

Bestämning av beställningspunkter med hjälp av simulering

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

Merparten av alla de materialstyrningsmodeller som används i industrin för att bestämma beställningspunkter bygger på antaganden som delvis är mycket tveksamma och som gör att använda modeller inte på ett rimligt sätt överensstämmer med den verklighet de skall avbilda. Som exempel kan nämnas antagandet att efterfrågan under ledtid är normalfördelad och antagandet att varje lageruttag avser ett styck. Dessa förenklande antaganden har måst göras för att det bakomliggande problemet över huvud taget skall kunna lösas med analytiska hjälpmedel.

Man kan då fråga sig om det inte vore bättre om man med hjälp av simulering och historisk efterfrågan testade sig fram till den beställningspunkt som historiskt skulle gett den önskade servicenivån. Med den processorkapacitet som finns i dagens datorer finns det förutsättningar för den sortens angreppssätt. I det projekt som redovisas i den här rapporten har en metodik för bestämning av beställningspunkter med hjälp av simulering baserad på historisk efterfrågan utvecklats och utvärderats. Utvärderingen har genomförts med hjälp av efterfrågedata från tre olika fallföretag.

Användning av traditionell beställningspunktsberäkning baserad på normalfördelning ger upphov till lägre servicenivåer än de som beräkningsmodellen dimensionerats för, alldeles speciellt för artiklar med mycket varierande och lågfrekvent efterfrågan. Utvärderingen av den utvecklade simuleringsmetodiken visar att de med simulering erhållna beställningspunkterna i mycket större utsträckning leder till överensstämmelse mellan önskad servicenivå och erhållen servicenivå. Detta gäller inte endast erhållna medelservicenivåer för ett helt sortiment eller grupp av artiklar. Simuleringsmetoden medför också större överensstämmelse för de individuella artiklarna.

Med traditionella metoder för beräkning av beställningspunkter kan man i princip uppnå önskad medelservicenivå för ett helt artikelsortiment genom att successivt justera den dimensionerande servicenivån tills önskad medelservicenivå uppnås. Man får emellertid en spridning i de artikelvisa servicenivåerna som är avsevärt större än om simuleringsmetoden används. Med andra ord ger traditionell beställningspunktsberäkning baserad på normalfördelning i klart större utsträckning upphov till att vissa artiklar får en mycket för låg servicenivå medan andra får en mycket för hög servicenivå jämfört med de servicenivåer som önskas och som beräkningsmodellen dimensionerats för. Det föreligger också skillnader i den kapitalbindning i säkerhetslager som uppkommer för att med de båda metoderna nå samma medelservicenivå. Resultatet blir klart lägre när simuleringsmetoden används.

I den här tillämpningen av simuleringsmetoden på fallföretagens efterfrågedata har efterfrågans fyllnadsgrad använts som servicenivåmått, dvs. måttet hur stor andel av den totala efterfrågan som kan levereras direkt från lager. I motsats till andra lagerstyrningsmetoder kan simuleringsmetoden också användas om man föredrar att använda fyllnadsgrad avseende orderrader som servicenivåmått, dvs. att använda orderradsservice. Detta kan betraktas som en klar fördel för simuleringsmetoden eftersom orderradsservice är det servicenivåmått som de flesta företag använder för uppföljningsändamål.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Modeller som används för att göra analyser och fatta beslut bygger praktiskt taget undantagslöst på mer eller mindre förenklade antaganden om den verklighet som de avses representera. Detta gäller givetvis också modeller som används för materialstyrning, exempelvis i beställningspunktssystem. Att förenklingar måste göras beror bland annat på att verkligheten i allmänhet är för komplex för att möjliggöra att alla påverkande och samverkande faktorer skall kunna beaktas. Genom att i en modell förenkla den verklighet man vill studera får man ett mer rationellt och hanterbart verktyg att använda som analyshjälpmedel och beslutsstöd av olika slag. Är det fråga om en operationsanalytisk modell är förenklingar dessutom nödvändiga för att man med matematiska metoder över huvud taget skall kunna behandla en problemställning.

Eftersom man fattar beslut och drar slutsatser från modeller som utgör förenklade bilder av verkligheten i stället för från verkliga förhållanden, är det av avgörande betydelse att modellernas avbildningsförmåga är tillräckligt 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 beslutssituationen. Dessutom måste sambandens utseende och egenskaper på ett acceptabelt sätt överensstämma med verklighetens. Om så inte är fallet kan problemlösningen i bästa fall vara optimal från ett teoretiskt perspektiv, men mer eller mindre oanvändbar och vilseledande från ett praktiskt problemlösningsspektiv.

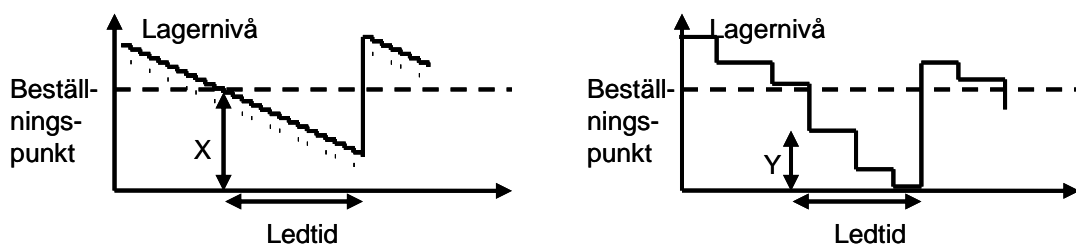
1.2 Problemdiskussion och forskningsfrågor

Merparten av alla de materialstyrningsmodeller som används i industrin bygger bland annat på antagandet att efterfrågan under ledtid är normalfördelad och antagandet att varje lageruttag avser en styck. Båda dessa antagande är i många sammanhang ytterst tveksamma. Detta förhållande påpekades redan 1970 av Silver¹. Silver konstaterar att "Most usable inventory control procedures are based upon assumptions about the demand distributions (e.g. unit sized transactions or normally distributed demand in a replenishment lead time) that are invalid in the case of an erratic item. If this is not the case, the procedures tend to be computationally intractable".

