

Leveranstidsflexibilitet vid påfyllning av lager

Stig-Arne Mattsson

Sammanfattning

I praktiskt taget alla situationer där produkter lagerhålls varierar efterfrågan över tiden och kan aldrig helt förutses. Som en konsekvens av detta förhållande kan man aldrig med säkerhet avgöra när inleverans för att fylla på lagret bör ske. Den tidpunkt när inleverans sker kommer antingen att ligga före eller efter den tidpunkt då lagret är tomt och att inleveransen följaktligen borde ägt rum. Inträffar inleveransen senare kommer brist att uppstå och inträffar den tidigare kommer kapitalbindningen i lager att bli onödigt stor. På grund av detta förhållande är det rimligt att anta att man skulle kunna uppnå lägre kostnader i form av lagerhållningskostnader och bristkostnader samt högre servicenivåer om leverantören kunde anpassa leveranstidpunkterna till aktuell efterfrågan. Man skulle med andra ord kunna öka lagerstyrningseffektiviteten genom att tillämpa flexibla leveranstider.

För att testa om detta resonemang är riktigt har en simuleringsstudie genomförts för tre olika scenarier, ett med hög, ett med medelhög och ett med låg omsättning. Syftet med studien har varit att belysa vilken betydelse tillämpning av flexibla leveranstider kan ha ur lagerstyrningssynpunkt. Syftet har också varit att studera hur ett regelverk kan utformas för att med hjälp av olika parametrar styra leveranstidsanpassningen.

De resultat som erhållits visar, med undantag för scenariot med låg omsättning, att om leverantörer kan anpassa sina leveranstider kommer kapitalbindningen i säkerhetslager att bli högre men också att erhållen servicenivå blir signifikant högre än vad som blir fallet utan leveranstidsflexibilitet. Resultaten visar också att lagerstyrningskostnaderna blir signifikant lägre om leveranstidsflexibilitet tillämpas utom för fallet med låg omsättning. Dessa lagerstyrningskostnader representerar i motsats till kapitalbindning respektive servicenivå ett totalmått på lagerstyrningens effektivitet. En slutsats från den genomförda simuleringsstudien är därför att tillämpning av flexibla leveranstider kan medföra signifikanta resultatförbättringsmöjligheter med avseende på lagerstyrningskostnader.

Studien har också visat att möjligheterna att reducera lagerstyrningskostnaderna genom att tillämpa leveranstidsflexibilitet är beroende av hur leveranstidsanpassningen genomförs. Kostnadsminskningen påverkas av när man kontrollerar om behov av leveranstidsanpassning föreligger, hur många dagar leveranstidpunkten kan ändras samt av den kvantitet som används för att avgöra om efterfrågan avvikit så mycket att leveranstidsanpassning bör ske.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under det senaste årtiondet har åtskilliga företag fokuserat på att bli mer flexibla som ett sätt att bli konkurrenskraftigare på marknaden och flexibilitet betraktas ofta som en av en av fyra prioriterade konkurrensvariabler (Stonebraker – Leong, 1994, sid 22). Ett nytt begrepp, agility, har också skapats för att markera ett vidgat synsätt på flexibilitet. Enligt en studie gjord av Council of Logistics Management (1995) utgör agility en av de fyra kompetenser som karakteriserar världsklassföretag. Denna fokusering på flexibilitet är bland annat en följd av att det blivit allt svårare att differentiera sig med hjälp av traditionella konkurrensvariabler. Exempelvis har möjligheterna att ytterligare sänka sina leveranstider blivit allt mindre i takt med att de i utgångsläget blivit allt kortare. Motsvarande förhållande gäller för åtskilliga övriga leveransserviceelement som leveransprecision, leveranssäkerhet och felfria fakturor. Tittar man på hur dessa prestationsmått utvecklats över tiden inser man att de mest framgångsrika företagen närmar sig gränser för vad som är mer eller mindre teoretiskt möjligt (ELA, 1999). Den utbredda användningen av JIT-principer för att styra materialflöden har också bidragit till den ökande betydelsen av att vara flexibel (Dixon, 1990).

Flexibilitet avser förmågan att snabbt reagera på förändrade förutsättningar (Mandelbaum, 1978) och brukar uppdelas i ett antal olika typer beroende på vad den avser. Exempelvis skiljer Slack (1988) på produktflexibilitet, mixflexibilitet, volymflexibilitet och leveransflexibilitet. Motsvarade men oftast mer detaljerade indelningar har gjorts av bland andra Dixon (1990), Wainwright och Bateman (1997), Vickery m. fl. (1999), Melnyk (2002) samt Chang m. fl. (2003).

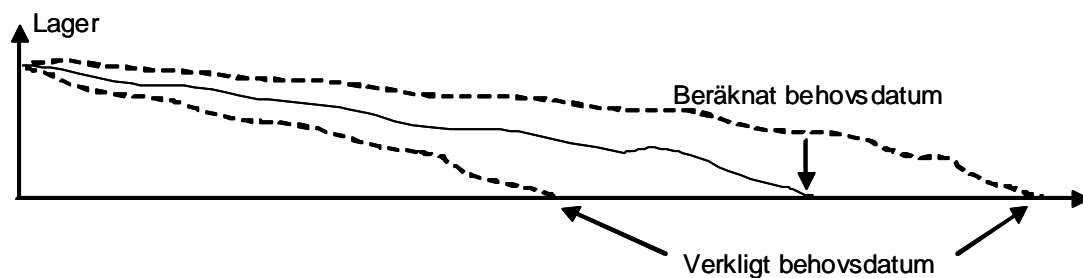
1.2 Problemdiskussion och forskningsfrågor

Den problemsituation som behandlas i det här pappret kan beskrivas som styrning av ett lager som återkommande försörjs av en med avseende på lagerstyrningssystemet extern leverantör i takt med förbrukning och den typ av flexibilitet det är fråga om är leveranstidsflexibilitet, dvs. den del av leveransflexibiliteten som avser leveranstiden. Med leveranstidsflexibilitet avses i det här sammanhanget leverantörens förmåga att anpassa den leveranstid som utlovades i orderögonblicket genom en orderbekräftelse eller på annat sätt till de behov av påfyllning som föreligger i lagret. Beträktat på detta sätt är följaktligen leveranstidsflexibilitet ett leveransserviceelement på samma sätt som leveranstidslängd och leveransprecision.

