

Säkerhetslager som antal dagars medelefterfrågan eller baserat på fyllnadsgradsservice

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

För dimensionering av säkerhetslager finns två i industrin vanligt använda metoder. Den ena av dessa innebär att säkerhetslager beräknas som ett antal dagars medelefterfrågan, här kallad dagmetoden. Den andra, här kallad fyllnadsgradsmetoden, innebär att säkerhetslager beräknas med utgångspunkt från en önskad fyllnadsgradsservice. I den här studien har de båda metoderna utvärderats med avseende på den kapitalbindning som krävs för att uppnå en viss önskad orderradsservice. Utvärderingen har gjorts med hjälp av simulering baserad på efterfrågedata från åtta olika företag.

De erhållna resultaten visar att om orderkvantiteter beräknas med hjälp av Wilsons formel ger fyllnadsgradsmetoden väsentligen högre kapitalbindning än dagmetoden vid samma erhållna orderradsservice. Det gäller för samtliga åtta företag. Differentieras fyllnadsgradsservicen med avseende på pris per styck och kundorderfrekvens blir skillnaderna i kapitalbindning mindre men fortfarande blir kapitalbindningen större och i några fall mycket större än för dagmetoden. Om orderkvantiteterna i stället beräknas som ett antal dagars medelefterfrågan blir skillnaderna i kapitalbindning mellan de båda beräkningsmetoderna mindre i samtliga företag och i hälften av dem blir kapitalbindningen lägre när fyllnadsgradsmetoden används.

En svårighet med att använda dagmetoden är att välja rätt antal dagar eftersom det inte finns något enkelt samband mellan antal dagars säkerhetslager och erhållen servicenivå. En genomförd analys av felkänslighet visar emellertid att tillåtna felmarginaler vid bestämning av antal dagar är tämligen stora. För alla fallföretag ger dagmetoden en lägre kapitalbindning än fyllnadsgradsmetoden om uppskattat antal dagar ligger inom storleksordningen +/- 20 % av optimalt antal dagar.

Den slutsats man kan dra av studien är att användning av antal dagars medelefterfrågan kan vara ett väl så effektivt sätt att dimensionera säkerhetslager som användning av fyllnadsgradsservice under förutsättning att det finns en positiv korrelation mellan efterfrågan och kundorderfrekvenser och en negativ korrelation mellan efterfrågan och priser.

1 Inledning

Det är framför allt två företeelser som karaktäriserar lagerstyrning. Den ena är att de orderkvantiteter som levereras till kund är mindre än de orderkvantiteter som levereras

från leverantör och den andra att ledtiden för leverans till kund är kortare än ledtiden för leverans från leverantör. Konsekvensen av dessa företeelser är att man måste uppskatta efterfrågan i förväg och styra påfyllnad av lager baserat på sådana uppskattningar. Eftersom man aldrig kan förvänta sig att göra helt korrekta uppskattningar kommer det att uppstå bristsituationer och därmed oförmåga att uppfylla kunders önskemål om leverans. För att kunna hålla leveransförmågan på en acceptabelt hög och kontrollerad nivå använder man sig av säkerhetslager. Dimensionering av sådana säkerhetslager är en fråga om att åstadkomma ett så gynnsamt förhållande som möjligt mellan önskad leveransförmåga och den kapitalbindning som säkerhetslager medför.

Den i industrin vanligast använda metoden för att dimensionera säkerhetslager är att sätta dem lika med ett uppskattat antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Metoden kallas fortsättningsvis dagmetoden. Enligt Silver et al. (1998, sid 244) använder storleksordningen 80 % av amerikanska företag antalet dagars medelefterfrågan för att dimensionera säkerhetslager. En studie av metodanvändning i svensk industri visade att 44 % av medelstora och stora företag använde metoden (Jonsson och Mattsson, 2005). Dagmetoden är ytterst sporadiskt beskriven i litteraturen och i den mån den nämnts har den kritiserats, speciellt med avseende på att beräkningen av säkerhetslager inte utgår från en önskad leveransförmåga och med avseende på att ingen hänsyn tas till att olika artiklar kan ha samma medelefterfrågan men mycket olika stora efterfrågevariationer och ledtider. 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".

I litteraturen finns ett stort antal olika metoder för dimensionering säkerhetslager publicerade. De generellt mest förordade metoderna utgår från en önskad servicenivå i form av cykelservice (Serv1) eller fyllnadsgradsservice (Serv2). Dessa metoder tar också hänsyn till olikheter i efterfrågevariationer och ledtider. Cykelservicemetoden kritiserats för att inte ta hänsyn till orderkvantiteter och därmed inte till hur ofta det förekommer risk för brist. Cykelservicemetoden säger dessutom inte något om hur stora bristkvantiteterna blir. På grund av bristen på hänsyn till inleveransfrekvens menar Axsäter (2006, sid 33) att cykelservicemetoden "cannot be recommended for inventory control in practice". Tyworth (1992) talar om nödvändigheten av ett paradigmskifte och en övergång från användning av cykelservice till fyllnadsgradsservice.

