

Standardavvikelser för säkerhetslagerberäkning

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

Det finns en omfattande litteratur för att beräkna och använda standardavvikelser för säkerhetslagerdimensionering. Från principiella och tekniska utgångspunkter föreligger det inte heller några egentliga svårigheter med att beräkna och uttrycka efterfrågevariationers storlek med hjälp av standardavvikelser. Det finns emellertid ett antal olika tillvägagångssätt för att göra beräkningarna och det finns ett antal felkällor och aspekter som måste beaktas för att få en acceptabel noggrannhet vid beräkningarna. Att vid praktisk tillämpning beräkna standardavvikelser är därför förknippat med ett antal problemställningar som är väsentliga att hantera för att få tillfredsställande resultat, inte minst därför att beräkning av standardavvikelser påverkar företagets leveransförmåga.

Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här rapporten är att belysa ett antal olika frågeställningar och aspekter på beräkning av standardavvikelser. Målsättningen är inte att i strikt vetenskaplig mening verifiera egenskaper och samband. Syftet är i stället att bidra till en ökad förståelse för standardavvikelseberäkning och för hur den noggrannhet man kan uppnå påverkas av olika omständigheter som uppträder vid användning i praktiken. Det är slutligen också att åstadkomma praktiskt användbara riktlinjer för hur man kan hantera de svårigheter och oklarheter som föreligger.

Beräkningar och analyser har utförts både på en teoretiskt genererad efterfrågan och på efterfrågehistorik som erhållits från fyra fallföretag. De slutsatser som kan dras baserat på de i studien erhållna resultaten kan grovt sammanfattas i följande riktlinjer att tillämpa vid lagerstyrning.

För att få de servicenivåer man önskar och dimensionerar sitt lagerstyrningssystem för, är det väsentligt att beräkna standardavvikelser med en tillfredsställande hög noggrannhet, speciellt för lågrörliga artiklar med stora efterfrågevariationer.

Om extrema efterfrågevärden på grund av exceptionellt stora kundorder förekommer, bör de på olika sätt elimineras från efterfrågestatistiken i samband med beräkning av standardavvikelser. Orderna bör inte ingå i den löpande lagerstyrningen.

För att uppnå en acceptabel noggrannhet vid bestämning av standardavvikelser bör de stickprov som används vid beräkningarna omfatta åtminstone storleksordningen fyrtio historiska efterfrågevärden.

Stickproven för bestämning av standardavvikelser bör också göras så stora som möjligt för att undvika stora variationer från period till period och därmed motsvarande variationer i erhållna servicenivåer.

Genom att använda dagsefterfrågan i stället för månadsefterfrågan som bas för beräkning av standardavvikelser får man större noggrannhet och mindre variationer. Skillnaderna mellan dagsbaserade och månadsbaserade och därefter ledtidsjusterade standardavvikelser är för praktiskt bruk försumbara.

Standardavvikelser baserade på prognosfel är större än standardavvikelser baserade på efterfrågevariationer och medför därför större säkerhetslager vid en given servicenivå.

1 Bakgrund och forskningsfrågor

1.1 Bakgrund

Huvudsyftet med att hålla säkerhetslager är att möjliggöra en konkurrenskraftig leveransförmåga på marknaden. Bland annat kan detta innebära att vid kundorder kunna leverera från lager i en utsträckning som minst motsvarar vad konkurrerande företag klarar av. För att åstadkomma en sådan leveransförmåga på ett kostnadseffektivt sätt är det nödvändigt att med hjälp av beräkningar dimensionera säkerhetslagret med utgångspunkt från en önskad servicenivå, exempelvis uttryckt som andel av den totala efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lager. Säkerhetslagerdimensionering ställer emellertid också krav på att man kan beräkna eller uppskatta hur mycket efterfrågan varierar under återanskaffningstiden för att fylla på lagret eftersom säkerhetslagret också är en funktion av dessa variationer. Att med rimlig säkerhet kunna uppskatta och uttrycka efterfrågevariationer har därför en avgörande betydelse för att företaget skall kunna uppnå önskade och fastställda mål för sin leveransförmåga.

1.2 Problemdiskussion och forskningsfrågor

I den statistiska teorin finns det sedan länge ett antal etablerade mätetal för att uttrycka hur mycket en storhet varierar. Av dessa alternativa mätetal är standardavvikelsen det vanligast använda för efterfrågevariationer. För att kunna beräkna standardavvikelsen som mått på hur mycket efterfrågan av en produkt varierar krävs tillgång till efterfrågehistorik, exempelvis i form av utleveranser per månad under ett år tillbaka i tiden. De flesta affärssystem innehåller funktioner för att automatiskt kunna genomföra sådana beräkningar.

Från principiella och tekniska utgångspunkter föreligger inga egentliga svårigheter med att beräkna och uttrycka efterfrågevariationer med hjälp av standardavvikelser. Det finns emellertid olika tillvägagångssätt för att göra beräkningarna och det finns ett antal felkällor som måste beaktas för att få en acceptabel noggrannhet vid beräkningarna. Att vid tillämpning i praktiken beräkna standardavvikelser för efterfrågan är därför förknippat med ett antal problemställningar som är väsentliga att klarlägga för att få tillfredsställande resultat.

Den standardavvikelse man kan beräkna från en serie av historiska efterfrågedata är inget exakt mått på variationen i efterfrågan utan en uppskattning. Beräknade värden är approximativa och kan snarast betraktas som förväntade värden som i större eller mindre utsträckning skiljer sig från den bakomliggande efterfrågefördelningens sanna standardavvikelse. Eftersom det dessutom finns alternativa sätt att gå tillväga är det naturligt att fråga sig hur noggrant man bör uppskatta standardavvikelser, dvs studera hur stor felkänsligheten är. Den första forskningsfrågan kan därför formuleras på följande sätt.

- 1 Vilken betydelse har noggrannhet vid uppskattning av standardavvikelser med avseende på erhållen servicenivå vid utleverans från lager eller alternativt uttryckt Hur felkänslig är uppskattningen av standardavvikelser med avseende på erhållen servicenivå?

I många sammanhang förekommer det att enstaka kundorder avser kvantiteter som är väsentligen större än vad som normalt är fallet och som kan motsvara flera dagars eller till och med veckors normala utleveransvolym. Det kan vara frågan om tillfälliga order i samband med en försäljningskampanj eller exceptionellt stora order från enstaka kunder, exempelvis exportorder till statshandelsländer. Förekomst av enstaka stora order blandat med order med mer måttliga och önormala kvantiteter förekommer också i lager som både har funktionen att vara centrallager och lokallager samtidigt, dvs som både försörjer andra lokala distributionslager och kunder i det egna närområdet. Man kan naturligtvis fråga sig om sådana order bör administreras och levereras inom ramen för lagerstyrningen i övrigt och vilka konsekvenser det i så fall får. Det är emellertid inte ovanligt att så är fallet. Även om sådana order behandlas separat och utanför den löpande lagerstyrningsverksamheten kan ordena ändå på grund av brister i rutiner eller på grund av affärssystemets funktionalitet komma att ingå i efterfrågehistoriken och därmed påverka standardavvikelseberäkningen. En naturlig forskningsfråga är därför följande.

- 2 I vilken utsträckning påverkar så kallade extremvärden i efterfrågan (outliers) efterfrågans standardavvikelse och säkerhetslagrets storlek. Hur påverkas servicenivån av att exceptionellt stora order administreras och levereras inom ramen för lagerstyrningen?

De historiska efterfrågedata som används för att uppskatta efterfrågans standardavvikelse utgör ett stickprov från en totalpopulation. I praktisk tillämpning tas stickprovet oftast från en serie av månadsvärden på efterfrågan och det är vanligt att denna serie omfattar ett år, dvs stickprovet består av tolv efterfrågevärden. Med ett så begränsat stickprov kommer även normalt förekommande slumpmässiga fluktuationer att påverka uppskattningens noggrannhet. Eftersom standardavvikelser successivt beräknas i takt med tiden med hjälp av nya stickprov kan man förvänta sig att dessa standardavvikelser kan variera enbart som en konsekvens av begränsad stickprovstagnation och därmed ge upphov till förändrade säkerhetslager och variationer i erhållna servicenivåer. Mot denna bakgrund är det av intresse att få en uppfattning om hur stora stickproven bör vara för att man skall kunna få en rimlig noggrannhet och inom vilket intervall uppskattade standardavvikelser varierar. Resonemanget leder fram till följande tre forskningsfrågor.

- 3 Hur stort måste ett stickprov vara för att man skall kunna uppskatta efterfrågans standardavvikelse med en önskvärd noggrannhet?

- 4 Inom vilka intervall varierar beräknade standardavvikelser när stickprovet består av tolv månadsvärden på efterfrågan och inom vilka intervall varierar den servicenivå som de beräknade standardavvikelserna ger upphov till?
- 5 Inom vilket intervall varierar uppskattad standardavvikelse som en funktion av stickprovets storlek?

Som framgick ovan är ett av problemen vid dimensionering av säkerhetslager att standardavvikelserna varierar över tiden. Som konsekvens kommer då också säkerhetslagren att variera och därmed erhålla servicenivåer. Eftersom man kan förvänta sig att variationerna i standardavvikelser blir mindre om stickproven blir större skulle man kunna lösa problemet genom att öka stickprovets storlek. Om man baserar standardavvikelseberäkningen på månatliga efterfrågevärden kommer emellertid beräkningarna då att behöva baseras på flera år gammal efterfrågehistorik. Om orderstruktur och kundstruktur förändras över tiden kommer då förutsättningarna för att stickprovet skall överensstämma med verkligheten att minska. En möjlighet att undvika detta men ändå öka stickprovets storlek vore att basera beräkningen av standardavvikelser på dagsefterfrågan i stället för månadsefterfrågan och att därefter periodlängdsjustera den. Följande forskningsfråga kan formuleras med utgångspunkt från ovanstående resonemang.

- 6 Hur påverkas standardavvikelsen under ledtiden av att beräknas genom periodlängdsjustering av standardavvikelser baserade på dagsefterfrågan respektive månadsefterfrågan?

Säkerhetslager används för att gardera sig mot osäkerhet i form av förekommande efterfrågevariationer så att en önskad leveransförmåga kan upprätthållas, inte för att gardera sig mot systematiskt för höga eller för låga prognoser. Eftersom enskilda prognoser för enskilda perioder inte är helt medelvärdesriktiga utan varierar något med slumpmässiga fluktuationer kommer det att uppstå skillnader mellan prognosfelets standardavvikelse och efterfrågevariationernas standardavvikelse. Skillnaderna kommer att påverka säkerhetslagret och därmed vilken servicenivå man kommer att uppnå. Dess storlek kan förväntas bero på hur stabila prognoserna är mot slumpvariationer. Detta förhållande leder till följande forskningsfråga.

- 7 Hur ser förhållandet mellan prognosfelets standardavvikelse och efterfrågevariationernas standardavvikelse ut och hur påverkas den av valda prognosparametrar?

1.3 Syfte och avgränsningar

Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här rapporten är att belysa de olika aspekter på beräkning av standardavvikelser som motsvaras av de forskningsfrågor som formulerades i ovanstående avsnitt. Målsättningen är inte att i strikt vetenskaplig mening verifiera egenskaper och samband med avseende på forskningsfrågorna. Syftet är i stället att bidra till ökad kunskap om standardavvikelseberäkning och om hur den noggrannhet man kan uppnå påverkas av olika omständigheter som uppträder vid användning i praktiken. Det är också att åstadkomma praktiskt användbara riktlinjer för hur man kan hantera de svårigheter som föreligger.

I de analyser som genomförs för att besvara de formulerade forskningsfrågorna förutsätts efterfrågan variera slumpmässigt kring ett konstant medelvärde och utan inslag av trender, säsongvariationer eller andra systematiska efterfrågeförändringar.

1.4 Rapportens disposition

I föreliggande rapport redovisas utgångspunkter, tillvägagångssätt, analyser och slutsatser från det genomförda forskningsprojektet. Redovisningen är upplagd enligt följande.

Det dataunderlag och det angreppssätt som använts för att besvara de sju forskningsfrågorna redovisas i kapitel 2. Bland annat presenteras den teoretiskt genererade efterfrågan och den efterfrågehistorik som erhållits från fyra fallföretag och som utgjort underlag för beräkningar och analyser. Dessutom presenteras använda beräkningsmodeller.

I kapitel 3 redovisas teoretiska utgångspunkter för och genomförda analyser av felkänsligheten i erhållna servicenivåer vid avvikelser mellan beräknad och verklig standardavvikelse. Effekter på säkerhetslager och servicenivåer av att extremt stora kundorder lagerstyrningsmässigt hanteras tillsammans med efterfrågan i övrigt behandlas i kapitel 4. Kapitel 5 tar upp ett antal frågeställningar som har med stickprovets storlek vid beräkning av standardavvikelser att göra. Teoretisk bakgrund samt genomförda beräkningar och analyser presenteras.

Alternativa sätt att beräkna standardavvikelser behandlas i kapitel 6. I kapitlet presenteras bland annat resultat av tidigare forskning, genomförda beräkningar samt erhållna resultat och genomförda analyser. Standardavvikelser kan baseras på prognosfel alternativt efterfrågevariationer. I kapitel 7 redovisas jämförelser mellan dessa olika utgångspunkter för standardavvikelseberäkning. I kapitel 8 görs en sammanfattning av de i projektet erhållna resultaten. Dessutom dras ett antal slutsatser med utgångspunkt från dessa resultat.

2 Dataunderlag och analysmetodik

De forskningsfrågor som behandlas i den här rapporten är av varierande karaktär. Något olika tillvägagångssätt för att behandla dem måste därför användas. Gemensamt för samtliga forskningsfrågor är emellertid att genomförda beräkningar och analyser baseras på samma dataunderlag. I detta kapitel presenteras detta dataunderlag samt den beräkningsmetodik som tillämpats för att besvara forskningsfrågorna.

2.1 Dataunderlag

För att genomföra de analyser och utvärderingar som krävs för att besvara de sju forskningsfrågorna har två typer av dataunderlag använts, ett teoretiskt genererat och ett från fyra olika fallföretag. I båda fallen omfattar dataunderlaget främst data i form av efterfrågan, orderstorlekar och ledtider. Syftet med att använda teoretiskt genererad data är att man kan uppnå större kontroll över datamaterialets karaktär och därigenom lättare och säkrare kunna identifiera samband och dra slutsatser än om datamaterial från fallföretag används. Syftet med faktiska data från fallföretag är i stället, dels att kunna illustrera, dels verifiera de resultat som uppnåtts från det teoretiskt genererade datamaterialet.

Den teoretiskt genererade efterfrågan har den skapats genom att kombinera slumpmässigt bestämda orderkvantiteter med slumpmässigt bestämda antal kundorder per dag för att den skall bli så verklighetsnära som möjligt. Poissonfördelning har valts för att generera antal kundorder per dag och rektangelfördelning för att bestämma kundorderstorlekar. Empiriska bevis för att kundorder i huvudsak erhålls slumpmässigt och därmed är en Poissonprocess har påvisats av Johnston och Boylan (1996). Fem olika efterfrågestrukturer har skapats, en med 10 kundorder per dag, en med 3 kundorder per dag, en med 1 kundorder per 2 dagar, en med 1 kundorder per 2 veckor och en med 1 kundorder per 2 månader i medeltal. Orderkvantiteten har för samtliga kundorder satts till mellan 1 och 10 styck. Detta medför att medelefterfrågan per månad (i den här studien betraktad som 20 dagar lång) för de fem efterfrågestrukturerna blir 1.100 styck, 330 styck, 55 styck, 11 styck respektive 3 styck. För varje efterfrågestruktur har 6000 dagars efterfrågan motsvarande 25 år genererats för vardera tjugo artiklar. Genereringen har genomförts med hjälp av Excel.

För att verifiera att den genererade efterfrågan är slumpmässig har den testats med avseende på förekomst av autokorrelation. Autokorrelation definieras av Hanke och Reitsch (1989, sid 144) som öfte extent to which a time series variable, lagged one or more periods, is correlated with itself. En korrelationskoefficient i närheten av 0 innebär att det inte finns något samband mellan efterfrågan i en period och efterfrågan i följande period och därmed att efterfrågan varierar slumpmässigt från period till period. Förekomst av korrelation har testats med avseende på samband mellan efterfrågan i på varandra följande månader. I inget fall blev korrelationskoefficienten större än 0,01.

