



UNIVERSITY OF GOTHENBURG
SCHOOL OF BUSINESS, ECONOMICS AND LAW

Interpolerande lagerstyrningssystem

Hänsyn till överdrag genom korttidskattningar i beställningspunktsystem

Kandidatuppsats i Industriell och finansiell ekonomi

Handelshögskolan vid Göteborgs universitet
VT 2016

Handledare: Stig-Arne Mattsson

Författare:	Födelseårtal:
Johan Sandwall	1991-01-30
Andreas Mattiasson	1992-06-05

Sammanfattning

I det här arbetet presenteras och analyseras ett interpolerande lagerstyrningssystem som utvecklats av författarna. Systemet ämnar motverka överdrag i beställningspunktsystem.

Beställningspunktsystem och i synnerhet system med periodinspektion bygger på modellmässiga antaganden som inte stämmer överens med verkligheten. Det kan bland annat leda till att lagernivån underskrider beställningspunkten innan orderläggning, ett så kallat överdrag uppstår och servicenivån reduceras (Mattsson, 2012b). Överdrag (engelskans *undershoot*) definieras som differensen mellan beställningspunkten och lagersaldot vid orderläggning (Bganha, Pyke och Ferrer, 1996). Enligt Mattsson (2012a) uppstår överdrag på grund av att modellen divergerar med verkligheten på följande tre plan:

- Efterfrågan antas vara känd och konstant medan den i verkligheten snarare prognostiseras och varierar.
- Lageruttag antas avse en enhet medan det i verkligheten nästan alltid avser mer än en enhet och varierar mellan tillfällena.
- Kontroll av lagersaldo antas ske kontinuerligt när det i verkligheten snarare sker med inspektionsintervall.

Mattsson (2012b) har tidigare genomfört en simuleringsstudie där några olika metoder använts för att motverka överdrag. Gemensamt för metoderna är att ett skattat genomsnittligt överdrag för flera lagercykler adderas till beställningspunkten (Mattsson, 2012b). Författarna har utvecklat ett nytt lagerstyrningssystem inom ramen för det här arbetet. Det så kallade interpolerande lagerstyrningssystemet ämnar motverka överdrag genom att behandla varje lagercykel separat. Systemet består av två grundkomponenter; *beräkning av nästa punkt i lagernivå-tidsdiagrammet (skattning)* och *hantering av lagernivåns skärning med beställningspunkten (interpolering)*.

Arbetet avgränsades till att analysera ett specialfall av systemet där uttagen mellan inspektionstillfällen skattades som medelefterfrågan under ett inspektionsintervall samt under det specifika förhållandet med inspektionsintervall respektive ledtid på två dagar. Det utvecklade systemet testades med hjälp av simuleringar och utvärderades komparativt mot ett traditionellt (I,S,S)-system som inte tar hänsyn till överdrag.

Slutsatserna blev att modellen har signifikant påverkan på överdragsproblematiken både i form av reducerade överdragskvantiteter samt högre fyllnadsgradsservice för samtliga testade efterfrågeförhållanden utom de som karakteriseras av extremt låg genomsnittlig efterfrågan.

Nyckelord: Överdrag, Lagerstyrning, Beställningspunkt, Fyllnadsgradsservice, Interpolering

Förord

Vi vill tacka vår handledare, Stig-Arne Mattsson, som med sin djupgående kunskap inom ämnet lagerstyrning har kunnat stödja oss i vårt arbete och gett värdefull vägledning under uppsatsens gång. Stig-Arnes engagemang har gett oss goda förutsättningar att producera en studie som förhoppningsvis kommer kunna bidra till forskningen i området. Vi vill även rikta ett tack till våra opponenter som granskat arbetet och gett konstruktiv och konkreta förslag till förbättringar.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemdiskussion	3
1.3 Syfte	3
1.4 Frågeställning.....	3
1.5 Avgränsningar.....	4
2. Metod	5
2.1 Angreppssätt och metodval.....	5
2.1.1 Simulering som experiment för att erhålla komparativa observationer	6
2.2 Teoriinsamling och referenshantering.....	8
2.3 Genomförande.....	9
2.4 Hypotestest och konfidensintervall.....	10
3. Teori.....	13
3.1 Servicenivådefinitioner och uppmätt säkerhetslager.....	13
3.2 Beställningspunktsystem (s,Q) och ekonomisk orderkvantitet	15
3.3 Periodbeställningssystem (R,S).....	15
3.4 Beställningspunktsystem med periodinspektion (I,s,S)	16
3.5 Överdrag.....	17
3.6 Prognoser och reservationer	22
3.7 Linjär interpolation	23
3.8 Ett inspektionsintervall lika med noll är inte kontinuerlig kontroll	23
4. Det nya interpolerande lagersystemet	24
4.1 Kort introduktion av modellen.....	24
4.2 Deterministisk modelluppbyggnad: konstant och kontinuerlig efterfrågan	24
4.3 Generalisering av det interpolerande lagerstyrningssystemet och dess komponenter	27
4.3.1 Den interpolerande lagermodellens framväxt	27
4.3.2 Tillämpning av interpolerande lagersystem	30
5. Simuleringsmodell	35
5.1 Behandling av efterfrågedata	35
5.2 Osäker tid och efterfrågans standardavvikelse under den osäkra tiden.....	35
5.3 Servicefunktionen	36
5.4 Beställningspunkt och Återfyllnadsnivån	36
5.5 Linjär interpolation: Inleveransens tidpunkt och storlek.....	37

5.6	Resultatmätning	37
5.7	Komparativ jämförelse: Med eller utan hänsyn till överdrag	39
5.8	Simulerade efterfrågedata	39
6.	Resultat och analys.....	41
6.1	Uppmätt servicenivå	41
6.2	Överdrag.....	43
6.3	Lagerhållningskostnad för uppmätt säkerhetslagret.....	45
7.	Slutsats	46
7.1	Uppmätt servicenivå blir högre.....	46
7.2	Uppmätta överdragskvantiteter reduceras.....	46
7.3	Interpolerande lagerstyrningssystemet påverkar lagerhållningskostnader för uppmätt säkerhetslager med blandat resultat.....	47
7.4	Skattning med genomsnittlig efterfrågan under ett inspektionsintervall fungerar inte vid låg efterfrågan	47
8.	Reflektion.....	48
8.1	Begränsningar i simuleringsstudien	48
8.2	Överdimensionerade säkerhetslager.....	48
8.3	Utlösning av påfyllnadsorder	49
8.4	Interpolation vid transaktionsvis kontroll	50
9.	Referenser	51
Bilaga 1: Simuleringsmodellen i Matlab-kod.....		Bilaga 1. Sid.1(7)
Bilaga 2: Härledning av servicefunktionen		Bilaga 2. Sid.1(5)

1. Inledning

I den här rapporten presenteras läsaren för det så kallade interpolerande lagerstyrningssystemet, vilket utvecklats inom ramen för det här arbetet. Systemet avser på sikt medverka till effektivare lagerstyrning genom att belysa ett nytt sätt för överdragshantering i beställningspunktsystem.

Först ges en lättare förklaring av vad överdrag är, hur det hanteras idag och hur det utvecklade systemet skiljer sig från tidigare metoder. Läsaren får sedan följa uppbyggnaden av modellen från grunden. Den presenteras först som en deterministisk modell där konstant, känd och kontinuerlig efterfrågan råder. Sedan kompletteras den med förslag på komponenter för hantering av mer generella förhållanden. Slutligen simuleras och analyseras en variant av modellen och jämförs med ett vanligt system som inte tar hänsyn till överdrag.

1.1 Bakgrund

Företag eftersträvar i regel högsta leveransförmåga till lägsta möjliga kapitalbindning. Lagerstyrning handlar i grund och botten om att fastställa den optimala tidpunkt och mest gynnsamma kvantitet för inleverans av varor där också beställningsrelaterade kostnader är minimerade och bristsituationer undviks (Axsäter, 1991). För att åstadkomma det finns ett antal vedertagna lagerstyrningsmodeller; däribland beställningspunktsystem, periodbeställningssystem, materialbehovsplanering, täcktidsplanering och kanban-system. Liksom de flesta ekonomiska modeller är även lagerstyrningsmodeller förenklingar av verkligheten som bygger på antaganden som inte alltid samspelar med hur det fungerar i praktiken.

Inom lagerstyrning med beställningspunktsystem, vilket är den typ av lagerstyrningsmodell som behandlas i studien, kan överdrag uppstå (Bganha, Pyke och Ferrer, 1996). Enligt Mattsson (2012a) innebär överdrag att lagersaldot är lägre än beställningspunkten då en lagerpåfyllnadsorder läggs. Matematiskt kan överdraget således definieras som differensen mellan beställningspunkten och lagersaldot vid orderläggning. Överdrag uppstår eftersom antaganden i modellen och praktiska omständigheter släpar efter verkliga förhållanden. Mattsson (2012a) menar att divergenser uppstår på grund av att modellen antar känd och konstant efterfrågan, lageruttag som endast avser en enhet och kontinuerlig kontroll av lagersaldot.

Enligt Mattsson (2012a) hanteras överdrag genom att beställningspunkten kompletteras med en skattad genomsnittlig överdragskvantitet.

I det här arbetet presenteras och analyseras ett alternativt sätt att hantera och motverka överdrag. Istället för att skatta det genomsnittliga överdraget för samtliga cykler med en gång enligt metodiken som Mattsson (2012a) beskriver så skattas istället de enskilda överdragen var för sig. Varje lagercykel behandlas separat där överdrag motverkas med hjälp av korttidsskattningar och interpolation. Interpolation används vanligtvis för att generera fler värden mellan två uppmätta datapunkter i en tabulerad och diskontinuerlig datamängd som beskriver beroendet mellan två variabler (Janson, u.å.). Genom att skapa en approximativ och kontinuerlig funktion som beskriver beroendet mellan variablerna i ett intervall mellan två tabulerade datapunkter kan nya värden däremellan genereras approximativt (Janson, u.å.). I det här fallet avser interpolationen att approximera den diskontinuerliga lagernivån till en kontinuerlig funktion nära beställningspunkten. Istället för att dimensionera om beställningspunkten och optimera för att ett genomsnittligt överdrag skall inträffa anpassas läggningen av påfyllnadsordern. Det interpolerande systemet ämnar medverka till att påfyllnadsordern utgår då den traditionella och icke-kompenserade beställningspunkten skärs.

I ett vanligt beställningspunktsystem, ett så kallat (s,Q) -system kontrolleras redovisat lagersaldo kontinuerligt gentemot beställningspunkten och påfyllnadsorderkvantiteten är alltid densamma oavsett överdragets storlek. Kontinuerliga kontroller antas även i ett beställningspunktsystem med återfyllnadsnivå av typ (s,S) . Där anpassas och andra sidan orderkvantiteten efter överdragets storlek. Transaktionsvisa kontroller är det närmaste konventionella beställningspunktsystem kommer kontinuerliga kontroller och i många fall sker de inte ens så ofta. Ett periodinspektionssystem med återfyllnadsnivå betecknas (I,s,S) och avser ett (s,S) -system där redovisat saldo endast kontrolleras intervallvis gentemot beställningspunkten. (Mattsson, 2007b)

Orderkvantiteterna i ett (s,S) -system är alltså saldoberoende medan orderkvantiteterna i ett (s,Q) -system är oberoende av lagernivån (Mattsson, 2007b). Baganha, Pyke och Ferrer (1996) menar att överdrag traditionellt motverkas genom att bland annat använda $(-,S,s)$ -system istället för (s,Q) -system. Författarna bedömer därför att ett system med återfyllnadsnivå bör prestera bäst under fluktuerande efterfrågeförhållanden eftersom orderkvantiteterna anpassas efter aktuellt överdrag. Vidare anser författarna att (I,s,S) -systemet i många fall är det system som bäst stämmer överens med verkligheten vad gäller diskontinuerliga kontroller. (I,s,S) -systemet är därför det system som författarna väljer att utgå ifrån vid framtagandet av den nya modellen.

1.2 Problemdiskussion

Mattsson (2012a) menar att överdrag ofta leder till lagerbrist eftersom saldot vid tidpunkten då påfyllnadsordern läggs i genomsnitt inte täcker efterfrågan under ledtiderna. Företagens leveransförmåga anges ofta i form av en servicenivå. Det finns olika definitioner på servicenivåer (Lantz, 2012) och det är därför viktigt att lagersystemet dimensioneras och utvärderas efter samma definition. Oavsett vilken typ utav servicenivå som används leder överdrag i ett lagersystem som inte är dimensionerat för det ofta till att den erhållna servicenivån blir lägre än dimensionerat (Mattsson, 2012a).

Problemet kan anses vara närbesläktat med problematiken kring reservationer för framtida ordrar som är kända. Det interpolerande lagerstyrningssystemet behandlar varje lagercykel separat och ger därför goda förutsättningar för att inkludera reservationer som en delkomponent i systemet. Skillnaden ligger huvudsakligen i att det finns större osäkerhet i skattandet av den ackumulerade orderstorleken till nästa tidpunkt för saldokontroll.

Överdragsproblematiken bör vara av intresse inom industrin eftersom det leder till lägre leveransförmågor och för höga bristkostnader. Det finns olika metoder för att motverka överdrag och de får såklart olika inverkan på uppmätta servicenivåer, men även på lagerhållningskostnader (Mattsson, 2012b).

1.3 Syfte

Syftet med rapporten är att presentera och analysera ett nytt interpolerande lagerstyrningssystem som utvecklats inom ramen för det här arbetet. Vidare syftar arbetet till att undersöka och analysera huruvida en variant av det interpolerande lagerstyrningssystemet kan tillämpas för att motverka överdragsproblematiken i ett beställningspunktsystem.

1.4 Frågeställning

Hypotesen är att det interpolerande lagerstyrningssystemet kan användas för att motverka överdrag och bidra till bättre lagerstyrning i beställningspunktsystem med periodinspektion.

Författarna ämnar pröva hur väl hypotesen stämmer genom att undersöka vilken inverkan interpolationen har på uppmätta servicenivåer, överdragskvantiteter samt lagerhållningskostnader för uppmätta säkerhetslager.

1.5 Avgränsningar

En del av analysunderlaget för arbetet utgörs av en simuleringsstudie. Även om arbetet berör den nya modellen i allmänhet har simuleringsstudien avgränsats till ett specialfall av det nyutvecklade lagerstyrningssystemet som testats under vissa förhållanden. Simuleringsstudien har således avgränsats till att endast analysera fallet med inspektionsintervall om två dagar, ledtid om två dagar samt en fyllnadsgradsservice på 97 procent. Avgränsningarna som rör simuleringsstudien beror endast på arbetets tidsram, annars hade det varit högst relevant att även variera ovan nämnda variabler.

Den simulerade efterfrågedatan innefattar information om totala dagliga uttag och avrundningar till närmaste dag döljer interpolationens inverkan. På grund av avrundningar skulle inspektionsintervallet inte sättas för kort. Samtidigt är det inom industrin vanligast med ett inspektionsintervall om endast en dag (Jonsson och Mattsson, 2005). Författarna gjorde därför en balanserad avvägning mellan att hämma effekten på interpolationen samt att försöka efterlikna förhållanden i industrin. Ledtiden sattes relativt kort för att undvika problemet med uteliggande ordrar. Fyllnadsgraden sattes till 97 procent baserat på tidigare simuleringsstudier, se exempelvis Mattssons (2012b) rapport *Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning*.

Vidare har simuleringen avgränsats till att behandla efterfrågedata innefattande slumpgenererade dagliga uttag utan trend och säsongsvariationer. Simuleringsmodellen avgränsas också från att analysera stokastiska ledtider och inspektionsintervall.

Ytterligare avgränsningar som rör detaljer kring modell, simulering och data kommer på grund av praktiska skäl att ske löpande i senare delar av rapporten. Författarna bedömer att vissa avgränsningar kräver djupare förklaringar i närhet till tillämpning för att målgruppen av läsare skall kunna tillgodogöra sig dem.

2. Metod

I följande del av rapporten ämnar författarna beskriva tillvägagångssättet bakom det utförda arbetet, motivera metodval samt belysa dess begränsningar.

2.1 Angreppssätt och metodval

Det är meningsfullt att innan studier genomförs bestämma angreppssätt av teorier. Inom vetenskapsteori finns två vanliga och ständigt återkommande angreppssätt; deduktion och induktion. DePov och Laura (1999) menar att det främst är experimentella forskare som använder deduktivt tänkande. Avstamp tas här från hypoteser/observationer/uppfattningar för att förklara en specifik företeelse. Hermerén (1967) uttrycker det som ett presumtivt förhållande mellan antagande och logisk följd av villkorssatstypen *om A så B*. Gällande induktivt tänkande menar DePov och Laura (1999) att det främst används inom kvalitativa referensramar. De menar att generella regler utvecklas ur observationer av fenomen; slutsatserna generaliseras med stöd av studiens observationer. Walton (2004) behandlar ett tredje kognitivt angreppssätt som benämns abduktion, vilket också är angreppssättet som använts för att generera slutsatser i det här arbetet. Till skillnad från deduktion finns det vid abduktion en möjlighet att slutsatsen är fel trots att premisserna är sanna (Walton, 2004). Abduktion förknippas ofta med tankesättet kring hypotesprövning (Walton, 2004) och handlar om att finna sannolika slutsatser som bygger på villkorstypen *om A så sannolikt B*. I den här studien ses B som det observerade utfallet och A som en sannolik förklaring till B. Exempelvis observeras utfallet av uppmätta servicenivåer (B) som sedan sannolikt kan förklaras av en händelse (A).

Laura (1999) menar att en forskningsstudie i metodvalet har som utgångspunkt att antingen vara kvantitativt eller kvalitativt. Bryman och Bell (2013) menar dock att en forskningsstudie inte behöver vara antingen det ena eller det andra. Bryman och Bell (2013) karakteriserar en kvantitativ forskningsstrategi för att ofta anta ett deduktivt och objektiva synsätt där teoriprövning ligger i fokus. I kontrast karakteriseras en kvalitativ forskningsstrategi av ett induktivt och tolkande synsätt där fokus ligger på att utveckla nya teorier (Bryman och Bell, 2013). Liksom Bryman och Bell (2013) påpekar behöver en studie inte vara av antingen det ena eller det andra, men det här arbetet innefattar till stora delar tillvägagångssätt som är av mer kvantitativ karaktär.

Kvantitativa undersökningsmetoder och teori inom experimentell forskning innebär att forskare söker att göra det abstrakta kvantifierbart (DePov och Laura, 1999) och förstå helheter (Johansson och Lindfors, 1993). Holme och Solvang (1997) menar att det som karakteriserar kvantitativa undersökningar är att det är samband mellan variabler som undersöks. Vidare gör de distinktionen att en kvantitativ undersökning studerar många objekt, medan en kvalitativ undersökning studerar få objekt, men undersöker dessa mer grundligt.

I det här arbetet har simuleringar utförts för att jämföra det interpolerande lagerstyrningssystemet med ett vanligt (I,s,S)-system. Respektive system har simulerats under olika kombinationer av oberoende variabler som rör efterfrågans karakteristika. Beroende variabler som exempelvis överdragskvantiteter och erhållna servicenivåer har sedan utvärderats.

För att resultatet ska vara användbart och ha vetenskapligt värde krävs att mätinstrumentet är reliabel och valid (Ejvegård, 2009). Reliabilitet syftar till tillförlitlighet och validitet till att mäta det som ämnats mätas (Bryman och Bell, 2013). Bell (2006) menar att resultatet således skall kunna reproduceras. Hög reliabilitet är dock ingen garanti för hög validitet, även om hög validitet förutsätter hög reliabilitet (Kaplan och Saccuzzo, 2013). Lantz (2012) förtydligar att dålig validitet innebär att prognosmodellen ger systematiska fel, vilket i sig är förutsägbart.

Mattsson (2015, s. 3) skriver:

”Det är i allmänhet inte möjligt att få tillgång till efterfrågedata över en tillräckligt lång period för att kunna åstadkomma en acceptabelt hög reliabilitet i simuleringen. Det är inte heller möjligt att säkerställa att företagsdata i rimlig omfattning är representativa vilket försvårar förutsättningarna för att åstadkomma en acceptabel validitet.”

