

Adrian Matic  
Jonas Hasselø Aasgård

## Prognostisering av materialforsyning til vedlikehold

## Forecasting of Material Supply for Maintenance

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, Logistikk  
Veileder: Tore Lennart Lauritzen  
Mai 2019



Adrian Matic  
Jonas Hasselø Aasgård

# Prognostisering av materialforsyning til vedlikehold

## Forecasting of Material Supply for Maintenance

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, Logistikk  
Veileder: Tore Lennart Lauritzen  
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon



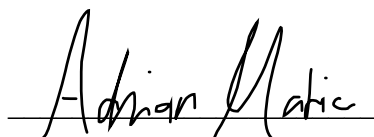
<p>Tittel: Prognostisering av materialforsyning til vedlikehold</p> <p>Forecasting of Material Supply for Maintenance</p>	<p>Prosjektnummer: 2019-005</p>
<p>Forfattere: Adrian Matic Jonas Hasselø Aasgård</p>	<p>Dato: 20/05/2019</p> <p>Gradering: Åpen</p>
<p>Studieretning: Logistikkingeniør</p>	
<p>Veileder internt: Tore Lennart Lauritzen</p>	
<p>Oppdragsgiver: Cervino Consulting AS</p>	
<p>Oppdragsgivers kontaktperson: Fredrik Ekstrand</p>	
<p>Kort sammendrag:</p> <p>Denne studien er gjennomført med bakgrunn i at det er vanskelig å prognostisere materialbehov til vedlikehold i de tilfellene der det er mye uforutsette og sporadiske behov. Hovedmålet for studien var å kartlegge, analyse og sammenlikne de ulike prognosemetodene og verktøyene på markedet, samt gjøre en generell studie av temaet og komme med forslag til videre forskning. Resultatene fra studien, samlet inn ved en spørreundersøkelse sendt til eksperter innen området, viser at de fleste systemene har fordeler og ulemper. De tre viktigste faktorene for videre utvikling av prognosesystemer framover er, ut ifra undersøkelsen, prediktivt vedlikehold/dataanalyse, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling. Andre viktige faktorer er fokus på opplæring i systemet, tilpasningsgrad i systemet og mulighet for å gjennomføre strategiske og taktiske beslutninger i systemet. Hvilken prognosemetode som bør brukes avhenger av flere faktorer, som for eksempel behov, sesong og historisk data – altså bør det være fokus på riktig klassifisering av reservedeler.</p>	
<p>Stikkord: Prognosemetoder, MRO/M&amp;E systemer, vedlikehold, reservedelsstyring</p>	<p>Keywords: Forecasting Methods, MRO/M&amp;E Systems, Maintenance, Spare Parts Management</p>

# Forord

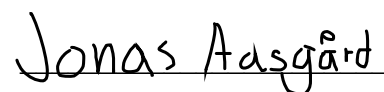
Gjennom faget Bacheloroppgave Logistikk TLOG3001 ved NTNU har vi, Jonas Hasselø Aasgård og Adrian Matic, skrevet denne prosjektoppgaven for Cervino Consulting AS. I dette prosjektet har vi hjulpet Cervino Consulting AS med å diskutere rundt og se på alternative løsninger til et logistikkrelatert problem de har.

Problemstillingen er relatert til utfordringer med prognoser av materialforsyning til vedlikehold, spesielt hvilke problemer som finnes med dagens verktøy. I prosjektet har vi benyttet oss av den faglige kunnskapen vi har fått gjennom tre år ved logistikkstudiet.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår veileder og foreleser ved NTNU, Tore Lennart Lauritzen, som har hjulpet oss med å komme i mål med dette prosjektet. Vi vil også takke Cervino Consulting AS for at de ønsket å samarbeide med oss i dette prosjektet, alle som har bidratt til spørreundersøkelsen, samt våre kontaktperson ved Cervino, Fredrik Ekstrand.



Adrian Matic



Jonas Hasselø Aasgård

NTNU 20.05.2019

# Sammendrag

Bacheloroppgaven er skrevet våren 2019 i samarbeid med Cervino Consulting AS. Cervino er et svensk logistikkonsulentfirma som utvikler og leverer prognosesystemer til flybransjen. Bedriften beskrev hvordan det er problematisk å forutsi materialbehov til vedlikehold i de tilfellene der det er mye uforutsette og sporadiske behov. Dette problemet former bakgrunnen for studien som er gjennomført i denne oppgaven.

Hovedmålet for studien var å kartlegge, analysere og sammenlikne de ulike prognosemetodene og –verktøyene på markedet, samt gjøre en generell studie av temaet og komme med forslag til videre forskning. Den generelle studien ble gjennomført ved å se på teori og tidligere forskning om de tre hovedfaktorene som inngår i problemstillingen: vedlikehold, reservedelsstyring og prognoser. For å samle inn data ble det gjennomført en spørreundersøkelse med eksperter på området fra ulike selskap. Resultatene viser at de fleste systemene på markedet har fordeler og ulemper. De fleste av selskapene som deltok i undersøkelsen har ikke vært på markedet for et nytt system på lang tid og har brukt samme system i over fem eller ti år. De tre viktigste faktorene for videre utvikling av prognosesystemer framover er, ut ifra undersøkelsen, prediktivt vedlikehold/dataanalyse, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling. Andre viktige faktorer er fokus på opplæring i systemet, tilpasningsgrad i systemet og mulighet for å gjennomføre strategiske og taktiske beslutninger i systemet. Hvilken prognosemetode som bør brukes avhenger av flere faktorer, som for eksempel behov, sesong og historisk data – altså bør det være fokus på riktig klassifisering av reservedeler. Det viser seg også at våre funn samsvarer med tidligere forskning gjort på området.

# Abstract

This bachelor thesis is written in the spring of 2019 in collaboration with Cervino Consulting AS. Cervino is a Swedish logistics consulting firm that develops and delivers forecasting systems to the airline industry. The company described how it is problematic to forecast material supply for maintenance in cases where there is intermittent demand. This problem forms the basis for the study conducted in this thesis.