Något förenklat kan man sålunda konstatera att beräkning av säkerhetslager som antal dagars medelefterfrågan är den i industrin mest använda metoden medan beräkning baserat på efterfrågevariationer, ledtider och en önskad fyllnadsgradsservice är den i litteraturen mest förordade. Det kan därför vara av intresse att studera vilken av de båda metoderna som är effektivast med avseende på den kapitalbindning som krävs för att uppnå en önskad servicenivå i form av orderradsservice, dvs. som andel orderrader som kunnat levereras direkt från lager. I en tidigare studie (Mattsson, 2011a) har de båda metoderna plus ytterligare tre dimensioneringsmetoder jämförts med hjälp av simulering baserad på data från fyra olika företag.

Syftet med den här studien är att fördjupa den tidigare simuleringsstudien i följande fyra avseenden.

- Att utvidga jämförelsen till åtta fallföretag
- Att karaktärisera förhållandena i de olika fallföretagen för att få underlag till att förklara skillnader i kapitalbindning mellan de båda metoderna.

- Att också analytiskt och logiskt påvisa orsaker till skillnader i prestanda mellan metoderna
- Att studera hur känsligt det är att sätta korrekta styrparametrar vid användning av dagmetoden

Variationer i efterfrågan under ledtid påverkas 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. Effekter av systematiska efterfrågeförändringar ingår följaktligen inte i studien.

2 Teoretiska utgångspunkter

2.1 Erhållen servicenivå

Med erhållen servicenivå menas allmänt i vilken utsträckning man kunnat tillfredsställa efterfrågan i ett lager. Begreppet representerar följaktligen ett tillgänglighetsmått, dvs. ett mått på i vilken utsträckning en viss artikel är tillgänglig för att kunna direktlevereras när en kundorder erhålls. Ett antal olika mått på erhållen servicenivå har bland andra redovisats av Pursche (1975), Fogarhty - Blackstone - Hoffman (1991, sid 166) och Mattsson (2010). Av dessa mått är orderradsservice klart vanligast använd i industrin (Forslund - Jonsson, 2008). Det är också det mått som används i Supply Chain Councils SCOR-modell för order-till-leverans processer. Måttet står för procentuell andel order-rader som under en period kunnat levereras direkt från lager. Syftet med säkerhetslager är följaktligen i det här fallet att kunna leverera så många kompletta orderrader som möjligt direkt från lager.

I litteraturen betraktas säkerhetslagerdimensionering praktiskt taget genomgående från ett artikelperspektiv. Varje artikels säkerhetslager dimensioneras med utgångspunkt från sina egna förhållanden utan hänsyn till övriga artiklar i en artikelgrupp eller ett komplett artikelsortiment. Med ett sådant betraktelsesätt kommer av uppenbara skäl varje artikel att få lika stort säkerhetslager om man vill uppnå en viss erhållen servicenivå oavsett vilken dimensioneringsmetod som används. Olika dimensioneringsmetoder blir följaktligen likvärdiga med ett sådant perspektiv.

I en grupp av artiklar har i princip alltid artiklarna olika priser och kostar därmed olika mycket ha i lager. De olika artiklarna bidrar också olika mycket till den erhållna servicenivån för artikelgruppen som helt. Om exempelvis orderradsservice används som mått på erhållen leveransförmåga, bidrar artiklar med många kundorder per år mer till den totalt erhållna servicenivån än artiklar med få kundorder per år. Det är därför uppenbart att säkerhetslagerdimensionering måste betraktas ur ett systemperspektiv och att säkerhetslagren inte skall dimensioneras så att alla artiklar erhåller samma servicenivå om man vill åstadkomma en viss leveransförmåga med så låg kapitalbindning som möjligt.

Från ett systemperspektiv måste också en artikelgrupps leveransförmåga beräknas som ett viktat medelvärde av de olika ingående artiklarnas enskilda servicenivåer. Används orderradsservice som mått på erhållen leveransförmåga skall enskilda artiklars orderradsservice viktas med antalet kundorder per år. I de flesta företag mäts orderradsservice genom att beräkna alla orderrader som kunnat levereras direkt från lager oavsett artikel i förhållande till alla levererade orderrader. Att beräkna ett viktat medelvärde av den orderradsservice som erhållits för enskilda artiklar är följaktligen det samma som detta sätt att beräkna.

2.2 Beräkning av säkerhetslager med antal dagars medelefterfrågan

Väljer man metoden att beräkna säkerhetslager från ett uppskattat antal dagar blir säkerhetslagret lika med detta antal dagar gånger medelefterfrågan per dag. Det innebär att man vid säkerhetslagerberäkningen inte tar hänsyn orderkvantitetens storlek, inte till att efterfrågevariationerna är olika för olika artiklar, inte till att olika artiklar har olika höga priser och inte till att olika artiklar har olika långa ledtider för lagerpåfyllnad. 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. En sådan differentiering åstadkoms indirekt genom att sätta säkerhetslagret till ett gemensamt antal dagar för alla artiklar gånger respektive artikels medelefterfrågan. Den logiska förklaringen till detta framgår av följande resonemang.

