

Strategier som påverkar efterfrågevariationer och kapitalbindning i säkerhetslager

Stig-Arne Mattsson

Linnéuniversitetet

351 95 VÄXJÖ

0706-689280

stigarnemattsson42@gmail.com

SAMMANFATTNING

Säkerhetslager används för att säkerställa att företag skall kunna uppnå en önskad leveransförmåga. Hur stor kapitalbindningen i säkerhetslager behöver vara påverkas i stor utsträckning av osäkerheter och variationer i form av kortsiktiga variationer i efterfrågan. Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här artikeln har varit att studera vad det är som gör att efterfrågevariationer uppkommer samt att identifiera och analysera olika strategier för att kunna reducera dem. De strategier som behandlats är följande; begränsa kundorderkvantiteter, eliminera efterfrågetoppar, förhindra periodiseringseffekter, begränsa parameteruppdateringar, dela efterfrågeinformation, konsolidera efterfrågan och senarelägga beslut. Syftet har också varit att utvärdera vilka effekter de olika strategierna kan förväntas få med avseende på kapitalbindning. Utvärderingen har genomförts med hjälp av simulering. Studien har visat att man genom att tillämpa de studerade strategierna påtagligt kan reducera efterfrågevariationer och därmed den kapitalbindning i säkerhetslager som krävs för att uppnå önskad servicenivå.

1 INTRODUKTION OCH SYFTE

Säkerhetslager används för att säkerställa att företag kan uppnå en önskad leveransförmåga i form av servicenivå. Ju högre servicenivå man önskar desto större säkerhetslager och storleken ökar exponentiellt med ökande servicenivå. Detta trade-off förhållande mellan servicenivå och kapitalbindning innebär förenklat att om man vill bli bättre på att kunna leverera direkt från lager måste man acceptera att bli sämre med avseende på kapitalbindning. Att säkerhetslagret behöver vara större om man kräver högre servicenivå är teoretiskt ofrånkomligt. Hur sambandet ser ut, dvs. hur snabbt säkerhetslagret ökar med ökande servicenivå, är emellertid inte givet av någon teoretisk naturlag utan kan påverkas genom att skapa bättre förutsättningar för effektiva materialflöden.

Det är i första hand fyra faktorer som är avgörande för hur sambandet mellan kapitalbindning och servicenivå ser ut. Använd orderkvantitet för att fylla på lagret påverkar storleken på säkerhetslager eftersom kvantiteten avgör antalet bristrisktillfällen per år. Leveranstidens längd påverkar efterfrågevariationernas storlek under tiden från beställning till inleverans och leve-

ranstidens variation bidrar till osäkerheter och variationer på inboundsidan som också måste garderas med hjälp av säkerhetslager. Den fjärde, och den i många sammanhang kanske mest avgörande faktorn är kortsiktiga variationer i efterfrågan på outboundsidan.

Det kan kanske tyckas självklart att efterfrågevariationer förekommer i distribuerande och tillverkande företag, att de är oundvikliga, att man måste acceptera dem som de är och att det inte finns något annat att göra åt dem än att gardera sig med säkerhetslager. Man kan emellertid också fråga sig varför efterfrågan från vecka till vecka varierar så mycket som den gör i de flesta branscher. Är det rimligt att föreställa sig att förbrukningen i tillverkande och distribuerande företag av produkter som skruvmejslar, tandborstar, kaffekoppar och köksstolar kan variera med åtskilliga tiotals procent från en vecka till en annan. Det förefaller troligare att det finns en del andra mekanismer än förbrukningen i slutkonsumentledet som förorsakar variationer i efterfrågan i det enskilda företaget. Om så är fallet borde det vara rimligt att försöka angripa de bakomliggande orsakerna till att variationer förekommer och att hitta sätt att hantera sådana variationer som är mer eller mindre oundvikliga.

Syftet med det här forskningsprojektet är att studera vad det är som gör att efterfrågevariationer uppkommer och förstärks i försörjningskedjor samt att peka på ett antal olika strategier för att minska inslaget av dem och/eller att hantera dem på ett effektivt sätt. Syftet är också att analysera vilka effekter de olika strategierna kan förväntas ha med avseende på kapitalbindning. Andra konsekvenser, exempelvis i form av ökade transportkostnader och miljöpåverkan av att tillämpa strategierna, behandlas inte. De olika strategierna är betraktade och värderade med utgångspunkt från det levererande företaget.

Analyserna av hur kapitalbindningen i säkerhetslager påverkas av att tillämpa de olika strategierna har genomförts med hjälp av simulering. Efterfrågan antas vara stationär, dvs. efterfrågevariationernas karaktär förändras inte över tid. Exempelvis antas medelefterfrågan per tidsenhet vara konstant vid efterfrågefall utan trend och säsongindexen för säsongvariationer antas vara oföränderliga från år till år. De resultat som erhållits utgör inga bevis i vetenskaplig mening. Det skulle krävs mer omfattande simuleringar och inkluderat betydligt fler olikartade förhållanden i form av olika kundorderfrekvenser, kundorderkvantiteter, ledtider etc. Syftet har endast varit att med ett antal exempel tydliggöra vad det är för effekter som kan uppnås genom att reducera efterfrågevariationer och att förmedla en uppfattning om den effektiviseringspotential som kan finnas genom tillämpning av de olika strategierna

2 SIMULERINGSMODELL OCH SIMULERINGSDATA

Simuleringarna har genomförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic. Den simuleringsmodell som använts i studien bygger på ett beställningspunktssystem av (s,Q)-typ, dvs. med fast orderkvantitet. Beställningspunktssystemet har tillämpats som ett periodinspektionssystem med daglig inspektion. Överdraget vid bestämning av beställningspunkter har satts till en halv dags medelefterfrågan, dvs. beställningspunkten har satts lika med medelefterfrågan under ledtid plus säkerhetslager plus en halv dags medelefterfrågan. Önskad order-radsservice har satts till 97 procent.

Simuleringen är av diskret typ och innebär att uttag, kontroll av saldo mot beställningspunkt, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder vid behov samt aktuella inleveranser utförs dagligen under simuleringsperioden. För varje simuleringskörning ökas säkerhetslagret med ett styck från en låg nivå tills erhållen servicenivå motsvarar önskad servicenivå. När detta inträffar avbryts körningarna och erhållet säkerhetslager definierat som det lagersaldo som i medeltal

funnits vid inleveranstillfällena beräknas. Se van Kampen et al. (2010). För att öka validiteten i analyserna genererades den dagliga efterfrågan i förväg och sparades i ett Excel-ark i stället för att genereras under simuleringens gång. Simuleringen av de olika strategierna kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata och parvisa jämförelser göras.

