

# Hur väl fungerar vanligt använda teoretiska lagerstyrningsmodeller under verkliga förhållanden ?

Stig-Arne Mattsson

## Sammanfattning

*I många företag används teoretiska modeller för att dimensionera orderkvantiteter och beställningspunkter. Sådana modeller utgör alltid förenklade bilder av verkligheten. I den här studien har några vanligt använda modeller utvärderats under mer verklighetsnära förhållanden. För ett stort antal efterfrågefall med olika kundorderfrekvenser och kundorderkvantiteter har olika parametrar i modellerna bestämts, dels som värden beräknade med hjälp av teoretiska modeller och dels med hjälp av simulering under mer verklighetsnära förhållanden. Erhållna värden har därefter jämförts och analyserats. Resultaten från studien kan sammanfattas enligt följande.*

*Orderkvantiteter baserade på Wilsons formel blir 10 till 25 procent för små jämfört med under verkliga förhållanden optimala kvantiteter. De merkostnader detta leder till är emellertid för användning i praktiken förhållandevis försumbara.*

*Att vid beräkning av säkerhetslager anta att efterfrågan är normalfördelad är oftast ett fullt tillfredsställande antagande. Skillnaderna mellan erhållna och önskade servicenivåer blev för merparten av de studerade efterfrågefallen under 1 procentenhet. För efterfrågefall med mycket låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter, dvs för mycket oregelbunden och ojämn efterfrågan, blev skillnaderna något högre.*

*Trots att antagandet om normalfördelad efterfrågan oftast är acceptabelt får man med den traditionella beställningspunktsmodellen inte de servicenivåer man dimensionerat säkerhetslagret för. Används fyllnadsgradsservice (Serv2) blir erhållen servicenivå storleksordningen 2 till 10 procentenheter lägre än önskad servicenivå. Huvudorsaken är att modellem inte tar hänsyn till överdrag, dvs att beställningspunkten i princip alltid är överskriden när beställning initieras, Företag använder dessutom oftast orderrads-service som mått på erhållen leveransförmåga. Skillnaderna mellan erhållen orderrads-service och den fyllnadsgradsservice man dimensionerar säkerhetslagret för blir då ytterligare större, från storleksordningen 3 till 15 procentenheter.*

*De slutsatser man kan dra av de erhållna resultaten är att Wilsons formel kan förväntas ge fullt tillfredsställande värden för att bestämma lämpliga orderkvantiteter. Däremot kan inte den traditionella beställningspunktsmodellen förväntas ge acceptabla värden för att bestämma när nya order skall planeras in så att man får den servicenivå man önskar. Den kan följaktligen inte betraktas som särskilt lämplig att använda för lagerstyrning såvida inte beställningspunkten kompletteras med ett beräknat överdrag.*

# 1 Inledning

Vid lagerstyrning används i många företag olika teoretiska modeller för att dimensionera orderkvantiteter och beställningspunkter som stöd för att besvara de grundläggande lagerstyrningsfrågorna; när skall man frisläppa en ny order för att fylla på lagret och hur mycket skall man beställa. Sådana modeller utgör alltid förenklade bilder av verkligheten. Att förenklingar måste göras beror på att verkligheten i allmänhet är alltför komplex för att möjliggöra att alla förekommande påverkande och samverkande faktorer kan beaktas. Genom att förenkla den verklighet som man vill studera får man en mer rationell och hanterbar modell. Är det fråga om operationsanalytiska modeller är förenklingar dessutom i regel nödvändiga för att man med tillgängliga matematiska och statistiska metoder över huvud taget skall kunna behandla ett problem.

Eftersom en modell är en förenklad bild av verkligheten och man fattar beslut och drar slutsatser från denna modell i stället för från verkliga förhållanden är det av avgörande betydelse att modellens avbildningsförmåga är acceptabelt hög. Det innebär att de faktorer och sambanden mellan dem som modellen beaktar är de som är mest relevanta av alla de som förekommer i den verkliga problemsituationen. Dessutom måste sambandens utseende och egenskaper på ett acceptabelt sätt överensstämma med verklighetens. Om så inte är fallet kan problemlösningen i bästa fall bli optimal från ett teoretiskt perspektiv men mer eller mindre oanvändbar eller vilseledande från ett praktiskt perspektiv.

De teoretiska modeller som är vanligast förekommande i lagerstyrningssammanhang och som också förekommer i de flesta affärssystem är den så kallade kvadratrotsformeln eller Wilsons formel för beräkning av orderkvantiteter och formler för beräkning av beställningspunkter inklusive säkerhetslager med utgångspunkt från en önskad servicenivå. Syftet med det projekt som redovisas i föreliggande rapport har varit att studera i vilken utsträckning dessa modeller på ett tillfredsställande sätt avbildar verkligheten och ger rimligt optimala lösningar på Hur mycket-frågan respektive När-frågan. Syftet är därmed också att visa i vilken utsträckning de är användbara under verklighetsnära förhållanden och hur de kan kompletteras och modifieras för att bli mer användbara.

Vid utvärderingen av modellernas avbildningsförmåga har hänsyn inte tagits till variationer i ledtider och förekomst av trend eller säsongvarierande efterfrågan. Utvärderingen är också begränsad till att omfatta fall med fasta orderkvantiteter, dvs så kallade (s,Q)-system och säkerhetslager uttryckta som kvantiteter. Det har också antagits att prognoserna är medelvärdesriktiga, dvs det förekommer inte några systematiska prognosfel. Vid utvärderingen har erhållen leveransförmåga definierats som orderradsservice, dvs som andel kompletta orderrader som kunnat levereras direkt från lager.

## 2 Antaganden i de teoretiska modellerna

I föreliggande avsnitt beskrivs de antaganden som görs i respektive lagerstyrningsmodell samt vad som i allmänhet karakteriserar motsvarande förhållanden i verkligheten. För beställningspunkter har en uppdelning gjorts i säkerhetslager och lagerbehov från det beställningspunkten nås tills ny inleverans sker. Dessutom behandlas antagandet att den servicenivå man använder för att dimensionera säkerhetslager är lika med den servicenivå som man använder för att mäta erhållen servicenivå.

## 2.1 Orderkvantitet

Den vanligast använda teoretiska modellen för att beräkna orderkvantiteter är den så kallade kvadratrotsformeln eller Wilsons formel som innebär en optimering av summa lagerhållningskostnader och ordersärkostnader. De antaganden som formeln bygger på med avseende på efterfråge- och inleveransförhållanden och de motsvarande förhållanden som i allmänhet gäller i verkligheten framgår av tabell 1.

Tabell 1 Modellantaganden och verkliga förhållanden vid beräkning av ekonomiska orderkvantiteter

<i>Antaganden</i>	<i>Verkliga förhållanden</i>
Förbrukningen är kontinuerlig och varje lageruttag är infinitesimalt litet.	Förbrukningen är diskret och varje lageruttag varierar i storlek.
Efterfrågan är känd och konstant över tiden.	Efterfrågan måste prognostiseras och varierar från dag till dag.
Inleverans sker alltid när lagret är noll.	Inleveranstidpunkten är beroende av när beställning sker och av ledtidens längd.
Brister förekommer inte.	Brister förekommer alltid i större eller mindre utsträckning.