Artiklar med hög kundorderfrekvens, dvs. med många kundorder per år, har oftast en högre efterfrågan per år än artiklar med låg kundorderfrekvens. Eftersom hög efterfrågan leder till större säkerhetslager med denna beräkningsmetod, kommer följaktligen artiklar med hög kundorderfrekvens att få ett högre säkerhetslager och därmed högre orderradsservice än artiklar med låg kundorderfrekvens. Dessutom leder hög kundorderfrekvens till mindre efterfrågevariationer vilket gör att det krävs ett förhållandevis mindre säkerhetslager för att uppnå en viss orderradsservice. Till detta kommer att artiklar med hög efterfrågan ofta har lägre priser än artiklar med låg efterfrågan, vilket i sin tur innebär att kapitalbindningen i säkerhetslager påverkas förhållandevis mindre av höga servicenivåer för artiklar med hög efterfrågan eftersom dessa har lägre priser. Användning av antal dagars medelefterfrågan bidrar sålunda till att ge hög servicenivå för artiklar med hög kundorderfrekvens och låga priser, dvs. till precis den typ av differentiering som är önskvärd för att få ett optimalt förhållande mellan orderradsservice och kapitalbindning för artikelgruppen som helhet. Förhållandena gäller givetvis endast under förutsättning att det i artikelgruppen finns en positiv korrelation mellan efterfrågans storlek och antalet kundorder per år samt en negativ korrelation mellan efterfrågansstorlek och artikelpriserna.

Sättet att beräkna orderkvantiteter påverkar inte direkt säkerhetslagrets storlek och dagmetodens möjligheter att åstadkomma ett effektivt förhållande mellan leveransförmåga och kapitalbindning. Däremot påverkas säkerhetslagrets storlek indirekt genom att storleken på orderkvantiteter påverkar antalet potentiella bristtillfällen. Stora orderkvantite-

ter medför få lagercykler per år och därmed få bristrisktillfällen. Därmed krävs förhållandevis mindre säkerhetslager för att uppnå en viss servicenivå. Detta samband är emellertid detsamma vare sig man använder dagmetoden eller fyllnadsgradsmetoden och påverkar i sig inte skillnaderna i kapitalbindning mellan de två. Det inflytande sättet att beräkna orderkvantiteter kan ha är endast förknippat med i vilken utsträckning beräkningssättet påverkar differentieringen. Eftersom dagmetoden inte tar hänsyn till olika artiklars orderkvantiteter är sättet att beräkna orderkvantiteter neutralt med avseende på differentiering.

2.3 Beräkning av säkerhetslager med önskad fyllnadsgrad

Används fyllnadsgradsservice för att beräkna säkerhetslager görs beräkningen med hjälp av följande ekvation.

$$SL = k \cdot \sigma \cdot \sqrt{Lt} \dots\dots\dots(1)$$

där k = säkerhetsfaktorn
 Lt = ledtiden i dagar
 σ = standardavvikelsen per dag

Säkerhetsfaktorn bestäms med hjälp av servicefunktionen.

$$SF(k) = (1 - FG) \frac{OK}{\sigma_{Lt}} \dots\dots\dots(2)$$

där SF = servicefunktionen
 FG = fyllnadsgraden
 OK = använd orderkvantitet
 σ_{Lt} = standardavvikelsen för efterfrågevariationer under ledtid.

Analysen nedan av detta samband bygger på att det finns en rimligt stor överensstämmelse mellan nivån på fyllnadsgradsservice och nivån på orderradsservice (Mattsson, 2011b). Är kundorderkvantiteten en styck är de båda måtten identiska.

Vid dimensionering av säkerhetslager baserat på önskad fyllnadsgradsservice tas som framgår av ekvation (1) hänsyn till efterfrågevariationer. Ju större variationer, desto större säkerhetslager. Dimensioneringen påverkas emellertid även indirekt av hur stora efterfrågevariationerna är genom att standardavvikelsen också ingår i ekvation (2).

Eftersom orderkvantiteten ingår i beräkningen av servicefunktionen och därmed påverkar erhållen leveransförmåga kan man förvänta sig att sättet att beräkna orderkvantiteter också påverkar förhållandet mellan leveransförmåga och kapitalbindning, dvs. påverka dagmetodens prestanda relativt fyllnadsgradsmetodens prestanda i detta avseende. De två vanligaste sätten att beräkna orderkvantiteter i industrin är ekonomisk orderkvantitet med hjälp av Wilsons formel och orderkvantitet lika med ett antal dagars medelefterfrågan (Jonsson - Mattsson, 2005). För att kunna analysera vad sättet att beräkna orderkvantiteter med hjälp av Wilsons formel innebär kan ekvation (2) skrivas om enligt följande.