The main objective of the study was to map, analyze and compare the various forecast methods and tools on the market today, as well as conduct a general study on the topic and make suggestions for further research. The general study was conducted by looking at available literature and previous research done on the three main factors that are included in the problem: maintenance, spare parts management and forecasting. To collect data, a survey was conducted with experts in the field from various companies. The results show that most systems on the market have different advantages and disadvantages. Most of the companies that participated in the survey have not been on the market for a new system for a long time and have used the same system for over five or ten years. The three most important factors for further development of forecasting systems in the future are predictive maintenance/data analysis, paperless maintenance systems and mobile computing. Other important factors for further development is to have focus on training employees on how to use the systems, the degree of adaptation possibilities within the system and the possibility to make strategic and tactical decisions within the system. The forecasting method to be used depends on several factors, such as demand, season, and available historical data - and therefore the proper classification of spare parts should also be in focus.



## Begrepsforklaringer og Forkortelser

AMOS	MRO-programvare utviklet av Swiss Aviation Software
AOG	Aircraft on Ground
EOQ	Economic Order Quantity Økonomisk ordrekvantum/ordrestørrelse
ERP-systemer	Enterprise Resource Planning systemer er betegnelsen for integrert bedriftsprogramvarer.
Forecast Error	Forskjellen mellom virkelig og prognostiserte verdier
HR	Human Resources
M&E	Maintenance and Engineering. Er en type organisasjon eller programvare i et selskap.
MRO	Maintenance, repair and overhaul. Et begrep som brukes til å beskrive aktivitetene innen vedlikehold av luftfartøy.
P/N	Part Number
ROP	Reorder Point Gjenbestillingspunkt
ROQ	Reorder Quantity Gjenbestillingsmengde

# Oversikt over figurer

FIGUR 1. NEDBRYTNINGSSTRUKTUR AV PROSJEKTET .....	6
FIGUR 2. INTERESSENTMATRISE .....	10
FIGUR 3. EKSEMPEL PÅ VURDERING AV KILDENES KVALITET (OLSSON, 2011). .....	11
FIGUR 4. UTFØRELSE AV VEDLIKEHOLD (BYE, 2009).....	16
FIGUR 5. PROGNOSE GLIDENDE GJENNOMSNIITT.....	23
FIGUR 6. PROGNOSE VEKTET GLIDENDE GJENNOMSNIITT.....	25
FIGUR 7. PROGNOSE EKSPONENTIELL GLATTING.....	28
FIGUR 8. UTREGNING WINTERS METODE.....	32
FIGUR 9. SESONGBASERT PROGNOSTISERING.....	32
FIGUR 10. FEILMARGIN. ....	33
FIGUR 11. PROGNOSEMETODER I AMOS (CERVINO CONSULTING AS, 2014). ....	39
FIGUR 12. HVOR FORNØYD ER DERE MED M&E PROGRAMVAREN DERES PÅ EN SKALA FRA 1-10? .....	46
FIGUR 13. HVOR LENGE HAR SELSKAPET DERES BRUKT DEN NÅVÆRENDE PROGRAMVAREN?.....	47
FIGUR 14. HVA SER DU PÅ SOM DE VIKTIGSTE UTVIKLINGENE INNEN M&E IT DE NESTE ÅRENE? .....	50

# Oversikt over tabeller

TABELL 1. OPPSTARTSFASENS 8 HOVEDTRINN (ROLSTADÅS, ET AL., 2014).....	5
TABELL 2. KLASSIFISERING AV RESERVEDELER.....	18
TABELL 3. DATA FOR EKSEMPEL AV GLIDENDE GJENNOMSNITT. ....	22
TABELL 4. DATA GITT FOR PROGNOSE AV VEKTET GLIDENDE GJENNOMSNITT.....	24
TABELL 5. VERDIER GITT FOR EKSEMPELET.....	26
TABELL 6. DATA OG MELLOMBEREGNINGER FOR LINEÆR REGRESJONSEKSEMPELET. ....	27
TABELL 7. DATA FOR EKSEMPELET AV EKSPONENTIELL GLATTING. ....	28
TABELL 8. VERDIER GITT FOR EKSEMPELET.....	29
TABELL 9. DATA OG BEREGNINGER FOR DET DOBLE EKSPONENTIELLE EKSEMPELET. ....	30
TABELL 10. SAMMENLIKNING AV AMOS OG SPOS .....	49

# Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN .....	1
1.2 RAPPORTENS STRUKTUR.....	2
1.3 PROBLEMSTILLING.....	2
1.4 RESULTATMÅL.....	3
1.5 EFFEKTMÅL.....	3
1.6 AVGRENSNINGER .....	3
<b>2 METODE</b> .....	<b>5</b>
2.1 OPPSTARTSFASENS ÅTTE TRINN .....	5
2.2 SPØRREUNDERSØKELSE.....	6
2.3 INTERESSENT-ANALYSE.....	9
2.4 LITTERATURSTUDIET .....	10
2.5 KILDER .....	11
2.6 RELIABILITET .....	12
2.7 VALIDITET .....	13
<b>3 TEORI</b> .....	<b>14</b>
3.1 TIDLIGERE FORSKNING .....	14
3.2 VEDLIKEHOLD- OG RESERVEDELSSTYRING .....	15
3.3 PROGNOSE/FORECASTING .....	20
<b>4 CASE</b> .....	<b>34</b>
4.1 OM BEDRIFTEN.....	34
4.2 HVORFOR ØNSKER CERVINO Å FORBEDRE PROGNOSESYSTEMER? .....	34
4.3 AOG – VIKTIGHETEN AV Å HA RIKTIG DELER TIL RIKTIG TID .....	35
4.4 VIDERE UTVIKLING INNEN VEDLIKEHOLD, PROGNOSE OG MRO/M&E-SYSTEMER .....	35
4.5 AMOS.....	38
4.6 SPOS.....	41
<b>5 RESULTAT</b> .....	<b>42</b>
5.1 RESPONDENT 1 – NORWEGIAN .....	42
5.2 RESPONDENT 2 - ANONYM.....	42

