

Strategier för att minska osäkerhet och variationer i leveranstider och dess påverkan på kapitalbindning

Stig-Arne Mattsson
Institutionen för ekonomistyrning och logistik
Linnéuniversitetet, Växjö

Sammanfattning

Säkerhetslager används för att säkerställa att företag skall kunna uppnå en önskad leveransförmåga. Hur stor kapitalbindningen i sådana säkerhetslager behöver vara påverkas i stor utsträckning av osäkerheter och variationer på inboundsidan i form av variationer i leveranstider och på outboundsidan i form av variationer i efterfrågan. Syftet med den här forskningsrapporten har varit att utforma olika strategier för att minska inslaget av osäkerhet och variationer i leveranstider in till företaget samt att analysera vilka effekter med avseende på minskad kapitalbindning som strategierna kan förväntas få. Analyserna har genomförts med hjälp av simulering. Några av de huvudsakliga resultaten och slutsatserna kan sammanfattas enligt följande.

Att använda leveranstider som är längre än vad en leverantör normalt erbjuder och därmed delvis frikoppla leveranstidsvariationerna från lagret är ett effektivt sätt att reducera kapitalbindning för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Vid låg kundorderfrekvens leder strategin snarast till ökad kapitalbindning.

Användning av avtal om fasta leveranstider som en strategi för att reducera leveranstidsvariationer leder till kraftigt minskad kapitalbindning vid hög kundorderfrekvens men har försumbar effekt vid låg kundorderfrekvens.

Genom informationsöverföring av aktuella leveranstider eller genom att tillämpa leverantörsstyrda lager kan kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras påtagligt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Strategierna har emellertid tämligen försumbara effekter för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.

Med förbättrad leveransprecision, exempelvis via vitesavtal eller aktiv leveransbevakning, kan kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras påtagligt vid hög kundorderfrekvens, men endast marginellt vid låg kundorderfrekvens. För fall med låg kundorderfrekvens är det effektivare att reducera leveranstidens längd.

Det säkerhetslager som beror på leveranstidsvariationer är betydligt större än det säkerhetslager som beror på efterfrågevariationer för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens medan det motsatta förhållandet gäller för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.

1 Bakgrund och syfte

För att kunna uppnå önskad leveransförmåga 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 utgår man ofta 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 för att kompensera för efterfrågevariationer påverkas också av levererande företag uppströms försörjningskedjan på grund av längden på aktuella ledtider för att fylla på lagren. Dessutom påverkas behovet av säkerhetslager av variationer i ledtider och av leverantörernas leveransprecision.

Att både ledtidens 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 standardavvikelse för efterfrågevariationer vid varierande ledtider. Se exempelvis Silver och Peterson (1985, sid 297). Det är emellertid ytterst sällsynt att företag vid dimensionering av säkerhetslager tar hänsyn till annat än ledtidens längd och den övervägande delen av de affärssystemen som finns på marknaden klarar inte av att beakta ledtidsvariationer och bristfällig leveransprecision.

Redan för mer än fyrtio år sedan visade Vinson (1972) med hjälp av simulering att kostnadseffekterna kan bli avsevärda om man bortser från att ta hänsyn till att ledtider varierar. Senare har också Schwarz och Weng (1999) samt Swenseth och Buffa (1991) med hjälp av analytiska beräkningar påvisat att hänsynstagande till variationer i ledtider spelar en avgörande roll för lagerhållningskostnaderna i försörjningskedjor. Betydelsen av att beakta sådana variationer vid beräkning av standardavvikelse för efterfrågan under ledtid och följaktligen för dimensionering av säkerhetslager har också betonats av Bagchi et al. (1986). Snyder et al. (2004) konstaterar dessutom att osäkra ledtider kan leda till avsevärt ökade säkerhetslager för att kunna säkerställa en önskad leveransförmåga. Att man måste ta hänsyn till både ledtidens längd och dess variation har bland andra påpekats av Martha och Subbarkrishn (2002) samt Chopra et al. (2004). Evers (1999) har dessutom visat analytiskt att man också måste ta hänsyn till det ömsesidiga beroendet mellan ledtidens längd och dess variation vid dimensionering av säkerhetslager.

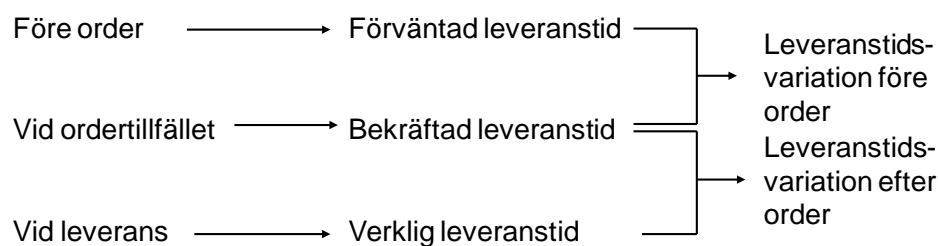
Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i den här rapporten har varit att belysa hur och i vilken utsträckning man med olika strategier kan hantera osäkerheter och variationer i ledtider för att reducera säkerhetslagrets storlek. Studien har genomförts med hjälp av simulering med orderradsservice som mått på erhållen servicenivå.

2 Ledtid, leveranstid och leveranstidsvariation

Ledtid för lagerpåfyllnad definieras här som kalendertiden mellan att ett behov uppstår och att det uppfylls. Den kan något förenklat delas in i en leveranstidsdel representerande leveranstiden för leverantören från erhållen order till utleverans och transport till kund och en kundtidsdel representerande dels tiden från uppstått behov till anskaff-

ningsorder och dels tiden från godsmottagning till inläggning i lager. Det är summan av dessa ledtidsdelar som måste användas vid lagerstyrning, exempelvis vid beräkning av beställningspunkter och säkerhetslager. Eftersom det i allmänhet är leveranstidsdelen av ledtiden som är mest utsatt för variation betraktas kundtidsdelen här som ett konstant tillägg till leveranstiden. För enkelhets skull används därför begreppet leveranstid fortsättningsvis 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 fasan tiden före order, den andra tiden vid ordertillfället och den tredje tiden vid leveranstillfället. 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 i stor utsträckning utgör en prognos. Den är i allmänhet lika med 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 då överenskomms mellan kund och leverantör kan kallas bekräftad leveranstid. Vilken den verkliga leveranstiden är för en viss order får man inte säkert veta förrän vid inleveranstillfället, dvs. under den tredje fasan.

Skillnaden mellan förväntad leveranstid och bekräftad leveranstid kallas här leveranstidsvariation före order. Det är en variabel som visar hur mycket leveranstiden från en leverantör varierar från ordertillfälle till ordertillfälle. Den är också ett uttryck för en leverantörs förmåga att konsekvent hålla stabila leveranstider. Ju mindre variationen är, desto mindre säkerhetslager behöver man ha för att gardera sig mot brist. Skillnaden mellan verklig leveranstid och bekräftad leveranstid kallas här leveranstidsvariation efter order. En vanligare benämning är leveransprecision eftersom den är ett uttryck för leverantörens förmåga att leverera vid lovad leveranstidpunkt. När man skall dimensionera säkerhetslager med hänsyn tagen till leveranstidsvariationer och när man vill analysera vad olika stora leveranstidsvariationer betyder för säkerhetslagrets storlek är det variationer med avseende skillnaderna mellan leveranstider efter order och leveranstider före order som är av intresse.

3 Teoretiska samband mellan leveranstid, leveranstidsvariation och säkerhetslager

Under allmänna förutsättningar kan säkerhetslager beräknas som en säkerhetsfaktor gånger standardavvikelsen för efterfrågevariationerna under leveranstiden, där säkerhetsfaktorn är en funktion av vald servicenivå. Eftersom efterfrågevariationernas standardavvikelse normalt beräknas per period måste den så beräknade standardavvikelsen anpassas till leveranstidens längd uttryckt i antal perioder. Under förutsättning att leveranstiden är konstant gäller då följande samband mellan standardavvikelsen under leveranstid och standardavvikelsen under en period (Silver – Peterson, 1985, sid 131).

$$\sigma(LT) = LT^n \cdot \sigma(D) \dots\dots\dots 1$$

där $\sigma(LT)$ = efterfrågevariationernas standardavvikelse under leveranstiden
LT = leveranstidens längd i perioder
 $\sigma(D)$ = efterfrågevariationernas standardavvikelse per period
n = koefficient vars storlek beror på karaktären på variationerna

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 de periodvisa efterfrågevärdena varierar helt slumpmässigt och oberoende av varandra, dvs. att det inte föreligger någon autokorrelation, är koefficienten lika med 0,5. Sambandet mellan standardavvikelsen under leveranstiden och standardavvikelsen under en vald period blir då följande.

$$\sigma(DLT) = \sqrt{LT} \cdot \sigma(D) \dots\dots\dots 2$$

Detta samband är mycket vanligt använt i praktiken (Flagan, 1984) och i de affärssystem som finns på marknaden. Förhållandet blir något annorlunda om autokorrelation föreligger. Autokorrelation innebär att det är större sannolikhet att en viss periods värde liknar de närmst föregående än att det liknar värden längre tillbaka i tiden, så kallad positiv korrelation, eller att efterfrågan i en period i viss utsträckning tar ut variationer i efterfrågan under efterföljande perioder, så kallad negativ korrelation. Brown (1967, sid 116) har visat att det i praktiken ofta uppstår sådana beroendeförhållanden och därmed korrelationer om man baserar standardavvikelseberäkningen på prognosfel vid användning av exponentiell utjämning eller motsvarande metoder för att prognostisera i stället för på efterfrågevariationer. Beroendeförhållanden kan också uppstå om den prognosmetod som används inte i tillräcklig utsträckning tar hänsyn till systematiska efterfrågeförändringar av typ trend och säsongvariation (Brown, 1977, sid 150). Sådana brister bidrar till att autokorrelation uppstår och förstärks. Samband 2 kan då ge för låga värden på prognosfelens standardavvikelse, speciellt i fallet med positiv korrelation.