All lagerstyrning är förknippad med osäkerhet med avseende på hur stor den framtida efterfrågan kommer att bli. Det är därför uppenbart att den leveranstidpunkt som överenskommit mellan kund och leverantör baserat på aktuell leveranstid inte nödvändigtvis kommer att innebära att påfyllning av lager kommer att ske i precis det ögonblick det föreligger behov. Det är därför i allmänhet nödvändigt att gardera sig mot sådan osäkerhet, oftast genom att använda ett säkerhetslager som buffert.

För att belysa frågeställningen kan man betrakta det enkla fallet att en inköpsorder behöver läggas ut till en leverantör för att fylla på lagret. Oavsett vilken materialplaneringsmetod som används, är sättet att bestämma när påfyllning måste ske och därmed önskad leveranstidpunkt principiellt det samma. Det sker genom en beräkning eller be-

dömning av när i tiden lagersaldot kommer att gå under säkerhetslagernivån. Denna tidpunkt kan kallas beräknad behovstidpunkt. Förfarandet illustreras principiellt med hjälp av den heldragna linjen i figur 1.



Figur 1 Principen bakom bestämning av leveranstidpunkter

Med utgångspunkt från beräknad behovstidpunkt fastställs önskad leveranstidpunkt. För enkelhets skull antas att den aktuella leverantören accepterar den önskade leveranstidpunkten. Överenskommen leveranstidpunkt sätts med andra ord med utgångspunkt från den beräknade behovstidpunkten. Det enda som man med visshet kan konstatera utifrån ett sådant beteende är att den beräknade behovstidpunkten är felaktig och därmed också den överenskomna leveranstidpunkten. Man kan i de flesta fall inte flera veckor och ibland månader i förväg med rimlig noggrannhet uppskatta när påfyllnadsbehov kommer att inträffa. Den verkliga behovstidpunkten kommer att inträffa senare än den ursprungligen uppskattade om förbrukningen varit mindre än beräknat och tidigare om förbrukningen varit större än beräknat, dvs. den verkliga behovstidpunkten kommer att ligga i ett intervall runt den ursprungligt beräknade.

Betraktat på det här sättet är det inte särskilt självklart att det är en fördel om leverantören levererar vid överenskommen leveranstidpunkt. Visserligen kan det ur praktisk planeringssynpunkt innebära fördelar med att inleveranser fixeras. Man vet säkrare när man kan disponera nya inlevererade kvantiteter. Om man emellertid vill kunna planera med minimala lager och i möjligaste mån undvika bristsituationer, är det rimligare att leverans sker vid tidpunkter som ligger så nära den vid tillfället gällande behovstidpunkten som möjligt, dvs. att man tillämpar leveranstidsflexibilitet och behovsstyr inleveranserna.

Att få leveranser tidigare än ursprungligen lovat är främst motiverat av att kunna undvika bristsituationer medan skälet för att få leveranser senare än ursprungligen lovat för det köpande företaget främst är en fråga om att undvika onödig kapitalbindning. Med utgångspunkt från ett sådant allmänt hålllet resonemang är det tämligen uppenbart att det sannolikt skulle kunna innebära lagerstyrningsfördelar om leveranstider flexibelt skulle kunna anpassas till de påfyllnadsbehov som föreligger. Resonemanget leder fram till den första forskningsfrågan.

- I vilken utsträckning påverkas säkerhetslagrets storlek, lagerhållnings- och bristkostnader samt servicenivå av att leverantörer kan anpassa sin leveranstid till aktuella behov av att fylla på lagret?

För att styra anpassningen av leveranstidpunkter till aktuella påfyllnadsbehov måste man använda någon form av regelverk med olika parametrar. Hur detta regelverk ser ut

och vilka värden som sätts på de parametrar som används är av naturliga skäl avgörande för hur effektiv användning av leveranstidsflexibilitet kan bli. En uppbar ytterligare forskningsfråga kan därför formuleras enligt följande.

- Vilka beslutsregler och parametervärden för att styra anpassning av leveranstider ger högst effekt på säkerhetslagrets storlek, lagerhållnings- och bristkostnader samt servicenivå med avseende på hur stor skillnaden mellan verklig och prognostiserad efterfrågan bör vara för att utlösa signal om att anpassa leveranstiden, när under leveranstidens gång som leveranstidsanpassning bör signaleras till leverantör samt med avseende på hur mycket leveranstiden bör anpassas.

