

# Konsekvenser av leveranstider och variationer i leveranstider för säkerhetslager

Stig-Arne Mattsson

## Sammanfattning

*Under en följd av år har företag av olika skäl vidtagit åtgärder för att åstadkomma kortare leveranstider vid anskaffning, bland annat som ett sätt att minska behovet av säkerhetslager. Det är emellertid inte enbart leveranstidens längd som påverkar säkerhetslagrets storlek. Det gör även variationer i leveranstider och leveransprecisionen vid inleverans. Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här artikeln är att belysa vad ledtidens längd och dess variation från externa leverantörer betyder ur lagerstyrningssynpunkt med avseende på nödvändigt säkerhetslager för att uppnå en önskad servicenivå. Syftet är också att belysa hur de påverkar varandra under olika efterfrågeförhållanden. Studien har genomförts med hjälp av simulering.*

*Slutsatserna av de resultat som erhållits kan sammanfattas enligt följande. Vill man reducera leveranstidsvariationer eller förbättra leveransprecisionen får man störst procentuell påverkan på säkerhetslagrets storlek genom att prioritera artiklar med hög och jämn efterfrågan samt med korta leveranstider. Vill man reducera leveranstider får man störst procentuell påverkan på säkerhetslagrets storlek genom att prioritera artiklar med låg och ojämn efterfrågan och artiklar med stabila leveranstidsvariationer och hög leveransprecision.*

## 1 Bakgrund och syfte

För att kunna uppnå önskad lagertillgänglighet måste företag använda sig av säkerhetslager som buffert mot olika former av variationer och osäkerheter. Det gäller både för lager av artiklar som anskaffas för användning i den egna verksamheten och för lager av artiklar som är avsedda att levereras till kund. Vid dimensionering av sådana säkerhetslager bör man utgå från hur mycket efterfrågan varierar under ledtid. Som påpekats av Taylor (2000) är emellertid variationerna i efterfrågan under ledtid inte bara en funktion av variationer i efterfrågan från företag nerströms försörjningskedjan, dvs från kunderna. Behovet av säkerhetslager påverkas också av levererande företag uppströms försörjningskedjan på grund av de ledtider som förekommer för att fylla på lagren, på grund av variationer i dessa ledtider samt på grund av leverantörernas mer eller mindre höga leveransprecision.

Ända sedan just-in-time filosofin och flödesorienteringen började tillämpas för bortåt trettio år sedan har många företag genomfört omfattande insatser för att minska ledtiderna vid anskaffning och i produktionen. Den uppmärksamhet som reduktion av ledti-

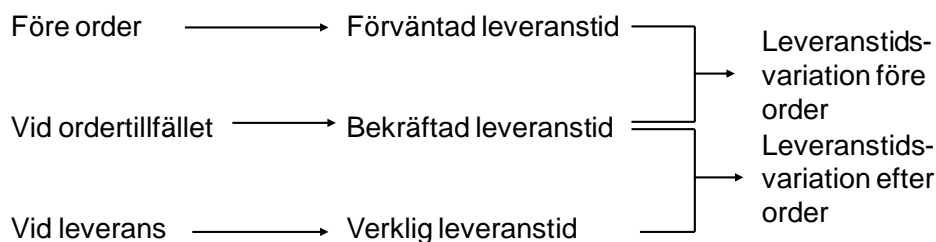
der fått märks också i facktidsskrifter och på konferenser. Man kan läsa om och lyssna på erfarenheter från en stor mängd framgångsrika projekt för att sänka ledtider i olika led i försörjningskedjorna. Imponerande resultatförbättringar har redovisats. Den här typen av förbättringsåtgärder har tillhört de mest prioriterade under en följd av år. Alla är säkert överens om att initiativ och åtgärder för att åstadkomma kortare ledtider både är viktiga och riktiga.

Det förefaller emellertid ha funnits ett mer begränsat intresse och engagemang för att åstadkomma stabila och säkra ledtider. De framgångar och förbättringar som uppnått med avseende på att uppnå korta ledtider har inte i motsvarande omfattning uppnått med avseende på säkra ledtider. Enligt en studie i över 200 europeiska företag minskade exempelvis leveranstiderna till kund med storleksordningen 50 % under nittiotalet medan under samma period andelen leveransförsenade order i stort sett var oförändrat 12 % (ELA, 2001). Införande av affärssystem verkar inte heller ha bidragit särskilt mycket till förbättrad leveranstidshållning. Enligt en studie i 190 svenska företag värderades de förbättringar som uppnått med avseende på leveranstidshållning genom att införa ett nytt affärssystem endast till 2.82 på en skala från 1 (ingen förbättring alls) till 5 (stor förbättring). Motsvarande värde med avseende på minskad ledtid var 3,37 (Olhager - Selldin, 2003).

Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här artikeln är att belysa vad ledtidens längd och dess variation från externa leverantörer betyder ur lagerstyrningssynpunkt med avseende på nödvändigt säkerhetslager för att uppnå en önskad servicenivå. Syftet är också att belysa hur de påverkar varandra under olika efterfrågeförhållanden. I första hand är målsättningen att åstadkomma praktiskt användbara riktlinjer som kan användas som underlag för att prioritera åtgärder som kan leda till bättre förutsättningar för en effektivare lagerstyrning.

## 2 Ledtid, leveranstid och leveranstidsvariation

Ledtid för lagerpåfyllnad definieras här som kalendertiden mellan att ett behov uppstår och att det uppfylls. I grova drag kan man dela in ledtiden i en leveranstidsdel representerande tiden för leverantören från erhållen order till utleverans och transporttiden till kund samt en kundtidsdel representerande tiden från behov till order samt tiden från godsmottagning till inläggning i lager hos kunden. Eftersom det i allmänhet är leveranstidens del av ledtiden som varierar bortses i fortsättningen från kunddelen av den totala ledtiden. Något förenklat kan den betraktas som ett mer eller mindre konstant tillägg till leveranstiden. I fortsättningen används därför begreppet leveranstid i stället för ledtid. För att möjliggöra planering måste leveranstider betraktade på det här sättet uppskattas i förväg och kan då följaktligen komma att ändras under tiden fram till inleverans. Man kan därför betrakta leveranstiden för en enskild artikel som en diskret variabel med olika värden under olika faser av kundens order-till-leverans process. Av dessa faser avser den första fasen tiden före order, den andra tiden vid ordertillfället och den tredje tiden vid leverans. Dessa faser och de olika leveranstider som förekommer under respektive fas framgår av figur 1.



Figur 1 Leveranstider under olika faser av kundens order-till-leverans process

Leveranstiden före order kan kallas förväntad leveranstid eftersom den med undantag för fall med kontraktbundna leveranstider från leverantör i stor utsträckning är en prognos. Den utgörs i allmänhet av den leveranstid som finns registrerad i affärssystemet eller den leveranstid som en viss leverantör erfarenhetsmässigt brukar tillämpa. Vid ordertillfället kan leverantören erbjuda en leveranstid som skiljer sig från den leveranstid som kunden förväntat sig. Den leveranstid som sedan överenskomms mellan kund och leverantör kan kallas bekräftad leveranstid. Vilken den verkliga leveranstiden är för en viss order får man i allmänhet inte veta förrän vid inleveranstillfället, dvs under den tredje fasen.

Skillnaden mellan förväntad leveranstid och bekräftad leveranstid kallas leveranstidsvariation före order. Det är ett mått på hur mycket leveranstiden från en leverantör varierar från ordertillfälle till ordertillfälle och uttrycker en leverantörs förmåga att informera om och konsekvent hålla sina leveranstider. Ju mindre variationen är, desto mindre säkerhetslager behöver man ha för att gardera sig mot brist. Skillnaden mellan verklig leveranstid och bekräftad leveranstid kan kallas leveranstidsvariation efter order. En vanligare benämning är emellertid leveransprecision eftersom den är ett uttryck för leverantörens förmåga att leverera vid lovad leveranstidpunkt. Begreppet leveransprecision används fortsättningsvis i den här rapporten.

### 3 Forskningsfrågor och avgränsningar

Att både leveranstidens längd och dess variation påverkar säkerhetslagrets storlek för att uppnå en viss önskad servicenivå för utleveranser från lager är uppenbar och framgår inte minst av den formel som finns för beräkning av standardavvikelser för efterfrågevariationer vid varierande leveranstider. Se exempelvis Silver och Peterson (1985, sid 297). Det är emellertid ytterst sällsynt att företag vid dimensionering av säkerhetslager tar hänsyn till annat än leveranstidens längd och den helt övervägande delen av de affärssystemen som finns på marknaden klarar inte av att beakta leveranstidsvariationer och bristfällig leveransprecision.

Redan för nästan fyrtio år sedan visade Vinson (1972) med hjälp av simulering att kostnadseffekterna kan bli avsevärda om man bortser från att ta hänsyn till att leveranstider varierar. Senare har också Schwarz och Weng (1999) med hjälp av analytiska beräkningar påvisat att hänsynstagande till variationer i leveranstider spelar en avgörande roll för lagerhållningskostnaderna i försörjningskedjor. Betydelsen av att beakta sådana variationer vid beräkning av standardavvikelser för efterfrågan under leveranstid och följaktligen för dimensionering av säkerhetslager har betonats av bland andra Bagchi et al.

(1986). Snyder et al. (2004) konstaterar också att osäkra leveranstider kan leda till avsevärt ökade säkerhetslager för att kunna säkerställa en önskad leveransförmåga.