Det här arbetet har därför analyserat lagerstyrningssystemet med erhållna slumpgenererade efterfrågedata istället för empiriskt insamlade data.

2.1.1 Simulering som experiment för att erhålla komparativa observationer

Studien utgörs av en komparativ forskningsdesign där observationerna består av kvantiteter som exempelvis överdrag och servicenivåer. Till skillnad från den typiska formen av komparativ design som enligt Bryman och Bell (2013) innefattar flertalet surveystudier har observationerna genererats inom ramen för arbetet med hjälp av simuleringsexperiment.

Inom ramen för det här arbetet har författarna valt att inte samla in data utan istället utföra simuleringar från slumpmässigt genererade efterfrågedata som Mattsson (2012b) använt i rapporten *Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning*. Efterfrågan är slumpmässigt genererad där kundorderfrekvenserna är poissonfördelade och uttagskvantiteterna är rektangelfördelade (Mattsson, 2012b). Vidare är efterfrågedatan helt utan trender och säsongvariationer (Mattsson, 2012b). Genom att simulera genererade data undviks vissa nackdelar och svårigheter som är förknippade med verkliga efterfrågedata. Mattsson (2012b) menar att det är svårt att få tillgång till empiriska data över en så lång period att tillräcklig reliabilitet i uppmätta resultat erhålls. Vidare erhålls en helt annan kontroll av efterfrågeförhållanden vid genererade data, vilket också bidrar till högre validitet (Mattsson, 2012b).

Enligt Bryman och Bell (2013) berör intern validitet i huvudsak kausalitet och tillförlitlighet medan extern validitet syftar till generaliserandet och överförbarheten till andra kontexter. Experiment och framför allt laboratorieexperiment är ovanliga inom företagsekonomiska studier trots att de karakteriseras av hög intern validitet. Det beror på att många oberoende variabler som intresserar företagsekonomer inte går att manipulera i tillräcklig utsträckning för att kausala slutsatser skall kunna göras (Bryman och Bell, 2013). Författarna anser dock att det inom området lagerstyrning finns goda förutsättningar för experimentell design eftersom många oberoende variabler kan manipuleras. Inte minst i en simuleringsmodell. Simulering, även kallat datorexperiment, skulle kunna klassas som en extrem variant av ett laboratorieexperiment eftersom utövaren själv kan kontrollera över i stort sett alla förutsättningar som experimentet innefattar.

Kleijnen (2015) definierar simulering som experimentering med kvantitativa modeller och särskiljer två begreppspar som innebär att en simuleringsmodell antingen är deterministisk eller stokastisk samt antingen statisk eller dynamisk. Med en dynamisk modell avses att det existerar ett tidsberoende, vilket är i kontrast med den statiska. Med en stokastisk modell avses en modell som råder under slumpmässiga förhållanden, medan en deterministisk innebär avsaknad av slump. (Kleijnen 2015)

Det utförda simuleringsexperimentet har genomförts på en dynamisk och stokastisk modell. Modellen är stokastisk på så vis att den innefattar erhållna slumpgenererade efterfrågedata som läses in ifrån en Excel-fil. Däremot innefattar själva simuleringsprogrammet inga ytterligare stokastiska variabler. Simuleringsstudien avgränsades exempelvis till att endast behandla deterministisk ledtid. Dynamiken i modellen grundas i efterfrågans samt lagerstyrningssystemets påverkan på lagernivån över tiden.

Enligt Kleijnen (2015) innebär simuleringsexperiment ofta att utföraren varierar parametervärden på oberoende variabler och sedan analyserar hur oberoende variabler påverkas. Kleijnen (2015) använder (S,s)-systemet som ett exempel där utövaren till exempel kan testa olika värden på återfyllnadsnivån, beställningspunkten och efterfrågan. I det här arbetet har simuleringsexperimentet avgränsats till att variera på de två inputvärdena orderfrekvens och uttagskvantitet. Vidare har lagerstyrningssystemet skiftats mellan att innefatta interpolering och att inte göra det. Författarna väljer dock att se på ändringen av själva lagerstyrningssystemet som en del i en komparativ forskningsdesign istället för att behandla typ av lagerstyrningssystem som en diskret inputvariabel. Kleijnen (2015) riktar kritik mot simuleringsexperiment där inputvariablerna tilldelats fixa basvärden och att utövaren sedan endast varierar en parameter i taget. I simuleringsexperimentet som utförts inom det här arbetet har olika typer av kombinationer testats av orderfrekvenser och uttagskvantiteter. Inputvariablerna som varierar har således aldrig tilldelats fixa basvärden. Däremot kan antalet varierade parametrar som den här studien på grund av tidsaspekten avgränsats till att analysera anses vara för få. Det kan finnas samspelseffekter mellan fler av inputvariablerna än de som analyserats. För att analysera samspelseffekter skulle exempelvis faktorförsök med flera nivåer kunna användas (Blomqvist, 2003).

ANOVA är en variansanalys för hypotesprövning och en så kallad *flervägs-ANOVA* är ett annat alternativ för att inkludera samspelseffekter i analysen (Academic Computer Club Umeå Universitet, u.å.). Författarna har dock ingen tidigare erfarenhet av varken faktorförsök på flera nivåer eller flervägs-ANOVA och på grund av tidsaspekten utfördes analyser av eventuella samspelseffekter istället med hjälp av tabeller där en variabel varierar med kolumner och den andra med rader. Det förekommer därmed också en del kausala slutsatser som inte är bevisade via statistiska test. Avgränsningarna som gjorts på grund av arbetets tidsaspekt har bidragit till lägre validitet för simuleringsstudien. Med få antal varierande inputvariabler försämras både den interna och den externa validiteten, medan avsaknaden av variansanalysen huvudsakligen bedöms påverka den interna validiteten.

2.2 Teoriinsamling och referenshantering

Innan studien genomfördes har författarna haft nära kontakt med handledaren Stig-Arne Mattsson, Hedersdoktor vid Linnéuniversitet som är specialiserad inom ämnet. Författarna har läst många av Mattssons artiklar samt dess källor för att erhålla grundläggande förståelse inom ämnet.

När väl studiens problemformulering och syfte var formulerat söktes kompletterande litteratur för att bredda omfattningen av den teoretiska referensramen. Bland annat har artiklar och avhandlingar hämtats från flertalet databaser. Utöver de Göteborg universitetsbibliotek tillhandahåller har även databaser inom Chalmers bibliotek använts. Google Scholar är ett annat exempel på sökmetod som använts för att hitta relevant litteratur. Vidare har böcker lånats från både Chalmers bibliotek och Göteborgs universitetsbibliotek.

Under rubriken teoretiska referensramar presenteras ämnesspecifika teorier som rör det nya lagerstyrningssystemets uppbyggnad och utvärdering. Stora delar av teoriavsnittet baseras på grundläggande läroböcker inom lagerstyrning, se till exempel (Lantz, 2012) samt (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Liksom Mattsson (2012b) poängterar upplever författarna av den här rapporten att överdrag är en brist inom de traditionella lagerstyrningsmodellerna som allt för sällan behandlas eller nämns.

Stor vikt har lagts på att försöka säkerställa att de teorier som används har tolkats på rätt sätt. Det råder nämligen en viss tvetydighet i begreppsanvändning inom litteraturen, inte minst när det kommer till beteckningssystemet över olika typer av lagerstyrningssystem. Exempelvis utelämnas ibland I:et i ett (I,s,S)-system och betecknas istället slarvigt (s,S). För att reda ut sådant har mycket vikt lagts vid att tolka litteraturen på rätt sätt, bland annat genom diskussioner med författarnas handledare.

Bryman och Bell (2013) menar att sekundärkällor kan leda till att viss information förvrängs på grund av att tolkningar i flera led. Därför har författarna hanterat sekundärkällor genom att söka upp originalkällan och använda den i största möjligaste mån. Magee och Boodmans (1967) bok *Production Planning And Inventory Control* är ett exempel.

I den här rapporten har författarna ämnat tydliggöra problemet och dess definition, dels genom att komplettera inhämtad teori med figurer som skapats inom ramen för det här arbetet. Figurerna utgör grafiska illustrationer och ämnar tydliggöra den överdragsproblematik som beskrivs i litteraturen. Det nya lagerstyrningssystemets överdragshantering har även förklarats med hjälp av många figurer som skapats inom ramen för det här arbetet. Även om de figurerna ligger under rubriken *modelluppbyggnad* och inte *teoretiska referensramar* tror författarna att det beskrivna tillvägagångssättet för överdragshantering ger en djupare förståelse även för överdragsproblematiken och dess karakteristika.

2.3 Genomförande

När arbetet började var författarna bara ringa bekanta med ämnesområdet överdrag. Dock utvecklades tidigt en grund till tillvägagångssättet bakom det interpolerande lagersstyrningssystemet.

Författarna samlade in och bearbetade tidigare litteratur om överdragsproblematiken för att skapa en enhetlig bild av problemet. Utifrån den egna bilden av problemet formulerades sedan arbetets syfte och frågeställningar med utgångspunkt ifrån det tänkta lagerstyrningssystemet. Litteraturinsamlingen fokuserades till att gå djupare in på nödvändiga delområden för att forma den teoretiska referensramen. Med teorin som utgångspunkt började sedan modellen formuleras övergripande. Därefter presenterades modellen först i form av en deterministisk lagermodell som råder under konstanta och kontinuerliga efterfrågeförhållanden. Den teoretiska modellen generaliserades sedan succesivt genom att grundkomponenterna i modellen kompletterades med olika delkomponenter som exempelvis prognosmetod.

Simuleringsstudien avgränsades till att endast behandla en specialvariant av lagerstyrningssystemet under förhållanden där variabler som ledtid och inspektionsintervall inte varierades. Den matematiska formuleringen av modellen översattes till Matlab-kod (se bilaga 1). Matlab är ett datorprogram för matematisk programmering som användes för att simulera modellen. Vid genererandet av koden fick författarna göra en avvägning mellan hur enkel koden skulle vara att generera respektive använda. Avvägningen innebar att vissa parametrar behövde ändras manuellt emellan olika körningar.

Simuleringarna genomfördes på flera datorer samtidigt för att effektivisera det manuella arbetet. Genererad efterfrågedata som tidigare använts i Mattssons (2012b) studie *Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning* erhöles i form av en Excel-fil. Efterfrågedatan innefattade alla möjliga kombinationer utav 8 olika orderfrekvenser och 5 olika kundorderkvantiteter, vilket totalt genererade 40 olika efterfrågefall. Inom varje fall fanns data för 20 artiklar under 6000 dagar. Totalt innefattade filen således efterfrågedata för 800 artiklar under 6000 dagar. Matlab-programmet var skrivet som sådant att 20 artiklar med samma egenskaper på efterfrågan kunde simuleras samtidigt. Datan lästes in i Matlab-programmet med det inbyggda kommandot *xlsread* och vid byte av simulerad data behövdes vissa parametrar anges manuellt innan nästa simulering kunde genomföras.

Eftersom endast en simulering kunde köras åt gången och det tog ett par minuter per gång användes upp till fem datorer samtidigt. Användandet av flera datorer var väldigt tidsbesparande och bland de hundratals simuleringar som totalt genomfördes inom studien observerades en märkbar skillnad i tidsåtgången med ökande erfarenhet. De manuella ändringarna medför att validiteten för simuleringen riskerar att försämrars med avseende på den mänskliga faktorn. Vid testkörningar plottades lagernivåerna för en artikel vid varje körning så att eventuella fel skulle åskådliggöras. De fel som uppstod under testkörning rättades sedan till. Vid felsökningar analyserades erhållna resultat kritiskt och tillsammans med inbyggda hjälpmedel i Matlab kunde felen detekteras. Plottar över lagernivåerna upprättades även under simuleringen och rimligheten utvärderades tillsammans med erhållna värden på olika variabler.

Samma typ av simuleringar genomfördes på ett vanligt (I,s,S)-system för att generera komparativa resultat. Resultaten analyserades och den interpolerande lagerstyrningsmodellen utvärderades gentemot (I,s,S)-systemet. För att påvisa vid vilka efterfrågefall den linjära interpolationen haft signifikant inverkan på servicenivån genomfördes ett dubbelsidigt t-test. Ett konfidensintervall för överdragskvantiteterna upprättades för respektive efterfrågefall och lagerstyrningssystem. Till sist kunde slutsatser dras för de fall som inryms inom simuleringstudien.

2.4 Hypotestest och konfidensintervall

Ett t-test har genomförts vid respektive efterfrågefall för att undersöka om interpolationen har en signifikant inverkan på fyllnadsgraden (SERV2). Testet genomfördes i Excel med en signifikansnivå på 5 procent. Nollhypotes respektive mothypotes ställdes upp enligt:

- Nollhypotes: $H_0: Serv2_{1,\mu} - Serv2_{2,\mu} = 0$
- Mothypotes: $H_a: Serv2_{1,\mu} - Serv2_{2,\mu} \neq 0$

Testfunktionen ställdes upp enligt nedan och eftersom stickprovstorlekarna var lika kunde uttrycket förenklas ytterligare.

$$t = \frac{(\overline{Serv}_1 - \overline{Serv}_2) - (Serv_{2,1,\mu} - Serv_{2,2,\mu})}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \Rightarrow \{med: n_1 = n_2\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{(\overline{Serv}_1 - \overline{Serv}_2) - (Serv_{2,1,\mu} - Serv_{2,2,\mu})}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}} \quad \dots(2.1)$$

Beräkningarna av antal frihetsgrader för bestämmande av kritiskt t-värde är tämligen avancerade då hänsyn tas till olika varianser, men på grund av lika stickprovstorlekar kan antal frihetsgrader approximativt beräknas på samma sätt som om varianserna antas vara lika (Real Statistics u.å.b). Enligt Real Statistics (u.å.a) kunde antal frihetsgrader därför beräknas approximativt enligt:

$$df = n_1 + n_2 - 2 = 2(n - 1) \quad \dots(2.2)$$

Observera att testet genomfördes i Excel och att datorprogrammet själv beräknade det exakta värdet på frihetsgraderna (df).

Vid genomförande av t-test för jämförande av stickprov är det nödvändigt att populationerna är normalfördelade (Cortinhas och Black, 2012) eller att stickprovstorlekarna är tillräckligt stora (Real Statistics, u.å.b). Vid testet användes stickprovstorlekar om 20 stycken, vilket kan anses vara för få om populationerna inte kan antas vara normalfördelade. Författarna menar dock att uppmätta servicenivåer skulle kunna antas vara normalfördelade då de på sätt och vis utgörs av medelvärden. Servicenivåerna mättes över perioder på 6000 dagar och kan därmed anses bestå av ett antal medelvärden som är uppmätta över kortare perioder förutsatt att perioderna väljs så att efterfrågan under perioderna är lika enligt:

$$\overline{Serv}_{2,uppmätt} = \frac{\text{Sammanlagd efterfrågad kvantitet} - \text{Sammanlagd brist}}{\text{Sammanlagd efterfrågad kvantitet}} =$$

$$= \frac{\sum_1^N D_i - \sum_1^N B_i}{\sum_1^N D_i} = \frac{1}{N} \sum_1^N \left(\frac{D - B_i}{D} \right) = \frac{1}{N} \sum_1^N (Serv_{2,uppmätt,i}) \quad \dots(2.3)$$

Ekvationen (2.3) innefattar följande:

- Uppmätt fyllnadsgradsservice ($Serv2_{\text{uppmätt}}$)
- Efterfrågan under 6000 dagar bestående av N kortare perioder ($\sum_1^N D_i$)
- Efterfrågan under period i (D_i) där längden på respektive period väljs så att villkoret: $D_1 = D_2 = \dots = D_i = \dots = D_{N-1} = D_N = D$ är uppfyllt.
- Bristkvantiteten under period i (B_i)

Författarna upprättade även histogram för att bedöma hur väl ovan argumentation stämmer. I många fall erhöles fördelningar som bedöms vara tillräckligt likt normalfördelning, men i några fall fanns tyvärr observationer som skulle kunna anses vara outliers. Författarna avgränsade arbetet ifrån att behandla problemen med outliers på grund av tidsaspekten. Trots argumentet ovan för antagande av normalfördelning uppmanar författarna därför till val av större stickprovstorlekar i kommande studier för att få erhålla högre validitet bakom hypotestest.

Överdragskvantiteterna mättes över samtliga lagercykler för samtliga 20 artiklar med samma egenskaper på efterfrågedatan. Således togs ingen hänsyn till att det var olika artiklar. Ett väldigt stort stickprov erhöles och konfidensintervallet för överdragskvantiteterna vid respektive efterfrågefall och lagerstyrningssystem kunde upprättas med hjälp av standardnormalfördelningen.

3. Teori

Här presenteras ämnesspecifika teorier som rör det nya lagerstyrningssystemets framväxt, uppbyggnad och utvärdering.

3.1 Servicenivådefinitioner och uppmätt säkerhetslager

Det finns olika definitioner på servicenivå (Lantz, 2012). Cykelservice definieras som sannolikheten att brist inte uppstår under en lagercykel och fyllnadsgradsservice definieras som andelen av efterfrågan som kan levereras direkt ifrån lager (Jonsson och Mattsson, 2011). Enligt Lantz (2012) är dimensioneringsformeln densamma för båda definitionerna och säkerhetslagret beräknas enligt:

$$S_s = z\sigma_d\sqrt{LT} \quad \dots(3.1)$$

Ekvation (3.1) innefattar följande variabler:

- Säkerhetslagret (S_s)
- Säkerhetsfaktorn (z)
- Dagliga efterfrågans standardavvikelse (σ_d)
- Ledtiden i dagar (LT)

Observera att formeln ovan avser beräkning av säkerhetslager där ledtiden är den enda osäkra tiden samt att den inte varierar i längd. Skillnaden mellan dimensionering mellan cykelservice och fyllnadsgradsservice ligger i beräkning av säkerhetsfaktorn (z) (Lantz, 2012). Vid cykelservice erhålls säkerhetsfaktorn som z -värdet ur standardnormalfördelningen, medan beräkning av säkerhetsfaktorn vid dimensionering av fyllnadsgradsservice är något krångligare eftersom (z) då erhålls ur en funktion kallad servicefunktionen (Lantz, 2012). Lantz (2012) definierar servicefunktionen $E(z)$ enligt:

$$G(z) = \frac{Q(1 - \text{Serv}2)}{\sigma_{DDUT}} \quad \dots(3.2)$$

Ekvation (3.2) innefattar följande variabler:

- Servicefunktionen $G(z)$
- Efterfrågans standardavvikelse under den osäkra tiden (σ_{DDUT})
- Säkerhetsfaktorn (z)
- Fyllnadsgradservicenivån ($\text{Serv}2$)
- Påfyllnadsorderkvantiteten (Q)

Att lösa ut (z) analytiskt ur uttrycket ovan är omöjligt på grund av servicefunktionens komplexitet och avsaknad till invers. Silver och Pyke (1998) beskriver en approximativ invers, men på grund av inbyggda verktyg för ekvationslösning behövs inte den vid användande av exempelvis Excel eller Matlab (se bilaga 2). Bilagan innehåller förslag på tillvägagångssätt vid användande av Excel eller Matlab samt en analytisk härledning av servicefunktionen med utgångspunkt från material hämtat från Silver och Pyke (1998) samt Lantz (2012). Lantz (2012) beskriver hur ett exakt värde av servicefunktionen kan beräknas för ett visst värde på säkerhetsfaktorn med hjälp av inbyggda kommandon för standardnormalfördelningens fördelningsfunktion och kumulativa fördelningsfunktion i Excel. Tillsammans med ett verktyg för ekvationslösning skapas en numerisk invers.

Orderradsservice är andelen kompletta orderrader som kan levereras direkt från lager (Lagerstyrningsakademin, u.å.c) och är det mest frekvent använda uppföljningsmättet i praktiken (Mattsson, 2007a).

