

Användning av tid som parameter vid lagerstyrning

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

Lagerstyrning innebär bland annat att fatta beslut om orderkvantiteter och säkerhetslager. I företag är det vanligt att tid används för att bestämma dessa parametrar, dvs. orderkvantiteter respektive säkerhetslager beräknas som ett bestämt antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. I litteraturen behandlas detta sätt att arbeta mycket sporadiskt och i de få fall metoderna beskrivs är de hårt kritiserade.

Utöver eventuella svagheter ur styrningssynpunkt har metoderna många fördelar. De är enkla att förstå och använda och de möjliggör på ett enkelt sätt ett användbart samband mellan operativa lagerstyrningsbeslut och resulterande kapitalbindning och omsättningshastighet på ledningsnivå. Metoderna är också lätta att kombinera med tidsbegränsningar på grund av hållbarhetstider och tekniskt/ekonomiska livslängder. Syftet med den här studien är att analysera och utvärdera i vilken utsträckning tidsbaserade metoder för bestämning av orderkvantiteter och säkerhetslager kan göras effektivare ur styrningssynpunkt. Utvärderingarna avser skillnader i kapitalbindning och lagerstyrningskostnader vid jämförbar orderradsservice.

Av studien kan man dra följande slutsatser. För att beräkning av orderkvantiteter baserat på antal dagar skall vara en rimligt effektiv metod ur styrningssynpunkt måste antalet dagar differentieras mellan olika artiklar. Sådan differentiering görs med fördel baserat på roten ur artiklars volymvärden, antingen per volymvärdeklass eller individuellt per artikel. För säkerhetslagerdimensionering med hjälp av antal dagar är den differentiering som åstadkoms automatiskt tillräcklig trots att alla artiklar ges samma antal dagar. En ytterligare differentiering av antal dagar baserat på kundorderfrekvenser, priser eller ledtider ger för praktiskt bruk endast marginella effektivitetsförbättringar. Sammanfattningsvis kan konstateras att tidmetoder för bestämning av orderkvantiteter och säkerhetslager kan fås att fungera på ett fullt tillfredsställande sätt med avseende på kapitalbindning och lagerstyrningskostnader. Med tanke på ett antal andra fördelar som är förknippade med metoderna kan de utgöra ett attraktivt alternativ till mer teoretiskt avancerade metoder.

1 Bakgrund

För att styra materialflöden via lager krävs information om kvantiteter på lagerpåfyllnadsorder och om tidpunkter när dessa order måste frisläppas till leverantör eller den egna produktionen för att kunna levereras i tid. Lämplig kvantitet på lagerpåfyllnadsorder påverkas i första hand av förväntad framtida efterfrågan, ordersärkostnader och

kostnader för kapitalbindning medan lämplig tidpunkt för orderfrisläppning påverkas av förväntad framtida efterfrågan, förväntad ledtid för lagerpåfyllnad samt storlek på säkerhetslager för att åstadkomma den servicenivå i utleveranser som man önskar uppnå. Av dessa parametrar kräver orderkvantiteter och säkerhetslager någon form av beslut i bemärkelsen en avvägning mellan leveransförmåga, kapitalbindning och lagerstyrningskostnader medan övriga baseras på rutinmässig datainsamling och förhållandevis enkla beräkningar.

Som hjälpmedel för att fatta beslut om orderkvantiteter och säkerhetslager finns ett stort antal teoretiska modeller redovisade i litteraturen. En del av dessa används också praktiskt i industrin. I industrin är det emellertid vanligare att använda metoder som är betydligt enklare och som i stor utsträckning baseras på erfarenhetsbaserade bedömningar i stället för mer vetenskapligt accepterade modeller. Exempelvis är det vanligaste sättet att dimensionera säkerhetslager att sätta dem lika med ett uppskattat antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Enligt en studie av metodanvändning i svensk industri använde närmre hälften av medelstora och stora företag metoden medan mindre än en fjärdedel utgick från en önskad servicenivå (Jonsson och Mattsson, 2013). Enligt Silver et al. (1998, sid 244) använder storleksordningen 80 % av amerikanska företag antalet dagars medelefterfrågan för att dimensionera säkerhetslager. Många företag använder också antalet dagars efterfrågan för att dimensionera orderkvantiteter, nästan lika många som beräknar orderkvantiteter med hänsyn till ordersärkostnader och lagerhållningskostnader, dvs. beräknar så kallade ekonomiska orderkvantiteter (Jonsson och Mattsson, 2013). I båda fallen är det sålunda fråga om att använda tid som styrparameter i lagerstyrningen.

Att använda tid som styrparameter är ett sätt att uttrycka en kvantitet som funktion av medelefterfrågan per dag. Bestämning av tid i form av antal dagar kan alternativt åstadkommas med hjälp av beräkningar baserade på teoretiska modeller eller med hjälp av manuella uppskattningar. Att utgå från beräkningar baserade på teoretiska modeller innebär att man först beräknar orderkvantiteter och säkerhetslagerkvantiteter, exempelvis som ekonomisk orderkvantitet med hjälp av kostnadsoptimering respektive säkerhetslagerkvantitet från en önskad servicenivå. I båda fallen divideras därefter beräknad kvantitet med medelefterfrågan per dag för att få antal dagar. Använder man teoretiska modeller för att bestämma antal dagar måste man bestämma parametrarna individuellt per artikel för att modellerna skall kunna användas. Om man å andra sidan väljer att basera antalet dagar på uppskattningar är det mer naturligt att bestämma gemensamma parametervärden för alla artiklar eller för klasser av artiklar i en artikelgrupp på grund av det omfattande arbete det är att bestämma och fortlöpande uppdatera artikelindividuella värden. Det är också så som företag som baserar sin parametersättning på uppskattat antal dagar principiellt arbetar. Det är detta alternativ som behandlas i den här rapporten.

2 Grundläggande utgångspunkter

Med avseende på orderkvantiteter innebär tidmetoden att orderkvantiteten beräknas som ett antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Därmed blir orderkvantiteten proportionell mot efterfrågan medan användning av metoder som bygger på någon form av ekonomiska beräkningar, exempelvis Wilsonformeln för att beräkna ekonomisk orderkvantitet, medför att orderkvantiteten blir proportionell mot kvadratroten på efterfrågan.

Med andra ord kommer artiklar med stor efterfrågan att få för stora orderkvantiteter och artiklar med liten efterfrågan att få för små. Eftersom högomsatta artiklar representerar större värden blir resultatet onödigt hög kapitalbindning och onödigt höga kostnader. Mattsson (2008) har i en simuleringsstudie visat att man får åtskilliga tiotals procent större kapitalbindning i omsättningslager om man använder tid för att dimensionera orderkvantiteter jämfört med att använda ekonomisk orderkvantitet. Ju ojämnare volymvärdefördelningen är i ett artikelsortiment, desto större blir skillnaderna (Mattsson, 2008). Skillnaderna i orderkvantiteter leder också till att de totala lagerstyrningskostnaderna blir klart större än optimalt.

Användning av tid som parameter för bestämning av säkerhetslager innebär att säkerhetslagret sätt lika med antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Det innebär att det även i det här fallet är fråga om en proportionalitetsmetod, dvs. att säkerhetslagret blir proportionellt mot efterfrågan. Med andra ord tas ingen hänsyn till att olika artiklar har olika efterfrågevariationer, ledtider och priser. Enligt den litteratur som finns på området anses metoden nästan genomgående vara mer eller mindre undermålig, speciellt med avseende på att beräkningen av säkerhetslager inte utgår från en önskad servicenivå. Exempelvis hävdar Silver et al. (1998, sid 244) att "this approach is seriously in error because it fails to take account of the difference in uncertainty of forecasts from item to item" och Sandvig-Reistad (2000) menar att "this simplistic method often results in poor safety stock allocations that provide poor protection at excessively high costs".

Karakteristiskt för dessa och liknande synpunkter på säkerhetslagerbestämning i litteraturen är att de utgår från enskilda artiklar som betraktas var för sig. Om man skall bedöma en methods effektivitet måste man emellertid göra det med utgångspunkt från den samlade leveransförmåga som åstadkoms för grupper av artiklar eller kompletta artikelsortiment och den sammanlagda kapitalbindning som krävs för att åstadkomma den. Från en sådan utgångspunkt har Mattsson (2013) både genom ett logiskt resonemang, genom analytisk härledning och med hjälp av simulering baserat på data från åtta fallföretag visat, att användning av antal dagar ger en betydligt lägre kapitalbindning för att uppnå en viss orderradsservice än traditionella metoder som utgår från en önskad fyllnadsgradsservice. Kapitalbindningen blev mellan 15 och 89 procent lägre med tidmetoden för de åtta företagen och 35 procent i medeltal. Att så är fallet beror på att tidmetoden indirekt och automatiskt åstadkommer en differentiering av erhållna servicenivåer så att artiklar med många kundorder och låga priser får högre servicenivåer medan metoden som bygger på önskad fyllnadsgradsservice tenderar att ge alla artiklar mer lika erhållen orderradsservice.