Att man måste ta hänsyn till både leveranstidens längd och variation har bland andra påpekats av Martha och Subbakrishn (2002). Att det finns ett ömsesidigt beroende i hur längden respektive variationen påverkar säkerhetslagrets storlek har också visats analytiskt av Evers (1999). Det är också uppenbart att det kan finnas ett visst motsatsförhållande mellan leveranstidens längd och leveranstidens variation. Ju mer leveranstiden reduceras desto mindre marginaler har en leverantör att kompensera sig för oundvikliga störningar i materialflödet. Han får då mindre möjligheter att åstadkomma stabila leveranstider och att hålla lovade leveranstidpunkter. Det är därför av intresse att veta i vilken utsträckning leveranstidens längd respektive variation påverkar säkerhetslagrets storlek och i vilka sammanhang samt under vilka omständigheter som leveranstidens 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 effektiviseringsåtgärder som har störst betydelse för lagerstyrningens effektivitet. Resonemanget leder fram till följande forskningsfrågor.

1. Hur påverkar leveransprecisionen behovet av säkerhetslager för att uppnå en önskad orderradsservice vid olika långa leveranstider?
2. Hur påverkar leveranstidsvariationer före order behovet av säkerhetslager för att uppnå en önskad orderradsservice vid olika långa leveranstider?
3. Hur påverkar längden på leveranstiderna behovet av säkerhetslager för att uppnå en önskad orderradsservice vid olika grad av leveranstidsvariation?

Forskningsfrågorna behandlas med avseende på ordervis anskaffning av lagerförda artiklar från externa leverantörer, dvs inte med avseende på leveransplanestyrd artiklar. Det förutsätts också att det inte förekommer avtalsbundna leveranstider. Dessutom behandlas endast garderingar i form av säkerhetslager för att fånga upp efterfrågevariationer, inte säkerhetstider. Leveranstidens längd är av betydelse även i andra avseenden, exempelvis med avseende på hur snabbt man kan anpassa sig vid systematiska förändringar i efterfrågan och med avseende på kapitalbindning under leveranstidens gång. Likaså är leveransprecisionen av betydelse i andra avseenden, exempelvis för att kunna leverera i tid till kunder då leveranstidpunkten bestämts med disponibelt-att-lova beräkningar. Det är emellertid endast med avseende på de båda variabelernas betydelse för säkerhetslagrets storlek som de behandlas här. Det bortses från variationer inom det godsmottagande företaget.

## 4 Analysmetodik och simuleringsmodell

Simulering har valts som metodik för att besvara de fyra forskningsfrågorna med avseende på så verklighetsnära förhållanden som möjligt. I detta kapitel redovisas det dataunderlag i form av efterfrågan och leveranstider som simuleringarna bygger på samt den simuleringsmodell som använts.

### 4.1 Generering av efterfrågan per dag

För att genomföra analyser och utvärderingar av konsekvenser av variationer i leveranstider har ett teoretiskt genererat dataunderlag använts. Anledningen till att teoretiskt ge-

nererade data valts i stället för datamaterial från fallföretag är att man kan på det sättet kan uppnå en betydligt större kontroll över datamaterialets karaktär, exempelvis i form av olika stora efterfrågestorlekar, olika långa leveranstider samt olika grader av efterfrågevariationer och leveranstidsvariationer. Därigenom kan man på ett säkrare sätt identifiera samband och dra slutsatser av de resultat som erhålls.

Efterfrågan per dag har genererats genom att kombinera slumpmässigt bestämda orderkvantiteter med slumpmässigt bestämda antal kundorder per dag för att den skall bli så verklighetsnära som möjligt. Poissonfördelning har valts för att generera antal kundorder per dag och rektangelfördelning för att bestämma kundorderstorlekar. Empiriska bevis för att kundorder i huvudsak erhålls slumpmässigt och därmed är en Poissonprocess har påvisats av Johnston och Boylan (1996). Sju olika efterfrågestrukturer har skapats enligt tabell 1. Variationskoefficienten avser fallet att leveranstiden är 10 dagar.

Tabell 1 Karaktäristik av använda efterfrågestrukturer

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Antal order per dag</i>	<i>Kvantitet per order</i>	<i>Efterfrågan per månad</i>	<i>Variationskoefficient</i>
1	10 per dag	1 - 10	1.100	0,11
2	3 per dag	1 - 10	330	0,21
3	1 per 2 dagar	1 - 10	55	0,51
4	1 per 2 veckor	1 - 10	11	1,13
5	1 per 2 dagar	50 - 200	1.250	0,48
6	1 per 2 dagar	1 - 3	20	0,49
7	1 per 2 månader	1 - 3	1	2,22

De fyra första efterfrågestrukturerna avses representera ett antal generiska förhållanden för lagerstyrning. Efterfrågestruktur fem avses representera förhållanden som är typiska för centrallager/grossistlager med jämförelsevis få uttag och stora kundorderkvantiteter medan efterfrågestruktur sex och sju representerar förhållanden som är typiska i reservdelslager med få uttag och små kundorderkvantiteter. För varje efterfrågestruktur har 6000 dagars efterfrågan motsvarande 25 år genererats för vardera tjugo artiklar.