Sambandet mellan säkerhetslagrets storlek och leveranstiden vid konstanta leveranstider påverkas också av hur hög servicenivå man använder. Exempelvis har Brauer (1985) visat att säkerhetslagret ökar snabbare vid höga servicenivåer än vid låga med ökande leveranstid.

Som påpekades ovan är inte ett säkerhetslager enbart beroende av leveranstidens längd utan även av dess variation. Under sådana förhållanden kan standardavvikelsen beräk-

nas med hjälp av följande samband. Se Tersine (1994, sid 231) och Evers (1999). Ett bevis för formeln finns bland annat redovisat av Brown (1963, sid 367).

$$\sigma (DLT) = \sqrt{LT \cdot \sigma(D)^2 + D^2 \cdot \sigma (LT)^2} \dots\dots\dots 3$$

där $\sigma (DLT)$ = den resulterande standardavvikelsen för efterfrågevariationer under leveranstiden
LT = leveranstidens längd i perioder
 $\sigma(D)$ = efterfrågevariationernas standardavvikelse per period
D = medelefterfrågan per period
 $\sigma (LT)$ = ledtidens standardavvikelse i antal perioder

Sambandet gäller under förutsättning att efterfrågan per period och leveranstider varierar slumpmässigt och oberoende av varandra (Herron,1987 och Axsäter, 1991, sid 65).

Av sambandet kan man utläsa att variationer i leveranstider kan förväntas få störst påverkan på efterfrågevariationernas standardavvikelse under leveranstiden vid hög och jämn efterfrågan medan leveranstidernas längd får störst påverkan vid låg och ojämn efterfrågan. Dessa förhållanden har studerats analytiskt av Blumenfeld et al. (1999) och med hjälp av simulering av Mattsson (2010). Bland annat dras följande slutsatser i Mattssons studie.

Med avseende på variationer i leveranstider före order påverkas säkerhetslagrets storlek avsevärt vid hög och jämn efterfrågan, speciellt vid korta leveranstider. Vid låg och ojämn efterfrågan påverkas säkerhetslagret storlek mer marginellt av leveranstidsvariationer och speciellt vid korta leveranstider. Variationer i leveranstider efter order, dvs. i form av leveransprecision, har en avgörande betydelse för säkerhetslagrets storlek vid hög och jämn efterfrågan, speciellt om leveranstiderna är korta. Ju lägre och mer varierande efterfrågan är, desto mer försumbar blir bristande leveransprecisionen.

4 Alternativa strategier för att hantera osäkerhet och varierande leveranstider från leverantörer

4.1 Osäkerhet och variation

Vid anskaffning av artiklar mot lager för vidareförsäljning till kunder eller för användning vid tillverkning av produkter med produktionen som kund, är leveranstiderna från leverantörer oftast endast delvis kända och följaktligen osäkra. Denna osäkerhet gäller både hur långa de är vid beställningstillfället och i vilken utsträckning verkliga leveranstider avviker från bekräftade på grund av bristfällig leveransprecision. De utgör med andra ord en osäkerhet uppströms försörjningskedjan för det anskaffande företaget, eller annorlunda uttryckt en osäkerhet på företagets inboundsida. Detta förhållande medför problem som på något sätt måste hanteras för att man skall kunna upprätthålla den egna leveransförmågan till kund.

Möjligheterna att upprätthålla den egna leveransförmågan till kund påverkas emellertid också av att leveranstiderna varierar mellan anskaffningstillfällena. Man kan då föreställa

sig fyra kombinationer av osäkerhet och variation enligt nedanstående figur. En säker leveranstid betraktas som helt känd medan en osäker leveranstid betraktas som mer eller mindre okänd men aldrig helt känd. Helt konstanta leveranstider kan man i allmänhet aldrig förvänta sig. Det som avses här är leveranstider som ändras mycket lågfrekvent, exempelvis endast någon enstaka gång under en konjunkturcykel.

	Konstant leveranstid	Varierande leveranstid
Säker leveranstid	1	2
Osäker leveranstid	3	4

Figur 2 Möjliga kombinationer av osäkerhet och variationer i leveranstider

Kombination 1, dvs. fallet med helt känd, säker och konstant leveranstid, är en idealsituation ur lagerstyrningssynpunkt. Det enda som på inboundsidan i detta fall påverkar osäkerheten är leveranstidens längd eftersom efterfrågevariationerna ökar med ökande leveranstider men detta osäkerhetsinslag gäller företagets outboundsida nedströms försörjningskedjan. Den kapitalbindning i säkerhetslager som man vid säkra, kända och konstanta leveranstider måste ha för att uppnå önskad leveransförmåga i form av en viss servicenivå är då endast beroende av osäkerhet i efterfrågan eftersom ingen osäkerhet förekommer på inboundsidan.

Man skulle kunna föreställa sig att kombination 2, dvs. fall med varierande men kända och säkra leveranstider också innebär full säkerhet på inboundsidan. Så är emellertid inte alltid fallet eftersom graden av säkerhet och variation beror på när aktuell leveranstid blivit känd. Är leveranstiden inte känd förrän när beställning görs och bekräftas föreligger en osäkerhet eftersom den planerade anskaffningsorder som då ligger bakom beställningen alltid baseras på en förväntad och därmed osäker leveranstid. Den osäkra och varierande tiden är i princip skillnaden mellan bekräftad leveranstid och förväntad leveranstid. Även när leveranstiden är känd strax före planeringstillfället kan inslag av osäkerhet föreligga. För att uppnå full säkerhet måste leveranstiden vara känd så långt i förväg att vid planeringstillfället återstående tid tills lagret måste fyllas på aldrig är mindre än den kända leveranstiden. I annat fall kommer orderförslaget att baseras på en för kort leveranstid om den ökat sedan information om aktuell leveranstid senast erhållits från leverantören med eventuellt brist som följd. Har leveranstiden i stället minskat riskerar man att inleverans att ske för tidigt.

Kombination 3 med osäker och konstant leveranstid är från praktiska utgångspunkter orealistisk och därmed ointressant om konstant leveranstid representerar skillnaden mellan verklig leveranstid och förväntad leveranstid. Om leveranstider däremot avser av leverantören bekräftade tider och dessa är konstanta, dvs. att variationer i leveranstider före order inte förekommer, kan osäkerheter uppstå på grund av förekommande skillnader mellan verkligt erhållna och bekräftade leveranstider, dvs. som bristfällig leveransprecision i form av variationer i leveranstider efter order.

Det är fjärde kombinationen, dvs. osäker och varierande leveranstid, är den vanligast förekommande och kan i de flesta fall sägas representera ett normaltillstånd. Osäkerheten kan gälla både medelleveranstid och variationernas omfattning.

Både kombinationerna 2, 3 och 4 innebär osäkerheter i leveranstider och medför därför behov av säkerhetslager utöver det lager som behövs som gardering mot osäkerhet i efterfrågan. Principiellt kan man därför tala om att ett säkerhetslager har en efterfrågedel och en leveranstidsdel. Som framgått ovan finns det metoder för att dimensionera säkerhetslagret i båda dessa avseenden så att önskad servicenivå kan uppnås. Det innebär förenklat att man accepterar osäkerheterna och garderar sig med olika slag av buffertar för att kunna uppnå sin målsatta servicenivå. Ett sådant tillvägagångssätt kan emellertid medföra en oacceptabelt hög kapitalbindning. Ett annat alternativ är att använda olika strategier för att reducera förekommande osäkerheter och därmed möjliggöra ett gynnsammare förhållande mellan önskad servicenivå och den kapitalbindning som krävs för att uppnå den.

4.2 Strategier för hantering av osäkerhet i försörjningskedjor

Osäkerheter av olika slag förekommer alltid i större eller mindre utsträckning i försörjningskedjor. Enligt Wikner (2005) finns följande fyra alternativa generella strategier för att hantera sådana inslag av osäkerhet.

- Informationsdelningsstrategi för att eliminera osäkerheter
- Responsivenesstrategi för att hantera osäkerheter
- Frikopplingsstrategi för att isolera osäkerheter
- Aggregeringsstrategi för att absorbera osäkerheter

Vad dessa olika strategier innebär i den kontext som det är fråga om här redovisas nedan.

Informationsdelning innebär att leverantörer fortlöpande informerar sina kunder om aktuella leveranstider. Hur effektiv sådan informationsöverföring kan förväntas bli påverkas av hur långt i förväg den kommer till stånd. Som minimum måste alltid aktuell information finnas tillgänglig när lagerstyrningssystemet körs för att den skall ha någon effekt. Strategin kan endast tillämpas på den osäkerhet som gäller leveranstider före order.

Responsiveness står för förmåga att svara upp mot förändrade behov. Det är fråga om att kunna hantera volymosäkerhet och volymförändringar. Generellt kan det åstadkommas på två olika sätt; genom kapacitetsflexibilitet eller leveranstidsflexibilitet. Kapacitet att kunna leverera representeras i det här sammanhanget av lagrets storlek. Att utöver det säkerhetslager som finns kunna öka lagrets storlek är emellertid på kort sikt inte möjligt på grund av leveranstider från leverantörer. Inte heller leveranstidsflexibilitet representerar ett möjligt alternativ eftersom leverans från lager principiellt innebär att leveranstiden utöver transporttid redan är noll och följaktligen inte kan reduceras.