Att använda tid som parameter innebär ett antal användningsmässiga fördelar. Sådana metoder kräver inga nämnvärda matematiska kunskaper och är betydligt lättare att förstå och tillägna sig. Alla lagerstyrningsmetoder bygger i stor utsträckning på historisk information, inte minst de mer avancerade metoderna. Eftersom förhållanden av olika slag ändras mer eller mindre dagligen måste det ske ett visst samspel mellan de parametervärden som metoderna ger och den aktuella verklighet som planeraren känner till och kan väga in när exempelvis beslut fattas om orderkvantiteter och säkerhetslager. Ett sådant samspel kommer lättare till stånd och är effektivare om användaren fullt ut förstår de metoder han använder.

En annan användningsmässig fördel är att konsekvensen i form av kapitalbindning av valt antalet dagar för att bestämma orderkvantiteter respektive säkerhetslager enkelt kan

uppskattas. Om man exempelvis sätter orderkvantiteter till 20 dagars efterfrågan och säkerhetslager till 6 dagars efterfrågan kommer den resulterande kapitalbindningen att i medeltal bli $(20/2+6)$ gånger omsättningen per dag (halva orderkvantiteten + säkerhetslagret) vilket motsvarar en omsättningshastighet på $240/(20/2+6) = 15$ gånger. Man får då ett direkt och enkelt samband mellan valda parametrar för den operativa lagerstyrningen och effekter i form av kapitalbindning och omsättningshastighet på företagsledningsnivå. Sådana samband är betydligt mer komplicerade om mer avancerade beräkningsmodeller används.

I många sammanhang påverkas beslut om orderkvantiteter och säkerhetslager av hur länge artiklar kan tillåtas ligga i lager. Det kan till exempelvis vara fråga om begränsad hållbarhet eller att tekniska och ekonomiska livslängder är begränsade. Att uttrycka lagerstyrningsparametrar i antal dagar medför att man får en direkt koppling till förekommande restriktioner vad gäller högsta tillåtna liggtid i lager.

3 Syfte och avgränsningar

Med tanke på de användarmässiga fördelar som finns med att använda tid som parameter vid lagerstyrning och att en stor andel företag använder sådana metoder finns det skäl att studera hur metodernas styrningsmässiga nackdelar jämfört med mer avancerade metoder kan begränsas eller elimineras. Även om användning av antal dagar som parameter vid lagerstyrning är helt definierad som metod, kan det finnas olika tillvägagångssätt för att påverka dess effektivitet. Det kan exempelvis gälla differentiering av valt antal dagar för olika artiklar vid beräkning av orderkvantiteter, differentiering av valt antal dagar för olika artiklar vid beräkning av säkerhetslager eller differentiering av valt antal dagar beroende på olikheter i ledtider vid beräkning av säkerhetslager.

Att använda tidsuppskattningar för att beräkna orderkvantiteter som alternativ till att använda mer avancerade och teoretiskt baserade metoder är emellertid ytterst sporadiskt beskriven i litteraturen och praktiskt taget inte alls i publicerade forskningsrapporter. Av 72 genomgångna fackböcker som behandlar lagerstyrning och som är utgivna mellan 1961 till 2013 har endast 6 överhuvudtaget nämnt tidmetoden och endast 2 har beskrivit några aspekter på att använda den. Motsvarande förhållanden gäller vid användning av tid som parameter för bestämning av säkerhetslager, dvs. att beräkna säkerhetslager som antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Av de 72 genomgångna fackböckerna nämns tidmetoden endast i 18 stycken. I ingen av dem diskuteras hur man skall kunna använda den på ett effektivt sätt.

Mot denna bakgrund är syftet med den här studien att analysera och utvärdera i vilken utsträckning tidsbaserade metoder för bestämning av orderkvantiteter och säkerhetslager kan göras effektivare. Utvärderingarna avser skillnader i kapitalbindning och lagerstyrningskostnader vid alternativa sätt att beräkna orderkvantiteter och vid jämförbara ordersärkostnader samt skillnader i kapitalbindning vid alternativa sätt att beräkna säkerhetslager vid jämförbar erhållen leveransförmåga i form av orderradsservice.

Syftet med studien är också att baserat på de erhållna resultaten utforma ett regelverk för hur tidmetoder kan designas på så effektivt sätt som möjligt.

Variationer i efterfrågan under ledtid påverkas inte bara av efterfrågan per dag utan även av variationer i ledtid. I den här studien har emellertid ledtiden antagits vara konstant. Detta antagande kan inte anses ha någon signifikant betydelse för de erhållna resultaten eftersom förekommande skillnader i säkerhetslagerstorlekar är en effekt av den aggregerade standardavvikelsen för efterfrågan under ledtid och inte individuellt beroende av efterfrågevariationer eller ledtidsvariationer. Den enda effekt antagandet har är att den totala standardavvikelsen för efterfrågan under ledtid blir mindre än om ledtiderna tillåts variera. Efterfrågan i de åtta fallföretagen uppvisar ingen nämnvärd trend eller säsongvariation i efterfrågan. Effekter av systematiska efterfrågeförändringar ingår följaktligen inte heller i studien.

4 Teorier för effektivisering av tidmetoder

Artiklar i en artikelgrupp har alla mer eller mindre unika egenskaper vad gäller parametrar som efterfrågans storlek och variation, pris, ordersärkostnad, ledtid för lagerpåfyllnad och krav på leveransförmåga. Det är följaktligen uppenbart att de olika artiklarna bör ha olika antal dagar för att uppnå en viss önskad total leveransförmåga med så låga lagerstyrningskostnader och så liten kapitalbindning som möjligt. Vid användning av tidmetoder med ett gemensamt antal dagars medelefterfrågan som styrparameter tas emellertid endast hänsyn till olikheter i efterfrågans storlek. Man kan därför förvänta sig att få en effektivare lagerstyrning om man inom ramen för respektive tidmetod kan differentiera antalet dagar även med avseende på några av de övriga parametrarna. I detta avsnitt redovisas grundläggande teorier för att åstadkomma sådan differentiering vid bestämning av antal dagar för beräkning av orderkvantiteter respektive säkerhetslager.

4.1 Differentiering vid bestämning av orderkvantiteter

Vid användning av tidmetoden blir orderkvantiteter proportionella mot respektive artikels efterfrågan. Därmed blir också kapitalbindningen i omsättningslager proportionell mot respektive artikels volymvärde. Det innebär att lågomsatta artiklar får lägre kapitalbindning än optimalt och högomsatta högre kapitalbindning än optimalt. Eftersom högomsatta artiklar bidrar mer till den totala kapitalbindningen kommer tidmetoden att medföra en högre total kapitalbindning i omsättningslager än vad användning av ekonomisk orderkvantitet skulle göra eftersom kapitalbindningen i omsättningslager då i stället blir proportionell mot roten ur volymvärdet. Det ligger då nära tillhands att effektivisera användningen av tidmetoden genom att differentiera antalet dagar för olika artiklar och att göra denna differentiering baserat på artiklarnas volymvärden. Ett stort antal författare diskuterar användning av differentierad lagerstyrning men det är i huvudsak från allmänna utgångspunkter. Wild (2008, sid 142) är en av få som påpekar att man vid användning av tidmetoder bör differentiera antalet dagar efter volymvärde för att de skall bli effektiva. Sådan differentiering innebär att man vid bestämning av orderkvantiteter också tar hänsyn till olikheter i priser och inte endast till olikheter i efterfrågan. Principiellt skulle man på motsvarande sätt också kunna differentiera med avseende på olikheter i ordersärkostnader. Detta behandlas emellertid inte här på annat sätt än att effekterna av olikheter i ordersärkostnader på differentiering baserat på volymvärde analyseras.