Eftersom brister enligt modellen inte förekommer behövs inget säkerhetslager. Under verkliga förhållanden måste man för att kunna upprätthålla en acceptabel leveransförmåga använda säkerhetslager vars storlek är beroende av orderkvantiteten. Som framgår av de mer exakta formlerna för beräkning av orderkvantiteter (Axsäter, 1991, sid 79) måste man känna till säkerhetsfaktorn  $k$  för att kunna räkna ut ekonomisk orderkvantitet och känna till ekonomisk orderkvantitet för att bestämma  $k$ . Detta dilemma löses i praktiken genom att bortse från bristkostnadskomponenten i formeln för ekonomisk orderkvantitet, dvs man beräknar ekonomisk orderkvantitet på traditionellt sätt med Wilsons formel och därefter beräknar man säkerhetslagrets storlek. Brown (1977, sid 220) anger en någon avvikande praktisk metod. Den innebär att man beräknar ekonomisk orderkvantitet med hjälp av den traditionella Wilsons formel men att man inte låter den så beräknade orderkvantiteten bli mindre än efterfrågans standardavvikelse under ledtid. Brown menar att man med detta tillägg kommer så nära en optimal orderkvantitet att det inte är värt besväret att genomföra ett noggrannare beräkningsförfarande.

I den teoretiska modellen antas att hela orderkvantiteten levereras in samtidigt. Så är det oftast också under verkliga förhållanden, speciellt om det är fråga om inleveranser från externa leverantörer. Momentan inleverans antas därför också förekomma i den simuleringsmodell som representerar verkliga förhållanden. I den teoretiska modellen tas ingen hänsyn till kapacitetsbegränsningar som kan påverka hur stora de sammanlagda omställningstiderna vid tillverkning kan tillåtas vara. Detta antagande gäller också simuleringsmodellen.

## 2.2 Säkerhetslager

Två olika teoretiska modeller för beräkning av säkerhetslager baserat på önskad leveransförmåga i form av servicenivå används i industrin. Det som skiljer dem åt är hur önskad servicenivå definieras. Den ena modellen bygger på att önskad servicenivå defi-

nieras som sannolikheten att det inte förekommer någon brist under en lagercykel, dvs det servicenivåbegrepp som brukar kallas Serv1 eller cykelservice. De antaganden som denna modell bygger på och de motsvarande förhållanden som i allmänhet gäller i verkligheten framgår av tabell 2.

Tabell 2 Modellantaganden och verkliga förhållanden vid beräkning av säkerhetslager baserat på önskad cykelservice (Serv1)

<i>Antaganden</i>	<i>Verkliga förhållanden</i>
Efterfrågan antas vara kontinuerlig och normalfördelad.	Efterfrågan är diskret och endast någorlunda normalfördelad när efterfrågan är högfrekvent och ledtiden lång.

Den andra modellen bygger på att önskad servicenivå definieras som andel av den totala efterfrågan under en viss period som kunnat levereras direkt från lager, dvs det servicenivåbegrepp som brukar kallas Serv2 eller fyllnadsgradsservice. De antaganden som denna modell bygger på och de motsvarande förhållanden som i allmänhet gäller i verkligheten framgår av tabell 3.

Tabell 3 Modellantaganden och verkliga förhållanden vid beräkning av säkerhetslager baserat på önskad fyllnadsgradsservice (Serv2)

<i>Antaganden</i>	<i>Verkliga förhållanden</i>
Efterfrågan antas vara kontinuerlig och normalfördelad.	Efterfrågan är diskret och endast någorlunda normalfördelad när efterfrågan är högfrekvent och ledtiden lång.

För både cykelservice- och fyllnadsgradsmodellerna antas uppkomna brister restnoteras och levereras vid ett senare tillfälle, dvs. ingen efterfrågan går förlorad vid brist. Antagandet om att alla brister restnoteras har liten påverkan på beräkningen av säkerhetslager, speciellt om man använder sig av höga servicenivåer. Antagandet om att alla brister restnoteras utvärderas därför inte här.

### 2.3 Lagerbehov från beställningspunkt till inleverans.

Den traditionella beställningspunktsmodellen är av typ (s,Q), dvs den använder sig av en konstant orderkvantitet och beställningspunkten, s, består av två delar, dels lagerbehov från beställningspunkt till inleverans och dels ett säkerhetslager. Lagerbehov från beställningspunkt till inleverans exklusive säkerhetslager beräknas som efterfrågan per tidsenhet gånger ledtidens längd i samma tidsenhet, exempelvis dagar. De antaganden som modellen bygger på med avseende på detta lagerbehov och de motsvarande förhållanden som i allmänhet gäller i verkligheten framgår av tabell 4.

Tabell 4 Modellantaganden och verkliga förhållanden vid beräkning av det lagersaldo som behövs för att täcka efterfrågan under ledtid

<i>Antaganden</i>	<i>Verkliga förhållanden</i>
Efterfrågan per tidsenhet antas vara känd och är konstant över tiden.	Efterfrågan per tidsenhet måste prognostiseras och varierar från dag till dag.
Kontroll av om lagersaldot är lika med eller ligger under beställningspunkten sker kontinuerligt.	Kontroll av om lagersaldot är lika med eller ligger under beställningspunkten sker oftast periodiskt, exempelvis med inspektionsintervall på en dag .
Alla lageruttag avser en enhet.	Lageruttag är i regel större än en enhet och varierar från uttag till uttag.

Konsekvensen av dessa verkliga förhållanden är att lagersaldot oftast kommer att vara mindre än den kvantitet som beställningspunkten utgör när signal om behov av frisläppning av ny lagerpåfyllnadsorder utlöses. Det uppstår med andra ord ett så kallat överdrag som leder till att den kvantitet som finns i lager vid beställningstillfället i allmänhet inte täcker efterfrågan under ledtid. Detta leder i sin tur till att erhållen servicenivå kommer att bli lägre än den som önskas och som använts för att dimensionera säkerhetslager eftersom detta säkerhetslager endast är avsett för att fånga upp variationer i efterfrågan under ledtid.

För att kunna ta hänsyn till sådana överdrag måste beställningspunkten kompletteras så att den motsvarar både efterfrågan under ledtid och en uppskattad överdragskvantitet. Det finns i huvudsak två alternativ tillvägagångssätt för att göra detta. Det ena och enklare alternativet innebär att man antar att beställningspunkten i genomsnitt underskrids mitt i inspektionsintervallet och att följaktligen överdragskvantiteten i medeltal är lika med medelefterfrågan under ett halvt inspektionsintervall. Ett mer teoretiskt korrekt sätt att beräkna överdragskvantiteten är att i stället använda följande uttryck (Mattsson, 2005).

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

där  $\mu$  = medelefterfrågan per dag  
 $\sigma$  = efterfrågans standardavvikelse per dag

Eftersom överdraget är en stokastisk variabel måste hänsyn även tas dess variationer genom att inkludera dess standardavvikelse vid säkerhetslagerberäkningen. Efterfrågans standardavvikelse per dag har visat sig vara en acceptabel approximation för denna standardavvikelse (Mattsson, 2005).

Båda dessa kompletteringar av beställningspunktsmodellen har inkluderats i utvärderingarna.

## 2.4 Dimensionerande kontra erhållen servicenivå

I de beställningspunktsmodeller som bygger på cykelservice och fyllnadsgradsservice representerar angivna servicenivåer önskade servicenivåer eftersom de utgör utgångspunkt för säkerhetslagerberäkningen. De servicenivåer som erhålls blir då också av typ

cykelservice respektive fyllnadsgradsservice. De antaganden som modellerna bygger på i detta avseende och de motsvarande förhållanden som i allmänhet gäller i verkligheten framgår av tabell 5.

Tabell 5 Modellantaganden och verkliga förhållanden vid beräkning av säkerhetslager baserat på önskad cykelservice (Serv1) eller fyllnadsgradsservice (Serv2)

<i>Antaganden</i>	<i>Verkliga förhållanden</i>
Cykelservice/fyllnadsgradsservice antas vara ett lämpligt mått på leveransförmåga.	I företag mäts leveransförmåga oftast som orderradsservice, dvs som andel kompletta orderrader som kunnat levereras direkt från lager.
Implicit bygger användning av cykelservice/fyllnadsgradsservice på att det finns ett tydligt samband mellan den cykelservice/fyllnadsgradsservice som används för att dimensionera säkerhetslager och den orderradsservice man erhåller som mått på verklig leveransförmåga.	Sambandet mellan cykelservice i förhållande till orderradsservice är alltför komplext för att man skall kunna avgöra vilken cykelservice man bör välja för att få en viss orderradsservice. I något mindre utsträckning gäller detta även fyllnadsgradsservice.

