

Ledtidens och ledtidsvariationens betydelse för säkerhetslagrets storlek

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

Ett lagerstyrningssystemets effektivitet påverkas av ledtidens längd för återpåfyllnad av lager och av hur mycket ledtiden varierar. Detta gäller oavsett vilken metod som används för lagerstyrningen. Båda faktorerna bidrar till ökande efterfrågeosäkerhet och därmed till hur stora säkerhetslager man måste ha för att säkerställa en önskad servicenivå. Det är följaktligen av intresse att veta i vilken utsträckning långa ledtider och stora ledtidsvariationer påverkar säkerhetslagrets storlek och under vilka omständigheter detta i första hand sker. Med sådan vetskap kan man få beslutsunderlag för att prioritera de rationaliseringsinsatser som ger störst påverkan på lagerstyrningens effektivitet i förhållande till de resursinsatser som krävs.

I den här rapporten redovisas resultaten från en analys av sambanden mellan behovet av säkerhetslager respektive storleken på lagerstyrningskostnaderna och ledtidens längd och variation. Studien omfattar både en teoretisk jämförelse och en jämförelse baserad på simulering av operativ verksamhet i ett lager för tre olika efterfrågefall. De resultat som erhållits och slutsatser baserade på dessa resultat kan sammanfattas i följande punkter.

Säkerhetslagrets storlek ökar med ledtiden i huvudsak endast under förutsättning att ledtidsvariationerna är små.

Ju större efterfrågan är desto mindre roll spelar ledtidens längd för hur stort säkerhetslagret bör vara för att uppnå en viss servicenivå.

Säkerhetslagrets storlek påverkas starkt av hur stora ledtidsvariationerna är, speciellt vid korta ledtider.

Om man vill reducera säkerhetslagrets storlek och efterfrågan är starkt varierande bör man i första hand reducera ledtiden. Är däremot efterfrågan någorlunda jämn bör man i första hand eftersträva att reducera variationerna i ledtid snarare än medelledtiden.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Inspirerade av just-in-time filosofi och flödesorientering har företag under många år genomfört omfattande insatser för att minska ledtiderna vid anskaffning, i produktionen såväl som vid leverans till kund. Säkerligen har dessa insatser haft stor betydelse för företagens förmåga att vara kostnadseffektiva och för att kunna konkurrera på en allt mer snabbföränderlig och konkurrensutsatt marknad. Korta ledtider är också en förutsättning för att effektivt kunna tillämpa pullbaserad materialstyrning.

Den uppmärksamhet som reduktion av ledtider fått märks också i facktidskrifter och på konferenser. Man kan läsa om och lyssna på erfarenheter från en stor mängd framgångsrika projekt för att sänka ledtider i olika led i försörjningskedjorna. Imponerande resultatförbättringar har också redovisats. Det känns som om den här typen av förbättringsåtgärder varit en av de mest prioriterade under flera års tid.

Alla är säkert överens om att initiativ och åtgärder för att åstadkomma kortare ledtider både är viktiga och riktiga. Det som emellertid känns något förvånande är att det inte förefaller att ha funnits ett liknande intresse och engagemang för att åstadkomma stabila ledtider. Det är exempelvis sällsynt att någon skriver om eller talar om genomförda projekt eller andra typer av insatser för att minska variationer i ledtider. Det verkar som om det vore viktigare att åstadkomma korta ledtider än att åstadkomma stabila ledtider. Så är säkert fallet i många sammanhang, men inte alltid. I vissa sammanhang kan stabila ledtider vara väl så betydelsefulla. Inte minst därför att stabila ledtider är en förutsättning för att uppnå en tillfredsställande leveranstidshållning

1.2 Problemdiskussion och forskningsfråga

Både längden på och variationerna i förekommande ledtider är av stor betydelse för att kunna uppnå en effektiv lagerstyrning, dvs så att kapitalbindningen i lager blir så låg som möjligt samtidigt som kostnaderna för att genomföra beställningar och inleveranser är låga och bristsituationer i möjligaste mån kan undvikas.

All lagerstyrning är förknippad med osäkerhet. Oavsett vilken styrningsmetod man använder är det därför i allmänhet nödvändigt att gardera sig mot sådan osäkerhet, oftast genom att använda ett säkerhetslager som buffert. Hur sådana säkerhetslager dimensioneras blir därför avgörande för styrningens effektivitet.

De osäkerheter det i första hand är fråga om vid lagerstyrning är hur stor efterfrågan per period kommer att vara, hur lång ledtiden för återanskaffning kommer att vara samt hur mycket den kommer att variera från order till order. Av dessa tre osäkerhetsfaktorer är efterfrågan per period i regel inte eller endast mycket begränsat påverkbar av företaget. Den bestäms till största delen av marknaden och marknadens övriga aktörer. Däremot kan både ledtidens längd och dess variation påverkas.

Både ledtidens längd och hur mycket den varierar avgör hur stora säkerhetslager man måste ha för att uppnå en viss önskvärd servicenivå. Att man måste ta hänsyn till både längd och variation har bland andra påpekats av Martha och Subbakrishn (2002). Det är därför av intresse att veta i vilka sammanhang och under vilka omständigheter som led-

tidens längd respektive dess variation är av störst betydelse med avseende på säkerhetslagrets storlek. Genom att ha kännedom om dessa förhållanden kan man få underlag för att prioritera sådana åtgärder och investeringar som har störst betydelse för lagerstyrningens effektivitet. Resonemanget leder fram till följande forskningsfråga.

- Vad finns det för samband mellan behovet av säkerhetslager och ledtidens längd respektive ledtidens variation under olika efterfrågeförhållanden?

1.3 Syfte och avgränsningar

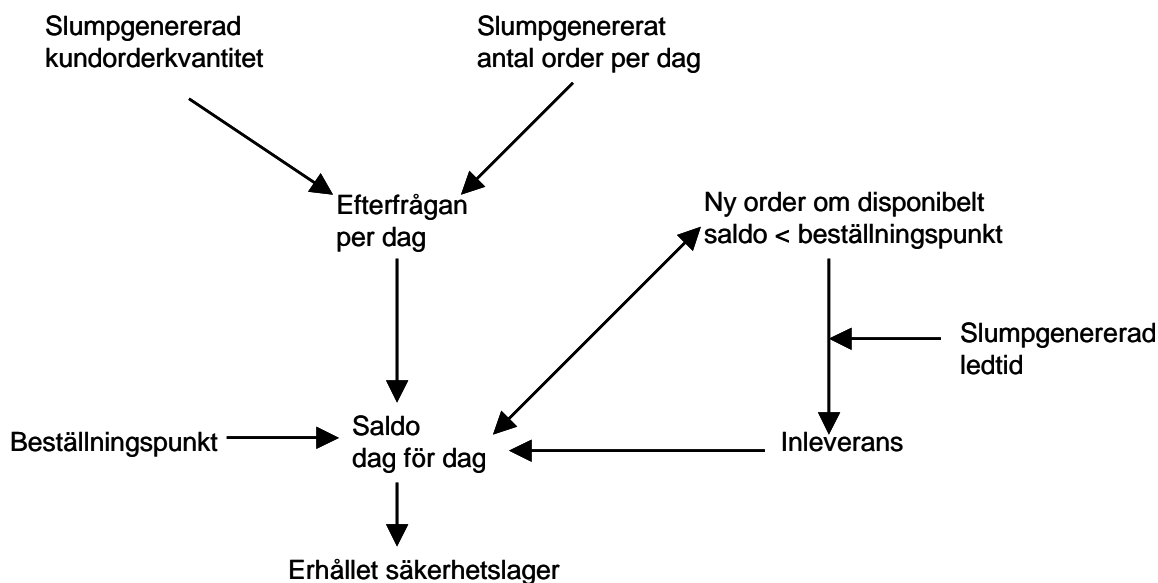
Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i denna rapport är att belysa vad ledtidens längd och dess variation betyder ur lagerstyrningssynpunkt med avseende på erforderligt säkerhetslager för att uppnå en önskad servicenivå. Syftet är också att belysa under vilka omständigheter som förändringar i ledtidens längd respektive dess variation har störst betydelse i dessa avseenden. I första hand är målsättningen att åstadkomma praktiskt användbara riktlinjer som kan användas som underlag för att prioritera åtgärder för att åstadkomma bättre förutsättningar för en effektivare lagerstyrning.