För att få en koppling till den resursutnyttjning som är förknippad med ett genomförande av en order-till-leverans process och som är en funktion av antalet order bör ut-

gångspunkten för dimensionering av orderkvantiteter som antal dagars efterfrågan vara det totala antal order per år som man avser att ha resurser för att klara av. Detta motsvarar att utgå från ordersärkostnader vid bestämning av ekonomiska orderkvantiteter. Baserat på detta antal, n , kan genomsnittligt antal dagar per artikel beräknas med hjälp av följande formel.

$$d = \frac{l \cdot k}{n} \dots\dots\dots(1)$$

där l = antalet arbetsdagar per år
 k = antal artiklar i artikelgruppen

Differentiering av antal dagar baserat på volymvärden från detta medelvärde kan åstadkommas på två olika sätt. Det ena sättet innebär att antalet dagar differentieras per volymvärdeklass (A, B, C-klass). Att arbeta med tre olika klasser är vanligast men givetvis kan man välja att använda så många klasser som är praktiskt möjligt att hantera. Genom att använda fler klasser kommer inslaget av proportionalitet mellan ordervärde och volymvärde att öka vilket leder till minskad kapitalbindning i förhållande till antal order och minskade lagerstyrningskostnader. Klassen med de högsta volymvärdena, A, tilldelas minst antal dagar, klassen med näst högsta volymvärden, B, tilldelas några fler dagar och klassen med de lägsta volymvärdena tilldelas högst antal dagar (Mattsson, 2012).

Principiellt finns det två olika alternativ för att åstadkomma en sådan volymvärdeklass-baserad differentiering. Det ena alternativet innebär att man väljer lämpligt antal dagar per volymvärdeklass och anpassar dessa antal så att ekvation (3) nedan är uppfylld, dvs så att summan av antal order för hela gruppen blir lika med summan av antal order för A-artiklar, B-artiklar och C-artiklar.

Eftersom följande samband råder mellan antal dagar och antal order för artiklar i volymvärdeklass i ,

$$d_i = \frac{l}{n_i} \dots\dots\dots(2)$$

gäller följande samband för det totala antalet order.

$$n = l \cdot k \left(p_a \cdot \frac{1}{d_a} + p_b \cdot \frac{1}{d_b} + p_c \cdot \frac{1}{d_c} \right) \dots\dots\dots(3)$$

där d_a = antal dagar för artiklar tillhörande volymvärdeklass A
 p_a = procentuell andel artiklar tillhörande volymvärdeklass A

Det andra alternativet bygger på att antalet order för en viss artikel, i , är proportionellt mot roten ur artikelns volymvärde vid användning av kostnadsoptimering för att beräkna ekonomiska orderkvantiteter när ordersärkostnaderna är lika stora för alla artiklar. Detta framgår av följande formel.

$$n_i = \frac{E_i}{EOK_i} = \frac{E_i \cdot \sqrt{r \cdot P_i}}{\sqrt{2 \cdot E_i \cdot O_i}} = konst \cdot \sqrt{E_i \cdot P_i}$$

där n_i = antal order per år
 E_i = efterfrågan per år

P_i = pris per styck
 O_i = ordersärkostnad
 r = lagerhållningsfaktor

Antalet order per artikel och år för artiklar tillhörande volymvärdeklass A kan följaktligen beräknas med hjälp av följande formel.

$$n_a = \frac{n \cdot \sqrt{V_a}}{k \cdot p_a \cdot (\sqrt{V_a} + \sqrt{V_b} + \sqrt{V_c})} \dots\dots\dots (4)$$

där V_a = volymvärdet för volymvärdeklass A.

Motsvarande beräkningar görs för övriga volymvärdeklasser. Därefter beräknas antalet dagar per artikel för var och en av de tre volymvärdeklasserna med hjälp av formel (2).

Av beräkningarna framgår att den enda information som behövs för att differentiera antalet dagar per volymvärdeklass är procentuell andel artiklar per volymvärdeklass, procentuell andel volymvärde per volymvärdeklass, totalt volymvärde samt totalt antal artiklar. Detta är information som alltid finns tillgänglig vid volymvärdeklassificering.

Det andra tillvägagångssättet innebär att artiklar differentieras individuellt. Man får då ett ytterligare starkare samband mellan orderkvantiteter och volymvärden. Baserat på det för hela artikelgruppen valda antalet order beräknas antalet order för artikel i med hjälp av följande formel.

$$n_i = \frac{n \cdot \sqrt{V_i}}{\sum_j^k \sqrt{V_j}} \dots\dots\dots (5)$$

Om alla artiklar har samma ordersärkostnad blir antalet dagar beräknade på detta sätt lika många som det antal dagar som erhålls med hjälp av ekonomisk orderkvantitet, dvs. man erhåller kostnadsoptimala orderkvantiteter förutsatt att alla artiklar har samma ordersärkostnader.

4.2 Differentiering vid bestämning av säkerhetslager

Väljer man metoden att beräkna säkerhetslager från ett uppskattat antal dagar blir säkerhetslagret lika med detta antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Det är då uppenbart att man vid säkerhetslagerberäkningen inte tar hänsyn till att efterfrågevariationerna är olika för olika artiklar och till att olika artiklar har olika höga priser. Man kan då fråga sig hur det kan vara möjligt att denna metod kan ge acceptabla resultat med avseende på den kapitalbindning i säkerhetslager som krävs för att uppnå en viss önskad orderradsservice. Förklaringen ligger i att ett gynnsamt förhållande mellan orderradsservice och kapitalbindning endast kan nås genom differentiering, dvs. att säkerhetslagret dimensioneras så att artiklar med hög kundorderfrekvens och lågt pris får högre orderradsservice än artiklar med låg kundorderfrekvens och högt pris. Mattsson (2013) har visat att en sådan differentiering åstadkoms indirekt automatiskt genom att använda antal dagars medelefterfrågan för att dimensionera säkerhetslager.

Denna tidmetod kan förväntas bli ytterligare effektiv genom differentiering av antalet dagar på grupper av artiklar i stället för att använda ett gemensamt antal dagar för samt-

liga artiklar. För att uppnå en given önskad leveransförmåga med så liten kapitalbindning som möjligt är det effektivast att differentiera med avseende på kundorderfrekvens och pris (Mattsson, 2011a). Detta kan alternativt åstadkommas genom en en-dimensionell artikelgruppering i artikelklasser baserad på kundorderfrekvenser eller priser eller genom en två-dimensionell artikelgruppering i artikelklasser baserad på båda variablerna samtidigt med hjälp av en klassificeringsmatris.

Det finns inget direkt och enkelt samband mellan antal dagar och erhållen orderradsservice. Bestämning av genomsnittligt antal dagar får därför utgå från en uppskattning inklusive löpande uppföljning av verkligt erhållen orderradsservice. Det innebär att en anpassning av antalet dagar görs efter varje mätning av erhållen orderradsservice. Är erhållen orderradsservice lägre än önskad ökar man antalet dagar och vice versa. Ett annat alternativ är att bestämma antalet dagar med hjälp av simulering på ett stickprov av artiklar.

Differentiering av antalet dagar baserat på det antal, d , som bestämts med något av ovanstående två alternativ kan göras på följande sätt. För varje artikelklass vid en-dimensionell gruppering väljs ett lämpligt antal dagar per klass och valda antal anpassas därefter så att följande ekvation är uppfylld.

$$d = p_a * d_a + p_b * d_b + p_c * d_c \dots\dots\dots(6)$$

där d_a = antal dagar för artiklar tillhörande klass A
 p_a = procentuell andel artiklar tillhörande klass A

Vid val av antal dagar skall högst antal väljas för de artiklar som tillhör klasser med högst kundorderfrekvenser respektive med lägst priser (Lambert-Stock-Ellram, 1998, sid 170; Bowersox-Closs, 1996, sid 301; Mattsson, 2011a). Motsvarande formel används för de nio klasser som erhålls då man väljer att använda två-dimensionell artikelgruppering.

Tidmetoden tar inte heller hänsyn till att olika artiklar har olika långa ledtider. Man kan därför förvänta sig att metodens effektivitet också kan påverkas genom differentiering av antal dagar baserat på förekommande ledtider. Om ledtiderna delas in i ledtidsklasser på motsvarande sätt som volymvärden i volymvärdesklasser kan differentiering åstadkommas genom att välja ett lämpligt antal dagar per ledtidsklass och antalen anpassas på samma sätt som ovan så att ekvation (6) blir uppfylld

Vid val av antal dagar skall högst antal väljas för de artiklar som tillhör klasser med längst ledtider.