### 3 Angreppssätt, simuleringsmodell och analysdata

För att analysera och utvärdera i vilken utsträckning de studerade lagerstyrningsmodellerna under mer verklighetsnära förhållanden åstadkommer lösningar som motsvarar de teoretiskt optimala är simulering det enda möjliga alternativet eftersom man av olika skäl inte kan experimentera med verkliga förhållanden. Inom ramen för simulering är två alternativa tillvägagångssätt möjliga. Ett sådant alternativ är att basera simuleringen på faktiska data från företag, ett annat att basera simuleringen på statistiskt slumpmässigt genererade efterfrågedata och utvalda representativa parametervärden. Att utgå från faktiska data har fördelen att de i sann mening är verkliga. Detta alternativ är emellertid också förknippat med en del svårigheter och nackdelar. Det är i allmänhet inte möjligt att få tag på efterfrågedata över en tillräckligt lång period för att kunna åstadkomma en acceptabelt hög reliabilitet. Det är inte heller möjligt att säkerställa att företagsdata i rimlig omfattning är representativa vilket försvårar förutsättningarna för att åstadkomma en acceptabel validitet. Dessutom är det med utgångspunkt från företagsdata svårt att karakterisera och kontrollera vad det är för efterfrågeförhållanden det gäller och att göra uttalanden om under vilka förutsättningar i planeringsmiljön som lagerstyrningsmodellerna är användbara. Simuleringarna i den här studien baseras därför på konstruerade data och parametervärden som representerar olika typiska förhållanden i planeringsmiljön.

Trettiofyra olika efterfrågefäll omfattande 8 olika kundorderfrekvenser och 4 olika fall av kundorderkvantiteter har simulerats. De olika fallen framgår av tabell 6. För kundorderkvantiteter anges de kvantitetsintervall som använts. För varje efterfrågefäll och artikel har efterfrågan under sex tusen dagar genererats med utgångspunkt från de i tabellen visade kundorderfrekvenserna och orderkvantiteterna. Enligt Bagchi et al. (1984) är det lämpligt att modellera efterfrågan som en compound Poisson fördelning. Poisson fördelning har därför använts för att slumpmässigt generera antal kundorder per dag och rektangelfördelning för att bestämma kvantitet per kundorder. Det antas att det går tjugo arbetsdagar per månad och därmed 240 arbetsdagar per år.

Varje efterfrågefall har omfattat tjugo olika artiklar för att undvika risk för ett för stort slumpmässigt inflytande på resultaten. Av tabell 6 framgår medelefterfrågan per månad för de olika efterfrågefallen och i tabell 7 variationskoefficienterna för efterfrågan under ledtid för vart och ett av de olika efterfrågefallen och tre olika ledtidalternativ.

Tabell 6 Efterfrågan per månad i medeltal för respektive kundorderfrekvens och kundorderkvantitet.

Kundorder- frekvens	Antal kund- order per år	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter			
		1-3 st	2-6 st	4-12 st	8 – 24 st
10 per dag	2 400	400	800	1 600	3 200
5 per dag	1 200	200	400	800	1 600
3 per dag	720	120	240	480	960
1 per dag	240	40	80	160	320
1 per 2 dagar	120	20	40	80	160
1 per vecka	48	8	16	32	64
1 per 2 v:or	24	4	8	16	32
1 per månad	12	2	4	8	16

Tabell 7 Variationskoefficienter för efterfrågan under ledtid för de olika efterfrågefallen och respektive ledtidalternativ

Kundorder- frekvens	Antal kund- order per år	Variationskoefficienter vid olika ledtider		
		2 dagar	6 dagar	10 dagar
10 per dag	2 400	0,2	0,1	0,1
5 per dag	1 200	0,3	0,2	0,1
3 per dag	720	0,4	0,3	0,2
1 per dag	240	0,7	0,4	0,3
1 per 2 dagar	120	1,1	0,6	0,5
1 per vecka	48	1,7	1,0	0,7
1 per 2 v:or	24	2,4	1,4	1,1
1 per månad	12	3,3	1,9	1,5

Simuleringarna har genomförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic och baserats på en beställningspunktsmodell av typ (s,Q), dvs med fast orderkvantitet. Vid simuleringarna genomfördes för varje artikel och dag under sextusen dagar lageruttag, kontroll av aktuellt saldo i förhållande till beställningspunkt, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo. För att öka validiteten i simuleringarna genererades den dagliga efterfrågan för varje efterfrågestruktur och artikel i förväg och sparades i ett Excel-ark i stället för att genereras under simuleringens gång. Simuleringar för att jämföra lagerstyrningskostnader och erhållna servicenivåer kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata.

### 3.1 Orderkvantitet

Med avseende på orderkvantiteter har analys och utvärdering av den studerade teoretiska modellen för att beräkna orderkvantiteter genomförts genom att jämföra de teoretiskt beräknade orderkvantiteterna med orderkvantiteter som är kostnadsoptimala under mer

verklighetsnära förhållanden. För att uppskatta dessa kostnadsoptimala orderkvantiteter har totalt lager, säkerhetslager samt antal order per år beräknats för ett antal olika successivt ökande orderkvantiteter, från en orderkvantitet som är 20 procent mindre än den orderkvantitet som erhålls med hjälp av Wilsons formel, i steg om 2 procent upp till en orderkvantitet som är 80 procent större. Beräkningarna har genomförts för var och en av de tjugo artiklar som tillhör respektive efterfrågefäll. Därefter har medelvärden för samtliga tjugo artiklar beräknats.

För att få jämförbarhet mellan olika artiklar från samma efterfrågefäll och mellan de olika efterfrågefällen har för varje artikel och ordkvantitet den dimensionerande fyllnadsgradsservicen successivt ökats med 0,1 procentenhet från en låg nivå tills erhållen servicenivå uppgår till minst 97 procent, dvs så att erhållen leveransförmåga alltid blir den samma. Baserat på medelvärden för samtliga artiklar från var och en av de olika orderkvantiteterna har därefter summa lagerhållningskostnader och ordersärkostnader beräknats. Den orderkvantitet som ger upphov till lägst kostnadssumma utgör den simulerade kostnadsoptimala orderkvantiteten. Denna orderkvantitet har därefter jämförts med den med Wilsons formel beräknade teoretiskt optimala orderkvantiteten. Motsvarande summa lagerhållningskostnader och ordersärkostnader har också jämförts.

För att också studera hur väl teoretiskt optimal orderkvantitet och simulerat optimal orderkvantitet överensstämmer exklusive hänsyn till säkerhetslager har ovanstående beräkningar också genomförts med avseende på lagerhållningskostnader exklusive kostnader för säkerhetslager. Erhållet säkerhetslager definieras som medelvärdet av de kvantiteter som finns i lager vid inleveranstillfällena under den simulerade perioden gånger pris per styck.

Simuleringarna har genomförts för tre olika ordersärkostnader, 100:-, 200:- och 400:-, och därmed för tre olika stora teoretiskt optimala orderkvantiteter. För samtliga artiklar har pris per styck satts till 500:- och lagerhållningsfaktorn till 20 procent. Ledtiden för inleverans har satts till 6 dagar.