Med frikoppling avses användning av olika buffertar som kompensation för osäkerhet och variation och därmed möjligheter att i kontrollerbar utsträckning kunna begränsa störningar i materialflödet nerströms försörjningskedjan. Buffertar i det här sammanhanget kan avse kvantitetstillägg i lager eller tidstillägg till leveranstider. Frikopplingsstrategin påverkar inte i sig osäkerheter och variationer i leverantörens leveranstider.

Enligt Wikner avser aggregering att man slår samman flöden. Även om det i ett enskilt flöde kan förekomma variationer blir den totala variationen mindre än summan av variationerna i de enskilda flödena vid sammanslagning. Exempelvis blir efterfrågevariationerna i ett centrallager mindre än summan av efterfrågevariationerna i vart och ett av ett antal lokala lager vid i båda fallen samma totala efterfrågan. Strategin gäller framför allt med avseende på formaggregering och platsaggregering, inte tidsaggregering. Den är därmed inte tillämplig i det här sammanhanget eftersom den här studien avser enkelager. Det kan emellertid tilläggas att längre ledtider och lägre planeringsfrekvens medför en form av tidsaggregering och därmed relativt sett mindre osäkerhet, mindre efterfrågevariationer och ökad stabilitet uppströms försörjningskedjan. Se exempelvis Wikner et al. (1991) och Wilding (1998)

När det gäller osäkerhet och variationer i leverantörens leveranstider kan man även tänka sig följande strategier utöver de Wikner behandlat.

- Samverkansstrategi för att eliminera eller reducera osäkerheter
- Överföringsstrategi för att hantera osäkerheter
- Integrationsstrategi för att eliminera osäkerheter
- Leveranstidshållningsstrategi

Reducera osäkerheter genom samverkan innebär att man genom överenskommelser av olika slag reducerar förekomst av osäkerhet och variation i leverantörens leveranstider. Reduktion av osäkerheter kan också åstadkommas genom att leverantören när bristrisiker föreligger på kundföretaget via avtal eller annan typ av överenskommelse accepterar något kortare leveranstider. Alternativet eliminera osäkerhet genom samverkan innebär i princip samma sak som reducera osäkerheter men är mer långtgående och innebär att leveranstiderna kan vara helt kända och fasta. För att strategin skall medföra en win/win situation för kund och leverantör och därmed ökade möjligheter att förverkligas, kan sådana överenskommelser behöva innehålla någon form av kompensation för leverantören eller avtal om långa åtaganden från kund.

Med överföringsstrategi menas att osäkerhet och variationer i leveranstider i viss utsträckning överförs till kundföretagets kunder genom att vid behov leverera från lager med viss leveranstid, dvs. att man i någon viss utsträckning avstår från att alltid kunna leverera direkt från lager men inom ramen för vad uppnådd önskad servicenivå står för. Att en sådan strategi kan vara värd att överväga beror principiellt på att den i realiteten innebär att korta men osäkra leveranstider ersätts med något längre men säkrare leveranstider. Lawrence (1992) hävdar att kunder föredrar säkra leveranstider framför korta

leveranstider och att det därför kan vara fördelaktigt att arbeta med ett visst leveranstidsfönster i stället för med helt fasta leveranstider även om de är korta.

En order-till-leveransprocess kan sägas bestå av fyra delar, en beställningsprocess på kundföretaget, följt av en leveransprocess på leverantörsföretaget, följt av en transportprocess från leverantör till kund och slutligen en godsmottagningsprocess på kundföretaget. Grundorsaken till att osäkerhet förekommer är att processen är uppdelad i delprocesser. Om de olika delprocesserna integreras och administreras av en av aktörerna i dyaden kan osäkerheter avseende leveranstider i stor utsträckning elimineras, speciellt osäkerheter som rör leveranstidsvariationer före order men även osäkerheter som rör leveranstidsvariationer efter order eftersom leverantören genom att känna till hur mycket kunder har i lager också har möjligheter att prioritera leveranser till sådana som har uppenbara risker för brist. Ett vanligt sätt att åstadkomma detta är så kallade leverantörsstyrda lager eller VMI som innebär att det är leverantörsföretaget som styr kundens lager baserat på överförd information om förväntad efterfrågan. Se exempelvis Mattsson (2012, sid 325).

Leveransprecisionen, dvs. skillnaderna mellan verkliga och bekräftade leveranstider, kan vara påverkbar genom olika typer av leveranstidshållningsstrategier. Det kan exempelvis vara fråga om vitesklausuler för att motivera leverantörer att upprätthålla en högre leveransprecision. Det kan också vara fråga om leveransbevakning i bemärkelsen att påminna leverantören om att leverera i tid och därigenom påverka hans leveransprecision. Sådan leveransbevakning kan vara proaktiv eller reaktiv. Proaktiv leveransbevakning innebär att leverantören påminns en viss tid innan leverans skall ske och reaktiv leveransbevakning att leverantören påminns när leverans inte skett i tid och genom detta påverka graden av leveransförsening.

Alla dessa strategier betraktas här från ett kundperspektiv. Vissa av dem kräver någon form av medverkan av leverantörer.

4.3 Modeller för att analysera de alternativa strategierna

För att analysera vad de olika strategier som beskrivits i föregående avsnitt innebär för storleken på kapitalbindningen i säkerhetslager har en analysmodell utvecklats för var och en av dem. Modellerna redovisas nedan. I samtliga fall beskrivs de med hjälp av de leveranstider som används i olika delar av order-till-leverans processen. Dessa leveranstider definieras på följande sätt.

Dimensionerande leveranstid: Den leveranstid som används för att beräkna beställningspunkter eller motsvarande i andra typer av lagerstyrningssystem. Det är den leveranstid som kunden har information om, har uppskattat eller av olika skäl har valt att använda.

Beställningsleveranstid: Den leveranstid som man kommer överens med leverantören om att tillämpa för en viss order och som bekräftas av leverantören.

Verklig leveranstid: Den leveranstid leverantören levererar med, dvs. summan av beställningsleveranstid och leveranstidsavvikelse på grund av bristande leveransprecision.

Inga förändringar av önskade eller bekräftade leveranstider antas förekomma under order-till-leverans processen. I modellerna bortses också från den tid det tar att transportera produkter från leverantör till kund. Leveranstidens längd avser med andra ord leveranstid Ex Works.

För att kunna studera i vilken utsträckning som de olika strategierna kan bidra till att reducera kapitalbindning i säkerhetslager har en referensstrategi skapats. Den representerar fallet att alla osäkerheter och variationer med avseende på leverantörers leveranstider utan inskränkning tillåts påverka verksamheten i ett lager därmed säkerhetslagrets storlek för att uppnå en viss önskad servicenivå. Den innebär att beställningsleveranstiderna alltid är lika med de leveranstider som leverantören tillämpar vid beställningstillfället och att leveransprecisionen är 80 %, dvs. att 80 % av alla order levereras i tid och övriga med tre dagars leveransförseening. Det förekommer med andra ord full osäkerhet och variation både i leveranstider före order och i leveranstider efter order. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar lika med medelvärdet av förekommande förväntade leveranstider före order
- Beställningsleveranstid: 8 - 12 dagar och lika med aktuell leveranstid från leverantör
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförseening. Standardavvikelsen är 1,85

1 Frikopplingsstrategi med undre leveranstidsgräns

Denna frikopplingsstrategi innebär att man isolerar osäkerhet och variationer i leveranstider genom att etablera säkerhetslager mellan inbound- och outboundflödet men inom ramen för de leveranstider som använts för att dimensionera beställningspunkter. I motsats till referensstrategin tillämpas alltså leverantörens aktuella leveranstider endast om man måste därför att de vid beställningstillfället är längre än eller lika med de man planerat för. Inga beställningar görs med kortare leveranstider än de dimensionerande som följaktligen representerar en undre leveranstidsgräns. Därmed undviks att inleveranser sker för tidigt och därmed bidrar till onödigt kapitalbindning. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar, dvs. medelvärdet av de av leverantör erbjudna leveranstider som förekommit
- Beställningsleveranstid: 10 - 12 dagar motsvarande aktuell leveranstid från leverantör om lika med 10 dagar eller längre
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförseening relativt bekräftad leveranstid. Standardavvikelsen är 1,44

2 Frikopplingsstrategi med leveranstidstillägg

Frikopplingsstrategi med leveranstidstillägg innebär att man gör ett tidstillägg till förväntad leveranstid vid dimensionering av beställningspunkter. Den leveranstid som används sätts lika med maximalt förväntad leveranstid före order plus maximalt förväntad leveransförseening. Genom att göra ett sådant tillägg frikopplas variationer och osäkerhet i inboundflödet från materialflödet ut från lagret helt inom ramen för önskad egen servi-

cenivå till kund. Man beställer med andra ord avsiktligt för tidigt med en leveranstid som är längre än den aktuella från leverantören. Leverantörens aktuella leveranstider tillämpas inte alls vid beställningstillfället utan i stället den maximalt förväntade leveranstiden före order. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 15 dagar
- Beställningsleveranstid: 12 dagar
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,20

3 Frikopplingsstrategi med leveranstidsanpassning

Frikopplingsstrategi med undre leveranstidsgräns innebär att man isolerar osäkerhet och variationer i leveranstider inom ramen för de leveranstider som använts för att dimensionera beställningspunkterna och att inga beställningar görs med kortare leveranstider än de dimensionerande. Strategin innebär emellertid också att man vid risk för brist på grund av tillfälligt högre efterfrågan inte utnyttjar att den leveranstid som leverantören erbjuder vid beställningstillfället kan vara kortare och därmed kunna bidra till att en bristsituation undviks. Den här strategin innebär att kundföretaget gör en leveranstidsanpassning om risk för en kommande bristsituation har identifierats och om den leveranstid man önskar är lika med eller större än den leverantören erbjuder vid beställningstillfället, dvs. inom ramen för leverantörens aktuella leveranstider. Om bristrisk föreligger eller ej avgörs av hur långt under beställningspunkten lagersaldot är vid beställningstillfället, dvs. av överdragets storlek. Beställningsleveranstiden sätts lika med den dimensionerande leveranstiden minus överdraget beräknat som antal dagars medel efterfrågan per efterfrågedag, dock inte kortare än leverantörens aktuella leveranstid. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar
- Beställningsleveranstid: 10 dagar men mellan 8 och 12 dagar vid bristsituationer och beroende på leverantörens aktuella leveranstid
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,45