1.3 Syfte och avgränsningar

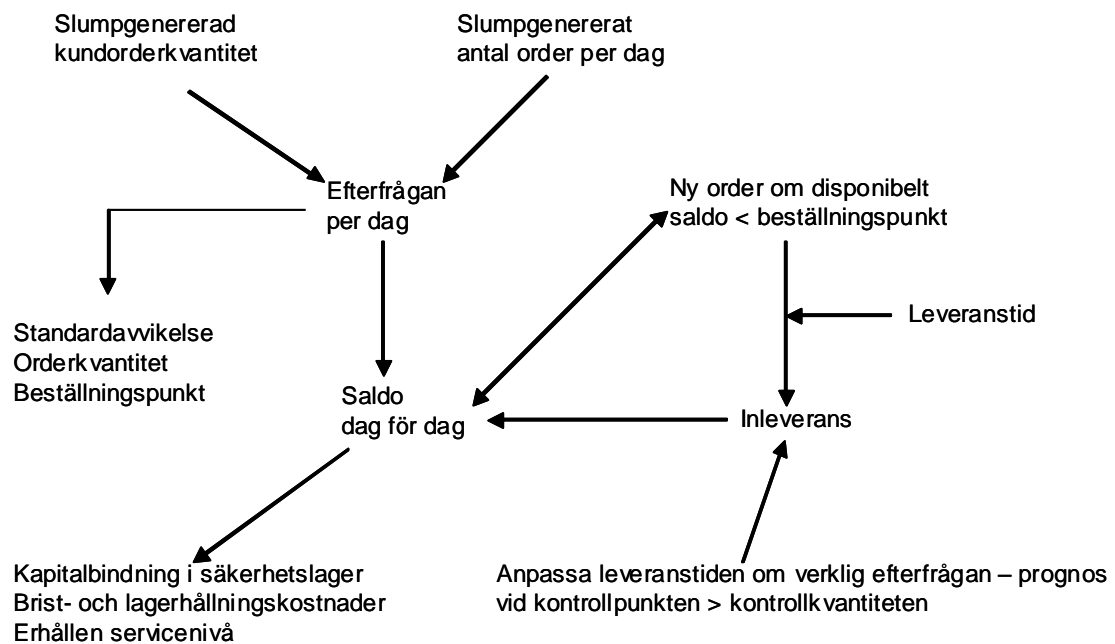
Syftet med det forskningsprojekt som redovisas i denna rapport är att belysa vilken betydelse tillämpning av flexibla leveranstider kan ha ur lagerstyrningssynpunkt med avseende på kapitalbindning, lagerstyrningskostnader och erhållen servicenivå. Syftet är också att studera hur effektivt ett förhållandevis enkelt regelverk för att styra leveranstidsanpassningen kan bli vid olika värden på de styrparametrar som ingår i regelverket. I första hand är målsättningen att åstadkomma praktiskt användbara riktlinjer som kan användas som underlag för att prioritera åtgärder för att åstadkomma bättre förutsättningar för en effektivare lagerstyrning.

För det studerade problemet förutsätts efterfrågan variera slumpmässigt under året och utan inslag av trender eller säsongvariationer. Likaså förutsätts att order som erhålls i samband med att brist föreligger i lagret inte går förlorade utan får levereras vid senare tillfälle när lagret fyllts på.

2 Angreppssätt och simuleringsmodell

De forskningsfrågor som är aktuella här är inte möjliga att besvara med hjälp av de teoretiska modeller som finns för lagerstyrning. Forskningsfrågorna har i stället studerats med hjälp av simulering. Simuleringarna har genomförts i Excel och baseras på användning av beställningspunkter för att generera nya lagerpåfyllnadsorder. Erhållna resultat är emellertid trots detta lika tillämpliga om man använder sig av andra lagerstyrningsmetoder som exempelvis täcktidsplanering eller materialbehovsplanering.

Simuleringarna baseras på en slumpgenererad efterfrågan per dag. Denna slumpgenererade efterfrågan har skapats genom att kombinera slumpmässigt bestämda kundorderkvantiteter och slumpmässigt bestämda antal order per dag. En översiktlig illustration av simuleringsmodellen visas i figur 2.



Figur 2 Översikt över den använda simuleringsmodellen

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

Tabell 1 Datauppgifter som använts vid simulering av de olika scenarierna

	<i>Efterfrågan per år</i>	<i>Variationskoefficient</i>	<i>Orderkvantitet</i>	<i>Ekvivalent bristkostnad</i>
Låg omsättning	24	1,08	10	61,27
Medelhög oms.	500	0,24	100	15,63
Hög omsättning	12600	0,13	1000	7,63

Orderkvantiteterna har beräknats med kvadratrotformeln och avrundats till närmsta multipel av 10, 100 respektive 1000. Beräkningarna baseras på ett artikelpris på 100 kr, en lagerhållningsfaktor på 25 % och en ordersärkostnad på 500 kr. Vid beräkningarna av lagerstyrningskonsekvenser av leveranstidsflexibilitet har en servicenivå, definierad

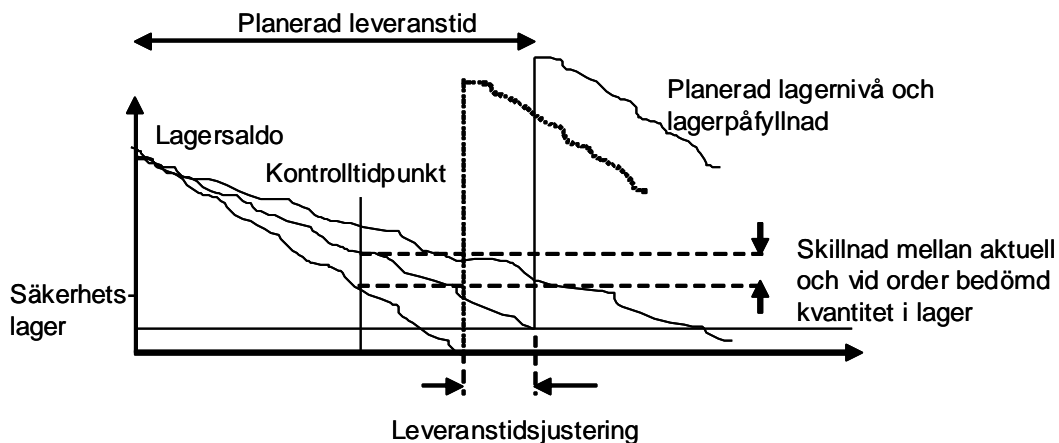
som andel av efterfrågan som kan tillfredsställas direkt från lager, på 98 % använts. Denna servicenivå motsvarar en ekvivalent bristkostnad som framgår av högerkolumnen i tabell 1.

