

# Fördelning av säkerhetslager i två-nivåers distributionssystem

Stig-Arne Mattsson

## Sammanfattning

*I distributionssystem av två-nivåtyp finns det i allmänhet omsättningslager och säkerhetslager både centralt och lokalt. Då uppstår frågan om hur man optimalt skall dimensionera och fördela säkerhetslagret mellan det centrala lagret å ena sidan och de lokala lagren å den andra så att man får en önskad servicenivå till slutkund med så liten kapitalbindning som möjligt. Att bestämma säkerhetslager är sålunda inte bara en dimensioneringsfråga utan även en fördelningsfråga eftersom säkerhetslagret centralt inte bara påverkar servicenivån för leveranser till lokala lager utan även säkerhetslagrets storlek i lokala lager och därmed indirekt servicenivån från lokala lager till slutkunder.*

*Bland praktiker i industrin är det en vanligt förekommande föreställning att servicenivån i centrallagret bör vara hög för att säkerställa att servicenivån från lokallagren skall kunna bli hög. Detta medför att säkerhetslagret centralt måste vara jämförelsevis stort. I en del sammanhang argumenterar man till och med för att den helt övervägande delen av det totala säkerhetslagret bör finnas centralt, speciellt för lågomsatta produkter. I forskarvärden finns det delade meningar om vad som är rätt eller fel i det här sammanhanget. Syftet med det projekt som avrapporteras här är att med hjälp av simulering försöka besvara frågan om hur det totala säkerhetslagret i ett distributionssystem bör fördelas lokalt vs centralt för att man vid en given servicenivå mot slutkund skall kunna få så låg kapitalbindning i lager som möjligt.*

*Resultaten från studien visar klart att man kan åstadkomma en önskad servicenivå mot slutkund med betydligt mindre kapitalbindning i säkerhetslager och omsättningslager genom att lägga merparten av säkerhetslagret lokalt. En minskad kapitalbindning på storleksordningen 20 % kan enligt studien uppnås. Slutsatsen är följaktligen att man avsiktligt bör välja att ha en låg servicenivå i leveranserna från centrallager till lokallager och i stället täcka upp de potentiella förseningarna i leveranser till de lokala lagren genom att i stället öka de lokala säkerhetslagren.*

## 1 Bakgrund och syfte

För distribution av lagerförda standardprodukter kan man något förenklat skilja mellan två olika renodlade typer av distributionssystem, direktdistribution till slutkund från ett centralt lager och distribution från ett centrallager till lokala lager från vilka direktdistribution i sin tur sker till slutkund på lokala marknader. Distributionssystem med

centrallager och ett antal lokala lager som försörjs av ett centralt lager är ett så kallat multi-echelon system med två nivåer.

I lager av produkter brukar man ur distributionssynpunkt skilja mellan omsättningslager och säkerhetslager. Omsättningslager används för att av ekonomiska skäl kunna leverera större kvantiteter åt gången än vad som motsvaras av det omedelbara behovet medan säkerhetslager används för att gardera sig mot oförutsägbara variationer i efterfrågan.

I ett traditionellt distributionssystem av två-nivåtyp finns det omsättningslager och säkerhetslager både centralt och lokalt. Då uppstår frågan om hur man optimalt skall dimensionera och fördela säkerhetslagret mellan det centrala lagret å ena sidan och de lokala å den andra så att man får en önskad servicenivå till slutkund. Denna fråga utgör ett mycket komplicerat problem som det inte finns någon entydig teori för att besvara. Inte desto mindre är det av stor betydelse att i praktiken kunna uppnå en rimligt optimal lösning för att inte i onödan binda kapital.