#### 4.2 Generering av leveranstider

Fem olika förväntade leveranstider för återanskaffning, 5, 10, 15, 20 och 25 dagar, har använts. Variationer i leveranstid har skapats genom att slumpmässigt generera avvikelser till dessa fem leveranstider. Slumpgenereringen har omfattat både avvikelser mellan bekräftad och verklig leveranstid och avvikelser mellan förväntad och bekräftad leveranstid. För avvikelser mellan bekräftad och verklig leveranstid, dvs leveransprecisionen, antas att leverantörer aldrig levererar före bekräftad tidpunkt. Denna leveranstidsvariation är följaktligen asymmetrisk. För skillnader mellan bekräftad och verklig leveranstid har fem olika fall av leveransprecision, 100, 95, 90, 85 samt 80 procent, använts enligt tabell 2. I tabellen anges också sannolikheter för respektive antal förseningsdagar samt vilka standardavvikelser respektive fall motsvarar.

Två olika modeller för avvikelser mellan förväntad och bekräftad leveranstid har använts. För den ena av dessa, nedan kallad typ 1, antas den erbjudna leveranstiden alltid väljas, för den andra, nedan kallad typ 2, antas leveranstiden väljas lika med den förvän-

tade även om den erbjudna är kortare. Den första typen innebär en symmetrisk leveranstidsfördelning medan den andra innebär en asymmetrisk fördelning.

Tabell 2 Avvikelser mellan bekräftade och verkliga leveranstider med motsvarande sannolikheter för att de skall inträffa vid olika grad av leveransprecision.

<i>Antal dagars försening</i>	<i>Leveransprecision</i>			
	<i>95 %</i>	<i>90 %</i>	<i>85 %</i>	<i>80 %</i>
1	2,5 %	4 %	6 %	6 %
2	1,5 %	3 %	4 %	5 %
3	1,0 %	3 %	3 %	4 %
4			2 %	3 %
5				2 %
Standardavvikelse	0,43	0,62	0,84	1,16

För leveranstidsvariation typ 1, dvs alternativet att den erbjudna leveranstiden väljs, har leveranstidsavvikelser och deras respektive sannolikheter för att inträffa antagits vara enligt tabell 3. Fall 0 avser att inga avvikelser förekommer. Av tabellen framgår också motsvarande standardavvikelser.

Tabell 3 Avvikelser mellan förväntade och erbjudna leveranstider med motsvarande sannolikheter för att de skall inträffa när erbjuden leveranstid väljs

<i>Avvikelse i leveranstid i dagar</i>	<i>Sannolikheter i procent</i>			
	<i>Fall 1</i>	<i>Fall 2</i>	<i>Fall 3</i>	<i>Fall 4</i>
- 4				4 %
- 3			7 %	8 %
- 2		11 %	11 %	12 %
- 1	25 %	22 %	17 %	16 %
0	50 %	34 %	30 %	20 %
+ 1	25 %	22 %	17 %	16 %
+ 2		11 %	11 %	12 %
+ 3			7 %	8 %
+ 4				4 %
Standardavvikelse	0,71	1,15	1,57	1,99

Motsvarande leveranstidsavvikelser för alternativet att leveranstiden endast sätts lika med den erbjudna leveranstiden om den är större än eller lika med den förväntade leveranstiden inklusive deras respektive sannolikheter framgår av tabell 4. Dessutom visas motsvarande standardavvikelser för respektive fall.

Baserat på dessa sannolikheter har 6000 olika leveranstidsavvikelser genererats slumpmässigt med hjälp av diskret slumpmässigt generering i Excel, dels för var och en av de två gånger fem fallen med leveranstidsvariation före order och dels för var och en av de fem fallen av leveransprecision. De sålunda skapade leveranstidsavvikelserna för leveranstidsvariation respektive leveransprecision har därefter kombinerats till femtio olika totala leveranstidsavvikelser. De har därefter adderats till var och en av de fem förväntade leveranstiderna.

Tabell 4 Avvikelser mellan förväntade och erbjudna leveranstider med motsvarande sannolikheter för att de skall inträffa när erbjuden leveranstid endast väljs när den är större än eller lika med förväntad

Avvikelse i leveranstid i dagar	Sannolikheter i procent			
	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
0	70 %	67 %	65 %	60 %
+ 1	25 %	22 %	17 %	16 %
+ 2		11 %	11 %	12 %
+ 3			7 %	8 %
+ 4				4 %
Standardavvikelse	0,46	0,77	0,94	1,17

### 4.3 Simuleringsmodell

Den simuleringsmodell som använts bygger på ett beställningspunktssystem av (s,Q)-typ. Den fasta orderkvantiteten för lagerpåfyllnad har satts till medelefterfrågan under tio dagar. Skälet till att välja fast orderkvantitet är att använd orderkvantitet påverkar säkerhetslagrets storlek och därmed servicenivån. Beställningspunkten har dimensionerats med utgångspunkt från önskad fyllnadsgradsservice medan erhållen servicenivå beräknas som orderradsservice eftersom detta är det vanligast använda måttet på leveransförmåga. Tre olika målsatta orderradsservicenivåer 95, 97 respektive 99 procent har använts för att också kunna analysera servicenivåns betydelse för de studerade frågeställningarna.

