

Differentiering av fyllnadsgradsservice för bestämning av säkerhetslager

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

Sammanfattning

Differentiering av servicenivåer vid dimensionering av säkerhetslager är ett sätt att åstadkomma ett gynnsammare förhållande mellan leveransförmåga och kapitalbindning i säkerhetslager. I den här rapporten redovisas en studie av hur kapitalbindning påverkas av differentiering och av hur sättet att differentiera bör utformas för att bli så effektivt som möjligt. Fyllnadsgradsservice har använts för dimensionering och orderradsservice som mått på erhållen servicenivå. Analyserna har genomförts med hjälp av simulering. Baserat på de resultat som erhållits har nedanstående allmänna slutsatser dragits. Slutsatserna gäller i första hand med avseende på de förhållanden som gäller i de sex fallföretag som ingått i studien.

Differentiering av fyllnadsgradsservice leder till lägre kapitalbindning jämfört med att inte differentiera. Hur mycket lägre kapitalbindningen blir skiljer sig från företag till företag, i stor utsträckning beroende på den orderfrekvensstruktur och prisstruktur som finns i företaget. Möjlig reduktion beror också på önskad orderradsservice. Ju högre orderradsservice, desto mindre reduceras kapitalbindningen och vid hög orderradsservice kan differentiering till och med leda till ökad kapitalbindning. Det är med andra ord svårt att någorlunda säkert förutse vilken och hur stor resultatpåverkan man kan förvänta sig i ett specifikt företag.

Kapitalbindningen påverkas mycket lite av om en- eller två-dimensionell differentiering används vid låg orderradsservice medan två-dimensionell differentiering är effektivare vid hög orderradsservice. Antalet klasser och hur artiklar fördelas mellan klasserna har i huvudsak liten betydelse för hur mycket kapitalbindningen i säkerhetslager kan reduceras. Med tanke på detta och på svårigheterna att i en specifik situation bedöma vilken artikelfördelning som kan förväntas ge bäst resultat, är det mycket som talar för att använda det enklaste alternativet, nämligen att fördela artiklarna jämt mellan de klasser man avser använda. Däremot har skillnader i hur mycket fyllnadsgraderna differentieras mellan de olika klasserna betydelse. Ju större skillnader mellan högsta och lägsta fyllnadsgradsservice, desto lägre blir kapitalbindningen.

Användning av bristkostnader för dimensionering av säkerhetslager leder till väsentligen lägre kapitalbindning än användning av differentierad fyllnadsgradsservice och användning av antal dagars medelefterfrågan leder nästan alltid till påtagligt lägre kapitalbindning.

1 Introduktion

På grund av osäkerheter och variationer i framtida efterfrågan och i ledtider måste man använda sig av säkerhetslager. Kapitalbindning i säkerhetslager är med andra ord det pris man måste betala för att i rimlig omfattning kunna säkerställa den leveransförmåga i form av servicenivå som man önskar och som är konkurrenskraftig på marknaden. Det är därför av intresse att kunna dimensionera säkerhetslager så att man får ett så effektivt förhållande som möjligt mellan servicenivå och kapitalbindning.

Utöver rena uppskattningar av lämpliga säkerhetslagerkvantiteter på intuitiva eller erfarenhetsmässiga grund finns det tre olika kategorier metoder som kan användas för dimensionering av säkerhetslager. En kategori metoder kan kallas proportionalitetsmetoder och kännetecknas av att lämplig säkerhetslagerstorlek sätts proportionell mot efterfrågans storlek, exempelvis som antal dagars medelefterfrågan. En annan kategori kan kallas servicenivåmetoder eftersom de vid beräkning av säkerhetslager utgår från en önskad servicenivå, oftast definierad som cykelservice (Serv1) eller fyllnadsgradsservice (Serv2) (Axsäter, 2006, sid 32). Metoderna kännetecknas också av att säkerhetslagrets storlek beräknas med utgångspunkt från statistiska fördelningar av förekommande efterfrågevariationer. Även den tredje kategorin metoder utgår från statistiska efterfrågefördelningar. I motsats till servicenivåmetoderna baseras emellertid säkerhetslagrets storlek i stället på uppskattade bristkostnader och någon form av minimering av summa lagerhållningskostnader och bristkostnader. De kan därför kallas bristkostnadsmetoder.

Alla dessa metoder karakteriseras av att dimensioneringsparametern, dvs. antal dagar, servicenivå respektive bristkostnad, inte är den samma som vanligt använt uppföljningsmått, dvs. erhållen servicenivå i form av orderradsservice (Forslund och Jonsson, 2008). Det saknas också analytiska samband mellan dem. Detta försvårar möjligheterna att välja ett parametervärde som leder till önskad orderradsservice. Problemet är något mindre om man använder fyllnadsgradsservice eftersom det föreligger en viss storleksmässig överensstämmelse mellan dimensioneringsparametern fyllnadsgrad och uppföljningsmålet orderradsservice.

En metods effektivitet är emellertid inte bara en fråga om möjligheter att sätta rätta parametervärden och att beräkna ett lämpligt säkerhetslager baserat på ett sådant värde. I varje grupp av artiklar har ingående artiklar olika priser och kostar därmed olika mycket att ha i lager. Artiklarna bidrar också olika mycket till den erhållna servicenivån för artikelgruppen som helt. Om exempelvis orderradsservice används som mått på erhållen leveransförmåga, bidrar artiklar med många kundorder per år mer till den totalt erhållna servicenivån än artiklar med få kundorder per år. Det är därför uppenbart att säkerhetslagerdimensionering måste betraktas ur ett systemperspektiv och att säkerhetslagren inte skall dimensioneras så att alla artiklar erhåller samma servicenivå om man vill åstadkomma en viss leveransförmåga med så låg kapitalbindning som möjligt. Coleman (2000) hävdar att ”applying the same service level target to all items is a mistake”. Hopp et al. (1997) har med olika exempel visat att man avsevärt kan minska kapitalbindningen genom att låta varje artikel få en individuell servicenivå och Mattsson (2010) har med hjälp av simulering på efterfrågedata från fyra fallföretag visat att det minst effektiva sättet att dimensionera säkerhetslager är att låta alla artiklar få samma servicenivå i form av orderradsservice.

Mattsson (2013b) har visat, att även om man använder samma parametervärde för samtliga artiklar, så kommer de erhållna servicenivåerna att variera, dvs. det förekommer för samtliga metoder en indirekt differentiering i större eller mindre utsträckning. De bakomliggande orsakerna till denna indirekta differentiering varierar för de olika metoderna. De finns redovisade i Mattsson (2013a) för dagmetoden, i Mattsson (2011b) för servicenivåmetoder och i Mattsson (2016) för bristkostnadsmetoder. Med tanke på betydelsen av att differentiera servicenivåer för att få så optimal kapitalbindning som möjligt är metodernas egenskaper i detta avseende avgörande för deras respektive effektivitet och användbarhet. En jämförelse, baserad på simulering av efterfrågedata från fyra olika företag, av dagmetoden, de båda servicenivåmetoderna och en bristkostnadsmetod visade stora skillnader i kapitalbindning för att uppnå samma orderradsservice för en grupp av artiklar (Mattssons, (2010). Den dimensioneringsmetod som utgår från fyllnadsgradsservice medförde klart mest kapitalbindning och bristkostnadsmetoden minst. Studien visade också att dagmetoden och bristkostnadsmetoden differentierade erhållen orderradsservice mer än cykelservicemetoden och mycket mer än fyllnadsgradsmetoden.

För att få ett så effektivt förhållande mellan erhållen servicenivå och kapitalbindning i säkerhetslager kan det vara önskvärt att komplettera den indirekta differentieringen med en direkt differentiering av de parametervärden som används för respektive metod. Det innebär att olika artiklar ges olika parametervärden. Teoretiskt sett är det optimalt att låta varje artikel få ett speciellt parametervärde. Att fastställa individuella parametervärden för i många fall tiotusentals artiklar är emellertid opraktiskt och svårgenomförbart. En så detaljerad nivå omöjliggör också att styra leveransförmåga och kapitalbindning från ett ledningsperspektiv. Dessutom är summan av ett antal individuellt optimerade säkerhetslager inte nödvändigtvis det samma som ett optimalt säkerhetslager för grupper av artiklar. I praktisk tillämpning är det därför vanligt att man i stället differentierar servicenivåer på ett hanterbart antal grupper av artiklar med utgångspunkt från någon form av artikelklassificering.

2 Artikelklassificering och differentiering i litteraturen

Artikelklassificering är ett sedan länge tillämpat hjälpmedel vid lagerstyrning. Det används för att allokera resurser av olika slag på ett så effektivt sätt som möjligt, exempelvis genom att inventera högprisartiklar oftare än lågprisartiklar eller att underhålla lagerstyrningsparametrar oftare för leveranskritiska artiklar än för övriga. Det används också vid parametersättning för att få så gynnsamma förhållanden som möjligt mellan kapitalbindning, lagerstyrningskostnader och leveransförmåga, exempelvis genom att lägga ut nya lagerpåfyllnadsorder oftare för artiklar med hög omsättning än för artiklar med låg. Tillvägagångssättet innebär att man grupperar och klassificerar sina artiklar efter något kriterium, exempelvis efter volymvärde eller antal kundorder per år. För var och en av de skapade grupperna tillämpar man sedan olika strategier. Det är vanligt förekommande att man använder sig av tre olika grupper som kallas A, B och C och man talar därför om ABC-klassificering. Grupp A utgör de artiklar som med avseende på något speciellt kriterium representerar högst värden och grupp C de artiklar som representerar lägst värden. Motivet för att tillämpa sådan klassificering bygger på den så kallade minoritetsprincipen som ursprungligen formulerades av den Schweiziske nationalekonomen Vilfredo Pareto på 1890-talet.

Dimensionering av säkerhetslager är ett område där artikelklassificering med fördel kan tillämpas för att differentiera servicenivåer. Syftet är att åstadkomma så optimala förhållanden som möjligt med avseende på den kapitalbindning som krävs för att åstadkomma en viss önskad leveransförmåga. Hur man allmänt skall gå tillväga för att genomföra artikelklassificeringar beskrivs i praktiskt taget varje lärobok i logistik. Se exempelvis Vollmann et al (2005), Jonsson och Mattsson (2016) samt Broeckelmann (1999). Av litteraturen får man emellertid med få undantag inte någon uppfattning om hur man mer i detalj bör göra, vilka kriterier som är mest lämpade för differentiering, hur många klasser man bör ha etc. Man får inte heller någon uppfattning om vilka resultat man kan förvänta sig, endast att differentiering är bra i allmänhet. I de få fall något tillvägagångssätt beskrivs är det ofta ofullständigt och motsägelsefullt. Shah (1988, sid 347), Tersine (1994, sid 546), Storhagen (2003, sid 182) och (Oskarsson et al. (2013, sid 255) förordar till exempel användning av volymvärde som kriterium för differentiering och att volymvärdehöga artiklar bör få mindre säkerhetslager än volymvärdelåga artiklar medan Plossl (1983, sid 285) har en motsatt uppfattning. Han menar att eftersom volymvärdehöga artiklar beställs oftare än volymvärdelåga bristexponeras de fler gånger per år och bör följaktligen ha större säkerhetslager. Baserat på en fallstudie i ett företag som distribuerar reservdelar förordar Cohen et. al (1999) att artiklar med lågt pris och hög förbrukning bör ges högre servicenivåer.