4 Samverkansstrategi med eliminering av variationer i leveranstider före order

Samverkansstrategi i det här sammanhanget avser att kund och leverantör blir överens om och avtalar att leverantören alltid skall tillämpa en fast leveranstid i stället för de varierande lovade och bekräftade leveranstider som normalt förekommer. Alternativet innebär att all osäkerhet och variation med avseende på leveranstider före order elimineras. Det säkerhetslager som krävs på kundföretaget blir då endast beroende av variationer i leveranstider efter order, dvs. det lager som krävs för att gardera sig mot bristfällig leveransprecision. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar
- Beställningsleveranstid: 10 dagar
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,21

5 Samverkansstrategi med full eliminering av leveranstidsvariationer

Den här samverkansstrategin är den samma som föregående med avseende på osäkerhet och variationer i leverantörers leveranstider före order men innefattar också eliminering av variationer i leveranstider efter order genom avtal, dvs. leveransprecisionen avtalas vara 100 %. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar
- Beställningsleveranstid: 10 dagar
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid. Standardavvikelsen är 0,00

6 Samverkansstrategi med behovsstyrda leveranstider

Samverkansstrategi med behovsstyrda leveranstider innebär att kundföretaget i viss utsträckning tillåts få reducerade leveranstider. Om behoven varit högre än förväntat sedan föregående beställningstillfälle och överdraget i form av skillnaden mellan beställningspunkt och lagersaldo blivit större än motsvarande 1 dags medelefterfrågan per efterfrågedag vid beställningstillfället, tillåts leveranstiden reduceras med överdragets storlek enligt samverkansavtal med leverantör, dock högst 2 dagar. Alternativet är identiskt med strategimodell 1 med undantag för leveranstidsanpassningen vid bristrisksituationer. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar
- Beställningsleveranstid: 10 - 12 dagar lika med aktuell leveranstid från leverantör om lika med 10 dagar eller längre och reducerad med överdragets storlek i efterfrågedagar vid beställningstillfället, dock högst 2 dagar
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,45

7 Överföringsstrategi

Överföringsstrategin är identisk med strategi 1 ovan med avseende på de olika typerna av leveranstider. För att kunna reducera det säkerhetslager som krävs för att uppnå en viss önskad servicenivå i form av orderradsservice tillåts emellertid leveranstiderna till kund att få bli större än noll om man på grund av otillräcklig kvantitet i lager inte kan leverera direkt. Osäkerheter och variationer i leveranstider överförs med andra ord till viss del till kundföretagets kunder. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar, dvs. medelvärdet av förekommande förväntade verkliga leveranstider
- Beställningsleveranstid: 10 - 12 dagar lika med aktuell leveranstid från leverantör om lika med 10 dagar eller längre
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,44

8 Informationsdelningsstrategi

Informationsdelningsstrategin innebär att leverantören informerar kunden om aktuella leveranstider. Uppdateringar sker dagligen när ändringar sker. Osäkerheter i leveranstider före order elimineras därmed för kunden men variationerna kvarstår på grund av bristande leveransprecision. I motsats till föregående strategier förändras beställningspunkten inför varje beställningspunktskörning baserat på aktuell leveranstid. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: Känd och varierande, 8 - 12 dagar
- Beställningsleveranstid: Varierande 8 - 12 dagar, lika med dimensionerande
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,85

9 Integrationsstrategi

Integrationsstrategin som den är utformad här innebär att leverantören administrerar kundens lager. Leverantören har principiellt sett tillgång till aktuella leveranstider och de osäkerheter som finns i mer traditionella kund/leverantörsrelationer kan elimineras. Beställningspunkten dimensioneras om inför varje körning baserat på aktuell leveranstid. I det här avseendet är strategin identisk med informationsdelningsstrategin. Det som skiljer är att leverantören i det här fallet också har förutsättningar att uppnå 100 % leveransprecision eftersom han har full kontroll över sina kunders lager och därigenom kan prioritera sina leveranser så att de kunder som riskerar brist vid försenad leverans alltid får leverans i tid. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: Känd och varierande, 8 - 12 dagar
- Beställningsleveranstid: Varierande 8 - 12 dagar, lika med dimensionerande
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid. Standardavvikelsen är 1,41

10 Leveranstidshållningsstrategi

Strategin innebär att man på olika sätt försöker påverka leverantörens leveransprecision så att skillnaderna mellan verklig och bekräftad leveranstid blir så små som möjligt. Analysmodellen är den samma som modell 1 med undantag för att leveransprecisionen ändrats från 80 till 90 % och från 3 till 1 dags leveransförsening. I analysmodellen för strategin används följande leveranstider:

- Dimensionerande leveranstid: 10 dagar lika med medelvärdet av förekommande förväntade leveranstider före order
- Beställningsleveranstid: 8 - 12 dagar och lika med aktuell leveranstid från leverantör
- Verklig leveranstid: Beställningsleveranstid plus leveransförsening. Standardavvikelsen är 1,44

5 Angreppssätt och simuleringsmodell

För att beräkna hur säkerhetslager påverkas av hur långa leveranstiderna är och av olika grad av osäkerhet och variation samt hur dessa faktorer samverkar och motverkar varandra kan analytiska beräkningar användas. Exempelvis har studier av det här slaget redovisats av Evers (1999), Snyder et al. (2004) och Chopra et al. (2004). Analytiska beräkningar bygger emellertid på ett antal förenklande antagande, bland andra att alla uttag är ett styck och att efterfrågan mellan olika perioder är oberoende. För att få rimligt hanterbara beräkningar antas dessutom oftast att efterfrågefördelningen är normalfördelad vilket bland annat medför att en del av efterfrågan betraktas som negativ. Chopra et al. har visat att leveranstiders och leveranstidsvariationers påverkan på säkerhetslagrets storlek är starkt beroende av vilken efterfrågefördelning som beräkningarna bygger på. En ytterligare svaghet med analytiska beräkningsmetoder är att beräkningarna endast kan avse hur stora de dimensionerande säkerhetslagren blir, inte hur de erhållna blir. Hur stora erhållna säkerhetslager blir påverkas också av vilken definition på den servicenivå man använder vid beräkningarna. Skillnader i de här avseendena har påvisats av Mattsson (2003).

För att få en mer realistisk utvärdering av de alternativa strategier för att hantera osäkerhet och variation i leveranstider som beskrivits ovan, har därför simulering använts i den här studien. Några av strategierna är dessutom inte möjliga att överhuvudtaget analysera med hjälp av analytiska metoder. Exempelvis gäller detta strategin som innebär att leverantören accepterar att anpassa leveranstiden under vissa omständigheter samt strategin att leverantören informerar kunden om aktuella leveranstider. Det är inte heller möjligt att använda analytiska beräkningar när man använder orderradsservice som mått på erhållen leveransförmåga. Simuleringarna har genomförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic.

5.1 Efterfrågedata och ledtidsdata

För att genomföra simuleringarna har ett teoretiskt genererat dataunderlag använts. Anledningen till att teoretiskt genererade data valts i stället för datamaterial från fallföretag är att man på det sättet kan uppnå en betydligt större kontroll över datamaterialets karaktär, exempelvis i form av olika kundorderfrekvenser, olika stora efterfrågevolymmer och olika stora efterfrågevariationer. Därigenom kan man på ett säkrare sätt identifiera samband och dra slutsatser av de resultat som erhålls.

Enligt Bagchi et al. (1984) är det lämpligt att modellera efterfrågan som en compound Poissonfördelning för att den skall bli så verklighetsnära som möjligt. Det finns också enligt Johnston och Boylan (1996) empiriska bevis för att kundorder i huvudsak erhålls slumpmässigt och därmed enligt en Poissonprocess. En rektangelfördelning med kvantiteter på 2 - 6 respektive 8 - 24 styck har valts för att bestämma kundorderkvantiteter. Artiklar med sju olika efterfrågefall har skapats enligt tabell 1. För att kunna signifikantesta förekommande skillnader i kapitalbindning har efterfrågevärden genererats för 20 artiklar per efterfrågefall och för var och en med 6000 dagars efterfrågevärden motsvarande 25 års verksamhet. Signifikanstesterna har baserats på en t-fördelning eftersom antalet observationer för varje efterfrågefall är begränsat till tjugo stycken. Variationskoefficienterna i tabellen avser medelvärden för respektive 20 artiklar med en leveranstid på 10 dagar. Beställningsfrekvensen avser antalet lagerpåfyllnadsorder per år.