Fem olika ledtider för återanskaffning, 2, 5, 10, 20 och 40 dagar långa, har använts. Vidare har tre olika storlekar på inleveransorder använts, kvantiteter motsvarande 5, 20 respektive 60 dagars medelefterfrågan. Variationskoefficienter för de olika efterfrågestrukturerna och ledtiderna visas i tabell 1. Som framgår av tabellen täcker den teoretiskt genererade efterfrågan ett brett spektrum av efterfrågeförhållanden.

Tabell 1 Efterfrågekarakteristik för de olika testade efterfrågescenarierna

| Efterfrågestruktur | Antal order och orderstorlek | Ledtid | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|
| | | 2 dagar | 5 dagar | 10 dagar | 20 dagar | 40 dagar |
| 1 | 10 order/dag 1 ó 10 st/order | 0,25 | 0,16 | 0,11 | 0,08 | 0,06 |
| 2 | 3 order/dag 1 ó st/order | 0,46 | 0,29 | 0,21 | 0,15 | 0,10 |
| 3 | 1 order/2dagar 1 ó 10 st/order | 1,13 | 0,72 | 0,51 | 0,36 | 0,25 |
| 4 | 1 order/2 veckor 1 ó 10 st/order | 2,53 | 1,60 | 1,13 | 0,80 | 0,57 |
| 5 | 1 order/2 månader 1 ó 10 st/order | 5,19 | 3,28 | 2,32 | 1,64 | 1,16 |

Efterfrågehistorik har erhållits från ett lager i tre olika företag och från två lager i ett företag. Samtliga fallföretag är stora internationellt verksamma verkstadsföretag. Anta-

let artiklar som analyserats har varit 250 stycken för fyra av lagren och 205 från det femte. De fyra företagens lager kan kort beskrivas enligt följande.

Företag A's lager är ett reservdelslager. Utöver unika reservdelar lagerförs också reservdelskit. Totalt finns det storleksordningen 10.000 artiklar i lagret, egentillverkade såväl som inköpta från utomstående leverantörer. Lagret försörjer dels slutkunder på den Europeiska marknaden och dels ett regionalt lager i Sydostasien och ett i Nordamerika.

Lagret hos företag B innehåller enbart färdigvaror, varav 90 % är egentillverkade. Sammanlagt lagerhålls storleksordningen 700 artiklar. Lagret är ett centrallager som försörjer 15 lokala lager med drygt 200 av artiklarna. Det försörjer även slutkunder i Norden samt distributörer i Östeuropa och Afrika med dessa 200 artiklar samt dessutom övriga 500.

Från företag C har två olika lager ingått i studien. Båda avser färdigprodukter av vilka cirka 85 % är egentillverkade. I lager C1 finns storleksordningen 2.500 artiklar och i lager C2 storleksordningen 1.500 artiklar. Lager C1 försörjer både andra lokala lager i Europa och en lokal marknad medan lager C2 endast försörjer kunder på en lokal marknad.

Företag D's lager utgör ett virtuellt lager bestående av summan av lagertillgångar i tre regionala lager, ett i Europa, ett i Sydostasien och ett i Nordamerika. De lagerpåfyllnadsorder som skapas vid lagerstyrningen baseras på den sammanlagda efterfrågan på samtliga marknader. Vid leverans från produktionen fördelas tillverkade kvantiteter till de olika regionala lagren i proportion till den aktuella behovssituationen. Det lagerförda sortimentet är slutprodukter och består av över 20.000 egentillverkade artiklar.

För att karakterisera lagerstyrningssituationen för de fem lagren från de fyra fallföretagen har företagens respektive artiklar klassificerats i tre olika dimensioner. En klassificering avser hur många kundorderrader som levereras per period. Alternativt kan man tala om antal plock per dag och en uppdelning av artiklarna i rörlighetsklasser. För varje företag och lager har en uppdelning i fyra olika rörlighetsklasser gjorts. Uppdelningen är individuell för varje lager och har gjorts så att artiklarna blir rimligt jämt fördelade mellan klasserna. Denna uppdelning i rörlighetsklasser och antal artiklar tillhörande varje rörlighetsklass redovisas i tabell 2. I tabellen avser intervall det antal leveranser per år inom vilket en viss artikel skall levereras för att tillhöra rörlighetsklassen.

Tabell 2 Uppdelning av artiklar från de fyra fallföretagen i rörlighetsklasser

| <i>Företag</i> | <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Intervall</i> | <i>Antal artiklar</i> |
|----------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| A | 1 | > 250 | 64 |
| | 2 | 100 ó 250 | 64 |
| | 3 | 40 ó 100 | 60 |
| | 4 | < 40 | 62 |
| B | 1 | > 250 | 67 |
| | 2 | 100 ó 250 | 65 |
| | 3 | 40 ó 100 | 60 |
| | 4 | < 40 | 58 |
| C1 | 1 | > 60 | 50 |
| | 2 | 30 ó 60 | 31 |
| | 3 | 10 ó 30 | 57 |
| | 4 | < 10 | 67 |
| C2 | 1 | > 150 | 28 |
| | 2 | 50 ó 150 | 85 |
| | 3 | 20 ó 50 | 70 |
| | 4 | < 20 | 67 |
| D | 1 | > 250 | 56 |
| | 2 | 100 ó 250 | 55 |
| | 3 | 40 ó 100 | 46 |
| | 4 | < 40 | 93 |

En andra klassificering avser uppdelning av artiklar i ledtider för återanskaffning. Uppdelningen i ledtidsklasser är gemensam för samtliga företag och lager. De olika ledtidsklasserna och antalet artiklar tillhörande varje ledtidsklass visas i tabell 3. Ledtidsklasserna definieras på följande sätt; klass 1 för ledtider mindre än 5 dagar, klass 2 för ledtider mellan 5 och 10 dagar, klass 3 för ledtider mellan 10 och 20 dagar samt klass 4 för ledtider större än 20 dagar. Som framgår av tabellen har företagen A och D förhållandevis längre ledtider än de övriga.

Ett ytterligare sätt att klassificera artiklarna i fallföretagen avser storleken på inleveransorder för att fylla på lagret. För att få en jämförbarhet mellan olika artiklar och företag har kvantiteter på inleveransorder uttryckts i antal dagar vid medelefterfrågan som en inleverans täcker, dvs som en täcktid. De olika inleveransklasserna och antalet artiklar tillhörande varje klass redovisas i tabell 4. De definieras på följande sätt; klass 1 för mer än 12 inleveranser per år, klass 2 för mellan 6 och 12 inleveranser per år, klass 3 för mellan 2 och 6 inleveranser per år samt klass 4 för mindre än 2 inleveranser per år.

Tabell 3 Uppdelning av artiklar från de fyra fallföretagen i ledtidsklasser

| <i>Företag</i> | <i>Ledtidsklass</i> | <i>Antal artiklar</i> |
|----------------|---------------------|-----------------------|
| A | 1 | 0 |
| | 2 | 16 |
| | 3 | 62 |
| | 4 | 172 |
| B | 1 | 43 |
| | 2 | 185 |
| | 3 | 22 |
| | 4 | 0 |
| C1 | 1 | 120 |
| | 2 | 69 |
| | 3 | 15 |
| | 4 | 1 |
| C2 | 1 | 250 |
| | 2 | 0 |
| | 3 | 0 |
| | 4 | 0 |
| D | 1 | 0 |
| | 2 | 5 |
| | 3 | 14 |
| | 4 | 231 |

Tabell 4 Uppdelning av artiklar från de fyra fallföretagen i inleveransklasser

| <i>Företag</i> | <i>Inleveransklass</i> | <i>Antal artiklar</i> |
|----------------|------------------------|-----------------------|
| A | 1 | 21 |
| | 2 | 89 |
| | 3 | 138 |
| | 4 | 2 |
| B | 1 | 75 |
| | 2 | 555 |
| | 3 | 92 |
| | 4 | 28 |
| C1 | 1 | 35 |
| | 2 | 57 |
| | 3 | 109 |
| | 4 | 4 |
| C2 | 1 | 132 |
| | 2 | 67 |
| | 3 | 51 |
| | 4 | 0 |
| D | 1 | 1 |
| | 2 | 8 |
| | 3 | 103 |
| | 4 | 138 |

2.2 Analysmetodik

För att genomföra analyser har två olika typer av beräkningsmetodik använts, dels traditionella numeriska beräkningar, exempelvis av typ att beräkna standardavvikelser för efterfrågevariationer, dels beräkningar som har karaktär av simuleringar, exempelvis för att analysera vilken servicenivå man får vid användning av en viss storlek på säkerhetslagret. I båda fallen har beräkningarna genomförts med hjälp av Excel och olika makroprogram i Visual Basic. I modellen simuleras dagliga uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo. Konsekvenser av typ bristkvantiteter och erhållna servicenivåer beräknas månadsvis.

Som lagerstyrningsmodell vid simuleringskörningarna har ett beställningspunktssystem av typ periodinspekterat (s,S)-system använts (Silver-Pyke-Peterson, 1998, sid 238). Eftersom beställningspunkten s jämförs dagligen med det disponibla saldot är periodlängden en dag och ledtiderna har därför ökat med en halv dag vid beräkning av standardavvikelser, säkerhetslager och beställningspunkter. Nya beställningspunkter beräknas vid varje månadsskifte. Förbrukningen under ledtid prognostiseras med hjälp av glidande medelvärde-metoden med tolv månadsvärden och den standardavvikelse som ligger till grund för säkerhetslagerberäkningen beräknas med utgångspunkt från efterfrågan per månad ett år tillbaka i tiden. Beräkningarna baseras på användning av fyllnadsgrad som servicenivåbegrepp, dvs servicenivån definieras som andelen av efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lager. Uppkomna brister antas restnoteras för senare leverans.

Att (s,S)-system valts i stället för (s,Q)-system har gjorts för att på ett bra sätt kunna hantera de mest lågomsatta och lågrörliga efterfrågestrukturerna. Om fast orderstorlek skulle valts med den låga medelefterfrågan det är fråga om för dessa strukturer samtidigt som enstaka kundorder kan avse stora kvantiteter skulle åtskilliga inleveransorder i tät följd behöva ha genererats för att täcka behov från redan inkomna order. S har beräknats som beställningspunkten plus den inleveranskvantitet som valts för de teoretiskt genererade efterfrågefallen respektive den orderkvantitet som fallföretagen använt för respektive artikel.

Vid jämförelse av alternativa beräkningssätt och parametersättningar har parvisa jämförelser tillämpats. Eftersom antalet observationer vid dessa jämförelser i de flesta fall varit tämligen begränsat, oftast av storleksordningen 20 stycken för den teoretiskt genererade efterfrågan, har t-fördelningen använts för signifikanstest.

3 Felkänslighet vid uppskattning av standardavvikelser

För att i ett lagerstyrningssystem kunna dimensionera säkerhetslager så att det motsvarar en önskvärd servicenivå krävs uppgifter om efterfrågevariationernas standardavvikelse. Den noggrannhet med vilken man beräknar denna standardavvikelse påverkar följaktligen hur stor överensstämmelse man kan få mellan erhållen servicenivå och den önskvärda servicenivå som systemet dimensionerats för. Forskningsfråga 1 avser hur stor felkänsligheten är i erhållen servicenivå mot avvikelser mellan beräknad och verklig standardavvikelse och redovisas i följande avsnitt.

3.1 Teoretiska utgångspunkter

Det finns i litteratur och facktidskrifter mycket få publicerade studier som redovisar hur ett lagerstyrningssystem effektivitet påverkas av kvalitetsbrister i ingående variabler och parameter, dvs hur stor felkänsligheten är för parameteravvikelser.

Sambanden mellan ledtider och servicenivåer relativt säkerhetslagrets storlek har studerats av Brauer (1985). I denna studie beaktas emellertid inte orderkvantitetens betydelse. De merkostnader som uppstår vid olika långa ledtider och olika höga servicenivåer vägs inte heller mot varandra. I princip är det endast effekter på de delar av lagerhållningskostnaderna som säkerhetslagret för med sig som behandlas. Det är därför endast i mycket begränsad omfattning en fråga om känslighetsanalys i den bemärkelse som avses här.

Aggarwal och Dhavale (1973) har med hjälp av avancerade analytiska beräkningar studerat hur känsliga de totala lagerstyrningskostnaderna är i ett beställningspunktssystem med avseende på olika lagerhållningskostnader, ordersärkostnader och bristkostnader samt med avseende på olika hög efterfrågan. En studie av hur känsliga de totala lagerstyrningskostnaderna är för olika varianter av beställningspunktssystem vid olika efterfrågefördelningar, standardavvikelser och ledtider har gjorts av Humphrey et al (1998). Studien bygger på simulering och är till viss del upplagd på samma sätt som föreliggande studie. Studien avser lager av reservdelar, framför allt karakteriserade av lågfrekvent omsättning och därmed liknande det lågomsatta scenariet i föreliggande studie.

Silver och Rahnema (1986) har analytiskt studerat hur lagerstyrningskostnaderna påverkas av det antal efterfrågevärden som används för att uppskatta medelefterfrågan och efterfrågans standardavvikelse. De visar att kostnaderna minskar med ökande stickprovsstorlek, dvs ju fler efterfrågevärden som ingår vid beräkningen av beställningspunkter, desto lägre blir kostnaderna. De visar också att kostnadsfunktionen inte är symmetrisk och att man därför kan uppnå kostnadsfördelar om man överskattar i stället för underskattar beställningspunkter.

3.2 Analysmodell och analysdata

För att studera hur felkänslig standardavvikelsen är med avseende på erhållen servicenivå har den simuleringsmodell som beskrevs i avsnitt 2 använts. Felkänsligheten har studerats genom att låta standardavvikelsen avvika från det normvärde som beräknats med utgångspunkt från efterfrågedata på konventionellt sätt och genom att för varje avvikande standardavvikelsevärde beräkna motsvarande erhållen servicenivå. De avvikelsevärden som behandlats omfattar 30 %, 20 % respektive 10 % över normvärdet och 10 %, 20 % respektive 30 % under normvärdet. Simuleringarna har genomförts både för den teoretiskt genererade efterfrågan och den efterfrågehistorik som erhållits från de fyra fallföretagen. I samtliga fall har simuleringarna omfattat 6000 dagars efterfrågan. Önskad servicenivå har satts till 98 %.

För den teoretiskt genererade efterfrågan har tre simuleringsstudier genomförts. Den första av dessa avser att belysa i vilken utsträckning felkänsligheten påverkas av ledtidens längd. Denna simuleringsstudie har omfattat 20 olika artiklar med efterfrågestrukturerna 2 respektive 5, dvs en med relativt högrörlig efterfrågan på 3 kundorder per dag

och en med lågrörlig efterfrågan på 1 kundorder per 2 månader. I båda fallen har 20 dagars medelefterfrågan valts som orderstorlek på inleveransorderna.

Den andra simuleringsstudien avser att belysa i vilken utsträckning felkänsligheten påverkas av orderstorleken på inleveransorderna. Även i detta fall har 20 olika artiklar med efterfrågestrukturerna 2 och 5 använts. Ledtiden har i båda fallen satts till 20 dagar. Den tredje simuleringsstudien avser att belysa i vilken utsträckning felkänsligheten påverkas av efterfrågestruktur och därmed graden av efterfrågevariation mätt som variationskoefficient. Fem olika efterfrågestrukturer vardera omfattande 20 olika artiklar har jämförts, dvs fall med 10 order per dag, 3 order per dag, 1 order per 2 dagar, 1 order per 2 veckor respektive 1 order per 2 månader. Variationskoefficienterna för ledtidsefterfrågan under ledtiden för de fem fallen var 0.08, 0.15, 0.36, 0.80 respektive 1.64. Ledtiden har satts till 20 dagar och orderkvantiteten på inleveransorderna till 20 dagars medelefterfrågan i samtliga fall. I alla tre simuleringsstudierna har beräknade medelavvikelser i erhållna servicenivåer signifikantstestats med parvis t-test.

Eftersom betydelsen av noggrannhet vid beräkning av standardavvikelser har samband med hur stort säkerhetslagret blir i förhållande till efterfrågan under ledtiden för återanskaffning har även säkerhetslagrets andel av beställningspunktskvantiteten beräknats.