Även Schonberger och Knod (1991, sid 298) hävdar att volymvärdehöga artiklar bör ha lägre säkerhetslager än volymvärdelåga. De menar också att detta skall åstadkommas genom att differentiera täcktider vid bestämning av säkerhetslager och att sätta kortast täcktid för volymvärdehöga artiklar. Lambert et al. (1998, sid 170) förordar differentiering av säkerhetslager med volymvärde som kriterium och menar att volymvärdehöga artiklar skall ha högst orderradsservice. Det finns emellertid inte någon beräkningsmetodik för att dimensionera säkerhetslager baserat på orderradsservice och författarna redovisar inte hur deras rekommendation skall kunna förverkligas. Zhang et al. (2001) argumenterar också för användning av differentierade servicenivåer vid bestämning av säkerhetslager, i deras fall cykelservice (Serv1) med volymvärde som kriterium. Volymvärdehöga artiklar skall enligt författarna ha lägst servicenivå. Även Stokkedal (2007) använder cykelservice för att differentiera säkerhetslager.

För den kategori författare som nöjer sig med att konstatera att säkerhetslagret bör vara högt för högvärdesartiklar och lågt för lågvärdesartiklar kan man fråga sig vad som menas med ett högt respektive lågt lager, inte minst med tanke på att vad som är ett högt/lågt säkerhetslager måste relateras till efterfrågans- och efterfrågevariationernas storlek. Ingen författare redovisar heller vad det är för typ av prestationsmått för leveransförmåga som man eftersträvar att göra så hög som möjligt i förhållande till den kapitalbindning som krävs, exempelvis om det är fråga om orderradsservice eller volym-service.

I ett system för klassificering av artiklar ingår också kriterier som skall användas för att avgöra vilka artiklar som skall höra till vilken klass. Sandler och Tanel (1986) och Gudum (2005) har föreslagit ett stort antal sådana möjliga kriterier för att kategorisera och klassificera artiklar för olika ändamål. Av dessa kan kundorderfrekvens, pris, efterfrågan, volymvärde och täckningsbidrag anses vara mest aktuella vid differentiering av säkerhetslager.

Dessa fem kriterier kan användas vid en-dimensionell differentiering vilket innebär att endast ett kriterium används för att klassificera artiklar. Det är emellertid inget som hindrar att man kombinerar två eller flera kriterier, dvs. tillämpar en fler-dimensionell differentiering. Exempel på tvådimensionella klassificeringsmatriser redovisas bland andra av Flores och Whybark (1985), Gudum (2005) och Stokkedal (2007).

3 Syfte, forskningsfrågor och avgränsningar

3.1 Syfte och forskningsfrågor

Man kan konstatera, att den litteratur som finns om differentiering av säkerhetslager inte kan sägas vara särskilt omfattande, konsistent eller praktiskt användbar. Den ger inte heller vägledning om vad valt prestationsmått på erhållen servicenivå, valt sätt att dimensionera säkerhetslager och valt kriterium för differentiering av servicenivåer betyder för vad man kan åstadkomma i form av reducerad kapitalbindning. Syftet med den här studien är därför att genomföra en analys som kan bidra till att få en säkrare uppfattning om vilka resultat som kan uppnås vid användning av differentierade servicenivåer för att dimensionering av säkerhetslager. Syftet är också att bidra till kunskap om hur ett system för artikelklassbaserad differentiering bör utformas för att vara så effektivt som möjligt. Mot denna bakgrund har nedanstående fyra forskningsfrågor behandlats.

Differentiering av servicenivåer kan åstadkommas på en rad olika sätt och det finns skäl att förmoda att de resultat i form av kapitalbindning i säkerhetslager som krävs för att uppnå en viss önskad servicenivå är beroende av det tillvägagångssätt som valts. Främst gäller det antal klassificeringsdimensioner som används, antal klasser för varje dimension samt kriterier för klassificering. Eftersom kapitalbindning i säkerhetslager ökar exponentiellt med ökande servicenivåer finns det också skäl att anta att möjlig resultatförbättring är beroende av hur hög total servicenivå i form av medelorderradsservice man vill uppnå. Detta leder till den första forskningsfrågan.

1 Hur mycket påverkas kapitalbindningen i säkerhetslager av valda servicenivåer och av olika sätt att differentiera dem ?

Vid differentiering består varje klass av ett antal artiklar. Hur den totala mängden artiklar fördelas mellan de olika klasserna kan förväntas påverka säkerhetslagrets storlek och därmed kapitalbindningen. Forskningsfråga två avser därför artikelfördelningens betydelse i detta avseende.

2 Hur mycket påverkas kapitalbindningen i säkerhetslager av hur artiklar fördelas mellan olika klasser ?

Vid differentiering får artiklar tillhörande olika klasser olika höga värden på den dimensionerande parametern, exempelvis på den servicenivå som används vid dimensionering av respektive artikels säkerhetslager. Denna differentiering av parametervärden på de olika artikelklasserna kan förväntas påverka differentieringens effektivitet och leder till den tredje forskningsfrågan.

3 Hur mycket påverkas kapitalbindningen i säkerhetslager av graden av differentiering av dimensionerande servicenivå ?

Att differentiera parametervärden mellan artikelklasser innebär ett merarbete och det komplicerar också sambandet mellan dimensionerande parametrar och erhållen servicenivå. Av introduktionen framgick att dagmetoden och bristkostnadsmetoden är klart effektivare än servicenivåmetoderna med avseende på indirekt differentiering av leveransförmågan för olika artiklar. Det kan därför vara av intresse att studera hur väl differentierade servicenivåer presterar jämfört med odifferentierade bristkostnader och antal dagars efterfrågan. Detta föranleder den fjärde forskningsfrågan.

4 Hur väl presterar differentierade servicenivåer för dimensionering av säkerhetslager jämfört med metoder som bygger på odifferentierade bristkostnader respektive antal dagars medelefterfrågan.

3.2 Avgränsningar

Som framgår av forskningsfrågorna kan ett system för differentiering av servicenivåer utformas på en näst intill oändlig mängd sätt. Ett antal begränsningar och avgränsningar har därför måst göras i den här studien. Två av dessa begränsningar gäller val av dimensionerande servicenivå och val av servicenivå för uppföljning av erhållen leveransförmåga.

Av de båda ovan nämnda servicenivådefinitionerna för dimensionering av säkerhetslager, dvs. cykelservice och fyllnadsgradsservice, har fyllnadsgradsservice valts eftersom det i litteraturen i allmänhet betraktas som det mest korrekta alternativet, framför allt beroende på att cykelservice inte tar hänsyn till orderkvantiteter på inleveranser och därmed inte till antalet bristexponeringar per period (Axsäter, 2006, sid 33). Andel lagercykler utan brist säger heller inte någonting om längden på respektive bristtillfälle och inte något om hur stora kvantiteter det är som brister.

Med leveransförmåga menas allmänt i vilken utsträckning man kunnat tillfredsställa efterfrågan. Är det fråga om leverans från lager talar man ofta i stället om servicenivå. Begreppet representerar ett tillgänglighetsmått, dvs. ett mått på i vilken utsträckning en viss artikel är tillgänglig för att kunna direktlevereras när efterfrågan uppstår. Ett antal mått på erhållen servicenivå har bland andra beskrivits av Magee och Boodman (1967, sid 123), Pursche (1975), Landau (1979) samt Fogarhty, Blackstone och Hoffman (1991, sid 166). I den här studien behandlas endast måttet orderradsservice. Valet har gjorts med utgångspunkt från att orderradsservice är det klart vanligast använda måttet i industrin (Forslund och Jonsson, 2008). Det är också det mått som förordas i SCOR-modellen, Supply Chain Operating Reference model (APICS, 2014). Två nivåer på önskad total orderradsservice har använts, 97 procent och 93 procent. Den första representerar en förhållandevis hög servicenivå och den andra en förhållandevis låg.

Olika tillvägagångssätt kan tillämpas för att differentiera säkerhetslager. De karakteriseras framför allt av antal klassificeringsdimensioner, antal klasser per dimension, kriterier för klassificeringen, fördelning av artiklar mellan klasserna samt grad av differentiering av servicenivåer på respektive klass. Fyra en-dimensionella differenteringar och två två-dimensionella har inkluderats i den här studien. Det en-dimensionella tillvägagångssätten omfattar tre respektive fem artikelklasser, vardera med artikelklassificering base-

rad på kriterierna kundorderfrekvens och artikelpris. Även de två två-dimensionella sätten omfattar tre klasser respektive fem klasser i vardera dimensionen. Artikelklassificeringen är baserad på kundorderfrekvens/i den vertikala dimensionen och artikelpris i den horisontella i båda fallen.

Tre olika fördelningar av artiklar har analyserats för vart och ett av alternativen med tre och fem klasser vid en-dimensionell differentiering. För en av fördelningarna har varje klass fått lika många artiklar. Med den andra fördelningen har de olika klasserna fått 20 %, 30 % och 50 % av artiklarna för fallet med tre klasser och 5 %, 10 %, 15 %, 25 % och 45 % av artiklarna för fallet med fem klasser, i båda fallen från högsta till lägsta kriterium. Den tredje fördelning utgör motsatsen till den andra, dvs. klasserna har fått 50 %, 30 % och 20 % respektive 45 %, 25 %, 15 %, 10 % och 5 % av artiklarna. Samma fördelningsprinciper har tillämpats vid två-dimensionell differentiering, både för fallet med tre och fem klasser i respektive dimension. För fallet med lika fördelning har det inneburit, att alla kombinationer av kundorderfrekvens och artikelpris har lika många artiklar. Fördelningen 20-30-50 för kundorderfrekvens och 50-30-20 för artikelpris innebär att det nedre vänstra hörnet i differentieringsmatrisen har fått minst antal artiklar, dvs. hörnet med lägst kundorderfrekvens och högst artikelpris. Den motsatta fördelningen, dvs. den med 50-30-20 för kundorderfrekvens och 20-30-50 för artikelpris, innebär att det övre högra hörnet i differentieringsmatrisen har fått störst antal artiklar, dvs. hörnet med högst kundorderfrekvens och lägst artikelpris. Samma fördelningsprinciper har tillämpats för det två-dimensionella fallet med fem klasser i varje dimension.