$$SF(k) = konst \cdot (1 - FG) \frac{\sqrt{240 \cdot E_d}}{\sigma_d \cdot \sqrt{P}} = konst \cdot \frac{\sqrt{E_d}}{\sigma_d \cdot \sqrt{Lt} \cdot \sqrt{P}} = konst \cdot \frac{1}{Var \cdot \sqrt{Lt} \cdot \sqrt{E_d} \cdot \sqrt{P}} \dots\dots (3)$$

där E_d = efterfrågan per år
 P = pris per styck
 σ_{Lt} = standardavvikelsen för efterfrågevariationerna under ledtid.
 σ_d = standardavvikelsen per dag
 Var = variationskoefficienten per dag

Av ekvationen framgår att servicefunktionen blir mindre ju större medelefterfrågan är per dag och ju längre ledtiden är vid en viss given servicenivå. Eftersom servicefunktionen är en med säkerhetsfaktorn avtagande funktion medför detta att säkerhetsfaktorn och därmed säkerhetslagret ökar med ökande efterfrågan och ledtid vilket är ett naturligt samband. Det framgår emellertid också att servicefunktionen blir större ju mindre efterfrågevariationerna är under ledtid med minskat säkerhetslager som följd. Konsekvensen blir att ju högre orderfrekvens och därmed mindre relativ efterfrågevariation, desto lägre erhållen servicenivå, dvs. tvärtemot vad som är önskvärt för att få ett så optimalt förhållande som möjligt mellan orderradsservice och kapitalbindning.

Som framgått av ekvationerna (1) och (2) tar fyllnadsgradsmetoden för säkerhetslagerdimensionering inte någon direkt hänsyn till att olika artiklar har olika priser. Av ekvation (3) framgår emellertid att så ändå är fallet indirekt i det fall Wilsons formel används för att beräkna orderkvantiteter. Enligt ekvationen blir servicefunktionens värde lägre ju högre priset är vilket i sin tur medför att säkerhetslagerkvantiteten blir större med högre kapitalbindning som följd. Fyllnadsgradsmetoden påverkar sålunda förhållandet mellan orderradsservice och kapitalbindning på ett negativt sätt genom att höga priser leder till större säkerhetslagerkvantiteter. Motsvarande förhållande gäller även om man inte använder Wilsons formel men ändå väljer att använda lägre orderkvantiteter på artiklar med högt pris och låg efterfrågan.

Om man i stället använder antal dagars medelefterfrågan kan ekvation (2) skrivas om på följande sätt.

$$SF(k) = konst \cdot (1 - FG) \frac{n \cdot E}{\sigma_{Lt} \cdot 240} = konst \cdot \frac{E_d}{\sigma_d \cdot \sqrt{Lt}} = konst \cdot \frac{1}{Var \cdot \sqrt{Lt}}$$

där E_d = efterfrågan per dag
 Var = variationskoefficienten per dag
 n = antal dagar

Användning av antal dagar för att bestämma orderkvantiteter påverkar följaktligen säkerhetslagrets storlek på samma negativa sätt som användning av ekonomisk orderkvantitet med avseende på efterfrågevariationer, dvs. servicenivån blir mindre för artiklar med många kundorder per år. Däremot ökar inte säkerhetslagerkvantiteten med ökat artikelpris som fallet var när orderkvantiteter beräknas med hjälp av Wilsons formel.

Används dagmetoden påverkas säkerhetslagerkvantiteten av efterfrågans storlek. Som framgår av ovanstående ekvation sker inte detta när orderkvantiteten beräknas som antal dagars medelefterfrågan på annat sätt än att en högre efterfrågan i allmänhet har en högre standardavvikelse. Indirekt kommer det emellertid att ske genom att en högre dimensionerande servicenivå måste väljas för att uppnå önskad servicenivå. Ju högre den dimensionerande servicenivån måste väljas, desto mindre effektivt är utbytet mellan sä-

kerhetslagerstorlek och erhållen servicenivå. Detta beror på att sambandet mellan servicefunktion och säkerhetsfaktor är mer linjär ju högre säkerhetsfaktorn är, dvs. man får allt större ökning av säkerhetslagret för en viss minskning av servicefunktionen och därmed ökning av servicenivån.

3 Angreppssätt, fallföretag och simuleringsmodell

Eftersom det saknas analytiska samband mellan antal dagars medelefterfrågan respektive önskad fyllnadsgradsservice och erhållen orderradsservice för grupper av artiklar kan de frågeställningar som behandlas i den här studien endast analyseras och besvaras med hjälp av simulering. 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.

3.1 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 ledtid, pris per styck, orderkvantitet samt antal kundorder per år erhållits. Dessutom har uppgifter om efterfrågan per dag under ett år samlats in. I en del fall förekommer enstaka extrema efterfrågevärden under enstaka dagar. Sådant kan exempelvis bero på att man fått enstaka exceptionellt stora kundorder eller bero på att det funnits leveransproblem som resulterat i toppar i utleveranserna när lagret fyllts på. Det 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 jämförelsen av de båda studerade dimensioneringsmetoderna har insamlade efterfrågedata bearbetats. Detta har åstadkommit genom att identifiera dem 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 för att kunna utesluta en tillräckligt lång inkörningsperiod från 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 efterfrågedata 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 intresse med avseende på leveransförmåga och kapitalbindning i säkerhetslager har sammanställts i tabell 1, 2 och 3.