¹ Citatet är hämtat från Ward (1978).

Att uttagskvantiteterna är lika med ett är praktiskt taget aldrig fallet i verkliga lager. Om lageruttagen är större än ett i ett beställningspunktssystem kommer lagret när beställningspunkten underskrids och nya inleveransorder skall planeras in att ligga mer eller mindre under beställningspunkten. Så kallade överdrag uppstår. Den kvantitet som återstår för att täcka efterfrågan under ledtid och som beställningspunkten är dimensionerad för, kommer följaktligen att bli för liten vilket medför att man får fler brister och lägre servicenivåer än vad som avsetts. Om ledtiderna är långa har dessa överdrag förhållandevis liten betydelse. Ju kortare ledtiderna är, desto större betydelse kommer emellertid överdragen att få och desto större kommer skillnaderna mellan önskad och erhållen servicenivå att bli. Vid ledtider under 5 – 10 dagar är skillnaderna i många fall avsevärda.

Vad som händer när lageruttagen är större än ett illustreras i figur 1. De streckade linjerna avser beställningspunkter. I båda fallen, dvs. både i figuren till vänster och i figuren till höger, går lagret under beställningspunkten och följaktligen skall en lagerpåfyllnadsorder läggas ut. I fallet till vänster med uttagskvantiteter lika med 1 återstår kvantiteten X för att täcka efterfrågan under tiden fram till nästa inleverans eftersom det uttag som utlöste en ny order endast medfört att beställningspunkten nås. I fallet till höger återstår endast kvantiteten Y för att täcka samma efterfrågan eftersom det uttag som utlöste en ny order medfört att beställningspunkten underskridits. Att bortse från överdrag kan ha en avsevärd påverkan på en materialstyrningsmodells förmåga att ge önskade servicenivåer med minimal kapitalbindning. Detta har bland andra påvisats av Hill (1988) och Janssen m fl (1998).

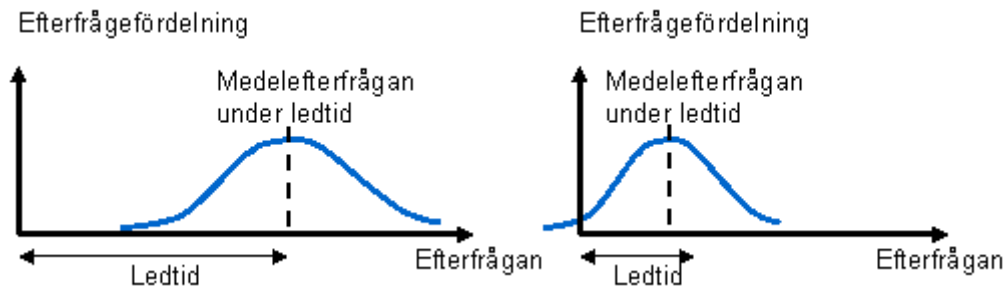


Figur 1 Beställningspunktssystem med överdrag

Använda materialstyrningsmodeller bygger också nästan uteslutande på ett antagande om att efterfrågan är normalfördelad och symmetriskt fördelad i förhållande till sitt medelvärde. Med undantag för artiklar med få uttag per tidsenhet och långa ledtider är detta antagande inte helt orimligt. Att så är fallet är en konsekvens av centrala gränsvärdesatsen som innebär att när ett antal oberoende slumpmässiga variabler summeras tenderar den summerade variabeln att vara normalfördelad även om de bakomliggande variablerna inte är det (Meek m fl, 1989, sid 199). Ju fler ingående variabler, desto bättre överensstämmelse med normalfördelningen. En lång ledtid innebär att ett större antal dagars slumpmässiga efterfrågan ingår i summa efterfrågan under ledtid än om ledtiden är kort. Följaktligen blir ledtidens efterfrågefördelning mer normalfördelningslik när ledtiden är lång än när den är kort.

Korta ledtider innebär större sannolikhet för att den vänstra delen av normalfördelningen representerar negativ efterfrågan. Eftersom negativ efterfrågan inte existerar innebär detta att verkliga efterfrågefördelningar är osymmetriska och skeva åt höger jämfört med normalfördelningen. Verkliga efterfrågefördelningar får därigenom mer inslag av

mycket höga efterfrågevärden än av mycket låga efterfrågevärden. Ur materialstyrningssynpunkt är detta detsamma som att bristsannolikheten blir högre och därmed servicenivån lägre för den verkliga efterfrågefördelningen jämfört med vad den skulle blivit om fördelningen varit normalfördelad. Följaktligen får man en lägre servicenivå än man dimensionerat systemet för. Ju längre ledtider, desto mindre inslag av negativa efterfrågevärden och desto mindre inslag av skevhet i fördelningen och därmed desto mindre skillnader mellan verklig fördelning och normalfördelning.



Figur 2 Illustration av vad som händer med normalfördelningsfunktionen för efterfrågan under ledtid när ledtiden är lång respektive kort.