För varje klass och kriterium av artiklar måste olika servicenivåer väljas. Denna differentiering har gjorts i form av procentenheter relativt den basservicenivå som ger önskad orderradsservice. I det en-dimensionella fallet har följande tre procenttillägg använts, + 2 ; 0 ; -6, +1,5 ; 0 ; -4 och +1 ; 0 ; -2 för kriteriet kundorderfrekvens och -6 ; 0 ; + 2, -4 ; 0 ; +1,5 och -2 ; 0 ; +1 för kriteriet artikelpris. Artiklar med högst kundorderfrekvens har följaktligen fått högst servicenivå och artiklar med högst priser lägst servicenivå i samtliga fall. Det som skiljer alternativen åt är att det första har störst spridning och det sista minst. Samma principer har tillämpats för fallet med fem klasser. Då har procenttilläggen satts till +2 ; +1 ; 0 ; -4 ; -6, +1,5 ; + 1 ; 0 ; -2 ; - 6 och +1 ; +0,5 ; 0 ; -1 ; -2 för kriteriet kundorderfrekvens och omvänt för artikelpriser.

Motsvarande principer har tillämpats för fördelning av servicenivåer vid två-dimensionell differentiering. Erhållna fördelningsmatriser visas nedan. De två längst till vänster avser fallet med tre klasser per dimension och de två till höger fallet med fem klasser per dimension.

-2 ; 0 ; + 2	-1 ; 0 ; +1	-2 ; -1 ; 0 ; +1 ; +2	-1 ; -0,5 ; 0 ; +0,5 ; +1
-4 ; -2 ; + 0	-2 ; 0 ; +0	-3 ; -1,5 ; 0 ; +0,5 ; +1	-2 ; -1,5 ; 0 ; +0 ; +0,5
-6 ; -4 ; -2	-3 ; -2 ; -1	-4 ; -2 ; -0,5 ; 0 ; 0	-2 ; -2 ; -1 ; -1 ; 0
		-5 ; -3 ; -2 ; -1,5 ; -1	-2,5 ; -2 ; -2 ; -1,5 ; -0,5
		-6 ; -5 ; -4 ; -3 ; -2	-3 ; -2,5 ; -2 ; -2 ; -1

Den vänstra matrisen för respektive fall representerar ett alternativ med förhållandevis stor spridning på dimensionerande servicenivåer och det högra ett alternativ med förhållandevis liten spridning.

Sammanlagt har 48 differentieringsalternativ analyserats på vart och ett av de ingående fallföretagen.

4 Metodval, fallföretag och simuleringsmodell

För att kunna besvara ovanstående forskningsfrågor måste samband mellan dimensionerande fyllnadsgradsservice och erhållen orderradsservice etableras, likaså mellan erhållen orderradsservice och kapitalbindning i säkerhetslager. Analytiska metoder för att åstadkomma sådana samband saknas emellertid och studien måste därför genomföras med hjälp av simulering. Simuleringarna har utförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic.

4.1 Fallföretag och datauppgifter

Som underlag för simuleringarna har verkliga datauppgifter från 240 slumpmässigt utvalda lagerförda artiklar i vardera sex olika företag använts.

- Ett tillverkande företag med lager av köpta och egentillverkade halvfabrikat (B)
- Tre tillverkande företag med lager av produkter för distribution (C, E, F)
- Två distribuerande företag med lager av produkter för distribution till lokala lager (D)
- Ett distribuerande företag med lager av reservdelar (A)

Uppgifter om ledtid, pris per styck, orderkvantitet samt antal kundorder per år har erhållits för var och en av dessa artiklar. Dessutom har uppgifter om efterfrågan per dag under ett år samlats in. I en del fall förekommer enstaka extrema efterfrågevärden under enstaka dagar, så kallade outliers. Det kan exempelvis bero på att man fått enstaka exceptionellt stora kundorder eller bero på att det funnits leveransproblem som resulterat i toppar i utleveranserna när lagret fyllts på. Det kan också förekomma när ett centrallager försörjer lokala lager och samtidigt är ett lokalt lager för den lokala slutkundsmarknaden. För att undvika att sådana extrema efterfrågevärden påverkar analyserna har insamlade efterfrågedata bearbetats. Detta har åstadkommit genom att identifiera förekommande extremvärden med hjälp av statistiska metoder och därefter ersätta dem med medelefterfrågan per dag under de dagar då efterfråga förekommit.

Ett års daglig efterfrågan är en för kort period för att kunna få stabilitet i det simulerade materialflödet och för att kunna utesluta en tillräckligt lång inkörningsperiod från beräkningar av erhållna resultat. För att få ett tillräckligt omfattande efterfrågeunderlag genererades därför slumpmässigt sex tusen dagars efterfrågan per artikel motsvarande tjugofem års verksamhet med hjälp av bootstrapping från de efterfrågedata som samlats in.

4.2 Karakteristik av datauppgifter från fallföretagen

När olika fallföretag studeras kan de resultat som erhålls skilja sig åt av ett flertal skäl. För att kunna förklara sådana skillnader vid analyser av erhållna resultat och dra slutsatser för samtliga studerade företag samt att även i möjligaste mån kunna generalisera slutsatserna, är det nödvändigt att karakterisera en del avgörande förhållanden för dimensionering av säkerhetslager i respektive företag. Att karakterisera förhållandena är

också nödvändigt för att kunna värdera de resultat som erhållits och för att få en referensram för jämförelser med resultat från fortsatt forskning inom området. Ett antal sådana väsentliga karakteristiska förhållanden har sammanställts i nedanstående avsnitt.

Strukturkaraktistik i de sex fallföretagen

Man kan förvänta sig att möjlig minskning av kapitalbindning i säkerhetslager med hjälp av differentiering påverkas av hur värdena på valt kriterium fördelar sig på de olika artiklarna. En strukturanalys har därför genomförts med avseende på de båda valda differentieringsvariablerna artikelpriser och kundorderfrekvenser för vart och ett av de sex fallföretagen. För respektive variabel har artiklarna delats in i fem klasser med tjugo procent i vardera. Klass 1 står för artiklar med flest antal kundorder per år respektive högsta artikelpriser och klass 5 för de som har lägst. Resultaten från dessa analyser redovisas i tabell 1 - 2. I tabellerna anges hur många procent som respektive klass svarar för av det totala antalet kundorder respektive hur stort artikelpriset i medeltal är i respektive klass.

För att få totalmått på de båda strukturerna i de olika företagen har två olika nyckeltal tagits fram. Det ena, klassförhållandet, avser grad av snedfördelning mellan de olika klasserna. Med avseende på kundorderfrekvenser representerar det antalet kundorder i artikelklassen med flest kundorder per år i förhållande till artikelklassen med minst antal kundorder per år och med avseende på artikelpriser artikelpriserna i medeltal i klassen med högst priser i förhållande till artikelpriserna i medeltal i klassen med lägst priser. Det andra nyckeltalet, kurvförhållande, har för kundorderfrekvenser beräknats som procentandelen för klass 3 artiklar dividerat med medelvärdet av procentandelen för klass 1 artiklar och procentandelen för klass 5-artiklar. Det motsvarar antalet kundorder för klass 3 artiklar i procent av medelvärdet av antalet kundorder för klass 1 artiklar och medelvärdet av antalet kundorder för klass 5 artiklar. Motsvarande nyckeltal för artikelpriser har beräknats som medelpriset för klass 3 artiklar dividerat med medelvärdet av skillnaden mellan medelpriset för klass 1-artiklar och medelpriset för klass 5 artiklar och uttryckt i procent. Ett kurvförhållande på 100 procent innebär att kundorderfrekvenser respektive artikelpriser ökar linjär från lägsta till högsta artikelklass. Ju lägre kursförhållandet är, desto mer exponentiellt ökar respektive variabel från lägsta till högsta artikelklass.

Tabell 1 Kundorderfrekvensstrukturer för de olika fallföretagen. Andel kundorder per rörlighetsklass

	A	B	C	D	E	F
A-artiklar	52,5	66,2	50,5	68,2	48,8	62,2
B-artiklar	27,8	17,2	25,5	17,0	25,7	22,3
C-artiklar	12,8	9,2	14,2	8,9	15,1	10,5
D-artiklar	5,6	5,0	7,2	4,5	7,3	4,0
E-artiklar	1,4	2,4	2,5	1,5	3,0	0,9
Klassförhållande	38	27	21	46	16	66
Kurvförhållande	49	28	56	26	62	34

Av tabell 1 framgår att artiklarna i företag A, D och F uppvisar högst förhållande mellan högfrekvensklasser och lågfrekvensklasser medan företag E visar på jämnast fördelning av orderfrekvenser mellan de olika klasserna. I företag B och D är fördelningen mellan

artiklars kundorderfrekvenser mest exponentiell medan den är mest linjär i företag C och E.

Tabell 2 Prisstrukturer för de olika fallföretagen. Medelpris per prisklass

	A	B	C	D	E	F
A-artiklar	4385	479	1405	3901	1440	1241
B-artiklar	1218	105	785	349	796	175
C-artiklar	403	44	421	90	537	10
D-artiklar	128	26	183	33	326	4
E-artiklar	24	13	48	9	123	2
Klassförhållande	182	37	29	414	12	567
Kurvförhållande	18	19	60	5	75	2

Motsvarande förhållanden med avseende på artikelpriser framgår av tabell 2. Störst prisskillnader mellan olika artikelklasser föreligger i företag D och F medan företag C och E har minst skillnader. Prisfördelningen mellan artikelklasserna är mest linjär i företag C och E och mest exponentiell i företag D och F.

Man kan förvänta sig att ett högt klassförhållande och ett lågt kurvförhållande, dvs. med stort inslag av exponentiell ökning från lägst till högsta klass, bidrar till att öka differentieringen av erhållna nivåer på orderradsservice och därmed till ett gynnsamt förhållande mellan orderradsservice och kapitalbindning i säkerhetslager. De förstärker med andra ord differentieringseffekterna.