Beställningspunkter har beräknats på traditionellt sätt som summan av prognostiserad förbrukning under leveranstiden plus ett säkerhetslager som beräknats med utgångspunkt från efterfrågans standardavvikelse under leveranstiden och den önskade servicenivån. Efterfrågans fördelning under leveranstiden har antagits vara normalfördelad. Startlagret har vid varje simuleringskörning beräknats som halva orderkvantiteten + säkerhetslagret.

Som framgick ovan avser leveranstidsflexibilitet här anpassning av leveranstidpunkten för uteliggande order efter aktuell lagersituation. För att kunna åstadkomma en sådan anpassning har ett enkelt regelverk innehållande tre olika parametrar utformats. En av parametrarna avser när under leveranstidens gång som test av behov av leveranstidsanpassning, senareläggning eller tidigareläggning, skall ske. Denna tidpunkt har kallats kontrollpunkten. Endast en kontrollpunkt har använts under leveranstiden. De kontrollpunkter som simulerats är vid 50, 65 respektive 80 procent av leveranstiden från ordertidpunkt räknat, dvs 10, 7 respektive 4 dagar före överenskommen leveranstidpunkt då leveranstiden är 20 dagar.

Den andra parametern, leveranstidsjusteringen, avser hur många dagar leveranstidpunkten skall anpassas. Simuleringar har genomförts för leveranstidsjusteringar på 5, 10 respektive 15 % av leveranstiden motsvarande 1, 2 respektive 3 dagar för fallet att leveranstiden är 20 dagar. Detta innebär att leverans kan ske 1, 2 respektive 3 dagar tidigare eller senare än ursprungligen lovat.

Den tredje parametern har kallats kontrollkvantiteten. Vid test av om leveranstidsanpassning skall ske eller inte jämförs skillnaden mellan hur mycket som har förbrukats sedan ordern frisläppts och hur mycket som enligt prognos borde ha förbrukats med denna kontrollkvantitet. Är differensen större än kontrollkvantiteten tidigareläggs inleveransen med leveranstidsjusteringen. Är differensen negativ och mindre än kontrollkvantiteten senareläggs inleveransen med leveranstidsjusteringen. I annat fall görs ingen leveranstidsjustering. De kontrollkvantiteter som använts är 0.5, 1.0 respektive 1.5 gånger beräknade säkerhetslagerkvantiteter. De olika parametrarna illustreras i figur 2.



Figur 3 Illustration av de parametrar som används vid leveranstidsjustering

De två forskningsfrågorna har operationaliserats genom att omformuleras till följande tre hypoteser.

H1: Kapitalbindningen blir högre, lagerstyrningskostnaderna mindre och erhållen servicenivå högre då leveranstidsflexibilitet tillämpas och då test av om leveranstidsanpassning skall ske utförs x dagar för ursprungligt lovad leveranstidpunkt jämfört med om leveranstidsflexibilitet inte tillämpas.

H2: Kapitalbindningen blir högre, lagerstyrningskostnaderna mindre och erhållen servicenivå högre då leveranstidsflexibilitet tillämpas och leveranstidsjusteringen är x dagar i förhållande till ursprungligt lovad leveranstidpunkt jämfört med om leveranstidsflexibilitet inte tillämpas.

H3: Kapitalbindningen blir högre, lagerstyrningskostnaderna mindre och erhållen servicenivå högre då leveranstidsflexibilitet tillämpas och då kontrollkvantiteten sätts lika med x gånger säkerhetslagerkvantiteten jämfört med om leveranstidsflexibilitet inte tillämpas.

De tre hypoteserna har testats för vart och ett av de tre scenarierna med olika hög omsättning. Dessutom har de testats med avseende på såväl enkelsidig som dubbelsidig leveranstidsanpassning, dvs. både för fallet att endast tidigareläggning av leverans sker vid risk för att brist uppstår och för fallet att både tidigareläggning och senareläggning av leverans sker vid risk för brist respektive risk för onödigt stora lager.

Följande kombinationer av de tre parametrarna har testats för de tre första hypoteserna vid en ursprunglig leveranstid på 20 dagar.

- Kontrollpunktens placering: 10, 7 respektive 4 dagar före leverans
Leveranstidsjustering = 2 dagar
Kontrollkvantitet = 1 · säkerhetslagret
- Leveranstidsjusteringens storlek: 1, 2 respektive 3 dagar
Kontrollpunkt = 10 dagar
Kontrollkvantitet = 1 · säkerhetslagret
- Kontrollkvantitetens storlek: 0,5, 1,0 respektive 1,5 gånger säkerhetslagret
Kontrollpunkt = 10 dagar
Leveranstidsjustering = 2 dagar

Var och en av hypoteserna har testats med hjälp av 20 simuleringskörningar, vardera omfattande 10 år av dagliga uttag och inleveranser, dvs med lagertransaktioner under sammanlagt över 50 000 dagar. Eftersom det rör sig om förhållandevis få simuleringskörningar har t-fördelningar använts för att verifiera eller falsifiera hypoteserna.