Figur 2 illustrerar vad som händer när ledtiden är kort. Den vänstra delen av figuren representerar fallet med långa ledtider. Medelefterfrågan under ledtid är då större än åtskilliga standardavvikelser och sannolikheten för negativ efterfrågan liten. Om i stället ledtiden är kort enligt den högra delen av figuren blir förhållandet annorlunda. Ju kortare ledtid, desto större sannolikhet för negativa efterfrågevärden. Exempelvis blir sannolikheten för negativ efterfrågan 2,5 % om medelefterfrågan under ledtid är lika med 1,96 gånger standardavvikelsen under ledtid. Antalet standardavvikelser mellan noll och medelefterfrågan är kritisk med avseende på hur väl en normalfördelning kan förväntas representera en verklig efterfrågefördelning. Måttet används därför som ett kriterium för när det är rimligt att approximera en efterfrågefördelning med normalfördelningen. Exempelvis hävdar Fagan (1984) att normalfördelningen kan användas om medelefterfrågan är större än 1,7 gånger standardavvikelsen och Schönsleben (2004) att normalfördelningen kan användas om medelefterfrågan är större än 2,5 gånger standardavvikelsen.

Det finns två principiella tillvägagångssätt för att lösa problemen med dessa båda antaganden. Det ena alternativet innebär att man avsiktligt överdimensionerar säkerhetslagret genom att vid dimensioneringen utgå från en högre servicenivå än den man eftersträvar att uppnå. Det andra alternativet innebär att försöka bestämma hur stort överdraget är för att därigenom vid bestämningen av beställningspunkter kunna ta hänsyn till dess storlek samt att i modellerna utgå från efterfrågefördelningar som på ett bättre sätt än normalfördelningen svarar upp mot de förhållanden som råder i verkligheten.

Att utgå från en högre servicenivå än den önskade innebär att man i stor utsträckning måste basera beställningspunktdimensioneringen på intuition och allmänna bedömningar snarare än på fakta. Att utgå från en högre servicenivå än beräknat innebär heller inte att alla artiklar får den önskade servicenivån, endast att medelservicenivån för alla artiklar blir lika med den önskade. Vissa artiklar kommer att få en för hög servicenivå, främst de med hög och jämn förbrukning, medan andra får en för låg servicenivå, främst

de med ojämn förbrukning. Man får därmed inte full kontroll över vilka servicenivåer man får för enskilda artiklar och därigenom inte över vilka åtagande man kan göra mot sina kunder. Genom att man får en spridning av servicenivåer över artikelsortimentet kommer man också att få en högre kapitalbindning för att uppnå en given medelservice-nivå jämfört med vad man skulle få om man genom att ta hänsyn till överdrag kan uppnå denna servicenivå för varje artikel. Det senare alternativet kan därför förväntas vara lämpligare om man kan komplettera och modifiera befintliga modeller så att de kan baseras på andra efterfrågefördelningar än normalfördelningen och kan ta hänsyn till överdrag.

Mattsson (2007) har utvecklat kompletteringar i de här avseendena, dvs dels så att materialstyrningsmodeller tar hänsyn till förekommande överdrag och dels så att de kan baseras på mer relevanta efterfrågefördelningar, som gammalfördelning och empirisk fördelning. Med empirisk fördelning menas den verkliga efterfrågefördelning som genererats från historisk efterfrågan. Tester och utvärderingar både baserade på teoretiskt genererade efterfrågefördelningar och på efterfrågefördelningar från fyra olika fallföretag visade att möjligheterna att uppnå önskade servicenivåer blev avsevärt större jämfört med de som erhöles vid användning av traditionella materialstyrningsmodeller.

Oavsett om man använder sig av en standardfördelning eller empirisk fördelning utgår man från efterfrågehistorik. Likaså utgår beräkningen av överdrag från efterfrågehistorik. Man kan då fråga sig om det inte i stället vore bättre om man med utgångspunkt från sådan efterfrågehistorik med simulering testade sig fram till den beställningspunkt som historiskt skulle gett den önskade servicenivån. Man behöver då inte bekymra sig om ifall villkoren för den använda standardfördelningen är uppfyllda eller ej och inte om i vilken utsträckning beräkningen av överdrag är korrekt eller ej. Däremot innebär förfarandet ett antagande om att det historiska efterfrågemönstret är representativt även för den framtida efterfrågan. Samma typ av antagande måste emellertid göras även då man utgår från en standardfördelning eller en empirisk fördelning och beräknar överdrag. Resonemanget leder fram till följande forskningsfråga.

Hur kan man bestämma beställningspunkter och säkerhetslager med hjälp av simulering baserad på historisk efterfrågefördelning och vad betyder det att gå tillväga på det här sättet jämfört med att använda normalfördelningen utan hänsyn tagen till överdrag och överdimensionerade önskade servicenivåer respektive jämfört med att använda empirisk fördelning med hänsyn tagen till överdrag?

1.3 Syfte och avgränsningar

Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här rapporten är att utveckla en metodik som möjliggör att med hjälp av simulering av historisk efterfrågan bestämma beställningspunkter och säkerhetslager. Syftet är också att testa och utvärdera i vilken utsträckning den utvecklade metodiken kan bidra till att åstadkomma en större överensstämmelse mellan dimensionerande och erhållen servicenivå jämfört med vad som är fallet med hjälp av traditionellt använda materialstyrningsmodeller. Slutligen syftar projektet till att utvärdera hur kapitalbindningen i säkerhetslager påverkas av att använda simuleringsmetodiken.

Dimensionering av beställningspunkter och säkerhetslager påverkas inte endast av variationer i efterfrågan utan även av variationer i ledtider för lagerpåfyllning. Detta inslag

av osäkerhet behandlas emellertid inte här. Ledtiden antas vara konstant och känd. Vidare behandlas endast fall där efterfrågan varierar slumpmässigt utan förekomst av trender eller säsongvariationer.

