

Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

Uttag från lager utgör i praktiskt taget alla sammanhang diskreta kvantiteter som är större än enstaka styck och inte kontinuerliga som den grundläggande lagerstyrningsteorin utgår från. Detta leder till att lagersaldot i allmänhet blir lägre än beställningspunkten när en ny lagerpåfyllnadsorder initieras, dvs så kallade överdrag uppstår. Att inte ta hänsyn till sådana överdrag innebär att beställningspunkten underdimensioneras och att man följaktligen inte når önskade servicenivåer. I denna studie har storleken på överdrag beräknats med hjälp simulering för olika ledtider och efterfrågestrukturer. De relativa fel vid bestämning av beställningspunkter som man gör genom att inte ta hänsyn till överdrag har analyserats. Dessutom har alternativa metoder för att dimensionera och ta hänsyn till överdrag redovisats. Metodernas påverkan på möjligheterna att nå önskade servicenivåer har också analyserats och utvärderats. De huvudsakliga resultaten från studien kan sammanfattas enligt följande.

Av resultaten framgår att de relativa fel som uppstår om beställningspunkter beräknas utan hänsyn till överdrag inte är försumbara. Om man accepterar relativa fel på upp till fem procent innebär resultaten att det endast är vid efterfrågefall med kundorderfrekvenser högre än en kundorder per dag och ledtider längre än 10 dagar som den traditionella modellen för beräkning av beställningspunkter ger acceptabla resultat. För ledtider på 2 dagar blir de relativa felen aldrig under 20 procent och för kundorderfrekvenser på en order per vecka eller lägre väsentligen över 100 %.

Resultaten från simuleringarna visar också att erhållna servicenivåer blir påtagligt lägre än de önskade som säkerhetslagret dimensionerats för vid samtliga efterfrågefall och ledtider om man inte tar hänsyn till överdrag. Skillnaderna är speciellt stora vid korta ledtider. Exempelvis blev skillnaderna för samtliga efterfrågestrukturer över 2 procentenheter och som mest 16 procentenheter. Simuleringarna visade också att man genom att beräkna överdrag och addera dem till beställningspunkten i mycket stor utsträckning kan nå den servicenivå man önskar. För de två mest lämpliga beräkningsmetoderna kunde skillnaderna mellan önskad och erhållen servicenivå reduceras till klart under en procent för praktiskt taget samtliga studerade efterfrågefall och ledtidfall.

Slutsatsen från den genomförda simuleringstudien är därför att den traditionella formeln för att beräkna beställningspunkter måste kompletteras med en överdragskvantitet för att ge rimligt korrekta resultat. I annat fall kan man ifrågasätta mervärdet av att dimensionera säkerhetslager baserat på en önskad servicenivå i stället för på enkla metoder som exempelvis antal dagars efterfrågan.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I många företag används olika lagerstyrningsmetoder för att åstadkomma en önskad leveransförmåga med så liten kapitalbindning som möjligt. Till de mest vanligt förekommande metoderna hör beställningspunktssystem, periodbeställningssystem, täcktidsplanering och materialbehovsplanering. Alla dessa metoder baseras på teoretiska modeller som i större eller mindre utsträckning bygger på förenklande antaganden om verkliga förhållanden. 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. Är det fråga om kvantitativa modeller är förenklingar dessutom i regel nödvändiga för att man över huvud taget skall kunna hitta lösningar med tillgängliga matematiska och statistiska metoder. Eftersom man fattar beslut och drar slutsatser från modeller som utgör förenklade bilder av verkligheten snarare än från verkliga förhållanden är det av avgörande betydelse att modellernas avbildningsförmåga är acceptabelt hög.

Samtliga lagerstyrningsmodeller som nämndes ovan bygger på ett antagande om att lageruttag sker kontinuerligt över tiden. Så är naturligtvis inte fallet i verkligheten. Lageruttag är diskreta och sker vid oregelbundna tidpunkter. Är uttag ett styck eller enstaka styck och mycket frekventa kan modellernas avbildningsförmåga fortfarande betraktas som tillfredsställande och därmed ge rimligt korrekta lösningar. Ju större uttagen är och ju mer lågfrekventa de är, desto sämre blir emellertid avbildningsförmågan och desto mindre tillfredsställande blir de lösningar som erhålls.

Effekterna av att lageruttagen i normalfallet är diskreta och större än ett kan enklast illustreras för ett beställningspunktssystem men förhållandena är de samma för övriga lagerstyrningsmetoder med undantag för periodbeställningssystem. Med en beställningspunkt menas den kvantitet som måste finnas i lager när en ny beställning för att fylla på lagret behöver läggas ut för att man skall undvika brist. I den teoretiska modellen sätts denna beställningspunkt lika med prognostiserad efterfrågan under ledtid plus ett säkerhetslager för att fånga upp förekommande efterfrågevariationer så att man kan uppnå en önskad servicenivå. Om lageruttagen är större än ett styck kommer emellertid lagersaldot plus förväntade inleveranser under ledtiden alltid att vara lägre än beställningspunkten. Följaktligen kommer den kvantitet, bortsett från säkerhetslagret, som finns kvar i lager vid beställningstillfället alltid att vara mindre än vad som motsvaras av prognostiserad efterfrågan under ledtid.