Korrelation mellan olika differentieringsvariabler

Ett av syftena med den här studien är att jämföra den kapitalbindning som krävs för att uppnå låg respektive hög orderradsservice vid dimensionering med differentierade fyllnadsgradsnivåer och motsvarande vid dimensionering baserad på användning av ett artikelgemensamt antal dagar. Dagmetodens effektivitet är till stor del beroende av graden av korrelation mellan efterfrågan och kundorderfrekvens respektive mellan efterfrågan och artikelpris (Mattsson, 2013a). Graden av korrelation kan därför förväntas påverka hur differentierad fyllnadsgradsservice presterar jämfört med antal dagar för att dimensionera säkerhetslager. Högt positiv korrelation innebär att det finns ett starkt samband mellan hög efterfrågan och kundorderfrekvens respektive höga priser, eller annorlunda uttryckt att hög efterfrågan uppkommer när man får många kundorder och att efterfrågan är större för artiklar med höga priser än med låga. Korrelationen i dessa avseenden för artiklarna i de olika företagen redovisas i kolumn 1 och 2 i tabell 3.

Korrelation mellan efterfrågans storlek i styck och antalet kundorder visas i kolumn 1. Som framgår av tabellen är korrelationen positiv för samtliga företag men betydligt högre för företagen A, B, och F, speciellt jämfört med företag C och D. Motsvarande korrelationskoefficienter med avseende på efterfrågan och pris visas i kolumn 2. Som framgår av tabellen är korrelationen negativ för samtliga företag, dvs. artiklar med hög efterfrågan tenderar att ha lägre priser än artiklar med låg efterfrågan. Även i det här fallet uppvisar företagen A och F större korrelation än de övriga, speciellt jämfört med företag B, D och E.

Tabell 3 Karakterisering av fallföretagen med avseende på samband mellan olika differentieringsvariabler

Företag	Korrelation Efterfrågan / Orderfrekvens (1)	Korrelation Efterfrågan / Artikelpris (2)	Korrelation Artikelpris / Orderfrekvens (3)	Korrelation Volymvärde / Orderfrekvens (4)
A	0,76	-0,38	-0,44	0,28
B	0,69	-0,16	-0,12	0,49
C	0,26	-0,26	-0,15	0,35
D	0,38	-0,09	-0,10	0,23
E	0,54	-0,14	-0,02	0,53
F	0,84	-0,30	-0,30	0,34

Vid en-dimensionell differentiering påverkas utfallet av använd differentieringsvariabel även av andra differentieringspåverkande variabler, i den här studien hur differentiering baserat på kundorderfrekvens påverkas av hur artikelpriserna är fördelade och vice versa. Detta beror på, att om det finns ett samband mellan artiklarnas kundorderfrekvenser och artikelpriser, kommer de differentieringseffekter som skapas av den ena variabeln att motverkas av den andra eftersom hög orderfrekvens bidrar till ett effektivt förhållande mellan orderradsservice och kapitalbindning medan höga artikelpriser motverkar effektiviteten i ett sådant förhållande. Korrelationen mellan de båda variablerna i de sex fallföretagen visas i kolumn 3. En låg negativ korrelation innebär ett starkare samband mellan hög orderfrekvens och höga artikelpriser vilket innebär att högt valda servicenivåer på artiklar med högfrekvent ordergång också leder till högt valda servicenivåer på artiklar med höga priser vilket inte är önskvärt. Följaktligen kan man förvänta sig att möjliga differentieringseffekter är högre i företag A och F än i övriga företag.

Används två-dimensionell differentiering är det vanligt att välja kombinationerna kundorderfrekvens/pris eller kundorderfrekvens/volymvärde. Om det finns starka samband mellan de båda differentieringsvariablerna i respektive fall kommer en stor del av artiklarna att hamna i diagonalen i differentieringsmatriserna. Därmed kommer spridningen av servicenivåer att bli begränsad och differentieringens potential inte bli fullt utnyttjad. Korrelationen mellan de olika variablerna för de sex fallföretagen framgår av kolumn 3 och 4. De beräknade korrelationskoefficienterna visar att den negativa korrelationen mellan efterfrågan i styck och höga artikelpriser är klart lägre än den positiva korrelationen mellan efterfrågan i styck och kundorderfrekvensen för fem av de sex företagen. Man kan sålunda förvänta sig att differentiering med avseende på kundorderfrekvens/pris är effektivare än differentiering med avseende på kundorderfrekvens/volymvärde för att uppnå en önskad orderradsservice med låg kapitalbindning i säkerhetslager.

Grad av normalfördelning och indirekt differentiering

Huvudsyftet med den här studien är att analysera i vilken utsträckning man kan minska säkerhetslager genom att använda differentierad fyllnadsgradsservice jämfört med att inte differentiera. Minskade säkerhetslager beror inte enbart på hur differentieringen utförs utan även på hur och hur mycket orderradsservicen indirekt differentieras utan att servicenivån differentieras vid dimensioneringen av säkerhetslager. Att sådan differentiering uppkommer har påvisats av Mattsson (2011a).

De modeller som vanligtvis används för att dimensionera säkerhetslager utgår från att efterfrågan under ledtid är normalfördelad. Ju mer normalfördelad efterfrågan är, desto bättre fungerar beräkningsmodellerna och desto större likhet fås mellan dimensioneran-

de och erhållen servicenivå (Mattsson, 2013b). Detta leder i sin tur till mindre indirekt differentiering av erhållna servicenivåer och därmed ett mindre effektivt förhållande mellan erhållen orderradsservice och kapitalbindning.

Ett antal alternativa tillvägagångssätt kan användas för att testa i vilken utsträckning en verklig efterfrågefördelning motsvarar normalfördelningen. Det mest korrekta sättet är att göra ett så kallat χ^2 -test. Användning av χ^2 -test kräver emellertid förhållandevis avancerade beräkningar. Hax och Candeia (1984, sid 182) varnar för användning av metoden och betvivlar värdet av sådana tester i förhållande till den komplexitet de innebär och de beräkningsproblem de medför. Ett annat enklare men också mer approximativt sätt att testa om en efterfrågevariation är normalfördelad är att beräkna variationskoefficienten för efterfrågan under ledtid, dvs. förhållandet mellan standardavvikelsen och medelefterfrågan. Fagan (1984) har föreslagit att variationskoefficienten bör vara mindre än 0,6 för att efterfrågan skall kunna anses vara normalfördelad medan Silver et al. (1998, sid 273) anser att den skall vara mindre än 0,5 och Schönsleben (2000, sid 415) att den skall vara mindre än 0,4. Ytterligare en enkel regel för att avgöra när man kan anta att efterfrågan är normalfördelad har föreslagits av Archibald. (Se Silver och Peterson, 1985, sid 330). Han hävdar baserat på omfattande tester att normalfördelningen ger tillräcklig precision om medelefterfrågan under ledtid är större än 10 enheter.

Både test av variationskoefficientens storlek och Archibalds regel har använts i den här studien. Som riktmärke för variationskoefficienten har Fagans kriterium använts. Andel artiklar i respektive fallföretag som uppfyller kravet på att efterfrågan är normalfördelad enligt de båda föreslagna kriterierna visas i tabell 4. Dessutom redovisas i kolumn 3 andel artiklar som är långt ifrån att uppfylla kravet på variationskoefficientens storlek mätt som andel artiklar med variationskoefficienter större än 2.

Tabell 4 Andel artiklar som uppfyller kraven på normalfördelning respektive andel som inte alls uppfyller kraven

Företag	Andel artiklar med variationskoefficient < 0,6 (1)	Andel artiklar med efterfrågan under ledtid ≥ 10 (2)	Andel artiklar med variationskoefficient > 2 (3)
A	46	64	24
B	37	48	45
C	29	17	53
D	61	65	25
E	38	31	36
F	68	76	24

Som framgår av tabellen är andelen artiklar som uppfyller de båda kriterierna för att efterfrågan skall kunna betraktas som normalfördelad störst i företagen A, D och F och klart minst i företag C. Företag B och C har flest artiklar som har en efterfrågan som klart avviker från att vara normalfördelad och företag A och F minst antal. Baserat på dessa resultat och med avseende på graden av normalfördelning kan man förvänta sig att det i företag A, D och F finns störst förutsättningar att åstadkomma låg kapitalbindning i säkerhetslager.

Det är inte bara graden av normalfördelad efterfrågan som är avgörande för hur effektiv den indirekta differentieringen är när den dimensionerande variabeln inte differentieras. Effektiviteten beror också på hur orderradsservicen differentieras. För att studera detta har graden av korrelation dels mellan erhållen orderradsservice och kundorderfrekvens

och dels mellan erhållen orderradsservice och artikelpris för fallet ingen differentiering av dimensionerande fyllnadsgradsservice analyserats. Beräknade korrelationskoefficienter redovisas i tabell 5.

Tabell 5 Korrelation mellan erhållen orderradsservice och pris respektive kundorderfrekvens vid användning av odifferentierad fyllnadsgradsservice för dimensionering av säkerhetslager

Företag	A	B	C	D	E	F	Medel
Pris	-0,18	-0,07	+0,08	-0,07	-0,07	-0,23	-0,09
Orderfrekvens	+0,46	+0,39	+0,53	+0,29	+0,26	+0,40	+0,39

Som framgår av tabellen är korrelationen mellan kundorderfrekvens och orderradsservice genomgående positiv, dvs. användning av fyllnadsgradsservice utan differentiering för att dimensionera säkerhetslager leder i större eller mindre utsträckning till att artiklar med hög kundorderfrekvens får högre orderradsservice i samtliga företag än artiklar med låg kundorderfrekvens. Företag A och C uppvisar störst korrelation och har därmed i detta avseende störst potential för att med indirekt differentiering stödja orderfrekvensbaserad differentiering av fyllnadsgradsservice. Med avseende på pris och orderradsservice är korrelationen negativ för samtliga företag utom för företag C vilket innebär att för fem av företagen får artiklar med höga priser lägre orderradsservice än lågprisartiklar. Differentieringsnivån är emellertid klart lägre än motsvarande med avseende på kundorderfrekvens. Att den negativa korrelationen mellan pris och orderradsservice blir låg vid användning av fyllnadsgradsservice har förklarats av Mattsson (2013a). Om man väger samman resultaten med avseende på både kundorderfrekvens och artikelpris kan man konstatera förutsättningarna för effektiv indirekt differentiering som komplement till två-dimensionell differentiering är störst i företag A och F.

4.3 Simuleringsmodell

Den simuleringsmodell som använts i studien bygger på ett beställningspunktssystem av (s,S)-typ, dvs. med varierande orderkvantitet. Återfyllnadsnivån har beräknats som ekonomisk orderkvantitet plus beställningspunktskvantiteten. Ordersärkostnaden har satts till 200 kr och lagerhållningsfaktorn till 20 %. Beställningspunktssystemet har tillämpats som ett periodinspektionssystem med daglig inspektion och därmed har överdraget satts till en halv dags medelefterfrågan (Mattsson, 2005). Negativa säkerhetslager har inte tillåtits. Standardavvikelser för efterfrågevariationer har beräknats med hjälp av MAD per månad under det första av de simulerade tjugofem åren och därefter leddisjusterats.