Baseras beräkning av säkerhetslager på önskad servicenivå gäller följande samband.

$$SL = k \cdot \sigma \cdot \sqrt{LT} \dots\dots\dots(7)$$

där k = säkerhetsfaktorn
 LT = ledtiden i perioder
 σ = standardavvikelsen per period.

Av ekvation (7) framgår att säkerhetslagrets storlek är proportionellt mot roten ur ledtiden. Ett annat och effektivare sätt att differentiera antal dagar proportionellt mot roten ur ledtiden är följaktligen att beräkna antal dagar för ledtidssklass A med hjälp av följande formel om tre ledtidssklasser används.

$$d_a = \frac{d \cdot \sqrt{L_a}}{(\sqrt{L_a} + \sqrt{L_b} + \sqrt{L_c})}$$

där L_a = Summa ledtid för artiklarna i ledtidssklass A.

d_a = antal dagar för artiklar tillhörande klass A

Motsvarande beräkningar görs för övriga ledtidssklasser.

Ett ytterligare förbättrat samband mellan antal dagar och ledtider kan erhållas genom att differentiera antalet dagar individuellt per artikel. Baserat på det för hela artikelgruppen valda antalet dagar beräknas då antalet dagar för artikel i med hjälp av följande formel.

$$d_i = \frac{d \cdot \sqrt{L_i}}{\sum_j^k \sqrt{L_j}} \dots \dots \dots (8)$$

5 Angreppssätt, fallföretag och simuleringsmodeller

Det går att härleda analytiska samband mellan antal dagars medelefterfrågan och antal order per år och därmed med summa ordersärkostnader respektive med kapitalbindning i omsättningslager. Sådana samband bygger emellertid på antaganden om att alla uttag är ett styck. Detta är praktiskt taget aldrig förhållandet i verkligheten. För att få mer realistisk utvärdering av alternativa metoder för att effektivisera metoden antal dagar för bestämning av orderkvantiteter har simulering använts i den här studien. Det är också motiverat att använda simulering vid utvärdering av alternativa metoder för effektivisering av metoden antal dagar för bestämning av säkerhetslager eftersom det inte är möjligt att härleda analytiska samband mellan antal dagars medelefterfrågan och erhållen orderradsservice för grupper av artiklar. Simuleringarna har genomförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic. Som underlag för simuleringarna har verkliga datauppgifter från åtta olika fallföretag använts.

5.1 Fallföretag och använda datauppgifter

Simuleringarna har baserats på slumpmässigt uttagna stickprov av 250 olika lagerförda artiklar från vardera åtta olika företag.

- Ett tillverkande företag med lager av köpta och egentillverkade halvfabrikat (B)
- Tre tillverkande företag med lager av produkter för distribution (C, E, H)
- Två distribuerande företag med lager av produkter för distribution till lokala lager (D, F)
- Ett distribuerande företag med lager av reservdelar (A)
- Ett grossistföretag (G)

För varje artikel i dessa företag har data om årsförbrukning, ledtider, priser per styck samt antal kundorder per år erhållits. Dessutom har uppgifter om efterfrågan per dag under ett år samlats in. I en del fall förekommer extrema efterfrågevärden under enstaka

dagar. Sådana kan exempelvis bero på att man fått några exceptionellt stora kundorder eller bero på att det funnits leveransproblem som resulterat i toppar i utleveranserna när lagret fyllts på. De kan också förekomma när ett centrallager försörjer lokala lager och samtidigt är ett lokalt lager för den lokala slutkundsmarknaden. För att undvika att sådana extrema efterfrågevärden påverkar jämförelserna mellan de studerade dimensioneringsmetoderna har insamlade efterfrågedata bearbetats. Detta har gjorts genom att identifiera extremvärden med hjälp av statistiska metoder och därefter ersätta dem med medelefterfrågan per dag under de dagar då efterfrågan förekommit.

Ett års daglig efterfrågan är en för kort period för att kunna få stabilitet i det simulerade materialflödet och att kunna utesluta en tillräckligt lång inkörningsperiod vid beräkningar av erhållna resultat. För att få ett tillräckligt omfattande efterfrågeunderlag genererades därför slumpmässigt sex tusen dagars efterfrågan per artikel motsvarande tjugofem års verksamhet med hjälp av bootstrapping från de efterfrågevärden som samlats in

När olika fallföretag studeras kan de resultat som erhålls skilja sig åt av ett flertal skäl. För att kunna förklara sådana skillnader och därmed dra slutsatser för samtliga studerade företag samt i någon mån även kunna generalisera slutsatserna är det nödvändigt att karakterisera de förhållanden som gäller för lagerstyrningen i respektive företag. De artikel- och efterfrågeförhållanden som är av störst intresse har sammanställts i tabell 1 och 2.

Med avseende på prisförhållanden har två karakteriserande faktorer beräknats. De redovisas i tabell 1. Kolumn 1 visar förhållandet mellan medelpriset för de 20 % dyraste artiklarna och medelpriset för de 20 % billigaste artiklarna. Företagen B, C och H avviker markant från övriga företag med mycket stora förhållanden mellan högpris- och lågprisartiklar. En av huvudanledningarna till att dagmetoden för säkerhetslagerberäkning kan ge låg kapitalbindning i förhållande till erhållen orderradsservice är att det finns en negativ korrelation mellan efterfrågans storlek och pris per styck. Erhållna värden på denna korrelation visas i kolumn 2. Som framgår av tabellen är korrelationen negativ för samtliga företag. Företagen A, C och D uppvisar större negativ korrelation än de övriga.

Tabell 1 Karakteristiska data med avseende på pris- och ledtidförhållanden

Företag	Prisförhållanden		Leditidsförhållanden	
	Förhållande höga/låga priser (1)	Korrelation efterfrågan /pris (2)	Medelvärden (3)	Korrelation ledtid - efterfrågan (4)
A	180	-0,30	28,0	0,03
B	390	-0,14	16,0	-0,09
C	720	-0,25	29,7	0,00
D	30	-0,25	4,3	0,03
E	12	-0,15	7,5	0,07
F	97	-0,20	11,0	-0,05
G	34	-0,18	1,5	0,08
H	579	-0,06	9,2	-0,02

I kolumn 3 och 4 visas två mått som beskriver ledtidförhållanden i de åtta olika företagen. Kolumn 3 visar medelvärdet av ledtiderna för lagerpåfyllnad för respektive företags artiklar. Som framgår av tabellen har företag A, B och C väsentligen längre ledtider än övriga företag. Korrelationen mellan ledtider och efterfrågan i kolumn 4 är av intres-

se för att se i vilken utsträckning olikheter i ledtider spelar någon roll för att bestämma säkerhetslager som antal dagars medelefterfrågan eftersom denna metod inte tar hänsyn till ledtidens längd. Erhållna värden visar att det praktiskt taget inte finns någon korrelation alls mellan ledtidernas längder och storleken på efterfrågan i de studerade företagen. Därmed kan man inte förvänta sig att olikheter i ledtider har särskilt stor betydelse för dagmetodens effektivitet relativt fyllnadsgradsmetoden för dimensionering av säkerhetslager.

Förhållanden i fallföretagen med avseende på kundorder och efterfrågan redovisas i tabell 2. För att få ett mått på hur företagen skiljer sig åt med avseende på hur många kundorder de fått per år och artikel har förhållandet mellan antalet kundorder för de 20 % artiklar som fått flest kundorder och antalet kundorder för de 20 % som fått minst antal kundorder beräknats. Förhållandena visas i kolumn 1. Företag C och H uppvisar en betydligt större spridning i kundorderfrekvens, dvs. i antal kundorder mellan olika artiklar, än vad som är fallet i övriga företag, speciellt i jämförelse med företag E och G. Spridningens storlek har betydelse för i vilken utsträckning dagmetoden differentierar erhållna servicenivåer och därmed resulterande kapitalbindning. En av huvudledningarna till att dagmetoden för säkerhetslagerberäkning kan ge låg kapitalbindning i förhållande till erhållen orderradsservice är att det finns en positiv korrelation mellan efterfrågans storlek och antalet kundorder. Erhållna värden på denna korrelation visas i kolumn 2. Som framgår av tabellen är korrelationen positiv för samtliga företag men betydligt högre för företagen A, B, C och F än för övriga.