Tabell 1 Karakteristiska data med avseende på ledtider och efterfrågan

Företag	Ledtidförhållanden			Efterfrågeförhållanden	
	Medelvärde (1)	Variationskoefficient (2)	Korrelation mellan ledtid och eft. fr (3)	Medelantal efterfr. dagar per år (4)	Andel artiklar med var koeff > = 1 (5)
A	28,0	0,4	0,03	67	21
B	16,0	0,6	-0,09	42	46
C	29,7	0,3	0,00	71	24
D	4,3	0,1	0,03	63	67
E	7,5	0,4	0,07	71	38
F	11,0	0,6	-0,05	96	12
G	1,5	0,5	0,08	81	80
H	9,2	0,7	-0,02	57	53

Tabell 1 visar förhållanden med avseende på artiklars ledtider och efterfrågan. Kolumn 1 visar medelvärdet av ledtiderna för lagerpåfyllnad för respektive företags artiklar och kolumn 2 variationskoefficienten för de olika artiklarnas ledtider i respektive företag. Som framgår av tabellen har företag A, B och C väsentligen längre ledtider än övriga företag. Korrelationen mellan ledtider och efterfrågan i kolumn 3 är av intresse för att se i vilken utsträckning olikheter i ledtider spelar någon roll för metoden 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.

I kolumn 4 anges medelantalet efterfrågedagar per år för artiklar tillhörande respektive företag. Det ger en uppfattning om hur lågfrekvent efterfrågan är och därmed hur sannolikt det är att normalfördelningen på ett rimligt sätt kan representera efterfrågans fördelning. Företag F och G utmärker sig genom att ha många efterfrågedagar per år medan företag B och H är deras motsats. Artiklarna i dessa företag har i medeltal endast efterfrågan i storleksordningen var femte dag. Även värdena i kolumn 5 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 5 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.

Förhållanden i fallföretagen med avseende på kundorder redovisas i tabell 2. Värdena i kolumn 1 står för andel artiklar som har färre än 24 kundorder per år, dvs. färre än två kundorder per månad. Det är sålunda ett mått på kundorderfrekvens. Företag B har en mycket stor andel lågrörliga artiklar medan företag G har extremt få. Även graden av lågrörlighet påverkar hur väl antagandet om normalfördelad efterfrågan stämmer och därmed i vilken utsträckning fyllnadsgradsmetoden differentierar servicenivåer.

Tabell 2 Karakteristiska data med avseende på kundorder

Företag	Kundorderförhållanden			
	Andel artiklar < 24 kundorder/ år (1)	Kundorderkvantitet i medeltal (2)	Förhållande antal många /få KO (3)	Korrelation efterfrågan /ant KO (4)
A	34	4,3	43	0,66
B	49	8,7	33	0,71
C	33	33,4	50	0,89
D	33	7,2	24	0,28
E	22	7,5	16	0,52
F	12	1,0	42	1,00
G	4	2,2	11	0,44
H	35	35,5	48	0,24

Även storleken på kundorderkvantiteterna påverkar graden av efterfrågevariationer och därmed hur väl antagandet om normalfördelning stämmer. Medelvärdena för dessa kvantiteter för respektive företag visas i kolumn 2. Som framgår av tabellen har företag C och H väsentligen större kundorderkvantiteter än övriga företag. Kundorderkvantiteterna i företag F är 1 styck. 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 3. 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 i förhållande till fyllnadsgradsmetoden. En av huvudledningarna till att dagmetoden kan ge låg kapitalbindning i förhållande till erhållen orderradsservice är, som framgick ovan, att det finns en positiv korrelation mellan efterfrågans storlek och antalet kundorder. Erhållna värden på denna korrelation visas i kolumn 4. Som framgår av tabellen är korrelationen positiv för samtliga företag men betydligt större för företag A, B, C och F än för övriga.

Tabell 3 Karakteristiska data med avseende på priser och differentiering av orderfrekvenser och priser

Företag	Prisförhållanden		Spridning ordfrekvens/pris	
	Förhållande höga/låga priser (1)	Korrelation efterfrågan /pris (2)	Andel artiklar med högst diff klass (3)	Andel artiklar med lägst diff klass (4)
A	180	-0,30	18	16
B	390	-0,14	14	14
C	720	-0,25	18	20
D	30	-0,25	14	10
E	12	-0,15	12	9
F	97	-0,20	13	15
G	34	-0,18	12	11
H	579	-0,06	16	14

Med avseende på prisleverhållanden har två karakteriserande faktorer beräknats. De redovisas i tabell 3. Kolumn 1 visar förhållandet mellan medelpriset för de 20 % dyraste artiklarna och medelpriset för de 20 % billigaste artiklarna. Företag B, C och D avviker markant från övriga företag med mycket stora förhållanden mellan högpris- och lågprisartiklar. På motsvarande sätt som för antal kundorder är en av huvudanledningarna till att dagmetoden kan ge låg kapitalbindning i förhållande till erhållen orderradsservice 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. Företag A, C och D uppvisar större negativ korrelation än de övriga.