Som startvärden för fyllnadsgrad vid beräkning av säkerhetslager valdes ett lägre värde än vad som kunde förväntas ge en önskad medelorderradsservice på 93 respektive 97 procent för artikelgruppen som helhet. Baserat på dessa startvärden simulerades uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo under sex tusen dagar. Uppkomna brister restnoterades för senare leverans. Efter varje genomförd simuleringskörning beräknades den erhållna totala orderradsservicen för hela artikelgruppen som det viktade medelvärdet av de ingående artiklarnas enskilda orderradsservice. Viktningen gjordes med hjälp av antalet kundorder per år. Fyllnadsgraderna ökades därefter successivt vid varje följande simulering tills den målsatta nivån för orderradsservice uppnåts. Ett överskridande på mindre än 0,05 procentenheter accepterades. Vid användning av diffe-

rentierade servicenivåer ökades samtliga servicenivåer med lika stora steg tills målsatt orderradsservice för hela artikelgruppen erhållits. Motsvarande procedur genomfördes vid användning av antal dagars medelefterfrågan och bristkostnad för att dimensionera säkerhetslager.

När överensstämmelse mellan erhållen och önskad servicenivå uppnåtts beräknades summa kapitalbindning i säkerhetslager för samtliga artiklar i medeltal över den simulerade perioden. Erhållet säkerhetslager definierades som medelvärdet av de kvantiteter som fanns i lager vid inleveranstillfällena under den simulerade perioden gånger pris per styck (Tersine, 1994, sid 208).

4 Resultat och analys

Resultaten från de genomförda simuleringarna redovisas för vart och ett av de studerade fallföretagen och med avseende på respektive forskningsfråga nedan. I första hand avser redovisningen procentuella förändringar av kapitalbindningen i säkerhetslager genom att differentiera dimensionerande fyllnadsgradersservice. Medelvärden av förändringarna för de olika företagen och sättet att differentiera har också inkluderats men bör tolkas med försiktighet eftersom antalet företag är få.

Sambanden mellan kapitalbindning och erhållen servicenivå är mycket komplexa. Lika så de olika förhållanden som påverkar sambanden. Ett stort antal påverkande faktorer är inblandade och faktorerna är dessutom ömsesidigt beroende av varandra. Det är därför svårt att analysera och förklara de resultat som erhållits i den här studien. Nedanstående analys är ett första försök att bidra till bättre förståelse för hur och vad det är som gör att man kan få effektivare förhållanden mellan kapitalbindning och erhållen servicenivå med hjälp av differentiering. De förklaringar som redovisas är begränsade till sådana resultat som tydligt avviker från medelvärden och som inte kan uppfattas som typiska i sammanhanget.

5.1 Differentieringsmetodens och servicenivåns betydelse

Den första forskningsfrågan avser hur mycket kapitalbindningen i säkerhetslager kan förväntas reduceras genom differentiering av fyllnadsgradsservice. Sex principiellt olika sätt att differentiera har jämförts med att inte differentiera och resultaten redovisas i form av minskad kapitalbindning i procent. Redovisningen omfattar både en- och tvådimensionell differentiering för fallet att samtliga klasser omfattar lika många artiklar och att graden av differentiering av servicenivåer är medelstor enligt avsnitt 3.2 ovan. För låg erhållen orderradsservice, dvs. motsvarande 93 procent i den här studien, framgår resultaten av tabell 6 och för hög erhållen orderradsservice motsvarande 97 procent av tabell 7.

Av tabell 6 framgår att skillnaderna mellan de resultat som uppnåddes med hjälp av differentiering är tämligen stora mellan olika företag. Med avseende på kriteriet orderfrekvens är minskningen av kapitalbindningen störst i företag F och betydligt större än i företag B och D. Att den är störst i företag F kan delvis förklaras av att klassförhållandet enligt tabell 1 är högre i detta företag än i de övriga och att det i företaget är en gynnsam korrelation mellan orderradsservice och orderfrekvens respektive artikelpriser enligt tabell 5. Korrelationen är mindre gynnsam för artikel B och D. Att den negativa korrela-

tionen mellan artikelpris och kundorderfrekvens enligt tabell 3 är större än för övriga är också en förklaring till att minskningen av kapitalbindning är större för företag F.

Tabell 6 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika sätt att differentiera fyllnadsgrader vid dimensionering av säkerhetslager. Lika många artiklar i varje artikelklass. Erhållen orderradsservice 93 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	1 dim - 3 kl Orderfrekvens +1,5:0:-4	1 dim - 5 kl Orderfrekvens +1,5:+1:0:-2:-4	1 dim - 3 kl Artikelpriser -4:0:+1,5	1 dim - 5 kl Artikelpriser -4:-2:0:+1:+1,5	2 dimensioner 3 klasser Liten diff.	2 dimensioner 5 klasser Liten diff.
A	-10,0	-9,7	-14,1	-13,9	-10,2	-10,2
B	-6,7	-6,8	-16,0	-15,2	-8,9	-9,9
C	-10,1	-8,4	-11,8	-13,7	-11,7	-11,8
D	-4,8	-4,0	-10,5	-9,9	-6,7	-7,2
E	-11,7	-11,6	-3,9	-2,8	-7,8	-7,1
F	-16,9	-17,0	-18,0	-18,1	-15,0	-14,3
Medel	-10,0	-9,6	-12,4	-12,3	-10,0	-10,1

Med undantag för företag E blev reduktionen av kapitalbindning större vid differentiering baserat på kriteriet pris än på kundorderfrekvens. En förklaring kan vara att företag E enligt tabell 2 är det företag som har lägst klassförhållande och högst kurvförhållande vilket minskar differentieringseffekten. Företag E har också de minst gynnsamma korrelationsförhållandena enligt tabell 5 och minst negativ korrelation mellan artikelpris och kundorderfrekvens enligt tabell 3. Att minskningen i kapitalbindning är störst i företag F kan hänga samman med att klassförhållandet är högst och kurvförhållandet lägst av alla de studerade fallföretagen. Företag F har också den näst högsta negativa korrelationen mellan artikelpriser och kundorderfrekvenser av alla företag enligt tabell 3.

Skillnaderna mellan att använda tre eller fem klasser är så små att de för praktiskt bruk är förhållandevis ointressanta. Det gäller både en- och två-dimensionell differentiering. Inga intressanta skillnader förekommer heller mellan en- och två-dimensionell differentiering med undantag för att skillnaderna mellan företagen är mindre vid två-dimensionell differentiering.

Av de 48 differentieringsalternativ med låg orderradsservice som testades i sex olika företag, dvs. i sammanlagt 288 fall, gav ett av dem en högre kapitalbindning än vid användning av odifferentierad fyllnadsgradsservice.

Tabell 7 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika sätt att differentiera fyllnadsgrader vid dimensionering av säkerhetslager. Lika många artiklar i varje artikelklass. Erhållen orderradsservice 97 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	1 dim - 3 kl Orderfrekvens +1,5:0:-4	1 dim - 5 kl Orderfrekvens +1,5:+1:0:-2:-4	1 dim - 3 kl Artikelpriser -4:0:+1,5	1 dim - 5 kl Artikelpriser -4:-2:0:+1:+1,5	2 dimensioner 3 klasser Liten diff.	2 dimensioner 5 klasser Liten diff.
A	-12,8	-13,2	-18,5	-18,7	-18,5	-18,1
B	-1,6	-3,2	-11,8	-15,7	-12,0	-12,0
C	3,4	1,7	13,6	3,6	-9,6	-9,0
D	-3,2	-4,5	-5,8	-9,4	-8,3	-8,1
E	-9,9	-10,1	12,0	12,8	-7,7	-7,4
F	-25,2	-23,5	-26,6	-25,6	-22,6	-22,7
Medel	-8,2	-9,1	-6,2	-8,8	-13,1	-12,9

Vid differentiering med hög erhållen orderradsservice är skillnaderna mellan de olika företagen klart större än för fallet med låg orderradsservice. I företag F erhöles en avsevärd reduktion av kapitalbindningens storlek vid differentiering med kundorderfrekvens medan kapitalbindningen till och med ökar i företag C och minskar mycket måttligt i företag B och D. Förklaringen till den stora minskningen för företag F är densamma som för fallet med låg erhållen orderradsservice. Att kapitalbindningen ökar för företag C kan förklaras med att företaget har det lägsta klassförhållandet och näst högsta kurvförhållandet enligt tabell 1. Företag B och D har de minst gynnsamma korrelationerna mellan orderradsservice och orderfrekvens respektive artikelpriser. Vid prisdifferentiering får företag F också störst kapitalbindningsreduktion medan kapitalbindningen ökar i både företag C och E. De två företagen har både de minst gynnsamma klassförhållandena och kurvförhållandena enligt tabell 2. Det kan också noteras att för vissa företag blir effekterna av differentiering mindre vid hög erhållen orderradsservice än vid låg medan förhållandena är de motsatta för andra företag.

Att kapitalbindningen minskar obetydligt för några företag och för ett par andra till och med ökar vid hög erhållen orderradsservice kan också förklaras av att den dimensionerande fyllnadsgraden för de högsta klasserna måste vara mycket hög för att en hög önskad medelorderradsservice skall kunna uppnås. Detta leder till mycket höga nivåer på orderradsservicen för åtskilliga artiklar. Skillnaderna i detta avseende mellan fallet med låg och hög medelorderradsservice framgår av tabell 1 och 2 i bilagan. Vid låg medelorderradsservice får endast några enstaka procent av artiklarna en orderradsservice på över 99 procent medan andelen artiklar med en orderradsservice på över 99 procent är väsentligen högre för fallet med hög erhållen medelorderradsservice. Speciellt höga är andelarna för företag C vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens och företag C och E vid differentiering med avseende på artikelpriser, dvs. just de artiklar som medför att kapitalbindningen ökar vid differentiering av fyllnadsgrad. Detta förhållande kan förklaras av att kurvförhållandet enligt tabell 1 är mycket högt i just de här fallen och att ett mer linjärt förhållande mellan lägsta och högsta värde medför att fler artiklar får hög orderradsservice. Eftersom kapitalbindningen ökar exponentiellt med ökande fyllnadsgradsservice leder detta i sin tur till ett ogynnsamt förhållande mellan kapitalbindning och servicenivå (Stokkedal, 2007).