För att genomföra simuleringarna har ett teoretiskt genererat dataunderlag använts. Anledningen till att teoretiskt genererade data valts i stället för datamaterial från fallföretag är att man på det sättet kan få större kontroll över datamaterialets karaktär, exempelvis i form av olika kundorderfrekvenser, olika stora efterfrågevolymen och olika stora efterfrågevariationer. Därigenom kan man på ett säkrare sätt identifiera samband och dra slutsatser av de resultat som erhålls. Enligt Bagchi et al. (1984) är det lämpligt att modellera efterfrågan som en compound Poissonfördelning för att den skall bli så verklighetsnära som möjligt. Det finns också enligt Johnston och Boylan (1996) empiriska bevis för att kundorder i huvudsak erhålls slumpmässigt. För varje efterfrågefall som analyserats har efterfrågevärden genererats för 20 artiklar, vardera med 6000 dagars efterfrågevärden

3 STRATEGI: BEGRÄNSA KUNDORDERKVANTITETER

Ju större orderkvantiteter kunder använder, desto oregelbundnare och mer varierande blir efterfrågan. Enligt Williams (1991) är det den största och viktigaste drivern bakom efterfrågevariationer och betraktas av Lee och Wu (2006) som huvudorsaken till förekomsten av bullwhipeffekter, dvs. till att efterfrågevariationerna förstärks uppströms försörjningskedjan. Towill (1996) har baserat på studier av ett antal försörjningskedjor uppskattat förstärkningseffekten till 2:1, dvs. en fördubbling av variationerna i varje interface mellan företag. Fenomenet är känt sedan tidigt 60-tal och kallas ofta Burbidge-effekt efter den person som först identifierade fenomenet (Burbidge, 1961).

För att belysa hur mycket kundorderkvantiteten påverkar kapitalbindningen i säkerhetslager har ett antal simuleringar genomförts. Efterfrågan för simuleringarna i form av kundorder har genererats för fem olika typer av kunder med olika orderfrekvens, i medeltal 10, 5, 3, 1 respektive 0,5 kundorder per dag. Två fall av kundorderkvantiteter har studerats, ett fall representerande små orderkvantiteter motsvarande 3 dagars medelefterfrågan och ett fall representerande stora orderkvantiteter motsvarande 6 dagars medelefterfrågan för kunder med 10 order per dag och motsvarande antal dagar i proportion till roten ur förhållandet mellan efterfrågan per år för resterande kundtyper. Kundorderna har genererats för 25, 50 respektive 100 kunder och summerats till en efterfrågan per dag för det levererande företaget. Beräkning av kapitalbindning i säkerhetslager har gjorts för anskaffningsledtider på 2, 5 respektive 20 dagar. Orderkvantiteten för återanskaffning har satts till 5 dagars medelefterfrågan. Resultaten från simuleringarna visas i tabell 1.

Tabell 1 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager vid halvering av kundorderkvantiteter för olika ledtider och antal kunder vid 97 % orderradsservice

Antal kunder	Ledtider för lagerpåfyllning		
	2 dagar	5 dagar	20 dagar
25	-54 %	-52 %	-39 %
50	-51 %	-40 %	-22 %
100	-42 %	-31 %	-18 %

Av tabellen framgår att kapitalbindningen i säkerhetslager blir påtagligt mindre vid mindre kundorderkvantiteter. För det studerade fallet med hälften så stora kundorderkvantiteter mins-

kar kapitalbindningen med mellan 18 och 54 %. Kompletterande simuleringar visade att minskningen blir ännu större vid lägre erhållen orderradservice. Det framgår också att kapitalbindningen minskar mindre ju fler kunder man har och ju längre ledtiderna är. Detta är förväntat eftersom både fler kunder och längre ledtider tenderar att jämna ut variationer enligt centrala gränsvärdessatsen. I företag med förhållandevis få kunder, korta ledtider och måttliga servicenivåer finns det därför särskilt stor anledning att tillämpa strategier som inte bidrar till att öka kundorderkvantiteterna.

Att påverka kundorderkvantiteter är inte helt trivialt eftersom det föreligger motstridiga intressen mellan kunder och leverantörer i en dyad. Lu (1995) samt Kelle och Akbulut (2005) har påpekat att den orderkvantitet som är optimal för kunden i regel är mer eller mindre ekonomisk för leverantören och den kvantitet som är optimal för leverantören är mer eller mindre ekonomisk för kunden. Förekomst av motstridiga intressen beror emellertid egentligen inte på kapitalbindungseffekter eftersom små orderkvantiteter medför fördelar både för kund i form av mindre omsättningslager och för leverantör i form av mindre säkerhetslager. För det levererande företaget är det i stället en fråga om hur transaktionskostnaderna påverkas av kundföretagets val av orderkvantitet, dvs. av alla de företrädesvis fasta kostnader som är förknippade med en order-till-leverans process.

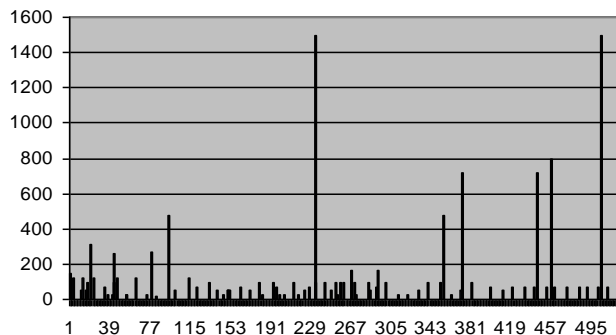
Lambert och Bennion (2003) menar att andelen små kundorder har blivit ett ökande problem för många leverantörer och Lambert et al. (2007) talar om ”The small order problem” och menar att utvecklingen har inneburit en överföring av kostnader från kund till leverantör. Att det är fråga om en överföring av kostnader och att kundens orderkvantiteter egentligen dessutom borde vara större framgår av det sätt på vilket kunder vanligtvis bestämmer sina orderkvantiteter, dvs. genom någon form av ekonomisk optimering med utgångspunkt från kundens egna ordersärkostnader. Leverantören har också ordersärkostnader och om man tar hänsyn till dessa och för enkelhets skull antar att de är 200 kronor i båda fallen samt använder Wilsons formel för att beräkna ekonomisk orderkvantitet, blir optimal orderkvantitet cirka 40 % större än om man endast inkluderar kundens ordersärkostnad. Att ta hänsyn till leverantörens ordersärkostnader skulle i det här exemplet också medföra att kundens kostnader skulle öka med 6 %, att leverantörens kostnader skulle minska med 29 % och att de sammanlagda kostnaderna skulle minska med 6 %.