Tabell 1 Karaktäristik av använda efterfrågefäll

<i>Efterfrågefall</i>	<i>Antal kundorder i medeltal per dag</i>	<i>Efterfrågan per månad</i>	<i>Variationskoefficient</i>	<i>Beställningsfrekvens</i>
1	10 per dag	800 / 1.600	0,10	12
2	3 per dag	240 / 480	0,19	8
3	1 per dag	80 / 160	0,33	6
4	1 per 2 dagar	40 / 80	0,47	4
5	1 per vecka	16 / 32	0,74	3
6	1 per 2 veckor	8 / 16	1,06	2
7	1 per månad	4 / 8	1,48	2

Leveranstiderna före order har i samtliga fall satts till 10 dagar med en variation på +/- 2. För att simulera säsongmässiga leveranstidsvariationer har de uttryckts i cykler på följande sätt för varje cykel. Först 20 dagar med 8 dagars leveranstid följt av 20 dagar med 9 dagars leveranstid följt av 20 dagar med 10 dagars leveranstid följt av 20 dagar med 11 dagars leveranstid följt av 20 dagar med 12 dagars leveranstid och så vidare på motsvarande sätt ner till 8 dagars leveranstid. Leveranstidsvariationerna efter order har satts till 3 dagar var femte dag motsvarande en leveransprecision på 80 %. Minsta leveranstid kan sålunda bli 8 dagar och största 15 dagar. Enligt Heard (1984) är det inte ovanligt att planerade leveranstider på 10 dagar kan variera med upp till +/- 6 dagar. De ledtidvariationer som används här kan därför betraktas som relativt måttliga.

5.2 Simuleringsmodell

Den simuleringsmodell som använts i studien bygger på ett beställningspunktssystem av (s,S)-typ, dvs. där en orderkvantitet beräknas vid varje frisläppningstillfälle som skillnaden mellan aktuellt saldo och en återfyllnadsnivå lika med beställningspunkten plus en ekonomisk orderkvantitet. Denna modell har valts för att effektivt kunna hantera de stora överdrag som uppstår för artiklar med mycket få kundorder per år. Beställningspunktssystemet har tillämpats som ett periodinspektionssystem med daglig inspektion. Överdraget vid bestämning av beställningspunkter har satts till en halv dags medelefterfrågan, dvs. beställningspunkten har satts till efterfrågan under ledtid plus säkerhetslager plus en halv dags efterfrågan. Önskad orderradsservice har satts till 97 procent.

Simuleringen innebär att dagliga uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo utförs för var och en av de tjugo efterfrågeserierna per efterfrågestruktur under 6000 dagar. För varje körning ökas säkerhetslagret med ett styck från en låg nivå tills erhållen servicenivå motsvarar önskad servicenivå. När detta inträffar avbryts körningarna och erhållet säkerhetslager definierat som det lagersaldo som i medeltal finns vid inleveranstillfällena beräknas. Se Herron (1986) och van Kampen et al. (2010). Denna definition innebär att erhållet säkerhetslager också inkludera lager som uppstår på grund av att order levererats in för tidigt på grund av kortare leveranstider än de som använts vid beräkning av beställningspunkten.

Vid lågfrekvent efterfrågan är beställningspunkterna mycket låga vilket innebär att även om säkerhetslagret ökas med ett styck i taget riskerar erhållen servicenivå att kraftigt överskrida önskad servicenivå när en ny beställningspunktsnivå testas. Två parallella

körningar har därför genomförts för varje efterfrågestruktur och strategifall. Den ena med syftet att underskrida önskad servicenivå så lite möjligt och den andra med syftet att överskrida den så lite som möjligt. Erhållet säkerhetslager har därefter beräknats med hjälp av linjär interpolation mellan de två säkerhetslager som erhållits för respektive körning.

För att öka validiteten i analyserna genererades den dagliga efterfrågan och de olika leveranstiderna i förväg och sparades i ett Excel-ark i stället för att genereras under simuleringens gång. Simuleringen av de olika strategierna kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata och parvisa jämförelser göras.

6 Resultat och analys

I det här avsnittet presenteras och analyseras de resultat som erhållits från simuleringarna. Resultaten avser genomgående hur mycket kapitalbindningen i säkerhetslager kunnat reduceras i procent genom att använda respektive strategi i förhållande till referensstrategin där alla osäkerheter och variationer i leveranstider fullt ut får påverka verksamheten i ett lager. De presenteras för vart och ett av de olika efterfrågefallen i tabeller. Tabellvärden med ett *-tecken innebär att skillnaderna är statistiskt signifikanta på 0,5 %-nivån.

De tio presenterade strategierna påverkar säkerhetslagrets storlek med avseende på vad de innebär för leveranstidens längd, leveranstidens variation och för hur korrekt beställningspunkten är baserat på den leveranstid som används för dimensionering relativt den verkliga. Analysen av resultaten tar sin utgångspunkt från dessa tre faktorer för respektive strategi.

1 Frikopplingsstrategi med undre leveranstidsgräns

Frikoppling med undre leveranstidsgräns innebär att leverantörens aktuella leveranstider endast tillämpas om man måste därför att de vid beställningstillfället är längre än eller lika med de leveranstider man dimensionerat beställningspunkten för.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-25*	-13*	-7*	-3*	2	8	5
8 – 24	-23*	-19*	-2	-2	1	1	2

Att avstå från att beställa med kortare leveranstider än planerat även om det är möjligt, dvs. med kortare leveranstid än den som beställningspunkten är dimensionerad för, påverkar som framgår av tabellen i huvudsak endast kapitalbindningen vid hög kundorderfrekvens. Resultaten kan också tolkas på ett omvänt sätt, nämligen i form av konsekvenser för kapitalbindningens storlek av att alltid använda den leveranstid som leverantören erbjuder vid beställningstillfället. Omräknat i procent medför ett sådant betraktelsesätt exempelvis att kapitalbindningen skulle komma att öka med 30 % respektive 23 % för efterfrågefall 1 och 2 vid kundorderstorlekar på 8-24 stycken.

Jämfört med referensstrategin innebär den här frikopplingsstrategin att de verkliga leveranstiderna i medeltal blir längre men att de varierar mindre. Det har medfört att kapitalbindningen i säkerhetslager kunnat minska påtagligt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens men inte för efterfrågefall med låg. Dessa resultat hänger samman med att kapitalbindningen i säkerhetslager enligt Blumenfeld et al. (1999) och Mattsson (2010) påverkas mer av leveranstidsvariationer än av leveranstidens längd vid högfrekvent och därmed jämn efterfrågan medan ledtidens längd har större betydelse när efterfrågan är ojämn. Att kapitalbindningen ökar mer för efterfrågefall 5-7 med små orderkvantiteter jämfört med dem med stora beror på att leveranstidens längd har större relativ betydelse för säkerhetslagrets storlek ju mindre efterfrågan är. Detta framgår av de samband mellan leveranstider, leveranstidsvariationer, efterfrågan och efterfrågevariationer som diskuterades i avsnitt 3 och som påvisats av Evers (1999). För efterfrågefall med låg och ojämn efterfrågan kan man på grund av dessa förhållanden i större utsträckning tillåta sig att acceptera erbjudna kortare leveranstider än de man planerat för. Det kan medföra fördelar i form av en ökad leveransflexibilitet till ett lågt pris i form av en måttligt ökad kapitalbindning.

Frikopplingsstrategin leder också till i medeltal något för låg beställningspunkt eftersom den dimensionerats med en i medeltal för kort leveranstid. Detta medför att beställningar oftare görs för sent och därmed tvingar fram ett större säkerhetslager. Nettoeffekten av minskade leveranstidsvariationerna reduceras därmed något.

2 Frikopplingsstrategi med leveranstidstillägg

Frikoppling från osäkerheter och variationer sker med hjälp av leveranstidstillägg och innebär att den dimensionerande leveranstiden sätts lika lång som den förväntat längsta efter order. Man beställer med andra ord avsiktligt för tidigt. Leverantörens aktuella leveranstider tillämpas inte alls vid beställningstillfället. I stället används den maximalt förväntade leveranstiden före order.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-35*	-19*	-1	3	11*	16*	17*
8 – 24	-36*	-20*	2	3	10*	9*	8

Strategin innebär att leveranstidsvariationerna reduceras till priset av ökade leveranstider och leder enligt ovanstående tabell till påtagligt minskad kapitalbindning i säkerhetslager för efterfrågefallen med högst kundorderfrekvens medan den ökar för efterfrågefall med lägst. Dessa resultat kan förklaras på samma sätt som för föregående strategi, nämligen att fall med högfrekvent och jämn efterfrågan påverkas relativt sett mer av större variationer än av längre leveranstider och att det motsatta förhållandet gäller för efterfrågefall med ojämn efterfrågan (Evers, 1999). En rimlig slutsats av resultaten är följaktligen att man inte bör använda strategin med leveranstidstillägg för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.

Frikopplingsstrategin med leveranstidstillägg leder till för hög beställningspunkt eftersom den dimensionerats med den längsta förväntat förekommande leveranstiden. Detta medför att beställningar oftare görs för tidigt och därmed bidrar till ökade säkerhetslager. Nettoeffekten av minskade leveranstidsvariationer reduceras därmed något för ef-

terfrågefallen med jämn efterfrågan medan ökningen av kapitalbindning för efterfrågefall med ojämn efterfrågan förstärks.

3 Frikopplingsstrategi med leveranstidsanpassning

Frikoppling från osäkerheter och variationer sker med hjälp av säkerhetslager på motsvarande sätt som för strategi 1, dvs. med en undre leveranstidsgräns. Skillnaden är att med den här strategin anpassar dessutom kunden leveranstiden till den kortare leveranstid som leverantören kan erbjuda vid beställningstillfället om risk för en kommande bristsituation har identifierats.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	1	2	3	4	5	6	7
2 – 6	-19*	-11*	-6*	-5*	0	5	6
8 – 24	-17*	-16*	-3	-5	1	1	-1

Den leveranstidsanpassning som strategin innebär medför måttlig men signifikant mindre kapitalbindning för efterfrågefallen med hög kundorderfrekvens. Inga nämnvärda effekter erhålls för efterfrågefall med låg. Skillnaderna kan förklaras av att överdragets storlek som mått på om bristrisk föreligger har betydligt lägre precision för fall med lågfrekvent kundorderfrekvens eftersom det vid sådana efterfrågefall varierar kraftigt. På grund av den låga precisionen är risken stor att leveranstidsanpassningen även leder till för tidiga inleveranser och därmed ökad kapitalbindning, inte endast till att potentiella brister förhindras.