Mattsson (2007a) menar att fyllnadsgradsservice är att föredra framför cykelservice eftersom det är vanligare vid praktisk mätning av servicenivå samt att det är mer likt orderradsservice än vad cykelservice är. Den huvudsakliga fördelen med fyllnadsgradsservice är att den tar hänsyn till påfyllnadsorderkvantitetens storlek, vilket inte cykelservice gör (Lantz, 2012). För fyllnadsgradsservice finns det etablerade dimensioneringsmetoder via servicefunktionen ovan. Motsvarande metoder finns inte för orderradsservice, däremot visar empiriska studier att en uppmätt fyllnadsgrad på 97 procent motsvarar ungefär 94,5 procents uppmätt orderradsservice (Mattsson, 2011).

Det skall noteras att det dimensionerade säkerhetslagret utgör en slags skattning för den genomsnittliga lagernivån vid tidpunkter för inleverans. Erhållet eller uppmätt säkerhetslager kan dock beräknas som medelvärdet av lagernivån vid inleveranstillfällena (Herron, 1987) och utgör således ett mått på säkerhetslagret som på grund av överdrag och andra brister hos lagerstyrningssystemet kan skilja sig från det dimensionerade.

3.2 Beställningspunktsystem (s,Q) och ekonomisk orderkvantitet

I det konventionella beställningspunktsystemet, även kallat beställningsnivåsystemet, antas kontroll av lagersaldo gentemot beställningspunkten ske kontinuerligt. Modellen är frekvent behandlad i läroböcker inom grundläggande lagerstyrning, till exempel av (Lantz, 2012) samt (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). I det vanliga beställningspunktsystemet, även kallat (s,Q)-systemet (Mattsson, 2007b), antas övervakning ske kontinuerligt och det är då fråga om att en optimal ekonomisk orderkvantitet beräknas och sedan används genom samtliga lagercykler (Lantz, 2012). Formeln för optimal orderkvantitet kallas ofta för Wilson-formeln och optimerar orderkvantiteten (Q) ur kostnadssynpunkt med avseende på genomsnittlig lagerhållningssärkostnad (H), påfyllningssärkostnad (R) och efterfrågan (D) enligt nedan (Lantz, 2012):

$$Q = \sqrt{\frac{2RD}{H}} \quad \dots(3.3)$$

Formeln härleds av (Lantz, 2012) och utgår då ifrån jämn och känd efterfrågan, men används även för att beräkna orderkvantiteten vid hantering av stokastisk (slumpartad) efterfrågan (Lantz, 2012), vilket också är i enlighet med tillvägagångssättet Wilson (1934) först presenterade.

3.3 Periodbeställningssystem (R,S)

Periodbeställningssystemet utgår ifrån att lagernivån kontrolleras periodiskt och att en påfyllnadsorder läggs vid varje inspektionstillfälle. Storleken av påfyllnadsordern utgörs av differensen mellan aktuellt saldo och en fast bestämd påfyllningsnivå (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Påfyllningsnivån kallas också ofta för återfyllnadsnivå och består av efterfrågan under inspektionsintervallet och ledtiden samt ett säkerhetslager (Lantz, 2012). Ordet återfyllnadsnivå kan vara något missvisande då ledtiden inte är noll eftersom lagersaldot då inte når den nivån i medeltal. Lagerpositionen definieras som summan av lagersaldo och uteliggande ordrar (Lagerstyrningsakademin, u.å.b) och den når däremot återfyllnadsnivån precis då ordern läggs. Systemet betecknas (R,S) där (R) är intervallets längd och (S) är återfyllnadsnivån (Mattsson, 2007b).

3.4 Beställningspunktsystem med periodinspektion (I,s,S)

I ett beställningspunktsystem med periodinspektion kontrolleras redovisat lagersaldo gentemot beställningspunkten inte kontinuerligt utan med jämna mellanrum (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Det är nära besläktat med såväl periodbeställningssystemet som det vanliga beställningspunktsystemet. Metoden betecknas (s,S)-system, där (s) står för beställningspunkten och (S) för återfyllnadsnivån (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Egentligen betecknas systemet (I,s,S) där (I) är intervalltiden mellan inspektionerna (Lagerstyrningsakademin, u.å.a). Utelämnas (I) som i det tidigare fallet antas istället kontinuerlig kontroll (Mattsson, 2007b). (I,s,S)-systemet liknar periodbeställningssystemet på så vis att inspektioner sker periodvis och att orderkvantiteterna utgörs av differensen mellan återfyllnadsnivån och lagernivån vid inspektion. Därmed kan orderkvantiteten variera i storlek från en lagercykel till en annan (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). I likhet med det traditionella beställningspunktsystemet, (s,Q)-systemet, läggs inga påfyllnadsordrar förrän lagernivån underskrider beställningspunkten (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999).

Vid dimensionering av ett (I,s,S)-system används ofta approximativa metoder, de är inte optimala men ofta tillfredsställande bra (Mattsson, 2007b). Enligt Magee och Boodman (1967) kan följande dimensioneringskriterier användas om ingen hänsyn tas till variationer i ledtid eller inspektionsintervallens längd.

$$DDRP = Id \quad \dots(3.4)$$

$$s = DDLT + z\sigma_d\sqrt{LT + I} \quad \dots(3.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{2RD}{H}} + s - \frac{DDRP}{2} \quad \dots(3.6)$$

Ekvation (3.4)-(3.6) innefattar följande variabler:

- Genomsnittlig efterfrågan under inspektionsintervallet (DDRP)
- Inspektionsintervallets längd (i dagar) (I)
- Genomsnittlig efterfrågan under en dag (d)
- Beställningspunkten (s)
- Genomsnittlig efterfrågan under ledtid (DDLT)
- Säkerhetsfaktorn (z)
- Dagliga efterfrågans standardavvikelse (σ_d)
- Ledtiden i dagar (LT)
- Återfyllnadsnivån (S)
- Påfyllnadssärkostnaden (R)
- Genomsnittlig efterfrågan under ett år (D)
- Lagerhållningssärkostnaden per år (H)

Dimensioneringen grundas i att ett genomsnittligt överdrag kommer ske och ämnar att genomsnittlig orderkvantitet skall motsvara den ekonomiska orderkvantiteten beräknad enligt Wilsons formel (Magee och Boodman, 1967).

3.5 Överdrag

Inom lagerstyrning med beställningspunktsystem kan överdrag (engelskans *undershoot*) uppstå (Baganha, Pyke och Ferrer, 1996). I synnerhet om kontrollen inte sker kontinuerligt (Mattsson, 2007b). Enligt Mattsson (2012a) innebär överdrag att redovisat saldo är lägre än beställningspunkten när en påfyllnadsorder läggs. Överdragskvantiteten utgörs av skillnaden däremellan och normalt motverkas överdrag genom att beställningspunkten adderas en skattad överdragskvantitet (Baganha, Pyke och Ferrer, 1996). Tillvägagångssättet beskrivs matematiskt av Mattsson (2012b) enligt:

$$\text{Beställningspunkt} = \text{Skattad efterfrågan under ledtid} + \text{Överdrag} + \text{Säkerhetslager} \quad \dots(3.7)$$

Det skall observeras att Mattsson (2012b), i ekvation (3.7), med *överdrag* egentligen avser *skattat genomsnittligt överdrag* eftersom ekvationen beskriver en dimensionering av beställningspunkten. Överdrag som utfall definieras av Mattsson (2012a) och tolkas som den kvantitet beställningspunkten överskridits med när påfyllnadsordern utlöses. Definitionen av överdrag kan formuleras matematiskt enligt:

$$\text{Överdrag} = \text{Beställningspunkt} - \text{Redovisat saldo då lagerpåfyllnadsorder läggs} \quad \dots(3.8)$$

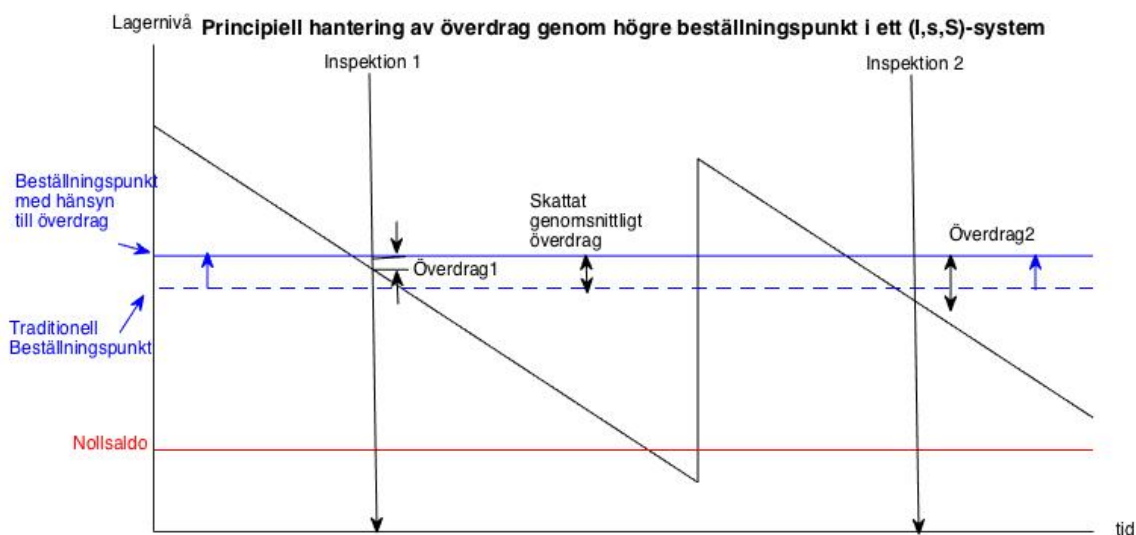
För tydlighetens skull anges *överdrag* i ekvation (3.7) härnäst som *skattat genomsnittligt överdrag* och *beställningspunkten* som *beställningspunkt med hänsyn till överdrag*. Ekvationen kan då skrivas enligt:

$$\begin{aligned} \text{Beställningspunkt med hänsyn till överdrag} = & \text{Skattat genomsnittligt överdrag} + \\ & + \text{Skattad genomsnittlig efterfrågan under ledtid} + \text{Säkerhetslager} \quad \dots(3.9) \end{aligned}$$

Den traditionella beställningspunkten som inte tar hänsyn till överdrag består av efterfrågan under ledtid och ett säkerhetslager (Mattsson, 2012b). Med det tillägget i ekvation (3.9) erhålls:

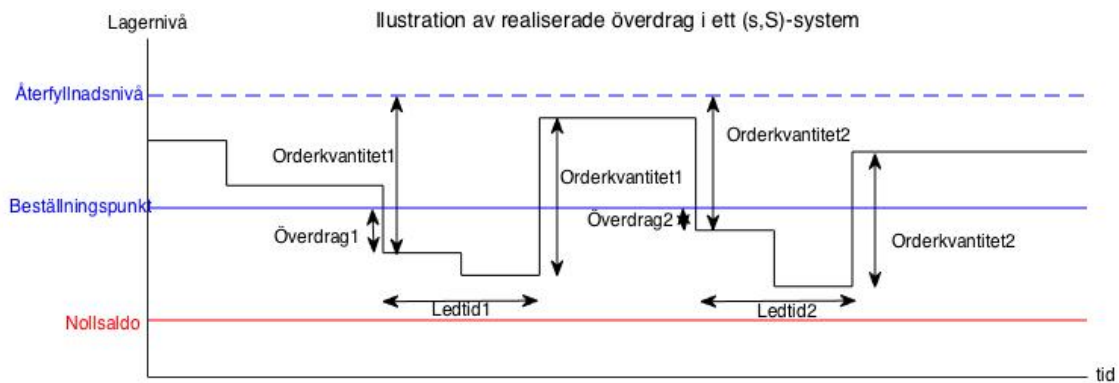
$$\begin{aligned} \text{Beställningspunkt med hänsyn till överdrag} = & \text{Traditionell beställningspunkt} + \\ & + \text{Skattat genomsnittligt överdrag} \quad \dots(3.10) \end{aligned}$$

För att tydliggöra de skillnader som återfinns ovan mellan skattat genomsnittligt överdrag och överdrag som utfall har figur 1 och figur 2 konstruerats.



Figur 1: Principiell hantering av överdrag genom högre beställningspunkt i ett (I,s,S)-system

Figuren ovan visar hur beställningspunkten som tar hänsyn till överdrag förhåller sig till den traditionella. Skillnaden utgörs av ett skattat genomsnittligt överdrag som kan stämma mer eller mindre överens med utfallet. Figuren visar ett beställningssystem med periodinspektion där inspektioner sker med jämna intervall. Eftersom figuren bara är principiell, skall illustrera en skattning och ämnar belysa inspektionsintervallets inverkan har lagernivåkurvan (i svart) ritats som om efterfrågan vore konstant och kontinuerlig. De förväntade överdragen varierar i storlek från inspektion till inspektion, men systemet dimensioneras mot det genomsnittliga skattade överdraget.



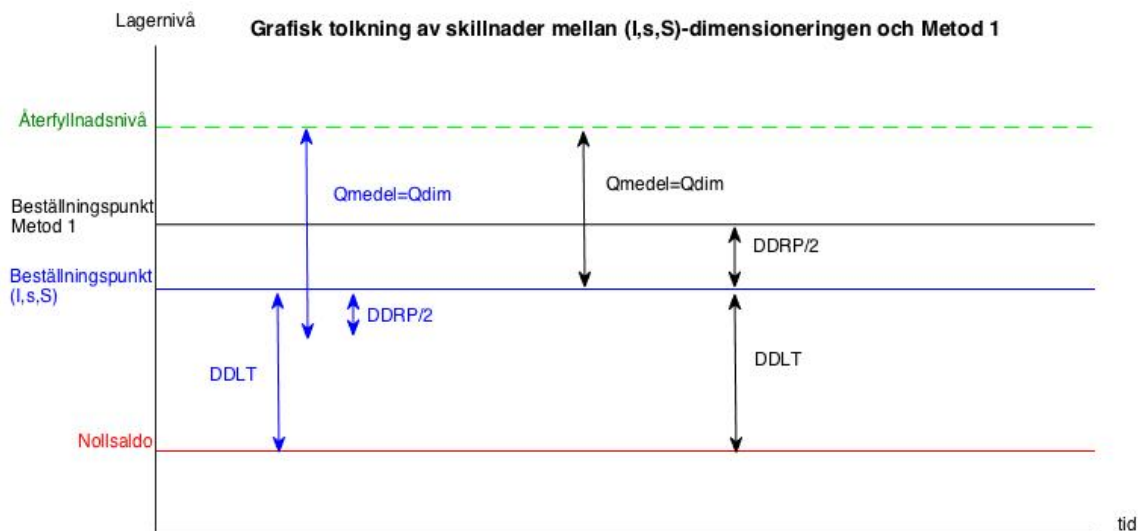
Figur 2: Illustration av realiserade överdrag i ett (s,S)-system

Figuren ovan visar principiellt hur överdragkvantiteterna kan variera i ett beställningspunktsystem med återfyllnadsnivå. Beställningspunkten är inte dimensionerad mot överdrag och de realiserade överdragen kommer variera från lagercykel till lagercykel. Överdragen kan uppstå även om lagret i det närmaste kontrolleras kontinuerligt (transaktionsvis) precis som i det traditionella (s,Q)-systemet och sker då till följd av större uttagskvantiteter än en styck (Mattsson, 2007b). Utöver överdragens variation ämnar figuren även beskriva hur orderkvantiteterna varierar från lagercykel till lagercykel. Det beror, som tidigare nämndes, på att lagersaldot kan variera från inspektion till inspektion (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999).

Metoden som Mattsson (2012b) beskriver i ekvation (3.9) tar hänsyn till överdrag genom att den traditionella beställningspunkten adderats ett *skattat genomsnittligt överdrag*. Den kompenserade beställningspunkten används sedan som i ett vanligt beställningspunktsystem genom samtliga lagercykler. Enligt Mattsson (2012a) finns det olika sätt att skatta överdragskvantiteten. Ett sätt är att utgå från att överdraget i medeltal sker i mitten av inspektionsintervallet och att den genomsnittliga överdragskvantiteten således skattas till efterfrågan under ett halvt inspektionsintervall (benämns *metod 1*) (Mattsson, 2012a).

Den tidigare nämnda dimensioneringsmetoden av ett (I,s,S)-system som Magee och Boodman (1967) beskriver liknar i mångt och mycket metoden som (Mattsson, 2012b) benämner *metod 1* och testas genom simulering. Metoderna får dock inte blandas ihop. De skiljer sig åt genom att Magee och Boodmans (1967) dimensionering av (I,s,S)-systemet inte kompenserar beställningspunkten vilket medför större risk för att brist uppstår. I metod 1 som Mattsson (2012b) beskriver kompenserar beställningspunkten med genomsnittlig efterfrågan under ett halvt inspektionsintervall (DDRP/2).

Orderkvantiteten suboptimeras dock om återfyllnadsnivån dimensioneras som summan av den nya beställningspunkten och orderkvantiteten. Allt annat lika och med ovan givna antaganden om att beställningspunkten i snitt skärs i mitten av inspektionsintervallet leder det till att genomsnittlig orderkvantitet blir större än den dimensionerande orderkvantiteten. Exakt hur återfyllnadsnivån dimensionerats i Mattssons (2012b) studie är lite oklart, men det kan ändå antas att återfyllnadsnivån satts till summan av den traditionella beställningspunkten och optimala orderkvantiteten för att undvika suboptimering. Figur 3 nedan ämnar åskådliggöra ovan nämnda skillnader mellan Mattssons (2012b) *metod 1* samt Magee och Boodmans (1967) dimensionering av ett (I,s,S)-system.



Figur 3: Grafisk tolkning av skillnader mellan Magee och Boodmans (1967) (I,s,S)-dimensionering samt Mattssons (2012b) Metod 1.

Figuren ovan illustrerar de nämnda skillnaderna för specialfallet där säkerhetslagret är noll. Utöver skillnaderna som figuren åskådliggör skiljs metoderna även åt angående dimensionering av säkerhetslager. I Magee och Boodmans (1967) dimensionering av (I,s,S)-systemet inkluderas inspektionsintervallets längd in i den osäkra tiden. Metod 1 inkluderar inte inspektionsintervallet som en del av den osäkra tiden, men dock en del som skall täcka upp för variationer i överdragskvantiteterna (Mattsson, 2012b).

Vidare belyser Mattsson (2012b) dock att metod 1 har några fundamentala nackdelar vid låga kundorderfrekvenser och höga kundorderkvantiteter. En anledning till att metoden fungerar dåligt vid låga uttagsfrekvenser och höga kvantiteter är enligt Mattsson (2012b) för att medelefterfrågan under ett halvt inspektionsintervall då blir betydligt lägre än de uttagen som faktiskt kan inträffa.

En annan approximativ metod som enligt Mattsson (2012b) fungerar något bättre är att använda medelvärdet av efterfrågan för dagar med efterfrågan (benämns *metod 2*). Metoden tar då hänsyn till uttagens storlek. Metod 1 och 2 tar hänsyn till att överdraget varierar genom att en extra kvantitet för överdragets variationer adderas till säkerhetslagret, dock behandlas inte varje lagercykel separat (Mattsson, 2012b).

I Mattssons (2012b) studie jämförs metoderna som kompenseras för överdrag med en som inte tar hänsyn till överdrag. Systemet som inte tar hänsyn till överdrag benämns (s,S) i rapporten för Mattssons (2012b) simuleringsstudie, men lagret kontrolleras inte kontinuerligt utan med ett inspektionsintervall på en dag. I den benämningen avses egentligen ett (I,s,S)-system som dimensionerats för kontinuerlig kontroll men som endast kontrolleras en gång per dag. Den huvudsakliga skillnaden mellan systemen som tar hänsyn till överdrag i Mattssons (2012b) studie och systemet som inte gör det utgörs således av beställningspunktens nivå medan återfyllnadsnivån i princip är densamma.

Problematiken kring överdrag är intressant inom industrin eftersom överdrag generellt orsakar lägre servicenivåer än dimensionerat. Många lagermodeller tar inte hänsyn till det faktum att redovisat saldo vid utgång av påfyllnadsordern i genomsnitt inte täcker efterfrågan under ledtiderna och att den erhållna servicenivån därmed blir lägre om den traditionella beställningspunkten inte kompenseras för ett skattat överdrag (Mattsson, 2012a). Överdrag påverkar som tidigare nämntes även orderkvantiteterna. Dimensioneras inte lagersstyrningssystemet mot överdrag blir den genomsnittliga påfyllnadsorderkvantiteten ett genomsnittligt överdrag för hög (Chiu, Leung. och Natarajan, 2013).