Möjligheterna att reducera kundorderkvantiteter påverkas också av intressen i det levererande företaget av att sälja så mycket som möjligt. Det är exempelvis vanligt att man försöker påverka kunder att beställa större kvantiteter genom att införa någon form av ”minimum order quantity” policy, lägga till så kallade ställkostnader för varje order eller att ge någon form av volymrabatt- eller priserbjudande (Lambert et al., (2007). Möjligheterna att arbeta med mindre orderkvantiteter och därmed att reducera efterfrågevariationerna har under senare år också påverkats av utvecklingen mot en grönare och mer hållbar logistik eftersom små orderkvantiteter har en ogynnsam påverkan på miljön. Det talas i dag om så kallade hållbara logistik innovationer, HLI. Ett exempel på en sådan innovation är ”Small order calculator”. Det är ett pedagogiskt verktyg som skall se till att kunder inte lägger för små och frekventa order. (Björklund och Forslund, 2017).

4 STRATEGI: ELIMINERA EFTERFRÅGETOPPAR

I många fall inträffar det att efterfrågade kvantiteter för en produkt under enstaka dagar markant avviker från vad som kan betraktas som en normal variation under övriga dagar. Ett exempel på förekomst av sådana efterfrågetoppar i ett fallföretag visas i figur 1 (Mattsson, 2007). Det kan bero på tillfälligheter eller exceptionella händelser som exempelvis att en extra

stor order erhållits från en kund som genomför en kampanj eller att en exportorder av engångskaraktär erhållits. En mix av mycket stora och lågfrekventa order med mer ”normalstora” och mer frekventa förekommer också i centrallager som både försörjer ett antal lokala distributionslager och slutkunder på den lokala marknaden.



Figur 1 Exempel på förekomst av extremorder i ett caseföretag

Efterfrågetoppar eller så kallade outliers, är mycket begränsat diskuterad i litteraturen. Fogarty och Hoffman (1983, sid 54) definierar outliers som värden utanför vad man normalt kan förvänta sig och Grubbs (1969) har utvecklat ett test för att avgöra när ett efterfrågevärde bör betraktas som en outlier. Mattson (2007) har med hjälp av simulering baserad på efterfrågedata från fyra olika caseföretag visat att säkerhetslagret ökar väsentligt om man inkluderar extremorder i lagerstyrningen och behandlar dem på samma sätt som mer normala order. Extremordernas påverkan på de totala lagerstyrningskostnaderna har också studerats av Hillier et al. (1995). På basis av resultaten konstaterar författarna att man kan uppnå klara kostnadsfördelar genom att låta stora kundorder bli specialleveranser som inte hanteras via lagerstyrningen. Bland dem som i övrigt i någon utsträckning behandlar problemet kan Fogarty och Hoffman (1983, sid 54) samt Wallace (1998) nämnas.

För att ytterligare belysa vad förekomst av efterfrågetoppar kan innebära har ett antal simuleringar genomförts. Underlag för simuleringarna har genererats slumpmässigt från tre olika typer av efterfrågeförhållanden med i medeltal 5, 3 respektive 1 kundorder per dag, i samtliga fall med orderkvantiteter på 8-12 st. Överlagrat denna grundefterfrågan har en extremorder lagts till per månad, i ena fallet med en orderkvantitet som är 50 % högre än den största normalt förekommande efterfrågade kvantiteten och i det andra fallet 100 % högre. Beräkningar av kapitalbindning i säkerhetslager med respektive utan inslag av extremorder med ledtider på 10 dagar och med anskaffningskvantiteter motsvarande 10 dagars medelefterfrågan för fallet med 5 kundorder per dag och motsvarande för övriga efterfrågefäll. Resultaten från simuleringarna i form av procentuellt minskade säkerhetslager när extremorder inte ingår och andel extremorder som levererats i tid när de ingår och säkerhetslagret anpassats visas i tabell 2.

Tabell 2 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager och andel extremorder som levererats i tid vid olika kundorderfrekvenser och olika stora extremorder

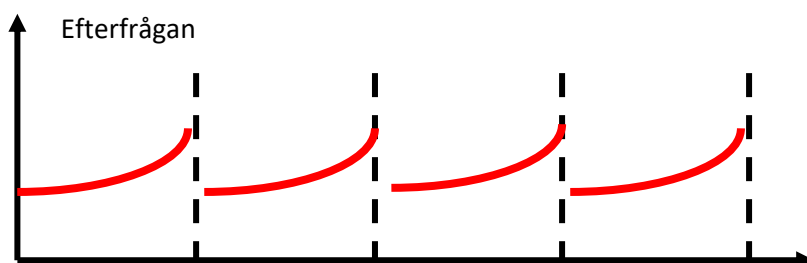
Antal kundorder per dag	Förändring av säkerhetslager		Andel extremorder i tid	
	1,5 · max	2 · max	1,5 · max	2 · max
5	-54 %	-66 %	79 %	76 %
3	-49 %	-63 %	80 %	78 %
1	-36 %	-51 %	84 %	83 %

Som framgår av tabellen minskar kapitalbindningen avsevärt då extremorder inte levereras via lager. I praktiskt taget samtliga fall är det frågan om mer än en halvering. Trots de stora säkerhetslager som extremorderna ger upphov till, kan ändå i många fall färre än 80 % av dem levereras i tid.

För att undvika negativa effekter på säkerhetslagrets storlek är den ideala lösningen att leverera mot order i stället för från lager när extremorder förekommer. Ett annat alternativ är att förmå kunder att acceptera delleveranser och att exempelvis leverera resterande kvantiteter i samband med nästa lagerpåfyllnadsorder (Sandvig och Allaire, 1998). Om dessa alternativ av någon anledning inte är möjliga bör den efterfrågan som härrör från extremorderna eller från efterfrågetoppar i allmänhet inte ingå i standardavvikelseberäkningarna och därmed påverka säkerhetslagret eftersom det ändå inte i acceptabel omfattning bidrar till att förbättra service-nivån för dessa order. Att eliminera efterfrågetoppar från efterfrågan i övrigt vid beräkning av standardavvikelser kan ske på två sätt. Ett sätt är att vid kundorderregistreringen koda extremorder som icke representativa och därmed exkludera dem från beräkningarna. Ett annat sätt är att med hjälp av statistiska metoder eliminera alla efterfrågevärden som överskrider en viss storlek. I fall med centrallager som försörjer lokala lager kan en möjlig strategi också vara att undvika att låta centrallagret direktförsörja en lokal marknad.