Simuleringarna har genomförts som en kombination av händelsedrivna och diskret simulering. Vid den händelsedrivna simuleringen simuleras under 6000 dagar dagliga uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo för var och en av tjugo efterfrågeserier per efterfrågestruktur och för var och en av de genererade leveranstiderna. Uppkomna brister restnoteras för senare leverans. Efter varje genomförd simuleringskörning beräknas totalt antal kundorder och antal kundorder med brist. Baserat på dessa beräkningar beräknas motsvarande orderradsservice i procent. Dessutom beräknas det säkerhetslager som har krävts för att uppnå den aktuella orderradsservicen. Vid denna beräkning har säkerhetslagret definierats som det lagersaldo som i medeltal finns vid inleverans (Herron, 1986).

Eftersom säkerhetslagren dimensioneras med hjälp av en målsatt fyllnadsgradsservice och erhållen servicegrad beräknas som orderradsservice kan man inte förvänta sig att uppnå respektive önskad servicegrad. Den händelsedrivna simuleringen har därför kompletterats med ett diskret komplement. Detta innebär att en första händelsedrivna simulering genomförs med en beställningspunkt baserad på den dimensionerande fyllnadsgraden. Från denna simulering erhålls en viss orderradsservice. Är denna orderradsservice lägre än den målsatta ökas beställningspunkten med en enhet och en ny händelsedrivna körning genomförs. Simuleringskörningarna fortsätts tills erhållen orderradsservice blir högre än målsatt.

Simuleringarna har genomförts i Excel och med makron skrivna i Visual Basic. För att öka validiteten genererades den dagliga efterfrågan och de olika leveranstiderna i förväg och sparades i ett Excel-ark i stället för att genereras under simuleringens gång. Simule-

ringen av de olika fallen av leveranstider och leveranstidsvariationer kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata och parvisa jämförelser göras.

För att kunna få en uppfattning om i vilken utsträckning förekommande skillnader i säkerhetslager är signifikanta har signifikanstester gjorts baserat på de tjugo olika efterfrågeserier som simulerats för varje efterfrågestruktur. Signifikanstesterna har baserats på en t-fördelning eftersom antalet observationer för varje efterfrågestruktur är begränsat till tjugo stycken.

## 5 Resultat och analys

I det här avsnittet presenteras de resultat som erhållits från simuleringarna. Dessutom analyseras och diskuteras utfallen inklusive möjliga förklaringar.

### 5.1 Säkerhetslager och leveransprecision

Ett utdrag av de resultat som erhållits med avseende på hur mycket leveransprecisionen påverkar säkerhetslagrets storlek vid olika leveranstider visas i tabell 5. Tabellen avser hur mycket säkerhetslagret ökar i procent vid avtagande leveransprecision i förhållande till säkerhetslagerstorleken vid 100 procent leveransprecision. Endast fallet med en orderradsservice på 97 procent och förväntade leveranstider på 5 respektive 15 dagar är inkluderade i tabellen. Procentsatser med fet stil avser att ökningen är signifikant på 0,5 %-nivån.

Av tabellen framgår klart att låg leveransprecision betyder mer för säkerhetslagrets storlek ju högre och jämnare efterfrågan är. Detta är förväntat eftersom bristfällig leveransprecision medför stora standardavvikelser för leveranstiden och att dessa standardavvikelser multipliceras med efterfrågan per dag i kvadrat vid beräkningen av efterfrågans standardavvikelse under leveranstid. Att jämnheten i efterfrågan också spelar stor roll framgår genom att jämföra efterfrågestruktur 1 och 5. Båda har ungefär lika hög efterfrågan men efterfrågestruktur 5 har ungefär fyra gånger så hög variationskoefficient. Skillnaderna kan förklaras av att kundorder kommer mer sporadiskt vid mycket varierande efterfrågan, dvs det kan gå flera dagar mellan efterfrågetillfällena. Vid många av inleveranstillfällena kan därför enstaka dagars leveransförsening vara utan betydelse.