3 Resultat och analys av genomförda simuleringar

Resultaten från de genomförda simuleringarna visas i tabeller i nedanstående avsnitt. I dessa tabeller anges skillnader mellan kapitalbindning i säkerhetslager, lagerstyrningskostnader respektive servicenivåer vid leveranstidsanpassning och utan leveranstidsanpassning. För kapitalbindning och lagerstyrningskostnader avser uppgifterna procentuell förändring medan de för servicenivåer avser procentenheter. Jämförelser har gjorts både för fallet att både senareläggning och tidigareläggning av leveranstidpunkt sker och för fallet att endast tidigareläggning sker. * efter procentsatserna anger att skillnaden är signifikant på 0.5 %-nivån och ** att skillnaden är signifikant på 0.05 %-nivån.

3.1 Flexibilitetseffekter vid hög omsättning

Erhållna resultat av att tillämpa flexibla leveranstider med avseende på var kontrollpunkten placeras för scenariot med hög omsättning visas i tabell 2.

Tabell 2 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollpunktens placering vid hög omsättning

<i>Kontrollpunktens placering i dagar före leveranstidpunkt</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>
Kapitalbindning	+150**	+141**	+136**	+184**	+185**	+194**
Lagerstyrningskostnader	-34**	-40**	-45**	-31**	-35**	-38**
Servicenivå	+2.2**	+2.4**	+2.6**	+2.2**	+2.4**	+2.6**

Som framgår av tabellen är skillnaderna med avseende på såväl kapitalbindning, lagerstyrningskostnader och servicenivå signifikanta på 0.05 %-nivån för alla tre placeringsalternativen. Det kan också noteras att de procentuella skillnaderna är avsevärda. Det mest intressanta måttet är lagerstyrningskostnader eftersom de representerar både kostnader för den resursuppföring som det innebär att hålla lager och de alternativkostnader som det innebär att inte i tillräcklig utsträckning kunna leverera i takt med efterfrågan. Uppenbarligen kan flexibla leveranstider medföra avsevärda resultatförbättringsmöjligheter med avseende på lagerstyrningskostnader.

Med avseende på servicenivåer är skillnaderna försumbara mellan alternativet att både tidigarelägga leveranstidpunkter om förbrukningen varit större än prognostiserat och senarelägga om den varit mindre i förhållande till alternativet att endast tidigarelägga. Även med avseende på lagerstyrningskostnader är skillnaderna måttliga men till förmån för att använda både tidigare- och senareläggning. Däremot blir kapitalbindningen påtagligt högre om endast tidigareläggning tillämpas. Detta resultat är förväntat eftersom den strategin innebär att man inte försöker senarelägga leveranser trots att man kunnat observera att förbrukningen varit mindre än beräknat och att följaktligen lagret sannolikt kommer att vara större än säkerhetslagret när inleverans sker.

Av de erhållna resultaten kan också utläsas att man för de fall som simulerats får klart större effekter om man låter kontrollpunkten ligga närmre leveranstidpunkten. Alternativt uttryckt indikerar detta att en test för att avgöra om att senarelägga eller tidigarelägga leveranser bör ske sent under lagercykeln. Lagerstyrningskostnaderna blir bortåt 21

% högre om man måste bestämma sig för leveranstidsjustering 10 dagar i förväg i stället för 4 dagar i förväg. Hur långt i förväg beslut om leveranstidsjustering måste ske hänger givetvis i praktiken också samman med storleken på leveranstidsjusteringen.

Motsvarande resultat med avseende på leveranstidsjusteringens storlek visas i tabell 3. Vid dessa simuleringar har kontrollpunkten satts till 10 dagar före ursprunglig leveranstidpunkt.

Tabell 3 Flexibilitetseffekter med avseende på leveranstidsjusteringens storlek vid hög omsättning

<i>Leveranstidsjusteringens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>
Kapitalbindning	+74**	+150**	+237**	+92**	+184**	+279**
Lagerstyrningskostnader	-23**	-34**	-33**	-21**	-31**	-29**
Servicenivå	+1.4**	+2.2**	+2.6**	+1.4**	+2.2**	+2.7**

Även med avseende på de simulerade storlekarna på leveranstidsjusteringar är samtliga skillnader mellan att använda flexibla leveranstider och att inte göra det signifikanta på 0.05 %-nivån. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar ungefär samma mönster som ovan för varierande kontrollpunkter.

Eftersom lagerstyrningskostnaderna representerar det mest korrekta måttet på effekterna av att tillämpa leveranstidsflexibilitet indikerar de erhållna resultaten att större leveranstidsjusteringar är mer kostnadseffektiva. Sannolikt är optimal storlek något beroende på både leveranstidens längd, kontrollpunktens placering och kontrollkvantitetens storlek. För just de fall som simulerats reduceras lagerstyrningskostnaderna mer om leveranstidsjusteringen är 2 dagar jämfört med att den är 1 dag eller 3 dagar.

Med avseende på kontrollkvantitetens storlek vid hög omsättning framgår simuleringsresultaten av tabell 4. Vid de här simuleringarna har kontrollpunkten satts till 10 dagar före leveranstidpunkten och leveranstidsjusteringen till 2 dagar. I tabellen står *sl* för säkerhetslagrets storlek.

För de simulerade storlekarna på kontrollkvantiteter är samtliga skillnader mellan att använda flexibla leveranstider och att inte göra det signifikanta på 0.05 %-nivån. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar ungefär samma mönster som ovan för varierande kontrollpunkter.

