

Materials Requirement Planning

– En analyse af konsekvenserne af en stokastisk efterspørgsel med Silver-Meal modellen

Materials Requirement Planning

- An analysis of the consequences of a stochastic demand with the Silver-Meal model

Speciale for kandidatgraden i Matematik og Økonomi, Cand.merc.(mat.)

Thesis for the Master Of Science in Business Administration And Management Science, MSC.

Forfatter: Kristina Forsberg

Vejleder: Kasper Holst Hansen

Dato for aflevering: 2. juni 2014

Copenhagen Business School 2014

Anslag: 151.188 fordelt på 78 normalsider med figurer og tabeller

Abstract

Most production companies rely on a forecast to tell them how much to produce and when the items need to be done. However many companies have to deal with some kinds of uncertainties in the production, for example in supply and demand and a forecast, that takes every aspect into account, is a costly affair. So many companies rely on safety stocks as a common measure to cope with this kind of uncertainty.

This thesis investigates how Materials Requirements Planning, with the use of Silver-Meal Heuristic as ordering model, deals with the fact that the demand isn't as known as we want it to be.

Through several simulations, the Materials Requirements Planning model is tested with a stochastic demand; one with seasonality and one without. The result gave reason to believe that a safety stock would help the company reach their service goal. An improvement in the service rate and in the total costs was seen as an effect due to the inserted safety stock.

Not only was the Materials Requirement planning model tested, but the Silver-Meal heuristic was tested as well. The Silver-Meal model was tested to check how sensitive the model is to changes in the different kind of variables in the model. It was found that the Silver-Meal model depends negatively on the ordering costs and positively on the storage costs.

Indholdsfortegnelse

Abstract	0
Figurfortegnelse	3
Tabelfortegnelse	4
Indledning	5
1. Kapitel	6
Problemidentificering	6
Problemformulering.....	6
Afgrænsning	6
Metode.....	8
Opgavestruktur.....	10
2. Kapitel	11
Materials Requirement Planning.....	11
Silver-Meal heuristik	19
Silver-Meal i MRP modellen	22
Sikkerhedslager.....	24
Simulation	26
3. Kapitel	30
Simulering 1.....	30
Flad efterspørgsel	30
Delkonklusion	43
Efterspørgsel med sæson udsving	45
Delkonklusion	55
Efterspørgsel med sæson vs. flad efterspørgsel	57
Delkonklusion	62
Simulering 2.....	63
Variation af Bestillingsomkostningen A	63
Variation af lagerholdsomkostningen v	65
Delkonklusion	66
Perspektivering.....	68
Konklusion	74
4. Kapitel	77
Litteraturliste.....	77
Bilag.....	78

Figurfortegnelse

Figur 2.1: Niveau plan over kong Phlip stolen.....	12
Figur 3.1: Opnået servicemål med flad efterspørgsel og uden sikkerhedslager i produktionen.	31
Figur 3.2: Omkostninger med flad efterspørgsel og uden sikkerhedslager i produktionen.	31
Figur 3.3: Udviklingen i det månedlige sikkerhedslager for flad efterspørgsel.....	32
Figur 3.4: Udviklingen i det årlige sikkerhedslager for flad efterspørgsel.	33
Figur 3.5: Opnået servicegrad for flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.....	34
Figur 3.6: Omkostninger for en flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.	36
Figur 3.7: Opnået servicegrad for flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.	38
Figur 3.8: Omkostninger ved flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.	39
Figur 3.9: Ending inventory ved flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.	41
Figur 3.10: Ending inventory ved flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.	42
Figur 3.11: Edning inventory ved efterspørgsel med sæson uden sikkerhedslager.	45
Figur 3.12: Viser forskellen på om man kigger på den årlige eller månedlige servicegrad uden sikkerhedslager.....	46
Figur 3.13: Omkostninger med en efterspørgsel med sæson uden sikkerhedslager.	47
Figur 3.14: Udviklingen i det månedlige sikkerhedslager under efterspørgsel med sæson.	47
Figur 3.15: Udviklingen i det årlige sikkerhedslager under efterspørgsel med sæson.	48
Figur 3.16: Opnået servicegrad under efterspørgsel med sæson med indsat månedligt sikkerhedslager.....	49
Figur 3.17: Omkostninger ved efterspørgsel med sæson med månedligt sikkerhedslager.....	49
Figur 3.18: Opnået servicegrad ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerhedslager.	51
Figur 3.19: Omkostninger ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerhedslager.	52
Figur 3.20: Ending inventory ved efterspørgsel med sæson med månedligt sikkerhedslager.	53
Figur 3.21: Ending Inventory ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerheslager.....	54
Figur 3.22: Forskel på opnået servicegrad uden sikkerhedslager i forhold til efterspørgslens udformning. ..	57
Figur 3.23: Forskel på omkostningerne uden sikkerhedslager i forhold til efterspørgslens udformning.....	58
Figur 3.24: Forskel i månedligt sikkerhedslager ud fra efterspørgslens udformning.	58
Figur 3.25: Forskel i årligt sikkerhedslager alt ud fra efterspørgslens udformning.....	59
Figur 3.26: Forskellen på en flad efterspørgsel og en efterspørgsel med sæsons omkostninger ved 95 % månedligt lager.....	59
Figur 3.27: Forskel i omkostningerne ved det rette valg af månedligt sikkerhedslager som passer til den enkelte efterspørgsel.....	60
Figur 3.28: Forskel på de to efterspørgsers omkostninger ved 95 % årligt sikkerhedslager.....	61
Figur 3.29: Forskel på de to efterspørgsers omkostninger ved det rette valg af årligt sikkerhedslager.	61

Tabelfortegnelse

Tabel 1.1: Standard data med efterspørgsel præget af sæson	9
Tabel 1.2: Standard data med flad efterspørgsel	9
Tabel 2.1: Overblik af de forskellige MPS due dates.	14
Tabel 2.2: Overblik af tidspunkterne for hvornår virksomheden senest skal starte med at samle stolene.	14
Tabel 2.3: MRP skemaet for sædet i niveau 1 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.	14
Tabel 2.4: MRP skema af Legs assembly i niveau 1 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.	16
Tabel 2.5: MRP skema af Legs i niveau 2 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.	17
Tabel 2.6: MRP skema af Crossbars produktionen i niveau 2 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.	17
Tabel 2.7: Standard data med efterspørgsel er præget af sæson.	20
Tabel 2.8: Tabel over Silver-Meal beregningen for den første bestilling.	21
Tabel 2.9: Resultatet af hvornår og hvor meget der skal bestilles ved brug af Silver-Meal modellen.	21
Tabel 2.10: Overblik af MPS due dates.	22
Tabel 2.11: Overblik over start assembly tidspunkter.	22
Tabel 2.12: MRP skema over sædet i niveau 1 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.	22
Tabel 2.2.13: MRP skema af Legs assembly i niveau 1 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.	23
Tabel 2.2.14: MRP skema af Legs i niveau 2 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.	23
Tabel 2.15: Monte Carlo fordelingen med de kumulative sandsynligheder.	29
Tabel 3.1: Besparelser hvis virksomheden vælger et månedligt sikkerhedslager på 95 %.	36
Tabel 3.2. Besparelser hvis virksomheden vælger et årligt sikkerhedslager på 90 %.	40
Tabel 3.3: Hvor mange bestillinger Silver-Meal modellen laver i forhold til størrelsen af bestillingsomkostningen A.	63
Tabel 3.4: Hvor meget bestillingsomkostningen V kan varierer og der stadig skal ligges 7 bestillinger som i standard data i løbet af 12 måneder.	64
Tabel 3.5: Hvor mange bestillinger Silver-Meal modellen ligger når lageromkostningen V varierer.	65
Tabel 3.6: Hvilke intervaller lageromkostningen V skal ligge i for, at der stadig ligges 7 bestillinger som i standard data i løbet af 12 måneder.	65

Indledning

Når en produktionsvirksomhed skal producere mange forskellige produkter på samme tid er der risiko for, at der kan ske fejl og opstå mangler undervejs i produktionen. For at dette ikke skal ske er virksomheden nødt til, at have et overblik over hvilke produkter de skal bruge, hvor mange af hvert produkt der er brug for, samt hvornår disse skal være klar til forbrugerne. Virksomheden er nødt til, at kunne forudse hvilke problemstillinger der kan opstå undervejs, og hvordan disse skal håndteres for, at det ikke går ud over produktionen eller kun gør det i så lille en grad, at det ikke bemærkes i forhold til, at møde efterspørgslen. Virksomheden skal have overblik over efterspørgslen, og komme med et forecast på hvordan efterspørgslen vil være i fremtiden. Det er vigtigt, at virksomheden fokuserer på omkostningerne forbundet med produktionen, lagerholdningen og medarbejderne, samtidig skal de gøre sig tanker om i hvor høj grad de tilstræber, at imødekomme efterspørgslen og hvad de er villige til, at ofre for at nå målene.

Alt dette er elementer som er en del af Production Management, som udgør en række teorier og modeller om måder hvorpå man kan opstille og planlægge ens produktion ned til mindste detalje for, at skabe et overblik over alle dele af produktionen, lige fra efterspørgsel til omkostninger. Modellerne udgør tilsammen et særdeles stærkt værktøj, når det handler om planlægning af produktion, da det i sidste ende går ud på, at møde efterspørgslen til tiden og til laveste omkostninger.

Materials Requirement Planning er en Production Management model, som i sin enkelthed går ud på, at planlægge produktionen således, at alle delprodukter samt slutprodukter er klar til tiden for, at kunne undgå forsinkelser i produktionen og imødekomme efterspørgslen. Virksomheden har brug for en bestillingsmodel i Materials Requirement modellen, og der findes mange indenfor Production Management teorien. Silver-Meal Heuristik er en af dem, og den er interessant på det punkt, at den både tager bestillingsomkostninger og lagerholdsomkostninger med i beregningen af hvornår der skal leveres til virksomheden. Begge modeller bygger på en kendt efterspørgsel, men virkeligheden er ikke så kendt og hvad skal en virksomhed gøre når de står overfor en usikkerhed i deres produktion? De fleste virksomheder sikrer sig med et sikkerhedslager, men er det nødvendigt under Materials Requirement Planning eller kan man gøre andet for at sikre sig imod usikkerheden? Det er hvad denne afhandling søger, at undersøge.

1. Kapitel

Problemidentificering

I diverse bøger omkring produktionsplanlægning og lageroptimering er mange teorier beskrevet og mange af dem bygger på, at efterspørgslen er kendt og kun med små fluktueringer. Dette stemmer ikke overens med virkeligheden, da en efterspørgsel er afhængig af mange faktorer, såsom produktets popularitet, hvornår produktet bruges bedst (sæson afhængig), prisen osv. Efterspørgslen vil derfor fluktuere efter hvilke faktorer, som vægter mest hos den enkelte forbruger, men hvis disse udsving er store, hvilken indflydelse har disse fluktueringer i efterspørgslen på de teorier som står i bøgerne, og er der en måde man kan beskytte sig mod denne form for udsving? Materials Requirement Planning er en produktionsmodel, som er bygget op omkring det at efterspørgslen er kendt, men hvad sker der med modellen hvis efterspørgslen pludselig ikke er så kendt igen?

Problemformulering

Jeg ønsker, at undersøge hvad en stokastisk efterspørgsel har af indflydelse på produktionsmodellen Materials Requirement Planning, hvor bestillingerne bliver gjort ved hjælp af bestillingsmodellen Silver-Meal heuristisk. Desuden vil jeg undersøge hvilke tiltag man kan benytte sig af for, at sikre sig mod de udsving der kan forekomme. Jeg vil analysere hvad de enkelte parametre i Silver-Meal modellen har af indflydelse på hvor meget der bliver bestilt, og hvornår dette bliver bestilt.

Afgrænsning

Denne afhandling er skrevet til og for personer med en grundlæggende forståelse for økonomi og matematik på niveau med Cand.merc.(mat.). Der vil derfor ikke blive forklaret yderligere hvordan den generelle matematik bag udregningerne foregår eller hvordan den basale økonomi er, det tages for givet, at læseren har kendskab til dette.

Der ligger mange elementer til grund for selve Materials Requirement Planning, grundet begrænsninger for sideantal på opgaven vil alle elementer ikke blive behandlet i denne afhandling. Derfor vil der kun kort blive beskrevet hvordan et Material Planning Schedule fungerer og går derfor ikke i dybden med detaljer omkring beregninger eller informationer man skal bruge for, at konstruere

et. Desuden vil, der ikke blive gået i detaljerne omkring hvordan leadtimes er fundet, men det forklares blot hvad de er for en størrelse og hvorfor de er vigtige.

Materials Requirement Planning indeholder mange forskellige betegnelser og nogen af dem mister lidt af deres betydning eller lyder dumt, når de oversættes til dansk. Der vil derfor være brugt både de engelske og danske betegnelser opgaven igennem.

Der udregnes Materials Requirement Planning for tolv måneder, da en virksomhed normalt planlægger et år frem i tiden og dette giver et godt indblik i hvad en virksomhed har af udfordringer i løbet af et år. Derudover vil det med en længere tidshorisont hurtigt blive uoverskueligt, at opstille modellen i Excel samt, at det ikke har relevans med en produktionsvirksomhed i tankerne.

Afhandlingens problem omhandler stokastisk efterspørgsel i Materials Requirement Planning, som i princippet kan bruges i relation til flere af de mange bestillingsmodeller der findes i teorien. Valget af den rette model, afhænger af hvad den enkelte virksomhed producere og hvad de foretrækker i forholdet mellem de tilhørende omkostninger. A) har komponenterne liggende klar på lageret og ikke tænker så meget på de omkostninger herved, men mere på hvad det koster, at bestille og få leveret, B) levering af komponenterne i samme øjeblik som de skal benyttes i produktionen og derved sparer penge på lageromkostninger eller C) en kombination af de A og B.

I denne opgave vil der gøres brug af Silver-Meal heuristik, da denne skulle klare sig bedre under usikkerhed i efterspørgslen end de andre oftere benyttede modeller derudover kombinerer den de to fokusområder vedrørende, at mindske omkostningerne for både bestilling og lagerholdning. Der vil undervejs blive henvist til *Economic Order Quantity*, herefter kaldet EOQ, men der vil ikke blive gået yderligere i dybden med denne bestillingsform. For at kunne sammenligne, hvad der sker i *Materials Requirement Planning* modellen har jeg valgt, at tage *Lot-For-Lot* bestillingsmodellen med, da denne er en modsætning til Silver-Meal modellen og giver derfor et godt indblik i fordelene og ulemperne der er de to modeller imellem.

Simuleringerne er lavet i Excel for, at fremskaffe det data som ligger til grund for selve analysen. Normalt laves der 10.000 eller flere kørsler, men da dette er lavet i Excel er det begrænset til 5000 kørsler og dette kan godt bruges som optimalt udgangspunkt for, at kunne sige noget generelt ud fra de fund man kommer frem til.

To forskellige simuleringer er lavet, hvoraf ændringer i parameter har genereret en serie af under-simuleringer. Den ene simulering vil blive benyttet til, at undersøge hovedspørgsmålet for opgaven. Her er leadtimes holdt fast og det antages, at leverandører leverer til tiden, medmindre andet er angivet. Der er desuden sat et minimum på bestillingerne ved hver af delprodukterne.

Gennem den anden simulering undersøges selve Silver-Meal modellens forskellige parametre og hvilken indflydelse disse har på bestillingerne. Der er her gjort brug af de samme antagelser, som under den første simulering hvad angår bestillingsminimum osv. Der er brugt Monte Carlo simulering til denne simulering.

Metode

Formålet med opgaven er, at skabe en dybere forståelse for det valgte emne, hvilket gøres gennem behandling af problemformuleringen for afslutningsvis, at konkludere på de afstedkommentede resultater.

Afhandlingen er en ren teoretisk afhandling og indgangsvinklen vil være en positivistisk teoretisk synsvinkel, da jeg ud fra mit simulerede datasæt vil udarbejde de analyser der vil ligge til grund for besvarelsen af problemstillingen.

I skriveprocessen har jeg benyttet mig af en deduktiv og en induktiv tilgang til opgaven. Der er altså taget udgangspunkt i teorien for at konkludere i empirien, men omvendt er empirien også blevet brugt, og herefter konkluderet på ved, at gøre brug af teorien. For at løse problemstillingen er jeg startet med, at forholde mig til en deduktiv metodik og er derefter gået over til en undersøgende induktiv metodik, hvor resultaterne og observationer vil blive vurderet i en kvantitativ sammenhæng.

Modellen opgaven er bygget op på er sat op til, at skulle producere en stol kaldet en "Kong Philip" stol, den bliver nærmere forklaret i afsnittet "Materials Requirement Planning". De forskellige data der er benyttet i denne opgave er kvantitativt og for, at have noget at sammenligne med er der blevet gjort brug af standard data. Det ene sæt standard data er taget fra et eksempel i bogen "

*Inventory Management and Production Planning and Scheduling*¹s. 202 og dette danner basis for hvad der er den korrekte mængde, at producere og bestille hjem.

Standard dataet ser således ud:

$A = \$54$; $v = \$20$ pr stk.; $r = \$0,02$ pr. stk/mdr.

Måned j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Efterspørgsel $D(j)$	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41

Tabel 1.1: Standard data med efterspørgsel præget af sæson

For at generere en datamængde, som indeholder ens karakteristika og fordeling er de dannet ved hjælp af simulering i Excel, herunder Monte Carlo simulering. Dette gør, at den stikprøve, som genereres udgør en god repræsentation af hele datasættet og kan derfor ses som en valid datamængde, til trods for den mindre størrelse.

Det ovenstående standardiserede data indeholder en efterspørgsel med sæsonudsving, der ønskes desuden en efterspørgsel som er flad. Derfor vil standard data for den flade efterspørgsel bestå af:

Måned j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Efterspørgsel $D(j)$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabel 1.2: Standard data med flad efterspørgsel

Begge efterspørgsler har en samlet efterspørgsel på 1200 styk på året. De to efterspørgsler vil begge blive brugt i hver sin simulering og vil til slut blive sammenlignet.

Hvis lageret går i minus, vil det være en shortage omkostning for virksomheden på \$20 og denne dækker de omkostninger der er i forbindelse med tab af salg som følge af denne stockout.

¹ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, " *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc.

Opgavestruktur

Opgaven er bygget op omkring 4 kapitler.

1. Kapitel: Kapitlet indeholder indledning, problemstilling, problemformulering, afgrænsning, metode og opgavestruktur. Dette er med til, at give et indblik i baggrunden for opgaven samt hvilke afgrænsninger og antagelser der er lagt til grunde for det, der kommer senere i opgaven.
2. Kapitel: Kapitlet indeholder teoriafsnittene omkring Materials Requirement Planning og Silver-Meal modellen, som særskilte modeller og et afsnit hvor de kædes sammen til en model. Derudover er sikkerhedslager samt simulation her gennemgået teoretisk.
3. Kapitel: Kapitlet indeholder analyserne lavet på baggrund af de to simuleringer, perspektivering og konklusionen. Simulering 1 hvor, der undersøges hvorvidt modellen kan modstå en stokastisk efterspørgsel og hvor der analyseres om, der skal indsættes et sikkerhedslager. Simulering 2 hvor hver af Silver-Meal modellens parametre undersøges. En perspektivering vil blive foretaget, til de analyser der allerede forefindes i teorien/litteraturen og, som er godkendte analyser for Materials Requirement Planning med en stokastisk efterspørgsel. Til sidst konklusionen, som indeholder alle de fund der er blevet gjort i analyserne.
4. Kapitel: Dette kapitel indeholder litteraturlisten samt alle de tilhørende bilag til opgaven.

2. Kapitel

Materials Requirement Planning

Materials Requirement Planning (MRP) er en proces som tager den overordnede produktions plan, the Master Production Schedule (MPS), og splitter den ud i de enkelte komponenter sådan, at der herefter fremstår en detaljeret oversigt over produktionen samt genanskaffelsen af samtlige dele, dvs. timing og antal.

For at dette kan lade sig gøre er det nødvendigt, at kende alle de komponenter der skal bruges til, at producere det endelige produkt. Derfor er MRP afhængig af en materialeliste (Bill Of Materials(BOM)). En materialeliste fortæller præcis hvor mange af de enkelte komponenter, eller delkomponenter, der er brug for til at kunne samle en delkomponent eller et endelig produkt. Hvis man eksempelvis ser på en stol, da skal den have nogle ben, et sæde samt et ryglæn. De enkelte dele afhænger af hvilken model stol der er tale om. I denne opgave vil det ønskede produkt være en "Kong Philip" stol, den består af 10 forskellige dele, et sæde, to forben, to sidestykker, tre bag lameller og to tværstykker.

For at hele produktionen skal forløbe systematisk bliver man nødt til, at dele produktionen op i forskellige niveauer og når man har materialelisten for det endelige produkt ved man hvilket niveau de forskellige komponentsamlinger tilhører. "Kong Philip" stolen bliver samlet ved, at benytte allerede samlede dele: ben, ryglæn samt et sæde. Disse samlinger sker forinden via en samling af benene, en samling af ryglænet og sædet for sig. For at kunne overskue dette tildeles de enkelte komponenter et niveau ud fra hvornår de skal benyttes i produktionen:

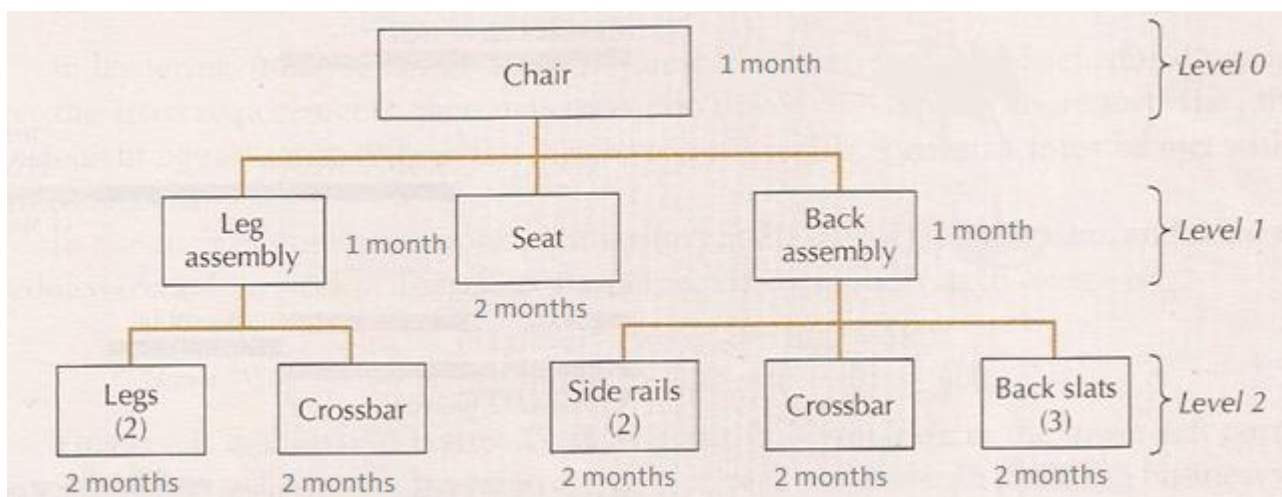
- Niveau 0: er det færdige produkt og denne bliver ikke benyttet af andre produkter.
- Niveau 1: er en underkomponent af niveau 0 produktet, men kan dog også i sig selv være det færdige produkt.
- Niveau 2: er en underkomponent af niveau 1 produktet, men kunne også være en direkte komponent af niveau 0, eller et færdigt produkt.

- Niveau N: er en underkomponent af niveau $(n - 1)$ produktet, altså en komponent på materialelisten med niveau $(n - 1)$.²

Sådan fortsætter den nedad i materialelisten indtil man har været igennem alle komponenter, der mangler at blive tildelt et niveau.

Hvordan ved man hvilket niveau et produkt, som både kan sælges som et slutprodukt (niveau 0), men som også indgår som en komponent i produktionen har? Dette løser MRP ved, at tildele komponenten det niveau, som er højest rangerende det vil sige hvis produktet indgår i produktionen ved niveau 2, men samtidigt kan sælges som et slutprodukt (niveau 0), da tildeles produktet niveau 2 på materialelisten.

Nedenfor ses hvordan "Kong Philip" stolen er inddelt i niveauer:



Figur 2.1: Niveau plan over kong Philip stolen.³

Ud fra planen ovenfor kan det ses, at der er tildelt måneder til de enkelte processer. Dette er hvor lang tid det tager fra produktionen af den enkelte komponent sættes i gang til den er færdig, og klar til at indgå i den næste del af produktionen. Dette kaldes leadtimes eller leveringstider. Leadtimes er vigtige, at få fastslået korrekt da produktionens struktur gør, at hvis en enkelt komponent ikke er færdig til tiden, vil der opstå forsinkelser på det endelige produkt og derved kan man ikke imødekomme efterspørgslen.

² Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, "Inventory Management and Production Planning and Scheduling", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S. 598.

³ Bozarth, Cecil C. & Handfield, Robert B., "Introduction to Operations and Supply Chain Management", third Edition 2013, Pearson Education Limited. S. 387.

Foruden en BOM og kendte leadtimes er der andre informationer, som er vigtige for at man kan udfører MRP, disse er:

- Et MPS som fortæller hvor mange enheder af slutproduktet, der er brug for og hvornår der er levering på disse. Det vil sige en plan der ser på produktionen i en tidshorisont ud fra slutproduktet, og hvor mange af de enkelte produkter, som der er brug for ud fra efterspørgslen.
- Præcis lagerstatus for de enkelte komponenter dette skyldes blandt andet, at MRP i forhold til andre genbestillingssystemer forsøger, at time genbestillingerne på sådan en måde, at lageret holdes så lavt som muligt og en fejl i lagerstatus kan fører til forsinkelser i produktionen, da der kun bestilles lige nøjagtig det hjem som der er brug for.
- Forecasts for stolens kommende efterspørgsel.
- Svind gennem produktionen, vide hvad der er et tilladeligt tab på de enkelte underkomponenter som følge af produktionen. Der kan opstå tab ved samlingen af de enkelte delkomponenter, hvis der bliver kasseret dele som følge af kvalitetskontrol.

MRP er i al sin enkelthed et computer program, som bestemmer hvor meget af hver komponent der er brug for og til hvilken tid der er brug for den til, at kunne færdiggøre et specifikt antal slutprodukter.

MRP benytter BOM og lagerholdnings fortegnelserne til, at lave et tidsskema og til at vide hvor meget der er brug for ved hvert trin i processen. MRP forsøger, at overkomme svagheden ved de traditionelle lagerholdnings systemer, hvor de enkelte lagre holdes hver for sig og ikke ses som en samlet enhed. Dette klare MRP ved, at udnytte at den i sin basis form er baseret på en afhængig efterspørgsel, og hvert lager styres af de ovenstående niveauer. Det vil sige, at når man kender efterspørgslen på slutproduktet, som er uafhængig da kender man også efterspørgslen på komponenterne i og med man, ud fra BOM, ved præcis hvor mange af disse som indgår i det færdige produkt. Man bestemmer derved efterspørgslen ved ganske simpelt, at multiplicere med det antal underkomponenter som skal indgå i slutproduktet. Til en "Kong Philip" stol indgår der eksempelvis to forben og hvis efterspørgslen for stolen i en periode er 10, da er der brug for 20 forben til, at imødekomme efterspørgslen for perioden.