Enligt Mattsson (2012a) sker överdrag till följd av att beställningspunktsystem inte efterliknar verkligheten på följande tre punkter:

- Efterfrågan måste skattas med hjälp av prognoser och kan variera i tiden snarare än att vara känd och konstant.
- Storleken på lageruttagen kan variera mycket och är inte infinitesimala. I praktiken innebär det emellertid att uttag oftast avser mer än en enhet åt gången.
- Kontroll av lagersaldot gentemot beställningspunkten sker med jämna mellanrum snarare än kontinuerligt.

Hill (1988) härleder en metod för att beräkna de två sistnämnda orsakernas komponenter i det totala väntevärdet för överdragskvantiteten under vissa antaganden. I Mattssons (2012b) simuleringsstudie studeras utöver de tidigare nämnda Metod 1 respektive 2 även bland annat tillvägagångssättet Hill (1988) härleder. Metoden innefattar även skattning av överdragets varians, vilken sedan används för att addera en komponent för skattade variationerna i överdragskvantiteterna (Mattsson, 2012b). Det här arbetet avgränsas emellertid ifrån att behandla säkerhetslager på grund av variationer i överdragskvantiteter samt den typen av mer matematiskt avancerade metoder vidare. Författarna avser istället att belysa möjligheterna som ett interpolerande angreppssätt medför på ett övergripande plan och lämnar utveckling av sådana förfinade och mer matematiskt avancerade metoder som exempelvis Hill (1988) härlett åt vidare forskning.

3.6 Prognoser och reservationer

Det kan finnas en viss problematik i att prognosticera efterfrågan under ledtid. I vissa fall kan efterfrågan under ledtid vara känd till följd av att ordrar ibland erhålls med viss framförhållning och reservationer därmed kan göras (Mattsson, 2010). Där ur kommer också en viss problematik kring hur det disponibla saldot bör användas i ett beställningspunktsystem. Mattsson (2005) definierar disponibelt lagersaldo enligt följande:

$$\text{Disponibelt saldo} = \text{Redovisat saldo} - \text{Reservationer} \quad \dots(3.11)$$

Problematiken kring användandet av det disponibla saldot tillsammans med prognoser ligger i att en reserverad kvantitet lätt dubbelräknas genom att den adderas till prognosen. Prognosen för efterfrågan under ledtid innefattar nämligen all efterfrågan och där av även den reserverade kvantiteten (Mattsson, 2005). Mattsson (2005) beskriver ett tillvägagångssätt för att både ta hänsyn till prognoser och reservationer av efterfrågan under ledtid utan att dubbelräkning görs. Tillvägagångssättet innebär att den skattade efterfrågan under ledtid alltid skall utgå från den största kvantiteten av summa reservationer och prognosticerad efterfrågan.

Enligt Mattsson (2010) kan känd efterfrågan under ledtid innebära att osäkerheten i efterfrågan under ledtid reduceras och kapitalbinding för säkerhetslager därmed bli lägre.

3.7 Linjär interpolation

I en tabulerad datamängd där ett värde mellan två uppmätta punkter söks kan linjär interpolation vara ett alternativ (Janson, u.å.). Enligt Clapham och Nicholson (2014) uppskattas det mellanliggande funktionsvärdet enligt följande:

$$f(x) \approx f(x_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} [f(x_2) - f(x_1)]$$

...(3.12)

Ur ekvation (3.12) ovan inses att linjär interpolation innebär just användning av räta linjens ekvation mellan två datapunkter. Ur ekvationen kan även x-värdet för givet funktionsvärde beräknas med grundläggande algebra.

3.8 Ett inspektionsintervall lika med noll är inte kontinuerlig kontroll

I praktiken är transaktionsvisa kontroller det som avses med kontinuerlig kontroll (Mattsson, 2007b). Överdrag kan på grund av uttagskvantiteter som är större än ett styck även uppstå vid transaktionsvisa kontroller (Mattsson, 2007b). Överdragskvantiteten kan då variera mellan noll och ett mindre än det största möjliga uttaget (Magee och Boodman, 1967). På grund av uttagskvantiteter som avser mer än ett styck skulle överdrag uppstå i ett (I,s,S)-system även om inspektionsintervallet var lika med noll. Enligt Edlund, Högberg och Leonardz (1999) användes förr lappar mellan varorna på hyllan för att uppnå kontinuerlig kontroll. Lapparna placerades så att de skulle komma fram precis då lagernivån når beställningspunkten (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Metodiken med lapparna byggde på transaktionsvis kontroll liksom dagens databaserade kontrollsystem snarare än teoretisk kontinuitet. Frågan är om problemet med överdrag vid transaktionsvisa kontroller skulle kunna hanteras på samma sätt som vid periodiska kontroller. I någon mening så är de datorstyrda kontrollerna Mattsson (2007) beskriver inte mer kontinuerliga än den äldre metoden med lapparna som nämns av Edlund, Högberg och Leonardz (1999) eftersom kontrollen ändå inte sker oftare än transaktionsvis.

4. Det nya interpolerande lagersystemet

Under den här rubriken presenteras läsaren först kort för lagermodellen. Sedan påbörjas uppbyggnaden från början med utgångspunkt från ett (I,s,S) -system under konstant, kontinuerlig och känd efterfrågan. Därefter utvecklas modellen och dess komponenter ytterligare för att kunna ta hänsyn till mer verklighetstroga förhållanden. Såväl det deterministiska som det generella interpolerande lagerstyrningssystemet och den föreslagna metodiken är utvecklat inom ramen för det här arbetet. Metodiken är dock inspirerad av redan framtagna tillvägagångssätt inom liknande områden.

4.1 Kort introduktion av modellen

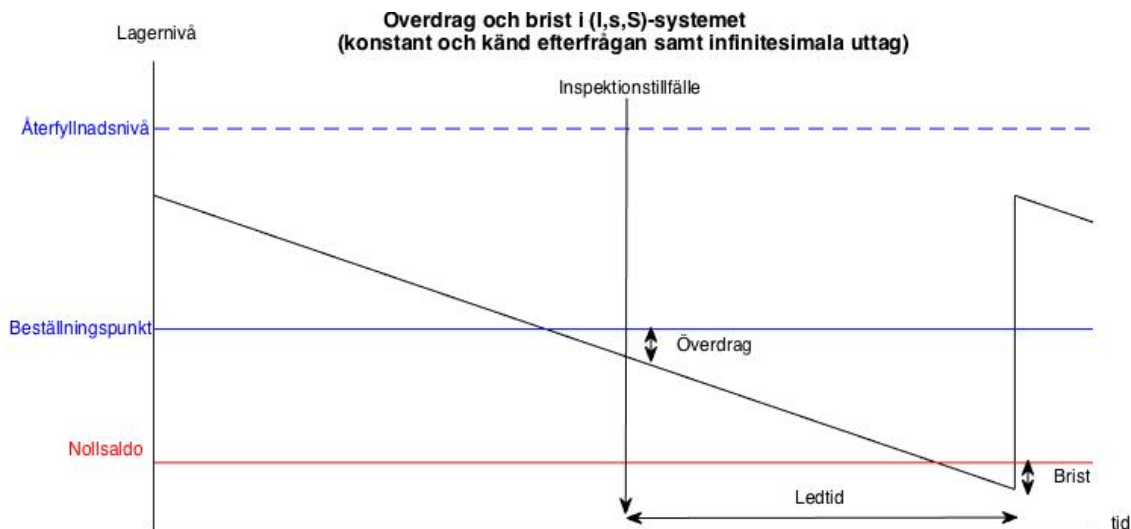
Modellen utgår från ett beställningspunktsystem där kontroll av lagersaldot inte sker kontinuerligt utan snarare periodiskt med jämna inspektionsintervall, till exempel en gång i veckan, en gång per dag eller till och med transaktionsvis. Sedan skattas åtgången till nästa inspektionstillfälle med hjälp av en korttidsprognos, till exempel genom medelefterfrågan under ett inspektionsintervall. Efter skattningen har lagersystemet två punkter att utgå ifrån i lagernivå-tids-diagrammet. Den ena punkten är (tidpunkt för nuvarande inspektion; nuvarande lagernivå) och den andra punkten är (tidpunkt för nästa inspektion; prognostiserad lagernivå). Genom att skapa en rät linje mellan de två punkterna kan tiden då beställningspunkten skärs skattas approximativt som tidpunkten då linjen skär beställningspunkten och räknas ut med hjälp av linjär interpolation. Läsaren bör notera att ledtiden för en inleverans i det här systemet inte är bunden att starta vid ett inspektionstillfälle, vilket den är i ett traditionellt periodinspektionssystem.

Bakgrunden till modellens metodiska komponenter samt hur de växt fram med inspiration från teorin förklaras mer i detalj nedan.

4.2 Deterministisk modelluppbyggnad: konstant och kontinuerlig efterfrågan

I många läroböcker om grundläggande lagerstyrning, se till exempel (Lantz, 2012), presenteras lagermodellerna först med utgångspunkt från vissa antaganden kopplat till efterfrågans karakteristika för att sedan kompenseras allt eftersom förutsättningarna generaliseras. I det här arbetet har författarna valt ett sådant angreppssätt, varför ett antagande om känd och konstant efterfrågan med infinitesimala uttag föreligger.

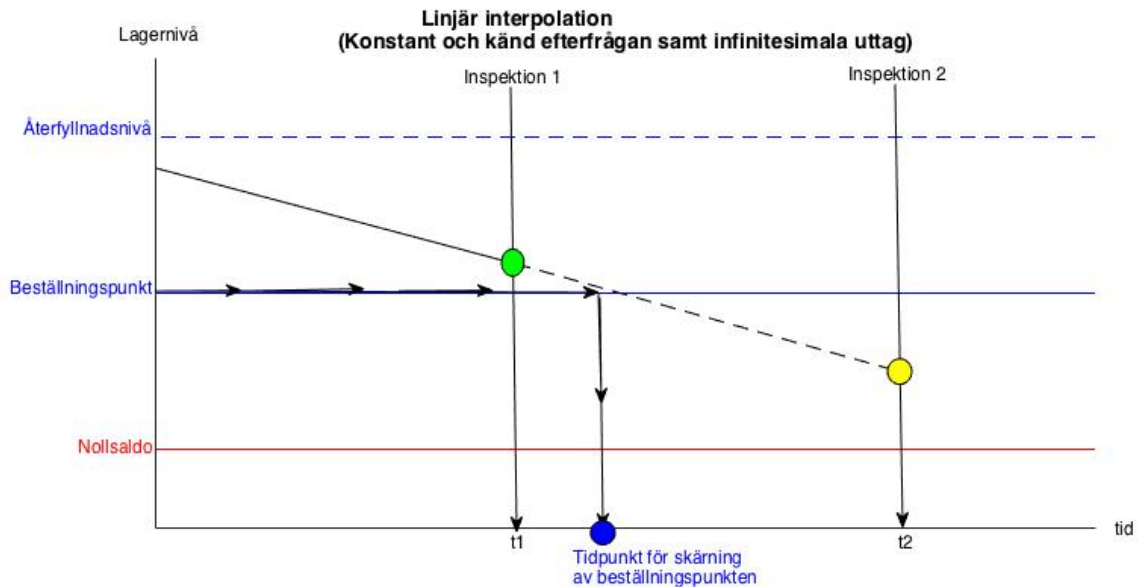
Vid känd och konstant efterfrågan bildas rätvinkliga trianglar i lagernivå-tidsdiagrammet (Lantz, 2012). Överdrag och brist behöver aldrig uppstå om inspektion utförs kontinuerligt. Så länge påfyllnadsordrarna inte är bundna till vissa tidpunkter uppstår heller aldrig något uppmätt säkerhetslager, det vill säga att lagernivån är exakt lika med noll då ny inleverans registreras. Sker däremot inte kontrollen kontinuerligt och om inspektionsintervallen inte är dimensionerade och synkroniserade med lagernivån kan överdrag och brist eller uppmätta säkerhetslager förekomma även vid konstant och känd efterfrågan, om (I,s,S) -systemet följs strikt (se figur 4).



Figur 4: Överdrag och brist i (I,s,S) -systemet (konstant och känd efterfrågan samt infinitesimala uttag)

Figuren ovan åskådliggör fallet där inspektionsintervallet inte är dimensionerat och synkroniserat med lagercykeln i ett (I,s,S) -system. Ett visst överdrag uppstår vid första inspektionstillfället och en exakt lika stor brist uppstår en ledtid senare. För gemene man kan ovan förda argument verka lite väl långsökt, men i teorin måste lagermodellen formuleras matematiskt och överdraget blir ett direkt resultat av ett illa dimensionerat och osynkroniserat inspektionsintervall. En uppenbar lösning på problemet är att dimensionera inspektionsintervallet korrekt och synkronisera det med lagercykeln så att lagersaldot blir exakt lika med beställningspunkten vid inspektion. Ett annat sätt som författarna ämnar bygga vidare på kräver lite mer beräkningar, alternativt en linjal. Hur som helst behövs först efterfrågan under ett inspektionsintervall (DDRP), vilket beräknas enligt ekvation (3.4):

Vid tid för inspektion kan även lagernivån vid nästa inspektionstillfälle beräknas exakt via framräknat (DDRP). En linje kan sedan genereras genom de två punkterna (tidpunkt för nuvarande inspektion; nuvarande lagernivå) samt (tidpunkt för nästa inspektion; nästa lagernivå) (se figur 5).



Figur 5: Linjär interpolation (konstant och känd efterfrågan samt infinitesimala uttag)

Figuren åskådliggör hur linjär interpolation kan användas för att beräkna tidpunkten för orderutgång i ett (I,s,S)-system. Ordern kan dock läggas redan vid tidpunkten för det första inspektionstillfället (t_1) men med tillägget att den inte skall erhållas förrän en viss tid senare än vanligt. Om tidpunkten för skärning av beställningspunkten betecknas (τ) och ledtiden (LT) kan tidpunkten för önskad inleverans beräknas enligt:

$$\text{Tidpunkt för inleverans} = \tau + LT \quad \dots(4.1)$$

Således erhåller leverantören tiden $\tau - t_1$ längre tid än vanligt från orderläggning till leverans.

Vid ovan nämnda antaganden om efterfrågan ger tillvägagångssättet med linjär interpolation inga överdrag, brister eller uppmätta säkerhetslager.

Antingen kan tidpunkten för lagernivåns skärning av beställningspunkten tas fram lite ingenjörsmässigt genom att lägga en linjal mellan punkterna och läsa av (τ) eller så kan den tas fram matematiskt med hjälp av formeln för linjär interpolation i ekvation (3.12) enligt nedan:

$$ROP = L_1 + \frac{\tau - t_1}{t_2 - t_1} [L_2 - L_1] \quad \dots(4.2)$$

En snabb jämförelse av ekvation (4.2) med ekvation (3.12) visar att följande översättningar gjorts:

$f(x) \rightarrow \text{ROP}$ Beställningspunkt

$f(x_1) \rightarrow L_1$ Lagernivån vid nuvarande inspektionstillfälle

$f(x_2) \rightarrow L_2$ Lagernivån vid nästa inspektionstillfälle

$x_1 \rightarrow t_1$ Nuvarande tidpunkt

$x_2 \rightarrow t_2$ Tidpunkt för nästa inspektionstillfälle

$x \rightarrow \tau$ Tidpunkten för lagernivåns skärning av beställningspunkten

Med lite omskrivning av ekvation (4.2) erhålls följande uttryck för beräkning av (τ):

$$\tau = t_1 + \frac{\text{ROP} - L_1}{L_2 - L_1} [t_2 - t_1] \quad \dots(4.3)$$

Notera att formeln kan användas som en likhet vid ovan nämnda antaganden eftersom lagernivån minskar linjärt med tiden. Vid generalisering av modellen ändras uttrycket från en likhet till att bli en approximation.

4.3 Generalisering av det interpolerande lagerstyrningssystemet och dess komponenter

Här får läsaren först ta del av bakgrunden till modellens framväxt där det beskrivs som bestående av två grundkomponenter, vilka i sin tur består av olika delkomponenter. Därefter ges mer konkreta beskrivningar för praktisk tillämpning och förslag på metodik till respektive komponent. Lagerstyrningssystemet och den föreslagna metodiken är nytt och utvecklat inom ramen för det här arbetet. Metodiken som ligger bakom de olika delkomponenterna är dock starkt inspirerade av redan utvecklade tillvägagångssätt inom andra liknande områden som beskrevs under rubriken teoretiska referensramar ovan.

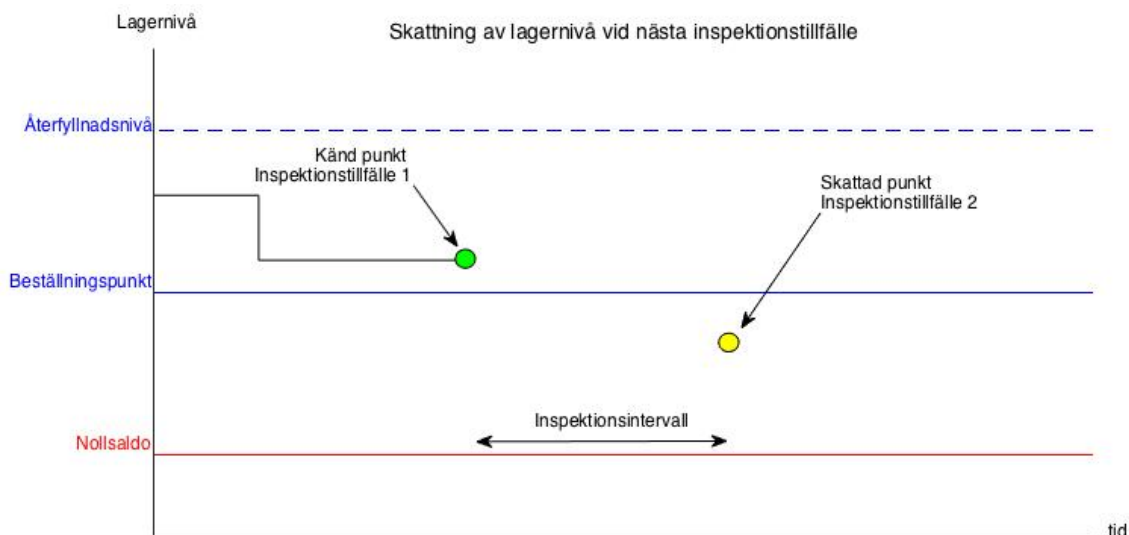
4.3.1 Den interpolerande lagermodellens framväxt

I beställningspunktsystem med periodinspektion kontrolleras redovisat lagersaldo gentemot beställningspunkten inte kontinuerligt utan med jämna mellanrum (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Det här arbetet fokuserar mest på den typen av system, dock med vissa modifikationer vad gäller motverkande av överdrag. Arbetet avser att belysa ett alternativt tankesätt som skulle kunna användas för att hantera överdragsproblematiken.

Metoden som Mattsson (2012b) beskriver i ekvation (3.9) tar som tidigare nämnt hänsyn till överdrag genom att den traditionella beställningspunkten adderas ett *skattat genomsnittligt överdrag*. Den kompenserade beställningspunkten används sedan som i ett vanligt beställningspunktsystem genom samtliga lagercykler. Enligt ekvation (3.8) kan dock överdrag som utfall beräknas separat för varje lagercykel och variera mellan olika cykler. Det väcker intresse för att skatta enskilda överdrag separat för varje lagercykel.

Det gemensamma med tillvägagångssätten Mattsson (2012b) presenterar och simulerar (bland annat metod 1 och 2) är som tidigare nämndes att en genomsnittlig överdragskvantitet skattas och sedan används över samtliga lagercykler. Den nya modellen avser i kontrast att behandla varje lagercykel separat med utgångspunkt från aktuell lagernivå. Istället för att motverka överdrag genom en justerad beställningspunkt ämnar den nya modellen beräkna tidpunkten då den traditionella beställningspunkten skärs.