I kolumn 3 och 4 visas ytterligare två mått på spridning och som kombinerat uttrycker förutsättningar för att dagmetoden skall kunna differentiera servicenivåer så att man får ett gynnsamt förhållande mellan leveransförmåga och kapitalbindning. Måtten är beräknade på följande sätt. Per företag sorteras samtliga artiklar efter storleken på antal kundorder respektive pris i fallande ordning. Artiklarna delas därefter in i tre grupper, de 20 % första artiklarna, de därefter följande 30 % artiklarna och de 50 % sista artiklarna. Därefter beräknas andel artiklar som både tillhör gruppen med högst antal kundorder och lägst pris (kolumn 3) samt andel artiklar som både tillhör gruppen med lägst antal kundorder och högst pris (kolumn 4). Av tabellen framgår att spridningen orderfrekvens/pris mellan olika artiklar är störst för företag C och lägst för företag E och G. Måtten ger också en uppfattning om i vilken utsträckning man kan förvänta sig ett förbättrat förhållande mellan leveransförmåga och kapitalbindning genom att differentiera dimensionerande antal dagar och servicenivåer.

3.2 Simuleringsmodell

Den simuleringsmodell som använts i studien bygger på ett beställningspunktssystem av (s,Q)-typ, dvs med fast orderkvantitet. Orderkvantiteten har dels beräknats som ekonomisk orderkvantitet med Wilsons formel och dels som antal dagars medelefterfrågan vid samma antal order per år som för ekonomisk orderkvantitet. Beställningspunktssystemet har tillämpats som ett periodinspektionssystem med daglig inspektion och därmed har överdraget satts till en halv dags medelefterfrågan. Negativa säkerhetslager har tillåtits. Standardavvikelse för efterfrågevariationer har beräknats med hjälp av MAD per månad under det första av de simulerade tjugofem åren och därefter ledtidjusterats vid användning av fyllnadsgradsmetoden.

För att studera effekter av differentiering har fyllnadsgrader differentierats, dels med avseende på kundorderfrekvens och dels med avseende på både kundorderfrekvens och pris. Vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens har fyllnadsgraden satts till 98 % för de 20 % mest högfrekventa artiklarna, till 97 % för de 30 % mellanfrekventa artiklarna och till 94 % för de 50 % mest lågfrekventa artiklarna. När hänsyn tagits till både kundorderfrekvens och pris har fyllnadsgraden satts enligt nedan stående tabell.

Kundorderfrekvens	Prisklass		
	1	2	3
1	97	97,5	98
2	95,5	97	97,5
3	94	95,5	97

Prisklass 1 avser de 20 % artiklar som har högst priser, prisklass 2 de 30 % artiklar som har mellanhöga priser och prisklass 3 de 50 % artiklar som har lägst priser. Frekvensklass 1 avser de 20 % artiklar som har högst kundorderfrekvenser, frekvensklass 2 de 30 % artiklar som har mellanhöga kundorderfrekvenser och frekvensklass 3 de 50 % artiklar som har lägst kundorderfrekvenser.

Som startvärden för antal dagar respektive fyllnadsgrad vid beräkning av säkerhetslager valdes ett lägre värde 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 simuleringskörning 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 respektive fyllnadsgrad ökades därefter successivt vid varje följande simuleringar tills den målsatta nivån för orderradsservice på 97 % uppnåts. Ett överskridande på mindre än 0,05 procentenheter accepterades. Vid användning av differentierade servicenivåer ökades samtliga servicenivåer med lika stora steg tills målsatt orderradsservice för hela artikelgruppen erhållits.

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

4 Resultat och analys

Resultaten från de genomförda simuleringarna redovisas i tabell 4. Värdena i tabellen avser procentuellt ökad kapitalbindning vid användning av fyllnadsgradsmetoden jämfört med användning av dagmetoden vid samma erhållna leveransförmåga i form av orderradsservice. Orderkvantiteten har beräknats med hjälp av Wilsons formel för de tre första raderna .

Tabell 4 Procentuell ökning av säkerhetslager vid användning av fyllnadsgradsmetoden i stället för dagmetoden

Företag	A	B	C	D	E	F	G	H
Procentuell ökning av säkerhetslager vid användning av fyllnadsgradsmetoden	20	19	89	18	35	45	37	15
Motsvarande men med differentiering av fyllnadsgrad efter kundorderfrekvens	6	14	64	15	39	32	22	19
Motsvarande men med differentiering av fyllnadsgrad efter kundorderfrekvens och pris	3	5	48	11	33	25	1	11
Motsvarande men med användning av antal dagar för att bestämma orderkvantitet	1	-21	80	-21	12	16	-30	-3