Informationerne er vigtige for, at kunne opretholde MRP og for, at kunne planlægge det. Derfor kigges der nu på hvad der sker inde i selve MRP skemaet og hvilke udregninger der skal til.

Nedenfor er tre skemaer, de viser et eksempel på starten af et MRP forløb. Det første angiver hvor mange stole der er brug for i de enkelte måneder det vil sige MPS *due date*, denne information er givet ud fra efterspørgslen og planlagt ud fra MPS. MPS *due date* starter i måned 1 og løber til måned 12.

	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MPS due date	0	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41

Tabel 2.1: Overblik af de forskellige MPS due dates.

Ned igennem de resterende skemaer arbejder MRP baglæns ud fra hvor store leadtimes er. Det andet skema angiver hvornår den endelige samling af stolene skal påbegyndes, *Start assembly*, da der ud fra leadtimes vides hvor lang tid det tager, at samle en stol er antallet af stole korigeret derefter. I dette tilfælde tager det en måned, at samle stolene og da efterspørgslen er på 10 stole for måned 1 skal samlingen påbegyndes i måned 0, selvom de først skal bruges i måned 1.

	Month														
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Start assembly	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41

Tabel 2.2: Overblik af tidspunkterne for hvornår virksomheden senest skal starte med at samle stolene.

Det sidste skema viser beregningerne for MRP og er i dette eksempel beregningerne for samlingen af sædet til stolen, der er også her taget højde for leadtimes i forhold til hvornår de *planned receipts* skal påbegyndes så de kan være færdige til, at kunne bruges i produktionen. Dette er grunden til, at skemaet går tilbage til måned -3.

Niveau 1 **Seat**	Month														
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gross requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Planned receipts	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Planned orders	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	0	0

Tabel 2.3: MRP skemaet for sædet i niveau 1 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.

Det sidste af de tre skemaer indeholder flest informationer, og det er her der sker de reelle beregninger. *Gross requirements* er hvor mange enheder af det enkelte produkt, der er brug for i den

enkelte måned. Antallet er taget direkte oppe fra *Start assembly* da det er vigtigt, at tilpasse antallet af sæder efter hvor mange, der skal bruges i de enkelte måneder i forhold til produktionen. På den måde sikre man, at der hele tiden er en sammenhørighed i produktionen og at det hele tilpasser sig efter den endelige efterspørgsel, som stammer direkte fra MPS.

Gross requirements kan man imødekomme på tre forskellige måder:

- Ved at tage fra lageret kaldet *Projected ending inventory*, hvor der kan ligge komponenter som ikke er blevet brugt i de tidligere perioder.
- Ved at tage fra *Scheduled receipts*, som er ordre som allerede er bestilt og sat til levering inden denne del af MRP er lavet.
- Ved at ligge en ny ordre kaldet *Planned receipts*.

Selvom man kan trække på de to første alternativer, *Projected ending inventory* eller *Scheduled receipts*, er man nødt til at bestemme om der er behov for, at blive lagt en ordre. Dette gøres ud fra følgende formel: $NR_t = \max\{0, GR_t - EI_{t-1} - SR_t\}$.⁴

Hvor NR_t er net requirements i periode t , GR_t er gross requirement for periode t , EI_{t-1} er lageret i slutningen af periode $t - 1$ og SR_t er de planlagte leveringer.

Formlen siger, at hvis man kan opfylde *net requirements* ved hjælp af lageret og de planlagte leveringer, skal man ikke bestille noget yderligere hjem. Hvis der derimod skal bestilles hjem vil virksomheden forsøge, at holde lageret så lavt som muligt da man derved undgår omkostninger ved, at have ekstra komponenter liggende. De vil så vidt muligt ikke bestille mere end hvad der er behov for, medmindre der er en økonomisk gevinst i at gøre det, men virksomheden kan blive mødt af et krav om et minimum antal fra leverandøren, der ikke gør det muligt.

Når der bestilles hjem skal virksomheden huske, at tage højde for de leadtimes der er på leveringerne, ellers opstår der mangler og derved forsinkelser i produktionen. I MRP skemaet for sædet samt de andre komponenter er der taget højde for disse i *Planned orders*. Leadtimes er her på to

⁴ Bozarth, Cecil C. & Handfield, Robert B., "*Introduction to Operations and Supply Chain Management*", third Edition 2013, Pearson Education Limited. S. 389

måneder og de påbegyndes derfor i måned -2, for at kunne være klar til næste del af produktionen i måned 0.

Når en periode er slut skal lageret gøres op, så man i den efterfølgende periode ved hvor meget man har at gøre godt med. Dette gøres via formlen: $EI_t = EI_{t-1} + SR_t + PR_t - GR_t$.⁵

Hvor EI_t er *Ending inventory* i periode t, EI_{t-1} er *Ending inventory* i periode $t - 1$, SR_t er scheduled receipts i periode t, PR_t er planned receipts i periode t og GR_t er gross requirements i periode t.

Alle beregningerne sker i hvert enkelt skema i MRP hele vejen ned gennem de forskellige niveauer. For "Kong Philip" stolen er der yderligere to skemaer i niveau 1, *Leg assembly* og *Back assembly*. De fungerer på samme måde som skemaet over *Seat assembly*, hvor de henter deres efterspørgsel fra *Start assembly*, det vil sige direkte fra MPS. De næste niveauer, som eksisterer i produktionen, foregår ikke på samme måde med hensyn til efterspørgslen. De får deres *Gross requirement* direkte fra de højere niveauer og justeret op efter hvor mange dele af de enkelte komponenter der indgår i en enkelt stol. Dette gøres så man sikre det flow der skal til, for at man undgår forsinkelser da der ved, denne metode er taget højde for de leadtimes, som har haft indflydelse oppe i de højere niveauer. Nedenfor er skemaerne for *Leg assembly* og *Legs* vist, og her kan det ses hvordan *Gross requirements* fra *Legs* tages direkte fra *Legs assembly's Planned orders* og da der indgår to ben i *Leg assembly* er den skaleret op med 2.

Niveau 1 **Leg asm**	Month														
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gross requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Planned receipts	0			10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Planned orders	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	0

Tabel 2.4: MRP skema af Legs assembly i niveau 1 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.

⁵ Bozarth, Cecil C. & Handfield, Robert B., "Introduction to Operations and Supply Chain Management", third Edition 2013, Pearson Education Limited. S. 389

Niveau 2 **Legs**	Month														
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gross requirements	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net requirements	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Planned receipts	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Planned orders	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0	0	0

Tabel 2.5: MRP skema af Legs i niveau 2 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.

Hvis en af komponenterne i de lavere niveauer indgår i to processer i de højere niveauer skal man huske, at tage højde for begge i *Planned orders* da der ellers opstår mangler. I eksemplet med stolen indgår der *Crossbars* i både *Leg assembly* og i *Back assembly* for, at finde den rette *Gross requirement* ligger man antallet for *Leg assembly's* planned orders sammen med antallet for *Back assembly's* planned orders, det vil sige i måned -1 er $GR_{-1}^{Crossbars} = 10 + 10 = 20$

Niveau 2 **Crossbars**	Month														
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gross requirements	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net requirements	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Planned receipts	0	0	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0
Planned orders	20	124	24	260	308	258	176	104	248	320	476	82	0	0	0

Tabel 2.6: MRP skema af Crossbars produktionen i niveau 2 over 12 måneder med Lot-For-Lot som bestillingsmodel.

Der er altid fordele og ulemper ved valg af en produktionsproces og MRP er ikke undtaget. Ulemperne ved MRP er, at selvom beregningerne er relative simple i det ovenstående tilfælde, kan man hurtigt miste overblikket i beregningerne når man snakker om produkter, som har mere end de 10 komponenter. Jo flere komponenter et produkt indeholder, desto mere komplekst bliver det, at holde styr på det hele. En virksomhed kan sagtens have flere hundrede produkter, der tilsammen indeholder mere end tusinde komponenter og, at de hver har en BOM. Selvom MRP bliver kørt igennem ved hjælp af computere kræver det stadig stor disciplin fra virksomheden, hvis MRP skal fungere korrekt er systemet nødt til at få de rigtige informationer. Det vil sige, at hvis der sker ændringer som gør at MPS eller BOM bliver ændret er man nødt til, at huske at disse ændringer skal indføres i systemet ellers vil komponenterne ikke blive bestilt til tiden og derved vil der opstå mangelsituationer og forsinkelser i produktionen, som kan være dyrt i ekstra omkostninger. Dette gør sig også gældende hvis man ikke er konsekvent med måden, at fører lager på. Hvis virksomheden ikke sørger for, at opretholde et korrekt lager medfører det mangelsituationer som endnu

engang kan fører til forsinkelser og ekstra omkostninger. Derudover skal MRP også tage højde for eventuelle usikkerheder, der kan opstå omkring de leverandører man har aftaler med, heriblandt varierende leadtimes, restriktioner på leverancer og ændringer derom. Disse usikkerheder kan en virksomhed klare på flere måder, blandt andet ved hjælp af sikkerhedslagre eller ved at forlænge de leadtimes, som er planlagt for på den måde at have nok på lager til tiden.

Fordelene ved MRP er, at det til et hvert tidspunkt vides præcis hvornår der skal bestilles, hvor meget der skal bestilles og dette er gældende for selv den mindste kategori af komponenter. Man har derved altid et overblik over hvordan tingene står til i virksomheden og managers kan til enhver tid tjekke op på en enkelt ordre om hvor langt den er i processen.

I det overstående eksempel er der brugt *Lot-For-Lot (LFL)* som bestillingsmodel, modellen bestemmer hvor meget der skal bestilles hjem i forhold til produktionen. LFL går i sin enkelthed ud på, at man kun bestiller det antal enheder hjem, som der er brug for til hver periode i forhold til *Net requirements*. Dette gør, at *Projected ending inventory* er nul hele vejen igennem skemaet. LFL følger det princip der er beskrevet ovenfor i forhold til, at virksomhederne bestiller mindst muligt hjem. Denne metode kan være dyr, hvis man sammenligner de omkostninger der er forbundet med, at ligge en bestilling og få varerne leveret hver måned, op imod de omkostninger der er ved, at have varerne liggende på lageret i en eller flere perioder og derfor ikke skal bestille hjem så ofte. Derfor kan det have interesse for en virksomhed, at undersøge hvilke bestillingsmodeller som passer til netop deres form for produktion. For LFL modellen er de totale omkostninger ganske simple, at udregne nemlig det antal gange man bestiller ganget med det som det koster at ligge en ordre, dette giver i MRP modellen med LFL 12 bestillinger og med en pris på \$54 for at ligge en bestilling, da er prisen alene for sædet $12 \cdot \$54 = \648 . Kan dette gøres billigere for virksomheden ved, at have varer liggende på lager og derved ikke bestille hjem til hver enkelt periode? Den Silver-Meal heuristiske bestillingsmodel benytter netop dette princip.

Silver-Meal heuristik

Silver-Meal heuristik, også kaldet Least Period Cost, vælger den mængde der skal bestilles ud fra hvor billigt det kan gøres. Den har på sin vis samme egenskab som *Economic Order Quantity* (EOQ), men er bedre at benytte når der er større udsving i efterspørgslen. Den vælger en mængde på sådan en måde, at den mindsker de totale omkostninger, der er ved at lægge en bestilling og have den liggende på lager. Det vil sige når en bestilling ankommer i starten af en periode og den rækker til slutningen af periode T, da ser kriteriefunktionen således ud:

$$\frac{(\text{Bestillingsomkostninger}) + (\text{Totale lagerholdningsomkostninger})}{T} \quad 6$$

Da en bestilling ankommer i starten af en periode er det bedst, at bestillingen dækker et helt antal perioder. Det vil sige, at man skal bestemme hvor mange perioder den enkelte bestilling skal dække og derfor er T beslutningsvariablen for bestillingerne, hvor denne er et heltal. Man kan derfor skrive bestillingsmængden som en sum af efterspørgslerne i T perioder: $Q = \sum_{j=1}^T D(j)$.⁷

Det ønskes, at vælge T sådan, at total relevant costs per unit time for bestillings- og lagerholdningsomkostningerne over T perioder bliver minimeret. *Total Revenue Cost*, som er de totale omkostninger der er forbundet med at genbestille til alle T perioder, såsom det faste beløb man betaler hver gang man ligger en bestilling og lagerholdnings omkostningerne for alle T perioder, lad dem være givet ved $TRC(T)$. *Total Relevant Costs* per unit time er derved givet som $TRCUT(T) = \frac{TRC(T)}{T} = \frac{A + \text{carrying costs}}{T}$.⁸

Hvis $T = 1$ er der ikke nogen carrying omkostninger, det vil sige at man kun køber nok til at dække en enkelt periode: $TRCUT(1) = \frac{A}{1}$.⁹

Hvis det er bekosteligt, at ligge en bestilling kan det være en fordelagtigt, at købe ind til flere perioder og dele omkostningerne lige imellem dem. Det vil sige, hvis man i stedet for kun at købe ind

⁶ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, " *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. s. 210

⁷ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, " *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.211

⁸ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, " *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.211

⁹ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, " *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.211

til periode 1 også køber ind til periode 2, da kan omkostningerne for at ligge bestillingen til periode 1 deles lige mellem periode 1 og periode 2 og på den måde blive billigere. Bestiller man til flere perioder, bliver man nødt til at have disse varer liggende på lageret i T antal perioder indtil de skal bruges. Ved at inkludere periode 2 kommer formelen til at se således ud: $TRCUT(2) = \frac{A+D(2)vr}{2}^{10}$, hvor $D(2)vr$ er lageromkostningerne for, at have komponenterne for periode 2 liggende på lageret i en periode. Hvis man udvider dette med endnu en periode og bestiller for både periode 1, 2 og 3, skal man huske at lageromkostningerne for periode 3 ser lidt anderledes ud, da varerne skal ligge på lageret i to perioder. Når $T = 3$ ser formelen således ud:

$$TRCUT(3) = \frac{A+D(2)vr+2D(3)vr}{3}^{11}$$

Man kunne måske tro, at man bare kunne bestille hjem til samtlige T perioder ved den første periode og så slippe billigere, men det kan samtidigt være dyrt, at have varerne liggende på lager i flere perioder og derfor kan det ikke nødvendigvis være fordelagtigt at medtage alle perioder i den første bestilling. Ideen bag Silver-Meal heuristik modellen er, at man vurderer $TRCUT(T)$ hver gang man medtager endnu en periode T, indtil at $TRCUT(T + 1) > TRCUT(T)^{12}$, det vil sige indtil at de totale omkostninger første gang stiger når endnu en periode inkluderes. Her vælges det T som man nåede til inden omkostningerne steg og mængden der skal bestilles er givet ved Q. Dette gentages for alle T indtil $T = N$.

For at vise ovenstående teori er følgende data givet:

$A = \$54$; $v = \$20$ pr stk. ; $r = \$0,02$ pr. stk/mdr.

Måned j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Efterspørgsel D(j)	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41

Tabel 2.7: Standard data med efterspørgsel er præget af sæson.

¹⁰ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, "Inventory Management and Production Planning and Scheduling", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.211

¹¹ Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, "Inventory Management and Production Planning and Scheduling", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.211

¹² Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, "Inventory Management and Production Planning and Scheduling", third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc. S.212

A er hvor meget det koster hver gang man skal ligge en bestilling, v og r er de omkostninger der er forbundet med at have varerne liggende på lager en måned. Det antages at start lageret er nul i måned 1.

Det giver følgende beregninger:

$$TRCUT(1) = \frac{54}{1}$$

$$TRUCT(2) = \frac{54+62(20)(0,02)}{2} = \$39,4$$

$$TRUCT(3) = \frac{54+62(20)(0,02)+2(12)(20)(0,02)}{3} = \$29,5$$

$$TRUCT(4) = \frac{54+62(20)(0,02)+2(12)(20)(0,02)+3(130)(20)(0,02)}{4} = \$61,1$$

T	Efterspørgsel	Mdr på lageret	Lageromkostninger	Bestillingsomkostninger	Totalomkostninger	TRCUT
1	10	0	0	54	54	54
2	62	1	24,8	54	78,8	39,4
3	12	2	34,8	54	88,4	29,5
4	130	3	190,4	54	244,4	61,1

Tabel 2.8: Tabel over Silver-Meal beregningen for den første bestilling.

Det kan ovenfor ses, at TRCUT er faldende frem til periode 4 hvor den stiger. Det vil sige, at der skal bestilles til de første 3 perioder, med levering i starten af periode 1 med en omkostning på \$29,5 fordelt ud på de tre perioder. Man ender derved at bestille $Q = 10 + 62 + 12 = 84 \text{ stk.}$ til periode 1. Denne beregning gentages hele vejen igennem alle perioder indtil man til sidst har fundet ud af hvor meget og hvornår der skal bestilles til de enkelte perioder. I dette eksempel vil der skulle bestilles i periode 1, 4, 5, 7, 9, 10 og 11 for at dække den samlede efterspørgsel for mindst mulig omkostninger.

Nedenfor er det vist hvornår og hvor meget der skal bestilles ud fra det givne eksempel:

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Replenishment	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0

Tabel 2.9: Resultatet af hvornår og hvor meget der skal bestilles ved brug af Silver-Meal modellen.

Da T vælges første gang at $TRCUT(T + 1) > TRCUT(T)$ kan man ikke være sikker på, at ens valg fører til den laveste omkostning da man kan have valgt et lokalt minimum og man ved, at inkludere flere perioder kunne få lavere omkostninger. For at undgå dette kunne man fortsætte med, at udregne ratio flere perioder frem, men sandsynligheden for at der i den virkelige verden vil opstå sådan et tilfælde er lille.

Silver-Meal i MRP modellen

Silver-Meal modellen er ligesom LFL en bestillingsmodel, som dog håndterer en svingende efterspørgsel bedre. Forskellen på de to er at LFL kun bestiller til den enkelte periode og derved ikke har noget liggende på lager, men til gengæld har den en stor samlet bestillingsomkostning. Hvor Silver-Meal modellen forsøger, at sprede bestillingsomkostningerne ud på flere perioder for at mindske omkostningerne og afhænger derfor af, at der er et lager hvor komponenterne kan ligge til de skal bruges og derved har Silver-Meal modellen en lagerholdsomkostning.

Silver-Meal i MRP modellen foregår på sin vis på samme måde, som med LFL som bestillingsmodel, men her kan det ses, at det i perioder ekstra bestilte, ryger på lageret og der bliver taget derfra i de perioder hvor der ikke bliver bestilt.

Skemaerne for MRP med Silver-Meal modellen kommer til at se sådan ud:

	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MPS due date	0	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41

Tabel 2.10: Overblik af MPS due dates.

	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Start assembly	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	0

Tabel 2.11: Overblik over start assembly tidspunkter.

Niveau 1 **Seat**	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	0
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	74	12	0	0	129	0	52	0	0	0	41	0	0
Net requirements	0	0	0	10	0	0	130	154	0	88	0	124	160	238	0	0
Planned receipts	0	0	0	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	0
Planned orders	0	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	0	0	0

Tabel 2.12: MRP skema over sædet i niveau 1 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.

Der er igen taget højde for leadtimes i *Planned orders* hvilket er grunden til, at den første ligger allerede i periode -2.

Hvis man ser på benene kan man igen se koblingen mellem niveau 1 og 2. Det fungerer på samme måde som tidligere hvor *Gross requirements* til *Legs* i niveau 2 er hentet direkte oppe fra *Legs assembly's Planned orders* i niveau 1.

Niveau 1 **Legs asm**	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross requirements	0	0	0	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	0
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	74	12	0	0	129	0	52	0	0	0	41	0	0
Net requirements	0	0	0	10	0	0	130	154	0	88	0	124	160	238	0	0
Planned receipts	0			84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	0
Planned orders	0	0	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	0	0

Tabel 2.2.13: MRP skema af Legs assembly i niveau 1 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.

Niveau 2 **Legs**	Month															
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross requirements	0	0	168	0	0	260	566	0	280	0	248	320	558	0	0	0
Scheduled receipts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected ending inventory	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net requirements	0	0	168	0	0	260	566	0	280	0	248	320	558	0	0	0
Planned receipts	0	0	168	0	0	260	566	0	280	0	248	320	558	0	0	0
Planned orders	168	0	0	260	566	0	280	0	248	320	558	0	0	0	0	0

Tabel 2.2.14: MRP skema af Legs i niveau 2 over 12 måneder med Silver-Meal som bestillingsmodel.

Det kan ses, at når man kommer ned i de lavere niveauer, er lagerne tomme ligesom under LFL. Dette skyldes, at Silver-Meal har sin indflydelse i de højeste niveauer. Selve tidspunkterne der bliver bestilt i niveau 2 er taget fra Silver-Meal, dog med tillagt leadtime.

Det som adskiller de to MRP modeller med henholdsvis LFL og Silver-Meal som bestillingsmodeller er prisen. Omkostningen for sædet under LFL er tidligere beregnet til \$648 hvor den for Silver-Meal modellen er lidt mere kompleks at udregne. Omkostningerne, ved brug af Silver-Meal, er givet som antallet af gange der bestilles ganget med bestillingsomkostningerne lagt sammen med lagerholdsomkostningerne, som er det antal enheder der har ligget på lager ganget med prisen for, at have dem liggende der. Dette giver for MRP modellen med Silver-Meal en omkostning for sædet på $7 \cdot \$54 + 308 \cdot \$20 \cdot \$0,02 = \$501,2$. Altså en besparelse på $\$648 - \$501,2 = \$146,8$ ved at benytte Silver-Meal i stedet for LFL som bestillingsmodel.

Uanset hvilken model virksomheden vælger, bestiller Silver-Meal og LFL kun det hjem der præcist er brug for givet efterspørgslen og denne er som regel forecastet. Hvis det man har forecastet ikke holder stik og der er en større efterspørgsel end man regner med da vil der, opstå mangler i produktionen og dette kan føre til forsinkelser og kan ende med at koste virksomheden mange penge og eventuelt kundetab. Derfor kører mange virksomheder med en eller anden form for sikkerhedslager i deres produktion.

Sikkerhedslager

Et sikkerhedslager er en buffer som virksomheden kan vælge, at have som følge af, at der er usikkerhed over hvor mange enheder de rent faktisk har brug for i hver periode, enten som følge af usikkerhed i efterspørgslen, usikkerhed i leveringen fra leverandører eller usikkerhed i kvaliteten af det leverede/producerede produkt.

Normalt er sikkerhedslager ikke det, der bliver brugt mest i forbindelse med MRP da det i princippet ikke giver nogen mening, når man opererer med en kendt efterspørgsel. Den mest gængse metode for, at undgå stockout er derimod ved at justerer på leadtimes, enten ved at fremskynde ordre eller ved, at bytte rundt på ventende ordre kan virksomheden købe sig mere tid. For ikke at skulle fremskynde for mange ordre er man nødt til, at se på muligheden for en form for sikkerhedslager eller sikkerhedstid, som er at færdiggøre ordrer før planlagt. Uanset hvad man vælger vil ens lager øges som følge af denne ændring og derved også en forøgelse af ens omkostninger.

Når virksomheden ved hvor deres usikkerhed ligger, om det er i leveringstid, leverings mængden (om man kan modtage alle de enheder man bestiller fra leverandøren eller kun nogen af dem), efterspørgsels timing (man er i tvivl om kunden vil ligge sin ordre i den ene eller anden måned) eller efterspørgsels mængde, da kan de vælge den korrekte metode til at dække usikkerheden. Hvis usikkerheden ligger i enten leveringstiden eller i efterspørgsels timingen, da er sikkerhedstid den bedste løsning, hvorimod løsningen med en usikkerhed i mængden af levering eller i efterspørgslen er at holde sig et sikkerhedslager.

Denne opgave undersøger hvordan MRP modellen reagerer under stokastisk efterspørgsel og derfor vil det bedste valg, for at dække sig imod stockout, være at have et sikkerhedslager.

For at finde ud af hvor stort et sikkerhedslager man skal have for hver eneste komponent er man nødt til, at lave en kvantitativ analyse, men dette er meget kompliceret på grund af efterspørgslen uregelmæssige, tidsvarierende og afhængige natur. Derfor er den mest benyttede metode, at ligge sikkerhedslageret på selve slutproduktet man kan også vælge, at ligge sikkerhedslageret på delkomponenterne, hvilket er særlig godt hvis de indgår i flere forskellige slutprodukter.

Måden man beregner sikkerhedslageret er ved, at tage standard afvigelsen på efterspørgslen under leadtimes og gange op med en sikkerhedskonstant. Denne sikkerhedskonstant k relaterer sig

til hvor stor en dækning man ønsker ud af sikkerhedslageret. Da det antages, at det simulerede data er normalfordelt er sikkerhedskonstanten givet som 0,84 for 80 % sikkerhedsniveau, 1,28 for 90 % sikkerhedsniveau, 1,65 for 95 % sikkerhedsniveau og 2,33 for 99 % sikkerhedsniveau. En virksomhed ønsker selvfølgelig, at dække efterspørgslen efter deres produkter 100 %, men dette er ikke altid muligt og virksomheden skal derfor beslutte sig for hvor stort et servicemål de vil have. Et servicemål er hvor meget af den samlede efterspørgsel, som bliver dækket og når de har valgt dette, vides det hvor stort sikkerhedslageret skal være.

Sikkerhedslageret er derved udregnet som $SS = k \cdot \sigma_L$ hvor σ_L er variansen på den efterspørgsel som er i periode L og k er sikkerhedskonstanten der sikre, at virksomheden vælger sikkerhedslager der svarer til deres servicemål.

Sikkerhedslageret er beregnet på to forskellige måder, ved at se på det månedligt og ved at se på det årligt. Ved den månedlige er sikkerhedslageret bestemt ud fra hver enkelt måneds standardafvigelse og ganget med sikkerhedskonstanten, hvor den årlige er bestemt ud fra den samlede årlige standardafvigelse ganget med sikkerhedskonstanten.

Ved det månedlige sikkerhedslager er MRP modellen sat til at tjekke om *Ending Inventory* for perioden inden er højere end gennemsnittet af de månedlige sikkerhedslagere som Silver-Meal skal bestille hjem til. Det vil sige, at hvis der i den første bestilling skal bestilles til tre måneder, tages gennemsnittet af disse tre måneder og holdes op imod *Ending Inventory* for måneden inden. Er *Ending Inventory* lavere end gennemsnittet for de tre måneder, da lægges gennemsnittet af de tre måneders sikkerhedslagere oveni bestillingen, hvis ikke bestilles kun den Silver-Meal bestemte mængde. Hvorimod ved den årlige sikkerhedsmængde er lagt i den første bestilling. Man kan derfor se det som, at sikkerhedslageret er i bestillingerne og ikke som et fysisk lager. Dog vil de ekstra bestilte enheder komme til, at optage plads på lageret og koster derfor penge i form af lagerholdsomkostninger, men ikke i form af bestillingsomkostninger, da de bliver bestilt sammen med alle de andre enheder og ikke særskilt.

Simulation

Selvom MRP modellen beregner hvor meget der skal bestilles og hvor meget der haves på lager, gælder dette kun når efterspørgslen er kendt. Som oftest kender en virksomhed ikke deres reelle efterspørgsel, men er nødt til at lave et forecast på hvor mange produkter de skal have på lager. Dette forecast er dog aldrig 100 procent lig den virkelige verden, men et kvalificeret gæt på hvordan fremtiden kommer til at være. I alt det ovenstående er efterspørgslen kendt, men det ønskes at se hvad der sker med modellen når efterspørgslen er stokastisk. Hvorvidt modellen kan håndtere usikkerheden og indflydelsen på mængden der skal bestilles for, at dække efterspørgslen kan undersøges ved hjælp af simulation.