5.3	RESPONDENT 3 – KLM CITYHOPPER .....	43
5.4	RESPONDENT 4 - ANONYM .....	43
5.5	RESPONDENT 5 - ANONYM .....	44
5.6	RESPONDENT 6 - ANONYM .....	44
<b>6</b>	<b>DISKUSJON/ANALYSE.....</b>	<b>46</b>
6.1	SAMMENLIKNING/DISKUSJON AV SVAR FRA SPØRREUNDERSØKELSE .....	46
6.2	SAMMENLIKNING AV AMOS OG SPOS .....	48
6.3	DISKUSJON AV VIDERE UTVIKLING INNEN PROGNOSESYSTEMER .....	49
6.4	LINK MELLOM VÅRE FUNN OG TIDLIGERE FORSKNING .....	51
6.5	BENYTTELSE AV TEORIEN FOR VIDERE UTVIKLING AV PROGNOSESYSTEMER .....	52
<b>7</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>55</b>
8.1	POPULÆRARTIKKEL.....	55
8.2	INTERESSENTANALYSE .....	57
8.3	MØTEOVERSIKT .....	58
8.4	GANTT-SKJEMA .....	59
<b>9</b>	<b>REFERANSELISTE .....</b>	<b>60</b>

# 1 Innledning

Denne bacheloroppgaven er resultatet av arbeidet gjort på vårsemesteret 2019 på instituttet for maskinteknikk og produksjon ved NTNU. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Cervino Consulting AS, som har gitt oss forskningstemaet og casen for oppgaven vår.

Innledningskapittelet tar for seg en introduksjon av oppgaven og problemstillingen. Her presenteres bakgrunnen for oppgaven og strukturen til den, samt hvilke mål vi har utformet og avgrensninger vi har satt.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Det blir et større og større fokus på prognoser av vedlikehold og materialforsyning til vedlikehold hos for eksempel fly-, tog- og busselskap. Å bruke gode prognosesystemer og å ha god nok planlegging for bestilling av deler og gjennomføring av vedlikehold er en viktig konkurransefaktor i dagens marked. Det er vanskelig å forutsi materialforbruk til vedlikehold. Mye av behovet oppstår som et resultat av korrigerende vedlikehold eller inspeksjoner. Utfordringene ligger ved at man må være sikre på hvilke materialer man skal ha, hvor stor mengde man skal ha og hvor materialet skal lagerholdes. Disse faktorene er helt avgjørende for operasjoner siden utilgjengelighet kan føre til uønsket nedetid og kostnader. På grunn av feil i vedlikeholdsprosessen så kan for eksempel transportselskaper oppleve store tap og misfornøyde kunder som følge av forsinkelser og kanselleringer. De klassiske prognosemetodene som brukes i industrien i dag går bare på en delmengde av materialet, og verktøyene i form av IT-støttesystemer og ERP-systemer som er på markedet bygges ofte rundt disse teoriene og er designet for næringer med jevnere forbruksmønster. Dyre reservedeler innen for eksempel flybransjen medfølger ofte veldig irregulære behov som kan ha perioder med nullverdi, som igjen fører til at det blir vanskelig å prognostisere. Dette betyr at gjennom en periode på ett år vil man kanskje kun ha behov for en spesifikk del kun noen få ganger, men at det plutselig kan oppstå et uventet behov en dag. Dette gjør det vanskelig å forutsi hvor mange av en del man skal lagerholde og når man skal bestille flere. Det finnes også teknologi under utvikling som kan brukes til å forbedre nåværende systemer. Digitalisering av vedlikeholdet kan bidra til å utvikle prognosene slik at de blir mer nøyaktige. Cervino ønsker at vi skal se på dette slik at de kan utvikle og levere bedre tjenester for å forutsi materialforbruk til vedlikehold.

## 1.2 Rapportens struktur

Oppgaven er delt inn i 7 hovedkapitler med underkapitler. Til slutt i rapporten kommer vedlegg og referanseliste.

Kapittel 1 – Innledning:	I innledningen introduseres oppgaven og problemstillingen, målene og en beskrivelse av avgrensningene.
Kapittel 2 – Metode:	Dette kapitlet beskriver hvordan vi har gått fram for å løse oppgaven. Her tar vi for oss hvilke verktøy vi har brukt, hvilken litteratur vi har studert og hvordan vi har kvalitetssikret oppgaven.
Kapittel 3 – Teori:	Her beskrives den teorien vi har studert parallelt med undersøkelsen vår.
Kapittel 4 – Case:	I dette kapitlet kartlegges bedriften og oppgaven.
Kapittel 5 – Resultat:	Resultatkapitlet presenterer funnene fra undersøkelsene våre.
Kapittel 6 – Diskusjon:	Dette kapitlet fokuserer seg på å diskutere og analysere resultatene våre, og knytte den til teorigrunlaget vi har dannet oss.
Kapittel 7 – Konklusjon:	Her konkluderes prosjektet med våre funn, forslag til videre studier og svakheter ved oppgaven.

## 1.3 Problemstilling

*Hvordan kan prognosesystemer for materialbehov bli bedre innen vedlikehold?*

Det er vanskelig å forutsi materialbehov til vedlikehold. Noen av behovene er kjent på forhånd ved at man jobber med kjente vedlikeholdsplaner, men store deler av behovet dukker opp underveis som et resultat av korrigerende vedlikehold eller ved inspeksjoner.

Problemstillingen har vi utviklet i samarbeid med Cervino og vår veileder ved NTNU.

Motivasjonen bak problemstillingen er for Cervino å kunne levere bedre verktøy til sine kunder. Problemstillingen er også relevant for andre selskaper som leverer samme type tjenester. Den vil også være av interesse for selskapene som faktisk driver med vedlikehold og trenger gode prognoser for materialbehov. Hoveddelene som inngår i problemstillingen er ulike prognosesystemer (IT-systemer for prognostisering av materialforsyning til vedlikehold) og metodene som ligger bak systemet. Vi vil se både på prognosemetoder og

systemene som brukes for prognoser.