Endast fall med så kallad oberoende efterfrågan behandlas. Likaså förutsätts att order som erhålls i samband med att brist föreligger inte går förlorade utan får levereras vid senare tillfälle när lagret fyllts på. Efterfrågan förutsätts variera slumpmässigt under året och utan inslag av trender eller säsongvariationer. Vid analyserna av sambanden mellan säkerhetslager och ledtider har hänsyn inte tagits till att prognosfelen och därmed den MAD som används vid säkerhetslagerdimensionering kan påverkas.

2 Angreppssätt och simuleringsmodell

I princip kan forskningsfrågan besvaras med hjälp av analys baserad på teoretiska beräkningsmodeller. Det är emellertid också av intresse att studera hur stora säkerhetslagren blir om de teoretiska modellerna tillämpas under mer verklighetsnära förhållanden och i vilken utsträckning samma resultat uppnås. Forskningsfrågan har därför också studerats med hjälp av simulering. Simuleringarna har genomförts i Excel och baseras på användning av beställningspunktsmetoden för lagerstyrning. Erhållna resultat är emellertid trots detta lika tillämpliga om man använder sig av andra lagerstyrningsmetoder som täcktidsplanering eller materialbehovsplanering.

Simuleringarna baseras på en slumpgenererad efterfrågan per dag. Denna slumpgenererade efterfrågan har skapats genom att kombinera slumpmässigt bestämda kundorderkvantiteter och slumpmässig bestämning av antal order per dag. En översiktlig illustration av simuleringsmodellen visas i figur 1.



Figur 1 Översikt över den använda simuleringsmodellen

Tre olika efterfrågescenarier har använts. Ett scenario avser artiklar med låg omsättning, ett med medelhög omsättning och ett med hög omsättning. I scenariot med låg omsättning erhålls i medeltal en kundorder per månad med en kvantitet på mellan 1 och 3 styck, dvs. motsvarande i genomsnitt en efterfrågan på 2 styck per månad. Över de 100 år som simuleringarna genomförts varierar efterfrågan mellan 0 och 7 styck per månad. I scenariot med medelhög omsättning erhålls i medeltal en kundorder per dag med en kvantitet på mellan 1 och 3 styck motsvarande en efterfrågan på i genomsnitt 10 styck per vecka. Under de simulerade åren varierar efterfrågan mellan 13 och 81 styck per månad och är i medeltal cirka 42 styck. I scenariot med hög omsättning erhålls i medeltal 10 kundorder per dag med en kvantitet på i medeltal 5 styck per order, dvs. motsvarande i snitt 250 styck per vecka. Efterfrågan under de simulerade åren varierar mellan 640 styck och 1476 styck per månad med ett medeltal på cirka 1057 styck. I övrigt karakteriseras de tre scenarierna enligt tabell 1. Variationskoefficienten avser efterfrågevariationen per månad.

Tabell 1: Datauppgifter som använts vid simulering av de olika scenarierna

	<i>Efterfrågan per år</i>	<i>Variationskoefficient</i>	<i>Orderkvantitet</i>	<i>Täcktid</i>
Låg omsättning	24	1,08	12	126 dagar
Medelhög oms.	500	0,24	80	40 dagar
Hög omsättning	12600	0,13	1000	20 dagar

Ledtiderna har erhållits genom slumpgenerering från definierade diskreta sannolikhetsfördelningar. Dessa sannolikhetsfördelningar framgår av tabell 2 och har använts när medelledtiden satts till 20 dagar. De fyra fördelningarna för att generera varierande ledtider gav en standardavvikelse på 0.71, 1.17, 1.99 respektive 2.83 dagar. När olika ledtider analyserats har variationen i samtliga fall satts till +/- 4 dagar.

Tabell 2 Diskreta sannolikhetsfördelningar för generering av varierande ledtider

<i>Ledtids variation</i>	<i>+/- 1 dag</i>	<i>+/- 2 dagar</i>	<i>+/- 4 dagar</i>	<i>+/- 6 dagar</i>
- 6				0,02
- 5				0,04
- 4			0,04	0,06
- 3			0,08	0,08
- 2		0,11	0,12	0,10
- 1	0,25	0,22	0,16	0,12
0	0,5	0,34	0,20	0,14
+ 1	0,25	0,22	0,16	0,12
+ 2		0,11	0,12	0,10
+ 3			0,08	0,08
+ 4			0,04	0,06
+ 5				0,04
+ 6				0,02

Beställningspunkten har beräknats på traditionellt sätt som summan av prognostiserad förbrukning under ledtiden plus ett säkerhetslager som beräknats med utgångspunkt från efterfrågans standardavvikelse under ledtid inklusive ledtidsvariation, dvs med hjälp av formel 3.3 nedan, och en önskad servicenivå. Servicenivån har definierats som sannolikheten att brist inte uppstår under en lagercykel. Efterfrågans fördelning under ledtid har antagits vara normalfördelad. Startlagret har vid varje simuleringskörning beräknats som halva orderkvantiteten + säkerhetslagret.

Generering av nya order bygger på antagandet att man alltid accepterar den vid varje tillfälle från leverantör respektive egen produktion gällande ledtiden, vare sig den är kortare eller längre än den som beställningspunkterna dimensionerats för.

3 Samband mellan ledtid respektive ledtidsvariation och beräknade säkerhetslager

Sambandet mellan säkerhetslagrets storlek och ledtidens längd respektive variation har analyserats för ett antal olika fall med hjälp av teoretiska beräkningsmodeller. Resultaten från dessa olika fall redovisas nedan.

I samtliga fall har beräkningarna avsett en servicenivå definierad som sannolikheten att brist inte inträffar under en lagercykel. Säkerhetslagrets storlek blir därmed $k \cdot \sigma$ där k = den säkerhetsfaktor som bestäms av önskad servicenivå och σ = efterfrågans standardavvikelse under ledtiden. Både efterfrågan och ledtiden antas vara normalfördelad.