Av de 18 differentieringsalternativ med hög erhållen orderradsservice som testats i sex olika företag, dvs. sammanlagt 108 fall, med avseende på vardera kundorderfrekvens och artikelpris gav differentierad fyllnadsgradsservice högre kapitalbindning än odifferentierad i 23 respektive 18 procent av fallen. För motsvarande 72 fall med två-dimensionell differentiering gav endast ett fall, dvs. mindre än 1 procent, högre kapitalbindning.

Även för hög erhållen orderradsservice är skillnaderna mellan att använda tre eller fem klasser i de olika företagen så små att de för praktiskt bruk är förhållandevis ointressanta. Det gäller både en- och två-dimensionell differentiering.

I medeltal för de sex studerade fallföretagen är differentiering baserad på artikelpris effektivare än differentiering baserad på kundorderfrekvens vid låg erhållen orderradsservice medan det motsatta förhållandet föreligger vid hög erhållen orderradsservice. Små medelskillnader föreligger också mellan en- och två-dimensionell differentiering vid låg erhållen orderradsservice medan två-dimensionell differentiering ger klart mindre kapitalbindning än en-dimensionell vid hög erhållen orderradsservice.

5.2 Artikelfördelningens betydelse

Vid differentiering av fyllnadsgradsservice för dimensionering av säkerhetslager kan antalet artiklar i olika klasser fördelas på olika sätt. Hur mycket kapitalbindningen påverkas av hur artiklarna fördelas i procent i respektive klass för några olika differentieringsfall i de sex företagen jämfört med ingen differentiering framgår av tabell 8 - 10. Resultaten gäller för fallet med låg erhållen orderradsservice. Tabell 8 avser en-dimensionell differentiering med avseende på kundorderfrekvens och tabell 9 med avseende på artikelpris. Vid differentiering med avseende på kundorderfrekvens har servicenivåerna satts till 98,5-97,0-93,0 procent för respektive klass vid användning av tre klasser och till 98,5-98,0-97,0-95,0-93,0 procent vid användning av fem klasser, dvs. som en medelhög differentieringsgrad. Motsvarande servicenivåer vid differentiering med avseende på artikelpris har satts till 93,0-97,0-98,5 procent för respektive klass vid användning av tre klasser och till 93,0-95,0-97,0-98,0-98,5 procent vid användning av fem klasser. Resultaten vid två-dimensionell differentiering framgår av tabell 10. Samma servicenivåer som vid en-dimensionell differentiering har använts även i detta fall.

Tabell 8 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på kundorderfrekvens. Erhållen orderradsservice 93 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33	20-30-50	50-30-20	20-20-20-20-20	5-10-15-25-45	45-25-15-10-5
A	-10,0	-12,2	-7,2	-9,7	-11,2	-4,6
B	-6,7	-10,1	-4,4	-6,8	-10,8	-3,3
C	-10,1	-14,1	-3,7	-8,4	-15,7	-2,1
D	-4,8	-5,6	-3,3	-4,0	-7,6	-2,3
E	-11,7	-11,8	-10,6	-11,6	-10,5	-7,1
F	-16,9	-21,0	-12,6	-17,0	-20,1	-9,0
Medel	-10,0	-12,5	-7,0	-9,6	-12,7	-4,7

Av de tre tabellerna framgår att skillnaderna i den minskning av kapitalbindning som uppnås med hjälp av differentiering vid olika sätt att fördela artiklar mellan klasser inte är särskilt påtagliga. Differentiering baserat på kundorderfrekvens utgör ett visst undantag. Där ger fallet med flest artiklar i klassen med högst frekvens lägst kapitalbindning medan fallet med flest artiklar i klassen med lägst frekvens ger högst kapitalbindning. Förhållandena gäller både vid användning av tre och fem klasser.

Tabell 9 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på priser. Erhållen orderradsservice 93 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33	20-30-50	50-30-20	20-20-20-20-20	5-10-15-25-45	45-25-15-10-5
A	-14,1	-12,7	-14,5	-13,9	-8,6	-14,1
B	-16,0	-12,8	-14,9	-15,2	-13,9	-12,7
C	-11,8	-12,3	-9,6	-13,7	-8,7	-6,4
D	-10,5	-9,2	-9,6	-9,9	-8,0	-8,1
E	-3,9	-2,2	-5,5	-2,8	-1,4	-6,3
F	-18,0	-17,7	-17,1	-18,1	-13,4	-15,6
Medel	-12,4	-11,1	-11,9	-12,3	-9,0	-10,5

Motsvarande resultat för fallet med hög orderradsservice visas i tabell 3 - 5 i bilagan. Jämfört med resultaten för låg orderradsservice är skillnaderna mellan de olika artikel-fördelningarna ännu mindre. Samma typ av slutsatser som ovan kan dras även för fallet med hög erhållen medelorderradsservice med undantag för att det är fördelning med minst antal artiklar på den högsta klassen som är fördelaktigast när det är fråga om differentiering baserat på artikelpriser i stället för på kundorderfrekvenser.

Tabell 10 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid två-dimensionell differentiering. Erhållen orderradsservice 93 %. Stor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33	20-30-50	50-30-20	20-20-20-20-20	5-10-15-25-45	45-25-15-10-5
	33-33-33	50-30-20	20-30-50	20-20-20-20-20	45-25-15-10-5	5-10-15-25-45
A	-17,9	-18,1	-15,5	-16,9	-17,2	-11,8
B	-15,0	-19,0	-13,3	-16,1	-15,5	-11,3
C	-18,6	-19,3	-16,2	-17,1	-18,1	-11,1
D	-10,1	-11,6	-8,4	-11,0	-9,7	-7,9
E	-13,8	-12,4	-10,8	-11,7	-11,7	-8,8
F	-23,0	-22,9	-22,5	-25,2	-21,6	-14,7
Medel	-16,4	-17,2	-14,4	-15,7	-15,6	-10,9

5.3 Servicenivådifferentieringens betydelse

Den tredje forskningsfrågan gäller vilken betydelse differentiering av fyllnadsgradsservice på olika klasser kan förväntas ha med avseende på säkerhetslagrets storlek. Resultaten i form av procentuellt minskad kapitalbindning i förhållande till ingen differentiering för fallet med låg erhållen medelorderradsservice framgår av tabell 11 - 13. Tabell 11 avser en-dimensionell differentiering med avseende på kundorderfrekvens och tabell 12 med avseende på artikelpris. Resultaten vid två-dimensionell differentiering framgår av tabell 13. I samtliga fall har artiklarna fördelats lika på använda differentieringsklasser.

Tabell 11 Procentuellt minskad kapitalbindning vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på kundorderfrekvens och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 93 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Servicenivådifferentiering mellan klasser			Servicenivådifferentiering mellan klasser		
	95-93-87	94,5-93-89	94-93-91	95-94-93-89-87	94,5-94-93-91-89	94-94,5-93-92-91
A	-13,9	-10,0	-6,3	-13,8	-9,7	-6,1
B	-7,5	-6,7	-5,0	-9,6	-6,8	-5,2
C	-13,1	-10,1	-6,8	-12,9	-8,4	-5,4
D	-5,1	-4,8	-2,0	-5,8	-4,0	-3,5
E	-15,2	-11,7	-7,2	-15,1	-11,6	-7,0
F	-21,5	-16,9	-12,5	-21,8	-17,0	-12,0
Medel	-12,7	-10,0	-6,6	-13,2	-9,6	-6,5

Av de tre tabellerna framgår att kapitalbindningen i säkerhetslager reduceras mer ju större skillnaderna är mellan fyllnadsgrader i de olika differentieringsklasserna. Detta gäller oavsett differentieringskriterium, antal klasser och om det är fråga om en- eller tvådimensionell differentiering. Skillnaderna är så stora att de även är av intresse vid praktisk tillämpning.

Tabell 12 Procentuellt minskad kapitalbindning vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på pris och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 93 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Servicenivådifferiering mellan klasser			Servicenivådifferiering mellan klasser		
	95-93-87	94,5-93-89	94-93-91	95-94-93-89-87	94,5-94-93-91-89	94-94,5-93-92-91
A	-19,0	-14,1	-9,5	-19,0	-13,9	-8,9
B	-20,9	-16,0	-10,6	-20,7	-15,2	-9,2
C	-13,0	-11,8	-9,0	-13,5	-13,7	-8,8
D	-12,3	-10,5	-6,7	-12,9	-9,9	-6,4
E	-3,3	-3,9	-2,7	-1,1	-2,8	-1,8
F	-23,0	-18,0	-11,9	-23,0	-18,1	-11,9
Medel	-15,3	-12,4	-8,4	-15,0	-12,3	-7,9

Motsvarande resultat för fallet med hög erhållen medelorderradsservice visas i tabell 6 - 8 i bilagan. Resultaten i detta fall är likartade med fallet med låg medelorderradsservice men skillnaderna mellan de olika graderna av differentiering är mindre och inte helt konsekventa för alla företag. En förklaring till detta är, att ju större differentieringen är samtidigt som önskad orderradsservice är hög, desto fler artiklar kommer att hamna på mycket höga servicenivåer och på grund av den exponentiella ökningen av säkerhetslagret vid höga servicenivåer få mindre gynnsamma förhållanden mellan kapitalbindning och leveransförmåga.

Tabell 13 Procentuellt minskad kapitalbindning vid två-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 93 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser		5 klasser	
	Liten differentiering	Stor differentiering	Liten differentiering	Stor differentiering
A	-17,9	-10,2	-16,9	-10,2
B	-15,0	-8,9	-16,1	-9,9
C	-18,6	-11,7	-17,1	-11,8
D	-10,1	-6,7	-11,0	-7,2
E	-13,8	-7,8	-11,7	-7,1
F	-23,0	-15,0	-21,2	-14,3
Medel	-16,4	-10,0	-15,7	-10,1

5.4 Jämförelser med antal dagar och bristkostnad

Det har i tidigare studier påvisats att användning av antal dagars medelefterfrågan respektive bristkostnad för dimensionering av säkerhetslager medför mindre kapitalbindning än när man använder fyllnadsgradsservice, i alla tre fallen utan differentiering (Mattsson, 2010 och Mattsson 2016). Forskningsfråga 4 behandlar motsvarande frågeställning men med olika sätt att differentiera fyllnadsgradsservice. Resultaten från jämförelserna mellan användning av fyllnadsgradsservice med bästa differentieringsalternativ och bristkostnader respektive med antal dagars medelefterfrågan redovisas i tabellerna 14 och 15. I båda fallen avses hur mycket procentuellt större kapitalbindningen i säkerhetslager blir om man använder differentierade fyllnadsgrader i stället för de båda andra metoderna utan differentiering vid en låg erhållen orderradsservice.