## **1.4 Resultatmål**

Resultatmålene har vi utviklet i samarbeid med Cervino. De ønsker en diskusjon rundt mulige tiltak knyttet til problemstillingen som de kan ta med seg videre. Her er resultatmålene for prosjektet:

- *Kartlegge, analysere og sammenlikne forskjellige prognostiseringsmetoder og -verktøy innen vedlikehold.*
- *Undersøke om det finnes bedre prognostiseringsverktøy enn det som Cervino tilbyr sine kunder i dag.*
- *Gjennomføre en studie av tilgjengelig litteratur og teori om emnet, samt foreslå videre studier om temaet.*

## **1.5 Effektmål**

Effektmålene har vi valgt i samarbeid med Cervino for å underbygge problemstillingen og se på hvilke resultat man kan oppnå ved å løse problemstillingen.

- *Forbedre tjenestene til Cervino ved å kartlegge svakheter og forbedringspotensialer ved dagens prognosesystem.*
- *Øke servicegraden til Cervino ved at de tilbyr bedre tjenester til kundene sine.*
- *Gi Cervino mer kunnskap om dagens systemer som brukes for planlegging og gjennomføring av vedlikehold.*

## **1.6 Avgrensninger**

I rapporten skal vi kartlegge, analysere og sammenlikne ulike metoder og systemer for prognostisering av materialforsyning, innen vedlikehold av fly og tog. Oppgaven ble skrevet i løpet av ett semester, fra 7. Januar 2019 til 20. Mai 2019, og er derfor avgrenset med tanke på hvor mye tid vi hadde å bruke.



Hovedsakelig skal vi studere og undersøke hvilke metoder og systemer for prognostisering transportbransjen benytter seg av, med størst fokus på flyselskaper. Cervino leverer slike tjenester til flyselskaper men er også interessert i å se hvordan andre transportbransjer gjør det. Vi kommer til å se på både IT-systemene som brukes for vedlikehold i dag, hvilke utviklinger som kan gjøre disse bedre, og samtidig se på de ulike prognosemetodene som ligger bak disse systemene. Vi kommer ikke til å gå i dybden på prognosemetodene, men vi skal se kort på de ulike metodene og komme med eksempler. Vi vil også se på ulike bruksområder for de ulike metodene. Når det kommer til IT-systemene undersøkes det hva som er de mest brukte på markedet i dag og vi sammenlikner de med tjenestene Cervino leverer. Hoveddelen av studien vil være å gjennomføre en spørreundersøkelse angående slike systemer og analysere resultatene. I hovedsak fokuserer oppgaven på flyselskap men også for eksempel togbransjen. Hensikten var å undersøke fly-, tog-, buss-, energi- og båtselskap, men oppgaven ble avgrenset ved lav responsrate på spørreundersøkelsen.

I henhold til resultatmålene kommer vi også til å ha fokus på en generell studie av litteratur og teori som finnes om emnet. I teorien vil vi ha hovedfokus på tre overordnede tema: vedlikehold, reservedelsstyring og prognoser/forecasting. For å ikke gjøre oppgaven for stor og innviklet med tanke på tid og ressurser har vi forsøkt å avgrense den litt. Hovedpunktene i oppgaven vil være å gjennomføre det generelle studiet av tilgjengelig teori og samtidig gjøre en undersøkelse av markedet for å komme fram til ideer om hvordan problemstillingen kan løses. Vi ønsker også å komme med forslag til videre studier innen temaet.

## 2 Metode

I dette kapittelet defineres hvilke metoder vi har benyttet oss av i prosjektet. Her forklares hvilke verktøy vi har brukt, hvordan vi har gjennomført litteraturstudiet og hvordan vi har kvalitetssikret oppgaven. Gjennom metodekapitlet skal leseren forstå hvordan rapporten er gjennomført og hvilke metoder som er brukt.

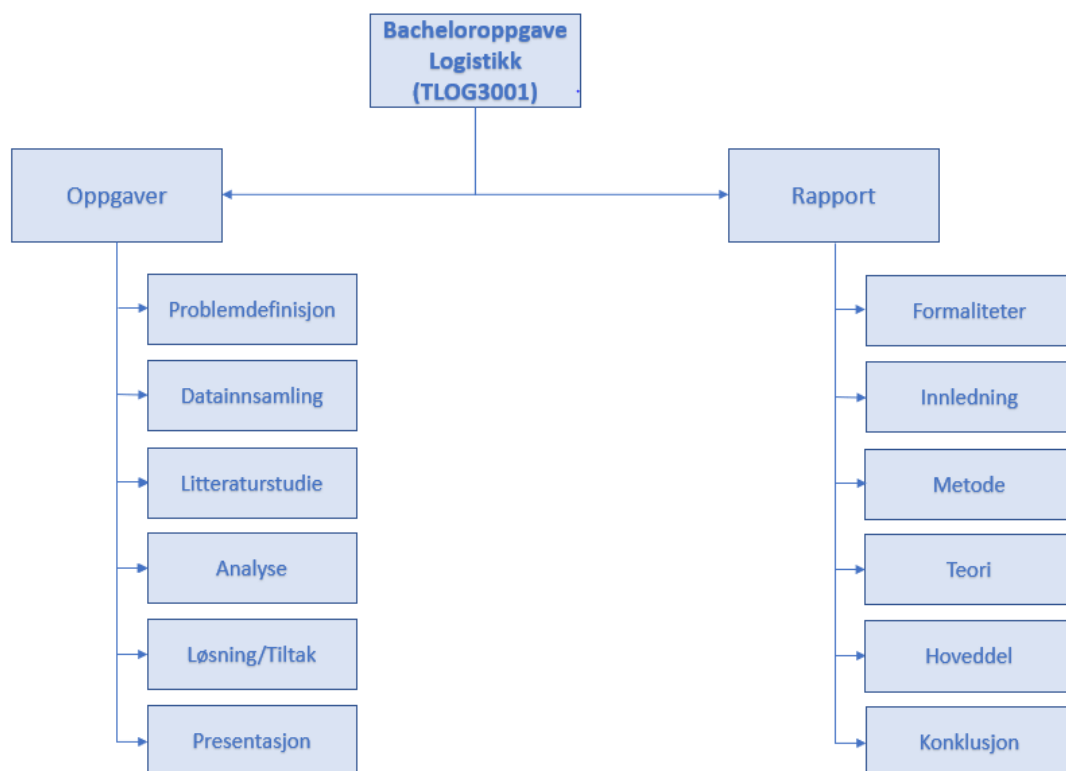
### 2.1 Oppstartsfasens åtte trinn

For å starte prosjektet brukte vi «Oppstartsfasens åtte trinn» som er beskrevet i boken Praktisk Prosjektledelse (Rolstadås, et al., 2014). Det var viktig å se på de åtte aktivitetene i oppstartsfasen for å forstå hvordan vi skulle gå frem. Trinnene innebærer å avklare prosjektets grunnlag, interessenter, mål, aktiviteter, tidsplan, avgrensninger, ressursallokering og organisering (se Tabell 1).