### 3.2 Säkerhetslager

Både den teoretiska modell som bygger på cykelservice och antagande om normalfördelad efterfrågan och den modell som bygger på fyllnadsgradservice och antagande om normalfördelad efterfrågan har utvärderats på principiellt samma sätt. I båda fallen har önskad servicenivå, och därmed den servicenivå som säkerhetslagret dimensioneras för, satts till 97 procent. Med hjälp av simulering har erhållen servicenivå beräknats för varje artikel och varje efterfrågefäll samt för tre olika ledtider, 2, 6 respektive 10 dagar. Endast den orderkvantitet som motsvarar en ordersärkostnad på 200 kronor har använts vid dessa simuleringar. Erhållet servicenivå har mätts så att den är identisk med den dimensionerande servicenivån, dvs mätts som cykelservice respektive fyllnadsgradservice. Skillnaderna mellan dessa erhållna servicenivåer och motsvarande önskade servicenivåer har därefter beräknats för varje artikel. Slutligen har medelvärden för skillnaderna i servicenivåer beräknats för samtliga artiklar per efterfrågefäll och ledtidsfall.

Som framgick av avsnitt 2.2 ovan påverkas erhållen servicenivå inte endast av hur säkerhetslagret dimensioneras utan även av att lagersaldot kan vara långt under beställningspunkten när ny inleveransorder initieras på grund av så kallat överdrag. För att kunna ta hänsyn till detta har vid varje tillfälle som beställningspunkten underskridits en



kvantitet lika med den överskridna kvantiteten lagts till lagersaldot för att kompensera för överdraget. Vid inleveranstillfället har därefter motsvarande kvantitet subtraherats från lagersaldot så att inte summa efterfrågan från lager påverkas. Med det här tillvägagångssättet kan skillnader mellan erhållen servicenivå och önskad servicenivå med vilken säkerhetslagret dimensionerats beräknas och betraktas som ett mått på i vilken utsträckning antagandet om att efterfrågan är kontinuerlig och normalfördelad är uppfyllt.

### 3.3 Lagerbehov från beställningspunkt till inleverans.

Utvärderingen av säkerhetslagermodellerna på det sätt som beskrivits ovan innebär att lagerbehovet under ledtid endast antas bestå av efterfrågan per dag gånger ledtiden i dagar, dvs utan hänsyn till att beställningspunkten oftast är underskriden när ny beställning initieras. För att även studera effekter av att hänsyn inte tas till sådana överdrag har de båda teoretiska modellerna analyserats och det gjorda antagandet utvärderats. I båda fallen har önskad servicenivå, och därmed den servicenivå som säkerhetslagret dimensionerats för, satts till 97 procent. Med hjälp av simulering har erhållen servicenivå beräknats för varje artikel och varje efterfrågefall samt för tre olika ledtider, 2, 6 respektive 10 dagar. Samma inleveranskvantiteter som i avsnitt 3.1 har använts vid simuleringarna. Erhållen servicenivå har mätts som samma typ av servicenivå som för den dimensionerande servicenivån, dvs. som cykelservice respektive fyllnadsgradsservice. Skillnaderna mellan dessa erhållna servicenivåer och motsvarande önskade servicenivåer har därefter beräknats för varje artikel. Slutligen har medelvärden av de olika skillnaderna i servicenivåer beräknats för samtliga artiklar per efterfrågefall och ledtidsfall.

Analys och utvärdering har också omfattat de modifieringar av beställningspunktsmodellen som innebär att beställningspunktskvantiteten utökas med ett uppskattat överdrag. Två alternativa modeller för detta har använts, dels att sätta överdraget lika med medelefterfrågan under ett halvt inspektionsintervall och dels att beräkna det mer teoretiskt korrekt med hjälp av formeln i avsnitt 2.3.

### 3.4 Dimensionerande kontra erhållen servicenivå

För att avgöra hur antagandet att man kan få en orderradsservice som ligger rimligt nära den cykelservice respektive fyllnadsgradsservice som säkerhetslagret dimensionerats för har skillnader i erhållen orderradsservice och dimensionerande cykelservice respektive fyllnadsgradsservice för de olika efterfrågefallen beräknats med hjälp av simulering. I båda fallen har önskad servicenivå, och därmed den servicenivå som säkerhetslagret dimensionerats för, satts till 97 procent. Med hjälp av simulering har erhållen servicenivå beräknats för varje artikel och varje efterfrågefall samt för tre olika ledtider, 2, 6 respektive 10 dagar. Skillnaderna mellan dessa erhållna servicenivåer och motsvarande önskade servicenivåer har därefter beräknats för varje artikel. Slutligen har medelvärden på de olika skillnaderna i servicenivåer beräknats för samtliga artiklar per efterfrågefall, orderstorleksfall och ledtidsfall.

## 4 Resultat och analyser

En sammanfattning av resultaten från de genomförda simuleringarna och beräkningarna med avseende på de olika teoretiska modellerna redovisas i nedanstående avsnitt. Dess-

utom redovisas hur mycket bättre några av de teoretiska modellerna kan bli genom att göra vissa kompletteringar.

#### 4.1 Orderkvantitet

Med avseende på modellen för bestämning av orderkvantiteter visas skillnader i procent mellan teoretiskt beräknade och simulerat erhållna optimala orderkvantiteter i tabellerna 8 och 9 för de olika efterfrågefallen. Tabell 8 avser fallet där ingen hänsyn tagits till säkerhetslagrets betydelse för orderkvantitetens storlek och tabell 9 fallet där sådan hänsyn tagits. Tabellerna omfattar endast fallet med en ordersärkostnad på 200 kr, dvs medelstora orderkvantiteter. På vad sätt resultaten avviker när orderkvantiteterna är mindre respektive större kommenteras endast i texten.

Tabell 8 Procentuella skillnader mellan teoretiskt och simulerat optimala orderkvantiteter i procent utan hänsyn tagen till säkerhetslagereffekter

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-1	-1	0	0
<i>5 per dag</i>	-2	-1	-1	-1
<i>3 per dag</i>	-3	-2	-2	0
<i>1 per dag</i>	-4	-2	-3	-2
<i>1 per 2 dagar</i>	0	-2	-2	-1
<i>1 per vecka</i>	-5	-4	-3	0
<i>1 per 2 v:or</i>	-7	0	-4	-7
<i>1 per månad</i>	-0	-7	-5	-4

Av tabell 8 framgår att erhållna teoretiskt optimala orderkvantiteter genomgående är något mindre än de simulerat optimala. Skillnaderna i procent mellan teoretiskt och simulerat optimala orderkvantiteter är emellertid från tillämpningssynpunkt praktiskt taget försumbara, speciellt för fallen med hög efterfrågefrekvens. I huvudsak samma resultat erhöles för fallen med mindre respektive större orderkvantiteter än de som ligger till grund för resultaten i tabell 8. De irregulariteter som finns i tabellen, speciellt för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens, beror på avrundningseffekter eftersom orderkvantiteter och säkerhetslager i dessa fall är mycket små tal. Man kan följaktligen dra slutsatsen att antagandet i den teoretiska modellen om att efterfrågan är kontinuerlig och infinitesimalt liten åt gången är mer eller mindre betydelselöst. Samma sak gäller antagandet att efterfrågan är konstant över tid.

Skillnaderna i procent mellan teoretiskt och simulerat optimala orderkvantiteter med hänsyn tagen till säkerhetslagrets påverkan är väsentligen större, se tabell 9. Av resultaten framgår också att skillnaderna blir större ju större kundorderkvantiteterna är. Detta är förväntat eftersom stora kundorderkvantiteter bidrar mer till att stora brister uppstår och därmed mer till behov av säkerhetslager. Att detta förhållande inte är lika tydligt för efterfrågefallen med låg kundorderfrekvens beror på att de beräknade orderkvantiteterna och säkerhetslagren blir mycket små och att därmed avrundningseffekter uppstår. Av resultaten från simuleringarna framgår också att skillnaderna blir något större om man använder mindre orderkvantiteter och något mindre om man använder något större orderkvantiteter.