Tabell 2 Karakteristiska data med avseende på kundorder- och efterfrågeförhållanden

Företag	Kundorderförhållanden		Efterfrågeförhållanden	
	Förhållande antal många /få KO (1)	Korrelation efterfrågan /ant KO (2)	Medelefterfrågan per eft.dag (3)	Andel artiklar med var ko-eff ≥ 1 (4)
A	43	0,66	8	21
B	33	0,71	12	46
C	50	0,89	39	24
D	24	0,28	7	67
E	16	0,52	10	38
F	42	1,00	3	12
G	11	0,44	3	80
H	48	0,24	143	53

I kolumn 3 anges medelefterfrågan per efterfrågedag, dvs. under de dagar då det förekommer någon efterfrågan. Det ger en uppfattning om hur "lumpy" och diskontinuerlig efterfrågan är och därmed hur sannolikt det är att normalfördelningen på ett rimligt sätt kan representera efterfrågans fördelning och hur sannolikt det är att Wilsons formel ger rimligt optimala värden. Företag C och H utmärker sig genom att ha hög medelefterfrågan per efterfrågedag medan företag F och G är deras motsats. Även värdena i kolumn 4 ger en bild av hur rimligt det är att anta normalfördelad efterfrågan vid användning av fyllnadsgrad för att dimensionera säkerhetslager. Ju lägre variationskoefficienten för efterfrågan under ledtid är, desto mer korrekt blir säkerhetslagerberäkningen och desto mindre kommer erhållna servicenivåer att differentieras. Värdena i kolumn 4 anger andel artiklar som har en variationskoefficient för efterfrågan under ledtid som är större än 1. I företag D och G finns en mycket stor andel sådana artiklar medan företag A, C och

F har en överväldigande majoritet artiklar för vilka det kan vara rimligt att anta att efterfrågan är normalfördelad.

5.2 Simuleringsmodeller

Den simuleringsmodell som använts i studien bygger på ett beställningspunktssystem av (s,S)-typ, dvs där en beräknad fast orderkvantitet vid varje frisläppningstillfälle anpassas med skillnaden mellan aktuellt saldo och beställningspunkt. Denna modell har valts för att effektivt kunna hantera de stora överdrag som uppstår för artiklar med förhållandevis stora kundorderkvantiteter och få kundorder per år. Beställningspunktssystemet har tillämpats som ett periodinspektionssystem med daglig inspektion och därmed har överdraget vid bestämning av beställningspunkter satts till en halv dags medelefterfrågan, dvs. beställningspunkten har satts till efterfrågan under ledtid plus säkerhetslager plus en halv dags efterfrågan.

Utvärdering av differentiering vid beräkning av orderkvantiteter

Tre alternativa metoder för att differentiera antalet dagar för bestämning av orderkvantiteter beskrevs i avsnitt 4.1 ovan. Dessa metoder har utvärderats genom att jämföra dem med att låta alla artiklar få orderkvantiteter som motsvarar lika många dagars medelefterfrågan. Utvärderingen har gjorts med avseende på kapitalbindning och lagerstyrningskostnader. Eftersom orderkvantiteternas storlek påverkar säkerhetslagrets storlek omfattar den beräknade kapitalbindningen både omsättningslager och säkerhetslager. Lagerstyrningskostnaderna avser lagerhållningskostnader för omsättningslager och säkerhetslager samt ordersärkostnader. För att åstadkomma jämförbarhet mellan de fyra alternativa beräkningssätten har beräkningarna genomförts så att det totala antalet order per år för samtliga artiklar blivit lika många för samtliga alternativ och lika med det antal order som erhålls då ekonomisk orderkvantitet vid en ordersärkostnad på 200 kr används. Likaså har säkerhetslagret dimensionerats så att erhållen genomsnittlig orderradsservice blir lika för samtliga beräkningsalternativ. Denna orderradsservice har satts till 97 procent.

Optimala resultat för alternativen antal dagar differentierade per volymvärdeklass respektive antal dagar differentierade individuellt i proportion till roten ur volymvärdet fås endast om alla artiklar har samma ordersärkostnader, i den här analysen lika med 200 kronor. Effekter i form av olikheter i ordersärkostnader har därför också analyserats för två andra fall, ett med små och ett med stora olika olikheter. I fallet med små olikheter har ordersärkostnaderna slumpmässigt satts till 100 kronor för en tredjedel av artiklarna, 200 kronor för en tredjedel av artiklarna och 300 kronor för resterande tredjedel av artiklarna. För fallet med stora olikheter har ordersärkostnaderna på motsvarande sätt satts till 50, 200 respektive 500 kronor.

För metoden som bygger på differentiering av antal dagar efter volymvärdeklass har klassificeringen gjorts så att A-artiklar omfattar de 20 procent artiklar som har högst volymvärden och C-artiklar de 50 procent som har lägst volymvärden. Övriga artiklar utgör B-artiklar. De volymvärdestrukturer uttryckta som andel av volymvärdet som här rör från A-artiklar, B-artiklar respektive C-artiklar som då erhålls för de olika företagen framgår av tabell 3.

Tabell 3 Volymvärdestrukturer för de olika fallföretagen

Företag	A	B	C	D	E	F	G	H
Andel volymvärde A-art.	68	80	58	64	68	70	66	75
Andel volymvärde B-art.	21	16	24	29	25	24	25	21
Andel volymvärde C-art.	11	4	18	7	7	6	9	4

För alternativet med manuellt satta antal dagar har antalet dagar för klass B-artiklar satts lika med det antal dagar som ekonomisk orderkvantitet i medeltal ger per artikel, för klass A-artiklar hälften så många dagar och för C-artiklar dubbelt så många dagar. För att säkerställa att det totalt sett blir lika många order per år för samtliga alternativa studerade metoder har antalet dagar justerats med samma antal dagar för alla klasser tills totalt antal order blivit lika många som antalet EOK-beräknade order.

För alternativet att antalet dagar för en viss volymvärdeklass sätts proportionellt mot roten ur klassens volymvärde och alternativet att antalet dagar för en viss artikel sätts proportionellt mot roten ur artikelns volymvärde har antalet beräknats med hjälp av ekvation (4) respektive (5) i avsnitt 4.1.

Som startvärden vid simuleringarna valdes ett lägre värde på antal dagars säkerhetslager än vad som kunde förväntas ge en önskad orderradsservice för artikelgruppen som helhet på 97 %. Baserat på dessa startvärden simulerades uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo under sex tusen dagar. Uppkomna brister restnoterades för senare leverans. Efter varje genomförd simuleringsskörning beräknades den erhållna totala orderradsservicen för hela artikelgruppen som det viktade medelvärde av de ingående artiklarnas enskilda orderradsservice. Viktningen gjordes med hjälp av antalet kundorder per år. Antal dagar ökades därefter successivt vid varje följande simulering tills den målsatta nivån för orderradsservice på 97 % uppnåddes. Ett överskridande på mindre än 0,05 procentenheter accepterades.

När överensstämmelse mellan erhållen och önskad servicenivå uppnått, beräknades summa kapitalbindning i omsättningslager och säkerhetslager, ordersärkostnader samt totala lagerstyrningskostnader för samtliga artiklar i medeltal under den simulerade perioden.

Utvärdering av differentiering vid beräkning av säkerhetslager

Som framgått ovan kan man förvänta sig att tidmetodens effektivitet kan förbättras genom att differentiera antalet dagar baserat på kundorderfrekvens alternativt att differentiera antalet dagar baserat på kundorderfrekvens och pris samtidigt. Att göra så har utvärderats genom att jämföra med att låta alla artiklar få ett säkerhetslager som motsvarar lika många dagars medelefterfrågan. Vid jämförelserna har antalet dagar differentierats per tre klasser kundorderfrekvenser vid en-dimensionell differentiering och per nio klasser kombinerade från tre klasser kundorderfrekvenser och tre klasser priser vid två-dimensionell differentiering. Utvärderingen har gjorts med avseende på den kapitalbindning som krävs för att få en viss önskad total orderradsservice.

Vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens har antalet dagar för de 30 % mellanfrekventa artiklarna (klass 2) satts till medelantalet dagar, till 15 % fler dagar för

de 20 % mest högfrekventa artiklarna (klass 1) och till 30 % färre dagar för de 50 % mest lågfrekventa artiklarna (klass 3). Vid differentiering med avseende på både kundorderfrekvens och pris har antalet dagar satts med hjälp av nedanstående klassificeringsmatris. Värdena i tabellen avser hur mycket medelantalet dagar justerats i procent för respektive klass. Prisklass 1 avser de 20 % av artiklarna som har högst kundorderfrekvenser respektive priser, prisklass 2 de 30 % av artiklarna som har medelhöga kundorderfrekvenser respektive priser och prisklass 3 de 50 % av artiklarna som har lägst kundorderfrekvenser respektive priser.