Anledningen till att det inte endast är en dimensioneringsfråga utan även en fördelningsfråga är att säkerhetslagret centralt inte bara påverkar servicenivån för leveranser till lokala lager utan även säkerhetslagrets storlek i lokala lager och därmed indirekt servicenivån från lokala lager till slutkunder. Ett sådant samband föreligger inte för omsättningslager. Där kan dimensioneringen med fullt godtagbar noggrannhet ske individuellt centrallager för sig och lokala lager för sig oberoende av varandra. Det föreligger med andra ord ingen fördelningsfråga för omsättningslager i tvånivåers distributionssystem om man bortser från att orderkvantiteternas storlek och därmed omsättningslagret påverkar säkerhetslagret.

Syftet med det projekt som avrapporteras här är att analysera hur den totala kapitalbindningen i lager påverkas av hur säkerhetslager fördelas mellan centrallager och lokala lager vid en given önskad servicenivå. Som framgår av formuleringen är avsikten att studera påverkan på den totala kapitalbindningen, dvs. summan av omsättningslager och säkerhetslager, trots att det ovan formulerade problemet gällde säkerhetslagret. Grundproblemet är fortfarande fördelning av säkerhetslager men effekten av fördelningen måste mätas med avseende på det totala lagret eftersom omsättningslagrets storlek påverkar säkerhetslagrets storlek och tvärtom. För att få en så realistisk analys- och utvärderingsmodell som möjligt har studien baserats på diskret simulering.

## 2 Teoretisk bakgrund

För två-nivåsystem kan man tänka sig följande olika kombinationer beroende på om omsättningslager och säkerhetslager förekommer både centralt och lokalt eller ej.

1. Omsättningslager och säkerhetslager både centralt och lokalt
2. Omsättningslager både centralt och lokalt samt säkerhetslager endast lokalt
3. Omsättningslager både central och lokalt samt säkerhetslager endast centralt

I princip finns också kombinationer utan omsättningslager centralt respektive utan omsättningslager lokalt. Då kan man emellertid inte i full bemärkelse tala om två-nivåers lager system. Enligt Rosenfield och Pendrock (1980) kallas alternativ 2 ett kopplat två-

nivåsystem och alternativ 3 ett oberoende tvånivåsystem. Båda dessa alternativ kan betraktas som ytterlighetsalternativ till alternativ 1.

Som ett uttryck för hur lagret är fördelat mellan centralt lager och lokala lager har Whybark och Yang (1996) introducerat begreppet fördelningsförhållande. Det definieras som förhållandet mellan summa lagerkvantitet i lokala lager och lagerkvantiteten i hela systemet. Ett fördelningsförhållande på 1 innebär följaktligen att det inte finns något lager alls centralt och 0 att det inte finns något lager alls lokalt. Det kan noteras att fördelningsförhållandet inkluderar både omsättningslager och säkerhetslager. Motivet för detta är detsamma som redovisades ovan, dvs beroendeförhållandet mellan omsättningslagrets och säkerhetslagrets storlek för att uppnå en given servicenivå.

Av de studier avseende fördelning av säkerhetslager i tvånivåsystem som redovisats i litteraturen kan man skilja mellan studier som bygger på analytiska modeller och sådana som bygger på simulering. De analytiska modellerna karakteriseras av mycket restriktiva och verklighetsfrämmande antaganden, exempelvis att uttagskvantiteterna är ett eller att orderkvantitet och beställningspunkt i centrallagret är heltalsmultiplar av en standardorderkvantitet från lokala lager. Merparten av dem bortser också från den ömsesidiga påverkan som förekommer mellan ledtiden för påfyllning av lokala lager och bristsituationen i centrallagret. De bygger genomgående på kostnadsoptimering och förutsätter att bristkostnaden per enhet och tidsenhet kan uppskattas. I de flesta fall är analyserna begränsade till antagande om normal- eller Poissonfördelad efterfrågan. Erhållna resultat är mycket motsägelsefulla. Som exempel drar Jackson (1988) samt Jönsson och Silver (1987) slutsatsen att det föreligger avsevärda fördelar med att fördela merparten av lagrade kvantiteter till centrallagret medan Schwarz et al. (1985), Marklund (1999) samt Bardinelli och Schwarz (1988) förordar att mycket lite av den totala lagerkvantiteten bör placeras centralt. Tempelmeier (1993) drar på basis av sina analyser slutsatsen att det alltid är optimalt med negativa säkerhetslager centralt.