Skillnaden mellan beställningspunkten och lagersaldot just när beställningspunkten underskrids kallas överdrag. Dess värde är som lägst noll och som högst den maximalt förekommande uttagskvantiteten minus ett. Så som traditionellt använda lagerstyrningsmodeller är uppbyggda antas överdraget vara lika med noll. Konsekvensen blir att den servicenivå man uppnår blir mindre än den man önskar och dimensionerar säkerhetslagret för. För att få en mer verklighetsnära modell bör i stället beställningspunkter beräknas med hjälp av följande formel.

Beställningspunkten = prognostiserad efterfrågan per period * ledtiden i perioder + överdrag + säkerhetslager

Man måste sålunda lägga till en tredje term i den traditionella beställningspunktsformeln för att få rimligt korrekta beställningspunkter. Tillägg av motsvarande slag måste också göras för de övriga ovan nämnda lagerstyrningsmetoderna. Eftersom överdrag är en stokastiskt varierande variabel måste dessutom säkerhetslagrets utökas så att hänsyn kan tas till denna variation på motsvarande sätt som hänsyn tas till variationer i efterfrågan och variationer i ledtid.

En metod för att beräkna överdrag publicerades redan 1975 av Lewis och Hill visade redan 1988 att om man bortser från sådana överdrag får man avsevärt för små lager och därmed för låga servicenivåer. Trots detta har denna brist i de traditionella lagerstyrningsmodellerna nästan inte uppmärksammats alls i litteraturen. Av elva läroböcker som finns publicerade och använts i Sverige under 2000-talet nämner endast en att beställningspunktsmodellen förutsätter att alla uttag är ett styck. Endast en klargör vad överdrag är och hur det kan beräknas och endast ytterligare två hanterar överdragsproblem vid periodisk inspektion, dock utan att nämna begreppet och utan att ta hänsyn till dess variation. Situationen är densamma i engelskspråkig litteratur på området. Mig veterligen finns det inte heller stöd för att ta hänsyn till överdrag i de affärssystem som finns på marknaden.

1.2 Syfte och avgränsningar

Mot denna bakgrund kan det vara av intresse att skapa ett större medvetande och kunskap om vad överdrag är och om hur man kan ta hänsyn till dess förekomst och därmed kunna använda sig av effektivare lagerstyrningsmetoder. Syftet med föreliggande forskningsrapport är därför att

- Studera hur stora överdrag man kan förvänta sig under olika efterfrågeförhållanden och hur stora dessa överdrag är i förhållande till beställningspunkter beräknade på traditionellt vis.
- Utveckla och redovisa olika metoder för att beräkna överdrag och dess variation.
- Analysera hur möjligheterna att uppnå den servicenivå man önskar påverkas av traditionellt beräknade beställningspunkter kompletteras med överdrag beräknade med hjälp av dessa metoder.

Forskningsprojektets inriktning har primärt varit att studera modeller som är möjliga att tillämpa praktiskt i industrin. Eftersom den information om efterfrågan och efterfrågevariation som finns tillgänglig i förekommande affärssystem i regel är begränsad till medelvärden och standardavvikelser har endast modeller som bygger på tillgång till dessa datauppgifter inkluderats i studien. Ledtiden har antagits vara konstant. Denna begränsning är av försumbar betydelse eftersom ledtidsvariationer endast bidrar till att öka efterfrågevariationerna under ledtid och att studien omfattar åtskilliga fall med olika stor efterfrågevariationer. Studien är också begränsad till att omfatta servicenivådefinitionen fyllnadsgrad både för dimensionering av säkerhetslager och beräkning av erhållen servicenivå.

Att överdrag uppstår är helt och hållet en effekt av att lageruttag är diskreta och att de praktiskt taget alltid avser mer än ett styck. Dess storlek är emellertid beroende av om jämförelse mellan lagersaldo och beställningspunkt sker kontinuerligt eller periodiskt

återkommande och i det senare fallet av periodens längd. I svensk industri är det klart vanligaste tillvägagångssättet att göra beställningspunktsjämförelser och planera in nya lagerpåfyllnadsorder dagligen, dvs använda en periodlängd på en dag (Jonsson och Mattsson, 2005). Studien har därför begränsats till att omfatta detta fall. Vid dimensionering av säkerhetslager har efterfrågan antagits vara normalfördelad.