Tabell 9 Procentuella skillnader mellan teoretiskt och simulerat optimala orderkvantiteter i procent med hänsyn tagen till säkerhetslagereffekter

Kundorder-frekvens	Kundorderkvantiteter			
	1 – 3 st	2 – 6 st	4 – 12 st	8 – 24 st
10 per dag	-10	-12	-15	-21
5 per dag	-11	-13	-15	-22
3 per dag	-10	-12	-14	-18
1 per dag	-10	-13	-16	-21
1 per 2 dagar	-11	-14	-16	-24
1 per vecka	-17	-13	-17	-21
1 per 2 v:or	-15	-17	-25	-27
1 per månad	-18	-19	-21	-18

Enligt teorierna bakom Wilsonformeln är totalkostnadskurvan mycket flack, dvs summan av lagerhållningskostnader och ordersärkostnader ökar inte särskilt mycket om man avviker från optimal orderkvantitet. Det kan därför vara intressant att studera hur mycket dessa totalkostnader ökar när man använder teoretiskt optimal orderkvantitet jämfört med simulerat optimal orderkvantitet. Ökningarna i procent framgår av tabell 10. Uppenbarligen medför de skillnader i orderkvantiteter som framgick av tabell 9 inte till några nämnvärda kostnadsökningar. Det är endast vid mycket låg kundorderfrekvens och mycket höga kundorderkvantiteter som skillnaderna har något praktiskt intresse. För fallen med låga kundorderfrekvenser och stora kundorderkvantiteter är skillnaderna inte försumbara vid en ordersärkostnad på 100 kr, dvs för små inleveranskvantiteter, i flera fall var de mer än sju procentenheter.

Tabell 10 Procentuella skillnader i lagerstyrningskostnader vid användning av teoretiskt optimala orderkvantiteter jämfört med simulerat optimala orderkvantiteter i procent med hänsyn tagen till säkerhetslagereffekter

Kundorder-frekvens	Kundorderkvantiteter			
	1 – 3 st	2 – 6 st	4 – 12 st	8 – 24 st
10 per dag	+1	+1	+1	+3
5 per dag	0	+1	+1	+2
3 per dag	+1	+1	+1	+2
1 per dag	+1	+1	+1	+2
1 per 2 dagar	0	+2	+2	+2
1 per vecka	+1	+2	+2	+2
1 per 2 v:or	0	+2	+2	+3
1 per månad	+2	+2	+3	+5

## 4.2 Säkerhetslager

Skillnader i procentenheter mellan erhållna servicenivåer vid säkerhetslagerberäkning baserad på teoretiska modeller med antagande om kontinuerlig och normalfördelad efterfrågan å ena sidan och önskade servicenivåer erhållna med hjälp av simulering å den andra redovisas i tabell 11 och 12. Tabell 11 avser förhållandena vid dimensionering av säkerhetslager från önskad cykelservice och tabell 12 motsvarande förhållanden vid di-

mensionering av säkerhetslager från önskad fyllnadsgradsservice. Eftersom effekter av att överdrag inträffar har eliminerats kan resultaten sägas utgöra mått på hur väl normalfördelningen överensstämmer med den verkliga efterfrågefördelningen. Tabellerna omfattar endast fallet med en ledtid på sex dagar och en orderkvantitet baserad på 200 kronor i ordersärkostnad.

Tabell 11 Skillnader mellan erhållen cykelservice (Serv1) och önskad cykelservice i procentenheter vid korrigering för överdrag

<i>Kundorder-frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	0,1	2,1	2,2	2,7
<i>5 per dag</i>	0,0	0,9	1,9	2,2
<i>3 per dag</i>	0,0	0,1	1,7	1,7
<i>1 per dag</i>	0,2	-0,9	-0,7	1,0
<i>1 per 2 dagar</i>	0,2	-0,6	-0,8	0,2
<i>1 per vecka</i>	0,1	-0,4	-1,3	-1,0
<i>1 per 2 v:or</i>	1,0	-1,9	-1,9	-1,9
<i>1 per månad</i>	1,1	0,0	-2,1	-3,7

Som framgår av tabellerna 11 och 12 är resultaten likvärdiga för de båda sätten att definiera servicenivå. Det framgår också att användning av normalfördelning för att beskriva efterfrågevariationer vid säkerhetslagerberäkning för merparten av de studerade efterfrågefallen ger servicenivåer som mycket nära överensstämmer med de önskade. Det är endast för fallen med störst kundorderkvantiteter som skillnaderna har någon praktisk betydelse. Storleken på variationskoefficienten är ett vanligt använt mått för att avgöra om det är rimligt att använda normalfördelning eller ej. Se exempelvis Mattsson (2003). Exempelvis är det vanligt att man anser att normalfördelningen är användbar om variationskoefficienten är mindre än storleksordningen 0,5. Av resultaten att döma är detta kriterium för att använda normalfördelning inte särskilt tillfredsställande. Baserat på variationskoefficienterna för de olika efterfrågefallen som redovisas i tabell 2, skulle normalfördelningen endast vara tillämplig för kundorderfrekvenser större än en kundorder per dag oavsett kundorderkvantitet vilket inte alls överensstämmer med resultaten i tabell 11 och 12. Av resultaten framgår dessutom att det inte endast är variationskoefficienten som har betydelse för hur väl normalfördelningen motsvarar verklig efterfrågefördelning utan även kundorderkvantitetens storlek.

Tabell 12 Skillnader mellan erhållen fyllnadsgradsservice (Serv2) och önskad fyllnadsgradsservice vid korrigering för överdrag

<i>Kundorder-frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	0,0	0,3	2,1	2,4
<i>5 per dag</i>	0,1	0,3	1,0	2,0
<i>3 per dag</i>	0,2	0,3	0,3	1,5
<i>1 per dag</i>	0,2	0,3	0,0	0,0
<i>1 per 2 dagar</i>	0,4	0,7	0,0	-0,2
<i>1 per vecka</i>	0,8	0,8	-0,4	-0,7
<i>1 per 2 v:or</i>	-0,5	-0,2	-1,2	-1,4
<i>1 per månad</i>	-0,6	0,1	-3,0	-4,3

Av de båda tabellerna kan man också utläsa att höga kundorderfrekvenser tenderar att ge för höga servicenivåer och låga kundorderfrekvenser att ge för låga servicenivåer. De resultat som erhållits för ledtiderna 2 dagar och 10 dagar visar också att skillnaderna mellan erhållna och önskade servicenivåer blir större vid kortare ledtider. Kortare ledtider leder också till att erhållna servicenivåer praktiskt taget för samtliga efterfrågefäll bli lägre än önskade. Vid kombinationen låg kundorderfrekvens och stor kundorderkvantitet är skillnaderna betydande, speciellt för fyllnadsgradsservice.

#### 4.3 Lagerbehov från beställningspunkt till inleverans.

Skillnader i procentenheter mellan erhållna servicenivåer och önskade servicenivåer baserat på antagandet att man vid beräkning av lagerbehov från beställningspunkt till inleverans kan bortse från effekter av överdrag redovisas i tabell 13 och 14. Tabell 13 avser förhållandena vid dimensionering av säkerhetslager från en önskad cykelservice och tabell 14 motsvarande förhållanden vid dimensionering av säkerhetslager från en önskad fyllnadsgradsservice. Tabellerna omfattar endast fallet med en ledtid på sex dagar och en medelstor orderkvantitet. På vad sätt resultaten avviker när ledtiden är kortare respektive längre än sex dagar och orderkvantiteterna större eller mindre kommenteras endast i texten.