5 STRATEGI: FÖRHINDRA PERIODISERINGSEFFEKTER

Med periodiserade efterfrågevariationer menas att efterfrågan inom en period kan variera påtagligt, exempelvis mellan de olika veckorna i en månad, även om efterfrågan från en period till en annan kan vara förhållandevis jämn utöver slumpmässiga variationer. En vanlig orsak till den här typen av variationer är olika slag av budget- och måttrelaterad beteendepåverkan. Säljare som har en säljbudget per månad kan behöva anstränga sig extra mycket under de sista veckorna i månaden för att nå upp till målsatta försäljningsresultat. Den prospektstock som finns mot slutet av månaden riskerar då att utnyttjas så långt möjligt med följd av att det blir svårt att nå acceptabla försäljningsvolymerna de första veckorna i följande månad. Säljaren kommer in i en ond cirkel som driver fram periodiseringseffekter. Enligt Laseter (1998, sid 112) förorsakas upp till 20 procent av alla efterfrågevariationer av sådana periodiseringsbeteenden för konsumentvaror. Motsvarande fenomen förekommer i produktionen när produktionschefer försöker uppnå budgeterade tillverkningsvolymerna och prioriterar tillverkning av stora order som kan säkerställa ett högt kapacitetsutnyttjande men snedvrider materialbehoven. Efterfrågan under ett antal perioder kan då i de båda fallen få ett utseende som i figur 2. Fenomenet brukar kalla hockey stick fenomenet eller end-of-the-month syndrom (Olson, 1998).



Figur 2 Illustration av hockey stick variationer i efterfrågan

Periodiseringsbeteenden kan också förorsakas av interna administrativa rutiner. Olämpliga faktureringsrutiner kan exempelvis bidra till förskjutning och periodisering av orderingång.

Det inträffar när man fakturerar periodiskt, exempelvis en gång i månaden. Genom att vänta med att beställa till början av en faktureringsperiod kan kunden få en räntefri kredit under näst intill en hel period utöver under betalningstiden. En sådan besparing kan vara tillräcklig för att motivera ett förskjutet beställningsbeteende. Liknande förskjutning kan också inträffa om man tillämpar betalningsvillkor med fri leveransmånad. I båda fallen får man en förskjutning av efterfrågan till början av månaden, dvs. en omvänd hockey stick effekt. Även momsredovisningsrutiner kan leda till periodiska efterfrågevariationer. Genom att förskjuta en leverans med enstaka dagar kan närmre en hela månads kredit på momsbeloppet erhållas. Mather (1996) redovisar ytterligare exempel på administrativa rutiner som bidrar till periodiserad efterfrågevariation.

Periodisering av efterfrågan på ovanstående sätt bidrar till variationer som är större än de naturligt förekommande slumpmässiga variationerna och har därför stor betydelse för säkerhetslagrets storlek. För att illustrera förhållandet har i det här fallet ett antal simuleringar genomförts. Underlag för simuleringarna har genererats slumpmässigt från tre olika typer av efterfrågeförhållanden med i medeltal 5, 3 respektive 1 kundorder per dag, i samtliga fall med orderkvantiteter på 8-12 st. Denna grundeftersfrågan har därefter justerats genom att reducera dagseftersfrågan i månadens första vecka med 20 %, att reducera dagseftersfrågan i månadens andra vecka med 10 %, att öka dagseftersfrågan i månadens tredje vecka med 5 % och att öka dagseftersfrågan i månadens fjärde vecka med 25 %. Dessa justeringar innebär att vecka 1 får 20 % av månadens efterfrågan, vecka 2 22,5 %, vecka 3 26,25 % och vecka 4 31,25 %. Även ett fall med justeringar motsvarande 17,5 %, 20 %, 27,5 % respektive 35 % i de olika veckorna har simulerats. Beräkningar av kapitalbindning i säkerhetslager med respektive utan periodisering har därefter gjorts för en ledtid på 10 dagar och med anskaffningskvantiteter motsvarande 10 dagars medeleftersfrågan. Resultaten från simuleringarna visas i tabell 3.

Tabell 3 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager jämfört med att periodiseringseffekter förekommer vid olika stora orderkvantiteter och kundorderfrekvenser

<i>Kundorder per dag</i>	<i>20-23-26-31 %</i>	<i>17-20-28-35 %</i>
5	-25 %	-46 %
3	-19 %	-38 %
1	-8 %	-15 %

Av resultaten i tabellen framgår tydligt att om man kan undvika periodiseringsbeteenden får man en påtagligt minskad kapitalbindning i säkerhetslager. Minskningen är betydligt större för artiklar med hög orderfrekvens än för artiklar med låg. Detta är förväntat eftersom den slumpmässigt varierande efterfrågan är relativt sett högre för artiklar med låg efterfrågefrekvens och att den därmed blir större i förhållande till den periodiserade efterfrågevariationen.

Eftersom den här typen av efterfrågevariationer till stor del uppstår på grund av företagets egna administrativa rutiner kan de till stor del också elimineras genom att förändra tillämpade policys och sättet att arbeta.