Tabell 5 Procentuell ökning av säkerhetslager vid minskad leveransprecision för olika efterfrågestrukturer och leveranstider

Efterfrågestruktur	Leveranstid 5 dagar				Leveranstid 15 dagar			
	95 %	90 %	85 %	80 %	95 %	90 %	85 %	80 %
1	<b>22</b>	<b>42</b>	<b>73</b>	<b>166</b>	<b>8</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>64</b>
2	<b>9</b>	<b>19</b>	<b>29</b>	<b>58</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>23</b>
3	2	4	8	15	1	0	2	3
4	0	4	4	9	0	1	2	3
5	4	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	1	2	2	<b>4</b>
6	5	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	1	3	3	<b>7</b>
7	0	2	2	2	0	0	2	-1



För efterfrågestrukturerna 4 och 7 med ytterligare större efterfrågevariationer påverkas storleken på säkerhetslagret praktiskt taget inte alls av försämrade leveransprecision. Av tabellen framgår också att ju längre leveranstiderna är, desto mindre påverkas säkerhetslagrets storlek av bristande leveransprecision. Detta kan också tolkas som att bristande leveransprecision relativt sett är mindre allvarligt ur kapitalbindningssynpunkt vid långa leveranstider. Storleken på önskad orderradsservice har marginell påverkan på hur mycket leveransprecisionen betyder för säkerhetslagrets storlek utom för mycket höga servicenivåer där betydelsen ökar något.

## 5.2 Säkerhetslager och leveranstidsvariationer

Forskningsfråga 2 avser hur säkerhetslagrets storlek påverkas av ökade leveranstidsvariationer före order. Resultaten från simuleringarna vid 10 dagars leveranstid och vid 100 procent leveransprecision framgår av tabell 6. I tabellen visas den procentuella ökningen av säkerhetslagrets storlek för olika grader av leveranstidsvariation jämfört med ingen leveranstidsvariation. Procentsatser med fet stil anger att reduktionen är signifikant på 0,5 %-nivån. Symmetrisk leveranstidsvariation innebär att man alltid väljer den av leverantören erbjudna leveranstiden medan asymmetrisk innebär att man aldrig väljer en leveranstid som är kortare än den förväntade.

Av tabellen framgår att ju högre och jämnare efterfrågan är, desto mer påverkas säkerhetslagrets storlek av leveranstidsvariation. Däremot påverkas säkerhetslagrets storlek praktiskt taget inte alls för efterfrågestrukturerna 4 och 7 som karakteriseras av hög efterfrågevariation. Inte heller vid måttliga efterfrågevariationer påverkas storleken på säkerhetslagret särskilt mycket av leveranstidsvariationens storlek, inte ens för efterfrågestruktur 5 med förhållandevis hög efterfrågan. De erhållna resultaten visar också att leveranstidsvariationerna påverkar säkerhetslagrets storlek mer vid låg än vid hög orderadsservice, speciellt när efterfrågan är hög och jämn.

Tabell 6 Procentuell ökning av säkerhetslager för olika grader av symmetrisk respektive asymmetrisk leveranstidsvariation vid en leveranstid på 10 dagar och 100 % leveransprecision

Efterfrågestruktur	Symmetrisk variation				Asymmetrisk variation			
	$\sigma = 0,71$	$\sigma = 1,15$	$\sigma = 1,57$	$\sigma = 1,99$	$\sigma = 0,46$	$\sigma = 0,77$	$\sigma = 0,94$	$\sigma = 1,17$
1	<b>30</b>	<b>71</b>	<b>131</b>	<b>185</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>63</b>	<b>94</b>
2	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>42</b>	<b>57</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>30</b>
3	0	4	<b>5</b>	<b>9</b>	2	4	<b>6</b>	<b>8</b>
4	0	0	0	0	1	1	3	3
5	1	3	<b>7</b>	<b>11</b>	2	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
6	1	4	<b>7</b>	<b>9</b>	1	4	<b>7</b>	<b>7</b>
7	0	0	2	2	1	1	0	2

Det framgår också av tabellen att säkerhetslagrets storlek påverkas mer av leveranstidsvariation vid symmetrisk variation än vid asymmetrisk för efterfrågestrukturer med hög och jämn efterfrågan. Detta beror främst på att standardavvikelsen för leveranstidsvariationerna blir högre vid symmetrisk variation men också på att inleveranser vid många tillfällen kommer att ske onödigt tidigt och bidra till ett ökat lager utan att bidra till bättre tillgänglighet. Vid liten efterfrågan och/eller hög efterfrågevariation är skillnaderna

mellan symmetrisk och asymmetrisk leveranstidsvariation för praktiskt bruk försumbara. Utöver de resultat som visas i tabell 6 visade simuleringarna också att betydelsen för säkerhetslagrets storlek av att inte välja leveranstider som är kortare än de förväntade avtar med minskande leveransprecision.

### 5.3 Säkerhetslager som funktion av leveranstid

Säkerhetslagrets storlek som funktion av leveranstidens längd vid olika grad av leveranstidsvariation utgör den tredje forskningsfrågan. Resultaten från simuleringarna i detta avseende visas i tabell 7. Endast fallet med symmetriska leveranstidsvariationer före order redovisas. Tabellen har också begränsats till att omfatta efterfrågestrukturerna 1, 2, 4, 5 och 7 samt tre av leveranstidsvariationsgraderna. Procentsatserna i tabellen avser hur mycket större säkerhetslagret måste vara vid olika leveranstider och leveranstidsvariationer i förhållande till hur stort det är vid en leveranstid på 5 dagar. Samtliga ökningarna är signifikanta på 0,5 %-nivån.