Även felkänsligheten för avvikelser i efterfrågevariationernas standardavvikelser för efterfrågan i de fyra fallföretagen har studerats med hjälp av simulering. Med hjälp av simuleringarna har medelavvikelser beräknats per företag och respektive företags artiklars rörlighetsklass. Även i dessa fall har förekommande skillnader signifikantstestats.

3.3 Resultat och analys

Resultaten från genomförda simuleringar för de teoretiskt genererade efterfrågefördelningarna redovisas med avseende felkänslighet som funktion av ledtid och orderstorlek i tabeller i bilaga 1 respektive 2. I tabellerna visas de avvikelser i procentenheter i medelservicenivå som erhållits för de ingående 20 artiklarna, standardavvikelsen för erhållna servicenivåer samt t-funktionens värde för respektive procentuella avvikelser av använda standardavvikelser i förhållande till de från efterfrågedata beräknade. För en t-fördelning med 19 frihetsgrader är det kritiska värdet för att en med använd standardavvikelse erhållen servicenivå skall vara signifikant större eller mindre än den servicenivå som erhålls med hjälp av beräknad standardavvikelse lika med 2,861 vid en signifikansnivå på 0,5 % .

Resultaten med avseende på felkänsligheten som funktion av efterfrågestruktur sammanfattas i tabell 5. I samtliga efterfrågefall i denna tabell har orderkvantiteten satts till 20 dagars medelefterfrågan, dvs att lagret fylls på 12 gånger per år, och ledtiden till 20 dagar. Respektive efterfrågestruktur anges i form av dess variationskoefficient för efterfrågan under ledtid. Samliga skillnader i erhållna servicenivåer är signifikanta på 0,5-% nivån.

Tabell 5 Skillnader i procentenheter i erhållna servicenivåer för efterfrågefall med olika variationskoefficienter och procentuella avvikelser i använda standardavvikelser

| Var. koeffi- ent | Avvikelser i använda standardavvikelser i procent | | | | | | Säk. lager- andel |
|------------------------|---|------|------|-----|-----|-----|-------------------------|
| | -30 | -20 | -10 | +10 | +20 | +30 | |
| 0,08 | -1,5 | -1,0 | -0,5 | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 3 % |
| 0,15 | -2,3 | -1,5 | -0,7 | 0,6 | 1,2 | 1,6 | 9 % |
| 0,36 | -3,8 | -2,2 | -1,1 | 0,9 | 1,5 | 2,1 | 30 % |
| 0,80 | -5,9 | -3,5 | -1,7 | 1,3 | 2,3 | 3,1 | 55 % |
| 1,64 | -8,2 | -5,0 | -2,4 | 2,0 | 3,5 | 4,8 | 75 % |

Av tabell 5 och tabellerna i bilagorna framgår att de beräknade skillnaderna uppvisar samma mönster för samtliga kombinationer av efterfrågestrukturer, ledtider och orderstorlekar. Ju lägre de använda standardavvikelserna är i förhållande till de ökorrektö beräknade, desto mindre blir de erhållna servicenivåerna och ju högre de använda standardavvikelserna är i förhållande till de ökorrektö beräknade desto högre blir de erhållna servicenivåerna. Det kan påpekas att de redovisade skillnaderna avser procentenheter och inte procent. Skillnaderna kan inte sägas vara försumbara när felen i använda standardavvikelser är mer än +/- 10 %. Alldeles speciellt för efterfrågestrukturer med höga variationskoefficienter, dvs få kundorder per tidsenhet. Samtliga skillnader är signifikanta.

Man kan också notera att skillnaderna ökar med ökande ledtider och minskar med minskande inleveransfrekvens, dvs med ökande inleveransorderkvantiteter. Att skillnaderna minskar med ökande ledtider är förväntat eftersom den del av beställningspunkten som standardavvikelsen påverkar, dvs säkerhetslagret, blir mindre ju längre ledtiderna är. Även minskningen av skillnader vid ökande inleveranskvantiteter är förväntad eftersom det krävs mindre säkerhetslager ju större inleveranskvantiteterna är. Sammanfattningsvis kan man alltså konstatera att felkänsligheten i använda standardavvikelser ökar med avtagande ledtider och avtagande inleveranskvantiteter. Felkänsligheten ökar också markant med ökande variationer i efterfrågan.

I bilagorna 1 och 2 samt i tabell 5 visas också säkerhetslagrens andelar av beräknade beställningspunkter. Som framgår av tabellerna är dessa andelar väsentligen större för efterfrågefall med stora efterfrågevariationer. Att sådana skillnader föreligger är en avgörande förklaring till att känsligheten för felaktigheter i använda standardavvikelser är större för artiklar med stora variationskoefficienter jämfört med artiklar med små. Att säkerhetslagerandelen avtar med ökande ledtider beror på att variationskoefficienten för efterfrågan avtar med ökande ledtider. Säkerhetslagerandelen avtar också med ökande orderkvantiteter.

För att illustrera felkänsligheter i använda standardavvikelser har motsvarande känslighetsanalys genomförts för de olika fallföretagens efterfrågan. Denna redovisas i tabell 6. Skillnaderna avser samtliga artiklar för respektive företag och representerar sålunda genomsnittsvärden för samtliga rörlighetsklasser. Med två undantag är samtliga skillnader signifikanta. Dessa är skrivna med fetstil.

Tabell 6 Skillnader i procentenheter i erhållna servicenivåer för de olika fallföretagens efterfrågan vid olika procentuella avvikelser i använda standardavvikelser

| Företag | Avvik. i använda standardavvikelser i procent | | | | | | Säk. lager andel |
|---------|---|------|-------------|-----|-----|-----|------------------|
| | -30 | -20 | -10 | +10 | +20 | +30 | |
| A | -3,8 | -2,3 | -1,1 | 0,9 | 1,7 | 2,4 | 41 % |
| B | -3,7 | -2,5 | -1,1 | 0,9 | 1,8 | 2,5 | 62 % |
| C1 | -4,2 | -2,6 | -1,2 | 1,1 | 2,1 | 3,1 | 58 % |
| C2 | -4,3 | -2,5 | -1,3 | 1,3 | 2,4 | 3,4 | 57 % |
| D | -2,5 | -1,6 | -0,7 | 0,5 | 1,2 | 1,6 | 36 % |

Trots att skillnaderna i tabellen avser genomsnittsvärden kan skillnaderna i erhållna servicenivåer för fallföretagen inte betraktas som försumbara eftersom det är fråga om procentenheter av önskade servicenivåer. I tabellen visas också säkerhetslagrens andel av beställningspunkterna som genomsnittsvärden för företagets artiklar. En huvudledning till att säkerhetslagerandelen är mindre för fallföretag A och D är att artiklarnas ledtider är längre för dessa företag än för övriga. Skillnaderna är också en av orsakerna till den något lägre felkänsligheten för dessa företags lager jämfört med de övriga tre lagren.

4 Effekter av extremvärden i efterfrågehistoriken

I många företag förekommer enstaka kundorder med exceptionellt stora kvantiteter jämfört med kundorder i övrigt. De får därmed en stor påverkan på efterfrågestrukturen och om de av olika skäl ingår i efterfrågehistoriken också på storleken på efterfrågans standardavvikelse. Som en konsekvens av detta blir även säkerhetslagrets storlek påverkat och därmed erhållen servicenivå. Forskningsfråga 2 avser i vilken utsträckning dessa exceptionellt stora efterfrågevärden, så kallade extremvärden påverkar efterfrågans standardavvikelser och säkerhetslager samt hur erhållna servicenivåer påverkas av att exceptionellt stora order administreras och levereras inom ramen för lagerstyrningen. Forskningsfrågan behandlas i nedanstående avsnitt.

4.1 Teoretiska utgångspunkter

Även om efterfrågan under normala omständigheter varierar från period till period är variationerna i allmänhet måttliga i förhållande till medelefterfrågan per period. Det kan emellertid inträffa att efterfrågan mer eller mindre oförutsägbart kan bli extremt stor under enstaka perioder. Fenomenet kallas extremvärden eller outliers, och definieras som öett markant avvikande värde i en serie av variabelvärdenö (Mattsson, 2004). Dessa efterfrågevärden representerar kvantiteter som är klart större än vad man normalt förväntar sig. De kan därmed få en avsevärd påverkan på efterfrågans standardavvikelse och därmed på storleken av säkerhetslagret. Företeelsen extremvärden och de problem de medför är mycket begränsat behandlat i litteraturen. Bland dem som i någon utsträckning diskuterar problemet kan Sullivan och Claycombe (1977), Fogarty och Hoffman (1983), Bodenstab (1993) samt Wallace (1998) nämnas. Ingen har emellertid studerat i vilken utsträckning extremvärdens påverkan på standardavvikelseberäkningen är av signifikant betydelse eller inte.

Extremvärdens påverkan på de totala lagerstyrningskostnaderna har studerats av Hollier et al (1995). De har också utvecklat en analytisk modell för att beräkna hur stora kundorder det är lämpligt att ur kostnadssynpunkt inkludera i lagerstyrningen. Författarna konstaterar på basis av resultaten att man kan uppnå klara kostnadsfördelar ur lagerstyrningssynpunkt genom att låta stora kundorder bli specialleveranser som inte hanteras via lagerstyrningen.

Extrema efterfrågevärden per period kan uppstå av olika orsaker. En orsak kan vara att man erhållit en speciell exportorder, en stor order från en ny kund eller dylikt. Om sådana stora order kan anses vara något av engångsföreteelser som inte förväntas upprepas rimligt ofta i framtiden bör de inte ingå i den efterfrågan som skall ligga till underlag för beräkning av standardavvikelser och lagerstyrning. De bör om möjligt i stället hanteras inom ramen för en leverera-från-tillverkning-strategi i stället för en leverera-från-lager-strategi.

En annan orsak till att perioder med exceptionellt stor efterfrågan kan uppstå är att ett par eller några förhållandevis stora kundorder av en slump råkar komma under samma period. Extremvärden kan också uppstå på grund av felaktigheter vid registrering och behandling av orderdata samt som ett resultat av leveranssvårigheter under en period.

I de affärssystem som finns på marknaden förkommer två olika tillvägagångssätt för att hantera problemet med extremvärden. Ett tillvägagångssätt innebär att orderbehandlaren öronmärker order som är av karaktär stora order som kan uppfattas som exceptionella ur lagerstyrningssynpunkt. Vid generering av utleveransstatistik för prognostisering avseende lagerstyrning exkluderas dessa order. De kommer följaktligen inte att påverka standardavvikelsen. Metoden är användbar för att komma tillrätta med extremvärden som beror på enstaka exceptionellt stora order. Det andra tillvägagångssättet kan användas även när förekomsten av extremvärden är förorsakad av att några stora order mer av en slump hamnat i samma period. Metoden bygger på att göra ett efterfrågetest för att kontrollera om en periods utleveransvolym kan betraktas som representativ för den normalt varierande efterfrågan. Se exempelvis Andersson ó Ljungfeldt ó Wandel (1970, sid 85). Testen görs med hjälp av en kontrollgräns beräknad på ett sådant sätt att man med en önskad konfidensgrad kan avgöra om en periods utleveransvolym kan anses vara rimligt stor eller ej. Perioder vars utleveransvolym överskrider denna kontrollgräns exkluderas från den prognosgrundande utleveransstatistiken och den gällande prognosen förändras inte. Ett annat sätt att hantera utleveransvolym som hamnar utanför kontrollgränsen redovisas av Bodenstab (1993). Han föreslår att det värde som motsvarar den övre kontrollgränsen används som verklig utleveransvolym i stället för det verkligt erhållna och därmed som senaste efterfrågevärde vid prognosberäkningen.

4.2 Analysmodell och analysdata

Effekter på standardavvikelser och säkerhetslager av att låta exceptionellt stora order ingå i efterfrågehistoriken har studerats genom att beräkna och jämföra deras respektive storlek för fallet att de ingår i efterfrågehistoriken med fallet att de selekteras ut och därmed inte tillåts påverka beräkningarna. För att också studera hur förekommande exceptionellt stora order påverkar erhållen servicenivå om de administreras och levereras inom ramen för den löpande lagerstyrningen har den simuleringsmodell som beskrevs i avsnitt 2 använts. Beräkningar och simuleringar har genomförts både för den teoretiskt genererade efterfrågan och för den efterfrågehistorik som erhållits från de fyra fallföre-

tagen. I samtliga fall har simuleringarna omfattat 6000 dagars efterfrågan. En önskad servicenivå på 98 % har använts.

Analysen av den teoretiskt genererade efterfrågan har omfattat efterfrågestrukturer med 10 order per dag, 3 order per dag respektive 1 order per 2 dagar; i samtliga fall med en kundorderkvantitet på mellan 1 och 10 st. Orsaken till att övriga två efterfrågestrukturer inte inkluderats i analysen är att merparten av alla order kan betraktas som extremvärden vid fall med mycket lågomsatt efterfrågan. För varje efterfrågestruktur har 20 olika artiklar analyserats. För att studera och jämföra effekter av inslag av extrema efterfrågevärden har extremvärdesfall genererats genom att till den ursprungligt genererade efterfrågan addera ett antal stora efterfrågekvantiteter slumpmässigt fördelade under de 6000 studerade dagarna. Dessa tilläggskvantiteter har valts som tre respektive fem gånger det i övrigt förekommande största efterfrågevärdet, avrundade till närmsta femtiotal eller tiotal. Använda tilläggskvantiteter för de olika efterfrågestrukturerna framgår av tabell 7. Sannolikheten för att det skall förekomma en order med två gånger maximalt normalt förekommande dagsefterfrågan har satts till 2 % och en order med tre gånger maximalt förekommande dagsefterfrågan till 1 %. Det innebär att det i medeltal förekommer cirka sju extrema order per år för extremvärdesfallen (3 % av 240 dagar). Samma orderkvantitet för inleveransorder har använts för fallen med inslag av extremorder och utan inslag av extremorder.

Tabell 7 Använda kvantiteter för extremorder som lagts till den normala efterfrågan per dag för att simulera fall med förekomst av extremvärden i efterfrågehistoriken

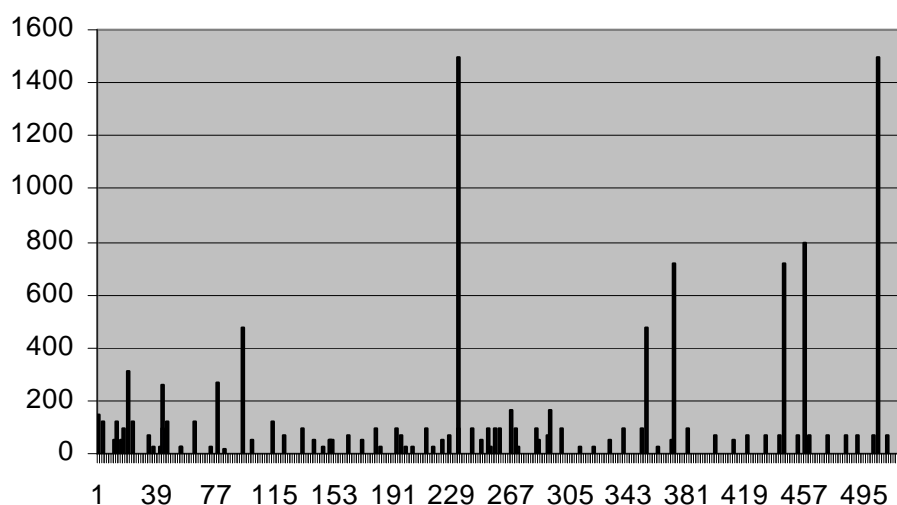
| <i>Efterfrågestruktur</i> | <i>3 gånger maximal efterfrågan</i> | <i>5 gånger maximal efterfrågan</i> |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 10 order/dag | 400 | 600 |
| 3 order/dag | 200 | 350 |
| 1 order/2 dagar | 100 | 150 |

Standardavvikelse och motsvarande säkerhetslager har beräknats och jämförts för fallen med respektive utan inslag av extrema efterfrågevärden. För att få en uppfattning om hur förekommande extremvärden påverkar dessa standardavvikelse och säkerhetslager vid olika långa ledtider och stora inleveranskvantiteter har beräkningar och jämförelser gjorts dels för inleveranskvantiteter motsvarande 20 dagars medelefterfrågan och med ledtider varierande mellan 10 och 40 dagar, dels för ledtider på 20 dagar och inleveranskvantiteter varierande mellan motsvarande 10 dagars och 40 dagars medelefterfrågan.