Tabell 4 Klassificeringsmatris för differentiering av antal dagars säkerhetslager

Kundorder- frekvens	Prisklass		
	1	2	3
1	0 %	+7,5 %	+15 %
2	-15 %	0 %	+7,5 %
3	-30 %	-15 %	0 %

Som startvärden vid simuleringarna valdes ett lägre värde på medelantal dagar än vad som kunde förväntas ge en önskad orderradsservice för artikelgruppen som helhet på 97 %. Baserat på dessa startvärden simulerades uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo under sex tusen dagar. Uppkomna brister restnoterades för senare leverans. Efter varje genomförd simuleringsskörning beräknades den erhållna totala orderradsservicen för hela artikelgruppen som det viktade medelvärde av de olika artiklarnas erhållna orderradsservice. Viktningen gjordes med hjälp av antalet kundorder per år. Antal dagar ökades därefter successivt vid varje följande simulering tills den målsatta nivån för orderradsservice på 97 % uppnåts. Ett överskridande på mindre än 0,05 procentenheter accepterades. Vid simuleringarna användes ekonomiska orderkvantiteter.

När överensstämmelse mellan erhållen och önskad servicenivå uppnåts, beräknades summa kapitalbindning i säkerhetslager för samtliga artiklar i medeltal över den simulerade perioden. Erhållet säkerhetslager definierades som medelvärde av de kvantiteter som finns i lager vid inleveranstillfällena under den simulerade perioden gånger pris per styck.

Tidmetodens effektivitet kan även förväntas förbättras genom att differentiera antalet dagar baserat på de olika artiklarnas ledtider. Differentieringen åstadkoms genom att sätta antalet dagars säkerhetslager per artikel i proportion till roten ur respektive artikels ledtid i förhållande till medelledtiden för samtliga artiklar enligt ekvation (8) i avsnitt 4.2. Denna typ av differentiering har utvärderats genom jämförelse med att låta alla artiklar få ett säkerhetslager som motsvarar lika många dagars medelefterfrågan. Utvärderingen har gjorts med avseende på den kapitalbindning som krävs för att få en viss önskad total orderradsservice. Simuleringarna har genomförts på samma sätt som vid differentiering med avseende på kundorderfrekvenser och priser.

6 Resultat och analys

6.1 Differentiering av antal dagars orderkvantiteter

Resultaten från de genomförda simuleringarna med avseende på de tre alternativa sätt att differentiera antal dagar vid beräkning av orderkvantiteter som beskrevs ovan jämfört med ett gemensamt sätt medelantal dagar per artikel redovisas i tabell 5 och 6. Värdena i tabell 5 avser procentuellt minskad total kapitalbindning i förhållande till alternativet med samma antal dagar för alla artiklar. Motsvarande resultat med avseende på minskade totala lagerstyrningskostnader visas i tabell 6. Resultaten i tabellerna omfattar de tre olika fall av ordersärkostnader som beskrevs i avsnitt 5.2.

Tabell 5 Procentuell minskning av kapitalbindning vid användning av differentierat antal dagar för att bestämma orderkvantiteter

	Ordersärkost	A	B	C	D	E	F	G	H
Differentiering genom valt antal dagar per volymvärdeklass	Alla 200	-14	-30	-13	-22	-19	-25	-25	-17
	100/200/300	-13	-29	-12	-22	-18	-23	-26	-17
	50/200/500	-13	-28	-11	-22	-15	-22	-25	-17
Differentiering prop. mot roten ur volymvärde per vv-klass	Alla 200	-15	-34	-11	-23	-19	-31	-23	-22
	100/200/300	-15	-31	-11	-23	-18	-26	-23	-21
	50/200/500	-14	-33	-10	-24	-18	-21	-23	-21
Differentiering prop. mot roten ur volymvärde per artikel	Alla 200	-18	-39	-13	-28	-23	-30	-31	-24
	100/200/300	-18	-39	-13	-28	-22	-28	-30	-24
	50/200/500	-17	-38	-13	-28	-19	-26	-31	-23

Av tabell 5 framgår att den totala kapitalbindningen i omsättningslager och säkerhetslager kan minskas påtagligt genom att differentiera antalet dagar för olika artiklar. Vid differentiering med hjälp av uppskattat antal dagar per volymvärdeklass reducerades kapitalbindningen med i medeltal 21, 20 och 19 procent, vid differentiering proportionellt mot roten ur volymvärdet per volymvärdeklass med i medeltal 22, 21 och 20 procent och vid differentiering proportionellt mot roten ur volymvärdet per artikel med i medeltal 26, 25 och 24 procent för respektive fall av lika/olika ordersärkostnader för de åtta fallföretagen. Att differentiering proportionell mot roten ur volymvärde per artikel leder till störst kapitalbindningsreduktion, storleksordningen 5 procentenheter mer än vid differentiering per volymvärdeklass, är förväntat eftersom det är ett mer exakt sätt att åstadkomma ett omsättningslager som är proportionellt mot roten ur artiklars volymvärden. För fallet med lika ordersärkostnader är erhållen kapitalbindning kostnadsoptimal och lika stor som om orderkvantiteterna hade beräknats som ekonomisk orderkvantitet. Skillnaderna i reducerad kapitalbindning för de båda fallen med olika ordersärkostnader och fallet med lika ordersärkostnader är endast enstaka procentenheter vilket indikerar att denna metod för differentiering ger näroptimala lösningar även för fall med olika ordersärkostnader.

Skillnaderna i kapitalbindningsreduktion mellan de båda metoder som bygger på differentiering per volymvärdeklass är för praktiskt bruk försumbar, endast cirka en procentenhet. Även skillnaderna mellan fallen med lika och olika ordersärkostnader är måttliga, mindre än 2 procentenheter för båda metoderna. Att differentiering baserat på volymvärde utgår från antagandet att ordersärkostnaderna är lika stora för olika artiklar har

följaktligen en tämligen marginell betydelse för den kapitalbindningsreduktion som kan åstadkommas.

Motsvarande resultat med avseende på lagerstyrningskostnader, dvs lagerhållningskostnader för omsättningslager och säkerhetslager, plus ordersärkostnader framgår av tabell 6. Även i detta avseende fås en påtaglig reduktion genom differentiering. Vid differentiering med hjälp av uppskattat antal dagar per volymvärdeklass reducerades lagerstyrningskostnaderna med i medeltal 14, 14 och 11 procent, vid differentiering proportionellt mot roten ur volymvärdet per volymvärdeklass med i medeltal 16, 14 och 14 procent och vid differentiering proportionellt mot roten ur volymvärdet per artikel med i medeltal 18, 18 och 15 procent för respektive fall av lika/olika ordersärkostnader för de åtta fallföretagen. Att differentiering proportionell mot roten ur volymvärde per artikel leder till störst kostnadsreduktion, storleksordningen 4 procentenheter mer än vid differentiering per volymvärdeklass med manuellt satta antal dagar och storleksordningen 2 procentenheter vid antal dagar beräknade från volymvärden, är förväntat av samma skäl som för kapitalbindning.

Skillnaderna i kostnadsreduktion mellan de båda metoder som bygger på differentiering per volymvärdeklass är något större än motsvarande för kapitalbindning, cirka 2 procentenheter, men för praktiskt bruk tämligen försumbar. Även skillnaderna mellan fallen med lika och olika ordersärkostnader är något större än motsvarande för kapitalbindning, cirka 3 procentenheter för fallet med de största skillnaderna i ordersärkostnader. Att differentiering baserat på volymvärde utgår från antagandet att ordersärkostnaderna är lika stora för olika artiklar har trots detta en tämligen marginell betydelse för den kostnadsreduktion som kan åstadkommas.

Tabell 6 Procentuell minskning av lagerstyrningskostnader vid användning av differentierat antal dagar för att bestämma orderkvantiteter

	Ordersärkost	A	B	C	D	E	F	G	H
Differentiering genom valt antal dagar per volymvärdeklass	Alla 200	-11	-22	-8	-15	-14	-17	-15	-14
	100/200/300	-10	-20	-8	-15	-13	-16	-15	-14
	50/200/500	-8	-17	-7	-13	-5	-13	-12	-12
Differentiering prop. mot roten ur volymvärde per vv-klass	Alla 200	-11	-24	-8	-17	-14	-22	-14	-18
	100/200/300	-14	-23	-7	-16	-13	-20	-13	-18
	50/200/500	-9	-19	-7	-14	-12	-23	-11	-17
Differentiering prop. mot roten ur volymvärde per artikel	Alla 200	-14	-28	-9	-20	-16	-20	-19	-19
	100/200/300	-13	-27	-9	-19	-16	-19	-18	-19
	50/200/500	-10	-22	-7	-17	-17	-16	-15	-19

Skillnaderna mellan fallen med lika ordersärkostnader och skillnader i ordersärkostnader är även med avseende på lagerstyrningskostnader tämligen försumbara. Man kan dock konstatera att möjlig minskning av lagerstyrningskostnaderna blir mindre ju större skillnaderna i ordersärkostnaderna är mellan olika artiklar.