Tabell 1. Oppstartsfasens 8 hovedtrinn (Rolstadås, et al., 2014).

Trinn	Aktivitet	Resultat
1	Avklare prosjektets grunnleggende forutsetninger	Prosjektgrunnlaget
2	Avklare hvem som har krav, behov og forventninger til prosjektet	Prosjektets primære og sekundære interessenter
3	Avklare hva som skal leveres og hvordan det skal måles som levert	Målsetting og avgrensninger
4	Avklare hvilke aktiviteter som må til for å nå prosjektets målsettinger	Hovedaktiviteter i en prosjektnedbrytningsstruktur
5	Avklare når aktivitetene skal foregå, og når leveransene skal være ferdige	Tidsplan med delmål og milepæler
6	Estimere hovedaktivitetenes omfang	Prosjektets økonomiske avgrensninger og budsjett
7	Bestemme type og mengde av ressurser som må til for å gjennomføre aktivitetene	Ressursallokering
8	Vurdere hvordan prosjektet bør forankres	Organisering og styringsprinsipper

Interessentene ble avklart i form av en interessentanalyse (se 2.3) for å vite hvem som krav, behov og forventninger til prosjektet. I tillegg var det viktig å presisere hva som skulle leveres og hvordan det skulle måles som levert (se 1.4 og 1.5). For å oppfylle prosjektets mål må hovedaktivitetene defineres. Disse hovedaktivitetene ble bestemt og utformet i en prosjektnedbrytningsstruktur (se Figur 1). Dette var nyttig for å få en god og klar oversikt over innholdet av prosjektet, og for å lettere kunne sette opp tidsplanen.



Figur 1. Nedbrytningsstruktur av prosjektet

For å utvikle tidsplanen som illustrerer aktivitetene med hensyn på tid, måtte vi avklare hvor lang tid vi skulle bruke på hver aktivitet, og når delmål og sluttmaal skulle følges opp. Denne tidsplanen ble utformet i form av et Gantt-skjema (se 8.4), slik at tidsplanen ble oversiktlig og presis. Dette er et søylediagram som illustrerer start- og sluttidspunkt for ulike arbeidspakker og i hvilken rekkefølge de skal gjøres (Rolstadås, et al., 2014). Diagrammet brukes for å få en oversikt over strukturen i prosjektet og for å ha tydelige og klare frister som skal overholdes.

## 2.2 Spørreundersøkelse

Hensikten med undersøkelsen var først å gjennomføre den i form av intervjuer. Dette ble vanskelig da størstedelen av de få vi fikk kontakt med svarte oss med at de ikke hadde tid til det. Dette førte til en endring av verktøyet for undersøkelsen vår. Valget ble å utforme et spørreskjema, der mange av spørsmålene gir mulighet for å avgi litt lengre og utdypende svar slik at så mye informasjon som mulig ble mottatt. I motsetning til intervjuene så var det flere som tok seg tid til å gjennomføre spørreundersøkelsen. Likevel var det fortsatt utfordrende å få kontakt med eksperter og gi dem interesse av å hjelpe oss. Det var totalt fire flyselskaper og to togselskap som gjennomførte spørreundersøkelsen.

Spørreundersøkelsene ble sendt ut til norske og utenlandske selskaper gjennom e-post og gjennomført av eksperter innen fly- og togbransjen. Spørreundersøkelsen ble i tillegg sendt ut til eksperter innen vedlikehold av busser, skip og til energiindustrien. En spørreundersøkelse er definert som en skriftlig liste med spørsmål der svarene er gitt av respondenter (Kumar, 2011). Respondentene leser spørsmålene, tolker selv hva som forventes i svarene de gir og deretter skriver de ned svarene. Den største forskjellen på et intervju og et spørreskjema er at i førstnevnte blir spørsmålene stilt, forklart om nødvendig og registrert av intervjueren, mens i sistnevnte blir svarene registrert av respondentene selv (Kumar, 2011). Derfor er det viktig at spørsmålene i en spørreundersøkelse er klare og lett forståelige. Her kan man ikke legge til eller endre spørsmål underveis. Respondentene ble bedt om å besvare spørsmålene gjennom svaralternativer eller formulere et svar i en tekstboks. På slutten fikk respondenten et spørsmål om respondenten og/eller selskapet ville holdes anonyme eller ikke. Det var viktig at spørsmålene ble utformet slik at respondentene kunne gi ærlige svar.

Kumar (2011) skriver at den mest vanlige fremgangsmåten for å samle informasjon er å sende ut spørreundersøkelser gjennom e-post. På denne måten har spørreundersøkelser blitt gjennomført i oppgaven. Spørreundersøkelser har ifølge Kumar (2011) lav responsprosent. Om spørreundersøkelsen får en responsprosent på 50 er man heldig, med det er normalt med 20 prosent (Kumar, 2011). Av 49 som fikk e-posten fikk vi 12 svar, men kun 6 svarte på undersøkelsen. Responsprosenten ble dermed lav, kun 12,2 prosent. Det var utfordrende å få tak i eksperter på området som hadde tid og nok interesse til å gjennomføre spørreundersøkelsen.

Under presenteres spørsmålene brukt i spørreundersøkelsen. De samme spørsmålene ble sendt ut på engelsk til utenlandske selskaper.