De studier som baseras på simulering bygger på väsentligen mindre restriktiva antaganden. Även i detta fall är emellertid slutresultaten motsägelsefulla. Chakravarty och Shtub (1986) drar från sin analys slutsatsen att det är fördelaktigt att i stor utsträckning positionera säkerhetslagret centralt medan Whybark och Yang (1996) förordar decentralisering av säkerhetslagret.

En förklaring till att olika resultat erhållits, speciellt i fallet med analytiska modeller, torde vara att man utgår från olika lagerstyrningsmodeller och gör olika förenklade antaganden som endast delvis redovisas. En än viktigare förklaring som påpekas av Whybark och Yang (1996) är att i merparten av de analyser som publicerats har hänsyn inte tagits till inleveransfrekvenser vid lagerpåfyllning, dvs. till storleken på orderkvantiteterna. Använda orderkvantiteter har som påpekats ovan en avsevärd påverkan på säkerhetslagret och måste därför beaktas om man vill uppnå tillförlitliga resultat. Exempelvis har sådan hänsyn inte tagits i de studier som använt cykelservice .

### 3 Simuleringsmodell för analys av olika fördelningsalternativ

För att analysera hur kapitalbindningen i lager påverkas av hur säkerhetslagret fördelas mellan centrallager och lokala lager i två-nivåers distributionssystem vid en given önskad servicenivå och för olika efterfrågestrukturer har händelsestyrd simulering med

hjälp av Excel och makroprogram skrivna i Visual Basic använts. Händelsestyrd simulering av lager innebär att händelser av typ att erhålla order och få inleveranser successivt inträffar och att lagerstyrningskonsekvenserna av dessa händelser beräknas och utförs, exempelvis i form av utleveranser och generering av nya lagerpåfyllnadsorder.

Som framgick av föregående avsnitt har analytiska modeller utvecklats för att behandla problem av den typ som är aktuell här och sådana modeller skulle därför i princip även kunnat användas i det här projektet. För att möjliggöra användning av analytiska modeller krävs emellertid att det görs en hel del förenklande antaganden som är verklighetsfrämmande och som försämrar studiens reliabilitet och validitet. Med analytiska modeller kan man inte heller studera den dynamiska och ömsesidiga påverkan som sker mellan centrallager och lokallager, exempelvis i form av att brist i centrallagret leder till leveranstidsförseening i lokala lager och att efterfrågevariationerna i centrallagret beror på orderstorlekarna i de lokala lagren.

Tre olika efterfrågescenarier har använts för vardera av nio olika lokala lager. Ett scenario avser artiklar med mycket lågfrekvent omsättning, ett med lågfrekvent omsättning och ett med högfrekvent omsättning. Efterfrågekaraktistiken för de olika scenarierna framgår av tabell 1. Tabellen visar inom vilka gränser som efterfrågan och standardavvikelse varierar för de nio lager som analyserats. Som framgår av tabellen förekommer efterfrågan ungefär var tionde dag för scenariot med mycket låg efterfrågefrekvens, var tredje dag för scenariot med låg efterfrågefrekvens och var dag för scenariot med hög efterfrågefrekvens. Totalt har för varje lokallager och scenario efterfrågan under 6000 dagar genererats som underlag för analyserna.