I ett beställningspunktsystem med periodinspektioner sker saldokontrollen inte kontinuerligt (Edlund, Högberg och Leonardz, 1999). Det uppstår alltså ett slags tomrum i datamängden. Vid inspektion kopplas dåvarande lagernivå till tidpunkten för inspektionen och utgör således en känd punkt i lagernivå-tidsdiagrammet (se figur 6). Nästa punkt i diagrammet förblir okänd fram tills den blir uppmätt vid tidpunkten för nästa inspektion



Figur 6: *Skattning av lagernivå vid nästa inspektionstillfälle*

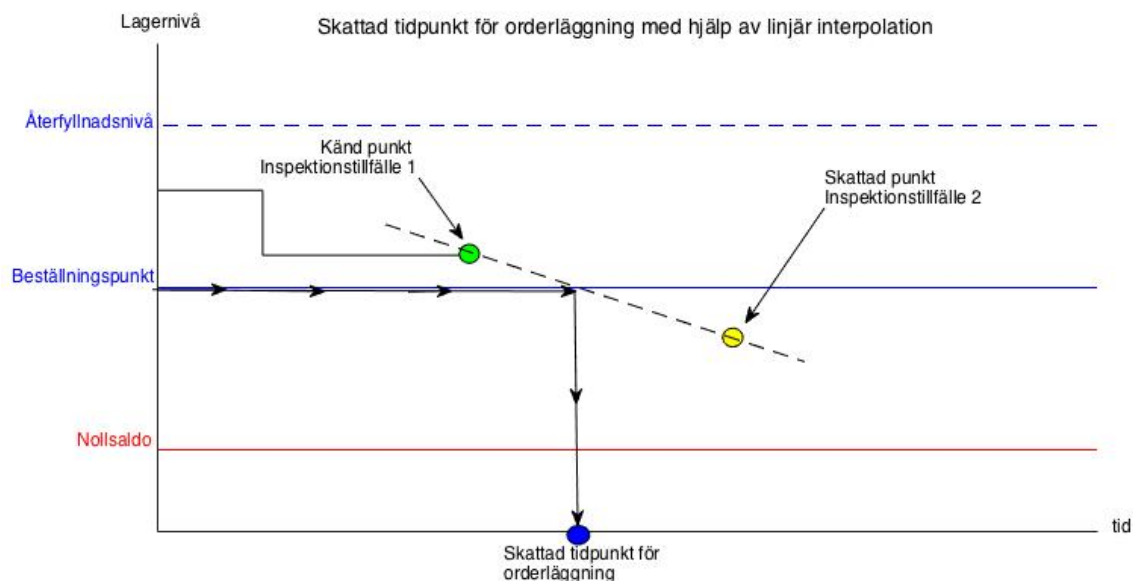
Figuren ovan åskådliggör en skattning av lagernivån vid tidpunkten för nästa inspektionstillfälle. Den gröna punkten är punkten för nuvarande lagernivå och den gula punkten anger skattningen av lagernivån vid nästa inspektionstillfälle.

Skulle lagernivån hamna under beställningspunkten vid nästa uppmätning som i figuren har ett så kallat överdrag enligt Mattsson (2012a) realiserats. I skattningen som åskådliggörs i figur 6 ovan förväntas därmed ett överdrag inträffa om ingen åtgärd genomförs för att motverka överdraget. Ett sätt att motverka ett realiserat överdrag kan då vara att tidigarelägga utlösningen av nästa påfyllnadsorder.

Två fundamentala problem som måste lösas är således; *hur skattningen skall gå till och hur tomrummet i datamängden mellan skattad lagernivå och nuvarande lagernivå skall behandlas för att avgöra när en påfyllnadsorder skall utgå*. Modellen utgörs således av två grundkomponenter; *beräkning av nästa punkt i lagernivå-tidsdiagrammet och Hantering av lagernivåns skärning med beställningspunkten*.

Hur skattningen kan gå till i praktiken behandlas senare under rubriken *tillämpning av generaliserad modell*. När väl problematiken kring skattningen är löst och kännedom finns om en känd punkt i lagernivå-tidsdiagrammet samt en skattad punkt återstår dock hanteringen av vad som händer däremellan. Om den skattade punkten ligger under beställningspunkten inses också att lagernivån förväntas skära beställningspunkten någonstans mellan de två inspektionstillfällena.

Ett sätt att lösa problemet är genom linjär interpolation som ovan i den deterministiska modellen. Genom att skapa en linje mellan de två punkterna i lagernivå-tidsdiagrammet med hjälp av ekvation (3.12) som Clapham och Nicholson (2014) anger kan uttagen däremellan approximeras till en linjär och kontinuerlig funktion. Med hjälp av linjen kan en approximativ tidpunkt för skärningen av beställningspunkten sedan skattas (se figur 7).



Figur 7: Skattad tidpunkt för orderläggning med hjälp av linjär interpolation

I figuren ovan har en rät linje skapats, vars ekvation är sådan att punkten för nuvarande lagernivå (grön) och skattad lagernivå om ett inspektionsintervall (gul) skärs av linjen. Genom att läsa av var linjen skär beställningspunkten erhålls en approximativt skattad tidpunkt för när påfyllnadsordern bör utgå (blå). Alternativt kan påfyllnadsordern utgå vid nuvarande inspektionstillfälle med tillägget att ordern inte skall erhållas inom ordinarie ledtid utan en viss tid senare, nämligen avståndet från nuvarande tidpunkt och tidpunkten för skärningen. Det senare tillvägagångssättet med att leverantören erhåller ordern i förväg anses vara mer fördelaktigt än att ordern läggs in i systemet och att det inte släpper iväg ordern förrän tidpunkten då linjen skär beställningspunkten eftersom det bör leda till mindre osäkerhet i ledtiden.

4.3.2 Tillämpning av interpolerande lagersystem

Ovan beskrevs framväxten av tillvägagångssätt som används inom modellen. Nedan ges förslag på hur det interpolerande lagersystemet tillämpas i form av mer konkreta och matematiska beskrivningar. Förslagen på tillvägagångssätten som togs fram ovan med teorin som utgångspunkt ses som utbytbara komponenter. Ovan beskrevs bakgrunden till modellens framväxt på ett resonerande plan och skall mer ses som förslag till hanteringar inom de olika momenten som modellen innefattar. Modellens två grundkomponenter; *beräkning av nästa punkt i lagernivå-tidsdiagrammet (skattning)* och *Hantering av lagernivåns skärning med beställningspunkten (interpolering)* kan i själva verket bestå av flera mindre delkomponenter. Inom ramen för det här arbetet presenteras modellen övergripande och endast några enklare förslag på praktisk tillämpbara delkomponenter ges. De kan emellertid bytas ut, förfinas och kombineras på nya sätt för att slimma lagerstyrningssystemet.

4.3.2.1 Hantering av generell efterfrågan

Vid det tidigare teoretiska framställandet av modellen antogs konstant och känd efterfrågan. Vid mer generella förutsättningar ersätts den deduktiva beräkningen av lagernivån vid nästa inspektionstillfälle (gul punkt i figur 5) mot en skattning (se figur 6). Ett sätt att skatta storleken på de sammanlagda uttagen under inspektionsintervallet (DDRP) är att ta den genomsnittliga dagliga efterfrågan (d_{μ}) multiplicerat med inspektionsintervallets längd i dagar (I) likt ekvation (3.4) ovan. Ett annat sätt är att ta den genomsnittliga dagliga efterfrågan under dagar med efterfrågan (d_q) multiplicerat med inspektionsintervallets längd i dagar (I). Tillvägagångssätten är inspirerat av *metod 1* respektive *metod 2* för beräkning av skattat genomsnittligt överdrag som beskrivits i teoridelen med utgångspunkt från Mattssons (2012b) simuleringsstudie. De approximativa angreppssätten för skattningen är i det närmaste identiska med tillvägagångssätten Mattsson (2012b) beskriver. Skillnaden ligger i att metoderna Mattsson (2012b) beskriver för skattning av genomsnittligt överdrag endast multiplicerar med halva inspektionsintervallet eftersom beställningspunkten i genomsnitt förväntas uppstå i mitten av inspektionsintervallet.

I det interpolerande lagerstyrningssystemet anpassas även skattningen av överdragskvantiteten för den specifika lagercykeln till den aktuella lagernivån. Således skiljer den sig från ovan nämnda metoder även om tillvägagångssätten för skattning av sammanlagda uttag under inspektionsintervallet är lika.

Författarna är medvetna om att det finns bättre och mer lämpade sätt att skatta de sammanlagda uttagen under inspektionsintervallet och vill belysa utvecklingspotentialen inom det nya tankesättet med att behandla varje lagercykel separat. Dock förblir vidare behandling av mer matematiskt korrekta metoder utom ramarna för det här arbetet.

En matematisk framställning av tillvägagångssätten som presenteras ovan blir alltså precis i enlighet med ekvation (3.4), men där (d) byts ut mot antingen genomsnittlig efterfrågan per dag (d_{μ}) eller genomsnittlig efterfrågan per dag för dagar med efterfrågan (d_q).

I enlighet med Mattssons (2012b) resultat förväntas tillvägagångssättet med genomsnittlig efterfrågan per dag fungera sämre för efterfrågan med låga orderfrekvenser och höga orderkvantiteter. De skattade uttagen blir nämligen avsevärt mindre än de som faktiskt kan uppstå. Vid korta inspektionsintervall där utfallet av DDRP består av få uttag bör också det största systematiska felet begås då metoden med (d_{μ}) används.

Tillvägagångssättet för att ta fram tidpunkten för skärningen av beställningspunkten är i det närmaste identiskt som för den deterministiska modellen. Skillnaden ligger i att beräkningarna här avser linjens skärningspunkt med beställningspunkten och inte den verkliga lagernivån. Tidpunkten (τ) för lagernivåns skärning approximeras dock till tidpunkten för linjens enligt:

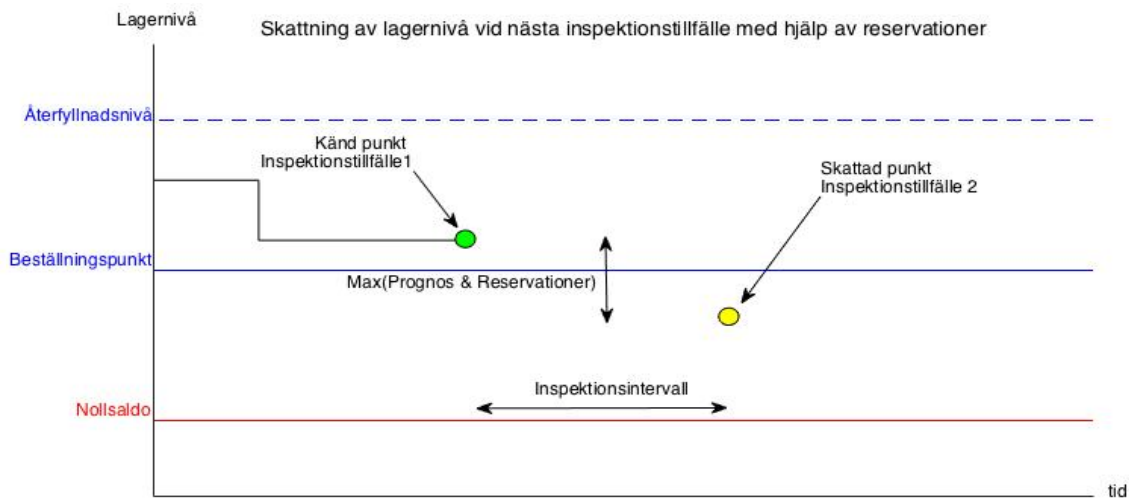
$$\tau \approx t_1 + \frac{ROP - L_1}{L_2 - L_1} [t_2 - t_1] \quad \dots(4.4)$$

Vid mer ungefärliga handräkningar kan som tidigare nämndes en linjal alternativt användas.

4.3.2.2 Hantering av reservationer

Det interpolerande lagerstyrningssystemet ger goda förutsättningar för att ta vara på kännedomen om framtida uttag. Genom att kombinera reservationer med prognoser skulle bättre skattningar av uttagen under inspektionsintervallen kunna nås. Hanteringen kan exempelvis vara i enlighet med tillvägagångssättet som Mattsson (2005) beskriver för efterfrågan under ledtid, men istället appliceras på efterfrågan under ett inspektionsintervall. Tillvägagångssättet bygger som tidigare nämndes på att den skattade efterfrågan under ledtid alltid skall sättas till den största kvantiteten av summa reservationer och prognosticerad efterfrågan (Mattsson, 2005). Även om ovan nämnda mix av prognoser och reservationer avser efterfrågan under ledtid bör tillvägagångssättet vara användbart även vid skattandet av nästa punkt i lagernivå-tidsdiagrammet för att motverka överdrag i ett periodinspektionssystem.

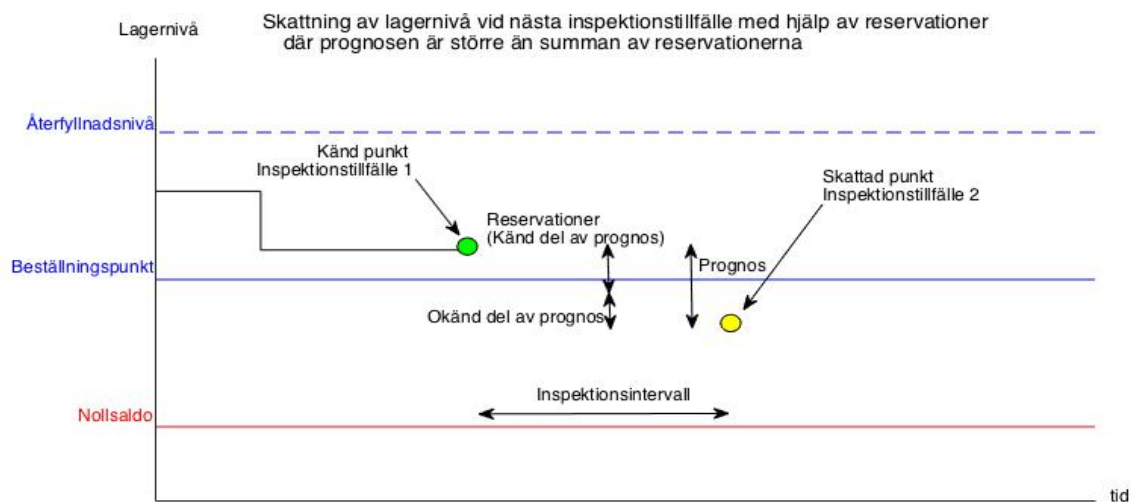
Med redan utvecklade metoder kan således skattningen av lagernivån vid tidpunkten för nästa inspektionstillfälle i ett periodinspektionssystem göras. I figur 8 nedan illustreras tillvägagångssättet.



Figur 8: Skattning av lagernivån vid nästa inspektionstillfälle med hjälp av reservationer

Figuren ovan illustrerar hur lagernivån vid nästa inspektionstillfälle skulle kunna skattas med utgångspunkt från metoden (Mattsson, 2005) beskriver. Summan av uttagen mellan nuvarande inspektionstillfälle och nästa skattas som det största av prognosen och summan av reservationerna.

Om summa reservationer är större än prognosen utgörs skattningen av i stort sett kända uttag. Osäkerhet uppstår då endast i om en lagd order skulle backas (uttagen mellan inspektionstillfällena överskattas) eller om det tillkommer fler kundordrar (uttagen mellan inspektionstillfällena underskattas). Skulle prognosen vara störst utgörs prognosen emellertid av en känd del (reservationerna) och en osäker del som utgörs av differensen mellan prognos och summa reservationer (se figur 9).



Figur 9: Skattning av lagernivån vid nästa inspektionstillfälle med hjälp av reservationer där prognosen är större än summan av reservationerna.

Figuren illustrerar hur reservationer och prognoser kan mixas för att skatta de sammanlagda uttagen mellan två inspektionstillfällen. Vilken typ av prognosmetod som är mest lämpad är dock svårt att avgöra på analytisk väg och bör simuleras.

Återigen väljer författarna att presentera modellen på ett mer övergripande perspektiv där approximativa metoder enligt ovan anses vara tillräckligt bra och lämnar därmed utvecklingen av mer förfinade och matematiskt korrekta metoder som delkomponenter åt framtida studier.

4.3.2.3 Hantering av fluktuerande efterfrågan vid transaktionsvisa kontroller

Transaktionsvisa kontroller är enligt bland annat Mattsson (2005) det som ligger närmst kontinuerlig saldokontroll i praktiken. Författarna av det här arbetet anser att problemet inte uppstår i kontrollerna utan i den fluktuerande efterfrågans påverkan på lagernivån. En konstant och kontinuerlig efterfrågan hade lett till att lagernivån som funktion av tiden blir negativt linjär (Lantz, 2012) och kontinuerlig efterfrågan i kombination med transaktionsvisa kontroller hade resulterat i kontinuerlig kontroll av lagersaldot.

Resonemanget ovan kan tyckas lite väl långsökt, men väcker dock intresse för att försöka ersätta efterfrågans fluktuationer med en konstant och kontinuerlig (linjär) approximation i närheten av beställningspunkten. För det ändamålet kan precis samma metodik som ovan med linjär interpolation användas. Dock tillkommer en skattning av tidpunkten för nästa uttag. Den gula punkten i figur 6 kommer således utgöras av en skattning för lagernivån efter nästa uttag i kombination med en skattning för tidpunkten av nästa uttag. Det uppstår därför en tvådimensionell osäkerhet i skattningen som beror av både variation i uttagskvantiteten och i uttagsfrekvensen. Författarna menar dock att tillvägagångssättet trots osäkerheten i skattningen är intressant och skulle kunna ge bättre resultat än med transaktionsvis kontroll av den verkliga och trappstegsformade lagernivån gentemot beställningspunkten.

Vid transaktionsvisa kontroller med hänsyn till reservationer bör situationen hanteras utifrån sannolikheten att den reserverade kvantiteten kommer att utgöra nästa uttag. Om många kommande uttag bedöms ligga nära varandra i tiden skulle flera reservationer och inslag av eventuella ytterligare prognostiserade (osäkra) uttag kunna viktas ihop via exempelvis en tyngdpunktsformel för att kunna ersättas av ett enda skattat uttag.

5. Simuleringsmodell

Här presenteras den simulerade lagermodellen. Simuleringsmodellen som programmerats och analyserats i programmet Matlab avgränsades till att behandla skattningar av medelefterfrågan under ett inspektionsintervall. Det vill säga $DDRP = d_{\mu}I$. Vidare avgränsades modellen från att ta hänsyn till reservationer, vilket innebär att skattningarna genomgående byggde på den osäkra delen av prognosen. Lagerstyrningssystemet simulerades med ett inspektionsintervall respektive ledtid på två dagar, lagerhållningsränta om 20 procent, inköpspris av artiklar på 200 kronor samt ordersärkostnad om 200 kronor. Matlab-koden finns med som bilaga 1 till rapporten om läsaren skulle vara intresserad av mer detaljerad information än vad som anges i själva rapporten.

5.1 Behandling av efterfrågedata

Efterfrågedatan erhöles i form av en Excel-fil och är samma data som Mattsson (2012b) använt i sin simuleringsstudie där olika metoder för att skatta det genomsnittliga överdraget testats och analyserats. Datan beskrivs mer i detalj senare i rapporten.

Matlab-programmet läser in datan från Excel-filen via kommandot *xlsread* och beräknar därefter parametrar som medelefterfrågan och efterfrågans standardavvikelse. Parametrarna används sedan för att dimensionera lagermodellens orderkvantitet, säkerhetslager, beställningspunkt och återfyllnadsnivå. Andra dimensioneringsfaktorer som lagerhållningsränta, inköpspris och ordersärkostnad anges manuellt av användaren före simulering. Programmet är skrivet för att simulera efterfrågedata med en och samma egenskap. Vid Simuleringen av flera olika kombinationer av orderfrekvenser och uttagskvantiteter har därmed programmet fått köras i flera olika omgångar.