Av de båda tabellerna framgår också att både kapitalbindnings- och kostnadsreduktionen är klart lägre för företag A och C, speciellt i jämförelse med företag B och F. Även detta är förväntat eftersom A och C har en betydligt jämnare volymvärdefördelning jämfört med B och F enligt tabell 3. Att volymvärdefördelningens utseende har betydelse

se för hur mycket man kan reducera kapitalbindning vid differentiering baserat på volymvärde har påvisats av Mattsson (2008).

6.2 Differentiering av antal dagars säkerhetslager

Med avseende på differentiering av antal dagars säkerhetslager redovisas resultaten från de genomförda simuleringarna i tabell 7 och 8. Värdena i tabell 7 avser procentuellt förändrad kapitalbindning i säkerhetslager vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens per frekvensklass respektive kundorderfrekvens och pris per frekvensklass och prisklass i förhållande till att använda lika antal dagar för alla artiklar. Motsvarande resultat vid differentiering med avseende på ledtider visas i tabell 8.

Tabell 7 Procentuell förändring av kapitalbindning i säkerhetslager vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens respektive kundorderfrekvens och pris

	A	B	C	D	E	F	G	H
Differentiering med avseende på kundorderfrekvens	+6	+5	-5	+5	+1	-2	-1	+3
Differentiering med avseende på kundorderfrekvens och pris	-2	+2	-6	+3	+2	-2	-1	-1

Av tabell 7 framgår att kapitalbindningen i säkerhetslager ökar för vissa företag och minskar för andra vid differentiering av antal dagars säkerhetslager baserat på kundorderfrekvenser respektive kombinationen kundorderfrekvenser/priser. I medeltal för alla fallföretagen är ökningen cirka 1 procent vid differentiering baserat på kundorderfrekvenser och minskningen cirka 1 procent vid differentiering baserat på kombinationen kundorderfrekvenser och priser. Det är framför allt i företag C och F som det lönar sig att differentiera. Dessa karakteriseras enligt tabell 2 av stor spridning i kundorderfrekvens (kolumn1) och hög korrelation mellan efterfrågan och kundorderfrekvens (kolumn 2). Sådana förhållanden förefaller med andra ord förstärka den differentiering som automatiskt åstadkoms vid användning av antal dagar för att dimensionera säkerhetslager. I allmänhet är så små skillnader i kapitalbindning som en enstaka procent av begränsat intresse med tanke på alla de osäkerheter som i övrigt föreligger vid lagerstyrning. Därmed är differentiering av antal dagar för att reducera kapitalbindning av begränsat praktiskt intresse för företag i allmänhet.

Som framgår av tabell 8 har motsvarande förändringar vid differentiering av antal dagar baserat på ledtider samma karaktär, dvs. i några företag ökar kapitalbindningen och i några minskar den. De som ökar kännetecknas enligt tabell 1, kolumn 3 av att de har korta genomsnittliga ledtider, exempelvis företag E och G, medan de som minskar kännetecknas av långa genomsnittliga ledtider, exempelvis företag A, B, och C. I medeltal för alla fallföretagen är minskningen cirka 1 procentenhet. Inte heller i det här fallet är skillnaderna i medeltal av en sådan storleksordning att det i allmänhet är av praktiskt intresse att differentiera antalet dagar vid beräkning av säkerhetslager.

Tabell 8 Procentuell förändring av kapitalbindning i säkerhetslager vid differentiering med avseende på ledtider

	A	B	C	D	E	F	G	H
Differentiering med avseende på ledtider	-5	-3	-3	-2	+3	0	+2	-3

6.3 Uppskattning av kapitalbindning med hjälp av antal dagar

Som framgått av avsnitt 2 kan kapitalbindningen i omsättningslager och säkerhetslager uppskattas teoretiskt från det antal dagar som används vid dimensioneringen. Följande samband gäller.

$$K = O \cdot \left(\frac{d_o}{2} + d_s \right)$$

där K = kapitalbindning i omsättningslager och säkerhetslager
 O = summa omsättning (volymvärde) för samtliga artiklar i gruppen per dag
 d_o = antal dagar för bestämning av orderkvantiteter
 d_s = antal dagar för bestämning av säkerhetslager

Sambandet bygger på att medelkvantiteten i lager för en artikel är lika med halva orderkvantiteten plus säkerhetslagret. Se exempelvis Tersine (1994, sid 208) och Bowersox-Closs, 1996, sid 283).

För att studera i vilken utsträckning sådana uppskattningar stämmer har kompletterande beräkningar också gjorts baserat på de resultat som erhållits vid simuleringarna. Resultaten i form av procentuella skillnader mellan teoretiskt beräknad kapitalbindning och verklig kapitalbindning i form av simulerade värden för omsättningslager och säkerhetslager framgår av tabell 9. Resultaten avser fallet att samma antal dagar har använts för alla artiklar respektive fallet att antalet dagar differentierats proportionellt mot roten ur volymvärdet per volymvärdeklass vid beräkning av orderkvantiteter. Ingen differentiering har gjorts vid beräkning av säkerhetslager.

Tabell 9 Procentuella skillnader i total teoretisk och verklig kapitalbindning utan respektive med differentiering av antal dagar för att bestämma orderkvantiteter

Företag	A	B	C	D	E	F	G	H
Utan differentiering	-5	-1	-9	-3	-4	-3	+1	-1
Med differentiering per vv-klass	-6	-3	-10	-4	-5	+6	0	-4

Som framgår av tabellen är det verkliga lagret utan differentiering större än det teoretiskt beräknade för sju av de åtta fallföretagen. Skillnaderna är emellertid måttliga, i medeltal - 3,3 procent och därmed för praktiskt bruk av begränsat intresse eftersom det här är fråga om att få en ungefärlig uppfattning om vilken kapitalbindning som de valda parametervärdena kommer att medföra. Förhållandena är ungefär de samma vid differentiering per volymvärdeklass där skillnaderna i medeltal är - 3.2 procent.

En huvudförklaring till att den verkliga kapitalbindningen är större är att de verkliga orderkvantiteterna i medeltal i ett (s,S)-system blir större än de dimensionerade eftersom de dimensionerad ökas med skillnaden mellan beställningspunkt och lagersaldo vid frisläppningstillfället. Dessa tillägg blir större ju större efterfrågan är per dag. Liten medelefterfrågan per dag förekommer enligt tabell 2, kolumn 3 i första hand för företag F och G och som framgår av tabell 9 har dessa företag inte negativa skillnader mellan teoretisk och verklig kapitalbindning.

7 Design av ett lagerstyrningssystem byggt på tid som parameter

Baserat på de resultat som redovisats under avsnitt 6 har ett antal anvisningar för att så effektivt som möjligt designa ett lagerstyrningssystem byggt på tid som parameter. Designen utgår från att tid används som parameter för att dimensionera orderkvantiteter och säkerhetslager. Den bygger på att det övergripande syftet med lagerstyrning är att åstadkomma låga lagerstyrningskostnader, låg kapitalbindning och önskad leveransförmåga i form av orderradsservice. Systemet har gjorts avsiktligt enkelt att förstå och praktiskt att använda för att vara i överensstämmelse med den enkelhet som tidmetoder representerar. Designen beskrivs nedan i form av fem olika steg.

1 Gör en uppdelning i olika typer lager

Artiklar som ligger i lager har alltid olika egenskaper, exempelvis vad gäller efterfrågan, ledtider och priser och det ställs olika krav på dem vad gäller leveransförmåga. Det finns också stora skillnader i egenskaper mellan artiklar som ligger i olika typer av lager. Effektiv användning av tid som parameter bygger i stor utsträckning på differentiering och det är därför avgörande att inte behandla artiklar med mycket olika karaktärstik inom ramen för en och samma differentieringsmodell och med samma klassificering baserat på volymvärde, kundorderfrekvens etc. Ett första steg i utformning av ett lagerstyrningssystem som bygger på tid som parameter är därför att dela in det lager man har i olika grupper. I första hand gäller det att göra en indelning i lager av råvaror och köpkomponenter, lager av egentillverkade halvfabrikat, lager av slutprodukter, lager av reservdelar samt lager av indirekt material. Det kan också finnas skäl att göra ytterligare uppdelningar i undergrupper, exempelvis för olika produktgrupper i ett färdigvarulager. Följande steg genomförs därefter för var och en av dessa etablerade grupper.