I studien behandlas endast beställningspunktssystem. Som påpekades ovan påverkas emellertid täcktidsplanering och materialbehovsplanering på motsvarande sätt som beställningspunktssystem. Hur överdrag kan hanteras i dessa lagerstyrningsmetoder beskrivs i Mattsson (2007).

2 Modeller för beräkning av överdrag och dess variation

I den här studien analyseras och utvärderas fyra olika sätt att beräkna överdrag. Några av dessa finns publicerade i litteraturen och några har utvecklats inom ramen för det här projektet.

Det enklaste men samtidigt minst tillfredsställande sättet att ta hänsyn till överdrag är att sätta det lika med medelefterfrågan under ett halvt inspektionsintervall, dvs i den här studien lika med en halv dags medelefterfrågan. Det är detta tillvägagångssätt som används i den litteratur som beskriver beställningspunktssystem som periodinspektionssystem. Tillvägagångssätt bygger på antagandet att beställningspunkten i genomsnitt underskrids mitt i inspektionsintervallet. Ingen hänsyn tas till att överdragskvantiteten varierar från beställningstillfälle till beställningstillfälle.

Att använda medelefterfrågan under ett halvt inspektionsintervall som överdrag kan förväntas fungera rimligt bra för artiklar med högfrekvent orderingång, dvs när lageruttag i huvudsak görs varje dag eller oftare. Är orderingången lågfrekvent, dvs att det ofta förekommer dagar utan några uttag, kommer medelefterfrågan per dag att bli mycket mindre än typiskt förekommande lageruttag de dagar när lageruttag sker. Ett sätt att åtgärda detta är att i stället beräkna överdraget som medelefterfrågan under dagar med efterfrågan dividerat med två.

Vare sig metod 1 eller 2 tar hänsyn tas till att överdragskvantiteten varierar från beställningstillfälle till beställningstillfälle och att följaktligen säkerhetslagret måste kompensera för denna variation. Metod 3 innebär att metod 2 kompletteras i detta avseende och att överdragets standardavvikelse beräknas som standardavvikelsen för efterfrågan per dag under de dagar efterfråga förekommit. Eftersom variationer i efterfrågan och variationer i överdrag förekommer samtidigt kan man inte lägga ihop säkerhetslager baserat på efterfrågevariationer och säkerhetslager baserat på överdragsvariationer. I stället måste det sammanlagda säkerhetslagret beräknas med utgångspunkt från den kombinerade standardavvikelsen enligt följande formel.

$$\sigma(\text{tot}) = \sqrt{I_t \cdot \sigma^2 + \sigma(\ddot{o})^2} \dots\dots\dots (1)$$

- där $\sigma(\text{tot})$ = den totala standardavvikelsen
- I_t = ledtidens längd i dagar
- σ = efterfrågans standardavvikelse per dag
- $\sigma(\ddot{o})$ = överdragets standardavvikelse per dag med efterfrågan

Mer teoretiskt korrekta uttryckssätt för att beräkna överdragskvantiteter och dess variation när överdraget är baserat per enskild kundorder har presenterats av Lewis (1975) och Silver et al. (1998).

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

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

där μ = medeluttagskvantiteten
 σ = uttagskvantiteternas standardavvikelse

Tijms och Groenevelt (1984) hävdar att dessa approximationer är fullt tillfredsställande förutsatt att variationskoefficienten inte är mycket låg, dvs då efterfrågan är mycket jämn. Hill (1988) har kommit fram till liknande slutsatser efter analytiska beräkningar och jämförelser med optimalt beräknade värden.

Mattsson (2005) har visat att formel 2 för beräkning av medelöverdrag även fungerar för det praktiskt mer rimliga fallet att beställningspunktsjämförelser görs dagligen och inte vid varje ordertillfälle, dvs när medeluttagskvantiteten per kundorder ersätts av medeluttagskvantiteten per dag. Han visade också att överdrag per dag beräknade med hjälp av formeln ligger inom ett 95 %-igt konfidensintervall jämfört med genom via simulering beräknade ”exakta” värden för ett antal olika efterfrågefall med olika stora efterfrågevariationer. I en senare studie visade han också samma sak baserat på verkliga efterfrågedata från fyra olika fallföretag (Mattsson, 2007).

Dessa studier visade emellertid också att de standardavvikelse som genererats via simulering och de som beräknats med hjälp av formel 3 skiljer sig åtskilligt. I inget av de studerade efterfrågefallen låg den med formeln beräknade standardavvikelsen innanför ett 95%-igt konfidensintervall. I stället fanns det en större överensstämmelse mellan efterfrågans standardavvikelse per dag och överdragets standardavvikelse. För samtliga studerade efterfrågefall låg överdragets standardavvikelse inom +/- 20 % av efterfrågans standardavvikelse. Slutsatsen var att efterfrågans standardavvikelse per dag är mer representativ för överdragets standardavvikelse än de värden på standardavvikelse som kan beräknas analytiskt med hjälp av formel 3. Metod 4 i den här studien baseras därför på formel 2 ovan och på att överdragets standardavvikelse beräknas som efterfrågans standardavvikelse per dag.