Som framgår av tabellen blir kapitalbindningen klart större i samtliga företag om man använder fyllnadsgradsmetoden. Speciellt stora är skillnaderna för företag C och F. En förklaring till att skillnaderna i dessa företag är större är att både den positiva korrelationen mellan efterfrågan och kundorderfrekvens och den negativa korrelationen mellan efterfrågan och pris är mycket hög jämfört med övriga företag. Se tabell 2 och 3. I de båda företagen är också förutsättningarna för att använda normalfördelning bättre än för merparten av de övriga eftersom antalet efterfrågedagar per år är högt och förhållandevis få artiklar har variationskoefficienter större än 1 enligt tabell 1. Ju bättre normalfördelningen representerar den faktiska efterfrågefördelningen, desto bättre överensstämmelse mellan dimensionerande och erhållen servicenivå och som konsekvens mindre differentiering och därmed ett sämre förhållande mellan leveransförmåga och kapitalbindning. Företag C har dessutom ett exceptionellt stort förhållande mellan höga och låga priser enligt tabell 3. Även den omständigheten påverkar differentieringen av erhållna servicenivåer positivt, dvs. så att förhållandet mellan leveransförmåga och kapitalbindning blir gynnsammare. Med avseende på korrelation mellan efterfrågan och kundorderfrekvens respektive pris är situationen den motsatta för företag H. I detta företag är följaktligen skillnaden i kapitalbindning mellan dagmetoden och fyllnadsgradsmetoden lägst för de studerade företagen.

Som påpekats ovan är en av svagheterna med fyllnadsgradsmetoden att den inte differentierar erhållen orderradsservice lika effektivt som dagmetoden med avseende på kundorderfrekvens och pris. Detta kan kompenseras genom att differentiera dimensionerande fyllnadsgradsnivåer. Med de differentieringsalternativ som redovisades i avsnitt 3.2 erhöles procentuella skillnader i kapitalbindning vid användning av fyllnadsgradsmetoden jämfört med dagmetoden enligt rad 2 och 3 i tabell 4. Resultaten visar att differentiering av fyllnadsgrader ger effektivare förhållanden mellan leveransförmåga och kapitalbindning i säkerhetslager eftersom skillnaderna relativt den kapitalbindning som dagmetoden ger upphov till blir mindre. Dagmetoden är dock fortfarande ett effektivare sätt att dimensionera säkerhetslager för samtliga företag. Resultaten visar också och differentiering med avseende på både pris och orderfrekvens ger bättre resultat än differentiering enbart med avseende på orderfrekvens. För flera av företagen är emellertid skillnaderna tämligen försumbara.

I avsnitt 2.3 påvisades analytiskt att fyllnadsgradsmetoden påverkas positivt av att orderkvantiteter beräknas som antal dagar gånger medelefterfrågan per dag jämfört med om ekonomisk orderkvantitet används. För att också studera dessa samband har en jämförelse mellan användning av dagmetoden och fyllnadsgradsmetoden också gjorts med orderkvantiteter beräknade som antal dagar gånger medelefterfrågan. Resultaten redovisas i rad 4 i tabell 4. För samtliga företag blir dagmetodens fördelar med avseende på kapitalbindning i säkerhetslager mindre om man beräknar orderkvantiteter som ett antal dagars medelefterfrågan, dvs. helt i överensstämmelse med slutsatserna i avsnitt 2.3. I hälften av företagen blir dagmetoden till och med mindre effektiv än fyllnadsgradsmetoden. Företagen A, C, E och F är de företag i vilka dagmetoden fortfarande presterar något bättre eller mycket bättre även då orderkvantiteter beräknas baserat på antal dagars medelefterfrågan. En förklaring till detta är att dessa företag enligt tabell 1 är de företag som har minst andel artiklar med variationskoefficienter större än 1. Det innebär att efterfrågan är mer normalfördelningslik i dessa företag och att därmed erhållen servicenivå i större utsträckning motsvarar dimensionerande servicenivå. Företagen A, C och F har också de längsta ledtiderna och långa ledtider bidrar också till att göra

efterfrågefördelningar mer normalfördelningslika (Mattsson, 2013). Som en konsekvens blir erhållna servicenivåer mindre differentierade och därmed förhållandet mellan leveransförmåga och kapitalbindning försämrat med fyllnadsgradsmetoden. Företagen C och F har också enligt tabell 2 den högsta korrelationen mellan efterfrågan och antal kundorder. Enligt analysen i avsnitt 2.3 gynnar dessa förhållanden dagmetoden.