3.1 Samband mellan konstanta ledtider och säkerhetslager

I lagerstyrningssystem brukar efterfrågevariationer uttryckas som en standardavvikelse per period, i allmänhet beräknat per prognosperiod som $1,25 \cdot \text{MAD}$, dvs som 1,25 gånger absoluta medelprognosfelet. För att kunna dimensionera säkerhetslager måste man emellertid känna till standardavvikelsen under ledtiden. För fallet med konstant

ledtid gäller följande samband mellan standardavvikelsen under ledtiden och standardavvikelsen under en period, exempelvis en prognosperiod (Silver – Peterson, 1985, sid 131).

$$\sigma(LT) = LT^n \cdot \sigma(D) \dots\dots\dots 3.1$$

där $\sigma(LT)$ = standardavvikelsen under ledtiden
 LT = ledtidens längd i prognosperioder
 $\sigma(D)$ = efterfrågans standardavvikelse per period
 n = koefficient vars storlek beror på karaktären på prognosfelen

Koefficienten n kan bestämmas med hjälp av simulering baserad på emiriska data. För vanligt förekommande efterfrågemönster ligger den mellan 0,5 och 1 (Hax – Candea, 1984, sid 177). Om man antar att de periodvisa prognosfelen varierar slumpmässigt och oberoende av varandra är koefficienten lika med 0,5. Sambandet mellan standardavvikelsen under ledtiden och standardavvikelsen under en prognosperiod blir då följande.

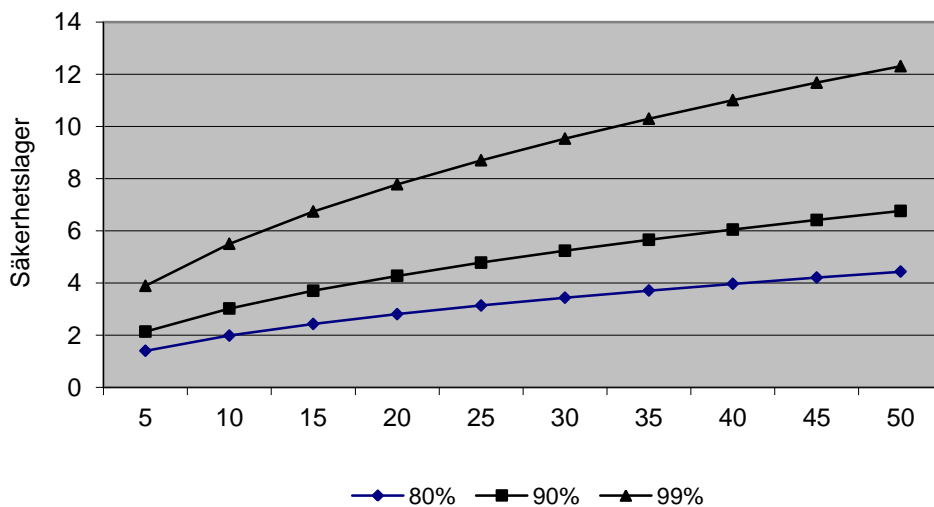
$$\sigma(LT) = \sqrt{LT} \cdot \sigma(D) \dots\dots\dots 3.2$$

Detta samband är vanligt använt i praktiken (Se exempelvis Flagan, 1984). Med hjälp av sambandet blir säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidens längd i dagar vid olika servicenivåer enligt tabell 3. Efterfrågan har antagits vara 20 stycken i medeltal per vecka och dess standardavvikelse 1,67 per vecka, dvs efterfrågan varierar i huvudsak mellan 15 och 20 stycken per vecka. Efterfrågestrukturen motsvarar en variationskoefficient på 0,08.

Tabell 3 Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtid i dagar vid olika servicenivåer

Servicenivå	Säkerhetslager vid ledtid lika med									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
80%	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4
85%	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5
90%	2	3	4	4	5	5	6	6	6	7
95%	3	4	5	6	6	7	7	8	8	9
97,5%	3	5	6	7	7	8	9	9	10	10
99%	4	6	7	8	9	10	10	11	12	12

Som framgår av tabellen ökar säkerhetslagret med ökande ledtider. I grova drag fördubblas säkerhetslagrets storlek när ledtiden fyrdubblas. Sambandet illustreras för tre av de inkluderade servicenivåerna i figur 2.



Figur 2 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och leddid vid olika servicenivåer

Motsvarande resultat med samma servicenivåer men med annan efterfrågan och efterfrågevariation har redovisats av Brauer (1985). Motsvarande resultat vid Poissonfördelad efterfrågan har också påvisats av Blumenfeld m fl (1999).

3.2 Samband mellan varierande leddider och säkerhetslager

I normala fall varierar inte bara efterfrågan under leddiden utan även leddiden varierar från order till order. Säkerhetslagrets storlek för att uppnå en viss önskvärd servicenivå påverkas följaktligen både av leddidens längd och av dess variation vid ett visst givet efterfrågemönster. Den samlade effekten av efterfrågevariationer per period och leddidsvariationer måste därför beräknas. Este (1973) använder sig av en metodik där uppskattade diskreta sannolikheter för olika stora efterfrågevärden per period kombineras med uppskattade diskreta sannolikheter för olika långa leddider till ett gemensamt sannolikhetsmått, så kallad joint probability. Tillvägagångssättet är emellertid arbetskrävande och kräver dessutom manuella uppskattningar som är svåra att åstadkomma. Det är därför begränsat användbart i praktiken. I stället väljs här en metod som är betydligt vanligare och som är rimligt enkel att tillämpa.

Om prognosfelet per period och leddiderna varierar slumpmässigt oberoende av varandra kan man visa att följande samband gäller för den sammanlagda standardavvikelsen för efterfrågans variation under leddiden (Herron,1987 och Axsäter, 1991, sid 65).

$$\sigma (LTD) = \sqrt{LT \cdot \sigma(D)^2 + D^2 \cdot \sigma (LT)^2} \dots\dots\dots 3.3$$

- där $\sigma (LTD)$ = den resulterande standardavvikelsen för efterfrågan under leddiden
- LT = leddidens längd i prognosperioder
- $\sigma(D)$ = efterfrågans standardavvikelse per period
- D = medelefterfrågan per period
- $\sigma (LT)$ = leddidens standardavvikelse i antal perioder

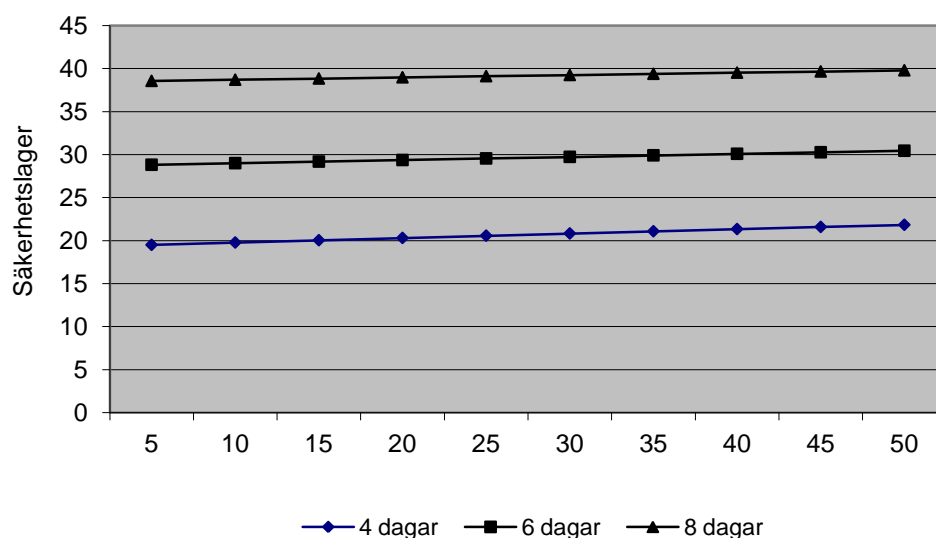
Med hjälp av denna formel har säkerhetslagret som funktion av ledtiden vid given ledtidvariation respektive som funktion av ledtidvariationen vid given ledtid analyserats. I båda fallen har medelefterfrågan per vecka antagits vara 20 stycken och dess standardavvikelse 1,67, dvs sådan att efterfrågan i stort sett varierar med +/- 5 stycken per vecka omkring detta medelvärde. Detta motsvarar en variationskoefficient på 0,08. Serviceni-
vån har satts till 97,5 %.

Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtiden för olika ledtidvariationer framgår av tabell 4. I tabellen har ledtidvariationen uttryckts som antal dagar utöver medelledtiden inom vilka 95 % av alla ledtider faller. Det motsvarar 1,64 standardavvikelser. En medelledtid på 20 dagar med 4 dagar utöver ledtid innebär sålunda att 95 % av alla leveranser sker inom 24 dagar.

Tabell 4 Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtid i dagar vid olika ledtidvariationer

Dagar utöver medelledtid	Säkerhetslager vid medelledtid i dagar lika med									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
4	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22
6	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30
8	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40
10	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49

Som framgår av tabellen ökar säkerhetslagret mycket lite med ökande ledtid för den aktuella efterfrågestrukturen. Speciellt är detta fallet då ledtidvariationen är hög. Ökningen kan snarast betraktas som försumbar. Detta kan jämföras med hur förhållandena är när ledtiden är konstant enligt föregående avsnitt. För att illustrera sambanden visas relationen mellan säkerhetslagerstorlek och ledtid även grafiskt i figur 3 för några olika fall av ledtidvariation.



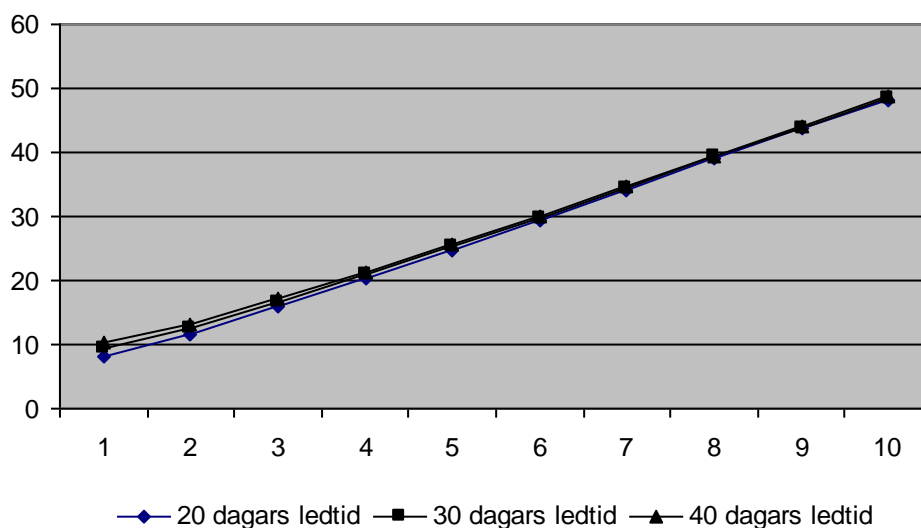
Figur 3 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och ledtid vid tre olika fall av ledtidvariation

Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidvariationen för olika ledtider framgår av tabell 5. I tabellen har ledtidvariationen uttryckts som antal dagar utöver medelledtiden inom vilka 95 % av alla ledtider faller. Det motsvarar 1,64 standardavvikelser. En medelledning på 20 dagar med 4 dagar utöver ledtid innebär sålunda att 95 % av alla leveranser sker inom 24 dagar.

Tabell 5 Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidvariation vid olika ledtider

Ledtid i dagar	Säkerhetslager vid 95 % av alla leveranser inom ledtid plus									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	7	10	15	20	24	29	34	39	43	48
20	8	11	16	20	25	29	34	39	44	48
30	9	12	17	21	25	30	34	39	44	48
40	10	13	17	21	26	30	35	40	44	49
50	11	14	18	22	26	30	35	40	44	49

Det framgår tydligt av tabell 5 att säkerhetslagrets storlek starkt påverkas av hur stora ledtidvariationerna är. Alldeles speciellt är detta fallet vid korta ledtider. Exempelvis måste säkerhetslagret vara fyra gånger så stort om en ledtid som i medeltal är 30 dagar varierar mellan 20 och 40 dagar jämfört med om den varierar mellan 28 och 32 dagar. Det är uppenbart att ledtidvariationer spelar en mycket större roll för säkerhetslagrets storlek än ledtidens längd. För att ytterligare illustrera ledtidvariationens betydelse visas sambanden mellan säkerhetslagerstorlek och ledtidvariation även grafiskt i figur 3 för några olika fall av ledtider. X-axeln avser ledtidvariationens storlek i dagar.



Figur 4 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och ledtidvariation för tre olika ledtider

3.3 Samband mellan säkerhetslager och ledtider vid olika hög efterfrågan

I föregående avsnitt visades att ledtidvariationer har ett stort inflytande på säkerhetslagrets storlek. Det är då rimligt att förvänta sig att även storleken på efterfrågan påverkar säkerhetslagrets storlek eftersom de efterfrågevariationer som härrör från ledtidvariationer är en produkt av ledtidvariation och efterfrågestorlek. För att studera sambandet mellan erforderligt säkerhetslager och ledtider respektive ledtidvariationer vid olika efterfrågestorlekar har ytterligare beräkningar gjorts med hjälp av formeln i föregående avsnitt. Dessa beräkningar redovisas i detta avsnitt.

Säkerhetslagrets storlek som funktion av efterfrågan för olika ledtider framgår av tabell 6. Efterfrågan varierar inom +/- 5 stycken per vecka oavsett medelefterfrågan, dvs efterfrågans standardavvikelse har satts till 1,67 för alla tio efterfrågefall. För samtliga ledtider har ledtidvariationen satts så att 95 % av alla leveranser sker inom medelledtiden plus 4 dagar motsvarande 1,64 standardavvikelser. Servicenivån har antagits vara 97,5 %.

Tabell 6 Säkerhetslagrets storlek som funktion av medelledtid vid olika efterfrågan per vecka

Efterfrågan per vecka	Medelledtider i dagar									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
10	10	11	11	12	12	13	13	13	14	14
20	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22
30	29	29	29	30	30	30	30	30	30	31
40	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40
50	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49
60	58	58	58	58	58	58	58	58	58	59
70	67	67	67	68	68	68	68	68	68	68
80	77	77	77	77	77	77	77	77	77	78
90	86	87	87	87	87	87	87	87	87	87
100	96	96	96	96	96	96	96	96	97	97