5.2 Osäker tid och efterfrågans standardavvikelse under den osäkra tiden

Simuleringar har gjorts på fallet där den osäkra tiden sätts till ledtiden som i Mattssons (2012b) studie. Ett annat alternativ hade varit att sätta osäker tid till ledtid plus inspektionsintervallens längd som i Magee och Boodmans (1967) dimensionering av (I,s,S)-systemet. Standardavvikelsen för efterfrågan under den osäkra tiden (σ_{DDUT}) användes sedan i servicefunktionen som beskrivs av bland annat Lantz (2012). Standardavvikelsen för efterfrågan under osäker tid (σ_{DDUT}) är en egen beteckning för en slags generalisering av den annars frekvent använda standardavvikelsen för efterfrågan under ledtid ($\sigma_{DDL T}$). Den enda skillnaden är att ledtiden ersätts med det mer generella begreppet *osäker tid*. Vidare har simuleringarna avgränsats från att behandla variationer i ledtiden och därmed den osäkra tiden.

5.3 Servicefunktionen

Lantz (2012) beskriver ett sätt att beräkna det exakta värdet av servicefunktionen för ett visst värde av säkerhetsfaktorn (z). Tillvägagångssättet avser användning av Excels inbyggda kommandon för standardnormalfördelningens fördelningsfunktion och kumulativa fördelningsfunktion men har i det här arbetet översatts till motsvarande Matlab-funktioner. För dimensionering av säkerhetslagret behövdes emellertid värdet för säkerhetsfaktorn (z) för givet värde av servicefunktionen $G(z)$, vilket vid handräkningar brukar lösas med hjälp av tabeller (Lantz, 2012). I simuleringsmodellen kunde dock problemet lösas på ett mycket elegantare sätt via Matlab-kommandot *vpasolve*. Först beräknas värdet på servicefunktionen enligt ekvation (3.2) ovan. Vidare skapas den symboliska variabeln (Z) och sedan definieras servicefunktionen $G(Z)$, en funktion som innefattar den symboliska variabeln (Z), standardnormalfördelningens fördelningsfunktion samt kumulativa fördelningsfunktion. Kommandot *vpasolve* ger sedan ett symboliskt numeriskt värde på säkerhetsfaktorn för det aktuella värdet av servicefunktionen. Med hjälp av kommandot *double* omvandlas det symboliska numeriska värdet till ett numeriskt värde enligt Matlabs standardmässiga flyttalsystem (MATLAB, u.å.) och kunde sedan användas för vidare beräkningar. Se bilaga 1 för hela koden och bilaga 2 för mer detaljer kring servicefunktionen.

Tillvägagångssättet som rör servicefunktionen i Matlab har testats och kontrollerats ett antal gånger mot tabell. Vid stora värden på orderkvantiteten och små värden på standardavvikelsen under den osäkra tiden erhålls stora värden på servicefunktionen. För värden över 0,3989 erhålls en negativ säkerhetsfaktor. I de fallen har säkerhetsfaktorn satts till noll med motiveringen att säkerhetslagret inte skulle bli negativt. Vid efterfrågefall med hög orderfrekvens och små orderkvantiteter skulle ett sådant förvaringssätt dock kunna leda överdimensionering av beställningspunkten och onödigt höga servicenivåer, vilket nämns vidare under rubrikerna *resultat och analys* samt *reflektion*.

När väl säkerhetsfaktorn är framräknad beräknas säkerhetslagret i enlighet med ekvation (3.1), men där standardavvikelsen avser det mer generella begreppet osäker tid istället för ledtid:

$$S_s = z\sigma_{DDUT} \quad \dots(5.1)$$

Notera dock att osäker tid bara är ett generellare begrepp. I den här simuleringsstudien har osäker tid satts till ledtiden, men det är ingen självklarhet då lagerstyrningssystemet innefattar inspektionsintervall.

5.4 Beställningspunkt och Återfyllnadsnivån

Beställningspunkten beräknas som i det traditionella beställningspunktsystemet utan tillägget för ett skattat genomsnittligt överdrag som används i Mattssons (2012b) studie. Således utgörs beställningspunkten (ROP) av efterfrågan under ledtid (DDLT) och säkerhetslagret (S_s).

Återfyllnadsnivån (S) dimensioneras med hänsyn till beställningspunkten och orderkvantiteten. Eftersom modellen avser att motverka överdrag kan ett systematiskt fel begås om återfyllnadsnivån skulle dimensioneras enligt metoden bland annat Magee och Boodman (1967) beskriver i ekvation (3.6). Återfyllnadsnivån har därmed satts till summan av beställningspunkten och den ekonomiska orderkvantiteten enligt Wilsons formel i ekvation (3.3).

5.5 Linjär interpolation: Inleveransens tidpunkt och storlek

Modellen interpolerar i enlighet med det ovan beskrivna tillvägagångssättet som innefattar genomsnittlig efterfrågan under ett inspektionsintervall. Lagernivån vid nästa inspektionstillfälle (L_2) prognostiseras som differensen mellan aktuell lagernivå och den skattade efterfrågan under inspektionsintervallet. Tidpunkten för lagernivåns skärning av beställningspunkten (τ) skattas sedan som den räta linjens skärning av beställningspunkten enligt ekvation (4.4) och avrundas till närmaste heltal. På grund av att efterfrågedatan endast innehåller uppgifter om daglig efterfrågan utförs simuleringen på detaljnivån av en dag. Ett annat alternativ hade varit att med mer detaljerade data simulera med en detaljnivå på exempelvis en timme, minut eller sekund.

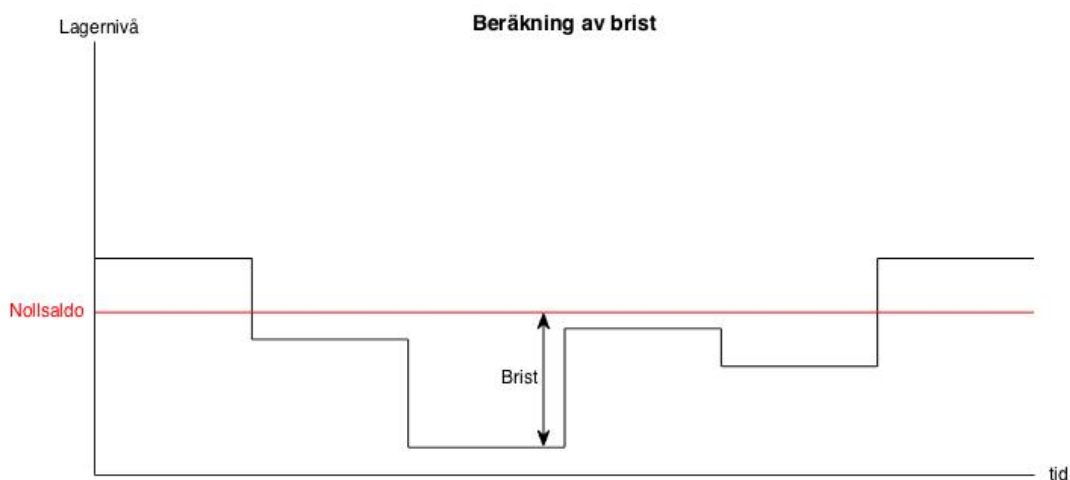
En inleverans på en kvantitet motsvarande differensen mellan återfyllnadsnivån och beställningspunkten läggs in vid tidpunkten (τ) plus en ledtid. Notera att orderkvantiteten vid användning av den linjära interpolationen blir densamma varje gång likt ett (s,Q) -system. På grund av diskontinuerliga efterfrågeförhållanden kan emellertid ett plötsligt fall av lagernivån inträffa så att den hamnar under beställningspunkten utan att det kunnat förebyggas med hjälp av korttidsprognos och interpolation. I de fallen lägger programmet in en inleverans om en ledtid och omfattar då en kvantitet motsvarande differensen mellan återfyllnadsnivån och aktuell lagernivå som i ett vanligt (I,s,S) -system.

5.6 Resultatmätning

Lagernivån för samtliga artiklar under samtliga dagar sparas i en matris där varje kolumn utgörs av en artikel och varje rad utgörs av en tidpunkt (i det här fallet dag). Brist motsvaras av en negativ kvantitet i lagernivån och antas kunna levereras direkt vid nästa inleverans.

Efter varje inleverans mäts det uppmätta säkerhetslagret enligt metodiken Herron (1987) beskriver och fås därmed som lagernivån vid inleverans. Skulle lagernivån vara negativ sätts det uppmätta säkerhetslagret till noll.

Beräkningen av brist ser tämligen komplicerad ut i simuleringsprogrammet (se bilaga 1) där den består av ett antal loopar och if-satser. Anledningen till den långa och tillkrånglade beräkningen är för att samma enheter i brist inte får räknas flera gånger. Så fort ett tillfälle med negativt saldo uppstår beräknas bristen under bristtillfället som differensen mellan nollsaldot och den starkast negativa lagernivån. Bristtillfället har här definierats som tidpunkten då lagernivån underskrider nollsaldot tills dess att lagernivån kommer över nollsaldot igen. Däremellan kan i teorin nya inleveranser komma in utan att bristtillfället upphör. Lagernivån måste dock vara väldigt starkt negativ för att det skall inträffa. Figur 10 nedan ger en principiell och allmän grafisk skildring av bristberäkningen under ett bristtillfälle.



Figur 10: *Beräkning av brist*

Figurer illustrerar en principiell beräkning av brist under ett bristtillfälle. För att erhålla den sammanlagda bristen under hela efterfrågans tidsutsträckning summeras samtliga bristtillfällenas bristkvantiteter.

Bristerna beräknas separat för samtliga artiklar och används sedan för att beräkna en uppmätt servicenivå för respektive artikel i enlighet med definitionen för fyllnadsgradsservice. Fyllnadsgradsservice utgörs som tidigare nämndes av andelen efterfrågan som kan levereras direkt från lager (Lantz, 2012). Den uppmätta servicenivån kunde därmed beräknas för respektive kvantitet enligt:

$$\text{Serv2}_{\text{uppmätt}} = \frac{\text{Sammanlagd efterfrågad kvantitet} - \text{Sammanlagd brist}}{\text{Sammanlagd efterfrågad kvantitet}} \quad \dots(5.2)$$

På de uppmätta servicenivåerna beräknades sedan ett medelvärde och en standardavvikelse.

Utöver servicenivån beräknades även medelvärdet för det uppmätta säkerhetslagret över samtliga artiklars lagercykler och är alltså inte kopplat till specifika artiklar utan endast deras lagercykler. Standardavvikelsen beräknades på motsvarande sätt och har alltså inte erhållits för varje artikel separat utan är uppmätt över samtliga lagercykler för samtliga artiklar.

Motsvarande metod användes för att beräkna den genomsnittliga överdragskvantiteten och dess varians vid respektive efterfrågefall.

Utöver det beräknades lagerhållningskostnaden för uppmätt säkerhetslager samt lagerhållningskostnaden för medellagret. Medellagret (M) beräknas som genomsnittligt redovisat lagersaldo. De negativa värdena i lagernivå-matrisen har således satts till noll innan medelvärdet beräknades.

5.7 Komparativ jämförelse: Med eller utan hänsyn till överdrag

För att kunna utvärdera interpolationens inverkan utförs ovanstående simuleringar även för ett traditionellt beställningspunktsystem med återfyllnadsnivå. Den enda skillnaden mellan simuleringarna är att den linjära interpolationen inte utnyttjas vid saldokontrollen.

För att erhålla jämförbara kostnadsmått mellan det traditionella och interpolerande systemet har simuleringarna även utförts med en loop där den dimensionerande servicenivån justeras tills en uppmätt servicenivå tillräckligt nära 97 procent erhålls.

Med tillräckligt nära avses att simuleringsmodellen genomgår en loop där den dimensionerande servicenivån ändras tills villkoret är uppfyllt. För de flesta fallen användes en tiondel procent som steglängd, med undantag från efterfrågefall med extremt diskontinuerliga karakteristika där en steglängd på en hundradels procent fick användas på grund av att den dimensionerade servicenivån hamnade över 99,9 procent. Valet av steglängd är direkt kopplat till simuleringsstudiens reliabilitet och skulle troligen satts ännu lägre om det inte vore för tidsaspekten.

5.8 Simulerade efterfrågedata

Simuleringen utfördes med slumpmässigt genererade efterfrågedata vilka tidigare använts i Mattssons (2012b) rapport *Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning*. Datan innehåller kombinationer av 5 olika uttagskvantiteter och 8 olika orderfrekvenser, vilket totalt ger 40 olika efterfrågefall (Mattsson, 2012b). För att ge hyfsad reliabilitet omfattar efterfrågedatan 6000 dagars efterfrågan för 20 artiklar inom respektive fall (Mattsson, 2012b). Datan anger sammanlagda uttagskvantitet per dag. Antalet uttag per dag är Poissonfördelade och uttagskvantiteterna är rektangelfördelade (Mattsson, 2012b). Vidare omfattar datan inga trender, säsongsvariationer eller cykler (Mattsson, 2012b).

Mattsson (2012b) menar att på förhand genererade efterfrågedata som sedan testas på respektive modell ökar simuleringsstudiens validitet i jämförelse med att generera nya data för varje lagermodell. På så sätt utsetts samtliga modeller för exakt samma förutsättningar (Mattsson, 2012b).

6. Resultat och analys

I det här avsnittet redovisas erhållna resultat från simuleringarna som syftade till att analysera huruvida ett interpolerande lagerstyrningssystem kan ta hänsyn till överdrag genom korttidskattningar i beställningspunktsystem. Det skall noteras att simuleringarna endast genomförts för specialfallet där ledtiden respektive inspektionsintervallet är två dagar, lagerhållningsräntan är 20 procent, inköpspris av artiklar är 200 kronor samt ordersärkostnaden är 200 kronor.

6.1 Uppmätt servicenivå

I tabell 1 nedan anges skillnaden mellan uppmätt servicenivå och den dimensionerade på 97 procent vid de olika efterfrågefallen. Resultatet från det interpolerande lagerstyrningssystemet anges utan parentes och motsvarande resultat för systemet som inte tar hänsyn till överdrag anges inom parentes. Värdena uttrycks i procentenheter.

Tabell 1: Skillnad mellan uppmätt fyllnadsgradsservice och den dimensionerade på 97 procent för respektive lagersystem och efterfrågefall

Kundorderfrekvenser	Uttagskvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	2,8% (0,4%)	2,8% (-0,6%)	2,8% (-1,5%)	2,8% (-2,0%)	2,3% (-3,1%)
5 per dag	2,6% (0,7%)	2,6% (-0,2%)	2,5% (-1,2%)	2,5% (-1,6%)	2,5% (-1,8%)
3 per dag	2,4% (0,8%)	2,3% (-0,1%)	2,1% (-1,0%)	2,2% (-1,4%)	2,2% (-1,6%)
1 per dag	1,6% (0,7%)	1,3% (-0,4%)	1,2% (-1,5%)	1,0% (-1,7%)	0,9% (-2,0%)
1 per 2 dagar	1,4% (0,5%)	0,9% (-0,8%)	0,4% (-1,9%)	-0,1% (-2,4%)	-0,1% (-3,0%)
1 per 1 vecka	0,6% (0,6%)	-0,1% (-0,9%)	-1,4% (-2,8%)	-1,7% (-3,8%)	-2,4% (-4,6%)
1 per 2 veckor	-1,7% (-1,7%)	-2,1% (-2,1%)	-3,6% (-4,6%)	-4,3% (-5,9%)	-5,5% (-7,7%)
1 per 1 månad	-2,0% (-2,0%)	-5,5% (-5,5%)	-7,9% (-7,9%)	-8,9% (-10,1%)	-9,4% (-11,1%)

Tabellen visar tydligt att modellen utan överdrag ofta får lägre servicenivå än dimensionerat. Det gäller för 34 av de totalt 40 simulerade efterfrågefallen. Det interpolerande lagerstyrningssystemet som tar hänsyn till överdrag får lägre servicenivå än dimensionerat i endast 16 av 40 fall. Tabellen ger en lättöverskådlig bild över hur respektive system presterar vid olika efterfrågefall. Det skall dock tilläggas att en positiv differens inte nödvändigtvis är bra. Det optimala vore att erhålla en uppmätt servicenivå som är exakt lika med den dimensionerade.

Båda modellerna tenderar att få problem med för låga servicenivåer vid låga orderfrekvenser. Vid höga orderfrekvenser och små uttagskvantiteter erhöles högre fyllnadsgrad än dimensionerat. Författarna tror dock det kan bero på att säkerhetslagret systematiskt sattes till noll då negativa värden på säkerhetsfaktorn erhöles vid simulering. Huruvida negativa säkerhetslager bör tillåtas behandlas under rubriken *reflektion* Små uttag och hög orderfrekvens är mest likt fallet med konstant och kontinuerlig efterfrågan. Där erhöles båda systemen också positiva differenser. Erhållna servicenivåer tycks även bero på genomsnittliga efterfrågans storlek. En förklaring kan vara att ju större efterfrågan under ett inspektionsintervall är desto lägre tenderar den uppmätta servicenivån för båda systemen att bli.

Båda systemen ger starka negativa differenser vid efterfrågefall med låga orderfrekvenser och höga orderkvantiteter. Fall där uttagskvantiteterna är stora relativt den genomsnittliga efterfrågan tycks därmed ha starkast reducerande inverkan på uppmätt servicenivå för båda lagerstyrningssystemen. Det interpolerande lagerstyrningssystemet tycks dock påverkas i en något mindre utsträckning. Dess erhållna servicenivåer tycks till största delen vara beroende av orderfrekvenserna.

Vid låg genomsnittlig efterfrågan (låga orderfrekvenser och små uttagskvantiteter) erhöles samma servicenivåer för de båda systemen, vilket tyder på att interpolationen inte haft någon effekt.

För att utvärdera resultaten sattes hypoteser upp med målet att statistiskt visa på interpolationens signifikans. Ett t-test genomfördes för att analysera om det fanns en signifikant skillnad mellan de uppmätta servicenivåerna (se tabell 2).

Tabell 2: Resultat från t-test av interpolationens inverkan på servicenivån vid 5 procents signifikansnivå

<i>Kundorderfrekvenser</i>	<i>Uttagskvantiteter</i>				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
5 per dag	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
3 per dag	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
1 per dag	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
1 per 2 dagar	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
1 per 1 vecka	Acceptera	Förkasta	Förkasta	Förkasta	Förkasta
1 per 2 veckor	Acceptera	Acceptera	Förkasta	Förkasta	Förkasta
1 per 1 månad	Acceptera	Acceptera	Acceptera	Förkasta	Förkasta

Tabellen ovan ämnar visa vid vilka efterfrågefall interpolationen haft signifikant inverkan på servicenivån. Nollhypotesen var att den genomsnittliga skillnaden mellan uppmätta servicenivåer för lagerstyrningssystemen är noll. Alternativhypotesen var att skillnaden inte är noll. I de fall nollhypotesen kunde förkastas påvisas att interpolationen har en signifikant inverkan på erhållen fyllnadsgradsservice. Testet som genomfördes var tvåsidigt och en signifikansnivå på 5 procent användes. Signifikanta skillnader kunde påvisas för alla fall utom de med låg genomsnittlig efterfrågan (kombinationen av låg orderfrekvens och små uttagskvantiteter).

6.2 Överdrag

Det interpolerande lagerstyrningssystemet avser att motverka överdrag och därför är storleken på överdragen ett direkt resultatmått på hur väl modellen fungerar.

I tabell 3 nedan anges ett 95-procentigt konfidensintervall för den genomsnittliga överdragskvantiteten i lagerstyrningssystemet som inte tar hänsyn till överdrag.