Även servicenivån påverkas av förekomst av extremt stora kundorder, speciellt om extremorderna administreras och levereras via den normalt förekommande lagerstyrningen. För att studera detta har erhållna servicenivåer med och utan förekomst av extremvärden beräknats och jämförts för samma efterfrågefall som ovan, dels med fast inleveransorderkvantitet och varierande ledtider, dels med fast ledtid och varierande kvantiteter på inleveransorder.

Motsvarande analyser har gjorts för de efterfrågedata som erhållits från de fyra fallföretagen. I samtliga företag förekom inslag av extremvärden. I figur 1 visas en graf som illustrerar sådan förekomst under en period på 520 dagar för en artikel från fallföretag B.

För att på fallföretagens efterfrågehistorik kunna jämföra beräknade standardavvikelser, säkerhetslager och erhållna servicenivåer med kontra utan förekomst av extremvärden eliminerades exceptionellt stora efterfrågevärden med hjälp av kontrollgränser. För varje artikel beräknades kontrollgränsen som medelefterfrågan per dag + 3 gånger standardavvikelsen per dag. En sådan storlek på kontrollgränsen innebär att sannolikheten för att felaktigt eliminera ett efterfrågevärde som ligger över kontrollgränsen är mindre än 0,1 %. Efterfrågevärden som låg över dessa kontrollgränser ersattes med medelefterfrågan per dag. På så sätt skapades en efterfrågehistorik utan inslag av extremvärden och som kunde jämföras med den verkliga efterfrågehistoriken med mer eller mindre inslag av förekommande stora kundorder.



Figur 1 Illustration av förekomst av extremvärden i efterfrågehistoriken från fallföretag B

För artiklar med mycket lågfrekvent efterfrågan är det inte möjligt att selektera ut extremvärden med hjälp av kontrollgränser. Andelen dagsvärden som måste ersättas med medelvärden blir orimligt stort. Enligt samma resonemang som ovan kan relativt sett stora efterfrågevärden i dessa fall näst intill betraktas som normala företeelser. Artiklar med sådan efterfrågekarakteristik har därför exkluderats i studien.

4.3 Resultat och analyser

Standardavvikelser och säkerhetslager för den teoretiskt genererade efterfrågan med respektive utan inslag av extremvärden har beräknats och erhållna skillnader redovisas i bilaga 3. I båda fallen avser redovisningen skillnader i procent för respektive fall av efterfrågestruktur, dvs tabellvärdena avser beräknade standardavvikelser för fallet att extremvärden ingår minus beräknade standardavvikelser för fallet att extremvärden inte ingår i förhållande till beräknade standardavvikelser för fallet att extremvärden ingår uttryckt i procent. Motsvarande beräkningar ligger bakom tabellvärdena för säkerhetslager. Tabellelementen kan därför tolkas som med hur många procent standardavvikelsena respektive säkerhetslagren skulle kunna reduceras om man eliminerar de extrema efterfrågevärdena från efterfrågehistoriken. Bilaga 3 avser procentuella skillnader vid

ledtider mellan 10 och 40 dagar och vid en fast inleveranskvantitet motsvarande en medelefterfrågan på 20 dagar respektive skillnader vid inleveranskvantiteter motsvarande 10 till 40 dagars medelefterfrågan och vid en leveranstid på 20 dagar.

Som framgår av bilaga 3 kan såväl standardavvikelser som säkerhetslager reduceras avsevärt genom att inte inkludera extremvärden i beräkningarna. Möjlig reduktion ligger i storleksordningen 75 % eller mer för standardavvikelser och 85 % eller mer för säkerhetslager för samtliga ledtidsoptioner. Säkerhetslagret påverkas sålunda mer än standardavvikelsen. En viss ökning av möjlig reduktion av standardavvikelser med ökande efterfrågevariation kan identifieras, likaså en viss minskning av säkerhetslagerreduktionen med ökande efterfrågevariation. Däremot föreligger inga skillnader av intresse med avseende på olika långa ledtider. Samma förhållanden gäller med avseende på varierande orderstorlekar. Anledningen till att den procentuella skillnaden av säkerhetslagret för efterfrågestruktur 1 och orderkvantitet motsvarande 40 dagars efterfrågan blir större än 100 % är att säkerhetslagret blir negativt när extremvärden exkluderas.

På motsvarande sätt har beräkningar och jämförelser gjorts med avseende på de servicenivåer som erhålls med och utan förekomst av extremvärden. Resultaten av dessa jämförelser visas i form av differenser i procentenheter i tabell 8 och 9. Dessa differenser uttrycker hur många procentenheter servicenivån förändras om man inte låter extremt stora order administreras och levereras via lager. Tabell 8 avser förändringar vid fast inleveranskvantitet och varierande ledtid. Samtliga förändringar är statistiskt signifikanta på 0,5 %-nivån.

Tabell 8 Förändring av erhållna servicenivåer i procentenheter genom eliminering av extremt stora kundorder från att administreras och levereras via lager vid en inleveranskvantitet motsvarande 20 dagars medelefterfrågan

| <i>Ledtid</i> | <i>Efterfrågestruktur 1</i> | <i>Efterfrågestruktur 2</i> | <i>Efterfrågestruktur 3</i> |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 10 dagar | + 1,1 | + 3,8 | + 4,9 |
| 20 dagar | + 1,0 | + 2,8 | + 2,8 |
| 30 dagar | + 0,8 | + 2,3 | + 2,5 |
| 40 dagar | + 0,7 | + 2,0 | + 4,1 |

Tabell 8 visar att man får klart högre servicenivåer om order som medför extrema efterfrågevärden exkluderas från lagerstyrningen. Man kan också notera att erhållna servicenivåer ökar mer ju kortare ledtiderna är. Detta resultat är förväntat eftersom extrema efterfrågevärden representerar en mindre del av den totala ledtidsefterfrågan vid långa ledtider. Erhållna servicenivåer ökar också mer från efterfrågestruktur 1 till 3. Detta innebär emellertid inte att erhållna servicenivåer ökar med ökande efterfrågevariation. I stället beror ökningen på att de kvantiteter som extremvärdena representerar utgör en klart större andel av efterfrågan i övrigt för efterfrågestrukturerna 2 och 3 än för efterfrågestruktur 1. Att förändringen vid en ledtid på 40 dagar är större än förändringen vid kortare ledtider för efterfrågestruktur 3 tolkas som att den påverkan som extremvärdenas andel av totalefterfrågan har är större än den påverkan som en längre ledtid har

I tabell 9 visas motsvarande förändringar vid fast ledtid och varierande inleveranskvantitet. Samtliga förändringar utom det fetstilsmärkta för fallet med en orderkvantitet motsvarande 70 dagars efterfrågan och efterfrågestruktur 1 är statistiskt signifikanta på

0,5%-nivån. Även i det här fallet blir förändringarna i servicenivåer större för efterfrågestruktur 3 än för efterfrågestruktur 2 och 1 med undantag för fallet med 10 dagars inleveranskvantitet och efterfrågestruktur 3. Förklaringen är den samma som för tabell 8. Resultaten visar också att förändringen minskar med ökande kvantiteter på inleveransorderorder med undantag för fallen med efterfrågestruktur 3. Att förändringen blir mindre med ökande orderkvantiteter kan förklaras av att stora orderkvantiteter leder till färre bristtillfällen som har påverkan på erhållen servicenivå och att stora inleveranskvantiteter i större utsträckning kan klara av leverans av stora kundorderkvantiteter. Att inga skillnader kan noteras för efterfrågestruktur 3 beror på att med den låga medelefterfrågan som finns i det här fallet blir inte enstaka inleveranser stora nog för att klara av leveranser av stora kundorder.

Tabell 9 Förändring av erhållna servicenivåer i procentenheter genom eliminering av extremt stora kundorder från att administreras och levereras via lager vid en ledtid på 20 dagar

| <i>Inleveranskvantitet</i> | <i>Efterfrågestruktur 1</i> | <i>Efterfrågestruktur 2</i> | <i>Efterfrågestruktur 3</i> |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 10 dagar | + 1,4 | + 3,4 | + 2,6 |
| 30 dagar | + 0,8 | + 2,4 | + 3,2 |
| 50 dagar | + 0,6 | + 1,9 | + 3,1 |
| 70 dagar | + 0,3 | + 1,6 | + 3,2 |

Resultaten från beräkningar och jämförelser på fallföretagens efterfrågedata redovisas i tabell 10. Standardavvikelse- och säkerhetslagerresultaten avser skillnader i procent med och utan förekomst av extremvärden, dvs tabellvärdena avser beräknad standardavvikelse när extremvärden ingår minus beräknad standardavvikelse när extremvärden inte ingår i förhållande till beräknad standardavvikelse när extremvärden ingår uttryckt i procent. Säkerhetslagervärden har beräknats på motsvarande sätt. Tabellelementen uttrycker därför med hur många procent standardavvikelsen respektive säkerhetslagret skulle kunna reduceras om man eliminerar de extrema efterfrågevärdena från efterfrågehistoriken.

Resultaten med avseende på de förändringar i servicenivåer som erhålls med och utan förekomst av extremvärden visas i form av differenser i procentenheter. Dessa differenser uttrycker hur många procentenheter servicenivån förändras om man avstår från att låta extremt stora order administreras och levereras via lager. För såväl standardavvikelse som säkerhetslager och servicenivåer avser förändringarna förändringar för de delar av respektive artikelsortiment för vilka extremvärden eliminerats, inte för sortimentet som helhet.

Tabell 10 Förändringar i standardavvikelse, säkerhetslager och erhållna servicenivåer genom eliminering av extremt stora kundorder

| | <i>Företag A</i> | <i>Företag B</i> | <i>Företag C1</i> | <i>Företag C2</i> | <i>Företag D</i> |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Standardavvikelse | 39 % | 53 % | 37 % | 40 % | 44 % |
| Säkerhetslager | 52 % | 65 % | 67 % | 53 % | 87 % |
| Servicenivå | 1,6 | 3,8 | 2,1 | 3,5 | 1,0 |

De förändringar som eliminering av extrema efterfrågevärden medför för de fyra fallföretagen är i linje med de resultat som erhållits med avseende på den teoretiskt genererade efterfrågan även om de storleksmässigt är något mindre. Storleken på de procentuella skillnaderna är emellertid inte helt jämförbara eftersom storleken på och omfattningen av extremvärden inte är den samma i de båda fallen. Av samma skäl går det inte att dra några slutsatser av skillnaderna mellan de olika företagen. På samma sätt som för den teoretiskt genererade efterfrågan är säkerhetslagerförändringarna större än förändringarna av standardavvikelser. Samtliga förändringar är statistiskt signifikanta på 0,5%-nivån.

5 Effekter av stickprovsstorlek på noggrannhet och variation vid uppskattning av standardavvikelser

Det är i företag vanligt att efterfrågevariationers standardavvikelser uppskattas med utgångspunkt från historiskt månatliga utleveransvolymerna. Ofta används ett års historik i de beräkningar som ligger till grund för dessa uppskattningar. Ett typiskt stickprov innehåller med andra ord endast tolv efterfrågevärden och kan därför inte givet förväntas ge en acceptabel noggrannhet. Mot denna bakgrund avser forskningsfrågorna 3, 4 och 5 hur stora stickproven bör vara för att man skall kunna få en rimlig noggrannhet och rimligt stora intervall inom vilka uppskattade standardavvikelser varierar. Forskningsfrågorna behandlas i nedanstående avsnitt.

5.1 Teoretiska utgångspunkter

För att med utgångspunkt från en önskad servicenivå kunna dimensionera säkerhetslager krävs information om prognosfelens variation alternativt hur efterfrågan varierar runt sitt medelvärde. Standardavvikelse brukar användas som ett mått på sådana variationer. Beräkning av standardavvikelser baseras emellertid av naturliga skäl på ett begränsat antal historiska värden, dvs den baseras på ett stickprov. Förehållandet är praktiskt taget inte alls uppmärksammat. Vaughan (1995) och Krupp (1997) tillhör de få som påpekat detta faktum. Av facklitteraturen får man snarast ett intryck av att den standardavvikelse som beräknas är ett värde som tämligen exakt och tidsinvariant beskriver storleken på prognosfel alternativt efterfrågevariationer.

Om man uppfattar den beräknade standardavvikelsen på det här sättet kan man förledas att tro att man uppnår den servicenivå som man dimensionerar lagret för. Vaughan (1995) menar att detta är en vanlig företeelse. Den servicenivå som man dimensionerat lagret för kommer endast att uppnås som ett medelvärde i det långa loppet. Under enskilda perioder kommer standardavvikelsen att variera kraftigt och ge upphov till servicenivåer som både ligger högt över och långt under den önskade servicenivån. Mattsson (2003) har visat hur servicenivåerna kan variera över tiden för ett antal olika fall med varierande omsättning.

Det finns en rad skäl till att en stickprovsbaserad standardavvikelse varierar över tiden och därmed att erhållen servicenivå varierar över tiden. Exempelvis medför förändringar i orderstruktur och kundstruktur att efterfrågevariationerna förändras. Likaså har förekomst av systematiska efterfrågeändringar som trender och säsongvariationer en in-

verkan på den kortsiktiga prognosfels- alternativt efterfrågefördelning som standardavvikelsen skall representera. En viktig anledning till att standardavvikelsen varierar är också att det stickprov som tas från efterfrågehistoriken i regel är mycket litet och innehåller få historiska efterfrågevärden. Används glidande medelvärde som prognosmetod är det vanligt att prognosfelsvariationen beräknas per år och innefattande tolv perioder, dvs det är ett stickprov med endast tolv värden. Används exponentiell utjämning för att beräkna MAD och därmed standardavvikelsen är det vanligt att man sätter utjämningskonstanten α till 0,1. Detta motsvarar nitton perioder vid användning av glidande medelvärden.

Hojati (1996) har noterat förhållandet att det stickprov som tas vid beräkning av standardavvikelser är mycket litet. Han har därför föreslagit att man skall använda t-fördelning i stället för normalfördelning vid dimensionering av säkerhetslager. Denna fördelning är ofta använd av statistiker när antalet observationer i ett stickprov är litet. Med hjälp av simulering har Hojati visat att variationerna i erhållna servicenivåer som en effekt av varierande värden på standardavvikelser kan reduceras genom att använda t-fördelning.

5.2 Analysmodeller och analysdata

5.2.1 Antal värden i ett stickprov

Ju större stickprov man tar, desto noggrannare uppskattning av standardavvikelsen kan man förvänta och desto mindre kommer den att variera över tiden när efterfrågestrukturen och efterfrågans storlek i medeltal är oförändrad. Hur antalet månadsvärden i stickprovet påverkar noggrannheten vid uppskattning av efterfrågevariationers standardavvikelser har beräknats med utgångspunkt den teoretiskt genererade efterfrågan som beskrivits i kapitel 2 och den efterfrågehistorik som erhållits från de fyra fallföretagen. I samtliga fall har beräkningarna omfattar 6000 dagars efterfrågan.

Från de dagliga efterfrågevärdena har efterfrågan per månad beräknats för vart och ett av de studerade teoretiska efterfrågefallen respektive företagsfallen. Beräkningarna har gett 300 månatliga efterfrågevärden per artikel. Baserat på dessa månadsvärden har standardavvikelser beräknats för olika många ingående värden från 5 till 300 i steg om 5 värden. Den standardavvikelse som erhålls om alla 300 månadsvärdena ingår i beräkningarna betraktas som den korrekta standardavvikelsen för den efterfrågefördelning som definieras av de 6000 dagsvärdena. Varje beräknad standardavvikelse jämförs därmed med denna standardavvikelse, i fortsättningen kallat riktvärde. Skillnaden mellan beräknad standardavvikelse och riktvärdet beräknas för varje antal ingående perioder. Det minsta antal ingående månadsvärden som ger en skillnad på mindre än 10 procent definieras som kritiskt antal månadsvärden i ett stickprov för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 procent.

För att få en uppfattning om inom vilka felmarginaler uppskattade standardavvikelser ligger vid några olika värden på stickprovsstorlekar har även procentuella skillnader mellan riktvärden och värden för stickprovsstorlekar på 10, 30 respektive 50 efterfrågevärden beräknats.