Vid analyser och utvärderingar av vilka servicenivåer som kan erhållas med hjälp av simulering har endast beställningspunktssystem använts för den simulerade materialstyrningen. Denna avgränsning bedöms emellertid inte innebära några begränsningar för studiens slutsatser eftersom materialstyrningssystem som periodbeställningssystem, täcktidsplanering och materialbehovsplanering utan behovsnedbrytning alla bygger på samma grundprinciper för beräkning av när ett lager måste fyllas på.

2 Beräkningsmetodik

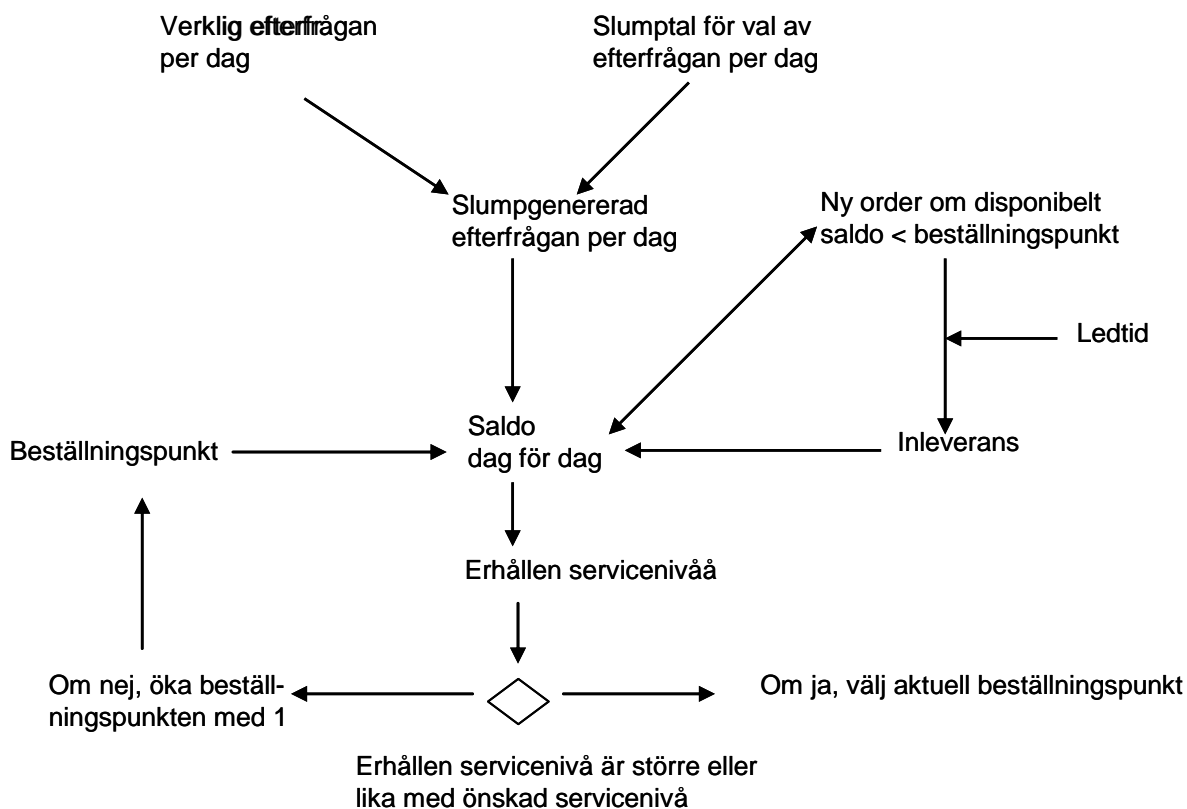
Den metod som utvecklats för att med hjälp av simulering bestämma beställningspunkter och säkerhetslager baserat på historik utgår från att den dagliga efterfrågan under en viss period, exempelvis ett år är känd, att ledtiden för påfyllnad av lager är känd och att orderkvantiteten för lagerpåfyllnad är känd. I övrigt krävs endast att önskad servicenivå uttryckt som efterfrågans fyllnadsgrad har fastställts.

Tidigare studier har visat att erhållen servicenivå kan variera tämligen kraftigt över tiden. Se exempelvis Mattsson (2003). Det är därför nödvändigt att simulera efterfrågan under förhållandevis lång tid. Genomförda tester har visat att ett år är en otillräckligt lång tid. För att kunna genomföra simuleringen över en längre period utan att behöva förlita sig på mycket gammal och begränsat representativ historik har därför en teknik motsvarande bootstrapping använts vid generering av empirisk efterfrågan. Se exempelvis Bookbinder och Lordahl (1989, sid 302) samt Smart och Willemain (2000, sid 64). Tekniken innebär att man genererar daglig efterfrågan under en godtyckligt lång period genom att för varje dag hämta efterfrågan från den verkliga historiska efterfrågan vid slumpmässigt vald dag. Förfarandet kan alltså i princip betraktas som så kallade dragning med återläggning, dvs varje dags verkliga efterfrågevärde har lika stor sannolikhet att återkomma under hela förloppet. Vid testerna av metoden har ett års verklig efterfrågehistorik använts för att generera tio års efterfrågehistorik för simuleringskörningarna. Provtester med ytterligare längre simuleringsperioder visade inga signifikanta skillnader.