Tabell 1 Efterfrågekaraktistisk för lokallagren i de olika scenarierna

<i>Scenario</i>	<i>Efterfrågan per dag</i>	<i>Andel dagar med efterfrågan</i>	<i>Standardavvikelse per dag</i>
1 Mycket låg omsättning	0,3 – 0,6	9 %	1,1 – 1,8
2 Låg omsättning	1,4 – 3,5	36 %	2,5 – 5,8
3 Hög omsättning	32,4 – 74,5	100 %	11,8 – 27,3

Från den genererade efterfrågan har lagerpåfyllnadsorder skapats för vart och ett av tre respektive nio lokala lager med hjälp av simulering och säkerhetslagret har dimensionerats så att en fyllnadsgradsservice på 97 % erhållits. Detta har åstadkommit genom att successivt anpassa den fyllnadsgrad som används för dimensionering av säkerhetslagren tills den önskade servicenivån erhållits. För centrallagret har tre olika servicenivåalternativ studerats, ett med en erhållen servicenivå på 97 %, ett med en erhållen servicenivå på 87 % och ett med en erhållen servicenivå på 77 %. I samtliga fall har det även i det här fallet åstadkommit genom en successiv anpassning av dimensionerande fyllnadsgrad.

Ledtiden för lagerpåfyllnadsorder i centrallagret har satts till 10 dagar och för lagerpåfyllnad i lokala lager till 1 respektive 2 dagar. De orderstorlekar som använts har uttryckts i antal dagars täcktid, dvs som längden på en lagercykel. Två olika fall har analyserats, ett med små orderkvantiteter och ett med stora orderkvantiteter. Använda or-

derstorlekar centralt och lokalt framgår av tabell 2. För de lokala lagren har olika orderstorlekar använts och anges i form av intervall i tabellen.

Tabell 2 Använda orderstorlekar i centrallager och lokala lager uttryckta som antal dagars täcktid

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Centrallager</i>	<i>Lokala lager</i>
1	20	16 – 24
	40	32 – 48
2	10	8 – 12
	20	16 – 24
3	10	4 – 6
	10	8 – 12

Den genererade efterfrågan och de valda orderstorlekarna gav upphov till en efterfrågan i centrallagret från de lokala lagren enligt tabell 3. Standardavvikelsen är baserad på fallen med de stora orderstorlekarna.

Tabell 3 Efterfrågans medelvärde och standardavvikelse per dag i centrallagret för de olika efterfrågescenarierna och för 3 respektive 9 lokala lager

<i>Efterfrågestruktur</i>		<i>3 lokala lager</i>	<i>9 lokala lager</i>
1	Medelefterfrågan	1,5	4,6
	Standardavvikelse	3,8	6,4
2	Medelefterfrågan	7,9	23,2
	Standardavvikelse	16,2	26,4
3	Medelefterfrågan	164,0	490,0
	Standardavvikelse	313,1	528,1

Som lagerstyrningsmodell vid simuleringskörningarna har ett beställningspunktssystem av typ periodinspekterat (s,S)-system använts (Silver-Pyke-Peterson, 1998, sid 238). (s,S)-system har valts i stället för (s,Q)-system för att på ett bra sätt kunna hantera de mest lågomsatta och lågrörliga efterfrågescenarierna. Om fast orderstorlek skulle valts med den låga medelefterfrågan det är fråga om för dessa scenarier samtidigt som enstaka kundorder kan avse stora kvantiteter skulle åtskilliga inleveransorder i tät följd behöva ha genererats för att täcka behov från redan inkomna order.

Med hjälp av modellen simulerades dagliga uttag, jämförelser mot beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo i både lokala lager och det centrala lagret. När de sex tusen dagarna simulerats beräknades erhållen servicenivå i centrallager och lokallager.

## 4 Resultat och analys

Resultaten från simuleringarna för olika kombinationer av ledtider och orderkvantiteter samt för de tre olika efterfrågestrukturerna sammanfattas i tabell 4 och 5. Tabell 4 avser fallet med ett centrallager och tre lokala lager och tabell 5 fallet med ett centrallager och nio lokala lager. Tabellkolumnerna 3 och 4 avser lagerförändring i procent vid sänkning

av servicenivån i centrallagret från 97 % till 87 respektive 77 % medan kolumn 5 – 7 avser det ovan definierade fördelningsförhållandet.