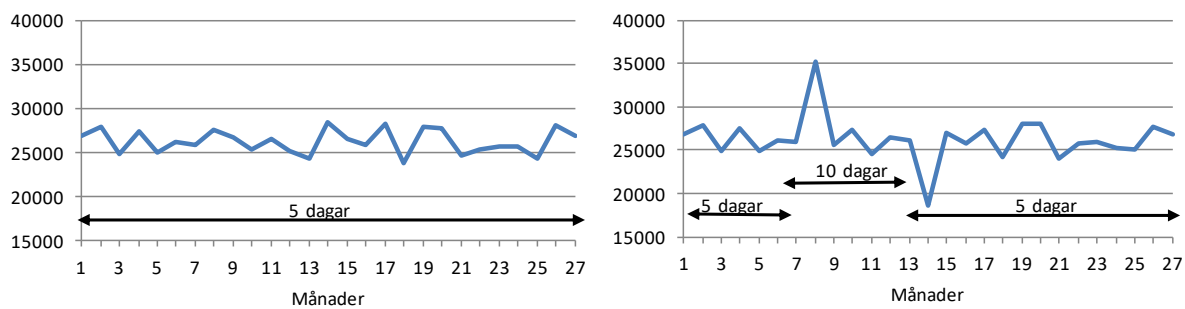
6 STRATEGI: BEGRÄNSA PARAMETERUPPDATERINGAR

Av olika anledningar kan det finnas skäl att anpassa sina leveranstider till kunder. Det kan exempelvis vara fallet då efterfrågan går upp eller ner eller när man har kapacitetsproblem av andra skäl. Sådana leveranstidsändringar kan emellertid bidra till temporärt ökade efterfrågevariationer. Att så är fallet beror på att en ökad leveranstid från leverantör leder till att kunden kommer att beställa tidigare eftersom beställningspunkten för lagerförda produkter ökar, både

därför att leveranstiderna i sig ökar men också för att säkerhetslagren måste ökas på grund av längre leveranstider. Av motsvarande skäl senareläggs beställningar när leveranstiden minskas. Förorsakas kapacitetsproblemen av ökad efterfrågan från kunder beroende på ökad efterfrågan på slutkundsmarknaden kommer dessutom kundorderkvantiteterna att bli större vilket ytterligare förstärker efterfrågevariationerna. Disney och Towill (2002) hävdar att högfrekventa uppdateringar av lagerstyrningsparametrar leder till bullwhipeffekter och ökad kapitalbindning i lager. De rekommenderar också att man endast skall göra uppdateringar när det sker påtagliga förändringar.

Efterfrågevariationer som förorsakas av leveranstidsökningar har ofta också en tendens att förstärkas ytterligare eftersom en leveranstidsökning kan uppfattas som att leverantören har problem med att kunna leverera tillräckliga kvantiteter. Kunderna beställer då ofta lite extra för att vara garerade mot framtida leveransproblem. Detta beteendefenomen kallas shortage gaming och är en välkänd orsak bakom bullwhipeffekter (Disney och Towill, 2003a).

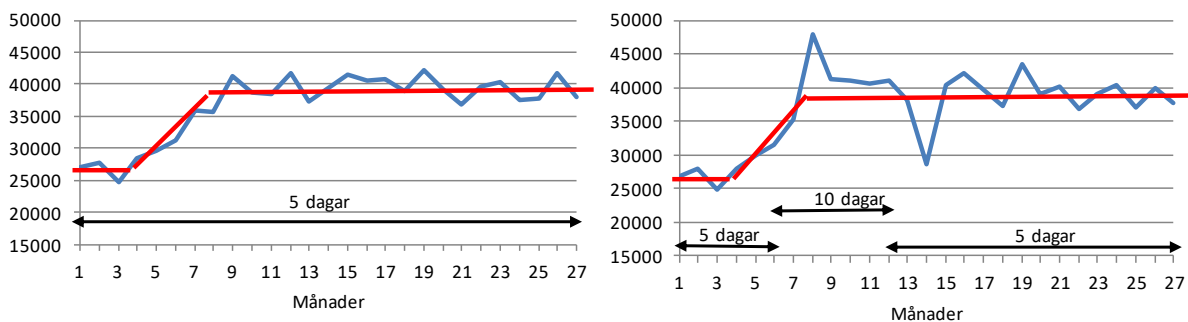
För att belysa hur leveranstidsrelaterade efterfrågevariationer uppstår och utvecklas har simuleringar genomförts på två exempel, i båda fallen avseende ett tänkt företag som levererar produkter mot order till 50 olika kunder med olika kundorderfrekvens och kundorderstorlekar. I det ena exemplet har efterfrågan bortsett från slumpmässiga variationer antagits vara konstant, dvs. behovet av att öka leveranstiden beror inte på en efterfrågeökning på slutkundsmarknaden. Den vänstra bilden i figur 3 visar efterfrågevariationerna under 27 månader med bibehållen leveranstid på 5 dagar medan den högra bilden visar efterfrågevariationer då leverantörsföretaget ökat leveranstiden till 10 dagar från månad 7 under 6 månader för att därefter återgå till en leveranstid på 5 dagar. Leveranstidsökningen leder till en ökad efterfrågan med 33 % månaden efter leveranstidsökningen och till en minskad efterfrågan med 30 % månaden efter det att leveranstiden återgått till 5 dagar. Eftersom tillverkning i det här fallet sker mot order och inte mot lager uppkommer kapitalbindningskonsekvenserna för insatsmaterial.



Figur 3 Efterfrågevariationer på grund av förändrade leveranstider vid jämn efterfrågan

I det andra exemplet antas efterfrågan på slutkundsmarknaden under ett halvår öka med 50 % och att det är denna ökning som leder till kapacitetsproblem för leverantörsföretaget. I den vänstra bilden i figur 4 visas fallet att leverantörsföretaget trots detta väljer att behålla 5 dagars leveranstid. Företaget antas också ha förmått kunderna att bibehålla sina tidigare orderkvantiteter trots efterfrågeuppgången. Den högra bilden visar fallet att leverantörsföretaget i stället väljer att öka sin leveranstid från 5 till 10 dagar efter 3 månaders efterfrågeuppgång och att efter ytterligare 6 månader återgå till en leveranstid på 5 dagar när man hunnit anpassa sin kapacitet till den nya efterfrågesituationen. Eftersom det är fråga om en efterfrågeökning i det här scenariot antas det även att kunderna ökar sina orderkvantiteter vilket ytterligare förstärker efterfrågevariationerna. Av figuren framgår tydligt att leveranstidsändringen leder till en efterfrågeökning som är klart större än den egentliga ökningen av den genomsnittliga efterfrå-

gan på marknaden, cirka 85 % i stället för 50 %. Av samma skäl som i föregående fall blir efterfrågan för leverantörsföretaget påtagligt mindre under månaden efter återgången till 5 dagars leveranstid, en nedgång med cirka 40 %.



Figur 4 Efterfrågevariationer på grund av förändrade leveranstider vid trend i efterfrågan

En möjlig strategi för att hantera den här typen av situationer är att ha ett informationsutbyte och dialog med kunder för att minska inslaget av mer eller mindre automatiska uppräkningspunkter och för att bli överens om tillfälligt reducerade orderkvantiteter eller att få dellerera. Genom en öppen dialog om orsakerna till leveransproblemen kan man också förväntas minska inslaget shortage gaming.