5.2.2 Variationsintervall för standardavvikelser och servicenivåer

Att använda sig av stickprov vid uppskattning av standardavvikelser leder till att de uppskattade standardavvikelsena varierar över tiden vid periodiskt återkommande nya beräkningar. Detta gäller även om efterfrågestruktur och medelefterfrågan förblir oförändrad. Variationerna i standardavvikelser leder i sin tur till att säkerhetslagren varierar och som en konsekvens av detta att erhållna servicenivåer varierar. Eftersom tolv månadsvärden är vanligt förekommande har analysen av hur stora variationer man kan förvänta sig genomförts för denna stickprovsstorlek. Analysen har genomförts med utgångspunkt den teoretiskt genererade efterfrågan som beskrivits i kapitel 2 och den efterfrågehistorik som erhållits från de fyra fallföretagen. I samtliga fall har beräkningarna omfattar 6000 dagars efterfrågan.

För den teoretiskt genererade efterfrågan har analyser genomförts för samtliga efterfrågestrukturer, dels för fallen med ledtider på 2, 5, 10, 20 respektive 40 dagar vid en orderkvantitet motsvarande 20 dagars medelefterfrågan, dels för fallen med orderkvantiteter motsvarande 5, 20 respektive 60 dagars medelefterfrågan vid en leveranstid på 20 dagar. I samtliga fall har variationsintervall beräknats för standardavvikelser och servicenivåer från de medelvärden och standardavvikelser som erhållits för de 20 artiklar som ingår i varje efterfrågestruktur och med utgångspunkt från tolv månadsefterfrågevärden. För beräkning av erhållna servicenivåer har säkerhetslagren dimensionerats för en fyllnadsgradsservicenivå på 98 %.

Det intervall inom vilka 95 % av alla värden ligger för en stokastisk variabel som kan antas vara normalfördelad kan beräknas med hjälp av följande formel.

$$\pm 1.96 * s$$

där s = standardavvikelsen för variabeln

I de beräkningar som genomförts har variationsintervallen uttryckts som procent av medelvärden för standardavvikelser och som procentenheter kring medelvärden för servicenivåer. För servicenivåer har också den störst förekommande skillnaden mellan erhållna servicenivå och den i medeltal erhållna beräknats.

Med avseende på de fyra fallföretagens efterfrågevärden har motsvarande beräkningar också genomförts. Variationsintervallen har beräknats per rörlighetsklass för respektive fallföretag med samma formel som ovan och med antal observationer motsvarande det antal artiklar som finns inom respektive rörlighetsklass.

5.2.3 Variationer i standardavvikelseuppskattningar som funktion av stickprovets storlek

Som framgått under avsnitt 5.2.1 blir uppskattningar av standardavvikelser korrektare ju fler efterfrågevärden som ingår in stickprovet. Det finns skäl att anta att större stickprov inte endast leder till noggrannare uppskattningar utan även till att de över tiden också kommer att variera mindre. Hur mycket standardavvikelsen varierar som funktion av antalet månadsvärden i stickprovet har beräknats med utgångspunkt den teoretiskt genererade efterfrågan som beskrivits i kapitel 2 och den efterfrågehistorik som erhållits från de fyra fallföretagen.

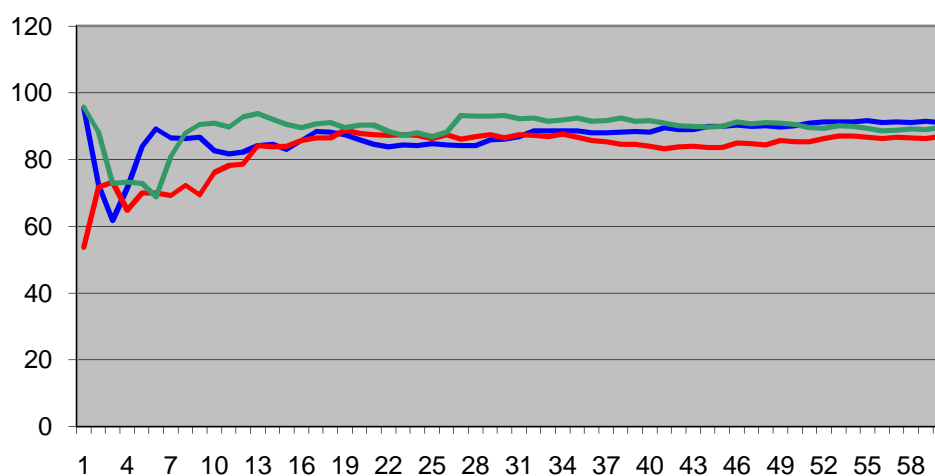
Från de dagliga efterfrågevärdena har efterfrågan per månad motsvarande 20 dagar beräknats för vart och ett av de studerade teoretiska efterfrågefallen samt från de olika fallföretagens efterfrågehistorik. Beräkningarna har gett 300 efterfrågevärden per artikel från de 6000 dagar som efterfrågehistoriken omfattar. Baserat på dessa månadsvärden har standardavvikelser beräknats för 12, 24, 36 respektive 48 ingående månadsvärden. Från dessa beräkningar har medelvärden för alla artiklar per efterfrågestruktur för de teoretiskt genererade efterfrågevärdena och per rörlighetsklass för fallföretagens efterfrågevärden beräknats.

För att beräkningarna i alla alternativen skall omfatta en lika lång period av efterfrågehistorik har de begränsats till att omfatta de 252 sista månaderna perioderna eftersom 48 månader faller bort som ofullständiga i 48 månadersfallet. Standardavvikelser för de successivt beräknade standardavvikelseerna har därefter beräknats för respektive fall och uttryckts som procent i förhållande till standardavvikelseernas medelvärden.

5.3 Resultat och analyser

5.3.1 Antal värden i ett stickprov

Hur antalet månadsvärden i ett stickprov påverkar uppskattningen av efterfrågevariationernas standardavvikelse illustreras för tre olika artiklar med efterfrågestruktur 1 i figur 2. X-axeln avser antal månadsvärden som inkluderats i stickprovet och y-axeln standardavvikelsens storlek. Varje enhet på x-axeln avser 5 månadsvärden.



Figur 2 Beräknad standardavvikelse som funktion antalet månadsvärden i stickprovet för tre artiklar tillhörande efterfrågestruktur 1

Som framgår av figuren kan standardavvikelsen i vissa fall bli för stor och i andra för liten om man inkluderar för få värden i stickprovet. Det antal månadsvärden för efterfrågan som ett stickprov måste innehålla för att standardavvikelsen skall ligga inom en felmarginal på 10 % i förhållande till det ovan definierade riktvärdet redovisas för den teoretiskt genererade efterfrågan i tabell 11. Värdena utgör medelvärden för de 20 artiklar som ingår i respektive efterfrågestruktur. Tabellen visar också den absoluta avvikelsen i procent mellan riktvärden och standardavvikelseernas medelvärden för de ingående

20 artiklarna när 10, 30 respektive 50 månadsvärden ingår i stickproven för de olika efterfrågestrukturerna.

Tabell 11 Kritiskt antal månadsvärden i stickprov för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 % och felmarginaler i procent vid några olika antal månadsvärden i stickprovet avseende teoretiskt genererade efterfrågevärden

| <i>Efterfrågestruktur</i> | <i>Kritiskt antal månadsvärden i stickprov</i> | <i>Avvikelse i % vid 10 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % vid 30 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % vid 50 månadsvärden</i> |
|---------------------------|--|--|--|--|
| 1 | 41 | 17 | 12 | 10 |
| 2 | 40 | 15 | 9 | 6 |
| 3 | 54 | 19 | 10 | 7 |
| 4 | 79 | 19 | 12 | 11 |
| 5 | 82 | 29 | 20 | 14 |

Av tabellen framgår att det krävs mer än tre års efterfrågehistorik om beräkningen av standardavvikelser baseras på månatliga efterfrågevärden och man vill ligga inom en felmarginal på 10 %. Det framgår också att det krävs större stickprov ju mer efterfrågan varierar. Detta är ett förväntat resultat. Det kan tilläggas att samtidigt som det ställs krav på större stickprov och därmed tillgång till längre efterfrågehistorik för att uppnå acceptabla felmarginaler betyder också noggrannheten mer vid fall med stora efterfrågevariationer enligt avsnitt 3.3 ovan.

Erhållna resultat avseende fallföretagens efterfrågedata visas i tabell 12. Tabellen visar på motsvarande sätt som ovan kritiskt antal månadsvärden för att uppskattade standardavvikelser skall ligga inom 10 procent felmarginal och vilka felmarginaler man får om stickproven omfattar 10, 30 respektive 50 månadsvärden. Tabellvärdena avser medelvärden för samtliga artiklar tillhörande respektive rörlighetsklass och totala medelvärden för samtliga artiklar.

Tabell 12 Kritiskt antal månadsvärden i stickprov för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 % och felmarginaler i procent vid några olika antal månadsvärden i stickprovet avseende efterfrågevärden från fallföretag

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Kritiskt antal månadsvärden i stickprov</i> | <i>Avvikelse i % 10 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % 30 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % 50 månadsvärden</i> |
|------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Företag A | | | | |
| 1 | 50 | 16 | 10 | 6 |
| 2 | 56 | 19 | 9 | 7 |
| 3 | 72 | 25 | 12 | 9 |
| 4 | 93 | 28 | 17 | 11 |
| Totalt | 67 | 22 | 12 | 8 |

Tabell 12 fortsättning Kritiskt antal månadsvärden i stickprov för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 % och felmarginaler i procent vid några olika antal månadsvärden i stickprovet avseende efterfrågevärden från fallföretag

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Kritiskt antal månadsvärden i stickprov</i> | <i>Avvikelse i % 10 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % 30 månadsvärden</i> | <i>Avvikelse i % 50 månadsvärden</i> |
|------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Företag B | | | | |
| 1 | 60 | 22 | 11 | 9 |
| 2 | 70 | 19 | 10 | 8 |
| 3 | 81 | 23 | 13 | 10 |
| 4 | 102 | 29 | 18 | 15 |
| Totalt | 77 | 23 | 13 | 10 |
| Företag C1 | | | | |
| 1 | 57 | 22 | 10 | 8 |
| 2 | 60 | 18 | 11 | 9 |
| 3 | 95 | 29 | 17 | 14 |
| 4 | 111 | 37 | 19 | 13 |
| Totalt | 86 | 28 | 15 | 11 |
| Företag C2 | | | | |
| 1 | 46 | 20 | 11 | 8 |
| 2 | 59 | 17 | 12 | 8 |
| 3 | 72 | 23 | 14 | 10 |
| 4 | 91 | 30 | 17 | 13 |
| Totalt | 74 | 25 | 15 | 10 |
| Företag D | | | | |
| 1 | 51 | 19 | 11 | 8 |
| 2 | 63 | 18 | 12 | 8 |
| 3 | 69 | 17 | 12 | 9 |
| 4 | 101 | 33 | 18 | 13 |
| Totalt | 76 | 24 | 14 | 10 |

Resultaten från fallföretagens efterfrågevärden är likartade de som erhöles för de teoretiskt genererade efterfrågevärdena. Det framgår exempelvis tydligt att det krävs klart större stickprov ju lågrörligare en artikel är. En möjlig slutsats från resultaten är att det för de fyra fallföretagen totalt sett krävs mer än fem års efterfrågehistorik för att uppnå en felmarginal på storleksordningen tio procent om beräkningen av standardavvikelser baseras på månadsefterfrågan.

5.3.2 Variationsintervall för standardavvikelser och servicenivåer

De variationsintervall inom vilka 95 % av beräknade standardavvikelser och erhållna servicenivåer kan förväntas ligga för de teoretiskt genererade efterfrågefallen redovisas i tabell 13, 14 och 15. Tabell 13 visar variationsintervallen i (+/-)-procent av medelstandardavvikelsen för standardavvikelser som funktion av efterfrågestruktur. Dessa variationsintervall är oberoende av ledtidens längd och storleken på inleveranskvantiteter.

Tabell 13 Variationsintervall för standardavvikelser för olika efterfrågestrukturer i procent

| Efterfrågestruktur | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Variationsintervall | +/- 41,7% | +/-40,7% | +/-42,5% | +/-46,5% | +/-65,5% |

Av tabellen framgår att 95 % av alla standardavvikelser varierar inom ett intervall på från storleksordningen +/- 40 % till +/- 65 % av medelstandardavvikelsen. Ju mer efterfrågan varierar, desto större blir av förklarliga skäl variationsintervallet.

I tabell 14 visas variationsintervallen för ledtiderna 2, 5, 10, 20 respektive 40 dagar vid en orderkvantitet som motsvarar 20 dagars efterfrågan och i tabell 15 intervallen för orderkvantiteter motsvarande 5, 20 respektive 60 dagars medelefterfrågan vid en ledtid på 20 dagar. Dessutom visas i båda tabellerna de maximala avvikelserna från medelservicenivån. Standardavvikelser och servicenivåer har beräknats som rullande årsmedelvärden. Intervallen för erhållna servicenivåer är uttryckta i procentenheter.

Tabell 14 Variationsintervall i procentenheter för servicenivåer vid olika efterfrågestrukturer, olika ledtider och en inleveransstorlek motsvarande 20 dagars medelefterfrågan samt maximala avvikelser från medelservicenivåer

| | Ledtider i dagar | | | | |
|--------------------------|------------------|------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Efterfrågestruktur 1 | | | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,3 | 3,8 |
| Max servicenivåavvik | 1,9 | 2,4 | 2,9 | 3,5 | 5,7 |
| Efterfrågestruktur 2 | | | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 3,4 | 5,2 |
| Max servicenivåavvik | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,9 | 8,0 |
| Efterfrågestruktur 3 | | | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 4,7 | 5,3 | 5,9 | 7,4 | 11,0 |
| Max servicenivåavvik | 6,7 | 8,0 | 9,3 | 12,0 | 19,6 |
| Efterfrågestruktur 4 | | | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 12,6 | 12,7 | 13,2 | 15,0 | 20,3 |
| Max servicenivåavvik | 19,6 | 19,7 | 18,8 | 25,0 | 33,8 |
| Efterfrågestruktur 5 | | | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 26,8 | 27,8 | 26,9 | 26,4 | 25,2 |
| Max servicenivåavvik | 32,6 | 39,7 | 42,3 | 44,1 | 48,1 |

Som framgår av tabell 14 ökar variationsintervallen för servicenivåer med ökande efterfrågevariation och i viss utsträckning också med ledtidens längd. Den maximala avvikelserna från medelservicenivån ökar påtagligt med ökande efterfrågevariation. Den ökar också med ökande ledtider. Med avseende på variationer i servicenivåer förorsakar följaktligen efterfrågefall med stora efterfrågevariationer och långa ledtider störst problem.

Motsvarande resultat för fallet med olika orderkvantiteter och en ledtid på 20 dagar visas i tabell 15. Som framgår av tabellen ökar variationsintervallen för servicenivåer även i det här fallet med ökande efterfrågevariation men minskar med ökande inleveransorderkvantiteter. Även den maximala avvikelserna från medelservicenivån ökar på-

tagligt med ökande efterfrågevariation. Däremot minskar den med ökande inleveransorderkvantiteter. Med avseende på erhållna servicenivåer förorsakar följaktligen efterfrågefall med stora efterfrågevariationer och små inleveranskvantiteter störst problem.

Tabell 15 Variationsintervall i procentenheter för servicenivåer vid olika efterfrågestrukturer, olika inleveransstorlekar och en ledtid på 20 dagar samt maximala avvikelser från medelservicenivåer

| | <i>Orderkvantitet i dagar</i> | | |
|--------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|
| | <i>5</i> | <i>20</i> | <i>60</i> |
| Efterfrågestruktur 1 | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 3,3 | 2,3 | 2,0 |
| Max servicenivåavvik | 4,8 | 3,5 | 2,9 |
| Efterfrågestruktur 2 | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 4,5 | 3,4 | 2,9 |
| Max servicenivåavvik | 7,0 | 4,9 | 4,0 |
| Efterfrågestruktur 3 | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 9,9 | 7,4 | 5,6 |
| Max servicenivåavvik | 17,3 | 12,0 | 8,4 |
| Efterfrågestruktur 4 | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 22,5 | 15,0 | 11,9 |
| Max servicenivåavvik | 32,5 | 25,0 | 18,9 |
| Efterfrågestruktur 5 | | | |
| Servicenivåintervall +/- | 26,2 | 26,4 | 23,5 |
| Max servicenivåavvik | 45,9 | 44,1 | 39,7 |

Motsvarande resultat för fallföretagens efterfrågan redovisas i tabell 16. Resultaten är sammanställda per rörlighetsklass för respektive företag. Tabellelementen avser intervall på formen +/- i förhållande till medelvärden.