- **Bruker selskapet ditt en M&E programvare eller prognoseverktøy for å håndtere vedlikehold?** Respondenten ble bedt om å svare «ja» eller «nei» her.
- **Hvis ja, kan du si hva det heter og beskrive prognoseverktøyet for logistikk- og vedlikeholdsplanlegging og gjennomføring, i korte trekk?** Respondenten fikk avgi svaret sitt i en tekstboks. Dette ble spurt for å kartlegge hvilke prognoseverktøy som brukes i dag.
- **Hvor lenge har selskapet deres brukt det nåværende M&E verktøyet/programvaren?** Respondenten svarer antall år. Det er interessant å vite

hvor ofte selskapene bytter ut sine MRO-systemer og hvor lenge siden de sist var på markedet for et nytt system.

- **Hvor fornøyd er dere med M&E verktøyet/programvaren deres på en skala fra 1-10?** Respondenten velger et svar fra 1 til 10. Dette spørsmålet ble stilt for å undersøke hvor fornøyde selskapene er med systemene de bruker.
- **Hvis forrige svar ligger på under 10, hva skal til for at verktøyet når 10? Altså hva kunne vært bedre med M&E programvaren/verktøyet?** Respondenten fikk avgi svaret sitt i en tekstboks. Dette spørsmålet ble stilt for å undersøke hvor fornøyde selskapene er med sine system.
- **Basert på din oppmerksomhet/kunnskap til andre M&E programvarer eller prognoseverktøy, er deres bedre, det samme eller verre enn andres?**
  - a) Mye bedre
  - b) Bedre
  - c) Omtrent det samme
  - d) Verre
  - e) Mye verre

Respondenten svarte enten a, b, c, d eller e. Her får vi se hvordan selskapene rangerer systemet de bruker opp i mot andre system..

- **Ville du ha anbefalt deres M&E programvare til kontakter eller kolleger i industrien?** Respondenten ble bedt om å svare «ja» eller «nei» her.
- **Hvis selskapet ditt ikke bruker noen form for M&E verktøy/programvare, vurderer dere å kjøpe eller utvikle en løsning?** Respondenten fikk avgi svaret sitt i en tekstboks. Dette ble spurt for å undersøke om de selskapene som ikke bruker en slik programvare vil være interessert i å anskaffe eller utvikle en slik løsning.
- **Hvis selskapet ditt ikke bruker noen form for M&E verktøy/programvare, hva er deres hovedgrunner?** Respondenten fikk avgi svaret sitt i en tekstboks. Dette ble stilt for å høre hva grunnene er for at et selskap ikke bruker et slikt system, for eksempel kostnader eller at det er for omfattende å implementere.
- **Hvordan fikk dere vite om denne M&E-programvaren, og hvordan fikk dere tak i den?** Respondenten fikk avgi svaret sitt i en tekstboks. Dette ble stilt for å høre hvordan selskapene fikk vite om verktøyet, for eksempel gjennom konferanser eller markedsføring.

**Hva ser du på som de viktigste utviklingene ved M&E IT de neste årene?**

- a. Prediktivt vedlikehold/dataanalyse**
- b. Mobil databehandling (Mobile Computing)**
- c. «Wearable» databehandling (Wearable Computing)**
- d. Utvikling av RFID**
- e. Papirløse vedlikeholdssystemer**
- f. Bruk av droner**
- g. Utvidet virkelighet (Augmented reality, AR)**
- h. Kunstig intelligens**
- i. Ingen utviklinger**
- j. Andre**

Respondenten ble bedt om å svare enten a, b, c, d, e, f, g, h, i eller j, og hadde muligheten til å velge flere svar. Dette spørsmålet ble stilt for å undersøke hva de som bruker disse systemene mener er viktig utviklinger i framtiden.

E-postene med spørreundersøkelsene ble sendt ut fra slutten av februar 2019 til midten av mars 2019. Resultatene fra spørreundersøkelsen blir presentert i kapittel 5 og diskutert i kapittel 6.

### **2.3 Interessent-analyse**

En interessent er en person eller organisasjon som involvert i prosjektet, eller som har interesser som blir påvirket av gjennomføringen av prosjektet eller dets sluttresultat (Rolstadås, et al., 2014). Det er vanlig å skille slike interessenter i primær- og sekundærinteressenter. Primærinteressentene kan direkte påvirke sentrale beslutninger i prosjektet. Sekundærinteressentene kan bli påvirket av prosjektet og kan påvirke det, men de kan ikke ta beslutninger som vil få konsekvenser for prosjektet.

<b>Stor innflytelse</b>	Tilfredsstilles	Tett oppfølging
<b>Liten Innflytelse</b>	Minimal innsats	Holdes informert
	<b>Liten interesse</b>	<b>Stor interesse</b>

Figur 2. Interessentmatrise

I dette delkapitlet har vi gjennomført en interessentanalyse av prosjektet. Den største interessenten i prosjektet er Cervino Consulting AS. Det er de vi skriver oppgave for og det er de som ønsker å få undersøkt hvordan tjenestene de leverer kan bli bedre. Firmaet har stor innvirkning på prosjektet og er de som vil bli mest påvirket av det. Andre interessenter er NTNU, prosjektskriverne og emnets veiledere. Cervinos eksisterende kunder, samarbeidspartnere og konkurrenter vil også ha interesse i prosjektet. Utenom dette så vil resterende interessenter være firma som allerede benytter seg av eller er på utkikk etter nytt system for prognostisering av materialforsyning til vedlikehold. En interessentanalyse ligger som vedlegg 8.2.

## 2.4 Litteraturstudiet

Den første utfordringen som oppstår i litteraturstudiet er å finne relevant litteratur til oppgaven. Det kan være vanskelig å finne riktig litteratur som er rettet kun mot det temaet en er ute etter. Litteratursøket må bestå av mer enn kun de ordene som inngår i problemstillingen (Olsson, 2011). For eksempel vil søket «prognose» gi nesten 56 000 treff på søketjenesten Oria. Derfor er det viktig å avgrense søket mer spesifikt til det en er ute etter. Både Oria og Google Scholar er to eksempler på søkemotorer som har effektive måter å utvide eller avgrense et søk. Oria er en portal til det alt av materialet som finnes ved de fleste norske fag- og forskningsbibliotek. Den gir muligheten til å søke i biblioteket sine trykte og elektroniske samlinger som inneholder bøker, artikler, tidsskrift, masteroppgaver etc. Oria egner seg godt i søket etter norsk litteratur. Google Scholar er også en database med lik litteratursjanger som Oria, men som egner seg bedre for engelsk litteratur.