Tabell 4 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollkvantitetens storlek vid hög omsättning

<i>Kontrollkvantitetens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>
Kapitalbindning	+213**	+150**	+99**	+260**	+184**	+114**
Lagerstyrningskostnader	-33**	-34**	-27**	-28**	-31**	-26**
Servicenivå	+2.5**	+2.2**	+1.7**	+2.6**	+2.2**	+1.7**

Om man som ovan utgår från lagerstyrningskostnaderna som det mest korrekta måttet för att värdera effekterna av att tillämpa leveranstidsflexibilitet kan man från de erhållna resultaten konstatera att det inte är några större skillnader mellan att använda små kontrollkvantiteter. Däremot faller servicenivåerna vid ökande kontrollkvantiteter. Detta är förväntat eftersom en stor kontrollkvantitet resulterar i färre justeringar av inleveranstidpunkterna. Lämplig kontrollkvantitet kan förväntas vara beroende av framför allt kontrollpunktens placering, dvs. ju tidigare kontrollpunkten ligger desto mindre bör kontrollkvantiteten vara. Studien ger emellertid inga belägg för detta påstående. För att verifiera det krävs att fler simuleringsstudier genomförs.

3.2 Flexibilitetseffekter vid medelhög omsättning

För fallet med medelhög omsättning visas erhållna resultat av att tillämpa flexibla leveranstider med avseende på var kontrollpunkten placeras i tabell 5.

Tabell 5 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollpunktens placering vid medelhög omsättning

<i>Kontrollpunktens placering i dagar före leveranstidpunkt</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>
Kapitalbindning	+18**	+12**	+8**	+40**	+39**	+41**
Lagerstyrningskostnader	-16**	-20**	-26**	-13**	-15**	-18**
Servicenivå	+0.8**	+0.9**	+1.1**	+0.9**	+1.0**	+1.1**

Av tabellen framgår att skillnaderna med avseende på såväl kapitalbindning, lagerstyrningskostnader och servicenivå är signifikanta på 0.05 %-nivån för alla tre placeringsalternativen på samma sätt som för scenariot med hög omsättning. De procentuella skillnaderna är också avsevärda även om de är klart mindre än vad fallet är för högomsättningsscenario. Uppenbarligen kan flexibla leveranstider medföra avsevärda resultatförbättringsmöjligheter även vid medelhög omsättning, alldeles speciellt med tanke på skillnaderna i lagerstyrningskostnader.

För lagerstyrningskostnader och servicenivå är skillnaderna måttliga respektive praktiskt taget försumbara mellan att tillämpa alternativet att både tidigarelägga leveranstidpunkter om förbrukningen varit större än prognostiserat och senarelägga om den varit mindre i förhållande till alternativet att endast tidigarelägga. Däremot blir kapitalbindningen påtagligt högre om endast tidigareläggning tillämpas vilket kan förväntas eftersom den strategin innebär att man inte försöker senarelägga leveranser som det inte finns ett omedelbart behov av.

Av de erhållna resultaten kan man på samma sätt som för scenariot med hög omsättning utläsa att man för de fall som simulerats får större effekter med avseende på lagerstyrningskostnader om man låter kontrollpunkten ligga närmre leveranstidpunkten. Alternativt uttryckt indikerar detta att test av att eventuellt senarelägga respektive tidigarelägga leveranser bör ske sent under lagercykeln. Lagerstyrningskostnaderna blir storleksordningen 13 % högre om man måste bestämma sig för leveranstidsjustering 10 dagar i förväg i stället för 4 dagar i förväg. Denna skillnad är något lägre än vad fallet var för scenariot med hög omsättning.

Resultaten med avseende på leveranstidsjusteringens storlek visas i tabell 6. Vid dessa simuleringar har kontrollpunkten satts till 10 dagar före ursprunglig leveranstidpunkt.

Tabell 6 Flexibilitetseffekter med avseende på leveranstidsjusteringens storlek vid medelhög omsättning

<i>Leveranstidsjusteringens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>
Kapitalbindning	+9**	+16**	+29**	+20**	+40**	+60**
Lagerstyrningskostnader	-8**	-18**	-20**	-6**	-13**	-17**
Servicenivå	+0.5**	+0.9**	+1.1**	+0.5**	+0.9**	+1.3**

Även med avseende på de simulerade alternativa storlekarna på leveranstidsjusteringar är samtliga skillnader mellan att använda flexibla leveranstider och att inte göra det signifikanta på 0.05 %-nivån. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar i huvudsak samma mönster som ovan för varierande kontrollpunkter. Mönstret är också detsamma som vid hög omsättning men med mindre skillnad mellan de olika fallen av leveranstidsjusteringar.

Med avseende på utfallet för lagerstyrningskostnaderna indikerar de erhållna resultaten att leveranstidsflexibilitet blir kostnadseffektivare vid större leveranstidsjusteringar. Så var endast delvis fallet vid scenariot med hög omsättning.

Erhållna simuleringsresultat vad gäller kontrollkvantitetens storlek vid medelhög omsättning framgår av tabell 7. Även vid de här simuleringarna har kontrollpunkten satts till 10 dagar före leveranstidpunkten och leveranstidsjusteringen till 2 dagar. På samma sätt som tidigare avser sl i tabellen säkerhetslagrets storlek.

Tabell 7 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollkvantitetens storlek vid medelhög omsättning

<i>Kontrollkvantitetens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>
Kapitalbindning	+21**	+16**	+15**	+51**	+40**	+28**
Lagerstyrningskostnader	-18**	-18**	-13**	-13**	-13**	-11**
Servicenivå	+0.9**	+0.9**	+0.7**	+1.1**	+0.9**	+0.7**

Liksom ovan är samtliga skillnader mellan att använda flexibla leveranstider och att inte göra det signifikanta på 0.05 %-nivån för de simulerade storlekarna på kontrollkvantiteter. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar också ungefär samma mönster som ovan för olika placering av kontrollpunkter.