Den procentuella andel order som fått kortare leveranstid genom leveranstidsanpassningen visas i nedanstående tabell. Som framgår av tabellen är det storleksordningen strax under en femtedel av ordena som leveranstiden ändrats för.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	1	2	3	4	5	6	7
2 – 6	20	19	16	18	13	12	16
8 – 24	20	20	19	19	18	20	19

Man skulle kunna förvänta sig att det borde varit fler leveranstidsanpassningar för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens eftersom variationerna i efterfrågan är minst förutsägbara vid sådana typer av efterfrågan. Att så inte är fallet kan förklaras av att det är svårare att säkert identifiera bristrisk med hjälp av beställningspunktsöverdrag för artiklar med lågfrekvent efterfrågan på grund av deras mer ojämna efterfrågemönster.

För att studera leveranstidsanpassningens betydelse i förhållande till att endast använda en undre leveranstidsbegränsning har en jämförelse gjorts mellan strategi 1 och 3. I nedanstående tabell visas hur mycket säkerhetslagret procentuellt påverkas genom att komplettera strategi 1 med leveranstidsanpassning vid bristrisksituationer. Som framgår av resultaten är det endast för de två efterfrågefallen med högst kundorderfrekvens som det förekommer några intressanta skillnader. I båda fallen bidrar dessutom leveranstidsanpassningen till ökat säkerhetslager jämfört med vad som kan åstadkommas enbart genom att ha en undre leveranstidsgräns. Följaktligen kan leveranstidsanpassning tillämpat på det här sättet inte rekommenderas.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	1	2	3	4	5	6	7
2 – 6	8*	3*	0	-2	-1	-3	0
8 – 24	7*	4*	-1	-3	0	1	-3

En jämförelse har också gjorts mellan strategi 2 och 3 för att studera leveranstidsanpassningen i förhållande till att göra leveranstidsstillägg. Tabellen nedan visar hur mycket säkerhetslagret procentuellt påverkas genom att använda leveranstidsanpassning vid risk för brist i stället för ett generellt leveranstidstillägg.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	1	2	3	4	5	6	7
2 – 6	24*	10*	-6*	-7*	-10*	-9*	-10*
8 – 24	30*	5	-5	-8*	-9*	-7*	-9*

Precis som vid jämförelsen mellan strategi 1 och 3 ökar kapitalbindningen för efterfrågefallen med högst kundorderfrekvens genom att använda leveranstidsanpassning i stället för leveranstidstillägg. Kapitalbindningen blir följaktligen högre vid användning av leveranstidsanpassning i jämförelse med användning av leveranstidstillägg vid hög kundorderfrekvens. Av jämförelsen mellan strategi 2 och 3 framgår också att kapitalbindningen i säkerhetslager blir mindre om man använder leveranstidsanpassning i stället för leveranstidstillägg för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens. Eftersom strategi 2 innebär längre leveranstider än strategi 3 kan dessa resultat förklaras på samma sätt som ovan med att säkerhetslagrets storlek för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens enligt Evers (1999) och Mattsson (2010) påverkas relativt sett mer av långa leveranstider än leveranstidsvariation och att det omvända förhållandet gäller för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens och därmed jämnare efterfrågan. Merparten av skillnaderna är statistiskt signifikanta

4 Samverkansstrategi med eliminering av variationer i leveranstider före order

Samverkansstrategi med eliminering av variationer i leveranstider före order innebär att kund och leverantör avtalar om att leverantören alltid skall tillämpa en fast leveranstid vid ordertillfället. Variationer i leveranstider efter order förekommer fortfarande, dvs. leveransprecision är mindre än 100 %.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	1	2	3	4	5	6	7
2 – 6	-42*	-27*	-14*	-10*	-5	3	1
8 – 24	-40*	-32*	-9*	-9*	-6	-4	1

Med undantag för efterfrågefallen med lägst kundorderfrekvens reduceras kapitalbindningen i säkerhetslager påtagligt med detta strategialternativ. Minskningen är signifikant för de fyra efterfrågefall som har jämnast efterfrågan. Att kapitalbindningen minskar kan betraktas som självklart eftersom osäkerhet och variationer helt eliminerats för leveranstider före order. Den enda kvarstående osäkerhet som finns gäller avvikelser mellan bekräftad och verklig leveranstid. Att minskningen är störst för de fyra första efterfrågefallen beror, som tidigare påpekats, på att minskad variation i leveranstider har störst effekt på efterfrågefall med hög kundorderfrekvens (Mattsson, 2010).

Genom att leveranstiden vid beställning är lika med den leveranstid som används vid dimensionering av beställningspunkter kommer beställningspunkterna också att bli mer korrekta än i referensstrategin. Detta bidrar också till minskad kapitalbindning eftersom risken att beställa för tidigt eller för sent då minskas.

5 Samverkansstrategi med full eliminering av variationer

Samverkansstrategi med full eliminering av variationer i leveranstider innebär att kund och leverantör avtalar om att leverantören alltid skall tillämpa en fast leveranstid före order och att leveransprecisionen skall vara 100 %, dvs. även leveranstiden efter order är känd och fast.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-75*	-50*	-26*	-21*	-12*	-2	-2
8 – 24	-74*	-51*	-25*	-18*	-14*	-7	-5

Med detta alternativ har all osäkerhet och variation i leveranstider eliminerats med en avsevärd reduktion av kapitalbindning som följd, speciellt för de fem efterfrågefällen med högst kundorderfrekvens där skillnaderna är statistiskt signifikanta. Förklaringen till att minskningen i kapitalbindning är klart större i dessa fem fall jämfört med de två med lägst kundorderfrekvens är den samma som påpekats ovan, dvs. att leveranstidsvariationer har en större betydelse för säkerhetslagrets storlek ju högre frekventare och jämnare efterfrågan är. Inga intressanta skillnader föreligger mellan de båda alternativen med olika stora kundorderkvantiteter och därmed olika stor total efterfrågan.

Beställningspunkten blir med den här strategin helt korrekt eftersom dimensionerande leveranstid är lika med verklig leveranstid. Bortsett från påverkan på grund av efterfrågevariationer kommer därför inga beställningar att göras för tidigt och inga göras för sent.

Leveransprecisionens betydelse i sammanhanget kan belysas genom att jämföra resultaten med motsvarande för strategi 4. Den procentuella skillnaden i kapitalbindning framgår av nedanstående tabell. Skillnaden är helt hänförlig till bristande leveransprecision eftersom leveranstidens längd är känd och den samma i både strategi 4 och 5.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-56*	-32*	-15*	-13*	-7*	-5*	-3
8 – 24	-57*	-28*	-18*	-10*	-7*	-1	-4

Som framgår av tabellen har leveransprecisionen, dvs. små skillnader mellan bekräftad och verklig leverans tid, mycket stor betydelse för storleken på kapitalbindningen i säkerhetslager. Alldeles speciellt är det fallet vid hög kundorderfrekvens. Det är återigen ett utslag av leveranstidsvariationens relativa stora betydelse ju högre kundorderfrekvensen är.

Referensstrategin kan sägas representera fallet att all leveranstidsvariation måste absorberas av säkerhetslagret medan strategi 5 representerar fallet att all leveranstidsvariation

elimineras. Säkerhetslagret med strategi 5 kan därför sägas representera det säkerhetslager som enbart härrör från efterfrågevariationer medan säkerhetslagret med referensstrategin härrör från både efterfrågevariationer och leveranstidsvariationer. Skillnaden mellan dem blir då lika med det säkerhetslager som enbart härrör från leveranstidsvariationer. Det kan därför vara intressant att jämföra de båda slagen av säkerhetslager. Resultaten från en sådan jämförelse visas i nedanstående tabell. Varje element i tabellen avser procentuell andel efterfrågerelaterat säkerhetslager respektive leveranstidsrelaterat säkerhetslager för de båda fallen med olika stora kundorderkvantiteter.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	25/75	50/50	74/26	79/21	89/11	98/2	98/2
8 – 24	26/74	49/51	75/25	82/18	87/13	93/7	95/5

Jämförelserna visar tydligt att den efterfrågerelaterade delen av säkerhetslagret är större ju lägre kundorderfrekvensen är jämfört med den leveranstidsrelaterade delen. Skillnaderna mellan de båda fallen med olika kundorderstorlekar är marginella. Resultaten illustrerar att om man vill reducera kapitalbindningen i säkerhetslager finns det en större potential genom att angripa variationer i efterfrågan än variationer i leveranstider för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens. Det motsatta förhållandet gäller för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Resultaten är helt i överensstämmelse med den studie som redovisats av Mattsson (2010).

6 Samverkansstrategi med behovsstyrda leveranstider

Samverkansstrategin med behovsstyrda leveranstider innebär att kundföretaget i viss utsträckning tillåts få reducerade leveranstider om behoven varit högre än förväntat sedan föregående beställningstillfälle, dock med högst 2 dagar i den här modellen. Alternativet är identiskt med strategimodell 1 med undantag för leveranstidsanpassningen. Skillnaden mellan detta alternativ och strategi 3 är att leveranstiden i det här fallet tillåts anpassas oavsett hur lång leverantörens leveranstid är vid beställningstillfället medan den endast tillåts anpassas inom ramen för leverantörens aktuella leveranstid i strategi 3.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-32*	-22*	-12*	-10*	-5	3	3
8 – 24	-29*	-28*	-7*	-10*	-6*	-2	-1

Resultaten av att tillämpa strategi 6 liknar de som erhöles med strategi 3. Skillnaden är att den här strategin ger en klart större minskning av kapitalbindningen i säkerhetslager. Detta är helt förväntat eftersom möjlig leveranstidsanpassning är större för strategi 6 än 3. Att kapitalbindningen inte minskar lika mycket och i ett par fall till och med ökar för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens kan förklaras på samma sätt som för strategi 3 ovan.