7 STRATEGI: DELA EFTERFRÅGEINFORMATION

För att effektivt kunna styra ett lager krävs information både om efterfrågans storlek och dess variation. Traditionellt har sådan information baserats på historik över erhållna kundorder. Det ligger då nära till hands att föreställa sig att informationskvaliteten skulle bli bättre om olika slag av efterfrågeinformation erhöles direkt från kunder. Den typ av information det i första hand kan vara fråga om är så kallad point-of-sales data, dvs. information om kundens aktuella försäljning, av kunden själv prognostiserad försäljning och av aktuella lagersaldon. Att information om aktuella lager kan vara av intresse beror på att lager hos en kund i princip representerar en negativ framtida efterfrågan. För fall med förhållandevis jämn medelefterfrågan utan systematiska förändringar har Cronson and Donohue (2003) visat att information om point-of-sales inte har någon nämnvärd effekt på leverantörens lager och samma sak har påvisats av Angulo et al. (2004) och Forslund och Jonsson (2007) med avseende på prognosinformation. För båda fallen har samma sak också påvisats av Jonsson och Mattsson (2013). Däremot kan, enligt författarna, information från kunder om aktuella lagersaldon medföra en tydlig minskning av kapitalbindning i lager för fall med en jämn medelefterfrågan med överlagrade kortsiktiga slumpmässiga variationer.

För att speciellt belysa vilka säkerhetslagereffekter överföring av lagersaldoinformation kan medföra, har Jonssons och Mattssons studie kompletterats med ytterligare simuleringar. Sex olika distributionsstrukturer har ingått i simuleringarna, en med 3 kunder, en med 6 kunder, en med 9 kunder och en med 18 kunder, i samtliga fall med utbyte av lagersaldoinformation med leverantören. De övriga två består av en mix av 9 kunder med informationsdelning och ett antal övriga kunder utan informationsdelning. Dessa två representerar fallen att leverantörsföretaget har ett antal stora kunder med vilka det kan vara motiverat att etablera informationsdelning och i övrigt ett antal mindre kunder som svarar för 20 % respektive 40 % av den totala omsättningen. Hänsyn till dessa småkunders efterfrågan tas av leverantören genom att ad-

dera deras sammanlagda efterfrågan till de stora kundernas efterfrågan under ledtid. Småkundernas lagersaldon beaktas inte.

Ledtiden för kundföretagen är 2 dagar och orderkvantiteten motsvarande fem dagars medelefterfrågan. För leverantörsföretaget används beställningspunktssystemet som ett echelonlager-system. Det innebär att ledtiden sätts till echelonledtiden, dvs. summan av medelledtiden mellan leverantör, och echelonlagret till summan av kundernas lagersaldon och leverantörens lagersaldo. Detta echelonlager jämförs med beställningspunkten på vanligt sätt. Leveranstiden från leverantör har satts till 10 dagar. Resultaten från simuleringarna av de sex distributionsstrukturerna visas i tabell 4.

Tabell 4 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager vid överföring av information om aktuella lagersaldon från kunder till leverantör

<i>Antal kunder i distributionsnätverket</i>					
<i>3</i>	<i>6</i>	<i>9</i>	<i>18</i>	<i>9 + 20%</i>	<i>9 + 40%</i>
-41 %	-33 %	-28 %	-27 %	-26 %	-21 %

Av de erhållna resultat som redovisas i tabellen framgår att kapitalbindningen i säkerhetslager kan reduceras avsevärt genom att låta leverantören få tillgång till sina kunders lager. Reduktionen är störst ju färre kunder det är fråga om vilket är förväntat eftersom ojämnheter i kunders lagerstorlekar tenderar att i större utsträckning ta ut varandra ju fler kunder det är fråga om. Resultaten är förväntade. Axsäter och Rosling (1993) har analytiskt visat att echelonlager tillämpningar av beställningspunktssystem i allmänhet är överlägsna traditionellt använda system som endast bygger på lokal information i tvånivåers distributionsstrukturer. Av tabellen framgår också att man kan nå stor resultatpåverkan även om inte informationsdelning tillämpas för alla kunder. Exempelvis minskar kapitalbindningen med över 20 % trots att de nio största kunderna med informationsdelning endast står för 60 % av den totala omsättningen. Strategin kan följaktligen vara av intresse även om det på grund av kostnadsskäl inte är försvarbart att dela lagersaldoinformation med samtliga kunder. Eftersom VMI, leverantörsstyrda lager, också innebär att leverantören har tillgång till information om kundens lagersaldon kan samma effekter uppnås genom att tillämpa en sådan strategi. Se exempelvis Disney och Towill (2003b).

8 STRATEGI: KONSOLIDERA EFTERFRÅGAN

De olika aktörerna i ett distributionsnätverk har olika roller för att säkerställa att tillverkade produkter når den konsumerande slutkunden. En av dessa roller är spridningsrollen (Mattsson, 2012, sid 219). Den åstadkoms traditionellt genom att distributörer med lagerhållningsfunktioner placeras nära marknaden. Dessa distributörer försörjs av någon extern leverantör. Av uppenbara skäl kommer variationerna, exempelvis uttryckta som variationskoefficienter, i efterfrågan i de lokala distributionslagren att bli större än variationerna i den totala efterfrågan i samtliga distributionslager. Att använda decentraliserade lager innebär ett antal fördelar, bland annat kortare leveranstider och större möjligheter till direktkontakt med kunder. Decentraliserade lager kan emellertid också förväntas innebära totalt sett högre kapitalbindning på grund av de större relativa efterfrågevariationerna.

Det finns ett koncept som brukar kallas risk pooling och som innebär att om man slår samman efterfrågan från flera olika lager så kommer de samlade efterfrågevariationerna att minska eftersom höga efterfrågevärden i ett lager tenderar att jämnas ut av låga efterfrågevärden i ett annat (Simchi-Levi et al., 2003, sid 66). Om man följaktligen konsoliderar efterfrågan i ett

antal olika distributionslager i ett distributionsnätverk och i stället levererar från ett gemensamt lager kommer kapitalbindningen i det gemensamma lagret att bli mindre än summan av kapitalbindningen i de olika distributionslagren. Maister (1976) har visat att om man minskar antalet lager från n till m stycken så kommer lagrets storlek att reduceras med faktorn $1 - \sqrt{m}/\sqrt{n}$. Regeln kallas vanligtvis kvadratrotsregeln och är en i praktiken använd metodik för att uppskatta effekter av att centralisera lagerstrukturer.