Simulation er en måde man kan teste egenskaberne og de specifikke karakteristika af en model og på den måde se hvordan modellen reagerer på forskellige ændringer. Herved kan man estimere hvordan modellen vil klare sig i den virkelige verden. Ideen bag simulation er, at imiterer en situation fra den virkelige verden på matematisk vis. På den måde kan man studere egenskaberne samt de operationelle karakteristika for derefter, at kunne drage en konklusion og tage sine forholdsregler ud fra de fund man har gjort sig. Herved kan forskellige scenarier testes og kun tage udgangspunkt i dem, som ser ud til at være bedst for virksomheden uden, at man har ændret i det virkelige system og derved risikeret tab i omsætningen i form af tabte ordre, forsinket leveringer eller store omkostninger enten ved at have for mange enheder liggende på lager eller ved at genbestille for ofte.

For at kunne lave en simulering er man nødt til: at definere problemet, se på de variabler som er forbundet med dette problem, konstruere en matematisk model, gøre sig klart om hvad der skal testes, kører simulationen, evaluere resultaterne og eventuelt ændre i sin opsætning og kører simulationen igen.

Her er problemet, at teste hvad der sker med MRP hvor Silver-Meal modellen er brugt til bestilling og givet at efterspørgslen er stokastisk. Der er mange variable forbundet med dette problem og for at teste flere facetter heraf er der valgt at lave flere kørsler.

Den første simulering er, for at teste hvad der sker med lageret, hvis den Silver-Meal bestemte bestillingsmængde holdes fast¹³. Variablene ved dette underproblem er blevet indsnævret til, at efterspørgslen sættes til at varierer automatisk, leadtimes vil holdes konstante, minimum ordre sættes i niveau 2 til et fast niveau, men vil ikke blive ændret i niveau 1 til at starte med, omkostningen for genbestilling, lagerholdningsomkostningerne samt shortage omkostningen holdes fast og den Silver-Meal bestemte bestilling holdes fast. Af efterspørgsler til denne simulering vil der blive brugt både standard data (efterspørgsel med sæson) samt den flade efterspørgsel. Efter endt simulering vil resultaterne blive evalueret. Der vil blive set på om nødvendigheden for et sikkerhedslager foreligger, eller om det kan løses på anden vis, eksempelvis ved at indsætte minimum på antal i hver ordre, eller om mulig tiltag vurderes at være overflødige.

Den anden simulering er, for at teste hvad der sker med den Silver-Meal bestemte bestillingsmængde, og derved MRP modellen, når de forskellige variable sættes til at varierer. Her vil variablerne som udgangspunkt være de samme som i afsnittet "*Silver-Meal i MRP modellen*" bortset fra at de hver i sær sættes til, at varierer hermed kan der ses hvilken betydning det har på bestillingsmængden, hvis det blev billigere for virksomheden, at bestille eller blev billigere at have varerne liggende på lageret.

Alle simuleringerne er med til at give et indblik i hvordan MRP modellen sammen med Silver-Meal håndterer disse ændringer.

Der er både fordele og ulemper ved brug af simulering¹⁴.

Af fordele kan der nævnes:

- Det er ret lige til og fleksibelt. Hvis en simulationsmodel er korrekt implementeret, kan den laves fleksibel nok til at den tager højde for flere ændringer i ens problemstilling.
- Kan bruges til, at analysere en stor mængde data på relativt kort tid, som ikke ville kunne lade sig af gøre ud fra en almindelig beslutningsmodel.
- Den tillader "hvad hvis" spørgsmål, hvor en manager relativt nemt kan afprøve effekten af forskellige politiske beslutninger.

¹³ Den Silver-Meal bestemte mængde der refereres til i dette afsnit er bestemt ud fra standard data.

¹⁴ Balakrishnan, Nagraj & Render, Barry & Stair, Jr., Ralph M. : "Managerial decision modeling with spreadsheets", third edition, Pearson education, Inc., Publishing as Prentice Hall. s. 409-410

- Simulering ændre ikke på ens system i virkeligheden, men tillader en at afprøve det inden, så man på forhånd kan se effekten heraf.
- Man kan afprøve den interne afhængighed af forskellige variable i systemet. Man kan på denne måde finde ud af hvilke, der har størst indflydelse på ens model og derved har brug for ens opmærksomhed.

Af ulemper kan nævnes:

- Det kan være en langvarig og dyr proces, at lave en god simulations model.
- Simulation er en "trial and error" metode og genererer derfor ikke optimale løsninger til ens problem, så som lineær programmering eller andre beslutningsmodeller gør.
- Managers skal konstruerer alle betingelserne og begrænsningerne for hver model de ønsker at undersøge.
- Hver simulationsmodel er unik og kan derfor ikke bare overføres fra et problem til det næste.

Når et problem hvis elementer kan inddeles i en sandsynlighedsmængde, som kan beskrive deres adfærd, da kan man gøre brug af Monte Carlo simulation. Monte Carlo tager udgangspunkt i at generere de ukendte variable ud fra denne sandsynlighedsmængde, hvor hver variabel bliver trukket helt tilfældigt. På denne måde får man en god sammenhæng mellem det data man kender og det som bliver simuleret. I Excel kan denne metode blive repliceret ved, at benytte slump funktionen til Monte Carlo simuleringen af den stokastiske efterspørgsel.

For at kunne benytte Monte Carlo simulation skal sandsynlighedsmængden konstrueres og dette gøres ud fra standard data.

For at have færre inddelinger er efterspørgslerne blevet inddelt i forskellige intervaller af henholdsvis 1-49, 50-99, 100-149, 150-199 og 200-250. Dette giver 3 styks i hvert af intervallerne 1-49, 50-99 og 100-149, 2 styks i 150-199 og en enkelt i 200-250. Derved er sandsynligheden for at en tilfældigt udtrukket efterspørgsel, lander i intervallet 1-50 givet som $\frac{3}{12} = 0,25 = 25 \%$. Det samme gøres for de resterende intervaller som giver 25 % sandsynlighed for, at lande i hvert af intervallerne 1-49, 50-99 og 100-149, 17 % for at lande i 150-199 og kun 8 % for at lande i intervallet 200-250.

Slump funktionen i Excel trækker et tilfældigt tal mellem 0 og 0,99 og når denne bruges, skal man finde ud af hvor det tilfældige trukne tal skal tage sin værdi fra, altså hvilket interval af de der er givet ovenfor det skal tildeles. Dette gøres ved at benytte den kumulative sandsynlighed, som for interval 01-49 er $0 + 0,25 = 0,25$ for interval 50-99 er den kumulative sandsynlighed $0,25 + 0,25 = 0,5$ og så videre for alle intervallerne. Dette giver, at de udregnede kumulative sandsynligheder har følgende slump intervaller:

Interval	Sandsynlighed	Kumulativ sandsynlighed	Slump interval
01-49	0,25	0,25	0,00-0,24
50-99	0,25	0,50	0,25-0,49
100-149	0,25	0,75	0,50-0,74
150-200	0,17	0,92	0,75-0,91
200-250	0,08	1,00	0,92-1,00

Tabel 2.15: Monte Carlo fordelingen med de kumulative sandsynligheder.

Denne sandsynlighedsmængde vil blive brugt under simulering 2 af simuleringerne, hvor der vil blive set på ændringer i Silver-Meal modellens parametre. I simulering 1 er efterspørgslen generet på to måder: en hvor efterspørgslen har en trend/sæson udsving, og en hvor efterspørgslen er flad hele året. Den første er taget direkte ud fra standard data, og derefter vil der blive tillagt en procentsats på +/- 5-50 % i forhold til de kendte efterspørgsler, hvor den anden er den flade efterspørgsel der er illustreret under metode afsnittet, hvor efterspørgslen er sat som 100 som udgangspunkt og også her tillagt en procentsats på +/- 5-50 %. På den måde ses standard data samt den flade efterspørgsel som et forecast på, hvordan fremtiden kommer til, at se ud og procentsatsen er den usikkerhed der er i hver periode. I forhold til virkeligheden er et udsving på 5-20 % ikke helt ualmindeligt, men udsving på 50 % i forhold til et forecast er meget usandsynligt. Har alligevel valgt at tage disse med, da de giver et godt indblik i udviklingen når udsvingene stiger samt hvor godt modellen håndterer disse.

Til at udtrække efterspørgslerne tilfældigt, gøres der brug af funktionen slump.mellem(min;max). Denne funktion vælger et tilfældigt tal mellem de tal man vælger som minimum og maximum, derfor kommer funktionen blandt andet til at se således ud: Slump.mellem(standard data -50 %; standard data + 50 %).

3. Kapitel

I dette kapitel vil modellen blive testet i forhold til, hvor godt den klare sig under en stokastisk efterspørgsel. Dette vil blive gjort via simuleringer og resultaterne heraf ligger til grund for analysen.

Simulering 1

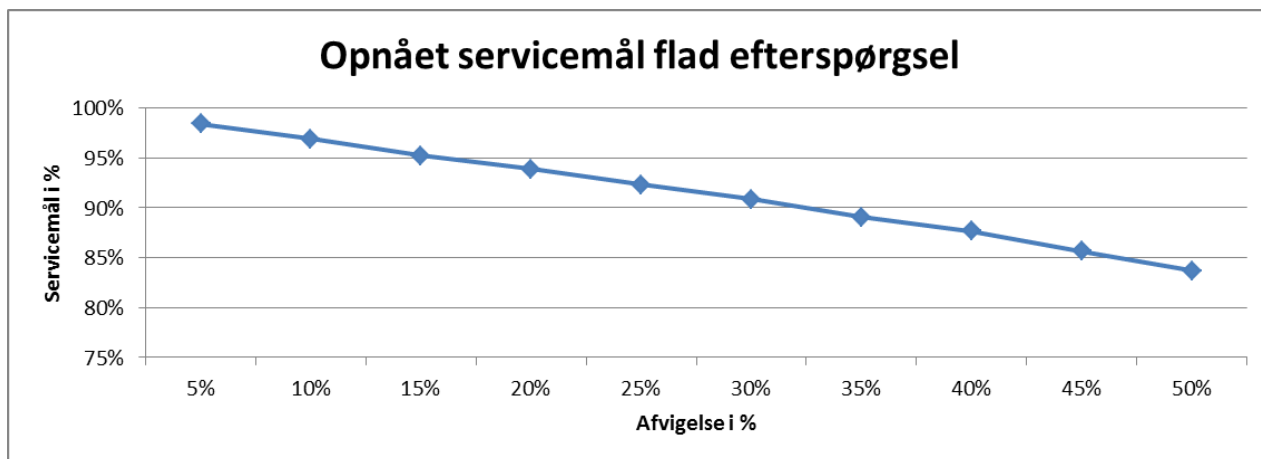
Vil analysere hvorvidt Materials Requirement Planning evner, at klare en stokastisk efterspørgsel, samt hvilke tiltag der eventuelt bør tages for, at sikre det ønskede servicemål. Servicemål er hvor mange af efterspørgslerne virksomheden ønsker, at dække til trods for eventuelt afvigelse fra det forventede.

Flad efterspørgsel

Her testes hvorvidt MRP modellen formår, at opnå virksomhedens ønskede servicemål med en flad efterspørgsel, dog stadig stokastisk, som her er minimum 95 % af alle efterspørgsler, og vil se på om et sikkerhedslager får virksomheden til, at opnå det ønskede resultat. Der vil desuden blive vurderet om det kan svare sig økonomisk for virksomheden, at indsætte sikkerhedslageret eller om virksomheden i stedet skulle fokusere på, at forbedre deres forecast.

Når modellen bliver kørt igennem ved hjælp af simulering, og der ikke er indsat en form for sikkerhedslager ender virksomheden med, at de med 5 % i afvigelse fra forecast opnår en servicegrad på 98,40 %, hvilket er et pænt stykke over deres ønskede mål på 95 %. Hvis afvigelsen stiger helt op til 50 % fra forecast, da resulterer dette i en opnået servicegrad på 83,71 %, hvilket er langt fra det virksomheden ønsker.

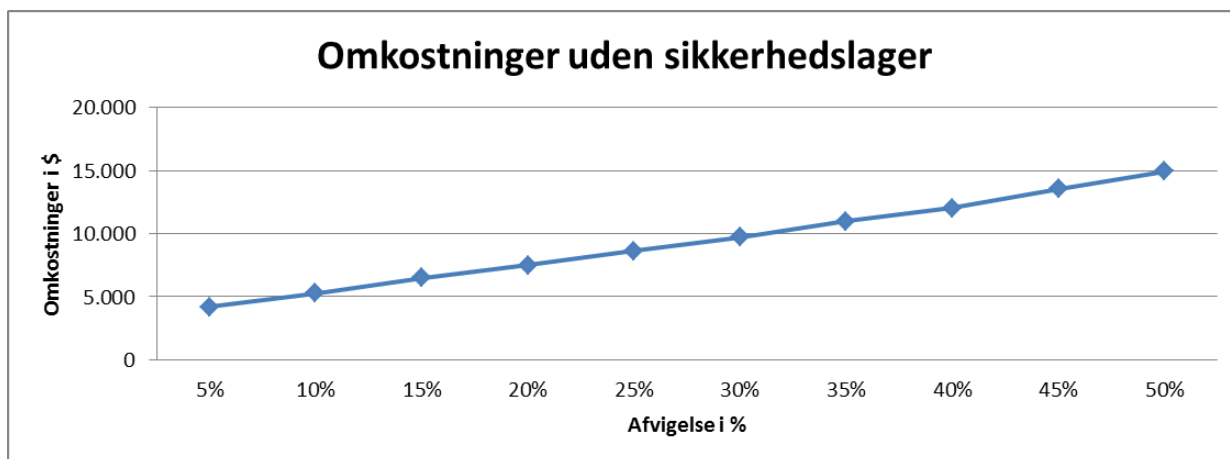
Nedenfor ses en graf over udviklingen i de opnåede servicemål, som følge af en stigning i afvigelsen fra forecast:



Figur 3.1: Opnået servicemål med flad efterspørgsel og uden sikkerhedslager i produktionen.

Hvis virksomheden har sat deres servicemål til 95 % er det ikke nødvendigt, at foretage nogen ændringer, såfremt afvigelsen fra forecastet ikke overstiger 15 %. Ved 15 % i afvigelse fra forecast ligger servicegraden på 95,23 %, og et sted mellem 15 % og 20 % i afvigelse falder den opnåede servicegrad under de ønskede 95 %. Herved er virksomheden nødt til, at tage beslutningen om hvilken indsats de vil gøre sig for at sikre, at deres mål på 95 % bliver mødt. Det er dyrt at miste salg, og med en strafomkostning, som er sat til \$20, skyder omkostningerne hurtigt i vejret, som følge af at servicemålet ikke bliver mødt.

Dette kan ses nedenfor, hvor grafen viser hvordan omkostningerne stiger når afvigelsen stiger:



Figur 3.2: Omkostninger med flad efterspørgsel og uden sikkerhedslager i produktionen.

Med det flade efterspørgsels standard data, har MRP modellen for "Kong Philip" stolen en samlet omkostning på \$2.988 for hele året, og med en afvigelse på bare 5 % er denne omkostning steget til \$4.165, det vil sige en meromkostning på \$1.177 hvilket svarer til en stigning på godt 40 %. Hvis

afvigelsen derimod ligger på hele 50 %, er omkostningerne steget til \$14.958 hvilket er en stigning på cirka 400 % i forhold til forecast.

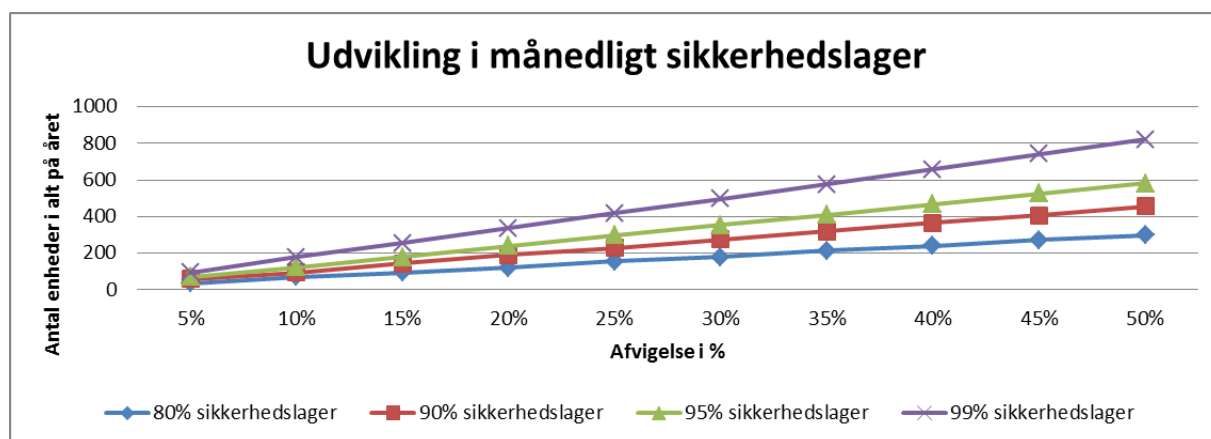
Uanset hvor stor afvigelsen er, er stigningerne i omkostningerne ganske signifikante og sammen med viden om, at servicemålet falder under de ønskede 95 % med en afvigelse på 15 % da vil det være en god ide for en virksomhed, at undersøge muligheden for at indføre et sikkerhedslager for, at sikre sig mod denne usikkerhed.

Spørgsmålet er så, hvor meget man har brug for at sikre sig for, at opnå servicemålet på 95 %. Har udregnet de tilhørende sikkerhedslagre, til den flade efterspørgsel, ud fra både de månedlige standardafvigelser samt den årlige standardafvigelse.

Månedlige sikkerhedslagere

Med den flade standard data uden sikkerhedslager, hvor afvigelsen er på 5 %, da har måned 1 en varians på 10,11 og en standardafvigelse på 3,18, dette giver et 80 % sikkerhedslager for måned 1 på $3,18 \cdot 0,84 = 2,67 \rightarrow 3$ enheder og med 99 % sikkerhedslager er beregningen $3,18 \cdot 2,33 = 7,41 \rightarrow 8$, da man ikke kan købe en halv stol er der rundet op til 3 og 8 enheder. Denne beregning er gjort på samtlige 12 måneder. MRP modellen har fået indsat betingelsen med, at den inden bestilling skal tjekke *Ending Inventory* i måneden inden, om niveauet for dette er under gennemsnittet for de måneder Silver-Meal modellen har valgt der skal bestilles til, hvis *Ending Inventory* er under gennemsnittet, da lægges det gennemsnitlige sikkerhedslager for de pågældende måneder oveni.

Dette har givet følgende udvikling i de månedlige sikkerhedslagere:



Figur 3.3: Udviklingen i det månedlige sikkerhedslager for flad efterspørgsel.

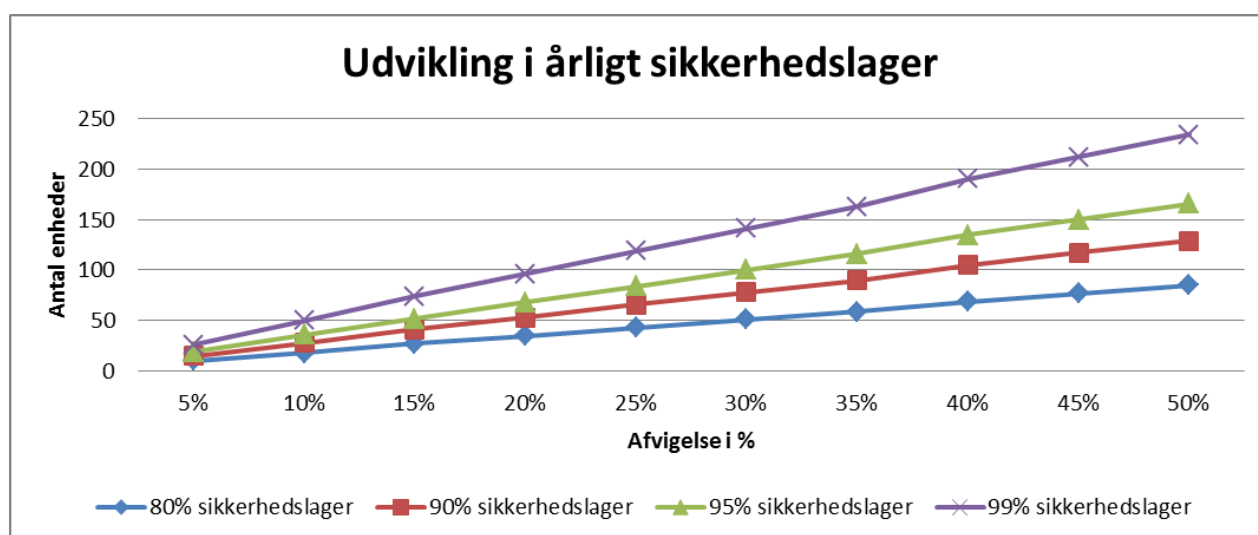
Det er vigtigt at pointere, at det ovenstående er summen af alle månederne på året og, at det ikke nødvendigvis er det antal enheder der bliver brugt til, at dække virksomheden, da det afhænger af den tidligere måneds *Ending Inventory*.

I udviklingen med det månedlige sikkerhedslager er, der ved 5 % afvigelse en forskel på et 80 % og et 99 % sikkerhedslager på 60 enheder, fra 36 enheder til 96. Ved en afvigelse på 50 % er der en øget forskel, fra 300 enheder ved 80 % mod 820 enheder ved 99 % hvilket giver en forskel på 520 enheder. Ved at benytte de månedlige standardafvigelser, da har man mulighed for, at tage højde for de månedlige udsving der vil være i stedet for det årlige udsving. Da der ingen sæson er i den flade efterspørgsel, ville det være bedre, at gøre brug af den årlige standardafvigelse til, at sikre sig mod usikkerhed.

Årlig sikkerhedslager

Den måde sikkerhedslageret er udregnet på er for så vidt den samme måde som ovenfor, men her er der kun brugt den årlige standardafvigelse og med en afvigelse på 5 % er den årlige varians 120,66 og standardafvigelsen er 10,98 derfor er det 80 % sikkerhedslager for året $10,98 \cdot 0,84 = 9,22 \rightarrow 10$ enheder og det 99 % sikkerhedslager er $10,98 \cdot 2,33 = 25,58 \rightarrow 26$ enheder.

Dette giver følgende udvikling i sikkerhedslagerene beregnet på de årlige standardafvigelser:



Figur 3.4: Udviklingen i det årlige sikkerhedslager for flad efterspørgsel.

I forhold til det månedlige beregnede sikkerhedslager, er niveauet ved det årlige væsentlig lavere. Ved en afvigelse på 5 % er det 80 % sikkerhedslager 10 enheder mod 26 enheder ved 99 % sikker-

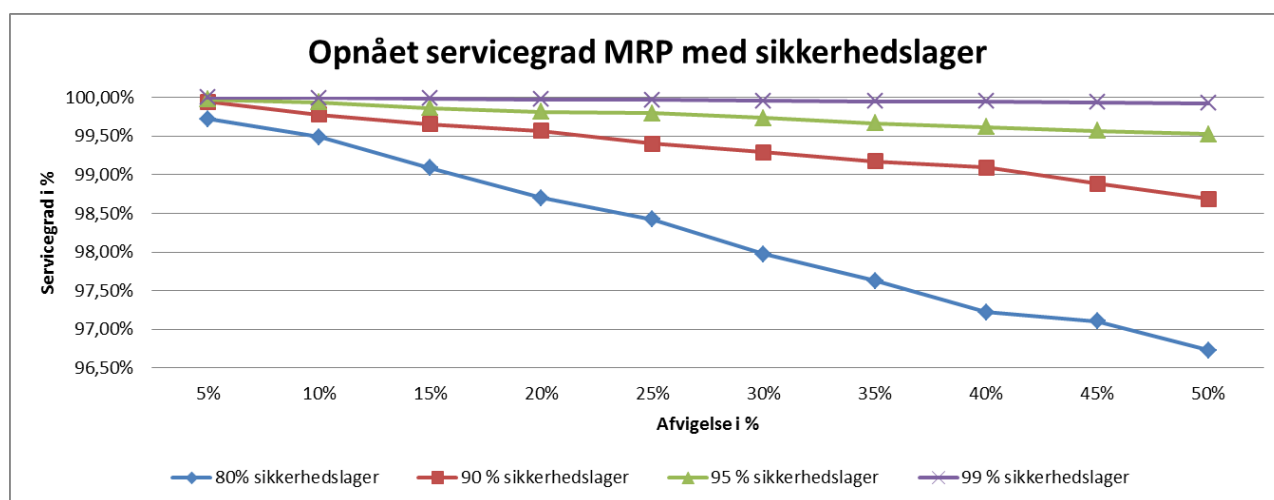
hedslager, hvilket giver en forskel på 16 enheder. Dette stiger ved en afvigelse på 50 % til 85 enheder ved 80 % sikkerhedslager mod 234 enheder ved 99 % sikkerhedslager, altså en forskel på 149 enheder.

Den form for sikkerhedslager, som passer bedst når efterspørgslen er flad, dog med udsving og hvilken som er billigst, vil blive undersøgt nedenfor.

MRP modellen med månedligt sikkerhedslager

Ud fra de ovenstående resultater vil en virksomhed måske ikke vælge et sikkerhedslager når deres afvigelse forventes, at være under 20 %, da de derved stadig opnår deres servicemål på 95 %, men måske kan virksomheden spare penge ved, at holde et sikkerhedslager selv ved afvigelser under 20 %.

Når det månedlige sikkerhedslager er indsat i modellen og simuleringen køres igen er den opnåede servicegrad givet ved:



Figur 3.5: Opnået servicegrad for flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.

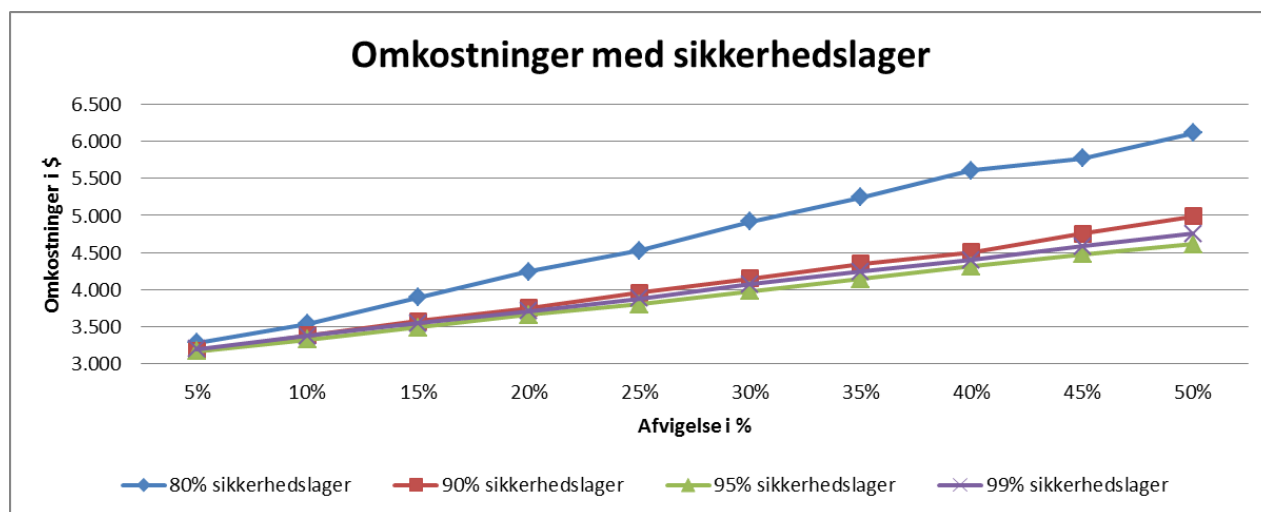
Servicegraden er signifikant forbedret i forhold til situationen uden sikkerhedslager. Virksomheden er med et 80 % sikkerhedslager dækket ind og opnår målet på 95 % servicemål uanset hvor stor afvigelsen er. Selvom en virksomhed møder efterspørgslen med næsten 100 % i alle tilfælde er der omkostninger forbundet med, at sikre sig imod usikkerheden med så høj en servicegrad. Ved 5 % i afvigelse fra forecast er det billigst, at holde et 95 % sikkerhedslager, men hvis virksomheden vil holde en servicegrad på 100 % er de nødt til, at investere i et 99 % sikkerhedslager da det er det eneste sikkerhedslager af de fire, som opnår så høj en grad. Hvis de vil opnå så høj en servicegrad

er forskellen i omkostningerne for 95 % til 99 % \$25. Virksomheden kan ved 5 % i afvigelse spare penge ved, at vælge et højere niveau af sikkerhedslager end 80 %, for \$1 mere kan de gå fra et 90 % til et 95 % sikkerhedslager, men det er dyrest at sikre sig mod de sidste 4 % op til 99 %.