2 Bestäm genomsnittligt antal dagar för orderkvantiteter och säkerhetslager

Totalt antal order bestäms med utgångspunkt från vad man klarar av med de resurser som planeras finnas för att genomföra alla order-till-leverans processer för den grupp av artiklar det gäller. Antalet kan baseras på uppföljning av orderstatistik från föregående år och på förändringar eller rationaliseringar som planeras genomföras. Det är väsentligt att utgå från en sådan bedömning för att kunna inkludera ordersärkostnadsaspekter vid val av antal dagar för beräkning av orderkvantiteter. När antalet order fastställts beräknas motsvarande antal dagar med hjälp av ekvation (1) i avsnitt 4.1.

Ett riktmärke för antal dagar för dimensionering av säkerhetslager kan erhållas med hjälp av simulering av ett stickprov artiklar och baserat på önskad servicenivå. Eftersom den teoretiska modell som då måste användas utgår från fyllnadsgradsservice vid beräkning av antal dagar och erhållen servicenivå avser orderradsservice, måste den önskade servicenivå som antalet dagar beräknas från sättas högre än den orderradsservice som är önskad verklig servicenivå. Mattsson (2011b) har visat att det på ett ungefär rör sig om storleksordningen 1 – 2 procentenheter högre. Ett annat sätt att bestämma antal dagar är att löpande följa upp erhållen orderradsservice och justera antalet dagar uppåt eller neråt om den avviker från önskad nivå.

3 Uppskatta den kapitalbindning som krävs

Om man så vill är det möjligt att stämma av vilken kapitalbindning som de erhållna antalen dagar kan förväntas komma att medföra. Detta görs med hjälp av ekvation (9). Om man exempelvis behöver öka antalet dagar för bestämning av orderkvantiteter för att minska belastningen på den personal som arbetar med order-till-leverans processer och/eller öka antalet dagar för bestämning av säkerhetslager för att förbättra orderradsservicen kan man med hjälp av sådana beräkningar få en ungefärlig uppfattning om vad som krävs i form av investeringar i lager.

4 Differentiera antalet dagar för varje grupp av artiklar

För att reducera kapitalbindning och lagerstyrningskostnader bör antalet dagar för beräkning av orderkvantiteter differentieras. Lämpligtvis används någon av de två metoder som beskrevs i avsnitt 4.1 och som bygger på proportionalitet mot roten ur artiklars volymvärden. Det utgör både säkrare och mer effektiva alternativ jämfört med att bedömningsmässigt välja antal dagar för olika volymvärdeklasser. Valet mellan att differentiera per klass eller per artikelindivid är av mindre betydelse eftersom skillnaderna i lagerstyrningskostnader är tämligen försumbara. Valet kan därför baseras på vad som är möjligt i använt lagerstyrningssystem eller på om man redan använder och har erfarenhet av volymvärdeklassificering.

Av Mattssons studie från 2013 framgår att användning av antal dagar för att bestämma säkerhetslager automatiskt åstadkommer en differentiering så att artiklar med höga kundorderfrekvenser och låga priser får högre orderradsservice än artiklar med låga kundorderfrekvenser och höga priser trots att alla artiklar får samma antal dagar. Sådan differentiering är önskvärd för att en viss önskad orderradsservice skall kräva små lager och därmed liten kapitalbindning. En förutsättning är att det finns en positiv korrelation mellan efterfrågans storlek och kundorderfrekvens samt en negativ korrelation mellan efterfrågans storlek och pris. Så är i allmänhet fallet och gäller för alla de företag som ingått i den här studien. Se tabell 1, kolumn 4 respektive kolumn 3.

Det har framgått ovan att en ytterligare differentiering av antal dagar baserat på kundorderfrekvens, kombinationen kundorderfrekvens-pris respektive på ledtid inte i genomsnitt ger några nämnvärda förbättringar med avseende på kapitalbindning. Från praktiska utgångspunkter och om man vill åstadkomma ett så enkelt system som möjligt är det därför generellt sett inte motiverat att inkludera dessa typer av differentiering. I speciella fall skulle det enligt tabell 7 och 8 kunna vara motiverat, exempelvis vid långa ledtider som i företag A (tabell 1, kolumn 3) och stor spridning i kundorderfrekvenser som i företag C (tabell 2, kolumn 1).

5 Anpassa vid behov antalet dagar per artikel eller klass av artiklar

Av olika skäl kan det finnas anledning att justera beräknat antalet dagar för enskilda artiklar eller artikelklasser. Så kan exempelvis vara fallet för artiklar med begränsad hållbarhet eller för artiklar som av andra skäl har begränsningar i hur länge de kan betraktas som säljbara. Teoretiskt bör då summan av antalet dagar för beräkning av orderkvantiteter och två gånger antalet dagar för beräkning av säkerhetslager vara mindre än den kritiska tiden för att en artikel skall vara användbar eller säljbar. Att det är dubbla

antalet dagar för säkerhetslager beror på att lagret vid inleverans teoretiskt sett kommer att variera mellan noll i bästa fall och dubbla säkerhetslagerkvantiteten i värsta fall.

Ett annat skäl till anpassning kan vara att servicenivåkraven är speciellt höga för vissa artiklar. Det kan exempelvis gälla vissa artiklar i ett reservdelslager som är driftskritiska för en maskin, ett fordon eller en anläggning. I sådana fall kan antalet dagar för beräkning av säkerhetslager behöva ökas något.

7 Slutsatser

Användning av tid för dimensionering av orderkvantiteter och säkerhetslager är valigt förekommande i företag. För att det skall vara en rimligt effektiv metod ur styrnings-synpunkt för dimensionering av orderkvantiteter måste antalet dagar differentieras mellan olika artiklar. Sådan differentiering görs med fördel baserat på roten ur volymvärden, antingen per volymvärdeklass eller individuellt per artikel.

För säkerhetslagerdimensionering med hjälp av antal dagar är den differentiering som åstadkoms automatiskt tillräcklig trots att alla artiklar ges samma antal dagar. En ytterligare differentiering av antal dagar baserat på kundorderfrekvenser, priser eller ledtider ger för praktiskt bruk endast marginella effektivitetsförbättringar.

Sammanfattningsvis kan konstateras att tidmetoder för bestämning av orderkvantiteter och säkerhetslager kan fås att fungera på ett fullt tillfredsställande sätt med avseende på kapitalbindning och lagerstyrningskostnader. Med tanke på ett antal andra fördelar som är förknippade med metoderna kan de utgöra ett attraktivt alternativ till mer teoretiskt avancerade metoder.

Referenser

Bowersox, D. – Closs, D. (1996) Logistical management, McGraw-Hill.

Jonsson, P. – Mattsson, S-A. (2013) Lagerstyrning i svensk industri: 2013 års användning, användningssätt och trender. Chalmers Tekniska Högskola.

Lambert, D. – Stock, J. – Ellram, L. (1998) Fundamentals of Logistics Management, McGraw-Hill.

Mattsson, S-A. (2008) Kapitalbindningseffekter vid uppskattning av orderstorlekar, Permatron Research.

Mattsson, S-A. (2011a) Differentiering av servicenivåer för effektivare lagerstyrning, Institutionen för Logistik och Transport, Chalmers Tekniska Högskola.

Mattsson, S-A. (2011b) Val av värde på dimensioneringsvariabler för bestämning av säkerhetslager för orderradsservice, Institutionen för Logistik och Transport, Chalmers Tekniska Högskola.

Mattsson, S-A. (2012) Användning av volymvärdeklassificering för att effektivisera lagerstyrning, Institutionen för Logistik och Transport, Chalmers Tekniska Högskola.

Mattsson, S-A. (2013) Säkerhetslager som antal dagars medelefterfrågan eller baserat på fyllnadsgradsservice, Permatron Research.

Sandvig, C. – Reistad, A. (2000) Safety stock decision support tool, Production and Inventory Management Journal, Vol. 41 No. 4.

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

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

Wild, T. (2008) Best practice in inventory management, Butterworth-Heineman.