3 Angreppssätt, simuleringsmodell och analysdata

Eftersom överdrag endast uppkommer under förhållanden med diskreta uttag vars storlek varierar och i huvudsak alltid är större än ett styck är simulering det enda möjliga alternativet för att uppfylla syftet med studien eftersom man av olika skäl inte kan experimentera med verkliga förhållanden. Inom ramen för simulering är två alternativa till-

vägagångssätt möjliga. Ett 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. Alternativet är emellertid också förknippat med en del svårigheter och nackdelar. Det är i allmänhet inte möjligt att få tillgång till efterfrågedata över en tillräckligt lång period för att kunna åstadkomma en acceptabelt hög reliabilitet i simuleringen. 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. Simuleringarna i den här studien baseras därför på slumpmässigt genererade data och parametervärden som representerar olika typiska efterfrågeförhållanden i planeringsmiljön.

Fyrtio olika efterfrågefall omfattande 8 olika kundorderfrekvenser och 5 olika fall av kundorderkvantiteter har simulerats. De olika fallen framgår av tabell 1. För kundorderkvantiteter anges de kvantitetsintervall som använts. För varje efterfrågefall och artikel har efterfrågan under sex tusen dagar genererats med utgångspunkt från de i tabellen visade kundorderfrekvenserna och kundorderkvantiteterna. 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. 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. Simuleringarna kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata. Det har antagits 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 alltför stort slumpmässigt inflytande på resultaten. Av tabell 1 framgår medelefterfrågan per månad för de olika efterfrågefallen och i tabell 2 variationskoefficienterna för efterfrågan under ledtid för vart och ett av de olika efterfrågefallen och de tre olika studerade ledtidalternativen.

Tabell 1 Efterfrågan per månad i medeltal för respektive kundorderfrekvens och kundorderkvantitet.

<i>Kundorder- frekvens</i>	<i>Antal kund- order per år</i>	<i>Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter</i>				
		<i>1-3 st</i>	<i>2-6 st</i>	<i>4-12 st</i>	<i>8-24 st</i>	<i>16-48 st</i>
10 per dag	2 400	400	800	1 600	3 200	6 400
5 per dag	1 200	200	400	800	1 600	3 200
3 per dag	720	120	240	480	960	1 920
1 per dag	240	40	80	160	320	640
1 per 2 dagar	120	20	40	80	160	320
1 per vecka	48	8	16	32	64	128
1 per 2 v:or	24	4	8	16	32	64
1 per månad	12	2	4	8	16	32

Tabell 2 Variationskoefficienter för efterfrågan under ledtid för de olika efterfrågefällen och respektive ledtidalternativ

<i>Kundorder-frekvens</i>	<i>Antal kund-order per år</i>	<i>Variationskoefficienter vid olika ledtider</i>		
		<i>2 dagar</i>	<i>6 dagar</i>	<i>10 dagar</i>
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,S), dvs med en orderkvantitet som anpassas till hur långt under beställningspunkten saldot är när beställning initieras.

3.1 Analys av storlek på överdrag

För att få en uppfattning om storleken på överdrag vid olika efterfrågestrukturer, dvs för olika kombinationer av kundorderfrekvens och kundorderkvantitet, har de beräknats med hjälp av simulering. För varje efterfrågefall och artikel per efterfrågefall har dagliga uttag, kontroll av lagersaldo mot beställningspunkt, inplanering av nya inleveransorder samt inleveranser simulerats under sex tusen dagar. Efter genomförd simulering har aktuellt överdrag beräknats för varje lagercykel. Från de beräknade individuella överdragen har sedan medelvärden per artikel beräknats. Slutligen har medelvärden för respektive efterfrågefall beräknats från de artikelvisa medelöverdragen.

De beräknade överdragen har därefter uttryckts i procent av på traditionellt sätt beräknade beställningspunkter för respektive efterfrågefall, dvs beräknade som efterfrågan under ledtid plus säkerhetslager. Beställningspunkterna har beräknats baserat på 97 % fyllnadsgradsservice och för tre olika ledtider; 2, 6 respektive 10 dagar.

3.2 Analys av erhållna servicenivåer

Olika sätt att beräkna och använda överdrag påverkar i vilken utsträckning man får den önskade servicenivå som man dimensionerat lagret för. Skillnader mellan önskade och erhållna servicenivåer utgör följaktligen ett mått på hur korrekt överdrag och variationer i överdrag beräknats och tillämpats. De olika metoderna att beräkna överdrag och variationer i överdrag har därför jämförts med avseende på dessa skillnader.