Den andre utfordringen ved litteraturstudiet er å ikke dra inn for mye unødvendig litteratur i oppgaven. Som nevnt over vil et søk som består av et ord gi et enormt treff, der kun de færreste faktisk er relevante for oppgaven. Her er det viktig å ta i bruk enten Oria eller





- Journaler
- Standarder
- Offentlige rapporter
- Rapporter fra internett
- Ordbøker
- Dokumenter fra bedriften

## 2.6 Reliabilitet

Reliabilitet handler om at undersøkelsesmetodene skal være konsistente og stabile, og derfor forutsigbare og nøyaktige (Kumar, 2011). En test vil derfor være reliabel dersom man repeterer den under konstante forhold og får samme resultat som tidligere. Faktorer som påvirker reliabilitet er (Kumar, 2011):

- **Hvordan spørsmålene blir formulert**
- **Fysiske omgivelser**
- **Respondentens humør**
- **Intervjuerens humør**
- **Interaksjonen mellom respondent og intervjuer**
- **Ubesluttsomhet hos respondent**

For å ivareta prosjektets reliabilitet har vi forsøkt å ta mest mulig hensyn til faktorer som kan påvirke undersøkelsen. Vi har formulert spørsmålene slik at de ikke skal kunne tydes på forskjellige måter og prøvd å holde oss mest mulig nøytral i undersøkelsen slik at spørsmålene ikke formuleres slik at respondenten blir påvirket til å svare en vei. Vi legger også fram undersøkelsen med alle spørsmålene i rapporten og har med begrunnelser for alle avgjørelser tatt rundt hvilke spørsmål som er med og deres formuleringer. Vi har sendt rundt alle spørreundersøkelsene i det samme tidsrommet slik at resultatene ikke blir påvirket av endringer i markedet. Resultatene blir først presentert objektivt uten noe form for analyse eller diskusjon da dette vil foregå i et eget kapittel. Det var vanskelig å ta hensyn til respondentens humør, intervjuers humør og fysiske omgivelser da spørreundersøkelsene ble gjennomført via mail.

## 2.7 Validitet

Validitet handler om studien faktisk undersøker det vi ønsker å undersøke (Kumar, 2011). Det må være en logisk link mellom målene for studien og spørsmålene stilt i studien. Det er også viktig at spørsmålene er utvetydige og presise slik at ingenting kan bli misforstått. To hovedspørsmål kan stilles når det kommer til validitet (Kumar, 2011):

- 1. Underbygger forskningsundersøkelsen målene for studien?**
- 2. Om forskningsundersøkelsen underbygger målene for studien, gjør den dette ved å bruke passende metoder og framgangsmåter?**

For å sørge for validitet i vårt prosjekt og spørreundersøkelse har vi tatt hensyn til et par faktorer. Personene som har svart på spørreundersøkelsen har relevante stillinger i henhold til problemstillingen vår. Det er viktig at ekspertene vi har kontakt med har mye kunnskap om gjennomføring av prognoser for materialforsyning til vedlikehold. Vi har også etter best mulig evne stilt spørsmål som underbygger målene for studien vår, slik at det er en logisk link mellom målene og spørsmålene i undersøkelsen. I tillegg har vi hatt kontakt med personer fra forskjellige selskap fra forskjellige geografiske områder for å unngå at resultatene fra undersøkelsen kun blir relevant for et selskap/område. Gjennom å tilby respondentene å være anonyme i undersøkelsen sørger vi for at de kan være ærlige.

## 3 Teori

I dette kapittelet danner vi oss et teorigrunnlag for å bedre kunne forstå utfordringene med å levere gode løsninger for planlegging og gjennomføring av vedlikehold. Cervino Consulting AS leverer tjenester innen dette området. De utvikler verktøy/programmer til hvert enkelt selskap og gir rådgivning for valg av riktig løsning samt opplæring i den. Vi benytter oss av teori fra pensumbøker, informasjon fra internett og annen relevant litteratur vi har funnet på biblioteket og i vitenskapelige journaler for å gjennomføre teorikapittelet. Første kapittel tar for seg tidligere forskning og går inn på en tidligere gjennomført spørreundersøkelse og tidligere forskning gjort på ulike prognosemetoder. For å velge hvilken teori vi ønsket å studere måtte vi først studere problemstillingen og hvilke faktorer som inngår i den. I hovedsak er det tre faktorer som inngår: prognoser, materialbehov (reservedeler) og vedlikehold. Først ble det gjort en undersøkelse av hvilke typer vedlikehold som finnes, forskjellen mellom de og hvilke av de som har størst uforutsette behov – altså hvilke vedlikeholdstyper som har størst behov for prognostisering. Det ble i tillegg gjort undersøkelser om reservedelsstyring da materialbehov er et annet fokus i oppgaven. Til slutt er det et kapittel om ulike typer prognoser som kan være relevante til problemstillingen, både kvalitative og kvantitative.