Med avseende på hur säkerhetslager påverkas av en konsolidering gäller regeln fullt ut endast om det inte finns någon positiv korrelation mellan efterfrågan i de olika lagren och då samtliga lager har lika stora variationer. Zinn och Levi (1989) har visat att formeln egentligen är ett specialfall av en mer generell beräkningsmodell som de kallar portfolio effekt. Evers (1995) påpekar att kvadratrotsregeln uppvisar mindre effekter än vad man får i verkligheten på grund av ett antal förenklande antaganden som görs i beräkningsmodellen, exempelvis att alla lageruttag är ett styck och att efterfrågan är normalfördelad. För att få en uppfattning om vilka kapitalbindungseffekter en konsolidering av efterfrågan på färre lager kan få på säkerhetslagrets storlek har simulering använts. Två olika efterfrågescenarier för distributionslagren har analyserats, ett med i medeltal 10 kundorder per dag och ett med 1 kundorder per dag för respektive lager, i båda fallen med kundorderkvantiteter på 4-12 styck. Ledtiden har satts till 10 dagar både vid leverans till centralt lager och till lokala distributionslager. Orderkvantiteterna har satts till samma antal dagars medelefterfrågan både i centralt lager och i de lokala distributionslagren för att undvika att antalet bristtillfällen per år skall vara olika många.

Tabell 5 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager vid konsolidering av efterfrågan till ett gemensamt lager

	<i>3 till 1 lager</i>	<i>6 till 1 lager</i>	<i>9 till 1 lager</i>
<i>10 kundorder per dag</i>	-52 %	-64 %	-68 %
<i>1 kundorder per dag</i>	-57 %	-71 %	-78 %

Av tabellen framgår att kapitalbindningen i samtliga analyserade fall reduceras med mer än 50 %. Minskningen blir större ju fler lokala lager man använder och ju lägre kundorderfrekvensen är. Det är förväntat att kapitalbindningen minskar mer vid större antal lager eftersom graden av konsolidering ökar med antalet lager som slås samman. Att effekterna är större vid lägre kundorderfrekvens kan förklaras med att variationerna relativt sett är mindre vid hög kundorderfrekvens.

Genom utvecklingen på IT-området har användning av så kallade virtuella lager blivit vanlig som ett sätt att åstadkomma samma konsolideringseffekter som vid fysisk lagercentralisering. Enligt Randall et al (2002) innebär virtuella lager i det här sammanhanget att lokala distributionsenheter helt eller delvis säljer produkter direkt till kund utan att själv ha dem fysiskt i lager eller att leverera dem. I stället levereras de från ett centralt lager eller extern leverantör. Lokala distributionsenheter upprätthåller då fortfarande kontaktrollen mot kunder med funktioner som ordermottagning, reklamationshantering, teknisk support och andra typer av kundsupport.

9 STRAEGI: SENARELÄGGA BESLUT

De totala efterfrågevariationerna under perioden från order till leverans ökar med hur lång perioden är. Vid normalfördelad efterfrågan och med undantag för positivt korrelerad dagsefterfrågan är ökningen proportionell mot roten ut periodlängden. Fattas exempelvis ett beslut två veckor före önskat inleveranstillsfälle i stället för en vecka före, så kommer standardavvi-

kelsen för efterfrågevariationerna teoretiskt att bli storleksordningen 40 % större vilket leder till ett 40 % större säkerhetslager. En uppenbar strategi för att reducera efterfrågevariationer och påverka kapitalbindning är följaktligen att ta beslut om när inleverans skall ske och i vilken kvantitet så sent som möjligt, dvs. att tillämpa det som i engelskspråkig litteratur kallas *time postponement* (Bowersox och Closs, 1996, sid 472). Strategin är framför allt tillämpbar vid anskaffning till distributionslager med centraliserad styrning. Centraliserad styrning innebär enligt Lee och Billington (1993) att beslut om i vilka kvantiteter och när leverans skall ske vid anskaffning till ett antal olika lager tas centralt och baserat på behov från samtliga lager. I motsats till decentraliserad styrning skapas sålunda en gemensam order för att försörja distributionslagren.

I en struktur med många distributionslager kan ordersärkostnader och transportkostnader reduceras genom att man centralt beställer en kvantitet som motsvarar summan av de enskilda lagrens beställningsbehov. På motsvarande sätt kan ordersärkostnader och omställningskostnader reduceras om man på samma order kan tillverka summan av de enskilda lagrens beställningsbehov. I princip innebär förfarandet att beställningarna från de olika distributionslagren utgör orderrader på den gemensamma ordern. När den är klar att levereras skickas respektive orderradskvantitet från leverantör eller produktion direkt till respektive lager alternativt till en gemensam omlastningspunkt för fördelning orderradsvis och vidaretransport till de olika distributionslagren. I båda fallen får respektive distributionslager den kvantitet som beställts. Nackdelen med ett sådant tillvägagångssätt är att den kvantitet som ett visst lager har behov av måste beslutas redan när den gemensamma beställningen görs. Eftersom efterfrågan varierar kommer det att kunna medföra att några distributionslager kommer att få levererat mer än de egentligen behöver vid leveranstillfället medan andra kommer att få mindre än de behöver.

För att undvika att sådana situationer uppkommer kan man använda sig av en *postponement* strategi. Den innebär i det här fallet, att de kvantiteter som respektive distributionslager skall få inte bestäms förrän ordern levererats till omlastnings- och fördelningspunkten. Fördelningsbeslutet kommer då att senareläggas så länge som möjligt. Om det är fråga om leveranser från fjärran östern eller tillverkning med mycket långa ledtider kan skillnaderna bli avsevärda. Vid fördelning av den gemensamma orderkvantiteten kan exempelvis den så kallade *fair share* metodiken, ursprungligen föreslagen av Brown (1977, sid 351), tillämpas. Den innebär att alla lager får så stora kvantiteter att täcktiden, dvs. den tid lagret kommer att räcka, blir den samma för alla.

Nio olika fall med olika ledtider, 5, 15 respektive 30 dagar och olika många distributionslager, 3, 6 respektive 9 stycken, har analyserats med hjälp av simulering för att få en uppfattning om effekterna av att senarelägga leveransbeslut i centraliserat styrda distributionsnätverk. Slutkundsefterfrågan för distributionslagren har genererats slumpmässigt baserat på i medeltal mellan 1 och 10 kundorder per dag och med kundorderkvantiteter på 2-6 styck. Resultaten från simuleringarna framgår av tabell 6.