För varje efterfrågefall och artikel per efterfrågefall har dagliga uttag, kontroll av lagersaldo mot beställningspunkt, inplanering av nya inleveransorder samt inleveranser simulerats under sex tusen dagar. Efter genomförd simulering har resulterande fyllnadsgradsservice beräknats. För de tjugo artiklarna per efterfrågefall har därefter medelvärden och standardavvikelser för de erhållna servicenivåerna beräknats. Säkerhetslagret har beräknats baserat på 97 % fyllnadsgradsservice och kompletta simuleringskörningar har genomförts för tre olika ledtider; 2, 6 respektive 10 dagar. Orderstorlekar har beräk-

nats med hjälp av Wilsons formel. För samtliga artiklar har pris per styck satts till 200:-, ordersärkostnaden till 200:- och lagerhållningsfaktorn till 20 procent.

4 Resultat och analys

De resultat som erhållits från de genomförda simuleringarna med avseende på överdragens storlek och dess betydelse för att uppnå önskade servicenivåer redovisas och analyseras i detta avsnitt.

4.1 Storlek på överdrag

Resultaten med avseende på storleken på överdragen i procent av beställningspunkter beräknade på traditionellt sätt redovisas i tabell 3 för fallet att ledtiden är 2 dagar, i tabell 4 för fallet att ledtiden är 6 dagar och i tabell 5 för fallet att ledtiden är 10 dagar.

Värdena i tabellerna kan betraktas som de relativa fel man gör om hänsyn inte tas till överdrag vid bestämning av beställningspunkter. Exempelvis borde beställningspunkten vara 82 procent högre för fallet med 1 kundorder per dag, kundorderkvantiteter på 1 till 3 styck och med en ledtid på 2 dagar.

Tabell 3 Storlek på överdrag i procent av beställningspunkter beräknade på traditionellt sätt vid en ledtid på 2 dagar.

Kundorder- frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	30	27	26	25	23
5 per dag	32	30	27	26	24
3 per dag	39	35	31	28	26
1 per dag	82	50	43	36	33
1 per 2 dagar	94	84	50	52	44
1 per vecka	156	144	109	81	69
1 per 2 v:or	144	256	161	119	107
1 per månad	135	234	438	227	166

Av tabellerna framgår tydligt att de relativa felen om beställningspunkter beräknas utan hänsyn till överdrag inte är försumbara, speciellt inte vid korta ledtider. Att felen blir större vid korta ledtider beror på att efterfrågan under ledtid då är mindre och överdraget därför relativt sett blir större. Av tabellerna framgår också att det fel som uppstår om man inte inkluderar överdrag blir större ju lågfrekventare orderingången är. Detta är förväntat eftersom variationskoefficienten är högre ju lägre kundorderfrekvensen är enligt tabell 2, vilket innebär att standardavvikelsen är större i förhållande till medelefterfrågan vid låg kundorderfrekvens. Eftersom standardavvikelsen starkt påverkar överdragets storlek medan beställningspunkten i första hand påverkas av medelefterfrågan under ledtid kommer överdraget att relativt sett öka medan beställningspunkten relativt sett kommer att minska.

Tabell 4 Storlek på överdrag i procent av beställningspunkter beräknade på traditionellt sätt vid en ledtid på 6 dagar.

Kundorder- Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	9	9	8	8	8
5 per dag	10	9	9	9	8
3 per dag	11	11	10	10	9
1 per dag	19	15	14	12	12
1 per 2 dagar	27	21	19	17	16
1 per vecka	52	41	34	28	26
1 per 2 v:or	72	64	48	43	39
1 per månad	135	117	88	83	64

Resultaten visar också att det relativa felet av att inte ta hänsyn till överdrag är tämligen oberoende av kundorderkvantiteten vid höga kundorderfrekvenser, vid längre ledtider praktiskt taget försumbart. Att det relativa felet blir mindre vid större kundorderkvantiteter för efterfrågefall med låga kundorderfrekvenser kan förklaras av att säkerhetslagret ökar mer än överdraget vid ökande kundorderstorlekar. Så är inte på samma sätt fallet när kundorderfrekvensen är hög

De oregelbundenheter i de erhållna resultaten som finns för fall med mycket låg kundorderfrekvens och små kundorderkvantiteter kan förklaras av avrundningsfel vid avrundning av beställningspunkter till hela tal. Detta medför att de beräknade relativa överdragen påverkas kraftigt vid beställningspunkter på enstaka styck.

Tabell 5 Storlek på överdrag i procent av beställningspunkter beräknade på traditionellt sätt vid en ledtid på 10 dagar.