Andelen order i procent som fått kortare leveranstid genom leveranstidsanpassning visas i nedanstående tabell. Som framgår av tabellen är det storleksordningen strax under hälften av ordena för vilka leveranstiden ändrats.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	49	49	42	45	37	34	39
8 – 24	51	53	49	49	47	47	49

Att andelen order för vilka leveranstiderna ändrats är högre än vad som var fallet för strategi 3 är uppenbart eftersom ändringar även tillåts när den önskade leveranstiden är kortare än leverantörens aktuella leveranstid vid beställningstillfället. Av samma skäl som för strategi 3 skulle man kunna förvänta sig att det borde varit fler leveranstidsanpassningar för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens eftersom variationerna i efterfrågan är minst förutsägbara vid sådan typ av efterfrågan. Att så inte är fallet kan även här förklaras av att det är svårare att säkert identifiera bristrisk med hjälp av beställningspunktsöverdrag för artiklar med lågfrekventa kundorder på grund av deras mer ojämna efterfrågemönster.

7 Överföringsstrategi

Överföringsstrategin är identisk med frikopplingsstrategin med leveranstidsbegränsning med undantag för att osäkerheter och variationer vid brist kan få överföras till kundföretagets kunder. Detta sker genom att låta slutkunden acceptera maximalt en respektive två dagars leveranstid i stället för direktleverans. Leveranser med en respektive två dagars leveranstid ingår följaktligen i måttet erhållen orderradsservice. Resultaten i form av procentuellt minskad kapitalbindning för fallet med en dags accepterad leveranstid visas i nedanstående tabell.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-66*	-51*	-31*	-24*	-15*	-5*	-2
8 – 24	-65*	-54*	-29*	-24*	-14*	-9*	-7

Som framgår av resultaten i tabellen medför strategin att kapitalbindningen i säkerhetslager kan reduceras påtagligt för samtliga efterfrågefall genom att tillåta en dags leveranstid i stället för att alltid direktleverera. För sex av fallen är skillnaderna statistiskt signifikanta. Reduktionen är större ju högre kundorderfrekvensen är.

Den procentuella andelen kundorder som med denna strategi får en dags leveranstid visas i nedanstående tabell. I inget av efterfrågefallen är andelen större än 2,5 procent. Direktleverans kan med andra ord fortfarande tillämpas på den helt övervägande delen av kundorderna.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	2,4	1,8	1,2	1,0	0,7	0,5	0,3
8 – 24	2,5	1,9	1,5	1,1	0,8	0,5	0,4

Resultaten i form av procentuellt minskad kapitalbindning för fallet att två dagars leveranstid accepteras vid bristsituationer redovisas i nedanstående tabell.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-96*	-82*	-63*	-50*	-34*	-17*	-19*
8 – 24	-89*	-78*	-52*	-43*	-28*	-19*	-12*

Kapitalbindningen i säkerhetslager kan med tvådagars-alternativet reduceras ytterligare och näst intill elimineras för efterfrågefallen med de högsta kundorderfrekvenserna. Detta är helt förväntat eftersom fler kundorder därmed blir godkända inom ramen för vad som räknas som godkänd leveranstidshållning. För samtliga sju fall är skillnaderna signifikanta. På samma sätt som tidigare är minskningen störst för efterfrågefallen med höga kundorderfrekvenser.

Den procentuella andelen kundorder som med denna strategi får upp till två dagars leveranstid visas i nedanstående tabell. Andelen kundorder med leveranstid är nu klart högre, speciellt för efterfrågefallen med högst kundorderfrekvens.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	7,1	4,9	3,4	2,3	1,9	1,0	1,1
8 – 24	6,0	4,6	3,2	2,3	1,6	1,1	0,9

8 Informationsdelningsstrategi

Osäkerheter i leveranstider före order elimineras genom att leverantören informerar kunden om aktuella leveranstider och att kunden använder dessa leveranstider för att dimensionera beställningspunkter. Osäkerheter i form av bristfällig leveransprecision kvarstår.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-43*	-30*	-17*	-13*	-8	3	3
8 – 24	-44*	-26*	-14*	-8*	-9	2	-2

Resultaten i tabellen visar att kapitalbindningen i säkerhetslager kan reduceras avsevärt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens medan inga påvisbara skillnader uppstår för efterfrågefall med låg. Jämfört med referensstrategin är variationerna i leveranstider de samma medan beställningspunkterna blir korrekt dimensionerade. Skillnaderna i kapitalbindning kan därmed förklaras av att man med denna strategi undviker att beställa för tidigt när leveranstiderna är kortare än de som beställningspunkten dimensionerats för. Att effekterna är störst för efterfrågefall med jämnare efterfrågan kan förklaras av att ju ojämna lageruttagen är per dag, desto relativt sett större blir överdragen och därmed betydelsen av hög precision i dimensionerade beställningspunkter. Resultaten är i överensstämmelse med en simuleringsstudie av Mattsson (2011). Enligt denna betyder leveranstidsavvikelser och därmed mer korrekta beställningspunkter mer ju högre och jämnare efterfrågan är.

Den egentliga skillnaden mellan informationsdelningsstrategin och samverkansstrategin för eliminering av variationer i bekräftade leveranstider är att leveranstiderna varierar med informationsdelningsstrategin men är konstanta med samverkansstrategin. I medeltal är de dock lika långa. Genom att jämföra resultaten för de båda strategierna kan man

få en uppfattning av vad dessa skillnader medför för kapitalbindningen. Resultaten från jämförelsen framgår av nedanstående tabell.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	2	-2	3	-1	0	7	4
8 – 24	-7	8	-6	1	-3	6	-3

Som framgår av tabellen finns det inga signifikanta skillnader i hur mycket kapitalbindningen påverkas med respektive strategi. Slutsatsen blir då, att ha en fast leveranstid jämfört med en varierande innebär inte några fördelar förutsatt att den fasta leveranstiden är lika med medelvärdet av de varierande och att de varierande ledtiderna är kända när beställningspunktssystemet körs.

9 Integrationsstrategi

Osäkerheter i leveranstider före order elimineras även med den här strategin eftersom leverantören själv administrerar lagret, känner till aktuella leveranstider och använder dessa för att dimensionera beställningspunkter. Genom att administrera lagret antas leverantören i analysmodellen också ha förutsättningar för att kunna säkerställa att osäkerheter i form av bristfällig leveransprecision kan bortfalla.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-75*	-50*	-28*	-20*	-9	-7	-4
8 – 24	-75*	-48*	-26*	-18*	-14*	-6	-4

Jämfört med informationsdelningsstrategin reduceras kapitalbindningen i säkerhetslager ytterligare och för fler efterfrågefäll. Det är endast för efterfrågefällen med de lägsta och ojämnaste efterfrågevärdena som inga nämnvärda effekter har kunnat påvisas. Resultaten kan förklaras på samma sätt som för informationsdelningsstrategin. Att skillnaderna är större i det här fallet beror på att leveranstidsavvikelser och därmed avvikelser från korrekta beställningspunkter som är hänförliga till leveranstidsvariationer efter order har eliminerats med integrationsstrategin.

Skillnader i hur mycket kapitalbindningen kan reduceras mellan de båda strategialternativen framgår av nedanstående tabell och illustrerar på motsvarande sätt som jämförelsen mellan strategi 4 och 5 leveransprecisionens betydelse.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-57*	-29*	-14*	-8*	-2	3	-6
8 – 24	-54*	-31*	-14*	-11*	-5*	-7*	-2

Jämför man de båda tabellerna ser man att utfallet är praktiskt taget identiskt och att leveransprecisionen även för integrationsstrategin har mycket stor betydelse för storleken på kapitalbindningen i säkerhetslager, alldeles speciellt vid hög kundorderfrekvens.

Skillnaden mellan integrationsstrategin och samverkansstrategin med full eliminering av variationer i leveranstider är att leveranstiderna varierar med integrationsstrategin

men är konstanta med samverkansstrategin. I medeltal är de dock lika långa. Genom att jämföra resultaten för de båda strategierna kan man få en uppfattning av vad dessa skillnader medför för kapitalbindningen. Resultaten från jämförelsen framgår av nedanstående tabell.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-2	1	-2	2	2	9	-2
8 – 24	-1	5	-1	1	0	1	1

Resultaten i tabellen visar att det inte finns några signifikanta skillnader med avseende på hur mycket kapitalbindningen kan reduceras vid användning av respektive strategi. Slutsatsen är då, att det på samma sätt som för skillnaderna mellan strategi 4 och 8 är likvärdigt att ha en fast leveranstid och en varierande förutsatt att den fasta leveranstiden är lika med medelvärdet av de varierande och att de varierande ledtiderna är kända när beställningspunktssystemet körs.

10 Leveranstidshållningsstrategi

Leveranstidshållningsstrategin innebär att med olika metoder påverka leverantören att åstadkomma en högre leveransprecision. I modellen antas leveransprecisionen kunna ökas från 80 till 90 procent. Vad en sådan förbättring innebär för kapitalbindningen i säkerhetslager jämfört med referensstrategin för de olika efterfrågefallen redovisas i nedanstående tabell.

<i>Ko-kvant / Fall</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
2 – 6	-27*	-20*	-12*	-9*	-6*	-3	-3
8 – 24	-27*	-18*	-13*	-9*	-6	-2	-1

Som framgår av tabellen kan en förbättrad leveransprecision medföra en signifikant och påtaglig minskning av säkerhetslagrets storlek för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Däremot saknar strategin näst intill helt betydelse vid mycket låg kundorderfrekvens. Dessa resultat är helt i överensstämmelse med de som erhållits i Mattssons studie (2010).