Dette stiger betydeligt ved en afvigelse på 50 % da er omkostningerne ved, at holde et 80 % sikkerhedslager steget til \$6.113 mod \$4.991 for et 99 % sikkerhedslager, en forskel på \$1.122. Igen kan virksomheden spare penge ved, at vælge et højere sikkerhedsniveau end de 80 % selvom virksomheden opnår deres servicemål med det mindste lager vil det være mere profitabelt for virksomheden, at holde sikkerhedsniveauet højere end 80 %. Det billigste for virksomheden er, at holde sig et sikkerhedslager med et sikkerhedsniveau på 95 %. Hvis virksomheden ønsker, at holde sig tæt på 100 % i servicegrad og derved få de ekstra 0,40 %, som mangler ved 95 % sikkerhedslager da kan de vælge, at sikre sig med et 99 % sikkerlager, men om de er villige til at deres omkostninger stiger med \$142 for, at sikre de sidste 0,40 % er tvivlsomt.

Da virksomheden med en afvigelse på 20 % eller derover falder under deres ønskede servicemål på 95 %, er det interessant, at se hvad der sker med modellen, når det månedlige lager er indsat. Ved 20 % afvigelse er servicegraden med et sikkerhedslager med 80 % sikkerhedsniveau 98,70 %, 90 % sikkerhedsniveau 99,57 %, 95 % sikkerhedsniveau 99,81 % og 99 % sikkerhedsniveau 99,97 %, hvilket er en forbedring på godt 5 % i forhold til servicegraden uden sikkerhedslager. Det er en klar forbedring i forhold til servicemålet, men derudover er der sket en signifikant ændring i omkostningerne forbundet med produktionen. Uden sikkerhedslager koster det virksomheden \$7.481 at producere stolen, ved at vælge et månedligt sikkerhedslager ændrer denne sig til en omkostning på \$3.282 med et 80 % sikkerhedslager, hvorimod der betales \$3.168 ved et 90 %, \$3.167 ved et 95 % og \$3.192 ved et 99 % sikkerhedslager, altså en forskel på -\$90 ved at gå fra et 80 % - til et 99 % sikkerhedslager. Det kan ses, at det er billigere at sikre sig med et højere sikkerhedsniveau end 80 %, hvis virksomheden i stedet for vælger et lager med 90 % sikkerhedsniveau kan de spare \$114 alene ved at vælge et højere sikkerhedsniveau. Denne besparelse er minimal højere ved et 95 % sikkerhedsniveau med et fald i omkostningerne på \$115. Virksomheden opnår ikke bare deres ønskede servicegrad, men de sparer også penge som følge af, at der er færre mistede efterspørgsler.

Nedenfor kan ses udviklingen i omkostningerne ved indførelse af månedlig sikkerhedslager, samt sikkerhedsniveau:



Figur 3.6: Omkostninger for en flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.

Man skulle tro at det vil være dyrest, at holde et lager med 99 % sikkerhedsniveau da, der er flest enheder ekstra på lager, men det interessante her er, at selvom virksomheden opnår en servicegrad på over 95 %, så er det sikkerhedslageret med 80 % i sikkerhedsniveau, som er det dyreste for virksomheden at holde, selvom det er det lager med færrest enheder.

Ved alle de forskellige sikkerhedslagre opnås det ønskede servicemål, uanset hvor stor afvigelsen er, men det billigste af alle fire er, at holde et lager med 95 % sikkerhedsniveau. Ved at vælge det rette sikkerhedsniveau der passer til netop deres situation, kan virksomheden spare penge, i forhold til hvis de vælger ud fra det niveau de tror passer til dem, og i dette eksempel er det rette niveau 95 %.

Omkostningerne ved ikke at have en sikkerhedslager, hvor virksomheden stadig opnår deres servicemål, er henholdsvis \$4.165 for 5 % afvigelse, \$5.258 for 10 % afvigelse og \$6.488 for 15 % afvigelse.

95%	5%	10%	15%
Uden	\$ 4.165	\$ 5.258	\$ 6.488
Med	\$ 3.167	\$ 3.323	\$ 3.489
Besparelse	\$ 999	\$ 1.935	\$ 2.999

Tabel 3.1: Besparelser hvis virksomheden vælger et månedligt sikkerhedslager på 95 %.

I forhold til en model med et månedligt sikkerhedslager kan virksomheden ved, at vælge et 95 % sikkerhedslager spare penge, selvom de uanset hvad får opfyldt deres servicemål. Besparelsen

virksomheden kan opnå ved, at indføre et sikkerhedslager er ganske væsentlig og den stiger som følge af at afvigelsen stiger.

Om en virksomhed vælger, at indfører et sikkerhedslager på baggrund af det ovenstående kommer an på hvad virksomheden fokuserer på. Det handler om hvorvidt fokus er, at opnå deres servicemål, mindske omkostninger i produktionen eller holde *Ending Inventory* på et minimum.

Uanset hvad ønsker en virksomhed ikke, at bruge unødige omkostninger ved, at dække sig for meget ind i forhold til de afvigelser der er i markedet. Selvom der er betydelige besparelser ved, at virksomheden holder sig til et 95 % sikkerhedslager kan de også spare penge ved, at forbedre deres forecast. Et forecast er som regel bygget op omkring hvad der er sket tidligere med efterspørgslen, eventuelt hvad de solgte for samme periode sidste år, procentvis ændret, alt afhængig af hvor meget de forventer deres salg vil stige eller falde. Hvor præcist sådan et forecast er, afhænger af mange faktorer, blandt andet kvaliteten af datamaterialet og virksomhedens kendskab til markedet og dets udvikling. Et meget præcist forecast kan være omkostningskrævende, både i indsamlingen af data af høj kvalitet og i forbindelse med at forecast løbende bliver opdateret, som et godt forecast bliver. Virksomheden skal vælge imellem om det er dyrere, at dække sig ind med et stort sikkerhedslager end at forbedre deres forecast.

Ved at se på udviklingen i omkostningerne kan en virksomhed spare betydelig mange penge ved, at kunne gå fra eksempelvis 50 % afvigelse til 25 % eller fra 25 % til 5 %. Jo længere ned man kan bringe afvigelsen på ens forecast, desto mere kan omkostningerne til produktionen af "Kong Philip" stolen nedbringes.

Som beskrevet ovenfor er omkostningerne ved 50 % afvigelse og et 95 % sikkerhedsniveau \$4.615 hvorimod de ligger på \$3.167 ved en afvigelse på bare 5 %. Det er en forskel på \$1.448, det vil sige hvis virksomheden oplever en afvigelse på 50 %¹⁵ og de kan nedbringe denne ved, at gøre forecast mere præcist og kan gøre det for under \$1.448, da kan de opnå en besparelse på deres omkostninger samtidigt med, at de opnår deres ønskede serviceniveau.

Det månedlige sikkerhedslager har i alle tilfælde kunne hjælpe virksomheden med, at opnå deres servicemål, men det har også, i de tilfælde hvor servicemålet allerede var opnået, hjulpet virksom-

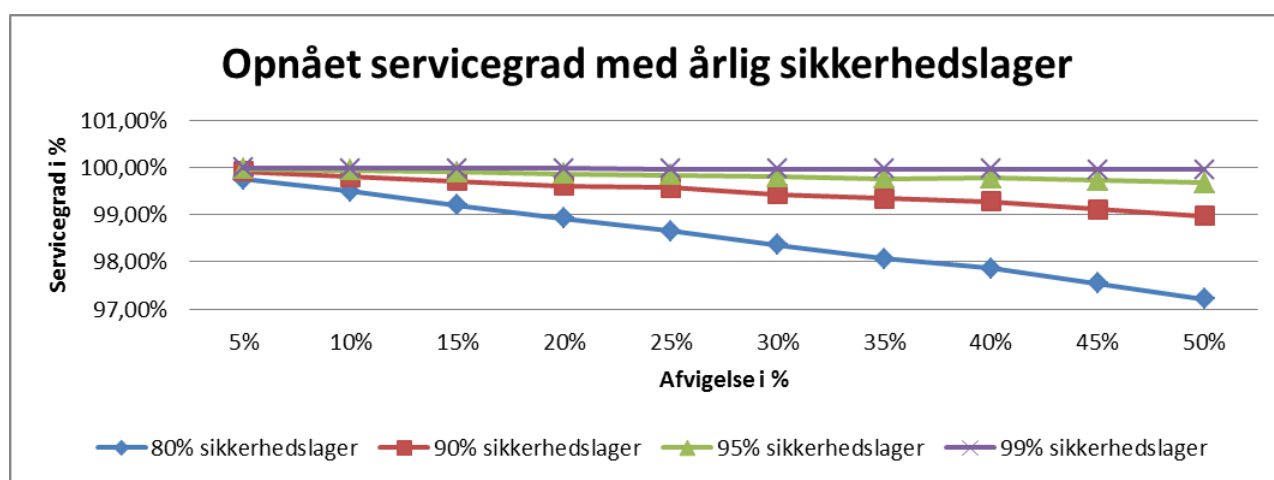
¹⁵ Hvilket selvfølgelig er det helt grelle tilfælde og ikke særlig sandsynligt.

heden med, at spare på de totale omkostninger. Spørgsmålet er, om det årlige sikkerhedslager kan dække virksomheden tilsvarende eller om det er en dårligere løsning.

Årlige sikkerhedslager i MRP modellen

Det årlige sikkerhedslager er, som tidligere beskrevet beregnet ud fra den årlige standardafvigelse og derefter indsat på den første ordre i MRP modellen. Modellen vælger derfor ikke om det skal tages med eller ej.

Det årlige udregnede sikkerhedslager giver følgende misset servicemål:



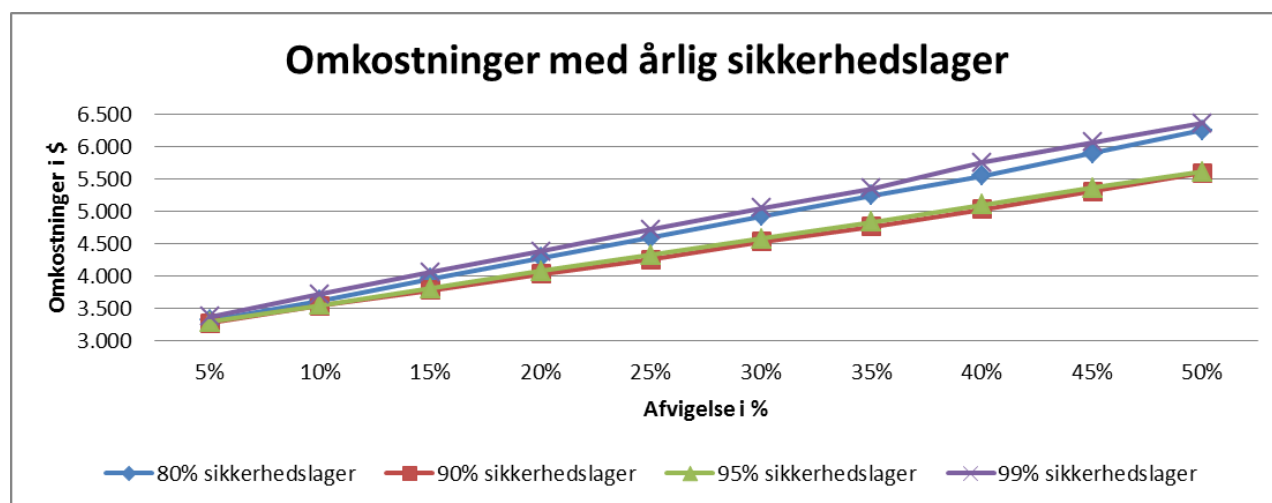
Figur 3.7: Opnået servicegrad for flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.

Med et årligt sikkerhedslager opnår virksomheden sit ønskede servicemål på 95 %, uanset hvilket niveau af sikkerhedslager de vælger. Ved 5 % afvigelse opnår virksomheden en servicegrad på 99,76 % med en sikkerhedslager på 80 % sikkerhedsniveau, 99,92 % ved 90 %, 99,97 % ved 95 % og 100 % ved 99 % sikkerhedsniveau. Hvilket kun er en lille forbedring i forhold servicegraden på 98,40 %, når modellen er uden sikkerhedslager. Omkostningerne ved de forskellige sikkerhedslager er \$3.311 ved et 80 %, \$3.263 ved et 90 %, \$3.282 ved et 95 % og \$3.362 ved et 99 % sikkerhedslager. Virksomheden kan ved det årlige, ligesom ved det månedlige sikkerhedslager, spare penge alene ved, at vælge et højere sikkerhedsniveau end 80 %. Hvis de vælger et 90 % sikkerhedsniveau sparer de \$48, besparelsen er lidt mindre med \$29 ved et 95 % sikkerhedsniveau, men ved 99 % sikkerhedsniveau sparer virksomheden ikke længere penge ved, at vælge det høje niveau.

Hvis afvigelsen derimod er oppe på 50 % er besparelsen virksomheden kan have ved, at vælge det korrekte sikkerhedslager endnu mere betydelig. Omkostningerne ligger på \$6.259 ved 80 %, \$5.597 ved 90 %, \$5.611 ved 95 % og \$6.367 ved 99 %. Her kan virksomheden igen spare penge alene ved, at vælge et højere sikkerhedsniveau end 80 % og opnå besparelser på henholdsvis \$662 og \$648 ved, at vælge 90 % og 95 % i stedet for 80 %. På grund af de missede efterspørgsler ved, at vælge 80 % sikkerhedslageret er det en meromkostning på \$108 for, at dække sig ind med 99 % i stedet for 80 %. Ved 50 % afvigelse er servicegraden markant forbedret fra 83,71 % til 97,21 % ved 80 % sikkerhedslager, 98,98 % ved 90 %, 99,68 % ved 95 % og 99,97 % ved 99 %. Virksomheden går fra, at mangle 11,29 % for at kunne opnå deres servicemål på 95 % til næsten, at dække 100 % af den samlede efterspørgsel.

Ved de 20 % afvigelse, hvor virksomheden falder under servicemålet, er der med et årligt sikkerhedslager en forbedring på minimum 5 % med tilhørende fald i omkostningerne fra \$7.481 uden sikkerhedslager til \$4.278 med et 80 % -, \$4.030 med et 90 % -, \$4.069 med et 95 % - og \$4.375 med et 99 % sikkerhedslager. Virksomheden sparer derved som minimum \$3.106 ved, at vælge et tilføje et sikkerhedslager til modellen derudover opnår de det ønskede servicemål.

Nedenfor ses udviklingen i omkostningerne der er forbundet med, at virksomheden holder en af de fire former for sikkerhedslagre.



Figur 3.8: Omkostninger ved flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.

Det interessante ved omkostningerne ved det årlige sikkerhedslager er, at det er stort set lige dyrt for et 80 % og et 99 % sikkerhedslager. Dette skyldes, at der nu er flere ved 80 % niveauet, hvis

efterspørgsel ikke bliver mødt og derved udsættes virksomheden for strafomkostninger. 90 % samt 95 % sikkerhedslagrene har stort set lige store omkostninger, men 90 % sikkerhedslageret er billigst og servicegraden opfylder virksomhedens servicemål, derfor bør virksomheden med et årligt lager holde sig et 90 % sikkerhedsniveau.

I forhold til de afvigelser, hvor virksomheden stadig opnår deres servicemål, til trods for afvigelser i efterspørgslen kan det ses at, uden et sikkerhedslager er omkostningerne højere end hvis virksomheden vælger, at implementere sikkerhedslager i deres model. Virksomheden vil med et 90 % sikkerhedsniveau kunne opnå besparelser på:

90%	5%	10%	15%
Uden	\$ 4.165	\$ 5.258	\$ 6.488
Med	\$ 3.263	\$ 3.531	\$ 3.779
Besparelse	\$ 902	\$ 1.727	\$ 2.709

Tabel 3.2. Besparelser hvis virksomheden vælger et årligt sikkerhedslager på 90 %.

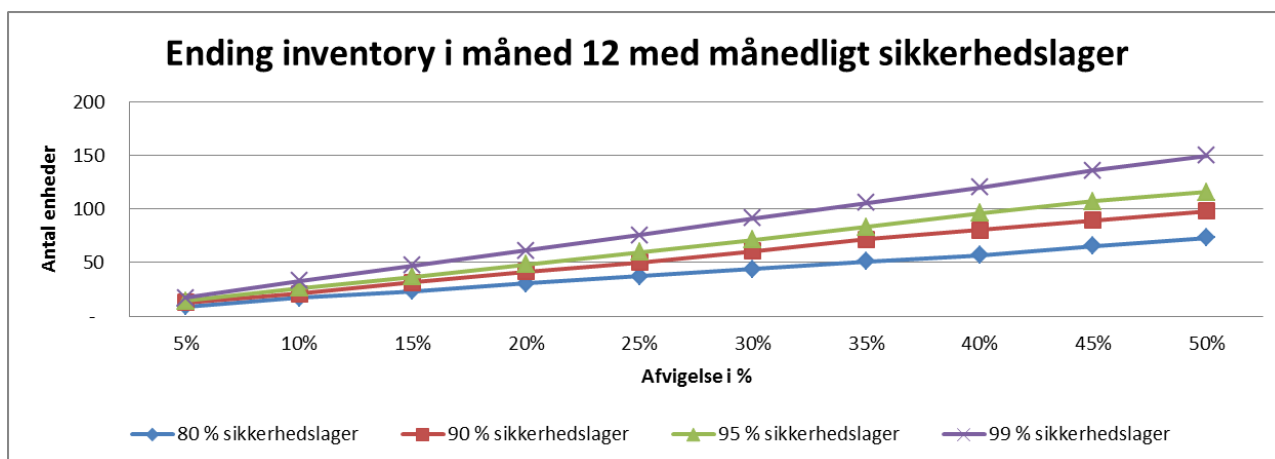
Det kan svare sig for virksomheden, at holde et sikkerhedslager, også selvom deres afvigelse fra forecast ikke afviger med mere end 15 %. Om virksomheden vælger, at implementere sikkerhedslageret på grund af, at de kan spare penge er ikke sikkert, da det som beskrevet tidligere afhænger af hvor deres fokus er.

Ved et årligt sikkerhedslager gælder der det samme som ved det månedlige i forhold til, at forbedre deres forecast og vil derfor ikke blive gennemgået på ny.

Virksomheden vil med et årligt sikkerhedslager skulle vælge, at dække sig med et 90 % sikkerhedsniveau. Dette niveau er mere end tilstrækkeligt til, at virksomheden opnår deres ønskede servicemål på 95 % samtidigt med, at de sparer mest muligt på omkostningerne samtidigt.

Ending Inventory

Når virksomheden vælger, at sikre sig mod usikkerheden ved, at producere ekstra enheder og holde sig et sikkerhedslager, vil de næsten med sikkerhed ende med, at have ekstra enheder på lager når den 12 måneders periode er gået, uanset om det er med et månedligt eller årligt lager. Antallet af ekstra enheder afhænger af hvor stort sikkerhedsniveau virksomheden har valgt, samt hvor stor efterspørgslen har været i forhold til den oprindelige. Dette giver med et månedligt sikkerhedslager et *Ending Inventory* i slutningen af måned 12 på:



Figur 3.9: Ending inventory ved flad efterspørgsel med månedligt sikkerhedslager.

Det kan ses, at antallet af ekstra enheder i slutningen af måned 12, afhænger af hvor stort et sikkerhedsniveau virksomheden har valgt samt hvor stokastisk efterspørgslen har været. Jo højere niveau, desto flere enheder er der til overs når året er omme. Et sikkerhedslager på 80 % vil med en afvigelse på 5 % have i gennemsnit 9 enheder til overs, hvor 99 % sikkerhedslager har 17 enheder, altså en forskel på 8 enheder alt efter hvilket niveau man vælger.

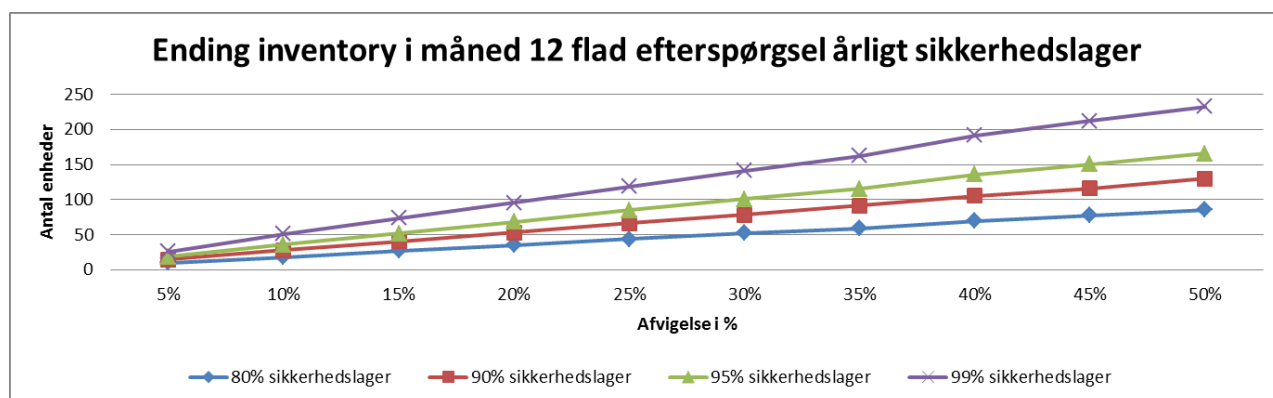
Denne forskel bliver mere markant med en større afvigelse fra forecast. Ved 50 % afvigelse er forskellen 77 enheder, (med 73 enheder ved 80 % sikkerhedsniveau og 150 enheder ved et 99 % niveau).

En virksomhed vil sandsynligvis søge, at have så lidt enheder liggende på lager som muligt samtidigt med, at de opnår den servicegrad som er fastsat. Med metoden valgt til, at implementerer det månedlige sikkerhedslager i modellen, kan virksomheden godt i perioder være dobbelt dækket i og med, at der bliver bestilt det gennemsnitlige sikkerhedslager for de perioder Silver-Meal modellen er kommet frem til med den forudsætning, at efterspørgslen går over det forventede, men den kan med lige så stor sandsynlighed falde under det forventede. På den måde er virksomheden både dækket af sikkerhedslageret, samt af de enheder der er blevet produceret til den enkelte periode, men som ikke alle er blevet brugt.

I forhold til det månedlige sikkerhedslager efterlader det årlige sikkerhedslager flere enheder i slutningen af måned 12. Da fordelingen af efterspørgsler er den samme i begge simuleringer må dette skyldes, at antallet af enheder brugt til det årlige sikkerhedslager er højere end det månedlige. Generelt er antallet af enheder til overs ved, at holde et sikkerhedslager højere end uden og

hvis man har at gøre med et færdigt produkt som kan blive "outdatet", er det dårligt med for mange ekstra enheder, da man kan brænde inde med dem. Da eksemplet omhandler en stol er denne problematik måske ikke den største, men uanset hvad er det bedst, at have mindst muligt ekstra liggende på lager.

Med et årligt sikkerhedslager ender virksomheden med, at have et *Ending Inventory* i måned 12 på:



Figur 3.10: Ending inventory ved flad efterspørgsel med årligt sikkerhedslager.

Ved 5 % afvigelse fra forecast er det *Ending Inventory* med et sikkerhedsniveau på 80 % 10 enheder og dette stiger til 26 enheder med et sikkerhedsniveau på 99 %. Det er kun 16 enheder som skiller de to niveauer og dette stiger til 147 enheder når afvigelsen er oppe på 50 %. Selvom der er så stor forskel på, hvor mange enheder virksomheden har liggende i slutningen af måned 12, har det ikke den store indflydelse på omkostningerne. Ved 5 % afvigelse er omkostningen for et 80 % sikkerhedsniveau \$3.311 mod \$3.362 for et 99 % sikkerhedsniveau og ved 50 % i afvigelse er omkostningerne henholdsvis \$6.259 og \$6.367. Kigges der samtidigt på de dertil hørende missede efterspørgsler er der et tradeoff mellem hvad det koster, at have ekstra enheder på lager i tilfælde af stockout og det som virksomheden skal betale i strafomkostning hvis en efterspørgsel ikke bliver mødt. Et godt eksempel på dette er ved 50 % afvigelse, forskellen på *Ending Inventory* med et sikkerhedslager med et 80 % - og et 90 % sikkerhedsniveau er 86 mod 130 enheder og omkostninger falder med \$662 hvis der vælges et 90 % sikkerhedsniveau i stedet for 80 %. 80 % sikkerhedslageret resulterer i en servicegrad på 97,21 % mod 98,98 % ved 90 % sikkerhedslager, når servicegraden stiger med ca. 1,5 % falder omkostningerne også, til trods for det højere *Ending Inventory*. Tradeoff'et med at gå i stockout er dyrere end, at have ekstra enheder liggende.