Tabell 6 Procentuell minskning av kapitalbindning i säkerhetslager vid tillämpning av senareläggning av beslut vid centraliserat styrda lagerpåfyllning

	<i>Ledtid 5 dagar</i>	<i>Ledtid 15 dagar</i>	<i>Ledtid 30 dagar</i>
<i>3 distributionslager</i>	-21 %	-39 %	-46 %
<i>6 distributionslager</i>	-34 %	-51 %	-57 %
<i>9 distributionslager</i>	-39 %	-56 %	-63 %

Som framgår av resultaten i tabellen kan kapitalbindningen i säkerhetslager minskas avsevärt genom att vid centraliserad lagerstyrning tillämpa en senareläggingsstrategi. Som förväntat blir minskningen större ju längre ledtiderna är eftersom beslutet om hur levererade kvantiteter bör fördelas när senareläggingsstrategin inte tillämpas ligger längre ifrån aktuella behov vid inleveranstillfällena ju längre ledtiderna är. Resultaten visar också att möjlig minskning av kapitalbindningen är större ju fler distributionslager det är fråga om. Detta kan förklaras med att sannolikheten för att det både finns distributionslager som har alldeles för stora lagerkvantiteter vid leveranstillfället och distributionslager som har alldeles för små ökar med ökande antal distributionslager.

10 SLUTSATS

Variationer i efterfrågan förekommer i alla företag. För att kunna uppnå en viss önskad servicenivå till kunder måste man därför använda sig av säkerhetslager. Storleken på de säkerhetslager som behövs är emellertid påverkbart och den här studien har visat att man genom att tillämpa ett antal alternativa strategier påtagligt kan reducera efterfrågevariationerna och därmed den kapitalbindning i säkerhetslager som krävs för att uppnå önskad servicenivå.

REFERENSER

Axsäter, S., Rosling, K. (1993) Installation vs. echelon stock policies for multilevel inventory control, *Management Science*, 39(10), 1274-1280.

Angulo, A., Nachtmann, H., Waller, M. (2004), "Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership", *Journal of Business Logistics*, 25(1), 101-120.

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

Björklund, M., Forslund, H. (2017) Hållbara logistikinnovationer i handels- och logistikföretag, *Bättre Produktivitet*, 1.

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

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

Burbidge, J. (1961) The new approach to production, *Production Engineer*, 40(12).

Croson, R., Donohue, K. (2003), "Impact of pos data sharing on supply chain management: An experimental study", *Production and Operations Management*, 12(1), 1-11.

Disney, S., Towill, D. (2002) A procedure for the optimization of the dynamic response of a vendor managed inventory system, *Computers & Industrial Engineering*, 43, 27-58.

Disney, S., Towill, D. (2003a) On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy, *Omega*, 31, 157-167.

Disney, S., Towill, D. (2003b) Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain, *International Journal of Operations and Production Management*, 23(5/6), 625-651.

Evers, P. (1995) Expanding the square root law, *Logistics and Transportation Review*, March.

Fogarty, D., Hoffmann, T. (1983) *Production and inventory management*, South-Western Publishing Co.

Forslund, H., Jonsson, P. (2007) The impact of forecast information quality on supply chain performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 27(1), 90-107.

Grubbs, F. (1969) Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, 11(1), 1-21.

Hillier, R., Mak, K., Lam, C. (1995) An inventory model for items with demand satisfied from stock or by special deliveries, *International Journal of Production Economics*, 42, 229-236.

Jonsson, P., Mattsson, S-A. (2013) The value of sharing planning information in supply chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(4), 282-299.

Johnston, F., Boylan, J. (1996) Variance laws in inventory management, *International Journal of Production Economics*, 45(1), 343-352.

Kelle, P., Akbulut, A. (2005) The role of ERP tools in supply chain information sharing, *International Journal of Production Economics*, 93, 41-52.

Lambert, D., Bennion, M., (2003) Establishing a minimum order policy, *Journal of Business Logistics*, 7(2).

Lambert, D., Bennion, M., Taylor, J. (2007) The small order problem, *Management Decision*, 28(3).

Laseter, T. (1998) *Balanced sourcing*, Jossey-Bass Publishers.

Lee, H., Billington, C. (1993) Materials management in decentralized supply chains, *Operations Research*, 41(5), 835-847.

Lee, H., Wu, J. (2006) A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system, *Computers & Industrial Engineering*, 51, 257-263.

Lu, Lu. (1995) A one-vendor multi-buyer integrated inventory model, *European Journal of Operational Research*, 81, 312-323.

Maister, D. (1976) Centralisation of inventories and the square root law, *International Journal of Physical Distribution*, 6, 124-134.

- Mather, H. (1996) *Stabilize demand to maximize return on assets*, APICS Conference Proceedings, 94-96.
- Mattsson, S-A. (2007) Standardavvikelser för säkerhetslagerberäkning, *Intern forskningsrapport, Institutionen för teknisk ekonomi och transport*, Lunds Tekniska Högskola.
- Mattsson, S-A. (2012) *Logistik i försörjningskedjor*, Studentlitteratur.
- Olson, C. (1998) The theory of constraints: Application to a service firm, Vitalizing a service parts inventory, *Production and Inventory Management Journal*, 39(2).
- Randal, T., Netessine, S., Rudi, N. (2002) Should you take the virtual fulfillment path, *Supply Chain Management Review*, November/December.
- Sandvig, C., Allairs, J. (1998) Vitalizing a service parts inventory, *Production and Inventory Management Journal*, 39(1).
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2003) *Designing & Managing the Supply Chain*, McGraw-Hill.
- Towill, D. (1996) Industrial dynamics modelling of supply chains, *Logistics Information Management*, 9(4).
- Van Kampen, T., van Donk, D., van der See, D-J. (2010) Safety stock and safety lead time: coping with unreliability in demand and supply, *International Journal of Production Research*, 48(24), 7463-7481.
- Wallace, T. (1998) Controlling abnormal demand, *The Performance Advantage*, March, 92-93.
- Williams, B. (1991) Understanding available resource capacity in the manufacturing sector, *The Performance Advantage*, November.
- Zinn, W., Levi, M. (1989) Measuring the effect of inventory centralization/decentralization on aggregate safety stock, *Journal of Business Logistics*, 10(1), 1-13.