Resultaten från fallföretagen uppvisar samma mönster som de resultat som erhöles för de teoretiskt genererade efterfrågefallen. För samtliga företag ökar variationsintervallen för erhållna servicenivåer med ökande rörlighetsklass, dvs för artiklar med få uttag per år och därmed låg rörlighet. Samma förhållanden gäller för maximala servicenivåavvikelser från medelservicenivåer.

Tabell 16 Variationsintervall för standardavvikelser och servicenivåer per rörlighetsklass för de fyra olika fallföretagens efterfrågan samt maximala avvikelser från medelservicenivåer

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Standardavvikelseintervall i procent</i> | <i>Servicenivåintervall i procent-enheter</i> | <i>Största servicenivåavvikelse från medel</i> |
|------------------------|---|---|--|
| Företag A | | | |
| 1 | 43,0 | 7,0 | 11,0 |
| 2 | 46,3 | 9,2 | 15,1 |
| 3 | 54,2 | 16,2 | 28,0 |
| 4 | 78,2 | 21,5 | 41,6 |
| Företag B | | | |
| 1 | 41,3 | 7,0 | 10,7 |
| 2 | 40,8 | 9,4 | 14,9 |
| 3 | 64,8 | 14,2 | 23,6 |
| 4 | 76,4 | 23,6 | 38,8 |
| Företag C1 | | | |
| 1 | 44,6 | 4,9 | 8,0 |
| 2 | 59,5 | 9,1 | 15,3 |
| 3 | 87,7 | 25,5 | 33,1 |
| 4 | 69,0 | 35,7 | 43,4 |
| Företag C2 | | | |
| 1 | 41,0 | 3,8 | 5,9 |
| 2 | 39,8 | 6,3 | 9,7 |
| 3 | 56,0 | 13,9 | 19,6 |
| 4 | 76,9 | 26,8 | 35,0 |
| Företag D | | | |
| 1 | 42,0 | 5,5 | 9,1 |
| 2 | 50,4 | 8,0 | 13,2 |
| 3 | 54,0 | 11,8 | 20,5 |
| 4 | 72,8 | 23,4 | 40,7 |

5.3.3 Variationer i standardavvikelseuppskattningar som funktion av stickprovets storlek

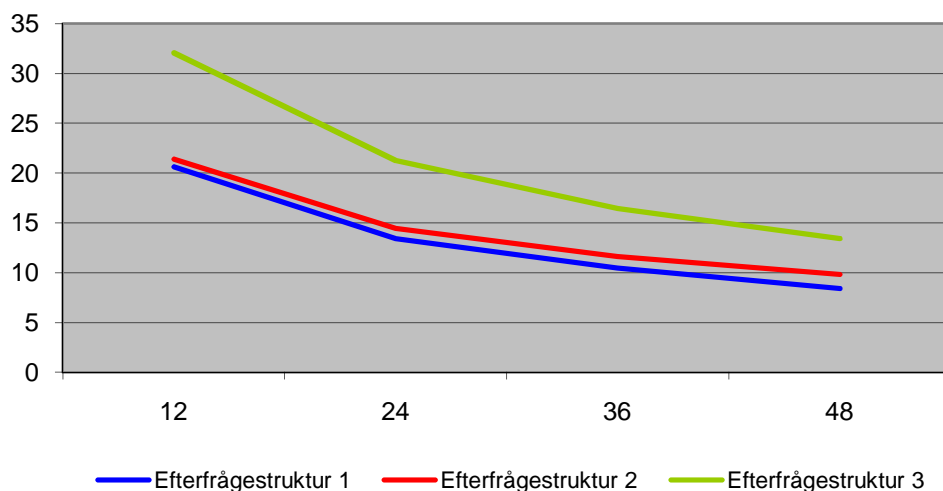
Resultaten från beräkningarna av hur standardavvikelsen varierar med det antal månader som ingår i stickprovet med avseende på de teoretiska efterfrågevärdena framgår av tabell 17. Värdena avser hur stora standardavvikelserna för efterfrågans standardavvikelser är i procent av deras medelvärden. Värden från fyra stickprovstorlekar redovisas; stickprov med 12 månadsvärden, med 24 månadsvärden, med 36 månadsvärden samt stickprov med 48 månadsvärden.

Tabell 17 Variationer i standardavvikelser uttryckta som standardavvikelser i procent av medelvärden vid olika stora stickprov för den teoretiskt genererade efterfrågan

| Efterfrågestruktur | 12 månads värden | 24 månads värden | 36 månads värden | 48 månads värden |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 20,6 | 13,4 | 10,5 | 8,4 |
| 2 | 20,6 | 14,1 | 11,2 | 9,5 |
| 3 | 21,4 | 14,4 | 11,6 | 9,8 |
| 4 | 23,4 | 16,1 | 13,1 | 11,1 |
| 5 | 32,1 | 21,3 | 16,5 | 13,4 |

Som framgår av tabellen minskar standardavvikelsevariationerna påtagligt vid ökande antal efterfrågevärden i de stickprov som standardavvikelseberäkningarna utgår från. Grovt räknat minskar variationerna till en tredjedel då stickprovet utökas från 12 värden till 48 värden. Förhållandena är desamma oavsett efterfrågestruktur. En viss ökning av variationer i standardavvikelser för efterfrågestrukturer med höga variationskoefficienter kan observeras. Den efterfrågestruktur som har störst variationskoefficienter, dvs efterfrågestruktur 5, uppvisar klart störst variationer i beräknade standardavvikelser.

En illustration av hur variationerna i standardavvikelser förändras med stickprovets storlek visas i figur 3. Kurvorna i figuren avser medelvärden för artiklar med efterfrågestruktur 1, 2 respektive 3



Figur 3 Variationer i standardavvikelser som funktion av antal månadsvärden i det stickprov som används vid beräkningarna

Resultaten från motsvarande beräkningar för de fyra fallföretagens efterfrågan framgår av tabell 18. Samma stickprovsstorlekar som för de teoretiskt genererade efterfrågevärdena har använts. Beräknade variationer i form av standardavvikelser i procent av efterfrågestandardavvikelsevariationernas medelvärden redovisas i det här fallet per rörlighetsklass.

Tabell 18 Variationer i standardavvikelser uttryckta som standardavvikelser i procent av medelvärden vid olika stora stickprov för efterfrågan från fallföretagen

| <i>Företag / Rörlighetsklass</i> | <i>12 månads värden</i> | <i>24 månads värden</i> | <i>36 månads värden</i> | <i>48 månads värden</i> |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Företag A | | | | |
| 1 | 21,6 | 14,9 | 11,9 | 10,0 |
| 2 | 23,5 | 16,5 | 13,0 | 10,9 |
| 3 | 26,0 | 18,2 | 14,4 | 12,1 |
| 4 | 34,8 | 24,4 | 19,2 | 15,8 |
| Företag B | | | | |
| 1 | 20,9 | 14,2 | 10,9 | 8,8 |
| 2 | 21,8 | 15,5 | 12,4 | 10,3 |
| 3 | 30,3 | 21,4 | 16,8 | 14,4 |
| 4 | 34,4 | 23,4 | 18,7 | 15,6 |
| Företag C1 | | | | |
| 1 | 21,8 | 14,7 | 11,7 | 9,8 |
| 2 | 29,9 | 20,8 | 16,9 | 14,7 |
| 3 | 41,0 | 29,6 | 24,3 | 21,2 |
| 4 | 35,6 | 25,2 | 20,3 | 17,6 |
| Företag C2 | | | | |
| 1 | 20,3 | 13,6 | 10,8 | 8,9 |
| 2 | 22,7 | 15,8 | 12,8 | 10,9 |
| 3 | 25,2 | 16,4 | 12,6 | 10,3 |
| 4 | 37,5 | 26,7 | 21,6 | 18,6 |
| Företag D | | | | |
| 1 | 21,2 | 14,3 | 11,3 | 9,6 |
| 2 | 25,5 | 17,7 | 14,3 | 12,1 |
| 3 | 25,3 | 17,1 | 13,8 | 11,8 |
| 4 | 33,2 | 23,4 | 18,9 | 15,1 |

Variationerna för standardavvikelser beräknade från fallföretagens efterfrågan för olika stora stickprov uppvisar i huvudsak samma mönster som motsvarande för den teoretiskt genererade efterfrågan även om minskningen av variationer vid övergång till större stickprov är något mindre. På motsvarande sätt som för efterfrågestrukturer med höga variationskoefficienter vid den teoretiskt genererade efterfrågan är variationerna för rörlighetsklassen med lägst rörlighet klart större än för övriga rörlighetsklasser. Detta är förväntat eftersom låg rörlighet innebär större variationer och därmed variationer i standardavvikelser.

6 Alternativa beräkningssätt

En förutsättning för att kunna dimensionera säkerhetslager så att man får en önskad servicenivå är att man känner till efterfrågans standardavvikelse under återanskaffningstiden, dvs under ledtiden för att fylla på lagret. För att åstadkomma detta kan man antingen utgå från efterfrågan per period med viss längd, exempelvis dag eller månad och periodlängdsjustera den till aktuell ledtid. Att beräkna standardavvikelsen under ledtid med utgångspunkt från en annan periodlängd än ledtid och därefter periodlängdsjustera

kan också innebära att variationen i en period i viss utsträckning tar ut variationer i efterföljande perioder, så kallad negativ korrelation. Brown (1967, sid 116) har visat att det i praktiken ofta uppstår sådana beroendeförhållanden och därmed korrelation om man baserar standardavvikelseberäkningen på prognosfel vid användning av exponentiell utjämning eller motsvarande metoder för att prognostisera i stället för på efterfrågevariationer. Beroendeförhållanden kan också uppstå om den prognosmetod som används inte i tillräcklig utsträckning tar hänsyn till systematiska efterfrågeförändringar av typ trend och säsongvariation (Brown, 1977, sid 150). Sådana brister bidrar till att autokorrelation uppstår och förstärks. Formel 3.2 kan då ge för små värden på prognosfelens standardavvikelse, speciellt i fallet med positiv korrelation.

Baserat på erfarenheter av i praktiskt tillämpning förekommande prognosfel argumenterar Plossl (1985, sid 113) för att koefficienten i formel 1 bör vara lika med 0,7. Även andra författare uppger att 0,7 kan vara ett lämpligt värde på koefficienten. Ursprungligen kommer värdet från det prognos- och lagerstyrningssystem, IMPACT, som IBM marknadsförde på 60-talet. Den empiri som ligger till grund för att välja 0,7 är emellertid tämligen bristfällig (Brown, 1977, sid 150).

Så som såväl den teoretiskt genererade efterfrågan som efterfrågan från fallföretagen genererats kan man utgå från att det inte föreligger någon autokorrelation. Vid beräkning av standardavvikelser från efterfrågevariationer kan man därför använda formel 2 ovan utan behov av att göra några korrigeringar.

6.2 Analysmodell och analysdata

För att studera hur periodlängdsjustering påverkar noggrannheten vid beräkning av standardavvikelser har följande tre olika beräkningssätt använts.

- 1 Beräkning av ledtidsefterfrågan för successiva ej överlappande intervall av ledtidslängd och därefter beräkning av standardavvikelsen för de beräknade ledtidsefterfrågevärdena.
- 2 Beräkning av standardavvikelser för efterfrågan per dag och därefter ledtidsjustering med hjälp av formel 2 i föregående avsnitt.
- 3 Beräkning av summa efterfrågan per månad, dvs 20 dagar, och därefter standardavvikelser baserat på dessa månadsvärden. Standardavvikelserna för månadsvärden har därefter ledtidsjusterats med hjälp av formel 2 i föregående avsnitt.

Samtliga beräkningar baseras på 2400 dagars efterfrågan för var och en av de tjugo artiklar som tillhör efterfrågestruktur 1, 2, 3, 4 respektive 5. För den teoretiskt genererade efterfrågan innebär detta att för beräkningssätt 1 baseras stickprovet på 1200 värden när ledtiden är 2 dagar, på 480 värden när ledtiden är 5 dagar, på 240 värden när ledtiden är 10 dagar, på 120 värden när ledtiden är 20 dagar samt på 60 värden när ledtiden är 40 dagar. För beräkningssätt 2 baseras stickproven på 2400 värden och för beräkningssätt 3 på 120 värden. Därmed är samtliga stickprov med visst undantag för beräkningssätt 1 vid en ledtid på 40 dagar större än det kritiska antal som enligt avsnitt 5 krävs för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 %. Beräkningarna kan därför betraktas som jämförbara med avseende på noggrannhet.

Även beräkningarna med avseende på den efterfrågehistorik som erhållits från fallföretagen baseras på 2400 dagars efterfrågan. Eftersom praktiskt taget alla ledtider är mindre än fyrtio dagar för fallföretagens artiklar kommer även i de här fallen samtliga stickprov att omfatta fler än de värden som krävs för att uppnå en felmarginal på mindre än 10 % och beräkningarna kan betraktas som jämförbara med avseende på beräkningsnoggrannhet.

Jämförelser har gjorts mellan dags- och månadsbaserad beräkning respektive mellan dags och ledtidsbaserad beräkning. För den teoretiskt genererade efterfrågan har medelvärden beräknats per efterfrågestruktur och ledtid och för efterfrågan från fallföretagen per rörlighetsklass. I båda fallen har beräknade skillnader signifikanstestats med parvisa t-tester.

6.2 Resultat och analyser

Resultaten från de genomförda beräkningarna av skillnader mellan olika beräkningssätt för att uppskatta standardavvikelser redovisas med avseende på den teoretiskt genererade efterfrågan i tabell 19 för skillnader mellan dags- och månadsbaserade standardavvikelser och i tabell 20 för skillnader mellan dags- och ledtidsbaserade standardavvikelser. Tabelelementen avser skillnader i procent i förhållande till den dagsbaserade standardavvikelsen.

Tabell 19 Skillnader i standardavvikelser mellan dags- och månadsbaserad beräkning i procent och beräknade som månadsbaserad standardavvikelse minus dagsbaserad i förhållande till dagsbaserad i procent

| <i>Efterfrågestruktur</i> | <i>Ledtid 2 dagar</i> | <i>Ledtid 5 dagar</i> | <i>Ledtid 10 dagar</i> | <i>Ledtid 20 dagar</i> | <i>Ledtid 40 dagar</i> |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 2 | -0,5 | -0,5 | -0,5 | -0,5 | -0,5 |
| 3 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -0,4 |
| 4 | -0,2 | -0,2 | -0,2 | -0,2 | -0,2 |
| 5 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,7 | -0,7 |

Som framgår av tabell 19 är skillnaderna mellan dags- och månadsbaserade standardavvikelser för praktiskt bruk försumbara. Skillnaderna är oberoende av ledtidens längd. I inget av fallen är de signifikanta på 0,5%-nivån.

Tabell 20 Skillnader i standardavvikelser mellan dags- och ledtidsbaserad beräkning i procent och beräknade som ledtidsbaserad standardavvikelse minus dagsbaserad i förhållande till dagsbaserad i procent

| <i>Efterfrågestruktur</i> | <i>Ledtid 2 dagar</i> | <i>Ledtid 5 dagar</i> | <i>Ledtid 10 dagar</i> | <i>Ledtid 20 dagar</i> | <i>Ledtid 40 dagar</i> |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,2 | -0,2 | -0,6 | 0,1 | 0,2 |
| 2 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | -0,5 | -0,5 |
| 3 | -0,2 | 0,1 | 0,2 | -0,4 | -0,3 |
| 4 | -0,3 | -0,5 | 0,0 | -0,2 | -0,1 |
| 5 | 0,0 | -0,2 | -0,5 | -0,7 | -0,1 |

Samma förhållanden gäller principiellt för skillnader mellan dags- och ledtidsbaserade standardavvikelser enligt tabell 20. Inte heller i detta fall föreligger några signifikanta skillnader på 0,5%-nivån. Med avseende på beräkningsnoggrannhet om stickproven är tillräckligt stora föreligger följaktligen inga skillnader mellan de olika beräkningssätten. Man kan därför välja beräkningssätt med utgångspunkt från vad som är praktiskt möjligt och så att man kan få tillräckligt stora stickprov.