Delkonklusion

Man kan stille spørgsmålet: hvis virksomheden forbedrede sit forecast, har de da overhovedet brug for et sikkerhedslager? Størstedelen af det afhænger af om det økonomisk kan svare sig for virksomheden, at forbedre forecast eller om det er bedre at indfører et sikkerhedslager. Det afhænger også af hvor stor en tillid virksomheden har til det forecast de har lavet samt hvor stor en tolerance virksomheden har overfor afvigelser. Hvis deres tillid er stor og de mener at deres forecast er så godt, at det maksimalt vil afvige med 5 %, da kan det være svært at overbevise dem om at det er bedre økonomisk set med et sikkerhedslager. Hvis virksomheden har en afvigelse på 5 % er det økonomisk set billigere for virksomheden, at indfører et sikkerhedslager da de derved sparer mellem \$902 og \$998 alt afhængig af om de vælger et årligt eller månedligt sikkerhedslager. Servicemålet på 95 % overskrides, hvis afvigelsen er højere end 15 % og virksomheden ikke har et sikkerhedslager. Det eneste tidspunkt omkostningerne uden sikkerhedslager er mindre end dem med det månedlige 95 % sikkerhedslager er med 5 % afvigelse, og de er først mindre uden sikkerhedslager med afvigelser på 40 % eller over. Det vil sige, hvis afvigelsen er på 40-50 % og virksomheden kan forbedre deres forecast ned på 5 %, da er det billigere for virksomheden uden, men det er inden omkostningerne for forbedringen af forecast er taget med i betragtningen. Det er meget bekosteligt for en virksomhed, at skulle nedbringe deres forecast fra en afvigelse på 40 % til 5 %, og i forhold til de omkostninger der er med det månedlige lager, de skal gøre dette for mindre end $\$4.312 - \$4165 = \$147$ før det kan svare sig for virksomheden, at forbedre forecast frem for sikkerhedslager. Det samme gør sig gældende ved et årligt 90 % sikkerhedslager. Her gælder det, at omkostningerne for 5 % afvigelse uden sikkerhedslager er mindre, når afvigelsen er på 25 % eller derover med sikkerhedslager samt 10 % afvigelse uden er billigere end 45-50 % afvigelse med, men i begge tilfælde vil det vurderes at være dyrt, at gå fra 50 % til 5 % eller 10% og medmindre de kan gøre det for under \$1432 eller \$339, da er det ikke muligt at forbedre forecast nok til, at det økonomisk kan svare sig for virksomheden.

Det kan derfor konkluderes, at medmindre virksomheden ikke ser på omfanget af deres omkostninger, men i stedet fokuserer på antallet af enheder til slut på lager og at deres forecast ikke afviger med mere end 15 %, da vil en virksomhed ikke vælge at implementerer et sikkerhedslager. Det er de færreste virksomheder der ikke holder fokus på deres omkostninger og det må derfor udledes, at med dette scenarie ville virksomheden vælge at indfører et sikkerhedslager.

Forskellen mellem det månedlige og årlige sikkerhedslager ligger primært i omkostningerne, men også i *Ending Inventory*.

Ved det årlige sikkerhedslager opnår virksomheden deres servicemål på 95 % uanset hvilket sikkerhedsniveau de vælger og de ligger alle stort set ens med hensyn til den opnåede servicegrad. Derfor skal valget baseres på hvad det koster for virksomheden, at have sikkerhedslageret. I den ovenstående analyse er det blevet gjort klart at hvis virksomheden vælger, at have et årligt sikkerhedslager skal de vælge et lager med 90 % sikkerhedsniveau.

Det månedlige sikkerhedslager fungerer på de fleste punkter ligesom det årlige. Det opnår virksomhedens servicemål og valget skal også her ligge på hvor virksomheden sparer mest. Ud fra den ovenstående analyse kan det konkluderes, at virksomheden, når de vælger et månedligt sikkerhedslager, skal vælge et lager med 95 % sikkerhedsniveau, da dette har de laveste omkostninger for virksomheden.

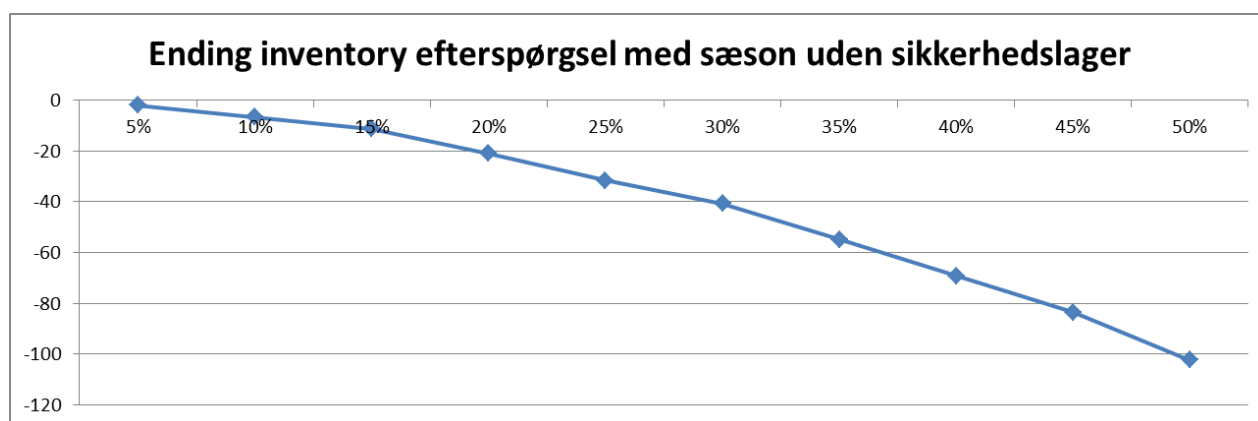
I modellen foregår der et tradeoff mellem omkostningerne ved, at misse efterspørgslen og at have ekstra enheder på lager. Det er dyrt for virksomheden, at opleve stockout og dermed misse salg i forhold til, at have ekstra enheder liggende på lageret.

I tilfældet af, at en virksomhed har en flad efterspørgsel kan det konkluderes, at medmindre man er helt sikker på at ens forecast holder og, at det ikke afviger med mere end 15 % skal virksomheden holde sig et sikkerhedslager. I forhold til det månedlige- efterlader det årlige sikkerhedslager flere enheder i slutningen af måned 12. Selvom en virksomhed skal benytte sig af et 95 % sikkerhedsniveau med månedligt og 90 % ved det årlige, for at dække sig uanset afvigelse fra forecast, da har det månedlige sikkerhedslager stadig færre enheder til overs i slutningen af året. Derudover vides det, at med en flad efterspørgsel og ved at holde sig et månedligt sikkerhedslager er virksomheden dækket ind i forhold til servicemålet uanset hvilket sikkerhedslagerniveau de vælger og uanset afvigelsen på efterspørgslen. Det kan konkluderes, at en virksomhed der holder et sikkerhedslager, og hvis efterspørgsel er flad, skal holde sig et månedligt sikkerhedslager, da det er billigst for virksomheden, de ender med færre overskydende enheder og de opnår deres servicemål med et 95 % sikkerhedsniveau.

Efterspørgsel med sæson udsving

Hvis efterspørgslen i stedet er præget med sæsonudsving, og derfor har en eller flere udsving i løbet af den 12 måneders periode kan det være, at virksomheden skal vælge en anden form for lager end hvis efterspørgslen er flad. Dette vil der nu blive undersøgt.

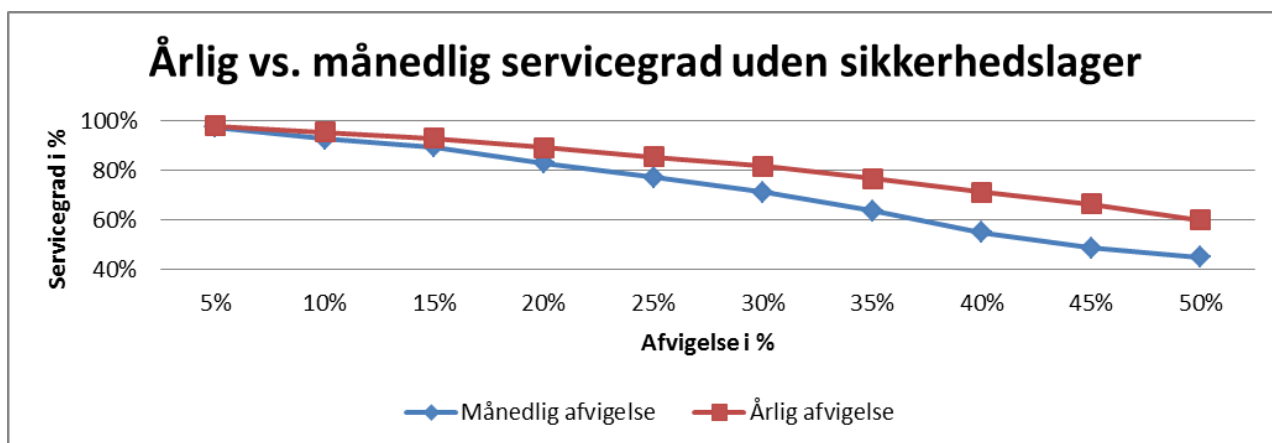
Hvis virksomheden ikke har et sikkerhedslager og efterspørgslen afviger fra forecast, vil deres *Ending Inventory* i slutningen af måned 12 se således ud:



Figur 3.11: Edning inventory ved efterspørgsel med sæson uden sikkerhedslager.

Med 5 % afvigelse mangler virksomheden 2 enheder når måned 12 er slut og dette tal stiger støt som følge af en stigning i afvigelsen fra forecast. Hvis afvigelsen kommer op på 50 % mangler virksomheden 84 enheder når året er omme. De manglende enheder, ikke kun i slutningen af året, men også i løbet af de 12 måneder har sin indflydelse på serviceniveauet.

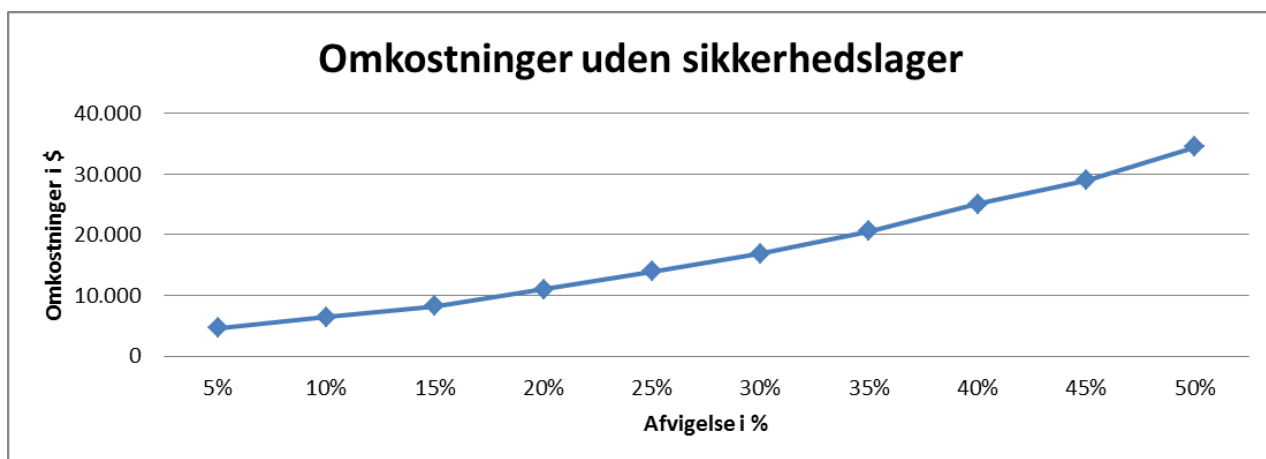
Den opnåede servicegrad er 94,08 % ved en afvigelse på 5 % fra forecast og med en afvigelse på 50 % falder dette til 59,93 %, hvis man ser på servicemålet på årsbasis, men ser man på den månedlige servicegrad er den faldet fra 90,35 % ved 5 % afvigelse til 44,89 % ved en afvigelse på 50 %. Med en efterspørgsel som er influeret af sæson udsving er man nødt til, at se på både den årlige samt månedlige servicegrad. Dette skyldes at der, modsat den flade efterspørgsel, ikke er et fælles udgangspunkt for alle månederne og derfor vil servicegraden ikke være ens på året og på måneden. Sådan en form for efterspørgsel er ekstra svær at dække sig ind ved, da en fejl i forecast kan have store konsekvenser for servicegraden.



Figur 3.12: Viser forskellen på om man kigger på den årlige eller månedlige servicegrad uden sikkerhedslager.

Det kan ses, at de to former for misset servicemål er meget forskellige. Den månedlige er væsentlig lavere end den årlige, og den månedlige falder mere end den årlige. Man skal derfor passe på med hvilken en af de to man vælger, at se på da den årlige ser på hele året som helhed, men ikke på de individuelle måneder og kan derfor gøre servicemålet pænere end det i virkeligheden er. Det vil sige, at hvis man ser på den årlige ser det ikke så slemt ud, at der med en afvigelse på 5 % er et servicegraden 98,03 % totalt set på året, men hvis man derimod ser på den gennemsnitlige månedlige servicegrad, da er den på 96,78 % med et udsving i efterspørgslen på 5 %. Altså er der i begge tilfælde opretholdt et servicemål på 95 % som en virksomheden vil holde, men det kan være svært at argumentere for, at der skal benyttes penge til at sikre kunderne mod de eventuelle stockouts som vil opstå på grund af afvigelserne fra forecast.

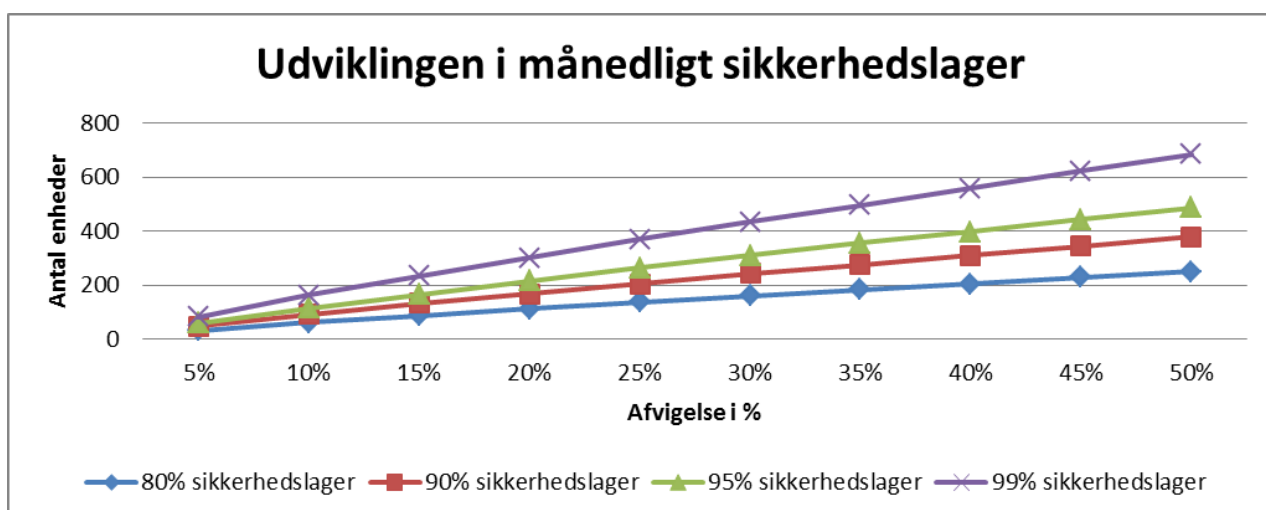
Argumentet kan ligge i, at der ved en afvigelse på bare 10 % er servicegraden faldet til 95,51 % årligt og 92,81 % månedligt, altså et fald på 2,52 % henholdsvis 3,67 % og en afvigelse på 10 % er ikke utænkeligt, selv med et godt forecast. Vælger fremadrettet kun at se på det månedlige missede servicemål, da en virksomhed vil være interesseret i at møde efterspørgslen i samtlige måneder og ikke kun set på året samlet set. Det stærkeste argument for virksomheden må være omkostningerne forbundet ved at ramme ved siden af det der er forecastet.



Figur 3.13: Omkostninger med en efterspørgsel med sæson uden sikkerhedslager.

Det kan ses, at omkostningerne stiger ganske voldsomt i forbindelse med at afvigelsen fra forecastet øges. Fra at det koster virksomheden \$4.628 ved 5 % til \$34.454 ved 50 % afvigelse og med tanken om, at det uden nogen form for afvigelse koster \$3.188, at producere "Kong Philip" stolen, da er dette en meromkostning på \$1.440 henholdsvis \$31.266. Virksomheden kan selvfølgelig spare penge ved, at forbedre deres forecast, men dette ændre ikke ved at deres servicemål bliver overskredet allerede ved 10 % afvigelse. Derfor er det nærliggende for virksomheden, at indlægge et sikkerhedslager.

Nedenfor er udviklingen i det månedlige sikkerhedslager vist. Udregningen foregår på præcis samme måde som tidligere og vil derfor ikke blive vist igen.

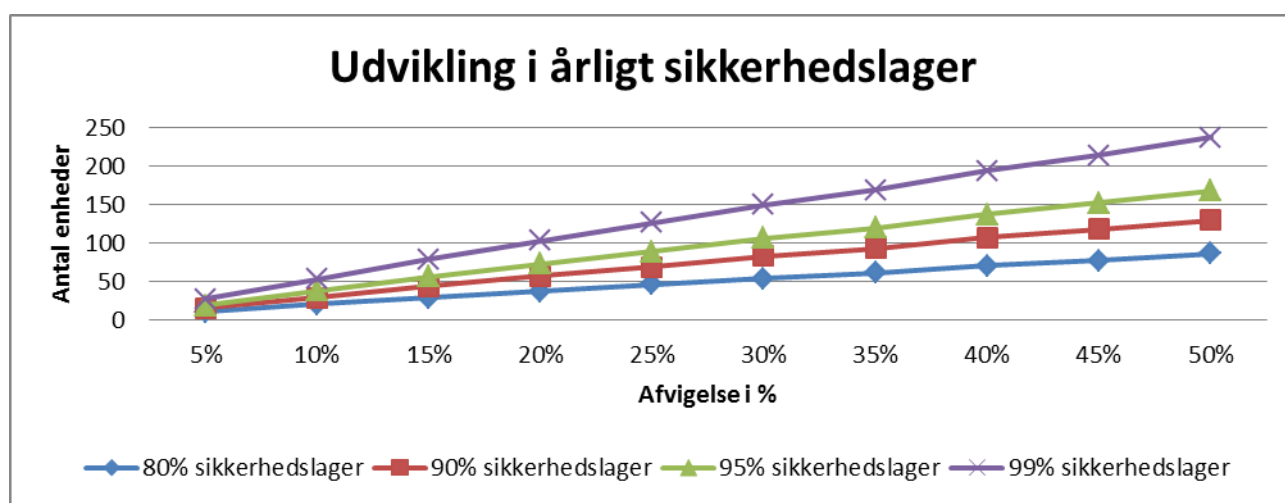


Figur 3.14: Udviklingen i det månedlige sikkerhedslager under efterspørgsel med sæson.

Ved en afvigelse på 5 % fra forecast ligger de forskellige sikkerhedslagere på 33 enheder for et 80 % sikkerhedslager, 47 enheder for et 90 % sikkerhedslager, 60 enheder for et 95 % sikkerhedslager

og 82 enheder for et 99 % sikkerhedslager. Der er små 49 enheders forskel på et 80 % - og et 99 % sikkerhedsniveau. Dette stiger signifikant ved en afvigelse på 50 % til 251 for et 80 % sikkerhedslager, 378 for et 90 % sikkerhedslager, 487 for et 95 % sikkerhedslager og 684 for et 99 % sikkerhedslager, her er forskellen nu på 433 enheder fra 80 % - til 99 % sikkerhedsniveauet.

Da antallet af enheder indsat i modellen afhænger af den tidligere måneds *Ending Inventory* er det ikke sikkert, at alle enheder vil blive brugt og hvis de fleste bliver brugt har virksamheden dem ikke liggende på lager over alle 12 måneder. Dette sparer på lageromkostningerne i forhold til hvis man bestilte hele mængden hjem til starten af måned 1.

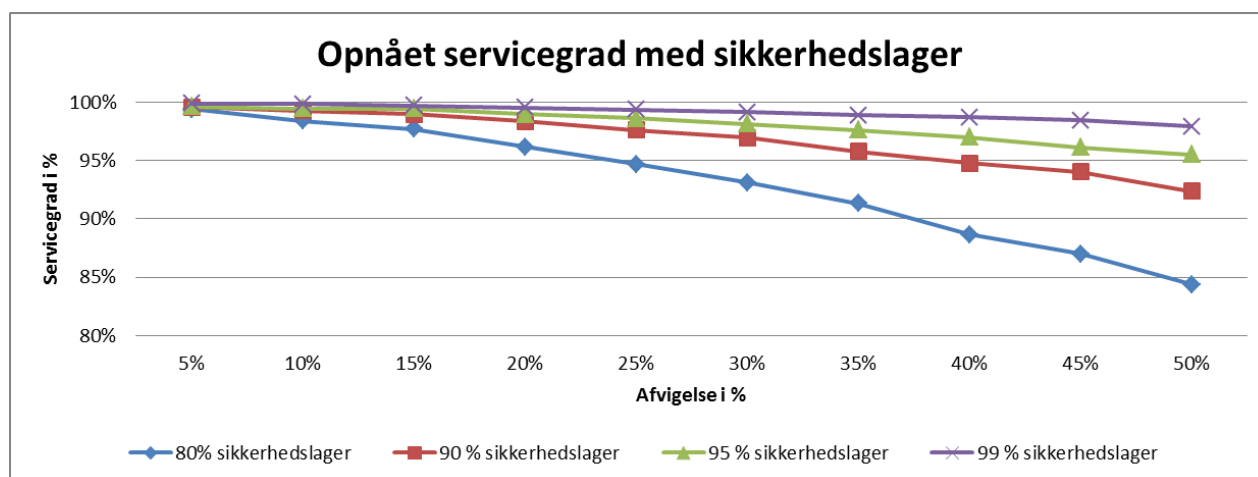


Figur 3.15: Udviklingen i det årlige sikkerhedslager under efterspørgsel med sæson.

Ved en afvigelse på 5 % ligger de forskellige sikkerhedslagre på 10 enheder for et 80 % sikkerhedslager, 15 enheder for et 90 % sikkerhedslager, 19 enheder for et 95 % sikkerhedslager og 27 enheder for et 99 % sikkerhedslager. Dette stiger til henholdsvis 86, 130, 168 og 237 enheder for sikkerhedsniveauerne 80 %, 90 %, 95 % og 99 % ved en afvigelse på 50 % fra forecast. Størrelsen af årlige sikkerhedslager er klart mindre end det månedlige, men spørgsmålet er nu hvilket af de to som dækker afvigelsen på en efterspørgsel med sæson bedst.

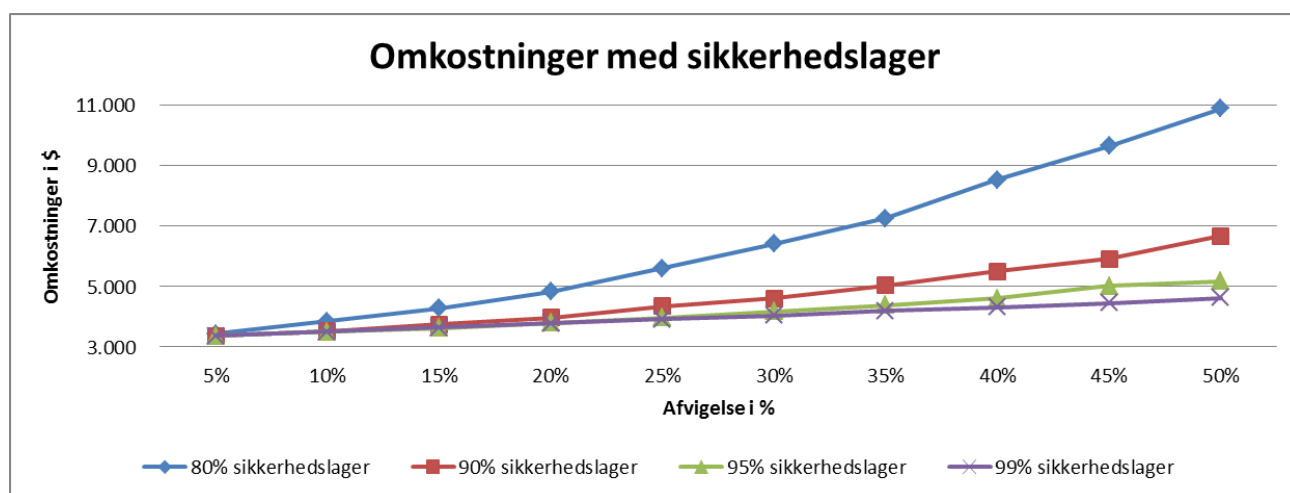
MRP med månedligt sikkerhedslager

Nedenfor ses hvad der sker med det missede servicemål når det månedlige sikkerhedslager indsættes i modellen.



Figur 3.16: Opnået servicegrad under efterspørgsel med sæson med indsat månedligt sikkerhedslager.

Med afvigelser fra forecast på op til 20 %, da kan virksomheden nøjes med at dække sig med et 80 % sikkerhedsniveau og stadig opnå deres servicemål på 95 %. Fra over 20 % og frem til afvigelser på op til 35 % kan de nøjes med 90 % mens de med 95 % eller 99 % sikkerhedslager vil være dækket uanset hvor stor afvigelsen er. Hvilken en de måtte vælge må derfor komme an på hvad omkostningerne er for, at holde de forskellige sikkerhedsniveauer.



Figur 3.17: Omkostninger ved efterspørgsel med sæson med månedligt sikkerhedslager.

Det interessante med omkostningerne er, at det er dyrest for virksomheden at holde et 80 % sikkerhedslager. Det kan ses at 80 % lageret stiger stille og roligt frem til 20 % i afvigelse, hvorefter stigningen i omkostningerne bliver relativ stejl. Dette skyldes, at virksomheden efter 20 % i

afvigelse ryger under deres servicemål og der er for mange efterspørgsler der ikke bliver mødt, hvilket er dyrt med en strafomkostning på \$20 pr. enhed. Dette tradeoff gør, at omkostningerne opfører sig modsat af hvad man kunne forvente. Man skulle tro, at det er billigst at holde et 80 % sikkerhedslager, men ud fra simuleringerne kan det ses at det ikke er tilfældet, men det er i stedet 95 % og 99 % sikkerhedslagerene som har de laveste omkostninger. Det er også disse to lagre som har den højeste servicegrad og som aldrig går under virksomhedens servicemål på 95 %. Med 5 % afvigelse er omkostningerne stort set ens for alle lagrene, fra \$3.436 ved et 80 % sikkerhedsniveau, \$3.366 ved et 90 % sikkerhedsniveau og \$3.360 ved et 95 % sikkerhedsniveau til \$3.361 ved et 99 % sikkerhedsniveau. Det er billigere for virksomheden, at dække sig med et højere sikkerhedslager end de 80 % og det billigste er her 95 %.

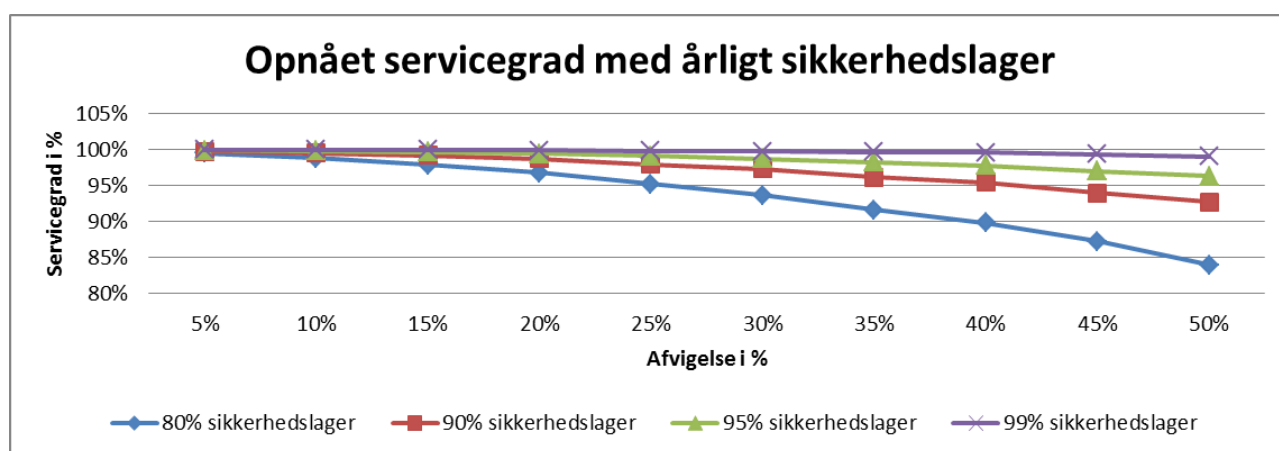
Selvom virksomheden kan spare penge ved, at gå fra et sikkerhedsniveau på 80 % til et på 90 %, er det stadig dyrere end dække sig med 95 %, der er ved en afvigelse på 5 % en lille besparelse på \$6 fra 90 % til 95 % og en meromkostning på \$2 fra 95 % til 99 %. Igen kan det ses, at det er dyrest at dække sig næsten fuldt med et sikkerhedsniveau på 99 %. Samme mønster gør sig gældende ved 10 % og 15 % i afvigelse.