Kundorder- Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	5	5	5	5	5
5 per dag	6	6	5	5	5
3 per dag	7	6	6	6	6
1 per dag	11	9	8	8	7
1 per 2 dagar	16	13	12	11	10
1 per vecka	26	24	20	18	17
1 per 2 v:or	48	37	30	27	26
1 per månad	135	58	55	50	41

Om man antar att storleksordningen fem procent är en acceptabel storlek på det relativa felet med tanke på andra osäkerheter i sammanhanget, innebär resultaten att det endast är vid efterfrågefall med kundorderfrekvenser högre än en kundorder per dag och ledtider längre än 10 dagar som den traditionella beställningspunktsmodellen ger acceptabla resultat.

4.2 Erhållna servicenivåer

Resultaten från de simuleringar som genomförts för att studera konsekvenserna av att använda olika sätt att beräkna och ta hänsyn till överdrag redovisas i tabellerna 6, 7 och 8. Endast fallen med en ledtid på 6 dagar och tre olika kundorderkvantiteter redovisas här. Tabellerna avser skillnader i procentenheter mellan erhållen servicenivå och önskad servicenivå, dvs den servicenivå som säkerhetslagret dimensionerats för.

Kolumn ”Inget” avser fallet att ingen hänsyn tagits till överdrag, kolumn ”Metod 1” att överdrag beräknade som medelefterfrågan under en halv dag använts, kolumn ”Metod 2” att överdrag beräknade som medelefterfrågan under efterfrågedagar dividerat med två använts och kolumn ”Metod 3” att överdrag beräknade som medelefterfrågan under efterfrågedagar dividerat med två använts och att säkerhetslagerberäkningen kompletterats med hänsyn till överdragsvariationer. Kolumn ”Metod 4” avser att hänsyn tagits till både överdrag och överdragsvariationer med hjälp av den mer teoretiskt avancerade metodik som redovisades i avsnitt 2.

Tabell 6 Skillnader i erhållna och önskade fyllnadsgrader i procentenheter vid användning av olika metoder för att ta hänsyn till överdrag vid en ledtid på 6 dagar och med kundorderkvantiteter på mellan 1 och 3 styck.

Kundorder-Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	Inget	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
10 per dag	-3,7	-0,4	-0,4	-0,3	0,1
5 per dag	-2,6	-0,4	-0,4	-0,3	0,2
3 per dag	-2,2	-0,5	-0,4	-0,2	0,2
1 per dag	-1,5	-0,6	-0,3	-0,2	0,2
1 per 2 dagar	-1,8	-0,7	0,1	0,3	0,3
1 per vecka	-2,6	-1,8	-0,3	0,0	-0,3
1 per 2 v:or	-1,6	-1,6	0,6	0,6	0,5
1 per månad	-3,1	-3,1	0,3	0,3	0,3

Av resultaten i tabellerna framgår tydligt att erhållna servicenivåer blir påtagligt lägre än de önskade och de som säkerhetslagret dimensionerats för om man inte tar hänsyn till överdrag, alldeles speciellt för fall med stora kundorderkvantiteter. Simuleringsresultaten visar också att skillnaderna mellan erhållen och önskad servicenivå blir större vid kortare ledtider. Vid en ledtid på 2 dagar är skillnaden i inget fall under 2 procentenheter och som mest 16 procentenheter.

Genom att använda den enklaste metoden för att ta hänsyn till överdrag, dvs metod 1, blir skillnaderna mindre men endast rimligt acceptabla för efterfrågefäll med mycket små orderkvantiteter och förhållandevis höga kundorderfrekvenser. Om man i stället beräknar överdragets som medelvärdet av efterfrågan per efterfrågedag, dvs enligt metod 2, blir skillnaderna mindre. Det är i huvudsak endast för fallen med stora kundorderkvantiteter som skillnaderna blir större än en procentenhet och därmed kan betraktas som oacceptabelt stora. För båda metoderna blir skillnaderna större vid kortare ledtid och något mindre vid längre ledtid.

Tabell 7 Skillnader i erhållna och önskade fyllnadsgrader i procentenheter vid användning av olika metoder för att ta hänsyn till överdrag vid en ledtid på 6 dagar och med kundorderkvantiteter på mellan 4 och 12 styck.