6 Sammanfattning och slutsatser

De strategier som definierats ovan har analyserats på ett begränsat datamaterial, framför allt i form av olika stora kundorderkvantiteter, olika långa leveranstider och olika stora variationer i leveranstider. Använda analysmodeller bygger också på en del antaganden som till viss del begränsar möjligheterna att dra generella slutsatser. De resultat som erhållits och de slutsatser som dras från de erhållna resultaten måste därför tolkas med försiktighet och i första hand betraktas som indikationer och något som belyser de samband och förhållanden som råder.

Av resultaten från den genomförda simuleringsstudien kan följande riktlinjer formuleras för hur man i praktisk tillämpning bör arbeta för att kunna reducera kapitalbindningen i

säkerhetslager så effektivt som möjligt med hjälp av olika strategier för att hantera osäkerhet och variationer i leveranstider.

- Att använda en undre leveranstidsgräns för att till viss del kunna frikoppla variationer i leveranstider till lager är endast av intresse för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens.
- Det är effektivare att avsiktligt förlänga leveranstider vid dimensionering av beställningspunkter än att använda en undre leveranstidsgräns för efterfrågefall med hög kundorder frekvens. Däremot är det olämpligt att använda förlängda leveranstider vid låg kundorderfrekvens.
- Anpassning av leveranstider till de som leverantören har, medför endast en måttlig minskning av kapitalbindning för efterfrågefallen med hög kundorderfrekvens. Inga effekter erhålls för efterfrågefall med låg. Leveranstidsanpassning är emellertid att föredra framför leveranstidstillägg för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.
- Genom att eliminera variationer i bekräftade leveranstider reduceras kapitalbindningen i säkerhetslager påtagligt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Däremot fås inga effekter för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.
- Att eliminera all leveranstidsvariation, dvs. att även åstadkomma 100 procent leveransprecision, medför ytterligare större reduktion av kapitalbindningen. En viss minskning erhålls också för fall med låg kundorderfrekvens.
- Användning av behovsstyrda leveranstider, dvs. att leverantören accepterar att vid bristrisktilfällen sänka sin aktuella leveranstid leder till en måttlig reduktion av kapitalbindningen i säkerhetslager för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Ingen påverkan erhålls för efterfrågefall med låga kundorderfrekvenser.
- Att acceptera 1 á 2 dagars leveranstid till slutkund och därmed överföra en del av osäkerhet och variationer leder till minskad kapitalbindning för samtliga efterfrågefall. Minskningen är speciellt stor för fall med hög kundorderfrekvens och när tillåten leveranstid är två dagar.
- Om kundföretaget har kontinuerlig information om leverantörens aktuella leveranstider kan kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras avsevärt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. Fall med låg kundorderfrekvens påverkas inte.
- Genom att leverantören har kännedom om sina egna leveranstider och kan kontrollera och omprioritera leveranser till sina kunder vid tillämpning av leverantörsstyrda lager kan kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras avsevärt för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens. En viss reduktion kan även åstadkommas för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.
- Genom att påverka leverantörens leveransprecision kan kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras påtagligt vid hög kundorderfrekvens. Däremot endast marginellt vid låg kundorderfrekvens.

- Det säkerhetslager som beror på leveranstidsvariationer är betydligt större än det säkerhetslager som beror på efterfrågevariationer för efterfrågefall med hög kundorderfrekvens medan det motsatta förhållandet gäller för efterfrågefall med låg kundorderfrekvens.

De erhållna resultaten från den genomförda studien kan mycket översiktligt sammanställas enligt nedanstående tabell. I tabellen är erhållna effekter på kapitalbindningen i säkerhetslager uppdelade på två ytterlighetsfall, de två efterfrågefallen med högst kundorderfrekvens och de två med lägst kundorderfrekvens. Siffrorna i de olika rutorna anger medelvärden av procentuell minskning eller ökning för de båda alternativen med olika stora kundorderkvantiteter.

<i>Strategialternativ</i>	<i>Hög kundorderfrekvens</i>	<i>Låg kundorderfrekvens</i>
Frikoppling med leveranstidsbegränsning	Medelstor minskning av kapitalbindningen -24 / -16 %	Ingen påverkan på kapitalbindningen
Frikoppling med leveranstidstillägg	Medelstor minskning av kapitalbindningen -35 / -19 %	Tydlig ökning av kapitalbindningen +13 / +13 %
Frikoppling med leveranstidsbegränsning och anpassning	Liten minskning av kapitalbindningen -18 / -14 %	Ingen påverkan på kapitalbindningen
Eliminering av variationer i bekräftade leveranstider	Stor minskning av kapitalbindningen -41 / -30 %	Obetydlig minskning av kapitalbindningen
Eliminering av variationer i verkliga leveranstider	Mycket stor minskning av kapitalbindningen -75 / -50 %	Obetydlig minskning av kapitalbindningen
Behovsstyrda leveranstider genom samverkan	Medelstor minskning av kapitalbindningen -31 / -25 %	Ingen påverkan på kapitalbindningen
Acceptans av egna leveranstider till slutkund med en dag	Mycket stor minskning av kapitalbindningen -61 / -53 %	Viss minskning av kapitalbindningen -7 / -4 %
Överföring av information om aktuella leveranstider	Stor minskning av kapitalbindningen -44 / -28 %	Ingen påverkan på kapitalbindningen
Leverantören administrera sin kunds lager	Mycket stor minskning av kapitalbindningen -75 / -49 %	Viss minskning av kapitalbindningen -7 / -4 %
Förbättrad leveransprecision	Medelstor minskning av kapitalbindningen -27 / -19 %	Ingen påverkan på kapitalbindningen

Ingen forskning av motsvarande slag har hittats i litteraturen. Den här studien måste därför ses som en första ansats för att klargöra hur och på vilket sätt olika strategier för att hantera osäkerhet och variationer i leveranstider påverkar kapitalbindningen i säkerhetslager. Fortsatt forskning krävs för att få ett säkrare underlag för att bedöma de resultat som erhållits. Bland annat måste simuleringarna omfatta fler artiklar för att man skall kunna åstadkomma en högre signifikansnivå. Speciellt gäller detta för efterfrågefall med låga kundorderfrekvenser.

Fortsatt forskning krävs även i ett antal andra avseenden. Man kan förvänta sig att leveranstidens längd och graden av leveranstidsvariation påverkar hur mycket kapitalbindningen påverkas i de olika fallen. Detta har endast behandlats i mycket begränsad omfattning i den här studien. Likaså krävs fortsatt forskning för att studera betydelsen av olika variationsmönster, exempelvis slumpmässigt eller säsongvarierande leveranstider, och betydelsen av hur ofta leveranstidsändringar förekommer. Det samma gäller med

avseende på vad olika stora orderkvantiteter för lagerpåfyllning och nivån på önskad orderradsservice betyder.

Referenser

Axsäter, S. (1991) Lagerstyrning, Studentlitteratur.

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

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.

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.

Brown, R. (1963) Smoothing, forecasting and prediction, Prentice-Hall.

Brown, R. (1967) Decision rules for inventory management. Holt, Rinehart and Winston.

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

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.

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

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.

Heard, E. (1984) Lead times revisited, *Production and Inventory Management*, Vol. 25, No. 3.

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

Johnston, F., Boylan, J. (1996) Variance laws in inventory management, *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, No. 1, sid 343-352.

Lawrence, C. (1992) Delivery windows – A new view of improving manufacturing flexibility and on-time delivery performance, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 33, No. 3, sid 74-79.

- Martha, J., Subbkrishna, S. (2002) Supply chain for the inevitable next disaster, Supply Chain Management Review, September/October, sid 18-23.
- Mattsson, S-A. (2003) Avvikelser och variationer i erhållna servicenivåer, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk Logistik, Lunds Tekniska Högskola.
- Mattsson, S-A. (2010) Konsekvenser av leveranstider och variationer i leveranstider för säkerhetslager, Proceedings från Plans forsknings- och tillämpningskonferens.
- Mattsson, S-A. (2011) Känslighetsanalys av prognos- och ledtidskvalitetens påverkan på servicenivåer och säkerhetslager. Institutionen för Logistik och Transport, Chalmers Tekniska Högskola.
- Mattsson, S-A. (2012) Logistik i försörjningskedjor, Studentlitteratur.
- 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.
- Swenseth, S., Buffa, F. (1991) Implications of inbound lead time variability for just-in-time manufacturing, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 11, No. 7, sid 37-48
- Taylor, D. (2000) Demand amplification: has it got us beat, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol.30, No. 6, sid 515-533.
- Tersine, R. (1974) Inventory risk: The determination of safety stocks, Production and Inventory Management, 3rd Qtr, sid 6-19.
- Van Kampen, T., van Donk, D., van der See, D-J. (2010) Safety stock and safety lead time: coping with unreliability in demand and supply, International Journal of Production Research, Vol.48, No. 24, sid 7463-7481.
- Vinson, C. (1972) The cost of ignoring lead time unreliability in inventory theory, Decision Science, Vol. 3, sid 87-105.
- Wikner, J., Towill, D., Naim, M. (1991) Smoothing the supply chain dynamic, International Journal of Production Economics, Vol. 22, No. 3, sid 231 -248.
- Wikner, J. (2005) Management of uncertainties in supply chains, Working paper 338, Institutionen för Produktionsekonomi, Linköpings Tekniska Högskola.

Wilding, R. (1998) The supply chain complexity triangle – Uncertainty generation in the supply chain, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.28, No. 8, sid 599-615.