Som framgår av tabellen ökar säkerhetslagrets storlek för att nå önskvärd servicenivå vid ökande leveranstider mindre och mindre med ökande leveranstidsvariation. Speciellt är detta fallet för efterfrågestrukturerna 1 och 2 som karakteriseras av hög och jämn efterfrågan jämfört med övriga efterfrågestrukturer och då leveransprecisionen är 100 procent. Exempelvis ökar säkerhetslagret för efterfrågestruktur 1 med 126 procent när leveranstiden ökar från fem till femton dagar om det inte förekommer någon leveranstidsvariation medan den endast ökar med 20 procent vid en leveranstidsvariation motsvarande en standardavvikelse på 1,99.

Tabell 7 Procentuell ökning av säkerhetslager som funktion av leveranstiden i förhållande till säkerhetslagret vid en leveranstid på 5 dagar för olika grader av leveransprecision och leveranstidsvariation

Efterfrågestruktur	Variationsgrad	100 % leveransprecision				80 % leveransprecision			
		Leveranstider				Leveranstider			
		10	15	20	25	10	15	20	25
1	$\sigma = 0,0$	<b>68</b>	<b>126</b>	<b>187</b>	<b>231</b>	<b>21</b>	<b>39</b>	<b>57</b>	<b>70</b>
	$\sigma = 1,15$	<b>23</b>	<b>45</b>	<b>63</b>	<b>81</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>44</b>
	$\sigma = 1,99$	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>34</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>29</b>
2	$\sigma = 0,0$	<b>58</b>	<b>109</b>	<b>151</b>	<b>193</b>	<b>28</b>	<b>62</b>	<b>82</b>	<b>104</b>
	$\sigma = 1,15$	<b>35</b>	<b>68</b>	<b>95</b>	<b>123</b>	<b>22</b>	<b>46</b>	<b>62</b>	<b>81</b>
	$\sigma = 1,99$	<b>18</b>	<b>38</b>	<b>53</b>	<b>72</b>	<b>13</b>	<b>29</b>	<b>41</b>	<b>55</b>
4	$\sigma = 0,0$	<b>39</b>	<b>71</b>	<b>92</b>	<b>113</b>	<b>34</b>	<b>61</b>	<b>82</b>	<b>105</b>
	$\sigma = 1,15$	<b>34</b>	<b>65</b>	<b>83</b>	<b>102</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>76</b>	<b>96</b>
	$\sigma = 1,99$	<b>29</b>	<b>58</b>	<b>80</b>	<b>97</b>	<b>27</b>	<b>55</b>	<b>75</b>	<b>91</b>
5	$\sigma = 0,0$	<b>44</b>	<b>84</b>	<b>115</b>	<b>142</b>	<b>36</b>	<b>66</b>	<b>95</b>	<b>119</b>
	$\sigma = 1,15$	<b>38</b>	<b>74</b>	<b>101</b>	<b>128</b>	<b>31</b>	<b>61</b>	<b>85</b>	<b>107</b>
	$\sigma = 1,99$	<b>32</b>	<b>61</b>	<b>83</b>	<b>105</b>	<b>27</b>	<b>51</b>	<b>73</b>	<b>93</b>
7	$\sigma = 0,0$	<b>32</b>	<b>58</b>	<b>73</b>	<b>84</b>	<b>35</b>	<b>62</b>	<b>73</b>	<b>84</b>
	$\sigma = 1,15$	<b>39</b>	<b>57</b>	<b>79</b>	<b>92</b>	<b>45</b>	<b>62</b>	<b>83</b>	<b>97</b>
	$\sigma = 1,99$	<b>37</b>	<b>50</b>	<b>74</b>	<b>86</b>	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>78</b>	<b>91</b>

Uttryckt på ett annorlunda sätt spelar leveranstidens längd i dessa fall en mindre roll för säkerhetslagrets storlek ju större leveranstidsvariationerna är. Det kan följaktligen för

den här typen av efterfrågestruktur finnas skäl att öka leveranstiderna om en sådan ökning kan bidra till att minska leveranstidsvariationerna. Vid 80 procent leveransprecision är förhållandena något mindre uttalade. För efterfrågefäll som karakteriseras av låg efterfrågan och/eller ojämn efterfrågan, exempelvis för efterfrågestrukturerna 5 och 7, påverkas säkerhetslagrets storlek procentuellt sett betydligt mindre av ökande leveranstid.