Baserat på denna genererade efterfrågehistorik är arbetsgången enligt följande:

- 1 Ett startvärde för val av beställningspunkt beräknas med hjälp av antagande om normalfördelning och med utgångspunkt från önskad servicenivå på traditionellt sätt. Anledningen till detta är att inte behöva starta beräkningarna från en beställningspunkt som är lika med 0 och därigenom kunna begränsa antalet beräkningar.²

² Risken för att man får ett för högt startvärde genom att utgå från en beställningspunkt bestämd på traditionellt sätt med normalfördelad efterfrågan kan betraktas som obefintligt. Detta framgår av de utvärderingar av normalfördelningsbaserade modeller för bestämning av beställningspunkter som gjorts av Mattsson (2007).



Figur 3 Översikt över den använda simuleringsmodellen för bestämning av beställningspunkter

- 2 För denna beställningspunkt beräknas med hjälp av simulering den servicenivå man i medeltal skulle erhållit under simuleringsperioden med den aktuella beställningspunkten. I princip är det liktydigt med den servicenivå som man statistiskt sett skulle erhållit under föregående år.
- 3 Om erhållen servicenivå är lägre än den önskade, upprepas steg 2 med en beställningspunkt som är en enhet större än föregående. Är erhållen servicenivå större än eller lika med den önskade väljer man den aktuella beställningspunkten som lagerstyrningsparameter.

En översiktlig illustration av den simuleringsmodell som använts för att beräkna erhållen servicenivå visas i figur 3.

I modellen simuleras dagliga uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo. Konsekvenser av typ bristkvantiteter och erhållna servicenivåer beräknas månadsvis.

Som materialstyrningsmodell vid simuleringskörningarna har ett beställningspunktssystem använts. Nya beställningspunkter beräknas vid varje månadsskifte. Förbrukningen under leddid prognostiseras med hjälp av glidande medelvärde metoden med tolv månadsvärden och den standardavvikelse som ligger till grund för säkerhetslagerberäkning beräknas med utgångspunkt från efterfrågan per dag ett år tillbaka i tiden. Beräkningar-

na baseras på användning av fyllnadsgrad som servicenivåbegrepp, dvs servicenivån definieras som andelen av efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lager. Uppkomna brister antas restnoteras för senare leverans.

3 Dataunderlag och utvärderingsmetodik

För att besvara forskningsfrågan och kunna utvärdera bestämning av beställningspunkter och säkerhetslager direkt från historisk efterfrågan i förhållande till användning av traditionella modeller har simulering med hjälp av Excel och makroprogram skrivna i Visual Basic använts. Som underlag för de genomförda beräkningarna och simuleringarna har efterfrågehistorik från tre fallföretag använts. I detta kapitel presenteras detta efterfrågeunderlag och den simulerings- och utvärderingsmetodik som utnyttjats för att besvara forskningsfrågan.

3.1 Dataunderlag

Den efterfrågehistorik som använts för beräkningar och simuleringar har erhållits från tre olika företag. Dessa fallföretag är stora internationellt verksamma verkstadsföretag. Antalet artiklar som analyserats har varit 250 stycken från vart och ett av de tre företagen. Fallföretagens lagerverksamhet kan kort beskrivas enligt följande.

Företag A's lager är ett reservdelslager. Utöver unika reservdelar lagerförs också reservdelskit. Totalt finns det storleksordningen 10 000 artiklar i lager, egentillverkade såväl som inköpta från utomstående leverantörer. Lagret försörjer dels slutkunder på den Europeiska marknaden och dels ett regionalt lager i Sydostasien och ett i Nordamerika.

Lagret i företag B avser ett distributionslager som försörjer kunder på en lokal marknad. Lagret försörjs i sin tur av ett centrallager. Det innehåller storleksordningen 1 500 artiklar.

Företag C's lager utgör ett virtuellt lager bestående av summan av lagertillgångar i tre regionala lager, ett i Europa, ett i Sydostasien och ett i Nordamerika. De lagerpåfyllnadsorder som skapas vid materialstyrningen baseras på den sammanlagda efterfrågan på samtliga marknader. Vid leverans från produktionen fördelas tillverkade kvantiteter till de olika regionala lagren i proportion till den aktuella behovssituationen. Det lagerförda sortimentet är slutprodukter och består av över 20 000 egentillverkade artiklar.

För att karakterisera materialstyrningssituationen från de tre fallföretagen har företagens respektive artiklar indelats i olika rörlighetsklasser avseende hur många kundorderrader som levereras per år. Alternativt kan man tala om antal plock per år och en uppdelning av artiklarna i rörlighetsklasser. För varje företag och lager har en uppdelning i fyra olika rörlighetsklasser gjorts. Uppdelningen är individuell för varje lager och har gjorts så att artiklarna blir rimligt jämt fördelade mellan klasserna. Denna uppdelning i rörlighetsklasser och antal artiklar tillhörande varje rörlighetsklass redovisas i tabell 1. I tabellen avser intervall det antal leveranser per år inom vilket en viss artikel skall levereras för att tillhöra rörlighetsklassen.

Tabell 1 Uppdelning av artiklar från de tre fallföretagen i rörlighetsklasser

<i>Företag</i>	<i>Rörlighetsklass</i>	<i>Intervall</i>	<i>Antal artiklar</i>
A	1	> 250	64
	2	100 – 250	64
	3	40 – 100	60
	4	< 40	62
B	1	> 150	28
	2	50 – 150	85
	3	20 – 50	70
	4	< 20	67
C	1	> 250	56
	2	100 – 250	55
	3	40 – 100	46
	4	< 40	93

3.2 Simulerings- och utvärderingsmetodik

För att utvärdera och jämföra simuleringsmetoden med en traditionellt använd materialstyrningsmetod som utgår från normalfördelning respektive empirisk fördelning har samma typ av analysmodell som beskrevs i föregående kapitel använts. Hur beställningspunkterna beräknas för de båda jämförelsemetoderna framgår av Mattsson (2007). Beräkningarna baseras på användning av fyllnadsgrad som servicenivåbegrepp, dvs. servicenivån definieras som andelen av efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lager. Med utgångspunkt från de beräknade beställningspunkterna för simuleringsmetoden respektive för de båda jämförelsemetoderna beräknas därefter erhållna servicenivåer och resulterande kapitalbindning i säkerhetslager.