Ett av problemen med att använda dagmetoden är svårigheterna att välja rätt antal dagar eftersom det inte finns något enkelt samband mellan antal dagars säkerhetslager och erhållen servicenivå. Det är därför av intresse att studera hur känslig dagmetoden är med avseende på vilken felmarginal som kan tillåtas för att metoden skall förbli bättre än fyllnadsgradsmetoden. Denna känslighetsanalys har genomförts genom att beräkna en övre gräns och en undre gräns för antal dagar inom vilka dagmetoden kan betraktas som bättre än eller likvärdig med fyllnadsgradsmetoden. Den övre gränsen utgör tillåtet procentuellt för högt antal dagar utan att kapitalbindningen i säkerhetslager blir större än den man får med fyllnadsgradsmetoden medan den undre gränsen utgör procentuellt för lågt antal dagar utan att orderradsservice blir mer än en procentenhet lägre än önskad servicenivå. En procentenhet har valts eftersom det dels kan betraktas som en praktiskt sett acceptabel avvikelse från önskad servicenivå och dels därför att en sådan avvikelse mellan fyllnadsgradsservice och orderradsservice är den man i bästa fall kan förväntas få vid användning fyllnadsgradsmetoden (Mattsson, 2011b). Resultaten från analysen visas i tabell 5.

Tabell 5 Tillåtna procentuella avvikelser av valt antal dagar för att undvika högre kapitalbindning respektive mer än en %-enhet för låg orderradsservice jämfört med fyllnadsgradsmetoden

	A	B	C	D	E	F	G	H
Tillåtet proc. för högt antal dagar utan att kapitalbindningen blir större med dagmetoden	25	23	134	19	41	73	107	17
Tillåtet proc. för lågt antal dagar utan att orderradsservice skall bli mer än 1 % enhet för låg	-22	-27	-26	-14	-17	-30	-174	-16

Av tabellen framgår att tillåtna felmarginaler vid bestämning av antal dagar är tämligen stora. För nästan alla företag är de större än storleksordningen +/- 20 %. Det kan också tilläggas att vid beräkning av övre felmarginal har jämförelsen gjorts under förutsättning att den valda fyllnadsgraden ger exakt rätt erhållen orderradsservice. Den beräknade felmarginalen kan alltså snarast betraktas som en undre gräns för tillåtna fel i antal dagar. Genom att den undre felmarginalen beräknats för ett så lågt värde som en procentenhet under önskad orderradsservice kan den också betraktas som en undre gräns. Det kan tilläggas att den dimensionerande fyllnadsgraden för att få en orderradsservice på 97 % i de åtta fallföretagen varierade mellan 97,9 och 99,8 %. Anledningen till att den undre toleransgränsen är mindre än -100 % under rätt antal dagar för företag G är att antalet dagar som motsvarar den undre gränsen i det företaget är mindre än noll.

5 Sammanfattning och slutsatser

Resultaten från de genomförda simuleringarna visar att om orderkvantiteter beräknas med hjälp av Wilsons formel ger fyllnadsgradsmetoden väsentligen högre kapitalbindning än dagmetoden vid samma erhållna orderradsservice. Det gäller för samtliga åtta företag. Differentieras fyllnadsgradsservicen med avseende på pris per styck och kundorderfrekvens blir skillnaderna i kapitalbindning mindre men fortfarande blir kapitalbindningen större och i några fall mycket större än för dagmetoden. Om orderkvantiteterna i stället beräknas som ett antal dagars medelefterfrågan blir skillnaderna i kapitalbindning mellan de båda beräkningsmetoderna mindre i samtliga företag och i hälften av dem blir kapitalbindningen lägre när fyllnadsgradsmetoden används.

En svårighet med att använda dagmetoden är att välja rätt antal dagar eftersom det inte finns något enkelt samband mellan antal dagars säkerhetslager och erhållen servicenivå. En genomförd analys av felkänslighet visar emellertid att tillåtna felmarginaler vid bestämning av antal dagar är tämligen stora. För alla fallföretag ger dagmetoden en lägre kapitalbindning än fyllnadsgradsmetoden om uppskattat antal dagar ligger inom storleksordningen +/- 20 % av optimalt antal dagar.

Den slutsats man kan dra av studien är att användning av antal dagars medelefterfrågan kan vara ett väl så effektivt sätt att dimensionera säkerhetslager som användning av fyllnadsgradsservice under förutsättning att det finns en positiv korrelation mellan efterfrågan och kundorderfrekvenser och en negativ korrelation mellan efterfrågan och priser.

Referenser

Axsäter, S. (2006) *Inventory control*, Springer.

Fogarthy, D., Blackstone, J. Hoffmann, T. (1991) *Production and Inventory Management*, South-Western Publishing Co.

Forslund, H. – Jonsson, P. (2008) *How to measure on-time delivery performance: State-of-the-art description and perceived performance*, Linnéuniversitetet.

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

Mattsson, S-A. (2010) *Effektiv materialstyrning – Handbok för att lyckas*, Permatron.

Mattsson, S-A. (2011a) *Utvärdering av fem metoder för dimensionering av säkerhetslager med avseende på kapitalbindning*, 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. (2013) Vilken servicenivå får man om man dimensionerar säkerhetslager med servicenivå, Permatron Research.

Pursche, S. (1975) Putting service level into a proper perspective, *Production and Inventory Management*, Vol. 16 No. 3.

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

Tyworth, J. (1992) Modeling transportation-inventory trade-offs in a stochastic setting. *Journal of Business Logistics*, Vol. 13 No. 2.