För scenariot med hög omsättning finns det inga skillnader i lagerstyrningskostnader av att använda små kontrollkvantiteter jämfört med något större kvantiteter. Samma förhål-

lande gäller för scenariot med medelhög omsättning. Servicenivåerna minskar i mindre utsträckning vid ökande kontrollkvantiteter jämfört med högomsättningsscenario.

3.3 Flexibilitetseffekter vid låg omsättning

Simuleringsresultaten av att tillämpa flexibla leveranstider med avseende på var kontrollpunkten skall placeras när omsättningen är låg visas i tabell 8.

Tabell 8 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollpunktens placering vid låg omsättning

<i>Kontrollpunktens placering i dagar före leveranstidpunkt</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>7 dagar</i>	<i>4 dagar</i>
Kapitalbindning	+1.2**	+0.4**	+0.8**	+1.2**	+0.4**	+0.8**
Lagerstyrningskostnader	-2.5	-0.8	-0.8	-2.5	-0.8	-0.8
Servicenivå	+0.2	+0.1	+0.1	+0.2	+0.1	+0.1

I detta scenario är skillnaderna endast signifikanta på 0.05 %-nivån med avseende på kapitalbindning för de tre placeringsalternativen. De procentuella skillnaderna är också marginella jämfört med övriga scenarier. Uppenbarligen spelar användning av flexibla leveranstider en försumbar roll när omsättningen i lager är låg, speciellt med avseende på lagerstyrningskostnader och erhållna servicenivåer.

Med avseende på både kapitalbindning, lagerstyrningskostnader och servicenivåer föreligger inga skillnader alls mellan alternativet att både tidigarelägga leveranstidpunkter om förbrukningen varit större än prognostiserat och tidigarelägga om den varit mindre i förhållande till alternativet att endast tidigarelägga.

Inga skillnader av intresse med avseende på kontrollpunktens placering kan utläsas för scenariot med låg omsättning. En större differens beträffande lagerstyrningskostnader när kontrollpunkten ligger tidigt kan dock noteras. Detta är tvärt emot vad som var fallet för hög och medelhög omsättning.

Motsvarande resultat med avseende på leveranstidsjusteringens storlek visas i tabell 9. Vid dessa simuleringar har kontrollpunkten satts till 10 dagar före ursprunglig leveranstidpunkt.

Tabell 9 Flexibilitetseffekter med avseende på leveranstidsjusteringens storlek vid låg omsättning

<i>Leveranstidsjusteringens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>	<i>1 dag</i>	<i>2 dagar</i>	<i>3 dagar</i>
Kapitalbindning	+0.4**	+1.2**	+1.7**	+0.4**	+1.2**	+1.7**
Lagerstyrningskostnader	-0.8	-2.5	-4.2*	-0.8	-2.5	-4.2*
Servicenivå	+0.1	+0.2	+0.4*	+0.1	+0.2	+0.4*

Även med avseende på de simulerade storlekarna på leveranstidsjusteringar är skillnaderna mellan att använda flexibla leveranstider och att inte göra det endast signifikanta

på 0.05 %-nivån för kapitalbindning. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar ungefär samma mönster som ovan för varierande kontrollpunkter, dvs det föreligger inga skillnader.

Med avseende på leveranstidsjusteringens storlek kan vissa skillnader uppmärksammas. För lagerstyrningskostnaderna indikerar resultaten att tillämpning av leveranstidsflexibilitet blir effektivare ju större leveranstidsjusteringen är. Samma förhållande identifierades för medelhög omsättning men inte fullt ut för hög omsättning. Liknande förhållanden föreligger också för erhållna servicenivåer.

Med avseende på kontrollkvantitetens storlek vid låg omsättning framgår simuleringsresultaten av tabell 10. Vid de här simuleringarna har kontrollpunkten satts till 10 dagar före leveranstidpunkten och leveranstidsjusteringen till 2 dagar. I tabellen står *sl* för säkerhetslagrets storlek.

Tabell 10 Flexibilitetseffekter med avseende på kontrollkvantitetens storlek vid låg omsättning

<i>Kontrollkvantitetens storlek</i>	<i>Tidigare och senare</i>			<i>Endast tidigare</i>		
	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>	<i>0.5 sl</i>	<i>1.0 sl</i>	<i>1.5 sl</i>
Kapitalbindning	+2.1**	+1.2**	0.0	+2.1**	+1.2**	0.0
Lagerstyrningskostnader	-1.7	-2.5	0.0	-1.7	-2.5	0.0
Servicenivå	+0.2	+0.2	0.0	+0.2	+0.2	0.0

Liksom för leveranstidsjusteringens storlek föreligger endast signifikanta skillnader på 0,05 %-nivån för simulerade storlekar på kontrollkvantiteter med avseende på kapitalbindning, dessutom endast för de båda mindre storlekarna. Förhållandet mellan att tillämpa både senare- och tidigareläggning jämfört med att endast tillämpa tidigareläggning av leveranstidpunkter uppvisar också ungefär samma mönster som ovan för varierande kontrollpunkter.

Vissa indikationer på att mindre kontrollkvantiteter ger en större påverkan på lagerstyrningskostnaderna kan noteras. Liknande förhållande gäller för de övriga omsättnings-scenarierna.

Det kan tilläggas att resultaten i det lågomsatta scenariot påverkas av de avrundningsfel som oundvikligen uppstår vid bestämning av beställningspunkter och säkerhetslager eftersom dessa variabler representeras av mycket små tal när omsättningen är låg.