Tabell 4 Fördelningsförhållanden och procentuella förändringar av lager för olika efterfrågestrukturer, ledtider och orderkvantiteter och vid förändring av servicenivån i centrallagret – 3 lokala lager

Efterfrågestruktur	Ledtid / Orderkvant.	Lagerförändring		Fördelningsförhållande		
		87 %	77 %	97 %	87 %	77 %
1	1 / 5	-18	-24	0,30	0,36	0,38
	2 / 10	-21	-26	0,42	0,54	0,57
	2 / 5	-17	-20	0,31	0,38	0,39
2	1 / 10	-18	-26	0,44	0,54	0,60
	2 / 20	-18	-26	0,42	0,52	0,57
	2 / 10	-18	-25	0,47	0,57	0,63
3	1 / 20	-16	-20	0,45	0,54	0,53
	2 / 40	-15	-21	0,44	0,52	0,56
	2 / 20	-15	-21	0,49	0,58	0,63

Av tabell 4 framgår att den totala kapitalbindningen i lager, dvs summan av omsättningslager och säkerhetslager, minskar påtagligt när man sänker servicenivån i centrallagret. Sänkningen innebär att säkerhetslagret måste öka i de lokala lagren för att kunna bibehålla en oförändrad servicenivå mot slutkund på 97 %. Denna ökning är emellertid mindre än den minskning av säkerhetslagret i centrallagret som den där sänkta servicenivån för med sig. Resultaten är likartade oavsett efterfrågestruktur, ledtid och storlek på inleveransorderna. Minskningen av kapitalbindningen är storleksordningen 25 % för produkter med hög och låg efterfrågefrekvens och 20 % för produkter med mycket låg efterfrågefrekvens. Det finns inget i studien som säger att lagerförändringen blir som störst när servicenivån sätts till 77 %. Sannolikt kommer lagret att kunna sänkas ytterligare om man använder ännu något lägre servicenivåer. Resultaten för fallet med nio lokala lager är praktiskt taget desamma även om lagerminskningen är något mindre än för fallet med tre lokala lager. Se tabell 5. Minskningen av kapitalbindning är storleksordningen 20 % för produkter med hög och låg efterfrågefrekvens och 15 % för mycket låg efterfrågefrekvens.

Tabell 5 Fördelningsförhållanden och procentuella förändringar av lager för olika efterfrågestrukturer, ledtider och orderkvantiteter och vid förändring av servicenivån i centrallagret – 9 lokala lager

Efterfrågestruktur	Ledtid / Orderkvant.	Lagerförändring		Fördelningsförhållande		
		87 %	77 %	97 %	87 %	77 %
1	1 / 5	-16	-20	0,32	0,38	0,40
	2 / 10	-14	-21	0,46	0,54	0,58
	2 / 5	-14	-18	0,33	0,39	0,40
2	1 / 10	-14	-20	0,53	0,62	0,66
	2 / 20	-16	-21	0,50	0,59	0,62
	2 / 10	-13	-18	0,55	0,64	0,67
3	1 / 20	-10	-13	0,59	0,66	0,69
	2 / 40	-12	-15	0,54	0,61	0,64
	2 / 20	-10	-13	0,62	0,69	0,71

De erhållna resultaten stöder slutsatserna från Whybark och Yangs (1996) simuleringsstudier samt Marklunds (1999) och Bardinelli och Schwarzs (1988) analytiska studier, dvs att säkerhetslagret i stor utsträckning bör positioneras så nära slutkunderna som möjligt. Chakravarty och Shtub (1986) simuleringsstudie kom till ett motsatt resultat. Som framgick ovan kan detta förklaras av att de i sin studie inte tog någon hänsyn till inleveransfrekvens och därmed orderstorlekar.