Med hjälp av modellen har dagliga uttag simulerats, jämförelser mellan saldo och beställningspunkter gjorts, nya lagerpåfyllnadsorder planerats in, inleveranser simulerats och uppdateringar av saldo och disponibelt saldo genomförts. Konsekvenser av typ bristkvantiteter och erhållna servicenivåer har beräknats månadsvis. Därefter har erhållna medelservicenivåer för respektive företags artikelsortiment beräknats för de olika metoderna. Medelkapitalbindningen i säkerhetslagret under simuleringsperioden har beräknats.

Storleken på kapitalbindningen i säkerhetslager är helt beroende av den servicenivå som man uppnår. Därför måste man för att kunna jämföra de båda metoderna med avseende på kapitalbindning säkerställa att jämförelsen sker vid samma servicenivå. För att åstadkomma detta har den servicenivå som erhållits med hjälp av simuleringsmetoden och motsvarande kapitalbindning använts som referensnivåer. Baserat på normalfördelningsmetoden har därefter tre fall med olika erhållna servicenivåer genererats och så att referensservicenivån från simuleringsmetoden ligger mellan den högsta och lägsta servicenivån från normalfördelningsmetoden. Med hjälp av lineär regression har därefter en funktion över sambandet mellan servicenivå och kapitalbindning kunna bestämmas och den kapitalbindning som motsvarar referensservicenivån beräknats för normalfördelningsmetoden. Kapitalbindningen som funktion av servicenivån är inte linjär. För att uppnå en acceptabel noggrannhet har därför intervallet mellan högsta och lägsta servicenivå med normalfördelningsmetoden gjorts litet.

Med avseende på erhållen servicenivå har simuleringsmetoden också jämförts med en materialstyrningsmodell som bygger på empirisk fördelning och som tar hänsyn till överdrag. Hur beräkningarna i denna senare modell utförs finns beskrivna i Mattsson (2007). Eftersom de båda alternativa metoderna ger praktiskt taget samma servicenivå har inga kapitalbindningsjämförelser gjorts i detta fall.

4 Resultat och analyser

Med hjälp av den Excel-modell som beskrevs i avsnitt 2 har beställningspunkter för de tre fallföretagen beräknats med hjälp av simulering baserat på historisk efterfrågan. För att kunna jämföra denna simuleringsmetodik för att bestämma beställningspunkter med ett analytiskt beräkningsförfarande har beställningspunkter också beräknats baserat på empirisk efterfrågefördelning och med hänsyn tagen till överdrag. Bestämningen av beställningspunkter har i båda fallen utgått från en önskad servicegrad i form av en fyllnadsgrad på 96 %. Erhållna servicenivåer från dessa beräknade beställningspunkter har därefter beräknats med hjälp av den simuleringsmodell som redovisades i avsnitt 3. Resultaten från jämförelserna redovisas i tabell 2.

I tabellen visas både erhållna servicenivåer i medeltal för respektive fallföretags hela artikelsortiment och erhållna servicenivåer i medeltal för artiklarna per rörlighetsklass för respektive företag. Som framgår av tabellen erhålls en mycket god överensstämmelse med önskad servicenivå för båda beräkningsmetoderna. Följaktligen kan också de båda metoderna från praktiska utgångspunkter betraktas som likvärdiga, speciellt för artiklar tillhörande de tre högsta rörlighetsklasserna. Förekommande skillnader mellan simuleringsmetoden och den analytiska metoden baserad på empirisk efterfrågefördelning är endast signifikanta för fallföretag C, rörlighetsklass 1.

Tabell 2 Jämförelser av erhållna medelservicenivåer från beställningspunkter beräknade med hjälp av simulering respektive baserade på empirisk efterfrågefördelning

Rörlighets- klass /Totalt	Företag A		Företag B		Företag C	
	Sim	Emp	Sim	Emp	Sim	Emp
Rörl.klass 1	96,0	95,8	96,3	96,5	96,6	96,0
Rörl.klass 2	96,2	95,9	96,4	96,7	96,3	96,0
Rörl.klass 3	95,8	95,5	95,8	95,9	96,0	95,8
Rörl.klass 4	97,8	97,3	95,6	95,1	97,4	96,7
Totalt	96,5	96,1	96,0	96,0	96,7	96,2

Det kan noteras att simuleringsmetoden tenderar att ge något högre beställningspunkter, speciellt för artiklar tillhörande rörlighetsklass 4. Detta är naturligt eftersom simuleringsmetoden testar beställningspunkter tills erhållen servicenivå överskrider önskad servicenivå. Att detta ger större utslag för lågrörliga artiklar beror på att dessa ofta har lägre beställningspunkter och att därmed en enhet högre beställningspunkt relativt sett betyder mer för erhållen servicenivå än vid höga beställningspunkter. Vill man förbättra överensstämmelsen mellan önskad och den i medeltal erhållna servicenivån kan man med hjälp av interpolation välja den beställningspunkt som ger en servicenivå som ligger närmst den önskade av den som ger en servicenivå strax under och den som ger en servicenivå strax över önskad servicenivå.