Virksomheden skal da dække sig med et lager der har 95 % sikkerhedsniveau for, at opnå de mindst mulige omkostninger. Dette gælder indtil en afvigelse på 20%, da kan virksomheden spare penge alene ved at dække sig med et 99 % sikkerhedslager frem for 95 %, omkostningerne går fra \$3.807 til \$3.786, en besparelse på \$21 ved at vælge et højere lager. Ved 50 % afvigelse stiger det virksomheden kan spare ved at dække sig med 99 % i stedet for 95 % til \$551.

Dette er hvad der sker hvis MRP udsættes for en usikker efterspørgsel, og denne er præget af sæson og sikkerhedslageret er konstrueret ud fra månedlig standardafvigelse, men hvad nu hvis man i stedet for månedlig sikkerhedslager valgte et årligt.

MRP med årligt sikkerhedslager

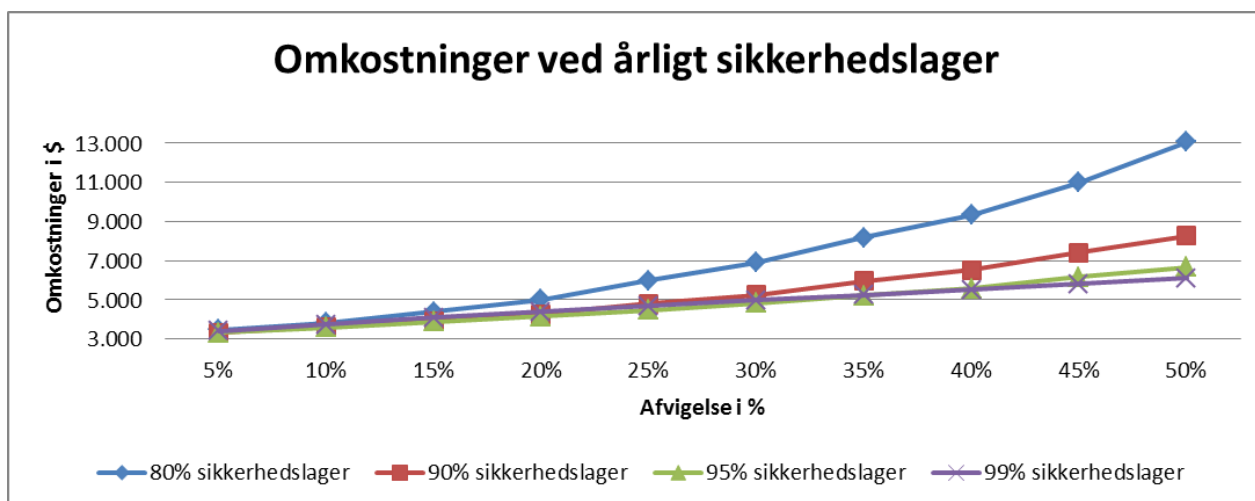
Servicegraden, hvis sikkerhedslageret er årligt, er højere end når man ser på det månedlige sikkerhedslager. Fra en afvigelse på 5 % til 25 % fra forecast kan virksomheden nøjes med at dække sig med et 80 % sikkerhedslager og stadig opnå deres servicemål. Dette er ved 30 % afvigelse ikke længere nok, der skal virksomheden som minimum op på 90 % sikkerhedsniveau. Ved 40 % falder servicemålet under de 95 % og der skal virksomheden som minimum op på 95 % sikkerhedsniveau for, at opnå det ønskede servicemål. Det 95 % sikkerhedsniveau holder tilgængæld servicemålet helt op til de 50 % afvigelse.



Figur 3.18: Opnået servicegrad ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerhedslager.

Den opnåede servicegrad ligger som man kunne forvente, med det 80 % sikkerhedsniveau med størst misset efterspørgsel og 99 % med mindst. Hvis afvigelsen fra forecast skulle komme op på 40 % eller derover er virksomheden nødt til, at dække sig med 95 % sikkerhedsniveau for at opnå deres servicemål, men spørgsmålet er så hvad omkostningerne er for, at holde lageret så højt og hvilke besparelser virksomheden kan gøre sig ved, at vælge det rigtige sikkerhedslager.

Med et årligt sikkerhedslager er omkostningerne dyrest for, at holde et 80 % sikkerhedslager selv ved bare 5 % i afvigelse. Omkostningerne ved at holde 80 % sikkerhedslager stiger voldsomt, som resultat af at afvigelsen stiger fra \$3.456 ved 5 % afvigelse til \$13.068 ved 50 %, en stigning på \$9.812. Dette gør at virksomheden kan spare penge ved, at vælge et højere sikkerhedsniveau end de 80 %. Ved i stedet at vælge et 90 % lager sparer virksomheden \$135, ved 95 % sparer de \$144 og ved 99 % er besparelsen bare \$60.



Figur 3.19: Omkostninger ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerhedslager.

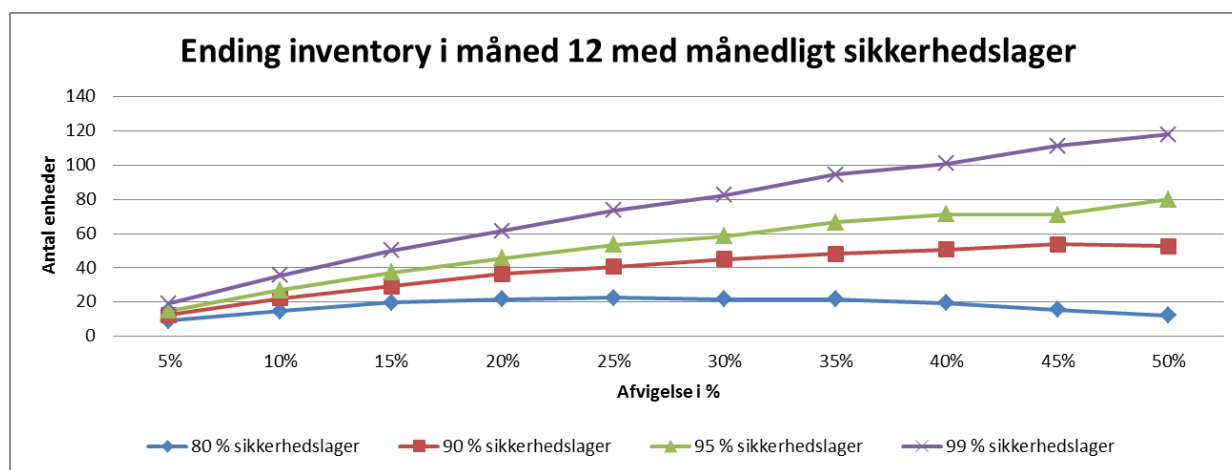
Ved 5 % afvigelse overstiger omkostningerne for, at holde et 90 % sikkerhedslager omkostningerne ved, at holde et 95 % sikkerhedslager og ved 25 % overstiger omkostningerne for, at holde et 95 % sikkerhedslager også omkostninger ved, at holde 99 % sikkerhedslageret. Virksomheden kan derfor spare penge alene ved, at vælge et sikkerhedslager med 95 % sikkerhedsniveau, og efter 25 % ved at vælge et 99 % sikkerhedsniveau, frem for et 90 % sikkerhedsniveau. Ved 5 % afvigelse og ved, at vælge 95 % sikkerhedslageret kan de spare \$9 og denne besparelse stiger jo mere afvigelsen stiger og ved 50 % afvigelse er den oppe på \$1.614. Fra 40 % og til 50 % afvigelse er det dyre for virksomheden, at holde sig et 95 % sikkerhedslager end et 99 % sikkerhedslager, her kan virksomheden igen spare penge ved at sikre sig med et højere sikkerhedsniveau, hvis de forventer et udsving i den forventede efterspørgsel på 40 % eller mere. Grunden til at det er dyrere at dække sig med et mindre sikkerhedslager er at den missede efterspørgsel er dyr ikke at imødekomme i forhold til, at have lidt ekstra liggende på lager. Omkostningerne følger derved det missede servicemål, jo dårligere sikkerhedslageret dækker efterspørgslen, jo højere er omkostningerne.

Hvis man skal se på mulighederne for virksomheden for, at spare penge ved at forbedre deres forecast, så er det altid bedst for dem at få så nøjagtigt forecast som muligt, men spørgsmålet er så hvad der kan svare sig for dem, at betale for denne forbedring. Med afvigelser mindre end 40 %, opnår virksomheden servicemålet og 95 % sikkerhedslager er det lager med mindst mulige omkostninger i forhold til de 3 andre lagre. Det vil sige, hvis afvigelserne er på 40 % eller derover, da er det ikke bare penge virksomheden kan sparere, de kan også forbedre deres servicemål alene ved at forbedre forecast. Omkostningerne ved 35 % afvigelse og 95 % sikkerhedslager er \$5.204 og

hvis virksomheden ønsker, at forbedre forecast sådan at det har en afvigelse på max 5 % skal man kunne gøre dette for under $\$5.204 - \$3.312 = \$1.892$ før det kan svare sig. Man kan argumentere, for at virksomhedens incitament til, at ville forbedre forecast så meget er relativt lille, da de allerede opnår deres servicemål og sparer penge ved, at indfører et sikkerhedslager og vælge det rette sikkerhedsniveau for dette.

Antallet af enheder virksomheden har til overs når den 12 måneders periode er overstået er forskellig fra om der vælges det månedlige eller årlige sikkerhedslager.

Hvis virksomheden vælger det månedlige lager, ender de med et *Ending Inventory* i måned 12 på:



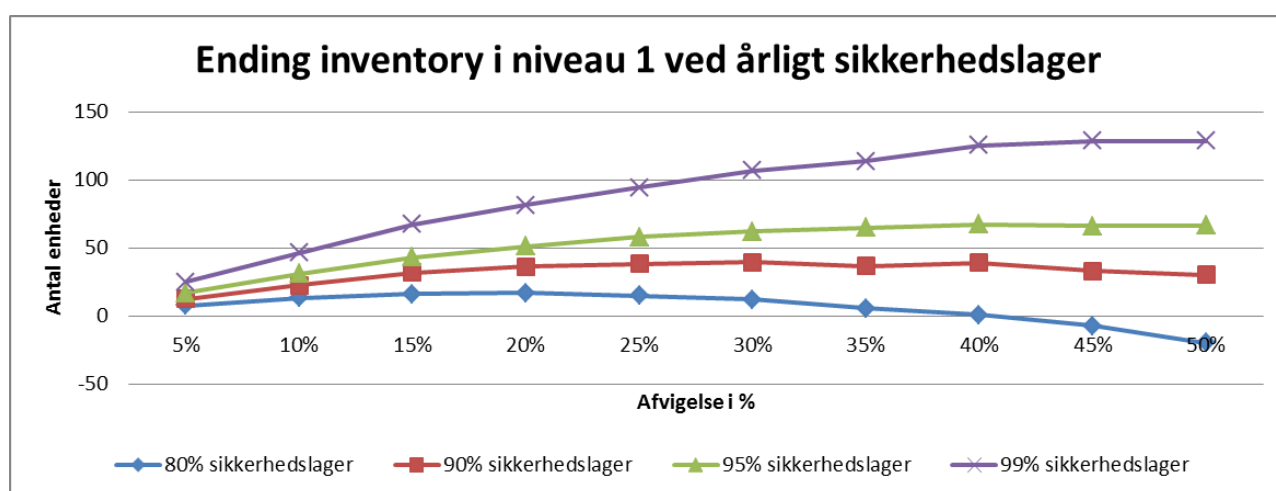
Figur 3.20: Ending inventory ved efterspørgsel med sæson med månedligt sikkerhedslager.

Ud fra antallet af enheder i *Ending inventory* kan det ses, at et 80 % - og et 90 % sikkerhedslager ikke dækker efterspørgslen tilstrækkeligt. Ved 80 % sikkerhedslageret er antallet af overskydende enheder stigende frem til 20 % afvigelse hvorefter det falder. Det vides fra tidligere i analysen at et 80 % sikkerhedslager ikke dækker efterspørgslen tilstrækkelig ved 20 % afvigelse, hvilket stemmer overens med hvad der kan ses på figur 3.20. Det samme gælder for 90 % sikkerhedslageret, her stopper stigningen af ekstra enheder ved 40 %.

Ved 5 % afvigelse er forskellen på et 80 % - og et 99 % sikkerhedsniveau 10 ekstra enheder i løbet af perioden på 12 måneder og alle 4 lagre er under 20 ekstra enheder. Hvert af de 4 lagres ekstra enheder stiger, når afvigelsen stiger. Dette resulterer i, at der ved 50 % afvigelse er henholdsvis 12 og 118 enheder i overskud, alt efter om virksomheden vælger et 80 % - eller et 99 % sikkerhedsniveau. Begge tilfælde har virksomheden enheder til overs når året er omme, med et 99 % sikkerhedslager er der mange i forhold til antallet af efterspurgte enheder på året. Det vides fra oven-

stående analyse, at virksomheden skal vælge et 95 % sikkerhedslager med afvigelser under 20 % og et 99 % sikkerhedslager med større afvigelser, når de sikre sig med et månedligt lager. Ved 5 % afvigelse har virksomheden med et 95 % sikkerhedslager 15 enheder til overs ved 5 % afvigelse og 46 enheder til overs ved 20 % afvigelse. Med 99 % sikkerhedslageret er antal enheder til overs ved 20 % 62 stk. og ved 50 % er dette tal steget til 118. Selvom virksomheden har flere enheder på lager, når året er omme, med det valgte sikkerhedslager er omkostningerne ved de andre sikkerhedslagre større.

Hvis virksomheden i stedet vælger et årligt sikkerhedslager, vil deres *Ending Inventory* se væsentlig anderledes ud:



Figur 3.21: Ending Inventory ved efterspørgsel med sæson med årligt sikkerhedslager.

Det kan tydeligt ses på mønsteret for de forskellige sikkerhedslagres *Ending Inventory*, at denne form for sikkerhedslager ikke dækker efterspørgslen tilstrækkelig til, at opnå servicemålet. *Ending Inventory* er for 80 % -, 90 % - og 95 % sikkerhedslagrene først stigende frem til 25-30 % og dernæst aftagende, hvis ikke direkte faldende, hvor 99 % sikkerhedslageret er det eneste som ikke falder, men blot aftager i stigningen ved ca. 40 % i afvigelse. Ved 80 % lagret ender *Ending Inventory* med, at gå i minus med 40 % eller mere i afvigelse.

Af de to former for sikkerhedslagre er det årlige det der generelt har det laveste *Ending Inventory*, men det er også det sikkerhedslager som dækker efterspørgslen dårligst. Med den metode som sikkerhedslagret er implementeret på i denne opgave skal virksomheden vælge imellem, at have så lidt enheder liggende som muligt, når året er omme eller imødekomme deres servicemål med, at have ekstra mange enheder liggende.

En virksomhed vægter deres servicemål højt og vil derfor ende med, at have ekstra enheder på lager når de vælger, at dække sig med et sikkerhedslager, men måden sikkerhedslageret er inkorporeret i denne opgave er ikke den bedste i forhold til den virkelige verden, med de mange ekstra enheder i slutningen af året.

Delkonklusion

Til at starte med kan det konkluderes, at servicemålet allerede ved bare 10 % afvigelse bliver overskredet. Økonomisk set, kan det ikke svare sig for virksomheden, at forbedre deres forecast da de sparer penge alene ved at holde sikkerhedslager. Dette er derfor ikke en metode man kan gøre brug af alene, man er nødt til at kombinere den med et sikkerhedslager, hvis man ønsker at forbedre forecast.

Det månedlige sikkerhedslager dækker efterspørgslen langt bedre end det årlige sikkerhedslager. Den opnåede servicegrad ligger højere ved det årlige- end ved det månedlige sikkerhedslager, og omkostningerne følger også dette mønster. Med det månedlige sikkerhedslager er det tilstrækkeligt for virksomheden, at dække sig med et 80 % sikkerhedslager indtil en afvigelse på 20 % fra forecast, 90 % fra 25 % i afvigelse til en 35 %, hvorefter de som minimum bør dække sig med et 95 % sikkerhedslager. Det 95 % sikkerhedslager er billigere ved 5 % til 20 % afvigelse end de resterende tre og virksomheden opnår stadig deres servicemål på minimum 95 %, så for ikke at have for mange enheder liggende på lager kan de nøjes med, at holde sikkerhedslageret på 95 % niveau frem til en afvigelse på 25 %, da er det bedst økonomisk set for virksomheden at vælge 99 % niveaet.

Ved det årlige sikkerhedslager er det ikke så simpelt i forhold til hvilket sikkerhedslager der dækker bedst. Hvis virksomheden ønsker, at holde deres servicemål samtidigt med at de holder et årligt sikkerhedslager, da kan de nøjes med at dække sig med et 80 % sikkerhedslager, til afvigelsen når op på 25 % fra forecast. Dette stiger ved en afvigelse på 30 %, da skal de som minimum holde et 90 % sikkerhedslager og ved 40 % afvigelse skal de op i et 95 % niveau, for at dække servicemålet. Hvilket årligt sikkerhedslager virksomheden skal vælge må derfor komme an på omkostningerne. Omkostninger ved både et 80 % - og et 90 % sikkerhedslager overstiger omkostningerne ved 95 % sikkerhedslageret allerede ved 5 % afvigelse og dette sikkerhedslager er billigst, at holde indtil afvigelsen nå op på 40 %, da er 99 % sikkerhedslager det billigste. Derfor skal virksomheden, når de

holder et årligt sikkerhedslager og ønsker et 95 % servicemål, holde sig et 95 % sikkerhedslager ved afvigelser under 40 % og med afvigelser over skal de holde sig et 99 % sikkerhedsniveau.

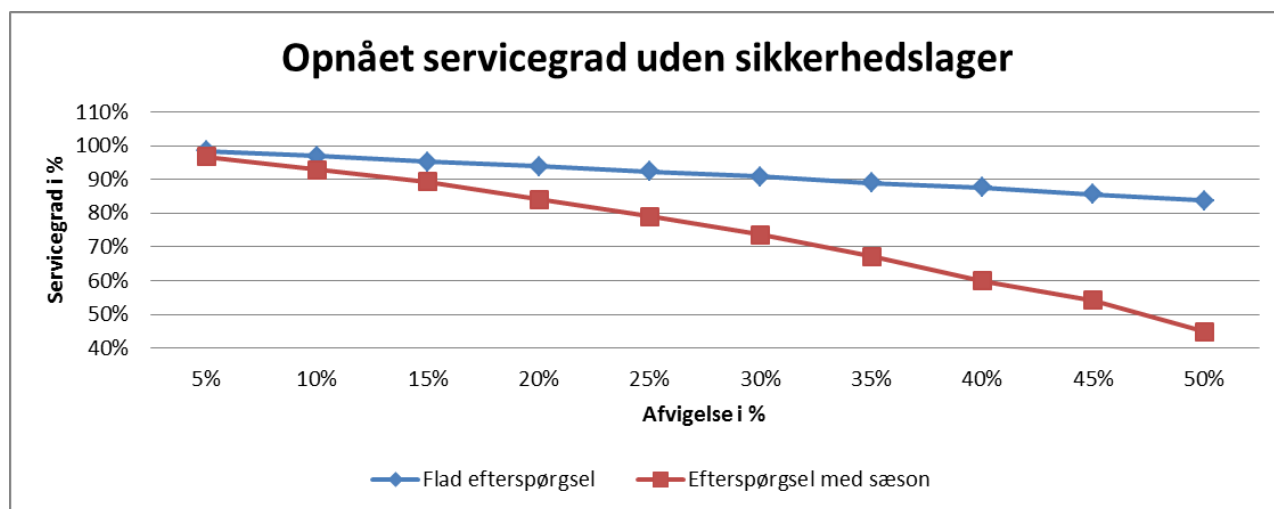
Af de to lagre er det årlige generelt billigere, men samtidig dækker det efterspørgslen dårligere og er mere usikkert i forhold til hvor meget virksomheden skal sikre sig med.

Ved at se på ovenstående vil det kunne konkluderes at, en virksomhed som er udsat for en efterspørgsel med sæson, bør holde sig et månedligt lager frem for et årligt. På denne måde sparer de penge, til trods for de ekstra enheder det månedlige lager indeholder. De bør med en forventning på en afvigelse på under 20 % holde et 95 % sikkerhedsniveau og et 99 % sikkerhedsniveau, når forventningen er højere end 20 % afvigelse. Virksomheden kan vælge at, forbedre deres forecast, men da der kun er \$1.268 forskel på 99 % sikkerhedsniveauet, som er tilstrækkeligt for virksomheden at benytte, om afvigelsen er 5 % eller 50 %, da skal det være meget billigt at forbedre virksomhedens forecast før det det kan svare sig.

Det kan diskuteres om valget af metode for indførelse af sikkerhedslageret har været den bedste, da *Ending Inventory* i de fleste tilfælde har været meget højt. Det høje *Ending Inventory* har gjort sit formål ved, at opretholde servicemålet og der har kunnet ses et tradeoff på omkostningerne mellem servicegraderne og, at holde ekstra enheder på lager. Dette tradeoff kan konkluderes, at være dyrere for en virksomhed at misse efterspørgslen end, at holde en høj lagerbeholdning.

Efterspørgsel med sæson vs. flad efterspørgsel

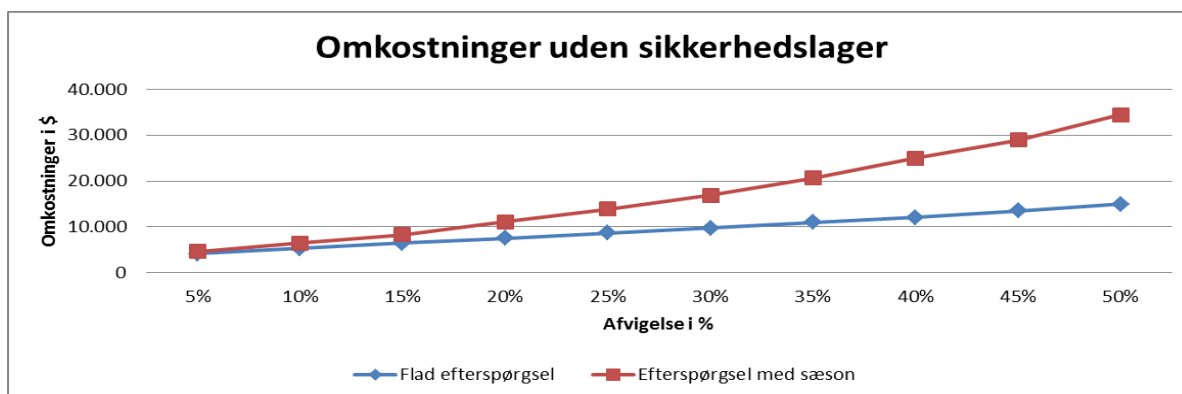
Vil nu se hvilken forskel det gør om efterspørgslen er helt flad eller præget med sæson. Den opnåede servicegrad, når begge efterspørgsler bliver udsat for afvigelser er signifikant lavere ved en efterspørgsel med sæson end ved den flade. Faldet i efterspørgslen med sæson er mere krum og aftager hurtigere end den flade som er lineært faldende og som falder med samme hastighed som afvigelsen.



Figur 3.22: Forskel på opnået servicegrad uden sikkerhedslager i forhold til efterspørgslens udformning.

En efterspørgsel med sæson må ses som værende mere følsom overfor afvigelser i efterspørgslen, specielt hvis afvigelserne er store, end en efterspørgsel som er flad. Dette giver mening, da en afvigelse på en flad efterspørgsel altid vil svinge om det samme udgangspunkt hver måned og vil derfor ikke have så stor en effekt på servicegraden. Hvorimod en efterspørgsel med sæson har forskellige udgangspunkter og specielt i sæson månederne, kan udsvingene have en stor effekt på den opnåede servicegrad. Dette gør det væsentligt nemmere for en virksomhed, at sikre sig overfor den usikkerhed der er i efterspørgslen, når denne er flad og afvigelsen ikke har så stor effekt på hvad der bliver efterspurgt.

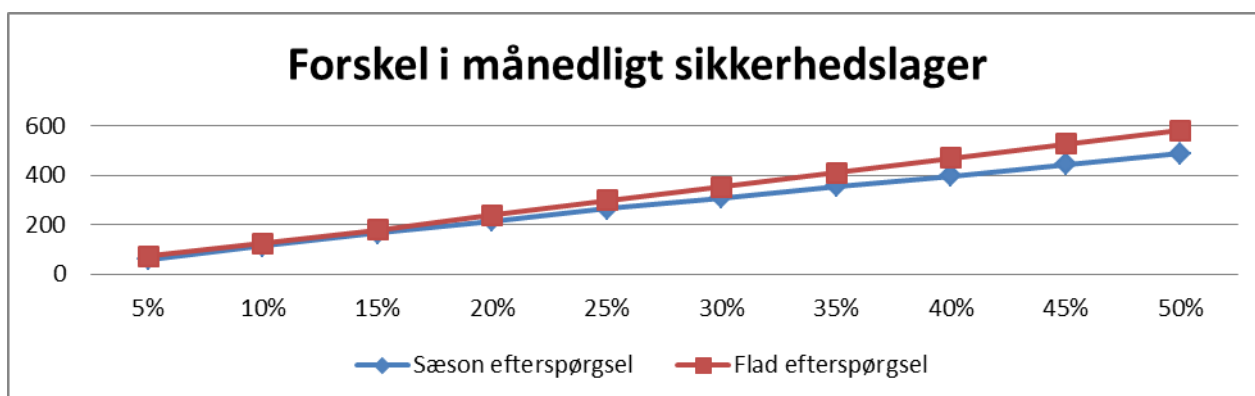
Omkostningerne for de to forskellige efterspørgsler er igen meget forskellige. Her kan man se hvilken indflydelse de forskellige afvigelser har og hvor vigtigt det enten er, at det forecast man har lavet er så tæt på de korrekte tal som muligt eller, at man sørger for at dække sig mod den usikkerhed der kan være i efterspørgslen.



Figur 3.23: Forskel på omkostningerne uden sikkerhedslager i forhold til efterspørgslens udformning.