Tabell 3: 95-procentigt konfidensintervall för genomsnittliga överdragskvantiteter för respektive efterfrågefall i det traditionella (I,s,S)-systemet

Kundorderfrekvenser	Uttagskvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	19,94 ± 0,25	41,18 ± 0,45	81,55 ± 0,76	160,15 ± 1,38	375,64 ± 2,21
5 per dag	10,55 ± 0,17	21,53 ± 0,29	43,72 ± 0,50	88,14 ± 0,86	173,72 ± 1,49
3 per dag	6,61 ± 0,13	13,71 ± 0,22	27,44 ± 0,37	55,42 ± 0,65	111,92 ± 1,11
1 per dag	2,68 ± 0,09	5,80 ± 0,14	11,95 ± 0,25	23,95 ± 0,41	48,86 ± 0,72
1 per 2 dagar	1,68 ± 0,07	3,87 ± 0,12	7,88 ± 0,20	16,14 ± 0,34	33,01 ± 0,60
1 per 1 vecka	1,03 ± 0,06	2,55 ± 0,11	5,43 ± 0,18	11,44 ± 0,30	23,66 ± 0,52
1 per 2 veckor	0,85 ± 0,06	2,12 ± 0,10	4,60 ± 0,17	9,70 ± 0,29	20,15 ± 0,52
1 per 1 månad	0,66 ± 0,06	1,78 ± 0,10	4,12 ± 0,17	8,61 ± 0,29	16,60 ± 0,49

I tabell 4 nedan anges ett 95-procentigt konfidensintervall för den genomsnittliga överdragskvantiteten i det interpolerande lagerstyrningssystemet som tar hänsyn till överdrag.

Tabell 4: 95-procentigt konfidensintervall för genomsnittliga överdragskvantiteter för respektive efterfrågefäll i det interpolerande lagerstyrningssystemet

Kundorderfrekvenser	Uttagskvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	1,36 ± 0,17	2,31 ± 1,18	2,22 ± 1,98	8,29 ± 3,25	65,78 ± 6,89
5 per dag	1,11 ± 0,13	1,89 ± 0,75	3,47 ± 1,25	7,22 ± 2,14	14,80 ± 3,60
3 per dag	1,09 ± 0,11	1,78 ± 0,52	3,10 ± 0,91	4,35 ± 1,49	11,21 ± 2,69
1 per dag	1,24 ± 0,08	1,92 ± 0,30	2,39 ± 0,52	5,78 ± 0,89	11,23 ± 1,53
1 per 2 dagar	0,62 ± 0,08	0,97 ± 0,23	2,54 ± 0,39	6,25 ± 0,64	10,30 ± 1,11
1 per 1 vecka	1,03 ± 0,06	1,78 ± 0,15	3,37 ± 0,27	6,25 ± 0,42	13,29 ± 0,75
1 per 2 veckor	0,85 ± 0,06	2,15 ± 0,12	3,57 ± 0,21	7,40 ± 0,37	15,13 ± 0,64
1 per 1 månad	0,66 ± 0,06	1,78 ± 0,10	4,12 ± 0,17	7,65 ± 0,29	14,07 ± 0,47

Tabellerna 3 och 4 med överdragskvantiteterna ovan visar på ett något annorlunda mönster än uppmätt servicenivå. Den uppmätta servicenivån reducerades vid höga uttagskvantiteter relativt genomsnittlig efterfrågan. Överdragens storlek tycks dock framför allt bero på genomsnittliga efterfrågans storlek. De största överdragskvantiteterna återfinns vid hög genomsnittlig efterfrågan (kombinationen höga orderfrekvenser och stora uttagskvantiteter).

Det interpolerande lagerstyrningssystemet erhåller lägre genomsnittliga överdragskvantiteter för alla efterfrågefäll där interpolationen har signifikant inverkan på servicenivån. Undantagen är som tidigare fallen med låg genomsnittlig efterfrågan där interpolationen inte tycks ha haft någon effekt.

Det interpolerande lagerstyrningssystemet kan emellertid leda till negativa överdragskvantiteter. Därför finns det viss relevans i att också mäta absolutbeloppet av överdragen (se tabell 5).

Tabell 5: Genomsnittliga absolutbelopp för uppmätta överdragskvantiteter i det interpolerande lagerstyrningssystemet

Kundorderfrekvenser	Uttagskvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	7,3	14,8	29,3	56,5	139,1
5 per dag	4,5	9,3	18,2	36,2	71,1
3 per dag	3,2	6,6	13,4	25,4	53,0
1 per dag	2,0	3,9	7,5	14,8	29,8
1 per 2 dagar	1,4	2,7	5,6	10,9	21,9
1 per 1 vecka	1,0	2,1	4,2	7,9	16,4
1 per 2 veckor	0,9	2,1	3,8	8,0	16,1
1 per 1 månad	0,7	1,8	4,1	7,8	14,4

Faktumet att de absoluta medelvärdena överstiger de aritmetiska är ett konkret bevis på de negativa överdragens förekomst i det interpolerande lagerstyrningssystemet. De absoluta överdragen är dock också lägre för det interpolerande lagerstyrningssystemet än det traditionella.

6.3 Lagerhållningskostnad för uppmätt säkerhetslagret

Lagerhållningskostnaderna som uppstår vid användande av respektive lagerstyrningssystem är inte direkt jämförbara då olika uppmätta servicenivåer erhålls. Höga uppmätta servicenivåer medför också höga lagerhållningssärkostnader. Genom att driva uppmätt fyllnadsgradsservice till 97 procent för respektive system erhölls jämförbara kostnader för uppmätta säkerhetslager (se tabell 6).

Tabell 6: Lagerhållningskostnader för uppmätta säkerhetslager vid simulering av respektive efterfrågefall och lagerstyrningssystem

Kundorderfrekvenser	Uttagskvantiteter				
	1-3 st	2-6 st	4-12 st	8-24 st	16-48 st
10 per dag	116 (151)	352 (555)	967 (1416)	2525 (3794)	7624 (6919)
5 per dag	68 (59)	212 (622)	603 (753)	1590 (1915)	4099 (4563)
3 per dag	47 (32)	153 (184)	431 (466)	1135 (1252)	2889 (3033)
1 per dag	26 (16)	86 (79)	249 (263)	677 (632)	1763 (1672)
1 per 2 dagar	20 (26)	65 (54)	185 (174)	495 (481)	1262 (1220)
1 per 1 vecka	2 (14)	35 (36)	124 (136)	319 (302)	879 (842)
1 per 2 veckor	11 (13)	34 (40)	104 (97)	283 (268)	760 (706)
1 per 1 månad	13 (13)	34 (34)	87 (93)	216 (210)	507 (543)

Tabellen ovan visar årliga lagerhållningskostnader i kronor för uppmätta säkerhetslager vid en erhållen fyllnadsgradsservice på 97 procent för respektive lagerstyrningssystem. Värderna för det interpolerande systemet anges utan parentes och värdena för det traditionella (I,s,S)-systemet anges inom parentes. Resultaten visar på interpolationssystemets något övervägande tendens till lägre lagerhållningskostnader för uppmätta säkerhetslager jämfört med det traditionella systemet. Dock är resultatet tämligen blandat. Vid efterfrågefall med hög orderkvantitet och låg orderfrekvens tenderar dock det traditionella systemet att vara mer ekonomiskt. Det interpolerande systemet har bäst inverkan på kostnaderna vid höga orderfrekvenser och mindre uttagskvantiteter.

7. Slutsats

Det huvudsakliga syftet med rapporten var att presentera och analysera ett nytt lagerstyrningssystem där korttidsskattningar och interpolation används för att motverka överdragsproblematiken i beställningspunktsystem. I det här avsnittet får läsaren ta del av slutsatserna som kunnat dras utifrån simuleringsstudiens resultat. Nedan följer slutsatserna angående interpolationens inverkan på uppmätta servicenivåer, överdragskvantiteter samt lagerhållningskostnader för uppmätta säkerhetslager. Det skall noteras att resultatet endast stärker slutsatserna för de givna förhållandena som ligger inom avgränsningarna för simuleringsstudien. Resultatet kan exempelvis endast stärka slutsatserna vid ledtid respektive inspektionsintervall om två dagar.

7.1 Uppmätt servicenivå blir högre

Det interpolerande lagerstyrningssystemet ger signifikanta skillnader på uppmätt servicenivå utom vid låg genomsnittlig efterfrågan. Där erhålls samma servicenivåer. Att erhållna servicenivåer överskrider den dimensionerade på 97 procent beror troligtvis på att säkerhetslagret överdimensionerats genom att sättas till noll då negativa säkerhetsfaktorer erhållits. Vidare kan viss överdimensionering härstamma ifrån att efterfrågan underskattats vid användande av optimal orderkvantitet i servicefunktionen (se bilaga 2) Fallet med stora orderkvantiteter relativt genomsnittlig efterfrågan tycks ha störst reducerande verkan på fyllnadsgraden. Systemet som använder interpolation motverkar den effekten och erhåller bättre uppmätta servicenivåer vid sådana förhållanden.

7.2 Uppmätta överdragskvantiteter reduceras

De genomsnittliga överdragskvantiteterna blir lägre vid samtliga efterfrågefall för det interpolerande lagerstyrningssystemet utom vid låg genomsnittlig efterfrågan. Där erhålls samma överdragskvantiteter.

Det kan uppstå negativa överdragskvantiteter som en bieffekt till att släppningen av påfyllnadsordern bygger på skattningar. I fall där den skattade skärningen mellan lagernivån och beställningspunkten hamnar tidigare än den verkliga uppstår ett negativt överdrag. Medelvärdet av överdragskvantiteternas absolutbelopp är dock ändå högre för systemet som inte tar hänsyn till överdrag (med undantag från fallen med låg genomsnittlig efterfrågan). Det indikerar att lagernivån, då ledtiden för inleverans startar, i genomsnitt ligger närmre beställningspunkten vid användande av linjär interpolation jämfört med utan.

7.3 Interpolerande lagerstyrningssystemet påverkar lagerhållningskostnader för uppmätt säkerhetslager med blandat resultat

Lagerhållningskostnaderna för uppmätt säkerhetslager vid en given uppmätt fyllnadsgradsservice på 97 procent mättes och resultatet var tämligen blandat. Vilket lagerstyrningssystem som är mest ekonomiskt fördelaktigt beror på typ av efterfrågefall. Systemet med linjär interpolation verkar vara mer ekonomiskt fördelaktigt vid höga orderfrekvenser, medan det utan verkar vara mer ekonomiskt fördelaktigt vid låga orderfrekvenser och höga uttagskvantiteter.

7.4 Skattning med genomsnittlig efterfrågan under ett inspektionsintervall fungerar inte vid låg efterfrågan

Tidigare nämndes att det fanns flera alternativ för skattning av lagernivån vid nästa inspektionstillfälle. Inom ramen för rapporten presenteras två konkreta förslag, varav ett simuleras och analyseras. Det simulerade tillvägagångssättet innebär att sammanlagda uttag mellan inspektionstillfällena skattas till genomsnittlig efterfrågan under ett inspektionsintervall. Vid kombinationer med låg orderfrekvens och små uttagskvantiteter blir den genomsnittliga efterfrågan väldigt låg. Det tycks leda till att den linjära interpolationen inte får någon verkan och att det interpolerande lagerstyrningssystemet därmed blir identiskt med ett traditionellt system som inte tar hänsyn till överdrag. Det är troligtvis också den bakomliggande anledningen till att identiska servicenivåer och överdragskvantiteter erhöles för de båda systemen vid fallen med låg genomsnittlig efterfrågan.

8. Reflektion

Under den här rubriken avslutas rapporten med en lättare reflektion på alternativ till modellen som inte testats inom ramen för det här arbetet. Här behandlas bland annat simuleringsstudiens begränsningar och dimensionering av säkerhetslager. Vidare ges även ytterligare förslag till vidare forskning.

8.1 Begränsningar i simuleringsstudien

På grund av arbetets tidsaspekt fick tämligen strikta avgränsningar göras. Teoretisk uppbyggnad av nytt lagerstyrningssystem samt simulering som experiment innebär ett väldigt omfattande arbete. Författarna valde därför att avgränsa simuleringsstudien till att analysera ett specialfall av modellen under specifika förhållanden. Den mest begränsande avgränsningen bedöms av författarna vara att simuleringen endast genomfördes med inspektionsintervall respektive ledtid om två dagar. Om fler variabler varierar kan slutsatserna möjligtvis se något annorlunda ut. Resultatet åskådliggör endast samband mellan ett fåtal variabler i beroenden som egentligen kan vara mer komplexa och behöva beskrivas med hjälp av fler dimensioner.

Utöver att variera variabler som rör efterfrågans karakteristika rekommenderas framtida arbeten att även analysera variationer i andra parametrar som exempelvis ledtid respektive inspektionsintervall, lagerhållningsränta, inköpspris och ordersärkostnad.

8.2 Överdimensionerade säkerhetslager

Författarna gjorde bedömningen att negativa säkerhetslager inte skulle tillåtas under simuleringen. Resultatet tycks dock ha blivit överdimensionerade säkerhetslager där uppmätta fyllnadsgrader överstiger den dimensionerande servicenivån för vissa efterfrågefäll. Efter närmare granskning av servicefunktionen (se bilaga 2) vill författarna emellertid påstå att det hade varit analytiskt korrekt att tillåta negativa säkerhetslager. De simulerade systemen dimensionerades för orderkvantiteter i enlighet med Wilsons formel. I många fall blev orderkvantiteterna dock tämligen höga, vilket medför större tillåtna bristkvantiteter under respektive lagercykel enligt fyllnadsgradsdefinitionen. I fall med mycket höga orderkvantiteter relativt standardavvikelsen för efterfrågan under osäker tid (ledtid) kan därför negativa säkerhetslager behövas. Där säkerhetslagret sattes till noll istället för negativt kunde fyllnadsgraden inte förväntas bli så låg som den dimensionerande på 97 procent.

En annan överdimensionerande faktor är att servicefunktionen enligt ekvation (3.3) antar att den dimensionerande orderkvantiteten motsvarar väntevärdet av efterfrågan under en lagercykel (se bilaga 2). Så är inte fallet då beställningspunkten inte dimensionerats för skattat genomsnittligt överdrag som i de simulerade lagerstyrningssystemen. Genom användande av orderkvantiteten i servicefunktionen underskattas genomsnittlig efterfrågan under en lagercykel, vilket leder till att bristkvantiteten skattas högre relativt efterfrågan och att säkerhetsfaktorn därmed överdimensioneras. Används ekvation (3.3) så som den gjorts i simuleringsstudien bidrar överdragen således i ett första steg till att säkerhetslagret överdimensioneras och i ett annat skede till att servicenivåerna reduceras. Två motverkande effekter på erhållen fyllnadsgrad. Överdimensioneringen som beror av underskattad medelefterfrågan bedöms dock vara relativt liten och ha ringa effekt på uppmätt servicenivå, men författarna uppmanar ändå att det är en effekt som bör övervägas inför vidare studier.

8.3 Utlösning av påfyllnadsorder

Den interpolerande lagermodellen bygger på att ledtiden för inleverans inte är bunden till att börja vid ett inspektionstillfälle. Tidigare nämndes att leverantören skulle erhålla extra leveranstid genom att påfyllnadsordern utlöses tiden $\tau - t_1$ tidigare än i ett konventionellt beställningspunktsystem. Författarna var dock inriktade på en annan typ av lösning från början. Den innefattade att systemet per automatik släpper ifrån påfyllnadsordern först vid tidpunkten för interpolationslinjens skärning med beställningspunkten (τ). Simuleringsmodellen hade matematiskt blivit densamma förutsatt att avgränsningen från hänsyn till variationer i ledtid föreligger. Faktum är att simuleringsmodellen är formulerad så att påfyllnadsordrar utlöses vid tidpunkten τ . Därmed stämmer också simuleringsmodellen egentligen bättre överens med det senare alternativet. Det är på grund av avgränsningen till deterministisk ledtid som modellerna kunde formuleras likadant. Skulle hänsyn tas till variationer i ledtid anser författarna dock att alternativet där leverantörerna erhåller tiden $\tau - t_1$ längre tid mellan orderläggning och leverans skulle kunna ha inverkan på säkerhetslagret. Genom att ge leverantören längre tid för leverans bör tidpunkten för inleverans bli mer punktlig, ledtidens variation och därmed efterfrågans variation under ledtid reduceras. Med reducerad variation i ledtid som utgångspunkt anser författarna därför också att det alternativet är mer fördelaktigt än att låta systemet släppa ordern först vid tidpunkten τ . Det kan dock uppstå viss problematik i hanteringen av att ledtiderna erhåller olika variationer beroende på storleken av $\tau - t_1$.

8.4 Interpolation vid transaktionsvis kontroll

Transaktionsvisa kontroller blir kontinuerliga om efterfrågan är kontinuerlig. Tidigare nämndes att det interpolerande lagerstyrningssystemet möjligtvis skulle kunna förse med delkomponenter för att ersätta de diskreta uttagen med en kontinuerlig approximation nära beställningspunkten. I konventionella beställningssystem med transaktionsvisa kontroller kan överdragskvantiteten variera mellan noll och ett mindre än det största möjliga uttaget (Magee och Boodman 1967). Vid stora orderkvantiteter föreligger därmed en risk för stora överdrag trots transaktionsvisa kontroller. Vid efterfrågan innefattande stora orderkvantiteter bör tillvägagångssättet för det interpolerande lagerstyrningssystemet därmed ha mest signifikans.

Det skall dock tilläggas att det interpolerande lagerstyrningssystemet bör förse med verktyg för skattning som är mer statistiskt korrekta eftersom felet numera blir tvådimensionellt. En illa formulerad algoritm för systemet som innebär att tiden till nästa uttag underskattas och/eller uttagskvantiteten överskattas skulle medföra risk för stora negativa överdrag. Därmed kan det vara rimligt att förse systemalgoritmen med ett villkor om att interpolationen utförs endast då den skattade punkten befinner sig inom ett tillräckligt litet tvådimensionellt konfidensintervall. Då skattningarna är bra förväntas emellertid små negativa överdrag realiseras eftersom det riktiga uttaget är diskret och sker senare i tiden än när påfyllnadsordern utlöses. Det skall tilläggas att risken för att interpolation skall försämra lagersystemet endast innefattar situationer då skattningarna bidrar till alldeles för stora negativa överdrag. Om skattningen är sådan att interpolationskurvans skärning sker senare än det riktiga uttaget som medför att beställningspunkten skärs sker en vanlig transaktionsvis kontroll. Författarna anser att tillvägagångssättet är intressant och skulle kunna leda till effektivare lagerstyrning, men lämnar analysen åt vidare forskning.

9. Referenser

Academic Computer Club Umeå Universitet (u.å.) *ANOVA med Minitab*. Hämtad 2016-05-12, från <https://www.acc.umu.se/~marshi/Courses/Kvalitetsteknik%20och%20forsoksplanering/ANOVA%20och%20regression%20med%20Minitab.pdf>

Axsäter, S. (1991). *Lagerstyrning*. Lund: Studentlitteratur.

Baganha, M.P., Pyke, D.F. och Ferrer, G. 1996, "The undershoot of the reorder point: Tests of an approximation", *International Journal of Production Economics*, vol. 45, nr. 1, ss. 311-320.

Bell, J. (2006). *Introduktion till forskningsmetodik*. 4., [uppdaterade] uppl. Lund: Studentlitteratur

Blomqvist, U. (2003). *Försöksplanering: faktorförsök*. Göteborg: Matematiklitteratur i Göteborg

Bryman, A. och Bell, E. (2013). *Företagsekonomiska forskningsmetoder*. 2., [rev.] uppl. Stockholm: Liber.

Chiu, C., Leung, N.Z. och Natarajan, K. 2013, "New analytical bounds on the average undershoot in an infinite horizon inventory system", *Operations Research Letters*, vol. 41, nr. 1, ss. 67-73.

Clapham, C. och Nicholson, J. (2014). *The concise Oxford dictionary of mathematics*. Fifth edition.

DePoy, E. och Gitlin, L. N. (1999). *Forskning: en introduktion*. Lund: Studentlitteratur

Edlund, P-O., Högberg, O. och Leonardz, B. (1999). *Beslutsmodeller: redskap för ekonomisk argumentation*. 4., [omarb.] uppl. Lund: Studentlitteratur.

Ejvegård, R. (2009). *Vetenskaplig metod*. 4. uppl. Lund: Studentlitteratur

Hermerén, G. (1967). *Övningar i logik. 1*. [Ny, utökad uppl.] Lund: Studentlitteratur.