Tabell 14 Procentuella skillnader i kapitalbindning vid användning av differentierade fyllnadsgrader med bästa differentieringsalternativ jämfört med att använda odifferentierade bristkostnader. Erhållen orderradsservice 93 procent

Företag	En-dimensionell differentiering Kundorderfrevens	En-dimensionell differentiering Pris	Två-dimensionell differentiering 3 klasser	Två-dimensionell differentiering 5 klasser
A	56,0	50,2	52,0	53,7
B	50,7	35,7	41,5	46,6
C	36,7	46,4	37,8	39,9
D	52,5	49,0	51,1	52,2
E	49,8	65,7	52,9	56,5
F	52,7	58,9	60,8	63,7
Medel	49,7	51,0	49,4	52,1

Som framgår av tabell 14 medför även det mest effektiva differentieringsalternativet en avsevärt högre kapitalbindning än bristkostnader vid låg erhållen orderradsservice. I medeltal är skillnaderna storleksordningen 50 procent. Motsvarande förhållanden gäller vid hög erhållen orderradsservice, även om skillnaderna är något mindre, storleksordningen 30 procent. Se tabell 9 i bilagan.

Tabell 15 Procentuella skillnader i kapitalbindning vid användning av differentierade fyllnadsgrader med bästa differentieringsalternativ jämfört med att använda odifferentierat antal dagars medelefterfrågan

Företag	En-dimensionell differentiering Kundorderfrevens	En-dimensionell differentiering Pris	Två-dimensionell differentiering 3 klasser	Två-dimensionell differentiering 5 klasser
A	22,8	18,2	19,6	21,0
B	33,0	19,8	24,9	29,4
C	24,0	32,9	25,1	27,0
D	14,0	11,4	13,0	13,7
E	31,2	45,1	34,0	37,1
F	46,0	52,0	53,8	56,5
Medel	28,5	29,9	28,4	30,8

Jämförelsen mellan att använda det bästa alternativet för att differentiera fyllnadsgrader och att använda antal dagars medelefterfrågan visas för fallet med låg erhållen orderradsservice i tabell 15. Även i det här fallet blir kapitalbindningen väsentligen högre vid användning av differentierade fyllnadsgrader även om skillnaderna är något mindre jämfört med fallet bristkostnader, storleksordningen 30 procent i stället för 50 procent. Att skillnaderna är störst för företag F kan förklaras med att korrelationen mellan efterfrågan och kundorderfrekvens är störst för det företaget enligt tabell 3. Vid dimensionering av säkerhetslager med antal dagars medelefterfrågan blir den indirekta differentieringen av erhållna servicenivåer större ju högre korrelationen är vilket gynnar metodens prestanda i form av lägre kapitalbindning (Mattson, 2013b).

För fallet med hög erhållen orderradsservice ger inte användning av antal dagars medelefterfrågan alltid lägre kapitalbindning än bästa differentieringsalternativ med fyllnadsgradsservice. Detta framgår av tabell 10 i bilagan. Det är framför allt i företag A och B som det bästa fyllnadsgradsalternativt är någon procentenhet bättre än dagalternativet. I medeltal för de sex företagen ger emellertid dagalternativet ett bättre resultat. Av de

fyrtioåtta differentieringsalternativ som testats i sex olika företag, dvs. sammanlagt 288 fall, gav differentierad fyllnadsgradsservice endast lägre kapitalbindning i 38 fall, motsvarande 13 procent. Endast i 21 fall, motsvarande 7 procent, var kapitalbindningen mer än två procent lägre.

6 Resultatsammanfattning

Att differentiera fyllnadsgradsservice vid dimensionering av säkerhetslager är ett sätt att åstadkomma ett gynnsammare förhållande mellan leveransförmåga i form av erhållen orderradsservice och kapitalbindning. I den här rapporten redovisas en studie om hur kapitalbindningen påverkas vid differentiering och om vad det är för faktorer i sättet att differentiera som har betydelse för hur stor denna påverkan blir. De faktorer som studerats är val mellan kundorderfrekvens och artikelpris som kriterium för differentiering, en- eller två-dimensionell differentiering, antal klasser per dimension, fördelningen av artiklar på olika klasser samt graden av differentiering. Studien har genomförts med hjälp av simulering baserad på data från sex olika fallföretag. De resultat som erhållits kan sammanfattas enligt följande.

Genom differentiering av fyllnadsgradsservice reduceras kapitalbindningen i säkerhetslager i genomsnitt med storleksordningen tio procent i de studerade företagen vid lika fördelning av artiklar mellan olika klasser och vid medelhög differentieringsgrad. Reduktionen är något högre vid låg erhållen orderradsservice och något lägre vid hög. Beroende på olikheter i efterfrågestruktur och prisstruktur samt på grad av korrelation mellan kundorderfrekvenser och artikelpriser förekommer det emellertid stora skillnader mellan företagen. Vid hög orderradsservice blir kapitalbindningen till och med högre för ett antal kombinationer av differentieringsalternativ och företag.

Skillnaderna i resultatpåverkan i det enskilda företaget mellan att använda kundorderfrekvens eller artikelpriser som kriterier för differentiering är små. I medeltal för de sex företagen medför emellertid artikelpris en något lägre kapitalbindning vid låg orderradsservice och kundorderfrekvens en något lägre kapitalbindning vid hög. Antalet klasser för differentiering har liten betydelse. Valet mellan en- och två-dimensionell differentiering har också liten betydelse vid låg orderradsservice. Vid hög orderradsservice medför emellertid två-dimensionell differentiering klart lägre kapitalbindning och i motsats till en-dimensionell uppkommer inget fall med ökad kapitalbindning på grund av differentiering bland de testade differentieringsalternativen.

Fördelningen av artiklar på olika klasser har en mycket begränsad betydelse för hur mycket kapitalbindningen reduceras med hjälp av differentiering. Graden av differentiering av fyllnadsgrader påverkar däremot hur mycket kapitalbindningen reduceras. Ju större skillnaden är mellan högst och lägst vald fyllnadsgradsnivå, desto mer reduceras kapitalbindningen.

Även jämfört med det mest effektiva differentieringsalternativet blir kapitalbindningen i säkerhetslager betydligt lägre om man i stället använder bristkostnader för att dimensionera säkerhetslager. Säkerhetslagret blir också lägre om man i stället för differentierad fyllnadsgradsservice använder antal dagars medelefterfrågan. Skillnaderna blir något mindre vid hög orderradsservice men är fortfarande mycket påtagliga.

7 Generella slutsatser

I den här studien har ett stort antal differentieringsalternativ analyserats. Baserat på de resultat som erhållits har nedanstående allmänna slutsatser dragits gällande hur kapitalbindning i säkerhetslager påverkas genom differentiering och hur differentieringsalternativ bör utformas för att bli så effektiva som möjligt. Slutsatserna gäller i första hand med avseende på de förhållanden som gäller i de sex studerade fallförtagen.

Differentiering av fyllnadsgradsservice leder till lägre kapitalbindning jämfört med att inte differentiera. Hur mycket lägre kapitalbindningen blir beror i stor utsträckning på den orderfrekvensstruktur och prisstruktur som finns i företaget. Den beror också på önskad orderradsservice. Ju högre orderradsservice, desto mindre reduceras kapitalbindningen. Vid hög önskad orderradsservice kan differentiering till och med leda till ökad kapitalbindning. På grund av den komplexitet som råder mellan olika påverkande faktorer är det svårt att någorlunda säkert förutse vilken och hur stor resultatpåverkan man kan förvänta sig i ett specifikt företag.

Kapitalbindningen påverkas mycket lite av om en- eller två-dimensionell differentiering används vid låg orderradsservice medan två-dimensionell differentiering är effektivare vid hög orderradsservice. Antalet klasser och hur artiklar fördelas mellan klasserna har i huvudsak liten betydelse för hur mycket kapitalbindningen i säkerhetslager kan reduceras. Med tanke på detta och på svårigheterna att i en specifik situation bedöma vilken artikelfördelning som kan förväntas ge bäst resultat är det mycket som talar för att använda det enklaste alternativet, att fördela artiklarna jämt mellan de klasser man avser använda. Däremot har skillnader i hur mycket fyllnadsgraderna differentieras mellan de olika klasserna betydelse. Ju större skillnader mellan högsta och lägsta fyllnadsgradsservice, desto lägre kapitalbindning.

Användning av bristkostnader för dimensionering av säkerhetslager leder till väsentligen lägre kapitalbindning än användning av differentierad fyllnadsgradsservice och användning av antal dagars medelefterfrågan leder nästan alltid till påtagligt lägre kapitalbindning.

Referenser

APICS Supply Chain Council (2014) *The SCOR framework*, www.apics.org.

Axsäter, S. (2006) *Inventory control*, Springer Verlag.

Broeckelmann, R. (1999) *Inventory classification innovation*, St. Lucie Press.

Cohen, M., Zheng, Y. och Wang, Y. (1999) Identifying opportunities for improving Teradyne's service-parts logistics system, *Interfaces*, Vol. 29 No. 4.

Coleman, J. (2000) Determining the correct service level target, *Production and Inventory management*, Vol. 41 Nr. 1.

Flores, B. och Whybark, C. (1986) Multiple criteria ABC analysis, *International Journal of Production and Operations Management*, Vol. 6 No. 3.

- Fogarhty, D. och Hoffman, T. (1983) Production and inventory management, South-Western Publishing.
- Forslund, H. och Jonsson, P. (2008) How to measure on-time delivery performance: State-of-the-art description and perceived performance, Linnéuniversitetet.
- Gudum, C. (2005) Metoder till ABC-kategorisering, DILF orientering, April, 2005.
- Hax, A. och Candea, D. (1984) Production and inventory management, Prentice-Hall.
- Hopp, W., Spearman, M. och Zhang, R. (1997) Easily implemetable inventory control policies, Operations Research, Vol. 45, No. 3.
- Jonsson, P. och Mattsson, S-A. (2014) Best practice vid lagerstyrning i svensk industri, Forskningsrapport, Logistik & Transport, Chalmers Tekniska Högskola.
- Jonsson, P. och Mattsson, S-A. (2016) Logistik – Läran om effektiva materialflöden, Studentlitteratur.
- Lambert, D., Stock, J. och Ellram, L. (1998) Fundamentals of Logistics Management, McGraw-Hill.
- Landau, Eric. (1979) On defining customer service, Annual Conference Proceedings, APICS.
- Magee, J. och Boodman, D. (1967) Production planning and inventory control, McGraw-Hill.
- Mattsson, S-A. (2005) Överdrag i beställningspunktssystem, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Universitet.
- Mattsson, S-A. (2010) Utvärdering av fem metoder för dimensionering av säkerhetslager med avseende på kapitalbindning, Forskningsrapport, Logistik & Transport, Chalmers Tekniska Högskola.
- Mattsson, S-A. (2011) Reducera kapitalbindning genom att differentiera servicenivåer, Plans forsknings- och tillämpningskonferens.
- Mattsson, S-A. (2012) Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning, Permatron Research.
- Mattsson, S-A. (2013a) Säkerhetslager som antal dagars medelefterfrågan eller baserat på fyllnadsgradsservice, Permatron Research.
- Mattsson, S-A. (2013b) Vilken servicenivå får man om man dimensionerar säkerhetslager med servicenivå, Permatron Research.
- Mattsson, S-A. (2016) Användning av bristkostnader för att dimensionera säkerhetslager, Forskningsrapport, Ekonomistyrning och Logistik, Linnéuniversitetet.