I tabellerna redovisas också det så kallade fördelningsförhållandet, dvs förhållandet mellan summa lagerkvantiteter i de lokala lagren och lagerkvantiteten i hela systemet. Ju högre detta förhållande är desto större andel av lagret finns lokalt. Som framgår av tabellerna ökar fördelningsförhållandet ju lägre servicenivå man har i centrallagret. Skillnaderna i fördelningsförhållanden mellan 97 % servicenivå i centrallagret och 77 % i centrallagret kan förefalla små men då skall man beakta att det endast är säkerhetslagret som ompositionerats, inte omsättningslagret. Eftersom hög efterfrågefrequens ger små säkerhetslager i förhållande till omsättningslager vid i övrigt likvärda förhållanden är detta också en förklaring till att fördelningsförhållandet och förändringen av det är mindre för fallet med hög efterfrågefrequens jämfört med fallen med låg respektive mycket låg efterfrågefrequens.

Både Caron – Marchet (1996) och Tempelmeier (1991) hävdar att ledtidens längd har en stor betydelse för hur säkerhetslagret skall positioneras. Enligt den här studien stämmer detta i mycket begränsad utsträckning. Att så är fallet kan emellertid förklaras med att det i den här studien är fråga om mycket korta ledtider och små ledtidsskillnader.

## 4 Sammanfattning och slutsatser

I distributionssystem av två-nivåtyp finns det omsättningslager och säkerhetslager både centralt och lokalt. Då uppstår frågan om hur man optimalt skall dimensionera och fördela säkerhetslagret mellan det centrala lagret å ena sidan och de lokala lagren å den andra så att man får en önskad servicenivå till slutkund med så liten kapitalbindning som möjligt. Att bestämma säkerhetslager är sålunda inte bara en dimensioneringsfråga utan även en fördelningsfråga eftersom säkerhetslagret centralt inte bara påverkar servicenivån för leveranser till lokala lager utan även säkerhetslagrets storlek i lokala lager och därmed indirekt servicenivån från lokala lager till slutkunder.

Resultaten från studien visar klart att man kan åstadkomma en önskad servicenivå mot slutkund med betydligt mindre kapitalbindning i säkerhetslager och omsättningslager genom att lägga merparten av säkerhetslagret lokalt. En minskad kapitalbindning på storleksordningen 20 % kan enligt studien uppnås. Slutsatsen är följaktligen att man avsiktligt bör välja att ha en låg servicenivå i leveranserna från centrallager till lokallager och i stället täcka upp de potentiella förseningarna i leveranser till de lokala lagren genom att öka de lokala säkerhetslagren.

## Referenser

Bardinelli, D. – Schwarz, B. (1988) Backorder optimization in a one-warehouse N-identical retailer distribution system, Naval Research Logistics, Vol. 35, sid 427-440.

Caron, F. – Marchet, G. (1996) The impact of inventory centralization/decentralization on safety stock for two-echelon systems, *Journal of Business Logistics*, Vol. 17 No. 1.

Chakravarty, A – Shtub, A (1986) Simulation safety stock allocation in a two-echelon distribution system, *International Journal of Production Research*, Vol. 24. sid 1245-1253.

Jackson, P. Stock allocation in a two-echelon distribution system, *Management Science*, Vol. 34, sid 880-895.

Jönsson, H. – Silver, E. (1987) Stock allocation among a central warehouse and identical regional warehouses in a particular push inventory control system, *International Journal of Production Research*, Vol. 25, sid 191-205.

Marklund, J. (1999) Centralized inventory control in a two-level distribution system with Poisson demand, *Doktorsavhandling, Institutionen för Teknisk Ekonomi och Logistik, Lunds Universitet*.

Rosenfield, D. – Pendrock, M. (1980) The effects of warehouse configuration design on inventory levels and holding costs, *Sloan Management Review*, Vol. 21 No. 4.

Schwarz, B. – Deuermeyer, L. – Badinelli, D. (1985) Fill-rate optimization in a one warehouse N-identical retailer distribution systems, *Management Science*, Vol. 31, sid 488-498.

Tempelmeier, H. (1993) Safety stock allocation in a two-echelon distribution system, *European Journal of Operations Research*, Vol. 63, sid 96-117.

Whybark, C. – Yang, S. (1996) Positioning inventory in distribution systems, *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, sid 271-278.