Tabell 13 Skillnader mellan erhållen cykelservice (Serv1) och önskad cykelservice i procentenheter

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-9,2	-9,6	-10,5	-10,5
<i>5 per dag</i>	-6,1	-7,2	-7,4	-7,5
<i>3 per dag</i>	-4,1	-5,1	-5,8	-6,1
<i>1 per dag</i>	-2,7	-4,2	-5,3	-5,6
<i>1 per 2 dagar</i>	-2,6	-4,4	-5,5	-6,1
<i>1 per vecka</i>	-2,2	-5,1	-7,0	-7,7
<i>1 per 2 v:or</i>	-1,6	-5,9	-9,0	-9,9
<i>1 per månad</i>	-4,6	-9,5	-12,5	-14,3

Av tabell 13 framgår att erhållna servicenivåer blir påtagligt lägre än den önskade som säkerhetslagren dimensionerats för. Med så stora skillnader kan man konstatera att den teoretiska modell för bestämning av säkerhetslager som bygger på cykelservice och som bortser från att lagersaldot kan vara under beställningspunkten när en ny order planeras in inte kan betraktas som användbar. Eftersom skillnaderna enligt avsnitt 4.2 är mycket måttliga med avseende på antagandet om normalfördelad efterfrågan påvisar resultaten överdragets stora betydelse för att kunna uppnå servicenivåer som ligger i paritet med de önskade. Avvikelse från önskad servicenivå blir ytterligare större vid kortare ledtider och något mindre vid längre ledtider. Storleken på orderkvantiteten påverkar inte skillnaderna.

Även om skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå enligt tabell 14 är något mindre för fyllnadsgradsservice jämfört med cykelservice så kan samma slutsatser som ovan även dras för fallet med fyllnadsgradsservice.

Tabell 14 Skillnader mellan erhållen fyllnadsgradsservice (Serv2) och önskad fyllnadsgradsservice i procentenheter

<i>Kundorder-frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-4,0	-5,0	-6,3	-8,8
<i>5 per dag</i>	-2,7	-3,7	-4,5	-5,7
<i>3 per dag</i>	-2,1	-2,8	-3,6	-4,5
<i>1 per dag</i>	-1,5	-2,4	-3,2	-4,0
<i>1 per 2 dagar</i>	-1,0	-2,4	-3,2	-4,5
<i>1 per vecka</i>	-1,5	-2,8	-4,3	-5,4
<i>1 per 2 v:or</i>	-2,3	-3,2	-5,9	-7,9
<i>1 per månad</i>	-1,9	-5,0	-7,7	-11,4

Vid användning av cykelservice påverkas skillnaden mellan erhållen och önskad servicenivå praktiskt taget inte alls av orderkvantitetens storlek. Däremot leder mindre orderkvantiteter till klart större skillnader och större orderkvantiteter till klart mindre skillnader mellan erhållen och önskad fyllnadsgradsservice. Vid mindre ledtider är sex dagar blir skillnaderna större och vid längre mindre. Detta är helt förväntat eftersom variationskoefficienten minskar med ökande ledtider.

Om hänsyn tas till överdrag genom att öka beställningspunkten med efterfrågan under ett halvt inspektionsintervall, dvs i det här fallet en halv dags medelefterfrågan, blir skillnader i procentenheter mellan erhållna servicenivåer och önskade servicenivåer enligt tabell 15 och 16. Tabell 15 avser förhållandena vid dimensionering av säkerhetslager från önskad cykelservice och tabell 16 motsvarande förhållanden vid dimensionering av säkerhetslager från önskad fyllnadsgradsservice. Tabellerna omfattar endast fallet med en ledtid på sex dagar. På vad sätt resultaten avviker när ledtiden är kortare respektive längre än sex dagar och orderkvantiteterna större eller mindre än den i tabellen använda orderkvantiteten kommenteras endast i texten.

Tabell 15 Skillnader mellan erhållen cykelservice ( Serv1) och önskad cykelservice i procentenheter vid tillägg av överdrag beräknat som medelefterfrågan under en halv dag

<i>Kundorder-frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-1,0	-1,1	-1,6	-1,5
<i>5 per dag</i>	-0,8	-1,2	-1,3	-1,7
<i>3 per dag</i>	-0,7	-1,1	-1,3	-1,5
<i>1 per dag</i>	-0,7	-1,7	-2,4	-2,6
<i>1 per 2 dagar</i>	-1,3	-2,5	-3,2	-3,9
<i>1 per vecka</i>	-1,0	-3,7	-4,8	-6,0
<i>1 per 2 v:or</i>	-1,4	-4,0	-7,1	-8,2
<i>1 per månad</i>	-3,9	-9,1	-10,2	-12,8

Av tabell 15 framgår tydligt att skillnaderna mellan erhållen cykelservice och önskad cykelservice är betydligt mindre om man gör ett överdragstillägg på en halv dagsefterfrågan till beställningspunkten. För efterfrågefall med låg orderfrekvens och stora

kundorderkvantiteter är de emellertid fortfarande oacceptabelt stora. Detta förhållande är förväntat eftersom medelefterfrågan per dag blir betydligt lägre än den medelefterfrågan som förekommer för dagar med efterfrågan när kundorderfrekvenserna är låga. Samma slutsatser kan dras vid användning av fyllnadsgradsservice enligt tabell 16. Det kan noteras att i båda fallen blir erhållen servicenivå fortfarande alltid lägre än önskad servicenivå,

Tabell 16 Skillnader mellan erhållen fyllnadsgradsservice (Serv2) och önskad fyllnadsgradsservice i procentenheter vid tillägg av överdrag beräknat som medelefterfrågan under en halv dag

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-0,4	-0,6	-0,9	-1,5
<i>5 per dag</i>	-0,2	-0,6	-0,8	-1,3
<i>3 per dag</i>	-0,3	-0,4	-0,8	-1,2
<i>1 per dag</i>	-0,4	-1,0	-1,4	-1,9
<i>1 per 2 dagar</i>	-0,4	-1,4	-1,9	-2,7
<i>1 per vecka</i>	-0,5	-1,9	-3,4	-4,0
<i>1 per 2 v:or</i>	-1,0	-3,1	-4,8	-6,6
<i>1 per månad</i>	-1,1	-5,0	-7,0	-10,2

Med avseende på orderkvantitetens inverkan på skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå gäller för både cykelservice och fyllnadsgradsservice samma förhållande som ovan när inga hänsyn togs till förekomst av överdrag. Även med avseende på olika ledtidslängder är förhållandena de samma som ovan.

Som framgick av avsnitt 2.3 finns det ett mer avancerat sätt att göra tillägg för överdrag. Om detta tillvägagångssätt används blir skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå enligt tabellerna 17 och 18 för cykelservice respektive fyllnadsgradsservice. Även här omfattar tabellerna endast fallet med en ledtid på sex dagar. På vad sätt resultaten avviker när ledtiden är kortare respektive längre än sex dagar och orderkvantiteterna större eller mindre än den som tabellen avser kommenteras endast i texten.

Tabell 17 Skillnader mellan erhållen cykelservice (Serv1) och önskad cykelservice i procentenheter vid tillägg av teoretiskt beräknat överdrag

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-0,2	-0,2	-0,6	-0,5
<i>5 per dag</i>	-0,1	-0,3	-0,2	-0,5
<i>3 per dag</i>	0,3	0,2	0,0	-0,1
<i>1 per dag</i>	0,5	-0,1	-0,6	-0,4
<i>1 per 2 dagar</i>	0,2	-0,5	-0,8	-0,9
<i>1 per vecka</i>	0,2	-0,7	-0,9	-1,6
<i>1 per 2 v:or</i>	1,2	-0,3	-1,3	-1,9
<i>1 per månad</i>	-0,5	-2,3	-3,1	-3,8

Som framgår av tabell 17 blir skillnaderna mellan erhållen cykelservice och önskad cykelservice försumbara för praktisk användning. Det är endast för några fall med mycket låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter som skillnaderna är av intresse. Det är följaktligen uppenbart att beställningspunktsmodellen med antagande om normalfördelad efterfrågan och kompletterad med tillägg för överdrag i de flesta fall fungerar alldeles utmärkt när man använder cykelservice för att dimensionera säkerhetslager.