Herron, D. (1987) Integrated Inventory Management, *Journal of Business Logistics*, Vol. 8 nr. 1.

Hill, R.M. 1988, "Stock Control and the Undershoot of the Re-order Level", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39, nr. 2, ss. 173-181.

Holme, I.M. och Solvang, B.K. (1997). *Forskningsmetodik: om kvalitativa och kvantitativa metoder*. 2., [rev. och utök.] uppl. Lund: Studentlitteratur.

Janson, S. (u.å.). Interpolation. *Nationalencyklopedin*. <http://www.ne.se/lang/interpolation> (Hämtad 2016-05-09).

Jonsson, P. – Mattsson, S-A. (2005) Materialplaneringsmetoder i svensk industri - Användning och användningssätt, Logistikföreningen PLAN.

Jonsson, P. och Mattsson, S. 2011, *Logistik: läran om effektiva materialflöden*, 2. uppl. Studentlitteratur, Lund.

Kaplan, R.M. och Saccuzzo, D.P. (2013). *Psychological testing: principles, applications, & issues*. 8. uppl. Belmont, CA: Wadsworth, Cengage Learning.

Kleijnen, J. P.C. (2015). *Design and Analysis of Simulation Experiments* [Elektronisk resurs]. 2. uppl. 2015.

Lagerstyrningsakademien (u.å.a). *Beställningspunktssystem med saldoberoende orderkvantiteter*.

Hämtad 2016-05-09, från

http://lagerstyrningsakademien.se/Hbok%20C/c12_bestallningspunktssystem_med_saldoberoende_orderkvantiteter.pdf

Lagerstyrningsakademien (u.å.b). *Klassificering och betäckningssätt*. Hämtad 2016-05-20, från

http://www.imloq.se/wp/wp-content/uploads/2013/04/c06_klassificering_och_beteckningssatt.pdf

Lagerstyrningsakademien (u.å.c). *Orderradsservice*. Hämtad 2016-05-15, från

http://lagerstyrningsakademien.se/Hbok%20A/a22_orderradsservice.pdf

Lantz, B. (2012). *Operativ verksamhetsstyrning*. 4., [utök.] uppl. Lund: Studentlitteratur.

Magee, J. F. och Boodman, D.M. (1967). *Production planning and inventory control*. 2. uppl., [rev.].

New York: McGraw-Hill.

Matlab (u.å.) *Floating-Point Numbers*. http://se.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/floating-point-numbers.html (Hämtad 2016-05-09).

Mattsson, S-A. (2002) *Känslighetsanalys av beställningspunktssystem*, Forskningsrapport, Institutionen för Teknisk logistik, Lunds Tekniska Högskola.

Mattsson, S-A. (2005) *Överdrag i beställningspunktssystem*, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk ekonomi och logistik, Lunds Universitet.

Mattsson, S-A. (2007a) *Konsekvenser av sju vanliga fel vid lagerstyrning*, PLANs forsknings- och tillämpningskonferens.

Mattsson, S-A. (2007b) *Materialstyrningsmodeller med hänsyn tagen till överdrag och olika efterfrågefördelningar*, Intern forskningsrapport, Institutionen för Teknisk Ekonomi och Logistik, Lunds Universitet.

Mattsson, S-A. (2011) *Val av värde på dimensioneringsvariabler för bestämning av säkerhetslager för orderradsservice*, Intern forskningsrapport, Institutionen för Logistik och transport, Chalmers Tekniska Högskola.

Mattsson, S-A. (2012a) *Hur väl fungerar vanligt använda teoretiska lagerstyrningsmodeller under verkliga förhållanden*, Permatron Research.

Mattsson, S-A. (2012b) *Hänsyn till överdrag som förutsättning för effektiv lagerstyrning*, Permatron Research.

Mattsson, S-A (2015) *Planeringsfrekvensens påverkan på leveransförmåga och kapitalbindning*, Permatron Research.

Real Statistics (u.å.a). *Two Sample t Test: equal variances*. Hämtad 2016-05-25, från <http://www.real-statistics.com/students-t-distribution/two-sample-t-test-equal-variances/>

Real Statistics (u.å.b). *Two Sample t Test: unequal variances*. Hämtad 2016-05-25, från <http://www.real-statistics.com/students-t-distribution/two-sample-t-test-unequal-variances/>

Silver, E.A., Pyke, D.F. och Peterson, R. 1998, *Inventory management and production planning and scheduling*, 3 uppl, Wiley, New York.

Walton, D.N. (2004). *Abductive Reasoning [Elektronisk resurs]*. University of Alabama Press

Wilson, R.H. (1934) A Scientific Routine for Stock Control, *Harvard Business Review*, nr 13.


```

DDLT=LT/240*D;          %Ber%knar efterfrÅgan under ledtid
DDRP=D/240*inspektionsintervall;  %Ber%knar efterfrÅgan under ett
                                %inspektionsintervall

SigmaDDUT=std2(Demand)*sqrt(LT);  %Ber%knar standardavvikelsen för
                                %eftefrÅgan under osäker tid
                                %(ledtid)

% %!!!

% Serv2_uppmatt_medel=0;          % 1 vid negativ loop
% Serv2_dim=Serv2;
% while Serv2_uppmatt_medel<Serv2_dim-0.001  %Plustecken och > vid negativ loop
% %!!!

Gz=(1-Serv2)*Q/SigmaDDUT;        %Ber%knar G(z)

syms Z;                          %Definierar som en variabel
G=@(Z)normpdf(Z)-Z*(1-normcdf(Z)); %Definierar E(z) matematiskt
z=double(vpasolve(G(Z)==Gz,Z));   %L^ser ut s%kerhetsfaktorn z med
                                %avseende på givet G(z)

%Kommentera härifrån vid negativ loop

if z<0
    z=0;
end

%Kommentera hit vid negativ loop

fprintf('G(z) = %f => z = %f\n',Gz,z);

```

```

Ss=SigmaDDUT*z;           %Beräknar säkerhetslagret

k=floor(DDLT/Q);         %Beräknar antalet (extra)
                          %uteliggande ordrar
ROP=round(DDLT-Q*k+Ss);   %Beräknar Bestöllningspunkten
Återfyllnadsniva=ROP+Q;   %Beräknar Återfyllnadsnivan

%Skapar gränser för nästlade for-loopar. t=dagnummer, i=artikelnummer
[tmax,imax]=size(Demand);
%Fördimensionerar matrisen med lagernivåerna
L=zeros(tmax,imax);
%Genererar tidpunkter för kontroll av lagernivå.
t_inspektion=inspektionsintervall:inspektionsintervall:tmax;
p=1;
O=1;
for i=1:imax             %Loopar över alla artiklar
    l=ceil(ROP);         %Definierar l=L(t=1)=ROP
    inleverans=zeros(1,tmax); %Definierar inleverans, en vektor
                          %som anger antalet inleveranser
                          %för respektive dag

    qvant=zeros(1,tmax);
    Prognos=zeros(1,tmax);
    for t=1:tmax         %Loopar över alla dagar
        if inleverans(t)==1;
            if l<0;
                Ss_uppmatt(p)=0; %Uppmätt säkerhetslager definieras
                                %som lagernivån vid inleverans.
                                %Vid brist är den noll.
            end
        end
    end
end

```

```

else
    Ss_uppmatt(p)=I;
end

qvant_uppmatt(p)=qvant(t);

p=p+1;
end

%Beräknar I med hänsyn till eventuell inleverans
I=I+qvant(t)*inleverans(t)-Demand(t,i);

%Nollställer inleveransen efter att den är mottagen
%(behövs för att kontrollera om ej levererade påfyllnadsordrar
%existerar)
inleverans(t)=0;

%Prognosticerar lagernivån vid n%sta inspektionstillfälle
I_prognos=I-D/240*inspektionsintervall;

if sum(inleverans)<k+1      %Kontrollerar om ej levererade
                            %påfyllnadsordrar existerar

    if sum(t_inspektion==t)  %Undersöker om t är ett
                                %inspektionstillfälle eller inte.
                                %Om det är tid för inspektion
                                %kollas först lagret mot
                                %Beställningspunkten och
                                %påfyllnadsorder utgår om lagret
                                %ligger under beställningspunkten

        if I<=ROP
            %En inleverans läggs in om en ledtid genom att ändra nollan
            %till en etta
            inleverans(t+LT)=1;

            %Beräknar kvantiteten som beställs
            qvant(t+LT)=Aterfyllnadsniva-I;

            OD(O)=ROP-I;
        end
    end
end

```

```

O=O+1;

% %!!Kommentera härifrån för att få vanligt beställningspunktssystem!!

%Kontrollerar prognosvärdet gentemot beställningspunkten
    elseif I_prognos<=ROP
%Beräknar tau mha linjär interpolation
    tau=t+(ROP-I)/(I_prognos-I)*inspektionsintervall;
%Lägger in en inleverans på den dagen som bäst matchar modellen. Obs bunden till hela dagar
    inleverans(round(tau)+LT)=1;
    qvant(round(tau)+LT)=Q;
    Prognos(round(tau))=1;
%!!Kommentera hit för att få vanligt beställningspunktssystem!!

    end
    end
end
if Prognos(t)==1
    OD(O)=ROP-I;
    O=O+1;
end
%Sparar lagernivån för artikel i vid tidpunkt t i en matris
    L(t,i)=I;
end
end

L0=ceil(ROP)*ones(1,size(L,2)); %Antar ROP st i lager vid startpunkt t=0
L=[L0;L];
brist=zeros(size(L,2),1);

```

```

for i=1:size(L,2)

    Li=L(:,i);           %Lagernivån för artikel 1
    Di=Demand(:,i);     %Efterfrågan artikel i
    koord=find(Li<0);

    for j=1:length(koord)

        Li_brist=Li(koord);

    end

    intervallstart(1)=1;
    h=2;
    for j=1:length(koord)-1
    if (koord(j+1)-koord(j)>1)
        intervallstart(h)=j+1;
        h=h+1;
    end
    end

    for j=1:length(intervallstart)-1

        bi=Li_brist((intervallstart(j):(intervallstart(j+1)-1)));

        brist(i)=brist(i)+min(bi);

    end

    brist(i)=brist(i)+min(Li_brist(intervallstart(length(intervallstart))));
    intervallstart=0;

    Serv2_uppmatt(i)=(sum(Di)-abs(brist(i)))/sum(Di);

    end

Ss_medel=mean(Ss_uppmatt);
Q_medel=mean(qvant_uppmatt);

```



```
StdSs=std(Ss_uppmatt);
StdQ=std(qvant_uppmatt);
Orderkvantitetsdiff=(Q_medel-Q)/Q;
Serv2_uppmatt;
Serv2_uppmatt_medel=mean(Serv2_uppmatt);
StdServ2=std(Serv2_uppmatt);
%%!!!
% Serv2=Serv2+0.001;    % minustecken vid negativ loop
% end
%%!!!

for i=1:size(L,1)
for j=1:size(L,2)
    if L(i,j)<0
        L_kostnad(i,j)=0;

    else
        L_kostnad(i,j)=L(i,j);
    end
end
end

end

xlswrite(Resultatnamn1,Serv2_uppmatt',1,Resultatkolumn)
xlswrite(Resultatnamn2,OD',1,Resultatkolumn)
```

Bilaga 2: Härledning av servicefunktionen

Följande härledning är baserat på material från Silver och Pyke (1998) samt Lantz (2012).

För givna värden på påfyllnadsorderkvantiteten, önskad fyllnadsgrad och standardavvikelsen för efterfrågan under ledtid kan ett värde på servicefunktionen beräknas enligt:

$$G(z) = \frac{(1 - \text{serv}2)Q}{\sigma_{DDL T}}$$

För att erhålla djupare förståelse i uttrycket ovan väljer författarna att lösa ut fyllnadsgraden ur ekvationen ovan enligt:

$$\text{Serv}2 = 1 - \frac{\sigma_{DDL T}G(z)}{Q} = \frac{Q - \sigma_{DDL T}G(z)}{Q}$$

I härledningen nedan sätts $\sigma_{DDL T}G(z)$ till väntevärdet av bristen under en lagercykel. Serv2 definieras som andelen av efterfrågan som kan levereras direkt från lager. Enligt definitionen skall alltså påfyllnadsorderkvantiteten Q motsvara efterfrågan under en lagercykel. Genom att förlänga kvoten ovan med antalet lagercykler N åskådliggörs kopplingen till definitionen av fyllnadsgradsservice på ett tydligare sätt:

$$\text{Serv}2 = \frac{NQ - N\sigma_{DDL T}G(z)}{NQ}$$

NQ motsvarar efterfrågan under N lagercykler, åtminstone på ett ungefär förutsatt att systemet har en vettig algoritm. Vid dimensionering är tanken att NQ skall motsvara väntevärdet av efterfrågan under kommande N lagercykler. I ett $(-,s,S)$ -system bör väntevärde av efterfrågan under en lagercykel dock sättas till väntevärdet av orderkvantiteten snarare än den framräknade orderkvantiteten Q som i ett (s,Q) -system. I ett (s,S) -system där kontinuerlig kontroll antas blir väntevärdet av Q densamma som det kända Q i motsvarande (s,Q) -system förutsatt att uttagskvantiteterna är en styck. Förutsätts däremot inte kontinuerlig kontroll och uttag om en styck blir väntevärdet av Q däremot högre på grund av förväntade överdrag. För att erhålla korrekt värde på servicefunktionen bör därmed väntevärdet av överdraget adderas till Q vid beräkningen av värdet på servicefunktionen. Med det tillägget i ekvationerna ovan fås följande:

$$\begin{aligned} \text{Serv}2 &= \frac{\text{Förväntad efterfrågan under } N \text{ cykler} - N\sigma_{DDL T}G(z)}{\text{Förväntad efterfrågan under } N \text{ cykler}} = \text{Serv}2 \\ &= \frac{NE(Q) - N\sigma_{DDL T}G(z)}{NE(Q)} = \frac{N[(S - s) + E(\text{Överdrag})] - N\sigma_{DDL T}G(z)}{N[(S - s) + E(\text{Överdrag})]} \end{aligned}$$

Uttrycket ovan är resultatet av författarnas omformulering av servicefunktionen. Observera att S avser återfyllnadsnivån som inte är dimensionerad med hänsyn till överdrag i uttrycket ovan. Vid dimensionering av fyllnadsgraden i ett (I,s,S)-system som inte tar hänsyn till överdrag underskattas efterfrågan om dimensioneringen sker enligt formeln nedan. Det leder också till att säkerhetsfaktorn överskattas, att säkerhetslagret blir större och att det döljer en del av de reducerade servicenivåerna som härstammar från överdragsproblematiken. Fyllnadsgradsservice kan således anses dölja effekterna av att ta hänsyn till överdrag gentemot att inte göra det. Arbetet avgränsades emellertid från vidare behandling av uttrycket ovan och vid den genomförda simuleringen har den gamla vedertagna formeln för beräkningen av värdet på servicefunktionen använts enligt:

$$G(z) = \frac{(1 - serv2)Q}{\sigma_{DDL}}$$

Observera dock att uttrycket ovan som tidigare nämndes underskattar den totala efterfrågan och därmed genererar för höga värden på säkerhetsfaktorn.

Nedan härleds $G(z)$ med utgångspunkt från att $\sigma_{DDLT}G(z)$ är väntevärdet av bristen under en lagercykel.

Definiera variabeln efterfrågan under ledtid: $DDLT \sim N(\mu_{DDLT}, \sigma_{DDLT})$

Väntevärdet av bristen per lagercykel fås enligt:

$$E(\text{brist}_{\text{cykel}}) = \int_{\mu_{DDLT} + Ss}^{\infty} [DDLT - (\mu_{DDLT} + Ss)] \cdot f_{DDLT}(DDLT) dDDLT$$

$$\text{där } f_{DDLT}(DDLT) = \frac{1}{\sigma_{DDLT}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(DDLT - \mu_{DDLT})^2}{2\sigma_{DDLT}^2}}$$

Sätt: $Ss = z\sigma_{DDLT}$

Definiera variabeln Z så att $Z = \frac{DDLT - \mu_{DDLT}}{\sigma_{DDLT}}$ då gäller exempelvis att $P(DDLT \geq \mu_{DDLT} + z\sigma_{DDLT}) = P(Z \geq z)$

Utför variabelsubstitution där $\frac{dZ}{dDDLT} = \frac{1}{\sigma_{DDLT}} \Rightarrow dZ = \frac{1}{\sigma_{DDLT}} dDDLT$

$$E(\text{brist}_{\text{cykel}}) = \int_{\mu_{DDLT} + z\sigma_{DDLT}}^{\infty} [DDLT - (\mu_{DDLT} + z\sigma_{DDLT})] \cdot \frac{1}{\sigma_{DDLT}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(DDLT - \mu_{DDLT})^2}{2\sigma_{DDLT}^2}} dDDLT =$$

$$E(\text{brist}_{\text{cykel}}) = \int_{\mu_{DDLT} + z\sigma_{DDLT}}^{\infty} \sigma_{DDLT} \left[\frac{DDLT - \mu_{DDLT} - z\sigma_{DDLT}}{\sigma_{DDLT}} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(DDLT - \mu_{DDLT})^2}{2\sigma_{DDLT}^2}} \frac{1}{\sigma_{DDLT}} dDDLT =$$

$$\int_z^{\infty} \sigma_{DDL T}(Z - z) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dZ$$

Här är $f_Z(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dZ$ vilket ger:

$$\int_z^{\infty} \sigma_{DDL T}(Z - z) f_Z(Z) dZ = \sigma_{DDL T} \int_z^{\infty} (Z - z) f_Z(Z) dZ = \sigma_{DDL T} G(z)$$

Servicefunktionen $G(z)$ definieras som kvoten mellan förväntad brist under en lagercykel och standardavvikelsen av efterfrågan under tiden som bristen kan uppstå, vilket också är detsamma som väntevärdet av differensen $Z - z$ givet att $Z \geq z$

$$\begin{aligned} G(z) &= \int_z^{\infty} (Z - z) f_Z(Z) dZ = \int_z^{\infty} Z f_Z(Z) dZ - \int_z^{\infty} z f_Z(Z) dZ = f_Z(z) - z \int_z^{\infty} f_Z(Z) dZ \\ &= f_Z(z) - [z(1 - \Phi_Z(z))] \end{aligned}$$

Där är $\Phi_Z(z)$ standardnormalfördelningens kumulativa fördelningsfunktion och fås enligt:

$$\int_z^{\infty} f_Z(Z) dZ = 1 - \int_{-\infty}^z f_Z(Z) dZ = 1 - \Phi_Z(z)$$

Motsvarande resultat fås för det mer allmänna fallet med variabeln efterfrågan under osäker tid:

$$DDUT \sim N(\mu_{DDUT}, \sigma_{DDUT})$$

Resultatet ovan kan användas direkt för att generera egna tabeller via inbyggda funktioner i exempelvis Excel. Vid dimensionering av säkerhetslagret behövs dock värdet på säkerhetsfaktorn för givet värde på servicefunktionen. Silver och Pyke (1998) anger en approximativ invers till servicefunktionen, men så länge det bara handlar om att hämta värdet på säkerhetsfaktorn för givet värde på servicefunktionen behövs ingen sådan approximation. Program som Matlab och Excel är, åtminstone idag, försedda med funktioner för ekvationslösning. Servicefunktionen kan formuleras enligt ovan med hjälp av inbyggda funktioner för normalfördelningen på ett väldigt enkelt och elegant sätt.

I Matlab kan följande programkod användas:

```
Gz=(1-Serv2)*Q/SigmaDDUT;           %Beräknar värdet på servicef. G(z)

syms Z;                               %Definierar Z, symbolisk variabel

G=@(Z)normpdf(Z)-Z*(1-normcdf(Z));    %Definierar G(z) enl reultat ovan

z=double(vpasolve(G(Z)==Gz,Z));       %Löser ut säkerhetsfaktorn z
```

I Excel skrivs servicefunktionen in enligt urklippet nedan i målcellen som funktion av z (justerbar cell). Ekvationslösaren *målsökning* återfinns under fliken verktyg. Målcell, justerbar cell och dimensionerande värde på servicefunktionen anges sedan i rutan enligt urklippet nedan.