Tabell 21 Skillnader i standardavvikelser mellan dags- och månadsbaserad beräkning i procent för fallföretagen och beräknade som månadsbaserad standardavvikelse minus dagsbaserad i förhållande till dagsbaserad i procent

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Företag A</i> | <i>Företag B</i> | <i>Företag C1</i> | <i>Företag C2</i> | <i>Företag D</i> |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | -0,1 | 0,1 | -1,6 | -0,4 | -0,2 |
| 2 | 2,2 | -2,5 | 1,2 | 2,4 | 0,3 |
| 3 | 0,0 | -1,1 | 0,3 | -3,3 | -2,8 |
| 4 | -3,4 | -7,1 | -1,3 | -2,5 | -0,1 |

Resultaten från motsvarande beräkningar med avseende på fallföretagens efterfrågan redovisas i tabell 21 för skillnader mellan dags- och månadsbaserade standardavvikelser och i tabell 22 för skillnader mellan dags- och ledtidsbaserade standardavvikelser. Skillnaderna mellan månads- och dagsbaserade standardavvikelser är något större än för den teoretiskt genererade efterfrågan. Det gäller i viss utsträckning också skillnaderna mellan ledtids- och dagsbaserade standardavvikelser. Ingen av de beräknade skillnaderna är emellertid signifikant på 0,5%-nivån.

Tabell 22 Skillnader i standardavvikelser mellan dags- och ledtidsbaserad beräkning i procent för fallföretagen och beräknade som ledtidsbaserad standardavvikelse minus dagsbaserad i förhållande till dagsbaserad i procent

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Företag A</i> | <i>Företag B</i> | <i>Företag C1</i> | <i>Företag C2</i> | <i>Företag D</i> |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 0,3 | 0,7 | -0,3 | -0,5 | -2,3 |
| 2 | 0,6 | -1,5 | -0,5 | -0,5 | 0,6 |
| 3 | -2,5 | -0,8 | 0,4 | 0,2 | -1,4 |
| 4 | -2,0 | -1,0 | -0,8 | -2,0 | 0,1 |

7 Prognosfelsvariation jämfört med efterfrågevariation

Det används i huvudsak två alternativa utgångspunkter för beräkning av standardavvikelser för dimensionering av säkerhetslager, dels sker beräkning med utgångspunkt från variationer i den historiska efterfrågan och dels med utgångspunkt från prognosfel, dvs skillnader mellan prognostiserad och verklig efterfrågan. Eftersom prognoser aldrig är helt medelvärdesriktiga utan varierar något med slumpmässiga fluktuationer trots att det inte förekommer trender eller säsongvariationer kommer det att uppstå skillnader mellan prognosfelens standardavvikelse och efterfrågevariationernas standardavvikelse. Den sjunde forskningsfrågan behandlar hur stora dessa skillnader kan förväntas vara och behandlas i nedanstående avsnitt.

7.1 Teoretiska utgångspunkter

All efterfrågan kan delas upp i olika komponenter. Exempelvis har Makridakis och Wheelwright (1989, sid 96) gjort en uppdelning av varje periods efterfrågan i en säsongkomponent, en trendkomponent, en cyklisk komponent och en slumpkomponent. Storleken på alla dessa komponenter varierar över tiden och alla bidrar i större eller mindre utsträckning till att skillnader mellan verklig efterfrågan och prognostiserad efterfrågan uppstår, dvs att prognosfel uppstår. Det är emellertid endast variationer i slumpkomponenten som ger upphov till behov av säkerhetslager i traditionell bemärkelse (Magee, 1968, sid 75). Prognosfel med avseende på övriga komponenter måste hanteras på annat sätt än med statistiskt beräknade säkerhetslager.

Avvikelse mellan prognostiserad och verklig efterfrågan med avseende på slumpkomponenten kan endast betraktas som prognosfel i inskränkt bemärkelse. Det har för övrigt ifrågasatts om det överhuvudtaget är fråga om prognosfel (Mattsson, 2001) och Magee (1968, sid 75) påpekar att slumpkomponenten varierar öunpredictably.

I den här studien har systematiska efterfrågevariationer av typ trend och säsong avgränsats. Endast slumpmässiga variationer utöver en konstant efterfrågan har analyserats. Därmed uppstår inte det problem som har att göra med att isolera prognosfel på grund av slumpmässiga variationer från de totala prognosfelen. Det innebär emellertid trots detta inte att beräkningen av prognosfel och prognosfelsvariation är helt problemfri. Om efterfrågan är konstant är det efterfrågans avvikelse från medelefterfrågan som är måttet på aktuella efterfrågevariationer och därmed underlag för dimensionering av säkerhetslager.

Beräkning av efterfrågevariationers standardavvikelse förekommer men det är i affärssystem betydligt vanligare att beräkna prognosfelens variationer. Dessa prognosfelsvariationer kan emellertid endast bli lika med efterfrågans variationer om prognosen är medelvärdesriktig under de perioder som standardavvikelseberäkningen omfattar, dvs att prognosen är lika med efterfrågans medelvärde under dessa perioder. Så är inte fallet om man använder prognosmetoder som exempelvis glidande medelvärde eller exponentiell utjämning. Vid användning av dessa metoder kommer prognostiserad efterfrågan per period att variera runt den sanna medelefterfrågan. Ju färre perioder som ingår i glidande medelvärdeberäkningen och ju större utjämningskonstanten är vid exponentiell utjämning, desto större kommer prognosfelsvariationerna att bli. Standardavvikelse baserade på prognosfel kommer därför att avvika från standardavvikelse baserade på efterfrågevariationer.

Brown (1963, sid 278) har härlett följande samband mellan prognosfels standardavvikelse och efterfrågevariationers standardavvikelse.

$$(\text{prognosfel}) = (\text{efterfrågevariation}) \cdot \zeta^{2/(2\phi)}$$

där ζ = utjämningskonstanten.

Effekterna av att beräkna standardavvikelse baserat på prognosfel i stället för på efterfrågevariationer enligt denna formel visas i tabell 23 för ett antal värden på utjämningskonstanten. Den ungefärliga motsvarigheten i antal perioder vid användning av glidande medelvärde anges också. Dessa motsvarigheter är baserade på följande samband mellan

utjämningskonstanten vid exponentiell utjämning och antalet perioder n vid glidande medelvärde.

$$= 2 / (n + 1)$$

Tabell 23 Förhållande mellan (prognosfel) och (efterfrågevariation) enligt Brown.

| | n | $\zeta 2 / (2 \sigma)$ |
|-----|-----|------------------------|
| 0,1 | 19 | 1,03 |
| 0,2 | 9 | 1,05 |
| 0,3 | 6 | 1,09 |
| 0,4 | 4 | 1,12 |

Av tabellen framgår exempelvis att standardavvikelsen beräknad med utgångspunkt från prognosfel blir 9 % högre än standardavvikelsen baserad på efterfrågevariationer om exponentiell utjämning med en utjämningsfaktor på 0,3 används för prognostisering.

7.2 Analysmodell och analysdata

För att analysera eventuella skillnader mellan standardavvikelser baserade på efterfrågevariationer och standardavvikelser baserade på prognosfel har fyra olika standardavvikelser beräknats för de teoretiskt genererade efterfrågevärdena. En baseras på efterfrågevariationer och tre på prognosfel med prognoser beräknade med exponentiell utjämning med utjämningskonstanten lika med 0,1, 0,2 respektive 0,3. Beräkningarna har gjorts månatligen på 25 år av efterfrågehistorik och för varje månad baserat på de tolv senaste månaderna. Medelvärden för hela beräkningsperioden har därefter beräknats för varje artikel. Därefter har skillnaderna mellan standardavvikelserna för respektive prognosfelsvariant och standardavvikelserna för efterfrågevariationerna beräknats. Slutligen har medelvärdena av dessa skillnader uttryckta i procent av standardavvikelserna för efterfrågevariationerna beräknats för de tjugo artiklar som tillhör respektive av de fem efterfrågestrukturerna 10 kundorder per dag, 3 kundorder per dag, 1 kundorder per 2 dagar, 1 kundorder per 2 veckor samt 1 kundorder per 2 månader.

Samma beräkningsförfarande har tillämpats för den efterfrågan som erhållits från fallföretagen med undantag för att medelvärdena av skillnaderna mellan de olika beräkningsfallen beräknats per rörlighetsklass i stället för per efterfrågestruktur.

7.3 Resultat och analyser

Resultaten av de genomförda beräkningarna med avseende på den teoretiskt genererade efterfrågan sammanfattas i tabell 24. Tabellelementen avser skillnader i procent mellan standardavvikelser beräknade baserat på prognosfel med olika utjämningskonstanter för exponentiell utjämning och standardavvikelser beräknade baserat på efterfrågevariationer i procent av standardavvikelser baserade på efterfrågevariationer.

Tabell 24 Skillnader mellan standardavvikelser baserade på prognosfel och efterfrågevariationer i procent för den teoretiskt genererade efterfrågan

| <i>Efterfrågestruktur</i> | <i>Alfa = 0,1</i> | <i>Alfa = 0,2</i> | <i>Alfa = 0,3</i> |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 4,8 | 7,7 | 10,3 |
| 2 | 5,6 | 8,6 | 11,6 |
| 3 | 4,3 | 6,9 | 10,0 |
| 4 | 5,2 | 7,6 | 10,3 |
| 5 | 5,7 | 6,7 | 7,8 |

De erhållna resultaten visar klart att standardavvikelsen blir större om man baserar standardavvikelsen på prognosfel i stället för efterfrågevariationer och att skillnaderna blir större ju högre utjämningskonstant vid prognostisering med exponentiell utjämning som används. Om prognostiseringen i stället baseras på glidande medelvärde motsvarar detta att skillnaderna ökar med minskande antal månadsefterfrågevärden vid medelvärdesberäkningen. Inga skillnader med avseende på efterfrågestruktur kan identifieras från de erhållna resultaten.

Av tabellen framgår också att det finns en god överensstämmelse mellan de på basis av slumpmässigt genererad efterfrågan beräknade förhållandena mellan prognosfelens och efterfrågevariationernas standardavvikelser och de teoretiskt beräknade enligt tabell 24. Överstämelsen är i stort sett lika god för samtliga efterfrågestrukturer med visst undantag för den efterfrågestruktur som representerar störst efterfrågevariation.

Resultaten från motsvarande beräkningar med avseende på den efterfrågehistorik som erhållits från fallföretagen visas i tabell 25. Även i den här tabellen står tabellelementen för skillnader i procent mellan standardavvikelser beräknade baserat på prognosfel med olika utjämningskonstanter för exponentiell utjämning och standardavvikelser beräknade baserat på efterfrågevariationer i procent av standardavvikelser baserade på efterfrågevariationer.

Tabell 25 Skillnader mellan standardavvikelser baserade på prognosfel och efterfrågevariationer i procent för den efterfrågan som erhållits från fallföretagen

| <i>Rörlighetsklass</i> | <i>Alfa = 0,1</i> | <i>Alfa = 0,2</i> | <i>Alfa = 0,3</i> |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Företag A | | | |
| 1 | 4,6 | 7,5 | 10,6 |
| 2 | 4,3 | 7,0 | 10,0 |
| 3 | 4,0 | 6,6 | 9,5 |
| 4 | 2,1 | 4,4 | 6,7 |
| Företag B | | | |
| 1 | 5,2 | 8,0 | 11,1 |
| 2 | 4,6 | 7,2 | 10,2 |
| 3 | 4,5 | 6,7 | 9,2 |
| 4 | 2,2 | 4,4 | 6,7 |
| Företag C1 | | | |
| 1 | 4,9 | 7,8 | 11,0 |
| 2 | 4,0 | 6,4 | 9,4 |
| 3 | 0,0 | 2,3 | 4,7 |
| 4 | 6,2 | 6,9 | 8,0 |

| Företag C2 | | | |
|------------|-----|-----|------|
| 1 | 5,0 | 8,0 | 11,4 |
| 2 | 5,0 | 7,5 | 10,2 |
| 3 | 6,1 | 8,4 | 11,0 |
| 4 | 1,4 | 3,4 | 5,3 |
| Företag D | | | |
| 1 | 4,8 | 7,6 | 10,6 |
| 2 | 3,9 | 7,0 | 10,0 |
| 3 | 6,8 | 8,9 | 11,4 |
| 4 | 3,0 | 5,0 | 7,2 |

Av tabellen framgår att resultaten med avseende på fallföretagens efterfrågan i huvudsak uppvisar samma mönster som motsvarande för den teoretiskt genererade efterfrågan och att de tämligen väl motsvarar de av Brown teoretiskt beräknade värdena.

8 Resultatsammanfattning och slutsatser

Det finns en omfattande litteratur för att beräkna och använda standardavvikelse för säkerhetslagerdimensionering. Trots detta föreligger det vid praktisk tillämpning ett antal svårigheter och oklarheter som inte är särskilt väl diskuterade och behandlade i litteraturen. I det projekt som redovisas i den här rapporten har ett antal olika frågeställningar i anslutning till problemområdet analyserats. Resultat och slutsatser från dessa analyser summeras nedan.

Standardavvikelse för efterfrågevariationer uppskattas med hjälp av stickprov på historisk efterfrågan, oftast i form av utleveransstatistik. Eftersom det rör sig om begränsade stickprov kan man förvänta sig att det finns en osäkerhet i beräknade värden. Att få en uppfattning om hur känsliga erhållna servicenivåer är för felaktigt uppskattade standardavvikelse är därför av intresse. Resultaten från studien visar att om man vill ligga inom en felmarginal på +/- 1 procentenhet i erhållen servicenivå måste standardavvikelsen uppskattas med en felmarginal på storleksordningen +/- 10 procent. Ju mer varierande efterfrågan är desto större krav ställs på noggrannhet vid bestämning av dessa standardavvikelse.

De periodvisa efterfrågevärden som beräkningar av standardavvikelse baseras på kan vid enstaka tillfällen innehålla extremvärden som inte är representativa för den normalt förekommande efterfrågan, exempelvis på grund av förekommande exceptionellt stora kundorder. De analyser som genomförts i studien visar klart att även enstaka extremvärden påtagligt ökar beräknade standardavvikelse. Denna ökning leder i sin tur till ökade säkerhetslager, för de studerade fallföretagen med över 50 %. Säkerhetslagerökningarna är emellertid inte tillräckliga för att täcka extrema efterfrågetoppar och resultaten visar följaktligen att extremvärden också medför att man får lägre servicenivåer.

Man kan förvänta sig att ju större stickprov man tar för att beräkna standardavvikelser desto noggrannare blir uppskattningen. Studien visar att så också blir fallet. För att uppnå en felmarginal på +/- 10 % vid bestämning av standardavvikelser måste man använda sig av minst 40 efterfrågevärden vid förhållandevis jämn efterfrågan och ytterligare fler om efterfrågan är ojämn.

Små stickprov medför inte endast låg noggrannhet. Små stickprov medför också att standardavvikelsena varierar mycket från beräkningstillfälle till beräkningstillfälle. De i studien genomförda analyserna visar att variationerna i standardavvikelser avtar påtagligt med ökande stickprovsstorlekar. Grovt räknat minskar variationerna till en tredjedel då stickproven ökas från 12 till 48 efterfrågevärden. Förhållandena är de samma oavsett hur mycket efterfrågan varierar.

Variationer i standardavvikelser leder till variationer i erhållna servicenivåer. Studieresultaten visar att variationsintervallet för servicenivåer beräknade per år, dvs det intervall inom vilket erhållen servicenivå varierar på årsbasis, är storleksordningen 2 procentenheter för fallen med förhållandevis jämn efterfrågan och upptill storleksordningen 13 procentenheter för fallen med förhållandevis ojämn efterfrågan. Variationsintervallet blir större ju längre ledtiden är.

För att förbättra noggrannheten och minska variationerna vid bestämning av standardavvikelser skulle stickproven behöva vara större än vad som oftast är fallet. De skulle då behöva omfatta flera år om efterfrågevärden utgörs av månadsefterfrågan, vilket oftast är fallet i praktiken. Detta är inte bara svår genomförbart. Det skulle också leda till andra typer av osäkerheter och felaktigheter, exempelvis på grund av förändringar i kundstruktur och orderstruktur under de år som skulle behöva ingå i beräkningarna. Ett alternativt sätt för att förbättra noggrannhet och minska variationer är att basera beräkningarna av standardavvikelser på kortare periodlängder än månad, exempelvis genom att basera dem på dagsefterfrågan. I båda fallen måste beräknade standardavvikelser justeras till av avse standardavvikelser under ledtid. De från studien erhållna resultaten visar att skillnaderna mellan beräknade standardavvikelser baserade på efterfrågevärden per månad jämfört med efterfrågevärden per dag för praktiskt bruk är försumbara.