Förhållandena är i huvudsak identiska när säkerhetslagret dimensioneras med fyllnadsgradsservice. Se tabell 18. Ända skillnaden är att skillnaderna mellan erhållna och önskade servicenivåer är ännu mindre för fyllnadsgradsservice.

Tabell 18 Skillnader mellan erhållen fyllnadsgradsservice (Serv2) och önskad fyllnadsgradsservice i procentenheter vid tillägg av teoretiskt beräknat överdrag

Kundorder- frekvens	Kundorderkvantiteter			
	1 – 3 st	2 – 6 st	4 – 12 st	8 – 24 st
10 per dag	0,0	-0,1	-0,3	-0,6
5 per dag	0,2	-0,1	-0,1	-0,3
3 per dag	0,2	0,1	0,0	-0,2
1 per dag	0,2	0,0	-0,2	-0,3
1 per 2 dagar	0,2	-0,2	-0,2	-0,6
1 per vecka	0,9	0,0	-0,5	-0,8
1 per 2 v:or	0,2	-0,3	-0,9	-1,4
1 per månad	-0,2	-0,6	-1,3	-2,6

Orderkvantitetens storlek och ledtidens längd påverkar skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå på samma sätt som ovan när överdragets satts lika med en halv dags medelefterfrågan.

#### 4.4 Dimensionerande kontra erhållen servicenivå

Vid dimensionering av säkerhetslager baserat på cykelservice respektive fyllnadsgradsservice och uppföljning av erhållen servicenivå i form av orderradsservice uppstår skillnader mellan önskad och erhållen servicenivå eftersom de båda måtten inte avser samma sak. De skillnader i procentenheter mellan erhållen orderradsservice och en önskad servicenivå på 97 procent som erhölls med hjälp av simuleringarna visas i tabell 19 till 22. Tabellerna omfattar fallet med en ledtid på sex dagar och den orderkvantitet som motsvaras av en ordersärkostnad på 200 kr. På vad sätt resultaten avviker när ledtiden är kortare respektive längre än sex dagar och orderkvantiteterna större eller mindre kommenteras endast i texten .

Tabell 19 avser förhållandena vid dimensionering av säkerhetslager från önskad cykelservice och tabell 20 motsvarande förhållanden vid dimensionering av säkerhetslager från önskad fyllnadsgradsservice för fallet att hänsyn inte tas till överdrag.

Av tabell 19 framgår att om man använder cykelservice för att dimensionera säkerhetslager kommer man att få en ekvivalent orderradsservice som är klart högre än den cykelservice man dimensionerat säkerhetslagret för i praktiskt taget samtliga efterfrågefäll. Det är endast för efterfrågefäll med mycket låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter som erhållen orderradsservice blir nominellt mindre än önskad cykel-



service. Att skillnaderna mellan erhållen orderradsservice dimensionerande cykelservice är tämligen måttliga beror på att 97 procent cykelservice är en mycket hög servicenivå med de orderkvantiteter som analyserats i den här studien. Skillnaderna blir något mindre vid kortare ledtid än sex dagar och något större vid en ledtid längre än sex dagar. Om man jämför med resultaten i tabell 13 framgår det att skillnaderna mellan erhållen orderradsservice och erhållen cykelservice är avsevärda. Med andra ord ger en viss önskad cykelservice en alldeles för låg erhållen cykelservice men en för hög erhållen orderradsservice. Större inleveransorderkvantiteter medför något större skillnader medan mindre inleveransorderkvantiteter medför något mindre.

Tabell 19 Skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad cykelservice (Serv1) i procentenheter

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	2,0	1,6	0,9	-0,2
<i>5 per dag</i>	2,3	1,9	1,4	0,6
<i>3 per dag</i>	2,4	2,1	1,6	0,9
<i>1 per dag</i>	2,4	1,9	1,3	0,5
<i>1 per 2 dagar</i>	2,3	1,7	0,8	-0,7
<i>1 per vecka</i>	2,2	1,1	-0,3	1,7
<i>1 per 2 v:or</i>	2,1	0,3	1,9	-4,4
<i>1 per månad</i>	1,0	-1,5	-4,8	-9,2

I motsats till förhållandena vid användning av cykelservice blir erhållen orderradsservice genomgående lägre än den servicenivå som säkerhetslagret dimensionerats för med fyllnadsgradsservice. Skillnaderna är i de flesta fall avsevärda. I det här fallet blir skillnaderna något större, dvs något mer negativa, vid kortare ledtid än sex dagar och något mindre vid en ledtid längre än sex dagar. Om man jämför med resultaten i tabell 14 framgår det att skillnaderna mellan erhållen orderradsservice och erhållen fyllnadsgradsservice är mycket små utom för efterfrågefäll med låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter. Med andra ord finns det en betydligt bättre överensstämmelse mellan erhållen orderradsservice och erhållen fyllnadsgradsservice än vad fallet var för cykelservice. Större inleveransorderkvantiteter medför något mindre skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad fyllnadsgradsservice medan mindre inleveransorderkvantiteter medför något större skillnader.

Tabell 20 Skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad fyllnadsgradsservice (Serv2) i procentenheter

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-4,3	-5,5	-7,0	-9,7
<i>5 per dag</i>	-3,1	-4,4	-5,4	-6,8
<i>3 per dag</i>	-2,6	-3,7	-4,8	-6,0
<i>1 per dag</i>	-2,6	-4,1	-5,5	-6,8
<i>1 per 2 dagar</i>	-2,1	-4,6	-6,4	-8,6
<i>1 per vecka</i>	-1,8	-6,0	-9,0	-11,8
<i>1 per 2 v:or</i>	-4,3	-7,1	-12,4	-16,4
<i>1 per månad</i>	-3,9	-11,0	-17,8	-25,6

Motsvarande resultat i form av skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad cykelservice respektive fyllnadsgradsservice då ett teoretiskt beräknat överdrag adderats till beställningspunkten visas i tabell 21 respektive 22 för en ledtid på sex dagar.

Tabell 21 Skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad cykelservice (Serv1) i procentenheter vid tillägg av teoretiskt beräknat överdrag

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	2,8	2,7	2,5	2,4
<i>5 per dag</i>	2,8	2,7	2,6	2,3
<i>3 per dag</i>	2,8	2,7	2,6	2,3
<i>1 per dag</i>	2,8	2,5	2,4	2,0
<i>1 per 2 dagar</i>	2,7	2,5	2,1	1,7
<i>1 per vecka</i>	2,6	2,2	1,8	1,1
<i>1 per 2 v:or</i>	2,7	2,0	1,3	0,3
<i>1 per månad</i>	2,1	1,1	0,0	-1,4

Som framgår av tabell 21 blir skillnaderna mellan erhållen orderradsservice och önskad cykelservice något större när hänsyn tas till överdrag. Praktiskt taget samtliga skillnader är positiva. Att så är fallet är förväntat eftersom överdraget ökar beställningspunkten och därmed erhållen servicenivå. Skillnaderna påverkas praktiskt taget inte alls om ledtiden är kortare eller längre än de sex dagar som ovanstående resultat avser. Av en jämförelse med resultaten i tabell 17 framgår det att skillnaderna mellan erhållen orderradsservice och erhållen cykelservice är betydligt måttligare än vad som var fallet när ingen hänsyn togs till förekomst av överdrag. Inleveransorderkvantitetens storlek har en marginell betydelse på skillnadernas storlek.