- Oskarsson, B., Aronsson, H. och Ekdahl, B. (2013) Modern logistik, Liber förlag.
- Plossl, G. (1983) Production and inventory control – Applications, Plossl Educational Services.
- Pursche, S. (1975) Putting service level into a proper perspective, Production and Inventory Management, Vol. 16 No. 3.
- Schonberger, R. och Knod, E. (1991) Operations management: Improving customer service, Irwin international student edition.
- Schönsleben, P. (2004) Integral logistics management, St Lucie Press.
- Shah, N. (1988) An integrated concept of materials management, McGraw-Hill.
- Silver, E. och Peterson, R. (1985) Decision systems for inventory management and production planning, John Wiley & Sons.
- Silver, E., Pyke, D. och Peterson, R. (1998) Inventory management and production planning and scheduling, John Wiley & Sons.
- Stokkedal, R. (2007) Forholdet mellom omsetning, salgsfrekvens og servicenivå, Logistikk & Ledelse, No. 5.
- Storhagen, N. (2003) Logistikk – Grunder og muligheter, Liber.
- Vollmann, T., Berry, W., Whybark, C. och Jacobs, R. (2005) Manufacturing and control for supply chain management, Irwin/McGraw-Hill.
- Zhang, R., Hopp, W. och Supatgiat, C. (2001) Spreadsheet implementable inventory control for a distribution center, Journal of heuristics, Vol. 2 No. 2.
- Tersine, R. (1994) Principles of inventory and materials management, Prentice-Hall.

Bilaga

Tabell 1 Procentuell andel artiklar med en orderradsservice på över 99 % i medeltal för alla analyserade kombinationer och en erhållen medelorderradsservice på 93 %

Företag	1 dim - 3 kl Orderfrekvens	1 dim - 5 kl Orderfrekvens	1 dim - 3 kl Artikelpriser	1 dim - 5 kl Artikelpriser	2 dimensioner 3 klasser	2 dimensioner 5 klasser
A	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
B	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
C	0,0	0,4	3,5	4,4	1,4	1,0
D	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
E	0,0	0,0	2,6	2,4	0,1	0,1
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Medel	0,2	0,3	1,2	1,4	0,5	0,4

Tabell 2 Procentuell andel artiklar med en orderradsservice på över 99 % i medeltal för alla analyserade kombinationer och en erhållen medelorderradsservice på 97 %

Företag	1 dim - 3 kl Orderfrekvens	1 dim - 5 kl Orderfrekvens	1 dim - 3 kl Artikelpriser	1 dim - 5 kl Artikelpriser	2 dimensioner 3 klasser	2 dimensioner 5 klasser
A	7,3	8,6	15,6	11,8	11,0	9,4
B	5,8	5,3	28,0	19,8	14,5	10,1
C	20,8	18,3	32,4	28,5	28,1	25,1
D	5,6	5,6	16,7	11,6	12,2	8,1
E	9,3	9,3	40,1	30,3	19,4	16,3
F	2,4	2,8	6,3	7,4	4,6	4,5
Medel	8,5	8,3	23,2	18,4	15,0	12,3

Tabell 3 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på kundorderfrekvens. Erhållen orderradsservice 97 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33	20-30-50	50-30-20	20-20-20-20-20	5-10-15-25-45	45-25-15-10-5
A	-12,8	-12,8	-10,9	-13,2	-7,8	-8,5
B	-1,6	-3,5	-2,5	-3,2	-2,0	-0,6
C	3,4	3,1	-3,0	1,7	5,5	-2,4
D	-3,2	-2,4	-2,6	-4,5	-6,8	-3,4
E	-9,9	8,7	-11,1	-10,1	7,1	-9,3
F	-25,2	-30,1	-21,1	-25,3	-28,1	-13,5
Medel	-8,2	-6,2	-8,5	-9,1	-5,4	-6,3

Tabell 4 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på priser. Erhållen orderradsservice 97 %. Medelstor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33	20-30-50	50-30-20	20-20-20-20-20	5-10-15-25-45	45-25-15-10-5
A	-18,5	-16,6	-15,5	-18,7	-12,9	-16,3
B	-11,8	-18,4	-5,9	-15,7	-17,6	-8,8
C	13,6	1,2	2,7	3,6	-3,8	1,9
D	-5,8	-10,2	-2,1	-9,4	-10,4	-0,4
E	12,0	19,0	15,2	12,8	1,3	-0,3
F	-26,6	-24,6	-24,8	-25,6	-19,3	-19,1
Medel	-6,2	-8,3	-5,1	-8,8	-10,4	-7,0

Tabell 5 Procentuellt minskad kapitalbindning med olika artikelfördelningar vid två-dimensionell differentiering. Erhållen orderradsservice 97 %. Stor differentiering av servicenivåer

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Procentuell artikelfördelning mellan klasser			Procentuell artikelfördelning mellan klasser		
	33-33-33 33-33-33	20-30-50 50-30-20	50-30-20 20-30-50	20-20-20-20-20 20-20-20-20-20	5-10-15-25-45 45-25-15-10-5	45-25-15-10-5 5-10-15-25-45
A	-20,8	-19,3	-17,1	-21,0	-21,9	-13,8
B	-13,9	-10,2	-17,0	-16,4	-16,2	-17,0
C	3,7	-5,8	-7,0	-3,6	-4,3	-6,9
D	-3,4	1,4	-7,7	-8,7	-7,4	-10,2
E	-8,4	-4,2	-2,6	-8,0	-7,5	-6,4
F	-33,8	-35,4	-32,0	-32,4	-34,7	-24,8
Medel	-12,8	-12,3	-13,9	-15,0	-15,3	-13,2

Tabell 6 Procentuellt minskad kapitalbindning vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på kundorderfrekvens och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 97 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Servicenivådifferentiering mellan klasser			Servicenivådifferentiering mellan klasser		
	99-97-91	98,5-97-93	98-97-95	99-98-97-93-91	98,5-98-97-95-93	98-97,5-97-96-95
A	-14,8	-12,8	-10,0	-16,0	-13,2	-10,2
B	-3,0	-1,6	-1,8	-5,8	-3,2	-3,2
C	9,3	3,4	-6,7	3,4	1,7	-6,4
D	-3,5	-3,2	-3,7	-4,5	-4,5	-4,5
E	-7,5	-9,9	-7,6	-7,8	-10,1	-7,9
F	-31,8	-25,2	-18,5	-32,3	-25,3	-17,5
Medel	-8,5	-8,2	-8,0	-10,5	-9,1	-8,3

Tabell 7 Procentuellt minskad kapitalbindning vid en-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader baserat på pris och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 97 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser			5 klasser		
	Servicenivådifferentiering mellan klasser			Servicenivådifferentiering mellan klasser		
	99-97-91	98,5-97-93	98-97-95	99-98-97-93-91	98,5-98-97-95-93	98-97,5-97-96-95
A	-19,5	-18,5	-14,0	-19,9	-18,7	-13,6
B	-11,7	-11,8	-14,1	-10,0	-15,7	-14,2
C	13,9	13,6	-3,3	3,6	3,6	-3,6
D	-3,2	-5,8	-9,5	-6,3	-9,4	-10,5
E	40,0	12,0	0,0	36,5	12,8	-0,5
F	-32,7	-26,6	-19,2	-32,2	-25,6	-18,0
Medel	-2,2	-6,2	-10,0	-4,7	-8,8	-10,1

Tabell 8 Procentuellt minskad kapitalbindning vid två-dimensionell differentiering av fyllnadsgrader och olika grader av differentiering. Erhållen orderradsservice 97 %. Lika artikelfördelning

Företag	3 klasser		5 klasser	
	Liten differentiering	Stor differentiering	Liten differentiering	Stor differentiering
A	-20,8	-18,5	-21,0	-18,1
B	-13,9	-12,0	-16,4	-12,0
C	-3,7	-9,6	-3,6	-9,0
D	-3,4	-8,3	-8,7	-8,1
E	-8,4	-7,7	-8,0	-7,4
F	-33,8	-22,6	-32,4	-22,7
Medel	-12,8	-13,1	-15,0	-12,9

Tabell 9 Procentuella skillnader i kapitalbindning vid användning av differentierade fyllnadsgrader med bästa differentieringsalternativ jämfört med att använda odifferentierade bristkostnader. Erhållen orderradsservice 97 procent

Företag	En-dimensionell differentiering Kundorderfrevens	En-dimensionell differentiering Pris	Två-dimensionell differentiering 3 klasser	Två-dimensionell differentiering 5 klasser
A	28,6	22,8	21,4	21,1
B	42,0	21,7	25,1	25,1
C	24,5	20,6	20,7	19,3
D	29,8	25,6	30,9	28,2
E	33,0	46,4	39,4	39,8
F	54,1	63,3	60,3	64,0
Medel	35,3	33,0	33,0	32,9

Tabell 10 Procentuella skillnader i kapitalbindning vid användning av differentierade fyllnadsgrader med bästa differentieringsalternativ jämfört med att använda ett odifferentierat antal dagars medelefterfrågan. Erhållen orderradsservice 97 procent

Företag	En-dimensionell differentiering Kundorderfrevens	En-dimensionell differentiering Pris	Två-dimensionell differentiering 3 klasser	Två-dimensionell differentiering 5 klasser
A	-1,6	-6,1	-7,2	-7,4
B	9,6	-6,1	-3,4	-3,4
C	8,6	5,3	5,3	4,1
D	1,0	-2,3	1,9	-0,3
E	18,6	30,5	24,3	24,7
F	26,6	34,1	31,7	34,7
Medel	10,5	9,2	8,8	8,7