Standardavvikelser kan beräknas antingen med avseende på efterfrågevariationer eller med avseende på prognosfelsvariationer. I affärssystem är det i regel det senare alternativet som används. För att standardavvikelser skall bli lika i de båda fallen måste prognoserna vara medelvärdesriktiga, vilket sällan är fallet. De analyser som gjorts i studien visar att standardavvikelser beräknade från prognosfelsvariationer alltid är större än prognosfel beräknade från efterfrågevariationer. Skillnader på 5 ó 10 % förekommer för samtliga studerade efterfrågefäll. De blir större ju högre utjämningsfaktor man använder om prognostisering sker med hjälp av exponentiell utjämning och ju färre efterfrågeperioder man använder om prognostisering sker med hjälp av glidande medelvärde.

De slutsatser som kan dras baserat på de i studien erhållna resultaten kan grovt sammanfattas i följande riktlinjer.

- För att få de servicenivåer man önskar och dimensionerar sitt lagerstyrningssystem för, är det väsentligt att beräkna standardavvikelser med tillfredsställande noggrannhet, speciellt för lågrörliga artiklar med stora efterfrågevariationer.

- Om extrema efterfrågevärden på grund av exceptionellt stora kundorder förekommer, bör de på olika sätt elimineras från efterfrågestatistiken i samband med beräkning av standardavvikelser. Orderna bör inte ingå i den löpande lagerstyrningen.
- För att uppnå en acceptabel noggrannhet vid bestämning av standardavvikelser bör de stickprov som används vid beräkningarna omfatta åtminstone storleksordningen fyrtio historiska efterfrågevärden.
- Stickproven för bestämning av standardavvikelser bör också göras så stora som möjligt för att undvika stora variationer från period till period och därmed motsvarande variationer i erhållna servicenivåer.
- Genom att använda dagsefterfrågan i stället för månadsefterfrågan som bas för beräkning av standardavvikelser får man större noggrannhet och mindre variationer. Skillnaderna mellan dagsbaserade och månadsbaserade och därefter ledtidsjusterade standardavvikelser är för praktiskt bruk försumbara.
- Standardavvikelser baserade på prognosfel är större än standardavvikelser baserade på efterfrågevariationer och medför därför större säkerhetslager vid en given servicenivå.

Referenser

Aggarwal, S. & Dhavale, D. (1973) An empirical sensitivity analysis of (s,S) inventory policies, *Production and Inventory Management*, 4th Qtr.

Andersson, J. & Ljungfeldt, S. & Wandel, S. (1970) *Produktionsstyrning*, Studentlitteratur.

Brauer, D. (1985) Effect on lead time and service level on safety stock for a continuous review inventory system with independent demand, *Production and Inventory Management*, 2nd Qtr.

Brown, R. (1967) *Decision rules for inventory management*, Holt, Rinehart & Winston.

Bodenstab, C. (1993) *A new era in inventory management*, Hilti Press.

Brown, R. (1963) *Smoothing, forecasting and prediction*, Prentice-Hall.

Brown, R. (1967) *Decision rules for inventory management*, Holt, Rinehart and Winston.

Brown, R. (1977) *Materials management systems*, John Wiley & Sons.

Flagan, M. (1984) Determination of safety stock: A practical approach, *APICS Conference Proceedings, Production & Inventory Control and Planning*, sid 84-88.

Fogarty, D. & Hoffmann, T. (1983) *Production and inventory management*, South-Western Publishing.

- Hanke, J. ó Reitsch, A. (1989) Business forecasting, Allyn and Bacon.
- Hax, A. ó Candea, D. (1984) Production and inventory management, Prentice-Hall.
- Hojati, M. (1996) A note on "The effect of sampling variability on statistical order point computation", Production and Inventory Management Journal, 4th Qtr, sid 80-81.
- Hillier, R. ó Mak, K. ó Lam, C. (1995) An inventory model for items with demands satisfied from stock or by special deliveries, International Journal of Production Economics, Vol. 42, sid 229-236.
- Humphrey, A. ó Taylor, G. ó Landers, T. (1998) Stock level determination and sensitivity analysis in repair/rework operations, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 18 No. 6.
- Johnston, F. ó Boylan, J. (1996) Forecasting for items with intermittent demand, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 47 No 1.
- Krupp, J. (1997a) Safety stock management, Production and Inventory Management Journal, 3rd Qtr, sid 11-18.
- Magee, J. (1968) Industrial logistics, McGraw-Hill Book Company.
- Magee, J. ó Boodman, D. (1967) Production planning and inventory control, McGraw-Hill Book Company.
- Makridakis, S. ó Wheelwright, S. (1989) Forecasting methods for management, John Wiley & Sons.
- Mattsson, S-A. (2001) Tveksamheter om prognosfel, Bättre Produktivitet, Nr 3.
- Mattsson, S-A. (2003) Avvikelse och variationer i erhållna servicenivåer, Arbetspapper, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Tekniska Högskola.
- Mattsson, S-A. (2004) Logistikens termer och begrepp, PLAN ó Föreningen för Produktionslogistik.
- Plossl, G. (1985) Production and inventory control ó Principles and techniques, Prentice-Hall.
- Silver, E. ó Pyke, D. ó Peterson, R. (1998) Inventory management and production planning and scheduling, John Wiley & Sons.
- Silver, E. ó Rahnema, M. (1986) The cost effects of statistical sampling in selecting the reorder point in a common inventory model, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 37 No 7.
- Smith, S. (1989) Computer based production and inventory control, Prentice-Hall.

Sullivan, W. ó Claycombe, W. (1977) Fundamentals of forecasting, Reston Publishing Company.

Vaughan, T. (1995) The effect of sampling variability on statistical order point computation, Production and Inventory Management Journal, 3rd Qtr, sid 84-87.

Wallace, T. (1998) Controlling abnormal demand, The Performance Advantage, Mars 1998, sid 92-93.

Felkänslighet som funktion av ledtid

Efterfrågestruktur 2

| | Avvikelse | -30% | -20% | -10% | 0 | 10% | 20% | 30% | Säkl. andel |
|----------|------------|-------|-------|-------|---|------|------|------|----------------|
| 5 dagar | Medelvärde | -0,2 | -0,1 | -0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 7,2 |
| | Stdaav | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | 0,0 | 0,1 | 0,2 | |
| | t-värde | -4,5 | -4,3 | -3,4 | | 5,0 | 4,5 | 4,0 | |
| 10 dagar | Medelvärde | -1,8 | -1,2 | -0,6 | | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 9,3 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -54,1 | -43,5 | -27,4 | | 28,2 | 35,5 | 48,2 | |
| 15 dagar | Medelvärde | -2,0 | -1,3 | -0,7 | | 0,6 | 1,1 | 1,6 | 9,5 |
| | Stdaav | 0,2 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| | t-värde | -56,5 | -65,5 | -42,6 | | 26,0 | 37,6 | 43,2 | |
| 20 dagar | Medelvärde | -2,3 | -1,5 | -0,7 | | 0,6 | 1,2 | 1,6 | 9,4 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -74,7 | -46,2 | -28,6 | | 30,4 | 50,1 | 54,8 | |
| 30 dagar | Medelvärde | -2,5 | -1,6 | -0,7 | | 0,6 | 1,2 | 1,7 | 9,0 |
| | Stdaav | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| | t-värde | -64,2 | -42,3 | -39,2 | | 43,7 | 44,3 | 42,3 | |
| 40 dagar | Medelvärde | -2,7 | -1,7 | -0,8 | | 0,7 | 1,2 | 1,7 | 8,6 |
| | Stdaav | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| | t-värde | -51,9 | -50,3 | -49,0 | | 27,9 | 31,0 | 33,6 | |
| 50 dagar | Medelvärde | -2,8 | -1,8 | -0,8 | | 0,7 | 1,3 | 1,8 | 8,2 |
| | Stdaav | 0,2 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| | t-värde | -59,1 | -59,0 | -42,1 | | 27,9 | 33,8 | 33,9 | |

Efterfrågestruktur 5

| | Avvikelse | -30% | -20% | -10% | 0 | 10% | 20% | 30% | Säkl. andel |
|----------|------------|-------|-------|-------|---|------|------|------|----------------|
| 5 dagar | Medelvärde | -9,8 | -5,7 | -4,8 | | 1,4 | 4,9 | 6,6 | 83,0 |
| | Stdaav | 3,9 | 2,5 | 3,3 | | 2,6 | 1,9 | 2,5 | |
| | t-värde | -11,3 | -10,1 | -6,5 | | 2,4 | 11,6 | 11,9 | |
| 10 dagar | Medelvärde | -8,4 | -4,7 | -2,5 | | 1,8 | 3,2 | 4,7 | 79,4 |
| | Stdaav | 2,0 | 1,4 | 1,8 | | 1,5 | 1,7 | 1,4 | |
| | t-värde | -18,7 | -15,1 | -6,2 | | 5,4 | 8,4 | 15,0 | |
| 15 dagar | Medelvärde | -7,1 | -4,4 | -2,0 | | 1,8 | 3,2 | 4,6 | 76,9 |
| | Stdaav | 1,6 | 1,3 | 1,0 | | 0,7 | 1,3 | 1,5 | |
| | t-värde | -19,4 | -15,0 | -9,5 | | 11,0 | 11,0 | 13,5 | |
| 20 dagar | Medelvärde | -8,2 | -5,0 | -2,4 | | 2,0 | 3,5 | 4,8 | 74,9 |
| | Stdaav | 1,6 | 1,1 | 0,5 | | 0,7 | 1,0 | 1,5 | |
| | t-värde | -23,1 | -20,6 | -20,5 | | 12,1 | 16,6 | 14,2 | |
| 30 dagar | Medelvärde | -7,9 | -5,0 | -2,4 | | 2,2 | 3,6 | 4,8 | 71,9 |
| | Stdaav | 2,5 | 2,1 | 1,5 | | 1,0 | 1,2 | 1,4 | |
| | t-värde | -14,0 | -10,6 | -7,1 | | 10,3 | 13,6 | 15,2 | |
| 40 dagar | Medelvärde | -8,2 | -4,6 | -2,2 | | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 67,6 |
| | Stdaav | 2,1 | 1,8 | 1,1 | | 1,0 | 1,5 | 2,2 | |
| | t-värde | -17,3 | -11,3 | -9,3 | | 8,5 | 8,9 | 7,9 | |
| 50 dagar | Medelvärde | -8,2 | -4,6 | -2,2 | | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 67,6 |
| | Stdaav | 2,1 | 1,8 | 1,1 | | 1,0 | 1,5 | 2,2 | |
| | t-värde | -17,3 | -11,3 | -9,3 | | 8,5 | 8,9 | 7,9 | |

Felkänslighet som funktion av orderstorlek

Efterfrågestruktur 2

| | Avvikelse | -30% | -20% | -10% | 0 | 10% | 20% | 30% | Säkl. andel |
|----------|------------|-------|-------|-------|---|------|------|------|----------------|
| 10 dagar | Medelvärde | -3,8 | -2,4 | -1,1 | | 0,9 | 1,6 | 2,2 | 13,6 |
| | Stdaav | 0,3 | 0,2 | 0,2 | | 0,1 | 0,1 | 0,2 | |
| | t-värde | -51,5 | -47,6 | -32,8 | | 49,6 | 56,9 | 50,5 | |
| 20 dagar | Medelvärde | -2,3 | -1,5 | -0,7 | | 0,6 | 1,2 | 1,6 | 9,4 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -74,7 | -46,2 | -28,6 | | 30,4 | 50,1 | 54,8 | |
| 30 dagar | Medelvärde | -1,5 | -1,0 | -0,5 | | 0,5 | 0,9 | 1,3 | 6,4 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -59,2 | -51,0 | -33,5 | | 28,8 | 39,9 | 40,9 | |
| 40 dagar | Medelvärde | -1,2 | -0,8 | -0,4 | | 0,4 | 0,8 | 1,1 | 3,9 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -39,3 | -34,1 | -29,1 | | 33,3 | 36,2 | 39,1 | |
| 50 dagar | Medelvärde | -0,9 | -0,6 | -0,3 | | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,6 |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -45,6 | -38,5 | -22,2 | | 24,2 | 37,8 | 39,6 | |
| 60 dagar | Medelvärde | -0,7 | -0,5 | -0,3 | | 0,2 | 0,5 | 0,8 | Negativt |
| | Stdaav | 0,1 | 0,1 | 0,0 | | 0,0 | 0,1 | 0,1 | |
| | t-värde | -46,5 | -40,6 | -23,9 | | 24,8 | 34,7 | 36,8 | |

Efterfrågestruktur 5

| | Avvikelse | -30% | -20% | -10% | 0 | 10% | 20% | 30% | Säkl. andel |
|----------|------------|-------|-------|-------|---|------|------|------|----------------|
| 10 dagar | Medelvärde | -9,5 | -5,8 | -2,6 | | 2,2 | 3,8 | 5,1 | 78,1 |
| | Stdaav | 2,3 | 1,5 | 0,8 | | 0,7 | 1,0 | 1,5 | |
| | t-värde | -18,3 | -18,0 | -14,9 | | 14,3 | 16,6 | 14,9 | |
| 20 dagar | Medelvärde | -8,2 | -5,0 | -2,4 | | 2,0 | 3,5 | 4,8 | 74,9 |
| | Stdaav | 1,6 | 1,1 | 0,5 | | 0,7 | 1,0 | 1,5 | |
| | t-värde | -23,1 | -20,6 | -20,5 | | 12,1 | 16,6 | 14,2 | |
| 30 dagar | Medelvärde | -6,2 | -4,2 | -2,0 | | 1,8 | 3,3 | 4,4 | 73,3 |
| | Stdaav | 1,4 | 1,0 | 0,7 | | 0,6 | 1,0 | 1,6 | |
| | t-värde | -19,6 | -19,6 | -12,0 | | 13,5 | 14,5 | 12,7 | |
| 40 dagar | Medelvärde | -6,2 | -3,7 | -1,5 | | 1,5 | 2,6 | 4,0 | 71,8 |
| | Stdaav | 1,6 | 1,5 | 1,0 | | 0,7 | 0,9 | 1,3 | |
| | t-värde | -17,0 | -11,3 | -6,8 | | 10,2 | 13,7 | 13,9 | |
| 50 dagar | Medelvärde | -5,4 | -3,4 | -1,5 | | 1,3 | 2,7 | 3,9 | 70,7 |
| | Stdaav | 2,0 | 1,6 | 1,1 | | 0,7 | 0,9 | 1,3 | |
| | t-värde | -12,1 | -9,2 | -5,8 | | 9,0 | 13,7 | 13,0 | |
| 60 dagar | Medelvärde | -5,0 | -3,2 | -1,8 | | 1,4 | 2,6 | 3,5 | 69,3 |
| | Stdaav | 1,5 | 1,2 | 0,7 | | 0,8 | 1,4 | 1,5 | |
| | t-värde | -15,4 | -11,8 | -11,5 | | 8,1 | 8,5 | 10,4 | |

Standardavvikelser och säkerhetslager med och utan förekomst av extremvärden

Olika ledtider

| | Fall 1 | Fall 2 | Fall 3 | Fall 4 | Fall 5 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ledtid 10 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 97,6 | 89,3 | 84,3 | 86,2 | 87,2 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Ledtid 20 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 92,5 | 86,8 | 83,5 | 86,0 | 87,3 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Ledtid 30 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 90,4 | 85,8 | 83,1 | 86,0 | 87,4 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Ledtid 40 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 89,2 | 85,1 | 82,9 | 85,9 | 87,4 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |

Olika orderkvantiteter

| | Fall 1 | Fall 2 | Fall 3 | Fall 4 | Fall 5 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Orderkvantitet 10 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 87,0 | 83,9 | 82,4 | 85,8 | 86,9 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Orderkvantitet 20 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 92,5 | 86,8 | 83,5 | 86,0 | 87,3 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Orderkvantitet 30 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 98,7 | 89,8 | 84,5 | 86,2 | 87,1 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |
| Orderkvantitet 40 dagar | | | | | |
| Säkerhetslager | 106,5 | 93,0 | 85,5 | 86,4 | 87,0 |
| Standardavvikelse | 76,6 | 76,6 | 78,9 | 85,0 | 88,1 |