Omkostningerne for den flade efterspørgsel er relativt lineært stigende som følge af, at afvigelsen stiger hvor sæson efterspørgslen stiger hurtigere når afvigelsen stiger. Med en afvigelse på små 5 %, hvilket ikke er utænkeligt, da er forskellen i omkostningerne små \$463, men hvis man er ude i det helt kontrasterende tilfælde og ens forecast har en afvigelse på 50 %, da er der forskel på de to efterspørgsler på godt \$20.000. I begge tilfælde er det en god ide for virksomheden, at sikre sig med et sikkerhedslager og eventuelt forbedre deres forecast oveni, alt afhængig af hvilket slags sikkerhedslager de har valgt.

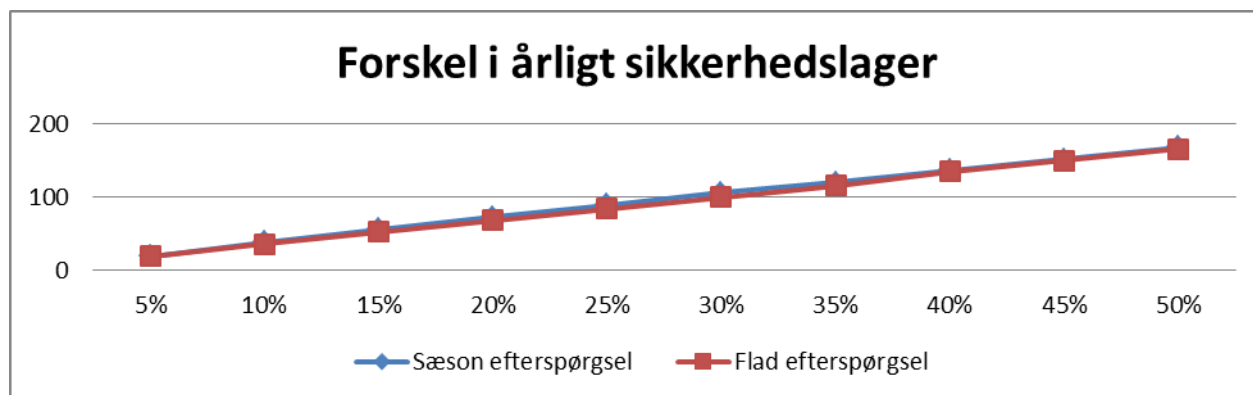
Nedenfor er det månedlige 95 % sikkerhedslager vist for begge efterspørgsler. De to efterspørgsleres lagre ligger stort set ens indtil 15 %, hvorefter den flade efterspørgsels sikkerhedslager ligger højere på antallet af enheder end sæson efterspørgslen. Dette skyldes, at den månedlige varians generelt er højere ved flad efterspørgsel end ved sæson, og derfor bliver det gennemsnitlige månedlige sikkerhedslager højere.



Figur 3.24: Forskel i månedligt sikkerhedslager ud fra efterspørgslens udformning.

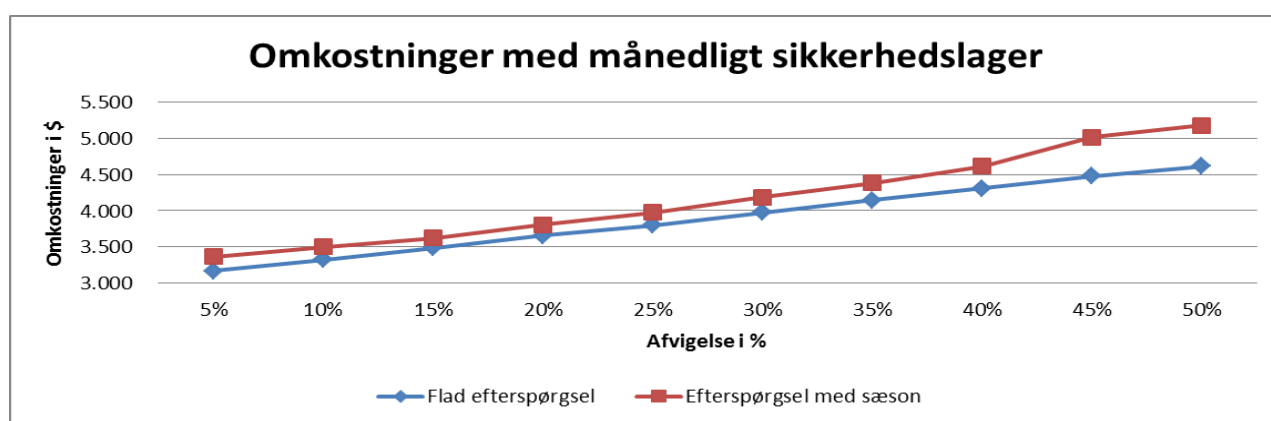
Med det årlige 95 % sikkerhedslager er der stort set ingen forskel i de to lagre. Selvom de månedlige varianser er væsentligt forskellige ved sæson efterspørgslen end ved den flade, så er den gen-

nemsnitlige årlige varians stort set ens, men efterspørgslen med sæson ligger generelt højere i forhold til den flade efterspørgsel.



Figur 3.25: Forskel i årligt sikkerhedslager alt ud fra efterspørgslens udformning.

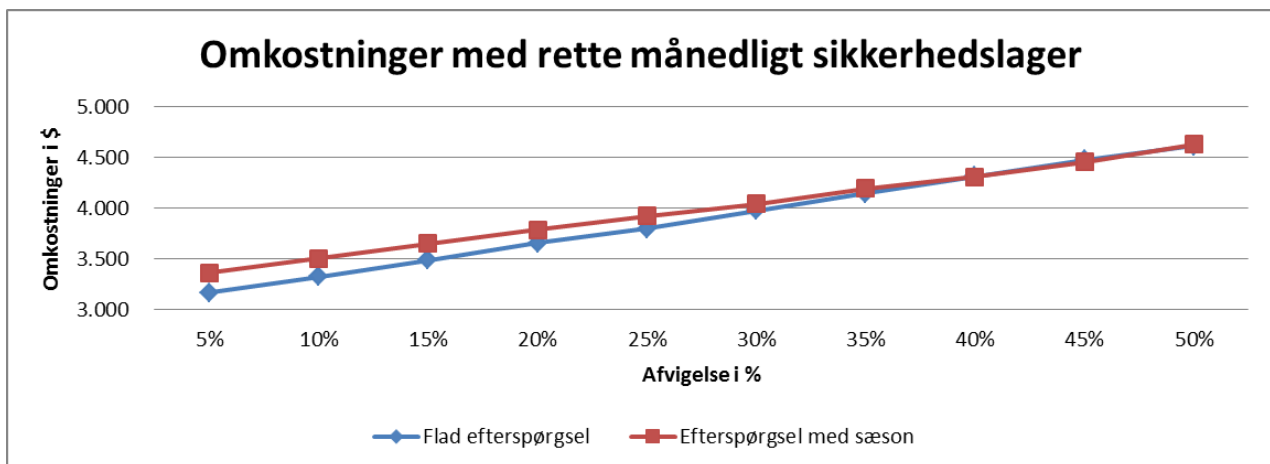
Nedenfor er der indsat 95 % sikkerhedslager på begge efterspørgsler og det kan ses, at omkostningerne for begge slags efterspørgsler er faldet betydeligt i forhold til, hvis der intet sikkerhedslager var. Faktisk er omkostningerne for efterspørgslen med sæson højere ved alle afvigelser end den flade efterspørgsel. Omkostningerne for sæson er ved en afvigelse på 50 % faldet fra \$34.454 til \$5.182 med et sikkerhedslager med et 95 % sikkerhedsniveau, et fald på \$29.272 og den flade efterspørgsel ligger på \$4.615 med 95 % sikkerhedslager imod \$14.958 uden. Ved 5 % afvigelse er faldet i omkostningerne for sæson \$1.267 og \$998 for den flade efterspørgsel. Altså har virksomheden sparet betydeligt med penge ved at, indfører et sikkerhedslager selvom dette betyder, at de bliver nødt til at have ekstra enheder liggende på lager.



Figur 3.26: Forskellen på en flad efterspørgsel og en efterspørgsel med sæsons omkostninger ved 95 % månedligt lager.

Den ovenstående sammenligning kan findes lidt misvisende, da virksomheden under efterspørgsel med sæson er bedre stillet med et 99 % sikkerhedslager med afvigelser over 20 %. Fra tidligere

analyser i denne afhandling er det blevet konkluderet, at en virksomhed som har en flad efterspørgsel og som ønsker, at dække sig med et månedligt lager skal dække sig med et sikkerhedslager med et 95 % sikkerhedsniveau, til trods for at de opnår servicemålet med de andre er dette den billigste løsning for virksomheden. For en virksomhed med sæson efterspørgsel og som vil dække sig med månedligt lager her er de nødt til, at dække sig med minimum 99 % sikkerhedslager for, at opnå servicemålet ved samtlige afvigelser og få de lavest mulige omkostninger.

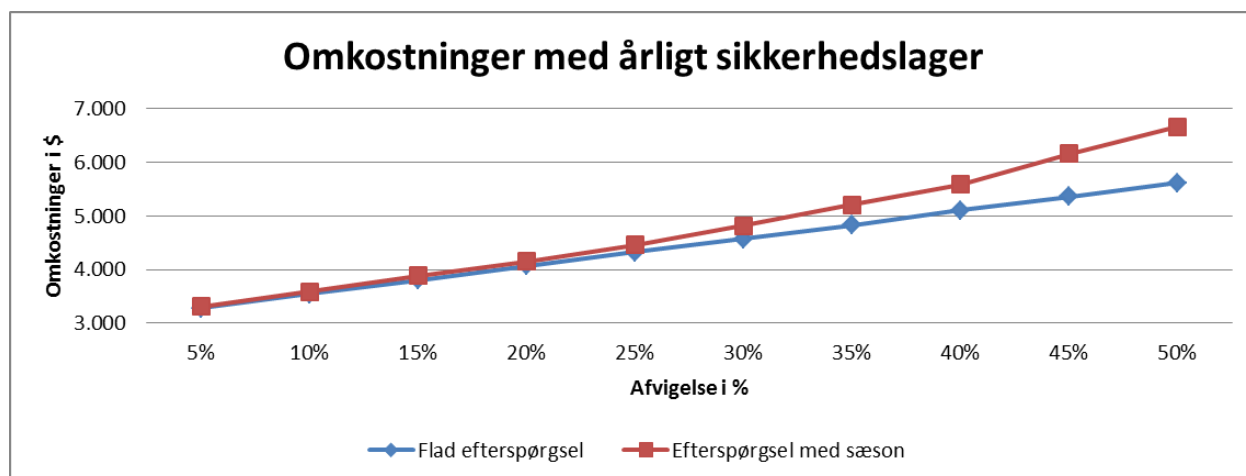


Figur 3.27: Forskel i omkostningerne ved det rette valg af månedligt sikkerhedslager som passer til den enkelte efterspørgsel.

Omkostningerne ved disse to lagre er indsat ovenfor, og det kan ses at de ligger ganske tæt. Fra en afvigelse på 5 % til 35 % ligger sæson efterspørgslen højest med omkostningerne hvorefter den flade efterspørgsels omkostninger overstiger den. Ved 5 % afvigelse er omkostningerne henholdsvis \$3.167 for den flade og \$3.363 for sæson, et fald i omkostningerne på \$998 for flad efterspørgsel og \$1.265 for sæson efterspørgslen i forhold til ikke at holde noget sikkerhedslager. Når afvigelsen er på 50 % er omkostningerne faldet med \$10.343 for den flade og \$29.823 for sæson efterspørgslen.

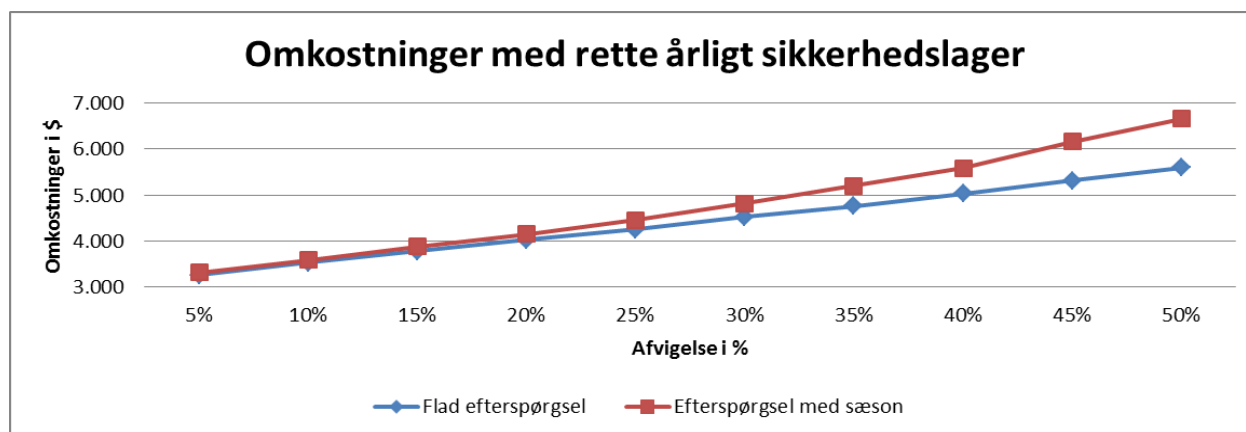
Besparelserne virksomheden har gjort sig ved, at vælge en af disse to sikkerhedslagers størrelser, i stedet for automatisk at gå ud fra, at 95 % sikkerhedslageret er det bedste grundet deres servicemål.

Dette er hvad der sker hvis de to forskellige efterspørgslers usikkerheder bliver klaret med et månedligt sikkerhedslager, men hvad hvis usikkerheden i stedet blev klaret med et årligt sikkerhedslager. Nedenfor er det årlige 95 % sikkerhedslager indsat i MRP modellen og omkostningerne for de to efterspørgsler er givet som følger:



Figur 3.28: Forskel på de to efterspørgsleres omkostninger ved 95 % årligt sikkerhedslager.

Omkostningerne for sæson efterspørgslen er højest af de to, lige fra 5 % og op til 50 % afvigelse. De ligger relativt ens frem til 20 % hvorefter sæson efterspørgslen laver et knæk opad og ved 50 % i afvigelse er forskellen på de to efterspørgsler \$1.050. Med den tidligere analyse i tankerne ser det relativt pænt ud, dog er det for meget for en flad efterspørgsel, at have et årligt 95 % sikkerhedslager hvorimod det for sæson efterspørgslen er fint, at holde sig på 95 % på nær med en afvigelse på 40-50 % da er det billigere med 99 % sikkerhedslager, men virksomheden er stadig dækket i forhold til deres servicemål, så vælger at benytte 95 % sikkerhedsniveauet i dette tilfælde. Derfor ses det nu på hvad omkostningerne er for de rette årlige sikkerhedslagere.



Figur 3.29: Forskel på de to efterspørgsleres omkostninger ved det rette valg af årligt sikkerhedslager.

Sæson efterspørgslen er dyrest i omkostninger, når virksomheden vælger at holde sikkerhedsniveauet på 95 %. Generelt ligger omkostningerne højere ved sæson end ved den flade efterspørgsels. Virksomheden sparer med en afvigelse på 5 % og med at holde et årligt sikkerhedslager \$902 hvor efterspørgslen er flad og \$1.316 hvor efterspørgsel er med sæson. dette stiger til \$9.361 for flad efterspørgsel og \$27.793 hvis virksomheden har en efterspørgsel med sæson.

Delkonklusion

Når en virksomhed ønsker, at dække sig mod usikkerhed i deres efterspørgsel er det vigtigt, at de gør sig overvejelser om hvorvidt deres efterspørgsel er med eller uden sæson. Omkostningerne der er forbundet med en stokastisk efterspørgsel, hvor virksomheden ikke er dækket ind med et sikkerhedslager, er med en sæson efterspørgsel stærk stigende. Det vil sige at hvis forecast bare er en smule ved siden af, har det store konsekvenser for virksomhedens omkostninger og det er derfor særlig vigtigt for virksomheden, at dække sig ind overfor ændringer, når efterspørgslen er præget af sæson. Beslutningen om hvilken form for sikkerhedslager, månedligt eller årligt, virksomheden ønsker, har stor betydning for om de opnår deres servicemål samt hvor store omkostninger de ender med at have.

Det kan konkluderes, at omkostningerne for et månedligt sikkerhedslager er højere ved en sæson efterspørgsel end med en flad efterspørgsel, hvis man ønsker at vælge det samme sikkerhedsniveau ved begge. Vælger man derimod det korrekte niveau som tilhører den efterspørgsel man nu har, da er omkostningerne ved en efterspørgsel med sæson, højere frem til en afvigelse på 35 %, hvorefter den flade efterspørgsels omkostninger er højest. Dette ændrer sig ikke meget, hvis man i stedet for et månedligt ønsker et årligt sikkerhedslager. Hvis det samme sikkerhedsniveau ønskes, da er omkostningerne næsten ens frem til 20 % afvigelse, hvorefter det er sæson efterspørgslen der ligger højest i omkostninger. Denne laver et knæk opad ved 40 % afvigelse, som tyder på at det ønskede servicemål ikke bliver mødt, dette vides fra tidligere analyse at være korrekt. Der skal derfor vælges et højere sikkerhedsniveau med en efterspørgsel med sæson end den flade, når det kommer til at dække sig med et årligt sikkerhedslager. Når det rette sikkerhedslager for hver af de to efterspørgsler er valgt kan det ses, at omkostningerne for sæson er højere end omkostningerne uden sæson. Dette giver mening da det er dyrt, at dække sig ind med et højt sikkerhedsniveau.

Det kan konkluderes, at en virksomhed med sæson efterspørgsel vil have sværere ved at dække sig korrekt ind end med en flad efterspørgsel. Det er dyrere for virksomheden, at dække sig korrekt ind overfor usikkerheden i efterspørgslen, når denne er præget af sæson, men det er også den efterspørgsel som er dyrest hvis efterspørgslen ikke bliver mødt.

Simulering 2

I denne simulering er de forskellige parametre i Silver-Meal modellen sat til, at varierer for at se hvilken indflydelse de har på hvornår der bestilles, samt hvor ofte der bestilles.

Variation af Bestillingsomkostningen A

Bestillingsomkostningen A er sat til at variere fra \$1 til \$250 og der ses på hvad der sker med bestillingerne, som følge af denne ændring.

Når bestillingsomkostningen er som i standard data på \$54 ligger Silver-Meal 7 bestillinger i løbet af den 12 måneders periode. De 7 bestillinger ligger i periode 1, 4, 5, 7, 9, 10 og 11. Med 7 bestillinger er de samlede bestillingsomkostninger, kun for sædet, \$378 og lagerholdsomkostningerne er på \$123,2 altså en samlet omkostning på \$501,2. Ved simulering er gennemsnittet af A \$105 og antallet af bestillinger ligger på 6 styk over de 12 måneder. Dette giver for sædet en samlet omkostning på \$766,70 fordelt på \$460,22 for bestillingsomkostningerne og \$306,48 for lagerholdsomkostningerne. Kigges der på hvornår Silver-Meal modellen lægger bestillingerne i forhold til hvor stor A er, kan det ses, at jo højere omkostningen for at ligge en bestilling er, desto færre bestillinger vil der blive lagt.

Antal bestillinger	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	205-250	114-204	65-113	62-64	43-61	25-42	21-24	17-20	5-16	1-4

Tabel 3.3: Hvor mange bestillinger Silver-Meal modellen laver i forhold til størrelsen af bestillingsomkostningen A.

Bestillingsomkostningen skal være næsten ikke eksisterende før Silver-Meal modellen lægger en bestilling hver måned og derved opfører sig som LFL modellen, men bestillingsomkostningen skal ikke variere med mere end \$4 før det ikke længere kan svare sig, at bestille hjem i hver måned. Antallet af bestillinger falder som følge af en stigning i A og jo mere A stiger des større variation skal der generelt til, før Silver-Meal modellen mindsker antallet af bestillinger yderligere. Dette kan ses ved eksempelvis 6 bestillinger der kan bestillingsomkostningen fra \$62 til \$64 inden Silver-Meal vælger at ligge 5 eller 7 bestillinger i stedet. Det ændre sig ved 5 bestillinger der kan bestillingsomkostningen varierer fra hele \$65 til \$113, altså et interval på \$48, inden antallet af bestillinger ændre sig. Man kan sige at jo højere bestillingsomkostningen er, desto mindre variation er der i antallet af bestillinger og Silver-Meal modellen er mindre følsom overfor en ekstra stigning i A, hvis denne allerede er høj.

Selvom A er kommet op på \$250 har det ikke været nok til at Silver-Meal har mindsket antallet af bestillinger til 1 eller 2. For at finde den bestillingsomkostning der resulterer i 1 bestilling, er problemløseren i Excel benyttet og resultatet derfra er, at A skal antage en værdi på \$7.496 før Silver-Meal modellen vil ligge 1 bestilling, når lagerholdsomkostningerne holdes fast og er som givet i standard data.

Hvis bestillingsomkostningen skulle ændre sig kan standard datas bestillingsomkostning varierer fra \$43 til \$61, før antallet af bestillinger på året ændre sig, men tidspunktet og størrelsen af bestillingerne ændre sig alt afhængigt af hvor stor bestillingsomkostningen er indenfor intervallet. Nedenfor kan det ses hvornår og hvor store bestillinger er samt hvilket interval for A der passer dertil.

Måned	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A
Bestillinger	84	0	0	130	154	269	0	0	124	160	279	0	43-51
Bestillinger	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	52-61

Tabel 3.4: Hvor meget bestillingsomkostningen V kan varierer og der stadig skal ligges 7 bestillinger som i standard data i løbet af 12 måneder.

Ved en bestillingsomkostning som ligger i intervallet \$43 til \$51, da ligger bestillingerne anderledes end ved standard data. Der bliver flyttet enheder fra bestillingen i måned 5 over i måned 6 og bestillingen til måned 7 bliver helt fjernet og disse enheder bliver bestilt i måned 6 i stedet for. Derudover er bestillingerne ens i de andre måneder.

For at bestillingerne skal ligge som i standard data, må A ikke falde under \$52 eller stige til mere end \$61, det vil sige bestillingerne er uændret, så længe variationen af A fra standard data ikke stiger med mere end 12,96 % eller falder under med mere end 3,7 %.

Hvis bestillingsomkostningen skulle stige til mere end \$61 går Silver-Meal over til, at lægge færre bestillinger i løbet af de 12 måneder, da det er for dyrt at bestille en ekstra gang i forhold til at have enhederne liggende på lager i en eller flere perioder. Det kan herved ses at Silver-Meal modellen benytter sig af det tradeoff der er mellem det, at lægge en bestilling mere kontra det, at have enhederne liggende på lageret i en eller flere perioder.

Variation af lagerholdsomkostningen v

Lagerholdsomkostningen v er sat til at variere fra \$1 pr. stk. til \$250 pr. stk. Ved at sætte v til, at varierer skabes der situationer hvor det, at holde lager gøres enten meget dyrt eller ekstremt billigt. Nedenfor ses et skema over hvor mange bestillinger Silver-Meal modellen vælger, at lægge når v varieres.

Antal bestillinger	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V	1	2-5	6-9	10-16	17	18-25	26-43	44-51	52-65	66-224	225-250

Tabel 3.5: Hvor mange bestillinger Silver-Meal modellen ligger når lageromkostningen V varieres.

Det interessante her er, at selv hvis v kun er \$1 vil Silver-Meal stadig lægge to bestillinger i løbet af en 12 måneders periode. Silver-Meal lægger kun en bestilling hvis lagerholdsomkostningen v er helt nede på \$0, hvilket er et ret usandsynligt scenarie.

Til gengæld hvis omkostningen når op på \$225 er det for dyrt at have enhederne liggende en eller flere perioder og der bestilles derfor hjem til hver periode og Silver-Meal modellen har herved samme mønster som LFL modellen.

Når v er lille skal den kun stige ganske lidt før antallet af bestillinger stiger. Fra at have et $v = \$1$ og 2 bestillinger til $v = \$25$ med 7 bestillinger er der kun sket en stigning på \$24, hvor der alene skal ske en stigning på \$17 før 8 bestillinger bliver til 9. Der skal ske en gevaldig stigning på \$158 i v før antallet af bestillinger går fra 11 til 12. Silver-Meal modellen ser derfor ud til, at være mindre følsom overfor en ændring i v , hvis denne er høj i forvejen.

Ved standard data er der ved en omkostning på $v = \$20$ pr. stk. 7 bestillinger i løbet af 12 måneder og via simuleringen kan det ses, at der lægges 7 bestillinger hvis v ligger i intervallet \$18 til \$25. Omkostningen skal derved kun falde med 10 % eller stige med 25 % før Silver-Meal lægger 6 henholdsvis 8 bestillinger i stedet for de 7, men hvis man kigger nærmere på de bestillinger indenfor intervallet \$18 til \$25 kan det ses, at de kun er ens med standard data bestillingen så længe v antager en værdi i intervallet \$18 til \$20.

Måned	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	v
Bestillinger	84	0	0	130	283	0	140	0	124	160	279	0	18-20
Bestillinger	84	0	0	130	154	269	0	0	124	160	279	0	21-25

Tabel 3.6: Hvilke intervaller lageromkostningen V skal ligge i for, at der stadig ligges 7 bestillinger som i standard data i løbet af 12 måneder.

Dette gør, at virksomheden skal lægge deres bestillinger anderledes end først beregnet ud fra standard data, hvis der sker en stigning i lageromkostningen v på bare \$1 eller et fald på \$3 og de stadig skal følge Silver-Meal modellen og få de lavest mulige omkostninger.

Delkonklusion

Silver-Meal modellens bestillingsomkostning A og lagerholdsomkostningen v er begge parametre som er med til, at bestemme hvor ofte der skal bestilles. Ved at variere disse er det blevet klart i hvor høj grad de to hver i sær har af indflydelse på bestillingerne.

Man kunne måske resonere sig frem til, at hvis bestillingsomkostningen er høj, da vil antallet af bestillinger være lille og omvendt hvis lagerholdsomkostningen v er høj, da vil antallet af bestillinger være høj.

Hvad man ikke kunne have forudset er, at når bestillingsomkostningen er høj, da er intervallerne som A kan variere imellem væsentlig større end hvis den var lav. En høj A må derfor kunne siges, at have en mindre indflydelse på Silver-Meal modellens valg af antallet af bestillinger modsat en lav. Derudover skal bestillingsomkostningen være signifikant høj før Silver-Meal modellen vælger kun, at lægge en enkelt bestilling, såfremt lageromkostningerne er som i standard data.

I forhold til standard data må bestillingsomkostningen ikke falde under \$52 eller stige til mere end \$61, hvis bestillingerne skal være uændret i forhold til standard bestillingerne. Omkostningerne ændre sig i takt med at A ændre sig, men de er stadig mest optimalt fordelt i forhold til Silver-Meal modellen. Det vil sige, at hvis A ryger udenfor dette interval, da skal virksomheden ændre deres bestillingsrutiner, alt efter om den falder eller stiger, for stadig at have omkostningerne fordelt på bedste vis.

Det kunne heller ikke være forudsagt, at lagerholdsomkostningen v skal være \$0 før Silver-Meal vælger, at have en enkelt bestilling i løbet af de 12 måneder, hvor modellen med en omkostning på \$1 vælger at lægge 2. Ligesom ved bestillingsomkostningen stiger de intervaller som v kan variere imellem, når v stiger, før Silver-Meal øger med en ekstra bestilling. Silver-Meal modellen bestiller hjem hver måned når omkostningen $v = \$225$, her er tradeoff'et mellem bestillingsomkostningen og de lageromkostninger, der er forbundet med enhederne for lille til, at det kan svare sig at have enhederne liggende på lager i en eller flere perioder.