Tabell 22 Skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad fyllnadsgradsservice (Serv2) i procentenheter vid tillägg av teoretiskt beräknat överdrag

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Kundorderkvantiteter</i>			
	<i>1 – 3 st</i>	<i>2 – 6 st</i>	<i>4 – 12 st</i>	<i>8 – 24 st</i>
<i>10 per dag</i>	-0,2	-0,3	-0,6	-1,0
<i>5 per dag</i>	0,0	-0,4	-0,6	-0,8
<i>3 per dag</i>	-0,1	-0,4	-0,6	-0,9
<i>1 per dag</i>	-0,4	-0,9	-1,4	-1,7
<i>1 per 2 dagar</i>	-0,6	-1,5	-1,9	-2,6
<i>1 per vecka</i>	0,1	-1,7	-2,9	-3,6
<i>1 per 2 v:or</i>	-1,0	-2,5	-4,2	-5,4
<i>1 per månad</i>	-1,5	-3,1	-5,2	-7,7

Motsvarande resultat med avseende fyllnadsgradsservice enligt tabell 22 visar att det bortsett från efterfrågefall med låg orderfrekvens och stora kundorderkvantiteter finns en god överensstämmelse mellan dimensionerande fyllnadsgradsservice och erhållen orderradsservice. Ledtidens längd har en försumbar inverkan på skillnaderna. Vid en jämförelse med tabell 18 framgår också att skillnaderna mellan erhållen orderradsservi-

ce och erhållen fyllnadsgradsservice vid samma dimensionerande fyllnadsgradsservice är mycket små utom för efterfrågefall med låg orderfrekvens och stora kundorderkvantiteter. Större inleveransorderkvantiteter medför något mindre skillnader mellan erhållen orderradsservice och önskad fyllnadsgradsservice medan mindre inleveransorderkvantiteter medför något större skillnader.

Vid säkerhetslagerberäkning med hjälp av cykelservice tas ingen hänsyn till storleken på inleveranskvantiteten. Det kan därför förefalla märkligt att denna kvantitet endast marginellt påverkar erhållen orderradsservice. Förklaring är att 97 procent cykelservice är en mycket hög servicenivå som med de använda orderstorlekarna ger orderradsservicenivåer på nästan ett hundra procent. Skillnaderna kan därför inte bli större än någon enstaka tiodel av en procent. Hade cykelservicen satts på en nivå som skulle gett 97 procent orderradsservice hade stora orderkvantiteter gett betydligt högre orderradsservice än små orderkvantiteter.

## 5 Sammanfattning och slutsatser

I den här studien har några vanligt använda teoretiska modeller för lagerstyrning utvärderats under mer verklighetsnära förhållanden än vad som motsvarar de antaganden som teorierna utgår från. För ett stort antal efterfrågefall med olika kundorderfrekvenser och olika kundorderkvantiteter har olika lagerstyrningsparametrar i modellerna bestämts, dels som teoretiskt optimala värden beräknade med hjälp av teoretiska modeller och dels med hjälp av simulering baserad på mer verklighetsnära förhållanden. Dessa simuleringsmässigt genererade parametrar representerar verkligt optimala parametervärden. Resultaten från de med teoretiska modeller erhållna värdena och de verkligt optimala värdena har därefter jämförts. De huvudsakliga resultaten från dessa jämförelser kan sammanfattas i följande punkter:

De orderkvantiteter som den teoretiska modellen ger avviker marginellt från de verkligt optimala under förutsättning att ingen hänsyn tas till säkerhetslagereffekter. Om däremot hänsyn tas till att optimal orderkvantitet är beroende säkerhetslagret och vice versa är de verkligt optimala orderkvantiteterna storleksordningen mellan 10 och 25 procent större än de teoretiskt optimala. Skillnaderna blir större ju lägre kundorderfrekvensen är och ju större kundorderkvantiteterna är. Trots dessa skillnader i orderkvantiteter blir motsvarande skillnader i summa lagerhållningskostnader och ordersärkostnader mindre än 3 procent för praktiskt taget samtliga efterfrågefall.

Vid säkerhetslagerbestämning baserad på antagandet att efterfrågan är normalfördelad erhöles för de flesta efterfrågefallen en mycket god överensstämmelse mellan önskade och erhållna servicenivåer, både för cykelservice och fyllnadsgradsservice. I en klar majoritet av fallen var skillnaderna under 1 procentenhet. Antagandet om normalfördelad efterfrågan kan därmed oftast betraktas som fullt tillfredsställande. Det är endast för efterfrågefall med mycket korta ledtider, mycket låga kundorderfrekvenser och stora kundorderkvantiteter som antagandet om normalfördelning är mera tveksamt. Genomgående blev den erhållna servicenivån lägre än den önskade i dessa fall.

Antagandet att alla uttag är en enhet och därmed att ingen hänsyn behöver tas till överdrag leder till oacceptabelt stora skillnader mellan erhållen och önskad servicenivå för samtliga efterfrågefall. Skillnaderna var mellan storleksordningen 2 och 14 procentenheter i samtliga fall. Om överdrag beräknade som medelefterfrågan under ett halvt in-

spektionsintervall adderas till beställningspunkten blir skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå under storleksordningen strax över 1 procentenhet för hälften av efterfrågefallen med hög kundorderfrekvens och små kundorderkvantiteter. För övriga efterfrågefall ligger skillnaderna i storleksordningen 2 till 10 procentenheter. Beräknas i stället överdraget mer teoretiskt korrekt blir skillnaderna ytterligare mindre och den helt övervägande delen av alla efterfrågefall får helt acceptabla skillnader mellan erhållen och önskad servicenivå, endast undantagsvis över 1 procentenhet. Förhållandena gäller för både cykelservice och fyllnadsgradsservice.

Måttet orderradsservice på erhållen servicenivå är inte ekvivalent med de dimensionerande måtten cykelservice och fyllnadsgradsservice. Detta leder för de studerade efterfrågefallen till att erhållen orderradsservice genomgående blir högre än önskad cykelservice utom för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter. Kompensation för överdrag har relativt liten betydelse för storleken på skillnaderna mellan önskad och erhållen cykelservice. För fyllnadsgradsservice är förhållandet det motsatta, dvs erhållen orderradsservice är genomgående lägre eller mycket lägre än den önskade fyllnadsgradsservicen, storleksordningen 3 till 20 procentenheter lägre. Skillnaderna är klart mindre om beställningspunkten kompenseras med överdrag, för många efterfrågefall under 1 procentenhet och endast undantagsvis över 3 procentenheter.

Följande övergripande slutsatser kan dras från resultaten av de genomförda simuleringarna.

Orderkvantiteter baserade på Wilsons formel blir för små jämfört med de under verkliga förhållanden optimala kvantiteterna men de kostnadsskillnader detta leder till är med endast enstaka undantag för praktisk användning tämligen försumbara.

Att anta att efterfrågan är normalfördelad är fullt tillfredsställande utom för efterfrågefall med mycket låg kundorderfrekvens och stora kundorderkvantiteter, dvs för mycket oregelbunden och ojämn efterfrågan.

Att kompensera beräknade beställningspunkter med överdrag har en helt avgörande betydelse för att få den servicenivå som man önskar och dimensionerar säkerhetslagret för.

Använder man orderradsservice som mått på erhållen leveransförmåga måste man använda sig av en lägre cykelservicenivå respektive en högre fyllnadsgradsservicenivå vid dimensionering av säkerhetslager för att uppnå önskad nivå på orderradsservice.

## Referenser

Axsäter, S. (1991) Lagerstyrning, Studentlitteratur.

Bagchi, U., Haya, J., Ord, J. (1984) Concepts, theory and techniques: modeling demand during lead time, Decision Science, Vol. 15, sid 157-176.

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

Mattsson, S-A. (2005) Överdrag i beställningspunktssystem, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Universitet.

Mattsson, S-A. (2003) Normalfördelning och Poissonfördelning för bestämning av säkerhetslager, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Universitet.

Tersine, R. (1994) Principles of inventory and materials management, Prentice-Hall.