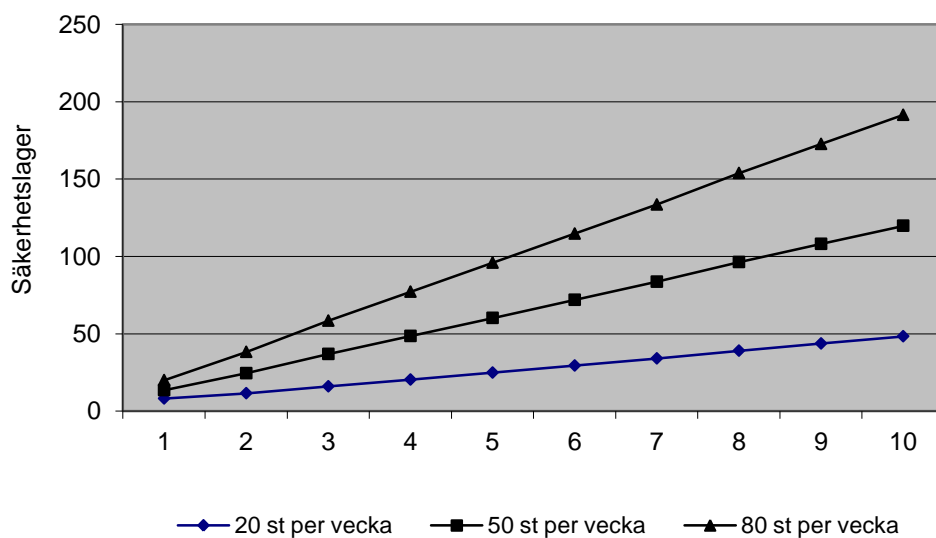
Beräkningarna visar att ju större efterfrågan är desto mindre roll spelar ledtidens längd för hur stort säkerhetslagret bör vara. Det är följaktligen främst för lågomsatta artiklar som det relativt sett lönar sig att reducera ledtider om man vill sänka kapitalbindningen i säkerhetslager. Det kan också noteras att säkerhetslagret ökar praktiskt taget linjärt med ökande efterfrågan.

På motsvarande sätt har säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidvariationer vid olika efterfrågenivåer beräknats. Dessa beräkningar redovisas i tabell 7. Beräkningarna är gjorda med utgångspunkt från en medelledtid på 20 dagar. Efterfrågan varierar inom +/- 5 stycken per vecka och servicenivån har satts till 97,5 %.

Tabell 7 Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidvariation vid olika efterfrågenivåer

Efterfrågan per vecka	Ledtidvariation i dagar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	7	8	10	12	14	16	18	20	23	25
20	8	11	16	20	25	29	34	39	44	48
30	10	16	23	30	36	43	50	58	65	72
40	11	20	30	39	48	58	67	77	86	96
50	13	24	37	48	60	72	84	96	108	120
60	16	29	44	58	72	86	100	115	130	144
70	18	34	51	68	84	100	117	135	151	168
80	20	38	58	77	96	115	133	154	173	191
90	22	43	66	87	108	129	150	173	194	215
100	24	47	73	96	120	143	167	192	216	239

För det här fallet ökar kapitalbindningen i säkerhetslagret mer ju högre efterfrågan är. Exempelvis ger en ökning av ledtidvariationen från 2 till 6 dagar en ökning av säkerhetslagret med 163 % om medelefterfrågan är 20 st per vecka medan motsvarande ökning av säkerhetslagret blir 202 % om medelefterfrågan är 80 st per vecka. Följaktligen är det effektivare att prioritera insatser för att reducera ledtidvariationer för högomsatta artiklar. Sambanden illustreras grafiskt i figur 5 för tre olika efterfrågenivåer.



Figur 5 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och ledtidvariation för tre olika storlekar på efterfrågan

3.4 Samband mellan säkerhetslager och varierande ledtider vid olika variationskoefficienter för efterfrågan

Som påpekats ovan samverkar variationer i efterfrågan med variationer i ledtid och det är den samlade effekten av dessa båda typer av variationer som avgör hur stort säker-

hetslagret måste vara för att man skall kunna upprätthålla en viss servicenivå. Det är därför även av intresse att analysera hur säkerhetslagrets storlek påverkas av ledtidens längd och dess variation vid olika grad av efterfrågevariationer. Denna analys redovisas i detta avsnitt. Som mått på efterfrågans variationer används variationskoefficienten, dvs förhållandet mellan efterfrågans standardavvikelse och dess medelvärde. Medelefterfrågan har genomgående satts till 20 st per vecka.

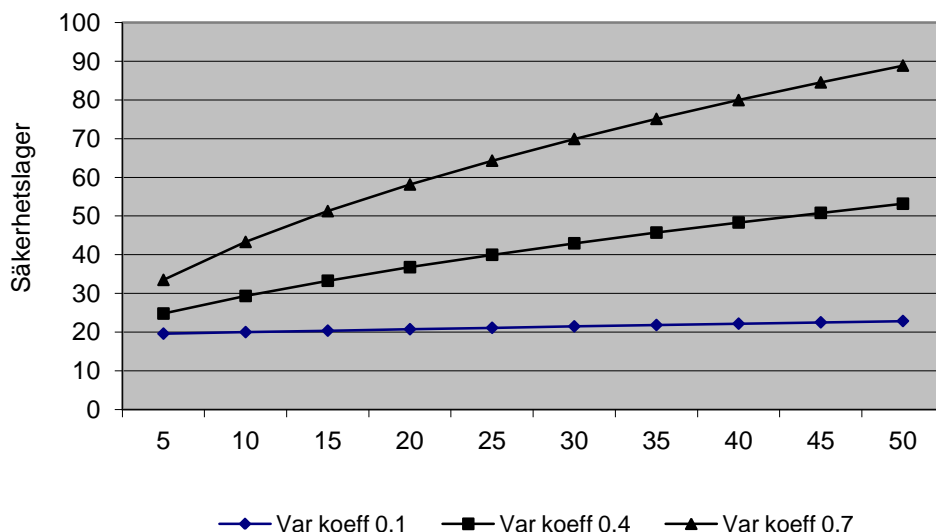
Säkerhetslagrets storlek som funktion av variationskoefficienten för olika ledtider framgår av tabell 8. För samtliga ledtider har ledtidsvariationen satts så att 95 % av alla leveranser sker inom medelledtiden plus 4 dagar motsvarande 1,64 standardavvikelser. Servicenivån har antagits vara 97,5 %.

Av den genomförda analysen framgår att säkerhetslagret praktiskt taget inte påverkas alls vid små variationer i efterfrågan. En slutsats av de erhållna resultaten är att reduktion av ledtider för att sänka kapitalbindning i säkerhetslager i första hand lönar sig för artiklar med stora efterfrågevariationer. Exempelvis kan säkerhetslagret minskas med 28 % om ledtiden reduceras från 40 till 20 dagar om variationskoefficienten är lika med 0,7 medan minskningen i kapitalbindning endast blir 15 % för samma ledtidsreduktion om variationskoefficienten är lika med 0,2.

Tabell 8 Säkerhetslagrets storlek som funktion av medelledtid vid olika efterfrågevariation

Variationskoefficient	Medelledtid i dagar									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,1	20	20	20	21	21	21	22	22	23	23
0,2	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31
0,3	23	25	28	30	33	35	37	38	40	42
0,4	25	29	33	37	40	43	46	48	51	53
0,5	27	34	39	44	48	52	55	59	62	65
0,6	30	38	45	51	56	61	65	69	73	77
0,7	33	43	51	58	64	70	75	80	85	89
0,8	37	48	58	66	73	79	85	91	96	101
0,9	40	53	64	73	81	89	95	102	108	113
1	44	59	71	81	90	98	105	113	119	125

Sambanden mellan säkerhetslagerstorlek och ledtider för några olika variationskoefficienter illustreras grafiskt i figur 6.