Sammenlignet med standard data kan det ses at v ikke må stige fra de \$20 den ligger på, da bestillingerne, ifølge Silver-Meal, så skal lægges på anden vis, men stadig med 7 i alt. Dette gør at virksomheden skal være ekstra påpasselig med hvordan de administrere deres lageromkostninger, da bare den mindste stigning kan resulterer i, at det vil være bedre at bestille på anden vis end standard bestillingerne. Ændringer i bestillingerne, hvis omkostningen stiger, kan gøre at virksomheden igen følger Silver-Meal modellens måde for, at sprede omkostningerne bedst ud på de enkelte bestillinger og derved spare penge ved, at ændre dem i stedet for at bibeholde standard bestillingerne. v må falde med \$2 før Silver-Meal ændre på bestillingerne og hvis den falder, så ændres antallet af bestillinger fra 7 til 6, da det med en omkostning på $v = \$17$ eller derunder er billigere, at have enhederne liggende ekstra perioder end, at lægge en ekstra bestilling.

Det kan derfor konkluderes, at Silver-Meal modellen afhænger negativt af størrelsen af bestillingsomkostningen, jo højere den er desto færre bestillinger. Hvorimod modellen afhænger positivt af størrelsen af lageromkostningen v . Det kan yderligere konkluderes, at bestillingsomkostningen skal være betydelig stor, før Silver-Meal modellen vælger kun at lægge en enkelt bestilling, når de andre parametre holdes fast. Modsat kan det konkluderes, at lagerholdsomkostningen v skal være nul, når alt andet holdes fast, før Silver-Meal modellen lægger en enkelt bestilling.

I forhold til standard data kan det konkluderes, at bestillingsomkostningen kan variere mere omkring sit udgangspunkt på \$54 før bestillingerne ændres, end lagerholdsomkostningen kan. Hvis lagerholdsomkostningen stiger med det mindste, er det ikke længere den optimale måde at bestille på i forhold til Silver-Meal modellen. Da bestillingsomkostningen som regel ikke er noget virksomheden har mulighed for at bestemme, kan det være svært at kontrollere dem. Givet at spillerummet omkring den er af en passende størrelse samt en ændring i sådan en omkostning som regel bliver varslet, vil der ikke være de store problemer involveret her. Kigger man i stedet på lagerholdsomkostningen er disse indenfor virksomhedens kontrol og den mindste stigning i v resulterer i forkert bestillingsmønster ifølge Silver-Meal modellen, da kræver det stor disciplin fra virksomhedens side, at sørge for at denne bliver holdt eller i hvert fald ikke stiger, hvilket måske er lidt urealistisk.

Perspektivering

I den ovenstående analyse er der sat fokus på brugen af sikkerhedslager til at dække virksomheden mod usikkerhed i efterspørgslen. Dette er en af de metoder man kan benytte til at dække sig mod usikkerhed, men spørgsmålet er om en anden metode vil dække modellen bedre. Usikkerhed i efterspørgslen eller i leveringen af produkter er i MRP et emne, som er blevet taget op af mange. De har alle forskellige meninger om hvordan at håndtere denne usikkerhed og hvor meget tiltagene gør for MRP modellens performance, men de benytter stort set alle¹⁶ sikkerhedslager eller safety leadtime.

En af disse er S.T. Enns der har skrevet artiklen *"MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty"*¹⁷. Artiklen starter med at komme med et kritisk blik på, hvordan andre har foretaget deres undersøgelser af MRP modellen under usikkerhed. De ting der fremhæves er, at mange studier er lavet på et enkelt slut produkt og med meget strenge antagelser til usikkerheden i modellen og hvor kapacitets begrænsninger ignoreres. Det menes at man herved mister mange vigtige aspekter og at det kan være svært at overføre resultaterne til virkeligheden¹⁸. Denne generalisering stemmer godt overens med min måde at stille min model op og må da give ham ret i, at se bort fra kapacitets begrænsninger ikke er den bedste løsning, men det var et aspekt der ikke var plads til i første omgang. Ved at indføre kapacitets begrænsninger i modellen kunne det tænkes, at *Ending Inventory* kunne bringes ned når året er omme, muligvis med en acceptabel servicegrad, men det vil kun være et problem når vi er oppe i de store afvigelser fra forecast. Ved de små afvigelser fra forecast er *Ending Inventory* i modellen i forvejen så lavt, at det ikke har det store betydning om der sættes begrænsning ind eller ej, medmindre denne sættes lavt, men så mister man formålet med, at kunne holde et ekstra lager.

Selve analysen i artiklen er bygget op omkring et fokus på, hvor usikkerheden ligger hos virksomheden; om den ligger ved efterspørgslen eller i et forecast bias. De kommer frem til, at både forecast bias og usikkerhed i efterspørgslen har stor indflydelse på en virksomheds servicegrader. Det vises at servicegraden stiger, både ved brug af sikkerhedslager og ved brug af safety leadtime, men

¹⁶ Af de artikler jeg har kunnet finde frem til med emnet MRP og variabilitet.

¹⁷ Enns, S.T., 2002. *"MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty"*, European Journal of Operational Research 138, 87-102

¹⁸ Enns, S.T., 2002. *"MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty"*, European Journal of Operational Research 138, 87-102. S. 88-89.

at slutlageret også stiger som følge af disse og man skal finde det korrekte tradeoff mellem, at miste efterspørgsel og have ekstra enheder liggende på lageret. Derudover viser deres resultater at slutlageret stiger lineært ved valg af sikkerhedslager, hvor den mistede efterspørgsel er aftagende. Dette stemmer fint overens med det der er fundet i analysen ovenfor. Hver gang niveauet af sikkerhedslager blev øget steg slutlageret tilsvarende, mens antallet af mistede efterspørgsler aftog.

Valget af metode for at sikre virksomheden mod usikkerhed afhænger af hvor usikkerheden ligger, om det er hvornår enhederne er færdige til levering eller som udsving i efterspørgslen. Uanset hvilken man benytter kan man opnå en bedre servicegrad både ved at øge leadtimes og ved at indføre sikkerhedslager. Når virksomheden ved hvor deres usikkerhed ligger, kan de vælge den korrekte metode til at sikre sig imod denne. Herefter er problemet at vælge det korrekte niveau, hvorpå man husker, at tænke på det tradeoff der er mellem at holde ekstra enheder på lager og omkostningerne ved at miste efterspørgsler.

Denne konklusion er de til dels enige i, i artiklen "*Safety stock or safety time: coping with unreliability in demand and supply*"¹⁹, af Tim J. Van Kampen, Dirk Pieter van Donk, og Durk-Jouke van der Zee. Deres fokus er mere nuanceret end det S.T. Enns har i sin artikel og de vælger at se på hvad der klarer sig bedst; at implementere et sikkerhedslager eller safety lead time og dette gøres under forskellige scenarier, som kunne opstå i en produktionsvirksomhed. Dette gør, at de fund de gør sig, bedre kan ses i et virkeligt perspektiv og kan forklares ud fra det der sker i en produktionsvirksomhed. Selvom de opstiller syv forskellige scenarier, som hver især ændre på måden virksomheden må planlægge på, kommer de frem til nogenlunde samme konklusion som S.T. Enns. Ved variabilitet i leveringen skal virksomheden benytte sig af safety leadtime og hvis der er usikkerhed i efterspørgslen (hvad end det drejer sig om produkt ændring, ændringer i mængden i produktionen, sekvens ændringer eller den efterspurgte mængde i efterspørgslen) er det bedst med et sikkerhedslager. De vælger også at tage scenariet med at begge former for usikkerheder kan opstå i en produktionsvirksomhed. Konklusionen på dette er, at valget afhænger af hvor mange

¹⁹ Van Kampen, Tim J., van Donk, Dirk Pieter, and van der Zee, Durk-Jouke, 2010, "*Safety stock or safety time: coping with unreliability in demand and supply*", International Journal of Production Research vol. 48, No. 24, 15 December 2010, 7463-7481.

"stock keeping units" (SKU) man har. Hvis virksomheden har 1 SKU, da er effekten af enten at holde sikkerhedslager eller safety leadtime stort set ens, hvorimod det har en bedre effekt på servicegraden hvis virksomheden vælger safety leadtimes når SKU er større end 1. De argumenterer dette med, at faldet i servicegrad er mindre ved brugen af safety leadtime fordi denne metode tillader mere fleksibilitet i forhold til at holde sikkerhedslager. Deres generelle konklusion er derfor, at fordelene ved et sikkerhedslager er at det styrker virksomhedens reaktionsevne hvor safety leadtime øger deres fleksibilitet.

I forhold til den ovenstående analyse er valget af at benytte sikkerhedslager derfor ikke helt skidt, ud fra de betingelser der er stillet op, men måden hvorpå sikkerhedslageret er implementeret på kunne måske gøres bedre.

Metoden brugt i ovenstående analyse med sikkerhedslagerene er statisk og efterlader virksomheden med ekstra enheder på lager når året er omme. En virksomhed vil gerne sikre sig imod usikkerhed i efterspørgslen, men de vil helst ikke ligge inde med for mange enheder når året er omme. Denne problematik kunne man komme udenom ved at implementere et dynamisk sikkerhedslager i stedet for det traditionelle statiske. Måden hvorpå virksomheden kunne gøre dette kunne være ved, at have en indikator som fortæller virksomheden hvilket niveau de skal holde deres sikkerhedslager på, virksomheden skal vælge imellem to eller flere niveauer for på den måde at kunne dække sig på bedst mulig vis uden at ende med at have for mange enheder ekstra på lager, som var tilfældet ved det valgte metode i opgaven. En anden måde, at gøre sikkerhedslageret dynamisk kunne være ved at benytte den mere sofistikerede metode brugt i artiklen "*Dynamic planned safety stocks in supply networks*"²⁰ af J.J. Kannet, M.F. Gorman og M. Stößlein.

Artiklen fokuserer på, at sikkerhedslagere oftest er givet ud fra et enkelt sikkerhedsniveau i hele den tidsperiode man planlægger ud fra, og det er det samme niveau en virksomhed arbejder med, uanset om der er sæson eller ej i løbet af denne tidshorisont. Forfatterne mener, at når variansen σ_t^2 for efterspørgslen er kendt for at være varierende over tid, da vil det give mening for en virksomhed at implementere et dynamisk sikkerhedslager. De ønsker, at gøre sikkerhedslageret

²⁰ Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stößlein, M., 2010. "*Dynamic planned safety stocks in supply networks*", International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880.

dynamisk ved løbende, at ændre niveauet alt afhængigt af om der sker ændringer i efterspørgslen. Dette er hvad de kalder "*the notion of planning time-phased safety stocks*". De søger derfor, at bestemme en vektor af sikkerhedslagere, hvor værdien er stor når usikkerheden er stor og lav når usikkerheden er tilsvarende lav. Måden de kommer frem til denne vektor er ved at benytte en optimeringsmodel. De laver to optimeringer, hvor den ene er under bibetingelsen af, at niveauet skal være ens for alle perioder som er den normale måde at holde sikkerhedslager, hvor den anden ser bort fra denne betingelse.

Modellen de har stillet op, er givet som følger:

$$\text{MIN } \sum_{t=1, \dots, 12} (SS_t)/12,$$

$$\text{UBB } FR = 1 - \sum_{t=1, \dots, 12} \left(\frac{ES_t}{R_t} \right) \geq 0,99,$$

Hvor $ES_t = -SS_t \left(1 - F_s \left(\frac{SS_t}{\sigma_t} \right) \right) + \sigma_t F_s \left(\frac{SS_t}{\sigma_t} \right)$ og 0,99 refererer til det valgte servicemål²¹.

Hvor den model med ens sikkerhedslager løses med den ekstra bibetingelse $SS_t = SS_u | t \neq u, t, u = 1, \dots, 12$ som de kalder "*all-equal constraint*"²². De to optimeringer har de kørt igennem med data fra Standard Industrial Classification (SIC) industry data for manufacturing over den amerikanske industri og resultaterne for de to modeller er holdt op imod hinanden. Deres konklusion er, at når sikkerhedslageret er dynamisk kan man i gennemsnit nedsætte antallet af enheder på sikkerhedslageret med 9,76 %²³ og i og med et sikkerhedslager udgør cirka 21 % af den totale industri, som de kigger på, da kan besparelsen for det mindre sikkerhedslager udgøre approksimativt 2 % af alle lagere. Denne vurdering er ganske konservativt sat, på grund af de antagelser de har, måtte gøre sig i forhold til deres data.

²¹ Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stöblein, M, 2010. "*Dynamic planned safety stocks in supply networks*", International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880. S. 6870-6871

²² Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stöblein, M, 2010. "*Dynamic planned safety stocks in supply networks*", International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880. S. 6871

²³ Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stöblein, M, 2010. "*Dynamic planned safety stocks in supply networks*", International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880. S. 6871

Denne model vil med fordel kunne implementeres i MRP modellen, hvor efterspørgslen er præget med sæson og derfor har en varians der varierer over tid. Det er den sværeste af de to efterspørgsler, for en virksomhed, at sikre sig imod usikkerhed i efterspørgslen og der er derfor brug for et ekstra højt sikkerhedslager, når man benytter den statiske metode. Ved den statiske metode kan virksomheden risikere at sikre sig dobbelt, på grund af behovet for et højt sikkerhedslager, men der kan være måneder hvor efterspørgslen ryger under det estimerede og der er de både dækket af sikkerhedslageret og af at efterspørgslen er røget under det estimerede. Det kan et dynamisk sikkerhedslager rode bod på; det tager hensyn til de enkelte udsving og roder bod på de ekstra enheder, som virksomheden ellers ville have liggende når året er omme. I forhold til at benytte det dynamiske sikkerhedslager på MRP modellen med en flad efterspørgsel, vurderes det at være unødvendigt. Det er svært at sige om virksomheden vil drage nogen økonomisk fordel ved at implementere det dynamiske sikkerhedslager, når efterspørgslen er flad og variansen ikke varierer over tid. En virksomhed med en flad efterspørgsel bør i stedet fokusere på, at vælge det korrekte niveau af sikkerhedslager og kan muligvis drage nytte af den optimerings model fra omtalte artikel *"Dynamic planned safety stocks in supply networks"* med *"all-equal constraint"*.

Tidligere i opgaven er det blevet beskrevet hvorvidt en virksomhed kan blive underlagt restriktioner omkring minimumsantal ved en bestilling. Der blev i første omgang set bort fra dette i analysen, og kun sat restriktioner på niveau 2 hvilket ikke har bidraget til noget andet end ekstra lageromkostninger i niveau 2, som ellers skulle være nul. Det kunne være interessant, at udvide den overstående model med restriktioner på antallet af bestillinger i niveau 1. Med en sådan implementering ville virksomheden ikke nødvendigvis kunne følge Silver-Meal modellens tidspunkter for bestillinger. Alt afhænger af hvordan man vil implementere dette i modellen, og hvad minimumsantallet er fastsat til. Hvis minimum eksempelvis lyder på 100 styk pr gang er det kun den første bestilling i måned 1 der falder under minimumsgrænsen, men er minimum i stedet 200 styk pr gang er, der hele 5 bestillinger der falder under grænsen. Fordelen ved de ekstra enheder kan være, at virksomheden slipper for, at holde et sikkerhedslager da de per automatik har ekstra enheder liggende som følge af restriktionerne. Ulempen kan være, at der er for mange ekstra enheder, som gør at den økonomiske fordel ved, at møde servicemålet ryger og deres Silver-Meal bestillinger ikke længere holder. Virksomheden kan ende med, at skulle tænke i nye baner, hvor denne restriktion er taget med i Silver-Meal beregningerne.

Om min model vil kunne klare sig i den virkelige verden, kan besvares ud fra det ovenstående i denne perspektivering. Umiddelbart vil den ikke kunne give en virksomhed den sikkerhed de søger når de vil dække sig imod usikkerhed. Dette skyldes blandt andet at det i den virkelige verden ikke kun er et enkelt sted usikkerheden kommer fra. Den kan komme fra både efterspørgslen, forecast kan være sat forkert, men der kan også være usikkerhed i leveringen af produkter udefra og de kan alle samme være opfyldt på en og samme tid. Denne nuance er min model ikke sat op til at kunne klare. Hvis den skulle implementeres i en virksomhed, da skulle de enten være helt sikre på, at deres usikkerhed kommer fra efterspørgslen, ellers skulle modellen laves om i et omfang der gjorde at den både indeholder sikkerhedslager og safety leadtimes.

Konklusion

Afhandlingens formål var, at undersøge hvordan Materials Requirement Planning, med brug af Silver-Meal modellen til bestilling, håndterede en stokastisk efterspørgsel. Dette blev undersøgt ved hjælp af to forskellige simuleringer. En der undersøgte hvordan selve MRP modellen klarede sig under en stokastisk efterspørgsel og med to forskellige former for efterspørgsler og herefter en der undersøgte hvordan Silver-Meal modellen reagerede under ændringer i de forskellige parametre.

Den første analyse blev foretaget på en flad efterspørgsel i MRP modellen der blev udsat for en stokastisk efterspørgsel. Ovenstående analyse ledte frem til, at det ikke kan svare sig for virksomheden at forsøge at forbedre forecast i forhold til at holde et sikkerhedslager. Det blev vist via simuleringerne, at det eneste tidspunkt det er billigere at undlade et sikkerhedslager, er ved 40 % afvigelse ved det månedlige sikkerhedslager og 25 % ved det årlige. Dette gælder kun hvis virksomheden kan få afvigelsen ned på 5 % eller derunder og der var endnu ikke medtaget de omkostninger der er forbundet med et forbedret forecast. Det kan konkluderes at en virksomhed der har en flad efterspørgsel og vælger at holde sig et årligt sikkerhedslager, vil opnå deres servicemål uanset hvilket sikkerhedsniveau de vælger, men det sikkerhedsniveau der bedst kan svare sig økonomisk er et 90 % sikkerhedsniveau. Vælger de i stedet et månedligt sikkerhedslager er de igen dækket i forhold til servicemålet uanset hvilket niveau de vælger, men økonomisk er det bedst med et 95 % sikkerhedsniveau. En virksomhed skal vælge om de vil det ene eller den anden form for sikkerhedslager og via analysen kan det konkluderes, at en virksomhed der har en flad efterspørgsel skal holde sig et månedligt sikkerhedslager med et 95 % sikkerhedsniveau, da de sparer penge, har færre enheder på lager til slut og opnår deres servicemål.

Den næste del af analysen var med en efterspørgsel der var præget med sæson. Allerede med afvigelser over 10 % fra forecast vil en virksomhed uden sikkerhedslager ikke kunne opnå deres servicemål. Det kan konkluderes, at en virksomhed der har en efterspørgsel med sæson, ikke vil kunne opnå en økonomisk gevinst ved at vælge forbedring af forecast i forhold til indsættelse af sikkerhedslager. Med det månedlige lager er det tilstrækkeligt med et 80 % sikkerhedsniveau indtil en afvigelse på 20 %, 90 % sikkerhedsniveau indtil 35 % og herefter skal de som minimum sikre sig med et 95 % sikkerhedsniveau for at opnå servicemålet. Det kan ses, at en efterspørgsel med sæ-

son er sværere og mere kompliceret at sikre virksomheden imod end med en efterspørgsel der er flad. Valget af sikkerhedsniveauet med månedligt sikkerhedslager er også sværere end med den flade, da der her ikke er et entydigt svar på, hvilken de skal vælge. Det billigste sikkerhedsniveau er 95 %, men kun med en afvigelse på 5-20 %, herefter skal virksomheden vælge et 99 % sikkerhedsniveau for den billigste løsning. Konklusionen må da være, at virksomheden skal vurdere hvor stor en afvigelse de mener de vil få fra det i forecast og vælge deres sikkerhedsniveau herefter. Den samme problemstilling viser sig ved det årlige sikkerhedslager, om end mere kompliceret, men det kan konkluderes, at det er bedst for virksomheden ved afvigelser under 40 % at sikre sig med et 95 % sikkerhedslager og med afvigelser over skal de holde et 99 % sikkerhedslager. Umiddelbart er det årlige sikkerhedslager generelt billigst, men det er også det som dækker efterspørgslen dårligst og derfor må det kunne konkluderes, at en virksomhed vil vælge at sikre sig med et månedligt sikkerhedslager og vælge et 95 % sikkerhedsniveau med afvigelser under 20 % og vælge et 99 % med afvigelser over.

Det kan yderligere konkluderes, at en virksomhed ikke kun skal være opmærksom på hvilken form for sikkerhedslager de ønsker, men også hvilken efterspørgsel de har. Der er stor forskel på hvordan en efterspørgsel med sæson reagerer på afvigelser end den flade gør. Som konkluderet tidligere er det svært at sikre sig mod en efterspørgsel med sæson, medmindre man er klar over hvornår udsvingene kommer og hvor meget de eventuelt kan komme til at afvige med. Ovenstående valg af metode for indsættelse af sikkerhedslager er måske ikke særligt overensstemmende med virkeligheden, men det har ikke desto mindre kunne give et indblik i hvad det vil sige, at vælge et sikkerhedslager frem for at stå uden. Gennem perspektivering er det blevet vist, at der er en anden metode til at dække en sæson efterspørgsel nemlig et dynamisk sikkerhedslager.

Analysen af Silver-Meal modellen er måske ikke banebrydende, men den har kunnet vise det man kan resonere sig frem til; at hvis bestillingsomkostningen stiger vil antallet af bestillinger falde og omvendt hvis lageromkostningerne stiger, vil antallet af bestillinger stige. Derudover har analysen vist hvor følsom Silver-Meal modellen er overfor ændringer i parametrene. Det kan konkluderes, at en lille ændring i bestillingsomkostningen A , når den er lille, vil få Silver-Meal modellen til at ligge flere bestillinger, men jo højere A bliver, jo større spring skal der til før Silver-Meal modellen ligger en ekstra bestilling. En dyr bestillingsomkostning har derfor mindre indflydelse på om Silver-

Meal modellen tillægger en ekstra bestilling end en billig. I forhold til standard data kan det konkluderes, at bestillingsomkostningen ikke må falde med mere end $-\$2$ eller stige med mere end $\$7$, før virksomheden skal lave deres bestillingstidspunkter om, for stadig at følge Silver-Meal modellens principper.

Det interessante ved analysen af lagerholdsomkostningen er, at den skal være $\$0$ før Silver-Meal modellen kun ligger en enkelt bestilling i løbet af de 12 måneder og omvendt skal omkostningerne helt op på $\$225$ eller derover, før der ligges en bestilling til hver måned og virksomheden ikke har noget liggende på lager. I forhold til standard data viste analysen, at omkostningen på $\$20$ ikke måtte stige, da bestillingerne ellers skulle ligges på anden vis. Omvendt må den falde med $-\$2$ før virksomheden skal ændre i bestillingerne. Dette er et meget lille interval og det sætter pres på virksomheden for, at de skal overholde deres lagerholdsomkostninger, da deres bestillinger ellers ligger forkert ifølge Silver-Meal, og de derfor ikke får fordelt deres omkostninger på bedst mulig vis.

Det kan derfor konkluderes, at en virksomhed der benytter sig af Silver-Meal som bestillingmodel, vil drage økonomisk fordel i, at sikre sig mod variabiliteten i efterspørgslen med et sikkerhedslager. Hvilket sikkerhedsniveau de skal vælge, afhænger af om deres efterspørgsel er med eller uden sæson, men uanset hvilken efterspørgsel de har skal de vælge et månedligt sikkerhedslager. Derudover kan det konkluderes, at Silver-Meal modellen afhænger negativt af størrelsen på bestillingsomkostningen, modellen ligger færre bestillinger, jo højere omkostningen er. Omvendt har størrelsen af lagerholdsomkostningen en positiv indflydelse på antallet af bestillinger, men denne skal samtidigt være $\$0$ før der kun ligges en enkelt bestilling.

4. Kapitel

Litteraturliste

Bøger

- Ayers, James B., *"Handbook of supply chain management"*, Second edition 2006, Auerbach Publications.
- Balakrishnan, Nagraj & Render, Barry & Stair, Jr., Ralph M., *"Managerial decision modeling with spreadsheets"*, third edition, Pearson education, Inc., Publishing as Prentice Hall.
- Barlow, John F., *"Excel Models for Business and Operations Management"*, Second edition 2007, John Wiley & Sons, Ltd.
- Bozarth, Cecil C. & Handfield, Robert B., *"Introduction to Operations and Supply Chain Management"*, third Edition 2013, Pearson Education Limited.
- Chase, Richard B. & Aquilano, Nicholas J. & Jacobs, F. Robert, *"Production and operations management – Manufacturing and Services"*, Eighth edition 1998, Irwin/McGraw-Hill Companies.
- Krajewski, Lee J. & Ritzman, Larry P. & Malhotra, Manoj K., *"Operations management - Processes and supply chains"*, Ninth edition 2010, Pearson.
- Silver, Edward A. & Pyke, David F. & Peterson Rein, *"Inventory Management and Production Planning and Scheduling"*, third edition 1998, John Wiley & Sons, Inc.
- Tersine, Richard J., *"Principles of inventory and materials management"*, Fourth edition 1994, Prentice Hall.

Artikler

- Enns, S.T., 2002. *"MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty"*, European Journal of Operational Research 138, 87-102.
- Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stöblein, M, 2010. *"Dynamic planned safety stocks in supply networks"*, International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880.
- Van Kampen, Tim J., van Donk, Dirk Pieter, and van der Zee, Durk-Jouke, 2010, *"Safety stock or safety time: coping with unreliability in demand and supply"*, International Journal of Production Research vol. 48, No. 24, 15 December 2010, 7463-7481.

Bilag

CD-ROM indeholder:

Artikler:

- Enns, S.T., 2002. *"MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty"*, European Journal of Operational Research 138, 87-102.
- Kannet, J.J., Gorman, M.F., Stößlein, M., 2010. *"Dynamic planned safety stocks in supply networks"*, International Journal of Production Research vol. 48, No. 22, 15. November 2010, 6859-6880.
- Van Kampen, Tim J., van Donk, Dirk Pieter, and van der Zee, Durk-Jouke, 2010, *"Safety stock or safety time: coping with unreliability in demand and supply"*, International Journal of Production Research vol. 48, No. 24, 15 December 2010, 7463-7481.

Excel ark:

- MRP med Silver-Meal modellen og simuleringresultater (Arket indeholder alle resultater fra simulering 1 og selve MRP og Silver-Meal modellen)
- Simulering 1 data kørsel 17-25 (Simuleringresultater af flad efterspørgsel uden sikkerhedslager)
- Simulering 1 data med flad efterspørg og årlig SS kørsel 67-106 (Simuleringresultater med flad efterspørgsel og indsat årligt sikkerhedslager)
- Simulering 1 data med org efterspørg og årlig SS kørsel 147-186 (Simuleringresultater med efterspørgsel med sæson og indsat årligt sikkerhedslager)
- Simulering 1 data (Simuleringresultater af sæson efterspørgsel uden sikkerhedslager)
- Simulering 1 Flad efterspørgsel med månedlig sikkerhedslager 2 (Simuleringresultater med flad efterspørgsel og indsat månedligt sikkerhedslager)
- Simulering 1 standard data med månedlig sikkerhedslager 2 (Simuleringresultater med sæson efterspørgsel og indsat månedligt sikkerhedslager)
- Simulering 2 data (resultater af simulering 2)