition av kund)
    ElseIf i >= 1 Then
        If demand_per_day(k) = i Then
            temp = temp + 1
        End If
    End If
Next
demand_sizes(i) = temp
temp = 0
f_j_k(i, 1) = demand_sizes(i) / v 'sannolikheten för efterfrågan i är antalet tillfällen
den registrerats / totalt antal tillfällen med efterfrågan
Next

```

'loopen käser in sannolikheterna för att k kunder efterfrågar j enheter. Se Inventory Control, Axsäter (2006) s.78-79

```

For d = 1 To d_max
    For k = 1 To Application.WorksheetFunction.Min(d, max_customer) 'L ger max
antal kunder (en per dag som mest), min används för att undvika det omöjliga fallet
där vi har fler kunder än efterfrågan
        sum_i = 0
        For i = (k - 1) To (d - 1)
            sum_i = sum_i + f_j_k(i, k - 1) * f_j_k(d - i, 1)
        Next
        f_j_k(d, k) = sum_i

        'utskrifter för kontrollräkning
        'Cells(1 + d, 18 + k) = f_j_k(d, k)
        'Cells(1, 18 + k) = k
        'Cells(1 + d, 18) = d
    Next
Next
End Sub

```

```

Function calc_E_IL_plus(R, Q, L)
'funktionen beräknar förväntad positiv lagernivå.
Dim sum As Double

```

```

sum = 0

For j = 1 To R + Q
    sum = sum + j * calc_P_IL_j(j, R, Q, L)
Next
calc_E_IL_plus = sum

End Function
Function calc_P_IL_j(j, R, Q, L)
'funktionen beräknar sannolikheten att lagernivån är j, se Inventory Control, Axsäter
(2006) s.111
    Dim sum, start As Double
    start = Application.WorksheetFunction.Max(R + 1, j)
    sum = 0
    For k = start To R + Q
        sum = sum + ((1 / Q) * calc_P_D_L(L, k - j))
    Next

    'utskrifter för kontrollräkning
    'Cells(j + 1, 40) = j
    'Cells(j + 1, 41) = sum

    calc_P_IL_j = sum

End Function
Function calc_P_D_L(L, j)
'funktionen beräknar sannolikheten under ledtid är j, se Inventory Control, Axsäter
(2006) s.79
'Beräkningarna bygger på en Bernoulliprocess där antalet kundankomster under
ledtiden bestäms mha binomialfördelningen
    Dim sum As Double
    sum = 0
    'TA BORT!!
    'Dim lambda As Double
    'lambda = 1 / Cells(7, 17)
    If j > d_max Then
        calc_P_D_L = sum
        Exit Function
    End If

```

```

For k = 0 To L
  If k > j Then
    Exit For
  End If
  sum = sum + Application.WorksheetFunction.Binom_Dist(k, L, p, False) * f_j_k(j,
k)
  'sum = sum + Application.WorksheetFunction.Poisson(k, L * lambda, False) *
f_j_k(j, k)
Next

'utskrifter för kontrollräkning
'Cells(j + 2, 38) = j
'Cells(j + 2, 39) = sum

calc_P_D_L = sum

End Function

```