Kundorder-Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	Inget	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
10 per dag	-5,2	-0,7	-0,7	-0,4	0,1
5 per dag	-3,8	-0,8	-0,7	-0,4	0,2
3 per dag	-3,1	-0,8	-0,7	-0,5	0,2
1 per dag	-2,8	-1,5	-0,8	-0,6	0,0
1 per 2 dagar	-2,8	-1,9	-0,7	-0,5	0,0
1 per vecka	-3,8	-3,3	-0,9	-0,7	-0,4
1 per 2 v:or	-5,1	-4,7	-1,1	-0,7	-0,6
1 per månad	-7,1	-6,9	-1,4	-0,9	-0,9

Genom att komplettera metod 2 genom att också ta hänsyn till överdragets variation vid säkerhetslagerberäkningen blir skillnaderna mellan erhållna och önskade servicenivåer ytterligare mindre. Det är endast för kombinationerna de lägsta kundorderfrekvenserna och största kundorderkvantiteterna som skillnaderna överskrider en procentenhet för fallen med ledtider på 6 respektive 10 dagar. Vid den kortare ledtiden, dvs för 2 dagar, blir skillnaderna något större än en procentenhet för den helt övervägande delen av efterfrågestrukturer med de två högsta kundorderkvantiteterna oavsett kundorderfrekvens medan skillnaderna för de övriga efterfrågestrukturerna i huvudsak helt och hållet ligger under storleksordningen en procentenhet.

Tabell 8 Skillnader i erhållna och önskade fyllnadsgrader i procentenheter vid användning av olika metoder för att ta hänsyn till överdrag vid en ledtid på 6 dagar och med kundorderkvantiteter på mellan 16 och 48 styck.

Kundorder-Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	Inget	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
10 per dag	-7,2	-1,0	-1,0	-0,4	0,2
5 per dag	-5,1	-1,1	-1,1	-0,5	0,2
3 per dag	-4,0	-1,1	-1,0	-0,5	0,3
1 per dag	-3,7	-2,1	-1,3	-0,8	0,0
1 per 2 dagar	-4,0	-2,8	-1,3	-0,9	-0,2
1 per vecka	-4,9	-4,2	-1,4	-0,9	-0,4
1 per 2 v:or	-7,0	-6,3	-2,0	-1,4	-1,0
1 per månad	-10,1	-9,7	-2,7	-2,0	-1,9

Metod 4 med det mest avancerade sättet att ta hänsyn till överdrag och dess variation ger de klart bästa resultaten i form av skillnader mellan erhållna och önskad servicenivå. Det är endast för kombinationen störst orderkvantitet och lägst kundorderfrekvens för alla de analyserade ledtiderna som skillnaderna överstiger en procentenhet.

I diskussionen ovan har en skillnad på en procentenhet mellan den servicenivå man får och den man önskar betraktats som acceptabel. En procentenhets skillnad kan förefalla liten. För att få ett annat perspektiv på om en procentenhets skillnad är mycket eller litet har motsvarande skillnader i kapitalbindning i säkerhetslager beräknats om den erhållna

servicenivån ligger en procentenhet fel vid 97 procentnivån. Resultaten från dessa beräkningar för de olika efterfrågefallen och vid en ledtid på 6 dagar redovisas i tabell 9.

Tabell 9 Förändring av kapitalbindning i säkerhetslager i procent när erhållen servicenivå avviker med mer än en procentenhet från önskad servicenivå vid en ledtid på 6 dagar och med olika kundorderfrekvenser och kundorderkvantiteter.

Kundorder- Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	61	38	26	19	16
5 per dag	64	39	29	20	16
3 per dag	54	38	28	21	17
1 per dag	59	39	29	21	18
1 per 2 dagar	63	37	28	21	20
1 per vecka	34	32	32	26	20
1 per 2 v:or	40	23	30	26	21
1 per månad	49	34	34	20	20

Som framgår av tabellen representerar en procentenhets skillnad i servicenivå åtskilliga procents skillnader i kapitalbindning i säkerhetslager, i huvudsak storleksordningen tjuugo procent eller mer. Av tabellen framgår också att den relativa känsligheten för fel är större ju mindre kundorderkvantiteterna är.

Utöver att i medeltal uppnå servicenivåer som är så nära de önskade som möjligt är det också av intresse att deras variation över tiden är så liten som möjligt. I tabell 10 redovisas beräknade standardavvikelser som mått på sådana variationer i erhållna servicenivåer för fallet med kundorderkvantiteter mellan 4 och 12 styck och med en ledtid på 6 dagar. Som framgår av tabellen är de fyra metoderna tämligen likvärdiga för efterfrågefall med hög orderfrekvens medan de två mer avancerade metoderna, dvs metod 3 och 4, presterar bättre vid låga kundorderfrekvenser. Det kan också noteras att variationerna i erhållna servicenivåer ökar med avtagande kundorderfrekvens vilket är förväntat.

Tabell 10 Standardavvikelser i erhållna fyllnadsgrader vid användning av olika metoder för att ta hänsyn till överdrag vid en ledtid på 6 dagar och med kundorderkvantiteter på mellan 4 och 12 styck.