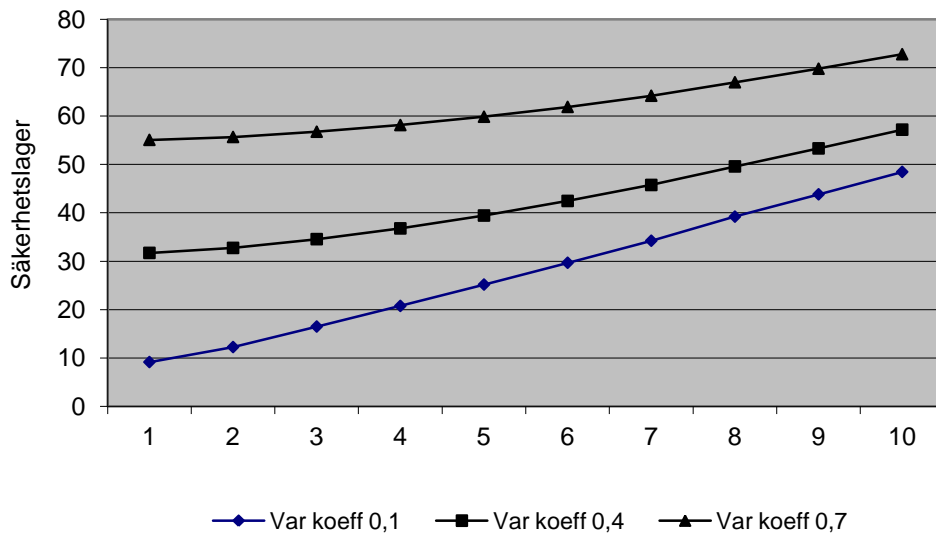
Figur 6 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och ledtid för tre olika efterfrågevariationer

Säkerhetslagrets storlek har på motsvarande sätt beräknats som funktion av ledtidsvariationer vid olika efterfrågevariationer. Dessa beräkningar redovisas i tabell 9. Beräkningarna är gjorda med utgångspunkt från en medelledtid på 20 dagar. Servicenivån har satts till 97,5 %.

Tabell 9 Säkerhetslagrets storlek som funktion av ledtidsvariationen vid olika efterfrågevariation

Variationskoefficient	Ledtidsvariation i dagar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	9	12	16	21	25	30	34	39	44	48
0,2	16	18	21	25	29	33	37	41	46	50
0,3	24	25	28	30	34	37	41	45	49	53
0,4	32	33	35	37	39	42	46	50	53	57
0,5	39	40	42	44	46	49	51	55	58	62
0,6	47	48	49	51	53	55	58	61	64	67
0,7	55	56	57	58	60	62	64	67	70	73
0,8	63	63	64	66	67	69	71	74	76	79
0,9	71	71	72	73	75	76	78	80	83	85
1	79	79	80	81	82	83	85	87	89	92

Av tabellen framgår att i motsats till fallet för ledtider påverkas säkerhetslagrets storlek mycket mer av ökande ledtidsvariationer vid små efterfrågevariationer än vid stora. Exempelvis kan säkerhetslagret minska med 43 % om ledtidsvariationen reduceras från 7 till 3 dagar om variationskoefficienten är lika med 0,2 medan minskningen i kapitalbindning endast blir 11 % för samma reduktion av ledtidsvariationen om variationskoefficienten för efterfrågan är lika med 0,7. Sambanden mellan säkerhetslagerstorlek och ledtider för några olika variationskoefficienter illustreras grafiskt i figur 7.



Figur 7 Samband mellan säkerhetslagerstorlek och ledtidvariation för tre olika efterfrågevariationer

Att de här sambanden råder har påvisats analytiskt av Evers (1999). De har också illustrerats av Lee och Wolfe (2003) för två olika artiklar med olika efterfrågevariationer och baserade på företagsdata. På samma sätt som Evers' resultat visar de resultat som erhållits här att om man vill reducera säkerhetslagrets storlek och efterfrågan är starkt varierande, dvs har en hög variationskoefficient, bör man i första hand reducera ledtiden. Är däremot efterfrågan någorlunda jämn, dvs har en låg variationskoefficient, bör man i första hand eftersträva att reducera variationerna i ledtid snarare än medelledtiden.

4 Samband mellan ledtid respektive ledtidvariation och erhållna säkerhetslager

I föregående avsnitt redovisades med hjälp av analytiska beräkningar hur erforderligt säkerhetslager påverkas av ledtidens längd och av dess variation. I detta avsnitt redovisas vad som kan kallas erhållit säkerhetslager, beräknat med utgångspunkt från det utfall som ett antal simuleringskörningar gett. Detta säkerhetslager har på traditionellt sätt erhållits genom att minska det totala lagret med halva orderstorleken, dvs minska med det genomsnittliga omsättningslagret (Se exempelvis Fetter och Dalleck, 1961, sid 179).

Tre olika efterfrågefall har simulerats, ett fall med hög omsättning, ett fall med medelhög omsättning och ett fall med låg omsättning, samtliga specificerade i avsnitt 2. För vart och ett av dessa fall har simuleringar med en omfattning som motsvarar ett hundra år av lageruttag, beställningar och inleveranser simulerats.

4.1 Samband mellan erhållna säkerhetslager och ledtidens längd

Vid simulering av hur säkerhetslagret påverkas av ledtidens längd har ledtidsvariationen antagits vara den samma oavsett ledtidens längd. Denna ledtidsvariation har satts till +/- 4 dagar motsvarande en standardavvikelse på cirka 2 dagar. Ledtider på 5, 10, 15, 20, 25 och 30 dagar har simulerats. Säkerhetslagret har dimensionerats för en servicenivå på 97,5 %. Resultaten från de genomförda simuleringarna visas i tabell 10.

Av tabellen framgår hur säkerhetslagerstorleken ökar med ökande ledtider. Sambandet mellan vad som här kan betraktas som erhållet säkerhetslager och ledtid är principiellt detsamma som sambandet mellan det teoretiskt beräknade säkerhetslagret och ledtider enligt föregående avsnitt.

Tabell 10 Erhållet säkerhetslager som funktion av ledtidens längd

Låg omsättning

	5 dagar	10 dagar	15 dagar	20 dagar	25 dagar	30 dagar
Säkerhetslager	3,0	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6

Medelhög omsättning

	5 dagar	10 dagar	15 dagar	20 dagar	25 dagar	30 dagar
Säkerhetslager	11,5	13,5	16,5	18,6	20,6	22,8

Hög omsättning

	5 dagar	10 dagar	15 dagar	20 dagar	25 dagar	30 dagar
Säkerhetslager	190,0	217,6	241,1	272,1	294,3	318,4

För att belysa skillnaderna mellan teoretiskt beräknade säkerhetslager och säkerhetslager som erhålls vid simulering har teoretiska säkerhetslager också beräknats för de efterfrågefall som simulerats. Jämförelsen visas i tabell 11. Utöver teoretiskt och erhållet säkerhetslager visas i tabellen också skillnaden mellan de båda uttryckt i procent av teoretiskt lager. Som framgår av tabellen är det teoretiskt beräknade säkerhetslagret genomgående större än det genom simulering erhållna för fallen med medelhög och hög omsättning medan det motsatta förhållandet gäller för fallet med låg omsättning.

Att det föreligger skillnader i säkerhetslagerstorlek vid samma ledtider beror på det något schablonartade sättet att beräkna säkerhetslager som använts här. Den använda beräkningsmetoden utgår från ett antagande om linjär förbrukning och att det inte föreligger brister, dvs. negativa saldon, vid inleverans. Så är med undantag för mycket högfrekvent efterfrågade artiklar inte fallet i verkligheten och inte heller i den förbrukning som genererats vid simuleringen. I stället är det fråga om oregelbundet förekommande uttag av varierande storlek.