Förhållandena vad gäller hur mycket säkerhetslagret ökar med ökande leveranstider vid olika leveranstidsvariationer och vid asymmetrisk efterfrågevariation är likartade med motsvarande för symmetrisk efterfrågevariation men ökningen är relativt sett något större. Säkerhetslagrets storlek är emellertid något mindre för jämförbara fall av leveranstid och leveranstidsvariation i enlighet med de resultat som redovisades i avsnitt 5.2. Resultaten visar också att säkerhetslagret ökar procentuellt betydligt mer med ökande leveranstider vid låga nivåer på orderradsservice jämfört med höga nivåer.

## 6 Sammanfattning och Slutsatser

I den här artikeln redovisas resultaten från en studie avseende i vilken utsträckning leveransprecision, leveranstidsvariation och leveranstider påverkar säkerhetslagrets storlek och hur de samverkar under olika efterfrågeförhållanden. De resultat som erhållits kan sammanfattas i följande punkter.

### **Leveransprecision:**

- För artiklar med stor efterfrågan och högfrekvent ordergång/förbrukning har hög leveransprecision en avgörande betydelse för säkerhetslagrets storlek, speciellt vid korta leveranstider
- Ju längre leveranstiderna är och ju mindre och mer lågfrekvent ordergången/förbrukningen är desto mer försumbar är bristande leveransprecisionen
- Storleken på önskad orderradsservice har marginell påverkan på hur mycket leveransprecisionen betyder för säkerhetslagrets storlek utom för mycket höga service-nivåer

### **Leveranstidsvariation:**

- För artiklar med hög och jämn efterfrågan påverkas säkerhetslagret avsevärt av leveranstidsvariation före order, speciellt vid korta leveranstider
- För artiklar med hög och jämn efterfrågan är det en fördel att alltid välja den förväntade leveranstiden även om leverantören skulle erbjuda en kortare leveranstid med tanke på säkerhetslagrets storlek
- Vid långa leveranstider och låg efterfråge/förbrukningsfrekvens påverkas säkerhetslagret endast marginellt av leveranstidsvariation

### **Leveranstider:**

- Säkerhetslagret ökar alltid med ökande leveranstider men ökningen är procentuellt sett mindre för efterfrågestrukturer med låg och ojämn efterfrågan
- Säkerhetslagret ökar i mindre takt med ökande leveranstider vid stora leveranstidsvariationer och låg leveransprecision. Vid hög och jämn efterfrågan är ökningen näst intill marginell

- För efterfrågestrukturer med låg och/eller ojämn efterfrågan påverkas säkerhetslagret som funktion av leveranstiden praktiskt taget inte alls av graden av leveransvariation och leveransprecision.

Som en konsekvens av dessa resultat kan man dra följande slutsatser i form av riktlinjer avseende vilka prioriteringar man bör göra med avseende på att sänka leveranstid och leveranstidsvariation samt förbättra leveransprecisionen.

- Vill man reducera leveranstidsvariationer eller förbättra leveransprecisionen får man störst procentuell påverkan på säkerhetslagrets storlek genom att prioritera artiklar med hög och jämn efterfrågan och artiklar med korta leveranstider
- Vill man reducera leveranstider får man störst procentuell påverkan på säkerhetslagrets storlek genom att prioritera artiklar med låg och ojämn efterfrågan och artiklar med stabila leveranstidsvariationer och hög leveransprecision
- Vill man sänka säkerhetslager bör man i första hand satsa på att sänka leveranstidsvariation och förbättra leveransprecision för artiklar med hög och jämna efterfråga och på att sänka leveranstider för artiklar med låg och ojämn efterfrågan

## Referenser

Bagchi, U., Haya, J., Chu, C-H. (1986) The effect of lead-time variability: The case of independent demand, *Journal of Operations Management*, Vol. 6 No.2, sid 159-177.

Evers, P. (1999) The effect on lead times on safety stocks, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 40 No. 2, sid 6-10.

European Logistics Association (ELA) och A T Kearney (2001) *Insight to impact*.

Herron, D. (1986) Integrated inventory management, *Journal of Business Logistics*, Vol. 8 No. 1, sid 96-116.

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

Olhager, J., Selldin, E. (2003) Enterprise resource planning survey of Swedish manufacturing firms, *European Journal of Operational Research*, Vol. 146, sid 365.

Schwarz, L., Weng, K. (1999) The design of a JIT supply chain: The effect of lead time uncertainty on safety stock, *Journal of Business Logistics*, Vol. 20 No. 1, sid 141-163.

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

Snyder, R., Koehler, A., Hyndman, R., Ord, K. (2004) Exponential smoothing models: Means and variances for lead time demand, *European Journal of Operational Research*, No. 158, sid 444-455.

Taylor, D. (2000) Demand amplification: has it got us beat, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.30 No. 6, pp. 515-533.

Vinson, C. (1972) The cost of ignoring lead time unreliability in inventory theory, *Decision Science*, Vol. 3, sid 87-105.