4 Sammanfattning och slutsatser

Efterfrågan på produkter som lagerhålls varierar över tiden och kan aldrig helt förutses. Som en konsekvens av detta förhållande kan man aldrig med säkerhet avgöra när inleverans för att fylla på lagret bör ske. Den tidpunkt när inleverans sker kommer antingen att ligga före eller efter den tidpunkt när den borde ägt rum. Inträffar inleveransen senare kommer brist att uppstå och inträffar den tidigare kommer kapitalbindningen i lager att bli onödigt stor. På grund av detta förhållande borde man kunna förvänta sig att om

leverantören kunde anpassa leveranstidpunkten till aktuell efterfrågan så skulle det krävas mindre säkerhetslager för att uppnå en viss önskad servicenivå eller alternativt skulle man kunna uppnå en högre servicenivå med ett givet säkerhetslager. Man skulle med andra ord kunna öka lagerstyrningseffektiviteten genom att tillämpa flexibla leveranstider.

En simuleringsstudie har genomförts för att testa om detta resonemang är riktigt. Med undantag för fall med låg omsättning visar de resultat som erhållits att om leverantörer kan anpassa sina leveranstider kommer kapitalbindningen i säkerhetslager att bli signifikant högre men också att erhållen servicenivå blir signifikant högre än vad som blir fallet utan leveranstidsflexibilitet. Resultaten visar också att lagerstyrningskostnaderna blir signifikant lägre om leveranstidsflexibilitet tillämpas utom för fallet med låg omsättning. Dessa lagerstyrningskostnader inkluderar både kostnader för den resursuppföring som det innebär att hålla lager och de alternativkostnader som det innebär att inte i tillräcklig utsträckning kunna leverera i takt med efterfrågan. De representerar därför i motsats till kapitalbindning och servicenivå ett totalmått på lagerstyrningseffektivitet. En slutsats från den genomförda simuleringsstudien är därför att tillämpning av flexibla leveranstider kan medföra signifikanta resultatförbättringsmöjligheter med avseende på lagerstyrningskostnader.

Med avseende lagerstyrningskostnader och erhållna servicenivåer är skillnaderna mellan att endast tidigarelägga inleveranser jämfört med att tillämpa både tidigareläggning och senareläggning ganska små för fallet med medelhög omsättning respektive försumbara vid hög omsättning. Däremot medför alternativet med att endast tillämpa tidigareläggning betydligt högre kapitalbindning än om både tidigareläggning och senareläggning genomförs när efterfrågan är större respektive mindre än förväntat.

Hur mycket lagerstyrningskostnaderna kan minskas genom att tillämpa leveranstidsflexibilitet är beroende av hur leveranstidsanpassningen genomförs. Vid den genomförda simuleringen har ett förhållandevis enkelt regelverk med tre parametrar använts. De resultat som erhållits med avseende på detta regelverk och på de använda parametrarna kan sammanfattas enligt följande.

- Lagerstyrningskostnaderna blir lägre och erhållen servicenivå högre ju närmre den ursprungligen lovade leveranstidpunkten man kontrollerar om behov av leveranstidsanpassning föreligger upp till en viss gräns.
- Lagerstyrningskostnaderna blir lägre ju större leveranstidsjustering (dvs hur många dagar leveranstidpunkten ändras) man använder upp till en viss nivå.
- Erhållen servicenivå blir högre ju större leveranstidsjustering man använder.
- Lagerstyrningskostnaderna blir lägre ju större kontrollkvantiteten (dvs. den kvantitet som används för att avgöra om efterfrågan avvikit så mycket att leveranstidsanpassning bör ske) är upp till en viss nivå.
- Förbättringen av servicenivån blir mindre ju större kontrollkvantiteten är.

Ovanstående slutsatser skall endast ses som indikationer på samband mellan parametervärden i det regelverk som använts och hur lagerstyrningskostnaderna påverkas av att tillämpa leveranstidsflexibilitet. De gäller dessutom inte för fallet med låg omsättning. Syftet har inte heller varit att utveckla och testa hur ett optimalt regelverk kan se ut och hur parametrar skall sättas för att få ett optimalt resultat. För att åstadkomma detta krävs betydligt mer omfattande simuleringskörningar.

Referenser

- Council of Logistics Management, CLM (1995) World class logistics: The challenge of managing continuous change.
- Dixon, R. (1990) The new performance challenge, Business One-Irwin.
- European Logistics Association, ELA, (1999) Insight to impact.
- Fetter, R – Dalleck, W. (1961) Decision models for inventory management, Richard D Irwin.
- Hax, A. – Candea, D. (1984) Production and inventory management, Prentice-Hall.
- Mandelbaum, M. (1978) Flexibility in decision making: An exploration and unification, Ph.D. Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.
- Melnyk, S. (2002) Understanding flexibility. The Performance Advantage, May.
- Chang, S-C. – Yang, C-L. – Cheng, H-C.- Sheu, C. (2003) Manufacturing flexibility and business strategy: An empirical study of small and medium sized firms, International Journal of Production Economics, sid 13-26.
- Silver, E. – Peterson, R. (1985) Decision systems for inventory management and production planning, John Wiley & Sons.
- Slack, N. (1988) Manufacturing systems flexibility – An assessment procedure, Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 1 No. 1, sid 25-31.
- Stonebraker, P. – Leong, K. (1994) Operations strategy – Focusing competitive excellence, Allyn & Bacon.
- Vickery, S. – Calantone, R. – Droge, C. (1999) Supply chain flexibility: An empirical study, Journal of Supply Chain management, Sommarnumret.
- Wainwright, C. – Bateman, N. (1997) Auditing system flexibility in the context of manufacturing strategy information, Logistics Information Management, Vol. 10 No. 4, sid 167-177.