För att tydliggöra sambanden och för att kunna jämföra de olika efterfrågefallen har skillnader mellan fallet med kortast ledtid och övriga ledtidsfall beräknats och uttryckts i %. Figur 8 visar säkerhetslagrets storlek i procent av lagerstorleken vid 5 dagars ledtid när ledtiden är 10, 15, 20, 25 respektive 30 dagar lång. Som framgår av figuren påver-

kas säkerhetslagret proportionellt sett i stort sett lika mycket oavsett hur stor omsättningen är. En halvering av ledtiden medför, enligt de samband som erhållits, en sänkning av kapitalbindningen i säkerhetslager på storleksordningen 30 %.

Tabell 11 Skillnader mellan teoretiska och erhållna säkerhetslager vid olika ledtider

Låg omsättning

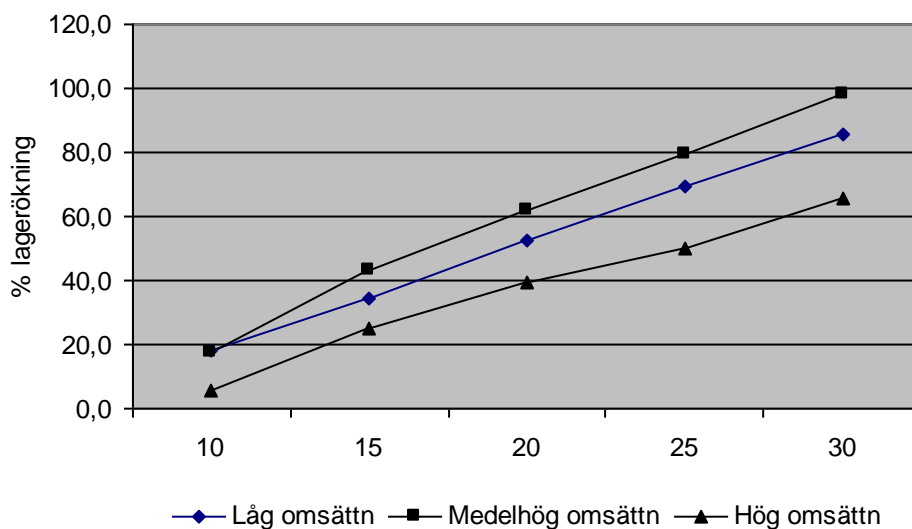
Ledtid	5	10	15	20	25	30
Teoretiskt lager	2,1	2,9	3,6	4,1	4,6	5,1
Erhållet lager	3,0	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6
Skillnad i %	-44,1	-21,7	-13,3	-11,3	-10,9	-10,7

Medelhög omsättning

Ledtid	5	10	15	20	25	30
Teoretiskt lager	12,3	15,5	18,2	20,5	22,6	24,5
Erhållet lager	11,5	13,5	16,5	18,6	20,6	22,8
Skillnad i %	6,2	12,9	9,3	9,0	8,7	6,8

Hög omsättning

Ledtid	5	10	15	20	25	30
Teoretiskt lager	232,5	264,7	293,4	319,5	343,6	366,2
Erhållet lager	190,0	217,6	241,1	272,1	294,3	318,4
Skillnad i %	18,3	17,8	17,8	14,8	14,4	13,0



Figur 8 Lagrets relativa storlek som funktion av ledtidens längd

4.2 Samband mellan erhållna säkerhetslager och ledtidsvariationer

Vid simulering av hur säkerhetslagret påverkas av ledtidsvariationer har ledtidens längd satts till 20 dagar. Med utgångspunkt från denna ledtid har fall med ingen ledtidsvaria-

tion och ledtidvariation motsvarande +/- 1 dag, +/- 2 dagar, +/- 4 dagar, +/- 6 dagar respektive +/- 8 dagar simulerats. Dessa ledtidvariationer motsvarar en standardavvikelse på 0,71, 1,17, 2,00, 2,83 respektive 3,64 dagar. Resultaten från genomförda simuleringar visas i tabell 12.

Tabell 12 Erhållet säkerhetslager som funktion av ledtidvariation

Låg omsättning

	Ingen var.	1 dag +/-	2 dagar +/-	4dagar +/-	6 dagar +/-	8 dagar +/-
Säkerhetslager	4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6

Medelhög omsättning

	Ingen var.	1 dag +/-	2 dagar +/-	4dagar +/-	6 dagar +/-	8 dagar +/-
Säkerhetslager	16,5	16,4	17,6	18,6	20,8	22,7

Hög omsättning

	Ingen var.	1 dag +/-	2 dagar +/-	4dagar +/-	6 dagar +/-	8 dagar +/-
Säkerhetslager	203,1	214,0	227,6	272,1	328,5	385,8

Av tabellen framgår hur säkerhetslagerstorleken förändras med ökande ledtidvariation. Sambandet mellan vad som här kan betraktas som erhållet säkerhetslager och olika grad av ledtidvariation är principiellt detsamma som sambandet mellan det teoretiskt beräknade säkerhetslagret och ledtidvariation enligt avsnitt 3.

För att belysa skillnaderna mellan teoretiskt beräknade säkerhetslager och säkerhetslager som erhålls vid simulering har teoretiska säkerhetslager även beräknats för de olika grader av ledtidvariation som simulerats. Jämförelsen visas i tabell 13. På motsvarande sätt som i tabell 11 har också skillnaderna i procent beräknats för varje ledtidvariation. Skillnaderna mellan det teoretiskt beräknade säkerhetslagret och det genom simuleringen beräknade för samma ledtidvariation är principiellt de samma som vid varierande ledtider enligt avsnitt 4.1. Orsakerna till skillnaderna är också de samma.

Tabell 13 Skillnader mellan teoretiskt och erhållet säkerhetslager för olika ledtidsva-
riation

Låg omsättning

Ledtidsvariation	0	+/- 1	+/- 2	+/- 4	+/- 6	+/- 8
Teoretiskt lager	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2
Erhållet lager	4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6
Skillnad i %	-11,7	-9,3	-11,6	-11,3	-10,8	-10,0

Medelhög omsättning

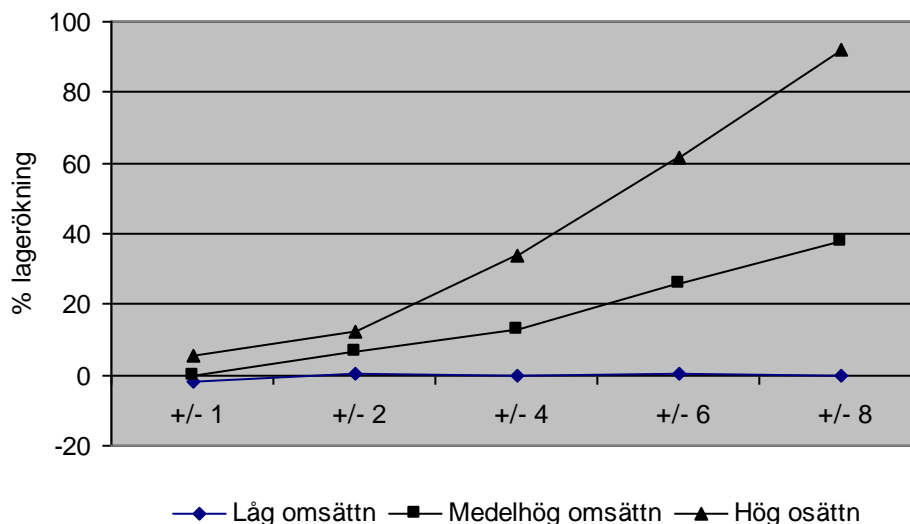
Ledtidsvariation	0	+/- 1	+/- 2	+/- 4	+/- 6	+/- 8
Teoretiskt lager	18,9	19,1	19,5	20,5	21,9	23,7
Erhållet lager	16,5	16,4	17,6	18,6	20,8	22,7
Skillnad i %	12,9	14,2	9,6	9,0	5,4	4,1