Jämförelserna mellan de båda metoderna har också innefattat skillnader i variationer i erhållna servicenivåer mellan artiklarna i respektive företags artikelsortiment, uttryckta som standardavvikelser. Dessa jämförelser visade att det inte förekom några signifikanta skillnader över huvud taget. De båda metoderna kan därför betraktas som likvärdiga även i detta avseende.

För att jämföra simuleringsmetodiken med traditionellt använda metoder för beställningspunktsberäkning baserade på normalfördelning har jämförande simuleringar även gjorts i detta avseende. Att traditionella normalfördelningsbaserade beställningspunktsmetoder ger för låga eller i en del fall mycket för låga servicenivåer är känt sedan tidigare. Se exempelvis Mattsson (2007). Skillnader med avseende på servicenivå är därför inte intressant här. Däremot kan det vara av intresse att göra jämförelser med avseende på skillnader i variationer i erhållna servicenivåer mellan artiklarna i respektive företags artikelsortiment uttryckta som standardavvikelser. Jämförelserna har också omfattat beräkningar av maximalt och minimalt förekommande erhållna servicenivåer. Resultaten från dessa jämförelser visas i tabell 3.

Som framgår av tabellen ger simuleringsmetoden betydligt mindre spridning i erhållna servicenivåer mellan olika artiklar i artikelsortimentet. Detta visar både standardavvikelsemättet och max- och min-värdena. Att spridningen är mindre innebär att alla artiklar i större utsträckning ligger nära den önskade servicenivån och att det följaktligen finns mindre inslag av att medelvärdet blir acceptabelt medan vissa artiklar får en alldeles för hög servicenivå och andra får en alldeles för låg servicenivå.

Tabell 3 Jämförelse av servicenivåvariationer från beställningspunktpunkter bestämda med hjälp av simulering respektive med traditionella materialstyrningsmodeller baserade på normalfördelad efterfrågan.

<i>Fallföretag</i>	<i>Std avvikelse</i>		<i>Största S-nivå</i>		<i>Minsta S-nivå</i>	
	<i>Sim</i>	<i>Norm</i>	<i>Sim</i>	<i>Norm</i>	<i>Sim</i>	<i>Norm</i>
A	1,5	2,4	100	97	92	76
B	1,7	4,4	100	100	88	79
C	1,4	2,2	100	100	93	88

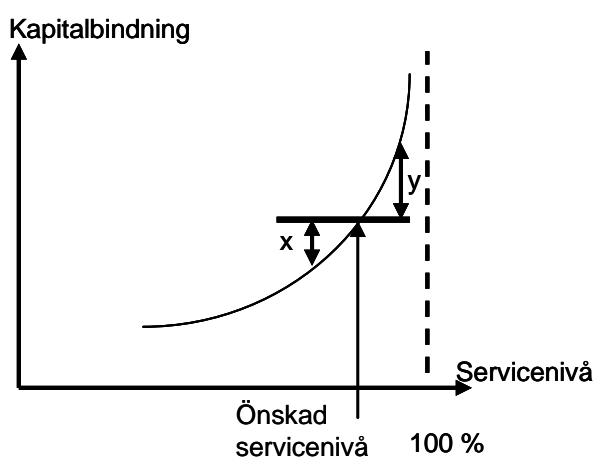
Slutligen har också traditionell beställningspunktsberäkning baserad på normalfördelad efterfrågefördelning jämförts med beställningspunkter som genererats med hjälp av simulering av historisk efterfrågan med avseende på kapitalbindning i säkerhetslager. För att åstadkomma jämförbara värden har kapitalbindningen i båda fallen beräknats vid en erhållen servicenivå på 96 procent i medeltal för alla artiklar. Resultaten framgår av tabell 4. Tabellvärdena avser hur många procent högre kapitalbindning i säkerhetslager man får om man bestämmer beställningspunkter med traditionella normalfördelningsbaserade lagerstyrningsmodeller jämfört med om bestämning sker med hjälp av simulering.

Tabell 4 Skillnader i kapitalbindning i säkerhetslager i % vid användning av normalfördelning för beräkning av beställningspunkter jämfört med simuleringsgenererade beställningspunkter

<i>Fallföretag</i>	<i>Skillnad i kapitalbindning i %</i>
A	+ 16
B	+ 17
C	+ 27

Som framgår av tabellen medför traditionella lagerstyrningsmodeller en påtagligt högre kapitalbindning för att uppnå samma servicenivå jämfört med om den ovan beskrivna simuleringsmetoden används. Att så är fallet kan förklaras med hjälp av figur 4 som visar sambandet mellan kapitalbindning i säkerhetslager och servicenivå.

Oavsett vilken servicenivå man dimensionerar beställningspunkter för kommer den erhållna servicenivån att i större eller mindre utsträckning avvika från den man egentligen önskar och dimensionerar säkerhetslagret för. Detta inträffar även om man anpassar den så att man i medeltal över ett helt artikelsortiment får den servicenivå som man önskat. För vissa artiklar blir den erhållna servicenivån högre, för andra lägre än den önskade. Ju mindre tillfredsställande beräkningsmodellen är desto mer kommer de erhållna servicenivåerna för enskilda artiklar att avvika från den önskade, dvs desto längre kommer den vågräta linjen i figuren att bli. Detta leder i sin tur till att mindre kvalificerade beräkningsmetoder medför en högre kapitalbindning vid samma medelservicenivå av följande skäl.