Kundorder- Frekvens	Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter				
	Inget	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
10 per dag	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
5 per dag	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
3 per dag	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
1 per dag	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
1 per 2 dagar	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
1 per vecka	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6
1 per 2 v:or	1,3	1,1	0,8	0,9	0,9
1 per månad	2,0	1,8	1,1	0,9	0,9

Ett ytterligare mått på hur väl de olika överdragsmetoderna fungerar med avseende på variation i erhållna servicenivåer är den lägsta förekommande servicenivån under de si-

mulerade sex tusen dagarna. Resultaten i det här avseendet visas i tabell 11 för fallet kundorderkvantiteter mellan 4 och 12 styck och en ledtid på 6 dagar.

Tabell 11 Lägsta erhållna fyllnadsgradsnivåer vid användning av olika metoder för att ta hänsyn till överdrag vid en ledtid på 6 dagar och med kundorderkvantiteter på mellan 4 och 12 styck.

<i>Kundorder-Frekvens</i>	<i>Efterfrågan per månad – olika kundorderkvantiteter</i>				
	Inget	Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
10 per dag	91	96	96	96	97
5 per dag	93	96	96	96	97
3 per dag	93	96	96	96	97
1 per dag	93	95	96	96	96
1 per 2 dagar	93	94	96	96	96
1 per vecka	92	92	94	95	95
1 per 2 v:or	89	90	95	95	95
1 per månad	87	87	94	95	95

Av tabellen framgår, att om man inte tar hänsyn till överdrag kommer man vid enstaka tillfällen att råka ut för mycket låga servicenivåer. Samtliga överdragsmetoder ger acceptabla lägsta nivåer för kundorderfrekvenser större än en kundorder per dag. För efterfrågefäll med lägre orderfrekvenser är de mer avancerade metoderna klart bättre.

5 Sammanfattning och slutsatser

I denna studie har storleken på sådana överdrag beräknats med hjälp simulering för olika ledtider och efterfrågestrukturer i form av alternativa kundorderfrekvenser och kundorderkvantiteter. De relativa fel vid bestämning av beställningspunkter som man gör genom att inte ta hänsyn till överdrag har också analyserats. Dessutom har alternativa metoder för att dimensionera och ta hänsyn till överdrag redovisats. Metodernas påverkan på möjligheterna att nå önskade servicenivåer har också analyserats och utvärderats. De huvudsakliga resultaten från studien kan sammanfattas enligt följande.

Av resultaten framgår att de relativa fel som uppstår om beställningspunkter beräknas utan hänsyn till överdrag inte är försumbara. Om man accepterar relativa fel på upp till fem procent innebär resultaten att det endast är vid efterfrågefäll med kundorderfrekvenser högre än en kundorder per dag och ledtider längre än 10 dagar som den traditionella modellen för beräkning av beställningspunkter ger acceptabla resultat. För ledtider på 2 dagar blir de relativa felen aldrig under 20 procent och för kundorderfrekvenser på en order per vecka eller lägre väsentligen över 100 %.

Resultaten från simuleringarna visar också att erhållna servicenivåer blir påtagligt lägre än de önskade som säkerhetslagret dimensionerats för vid samtliga efterfrågefäll och ledtider om man inte tar hänsyn till överdrag. Skillnaderna är speciellt stora vid korta ledtider. Exempelvis blev skillnaderna för samtliga efterfrågestrukturer över 2 procentenheter och som mest 16 procentenheter.

Simuleringarna visade också att man genom att beräkna överdrag och addera dem till beställningspunkten i mycket stor utsträckning kan nå den servicenivå man önskar. För de två mest lämpliga beräkningsmetoderna kunde skillnaderna mellan önskad och erhållna servicenivå reduceras till klart under en procent för praktiskt taget samtliga studerade efterfrågefäll och ledtidsfall.

Slutsatsen från den genomförda simuleringsstudien är därför att den traditionella formeln för att beräkna beställningspunkter måste kompletteras med en överdragskvantitet för att ge rimligt korrekta resultat. I annat fall kan man ifrågasätta mervärdet av att dimensionera säkerhetslager baserat på en önskad servicenivå i stället för på enkla metoder exempelvis som antal dagars efterfrågan.

Referenser

Hill, R. (1988) Stock control and the undershoot of the re-order level, Journal of the Operational Research Society, Vol. 39 No. 2. sid 173-181.

Jonsson, P. – Mattsson, S-A. (2005) Materialplaneringsmetoder i svensk industri - Användning och användningssätt, Logistikföreningen PLAN.

Lewis, C. (1975) Demand analysis and inventory control, Saxon House.

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

Mattsson, S-A. (2007) Materialstyrningsmodeller med hänsyn tagen till överdrag och olika efterfrågefördelningar, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk Ekonomi och Logistik, Lunds Universitet.

Silver, E. – Pyke, D. – Peterson, R. (1998) Inventory management and production planning and scheduling, John Wiley & Sons.

Tijms, H – Groenevelt, H. (1984) Simple approximations for the reorder point in periodic and continuous review (S,s) inventory systems with service level constraints, European Journal of Operational Research, sid 175-192.