Hög omsättning

Ledtidsvariation	0	+/- 1	+/- 2	+/- 4	+/- 6	+/- 8
Teoretiskt lager	253,1	262,4	277,8	319,5	375,4	437,4
Erhållet lager	203,1	214,0	227,6	272,1	328,5	385,8
Skillnad i %	19,7	18,5	18,1	14,8	12,5	11,8

Utöver ovanstående beräkningar har också skillnader mellan fallet utan ledtidsvariation och de olika fallen med ledtidsvariationer beräknats och uttryckts i % för att tydliggöra vilka effekter som ledtidens längd har på säkerhetslagerstorleken och för att kunna jämföra de olika efterfrågefallen.

Figur 9 visar säkerhetslagrets storlek i procent av lagerstorleken utan förekomst av ledtidsvariation vid +/- 1, +/- 2, +/- 4, +/- 6 respektive +/- 8 dagars variation i förhållande till medelledtiden 20 dagar. Av kurvorna i figuren framgår att lagerstorleken praktiskt taget inte påverkas alls av ledtidsvariation när omsättningen är låg. Ju högre omsättning, desto större lagerpåverkan på grund av ledtidsvariationer. Exempelvis är lagret vid en ledtidsvariation på +/- 8 dagar mer än 80 % högre än om ledtidsvariationen hade varit noll.



Figur 9 Erhållet säkerhetslagrets relativa storlek som funktion av ledtidsvariation

5 Resultatsammanfattning och slutsatser

I den här rapporten redovisas resultaten från en analys av sambanden mellan behovet av säkerhetslager och ledtidens längd och variation. Studien omfattar både en teoretisk jämförelse och en jämförelse baserad på simulering av operativ verksamhet i ett lager för tre olika efterfrågefäll. De resultat som erhållits kan sammanfattas i följande punkter.

- Enligt den teoretiska modell som använts vid analysen ökar säkerhetslagret med roten ur ledtiden när ledtiden är konstant från order till order. Säkerhetslagret ökar också med ledtiden vid varierande ledtider under förutsättning att efterfrågevariationerna inte är små. Vid små efterfrågevariationer, dvs. med variationskoefficienter mindre än storleksordningen 0,1, påverkas säkerhetslagret mycket lite av ökande ledtider. Dessa resultat framgår både av de teoretiska beräkningarna och av simuleringen. Vid hög grad av ledtidsvariation är säkerhetslagerökningen försumbar vid ökande ledtider, speciellt vid små efterfrågevariationer.
- Ju större efterfrågan är desto mindre roll spelar ledtidens längd för hur stort säkerhetslagret bör vara för att uppnå en viss servicenivå. Säkerhetslagrets storlek påverkas mer av längre ledtider vid stora efterfrågevariationerna än vid små och speciellt vid simultana små ledtidsvariationer.
- Säkerhetslagrets storlek påverkas starkt av hur stora ledtidsvariationerna är, alldeles speciellt vid korta ledtider. Ledtidsvariationerna spelar en mycket större roll för säkerhetslagrets storlek än ledtidens längd i detta fall. Dessa resultat framgår både av de teoretiska beräkningarna och av den genomförda simuleringen.
- Ju större efterfrågan är desto större roll spelar ledtidsvariationernas storlek för hur stort säkerhetslagret bör vara för att uppnå en viss servicenivå. Säkerhetslagrets storlek påverkas mer av ökande ledtidsvariationer vid små efterfrågevariationer än vid stora.

Följande slutsatser kan dras baserat på de erhållna resultaten.

- Om man vill minska säkerhetslagrets storlek genom att reducera ledtider får man störst effekt om man minskar ledtiderna för artiklar med liten efterfrågan och stor efterfrågevariation, alldeles speciellt om ledtiden varierar mycket. Minst effekt får man om man minskar ledtiderna för artiklar med stor efterfrågan och små efterfrågevariationer, alldeles speciellt om ledtiden varierar mycket.
- Om man vill minska säkerhetslagrets storlek genom att reducera ledtidsvariationen får man störst effekt för artiklar med stor efterfrågan och liten efterfrågevariation, alldeles speciellt om ledtiderna är korta. Minst effekt får man om man minskar variation i ledtid för artiklar med liten efterfrågan och stora efterfrågevariationer, alldeles speciellt om ledtiderna är korta.
- Av dessa båda slutsatser följer att om man vill reducera säkerhetslagrets storlek för en artikel och efterfrågan är starkt varierande, dvs har en hög variationskoefficient, bör man i första hand reducera ledtiden. Är däremot efterfrågan någorlunda jämn,

dvs har en låg variationskoefficient, bör man i första hand eftersträva att reducera variationerna i ledtid snarare än medelledtiden.

- Av de båda slutsatserna följer också, att om det är svårt att reducera ledtidsvariationerna men man ändå vill gardera sig mot stora ledtidsvariationer, kan man vid dimensioneringen av säkerhetslager avsiktligt sätta för långa ledtider. Vid beställning använder man sig av den vid tillfället aktuella ledtiden från leverantören eller den egna produktionen. Tillvägagångssättet är emellertid endast lämpligt om efterfrågevariationerna är små.

Referenser

Axsäter, S. (1991) Lagerstyrning, Studentlitteratur.

Blumenfeld, D – Daganzo, C. – Frick, M. – Gonzalves, D (1999) Impact of manufacturing response time on retailer inventory, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 No. 8, sid 797-811.

Brauer, D. (1985) Effect on lead time and service level on safety stock for a continuous review inventory system with independent demand, Production and Inventory Management, 2nd Qtr, sid 146-150.

Estes, R. (1973) A joint probability approach and reorder point determination, Production and Inventory Management, 2nd Qtr, sid 50-56.

Evers, P. (1999) The effect of lead times on safety stocks, Production and Inventory Management Journal, 2nd Qtr, sid 6-10.

Fetter, R – Dalleck, W. (1961) Decision models for inventory management, Richard D Irwin.

Flagan, M. (1984) Determination of safety stock: A practical approach, APICS's Conference Proceedings, Production & Inventory Control and Planning, sid 84-88.

Hax, A. – Candea, D. (1984) Production and inventory management, Prentice-Hall.

Herron, D.P. (1987) Integrated inventory management, Journal of Business Logistics, Vol. 8 No. 1, sid 96-116.

Lee, H. – Wolfe, M. (2003) Supply chain security without tears, Supply Chain Management Review, January/February, sid 16-20.

Martha, J. – Subbkrishna, S. (2002) Supply chain for the inevitable next disaster, Supply Chain Management Review, September/October, sid 18-23.

Mattsson, S-A. (2002) En jämförelse av olika servicenivåbegrepp i beställningspunktsystem, Arbetspapper, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Tekniska Högskola.

Silver, E. – Peterson, R. (1985) Decision systems for inventory management and production planning, John Wiley & Sons.

Tersine, R. (1974) Inventory risk: The determination of safety stocks, Production and Inventory Management, 3rd Qtr, sid 6-19.