Figur 4 Samband mellan kapitalbindning och servicenivå

Eftersom kurvan som visar sambandet mellan servicenivå och kapitalbindning är progressiv kommer avståndet till kurvan att vara större för servicenivåer som är högre än den önskade, y i figuren, än avståndet till kurvan för servicenivåer som är lägre än den önskade, x i figuren. Detta är detsamma som att summan av de översäkerhetslager som uppstår för artiklar med för höga servicenivåer är större än summan av de undersäkerhetslager som uppstår för artiklar med för låga servicenivåer. Eftersom 100 procent servicenivå utgör en absolut gräns förekommer det vid höga önskade servicenivåer dessutom fler artiklar med servicenivåer högre än den önskade och motsvarande medelservicenivån än artiklar med servicenivåer lägre än den önskade.

Till en ökad kapitalbindning vid användning av mindre kvalificerade lagerstyrningsmetoder bidrar också att det i första hand är de högomsatta artiklarna som får för höga servicenivåer eftersom dessa är lättare att beräkna korrekta beställningspunkter för och att de högomsatta artiklarna relativt sett bidrar mer till kapitalbindningen i säkerhetslager än vad de lågomsatta gör. Exempelvis stämmer antagandet om normalfördelad efterfrågan i allmänhet bättre för sådana artiklar än för mer lågomsatta artiklar.

5 Sammanfattning och slutsatser

I det projekt som redovisas i den här rapporten har en metodik för bestämning av beställningspunkter med hjälp av simulering baserad på historisk efterfrågan utvecklats och utvärderats. Utvärderingen har genomförts med hjälp av efterfrågedata från tre olika fallföretag.

Med avseende på erhållna servicenivåer har simuleringsmetoden jämförts med beställningspunktsberäkning baserad på empirisk efterfrågan och med hänsyn tagen till överdrag. Resultaten från denna jämförelse visar att simuleringsmetoden kan betraktas som likvärdig med traditionell beställningspunktsbestämning med avseende på erhållna medelservicenivåer för ett sortiment av artiklar. Metoderna är också likvärdiga med avseende på skillnader i erhållna individuella servicenivåer för olika artiklar i ett artikelsortiment. Båda metoderna ger upphov till servicenivåer som från praktiska utgångspunkter mycket väl överensstämmer med de önskade servicenivåer som säkerhetslagren dimensionerats för.

Användning av traditionell beställningspunktsberäkning baserad på normalfördelning och utan hänsyn till förekomst av överdrag ger upphov till klart lägre servicenivåer än de som beräkningsmodellen dimensionerats för. Man kan emellertid uppnå önskad medelservicenivå för ett artikelsortiment genom att justera den dimensionerande servicenivån tills önskad medelservicenivå uppnås. Med avseende på samma önskade och erhållna servicenivå har detta tillvägagångssätt jämförts med den utvecklade simuleringsmetoden. Resultaten från denna jämförelse visar att även om samma medelservicenivå uppnås så blir spridningen i artikelvisa servicenivåer påtagligt mindre om simuleringsmetoden används. Med andra ord ger traditionell beställningspunktsberäkning baserad på normalfördelning i klart större utsträckning upphov till artiklar med mycket låga respektive mycket höga servicenivåer jämfört med de servicenivåer som önskas. Det föreligger också skillnader i den kapitalbindning i säkerhetslager som uppkommer för att nå samma medelservicenivå. Resultatet kapitalbindning blir klart lägre när simuleringsmetoden används.

I den utvecklade metoden har efterfrågans fyllnadsgrad använts som servicenivåmått, likaså vid utvärdering och jämförelser med andra lagerstyrningsmodeller. I motsats till andra modeller är simuleringsmetoden också möjlig att använda med fyllnadsgrad avseende orderrader som servicenivåmått, dvs. att använda orderradsservice. Detta kan betraktas som en klar fördel för simuleringsmetoden eftersom orderradsservice är det servicenivåmått som de flesta företag använder för uppföljningsändamål.

Tidigare studier har visat att erhållna servicenivåer varierar ganska påtagligt över tiden trots att man utgår från samma önskade servicenivå och att efterfrågefördelningen är stationär. Se Mattsson (2003). Detta kan vara ett problem eftersom det innebär att man

under vissa perioder riskerar att få servicenivåer som inte är konkurrenskraftiga. Simuleringsmetoden ger möjligheter att bestämma beställningspunkter så att man med stor sannolikhet inte riskerar att under någon period underskrida en viss minsta servicenivå.

Referenser

Bookbinder, J. – Lordahl, A. (1989) Estimation of inventory re-order levels using the bootstrap statistical procedure, IIE Transactions, December, sid 302 – 312.

Fagan, M. (1984) Determination of safety stock: A practical approach for service industries. APICS conference proceedings, sid 84 – 88.

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

Huq, F. (2006) Simulation study of a two-level warehouse inventory replenishment system, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 36, No. 1.

Janssen, F. – Heuts, R. – Kok, T. (1998) On the (R,s,Q) inventory model when demand is modeled as a compound Bernoulli process, European Journal of Operational Research, No. 104, sid 423-436.

Mattsson, S-A. (2003) Avvikelser och variationer i erhållna servicenivåer, 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.

Schönsleben, P. (2004) Integral logistics management. St Lucie Press.

Silver, E. (1970) Some ideas related to the inventory control of items having erratic demand patterns, CORS Journal, Vol. 8 No. 2, sid 87-100.

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

Smart, C. – Willemain, T. (2000) A new way to forecast intermittent demand, The performance Advantage, June, sid 64 – 68.

Ward, J. (1978) Determining reorder points when demand is lumpy, Management Science, Vol. 24 No. 6.