### 3.1 Tidligere forskning

Aircraft IT gjennomførte en undersøkelse i 2017 om MRO IT-løsninger og hva brukerne av dagens løsninger synes om de, og hadde total 268 respondenter (Aircraft IT, 2017). Organisasjonen er et av de fremste innen luftfart MRO, operasjoner og IT-leverandører. Her er det hovedsakelig flyselskaper (63 prosent) og uavhengige MRO fasiliteter (22 prosent) som har besvart undersøkelsen. Selv om denne undersøkelsen kun tar for seg flybransjen, er det en god presentasjon av meninger og tanker av nåværende programmer/løsninger for planlegging og gjennomføring av vedlikehold. Over 10 prosent av selskapene i undersøkelsen bruker fortsatt Excel og Access til å håndtere vedlikehold av deres fly. Nesten 70 prosent av selskapene som ikke bruker et M&E/MRO program, vurderer å kjøpe/utvikle IT løsning. Ifølge undersøkelsen har 33,9 prosent brukt samme løsning i over ti år, og 39,7 prosent mellom fem og ti år (Aircraft IT, 2017). Majoriteten av selskapene svarte at deres program enten var dårligere eller like god i et spørsmål om hvor bra de mente at deres program var, sammenlignet med andre på markedet. Et annet nøkkelfunn er at prediktivt

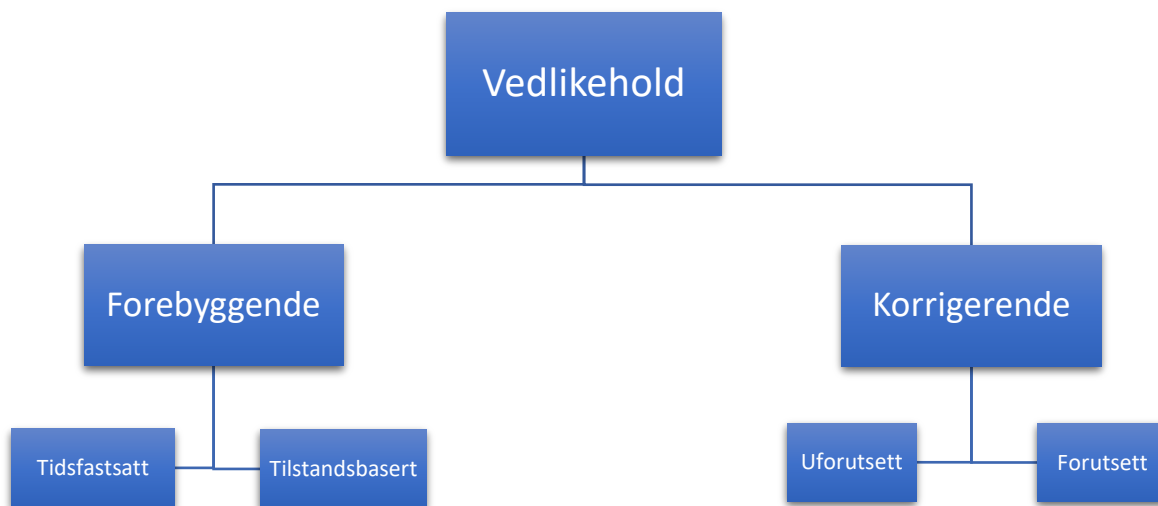
vedlikehold/dataanalyse og papirløse vedlikeholdssystemer er de viktigste utviklingene innen M&E/MRO IT de neste årene.

I en studie gjennomført av Ghobbar og Friend (2002) har de evaluert prognosemetoder for etterspørsel av deler med sporadiske behov innen luftfart. I sin studie har de gjennomgått 13 forskjellige prognosemetoder som for eksempel eksponentiell glatting og vektet glidende gjennomsnitt. Resultatene deres kommer fram til at den overlegne metoden for prognoser er vektet glidende gjennomsnitt (men også at Holt- og Croston-metodene er gode for sine bruksområder) mens de mest brukte prognosemetodene innen luftfart på den tiden gir dårligere resultat. Den metoden som gir flest feil er når Winters' metode brukes på behov som har høy variasjon. Man må også ta i betraktning at denne artikkelen er fra 2002 og at det kan ha kommet nyere utvikling innen prognoser siden den tiden. (Adel A. Ghobbar, 2003)

I en artikkel kalt «Forecasting demand in the aerospace and defense industry» kommer Alex Safavi fram til at eksponentiell glatting fungerer bra på deler med et hyppigere behov og der det er nok data (Safavi, 2005). For deler med sjeldnere behov (og flere perioder med null behov) vil Croston være best. I den samme artikkelen argumenterer han også for bruk av RFID for å samle mer nøyaktig historisk data til bruk i prediktive dataanalyser. RFID kommer vi tilbake til senere i rapporten.

### **3.2 Vedlikehold- og reservedelsstyring**

Bye (2009) definerer vedlikehold som «En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon». På grunn av evolusjonen av teknologi, IT, og organisatoriske fremgangsmåter, har industrielle utstyr og verktøy blitt mer og mer komplekse og automatiserte (Chebel-Morello, et al., 2017). Grunnen til kompleksiteten er forskjellige uhell og feil som har skapt merkbare skader på produkter, miljøet og mennesker. Mangel på vedlikehold kan påvirke påliteligheten til utstyret og kan føre til katastrofale konsekvenser (Chebel-Morello, et al., 2017). Bye (2009) skriver «Vedlikehold har ofte blitt betraktet som en utgift og ikke som en investering for å oppnå bedre lønnsomhet». For å hindre risikoer og øke levetiden må bedrifter bruke pålitelig utstyr, som regelmessig må bli ivaretatt av et effektivt og velorganisert vedlikeholdssystem (Chebel-Morello, et al., 2017). Dette er grunnen til at vedlikehold har fått en verdifull rolle i industrien og er i dag en essensiell del av et produksjonssystem.



Figur 4. Utførelse av vedlikehold (Bye, 2009).

### 3.2.1 Forebyggende eller planlagt vedlikehold

Forebyggende vedlikehold utføres etter forutbestemte intervaller eller følger satte kriterier (Bye, 2009). Slikt vedlikehold har til hensikt å redusere sannsynlighet for at det oppstår svikt eller funksjonsnedsetting. Det skal altså utføres før en funksjonssvikt oppstår. Dette har som formål å redusere behovet for korrigerende vedlikehold. Vi har to hovedtyper forebyggende vedlikehold: tilstandsbasert og tidsfastsatt (Bye, 2009).

Tidsfastsatt vedlikehold utføres etter en fastsatt tidsplan. Denne metoden for vedlikehold er effektiv når det som skal forebygges er tydelig tidsavhengig.

Tilstandsbasert vedlikehold blir utført når det er indikasjon på en tilstandsending for en enhet. Det blir gjennomført tilstandskontroller kontinuerlig, periodisk eller ved behov. Om tilstanden til enheten er slik som den skal være, vil det ikke startes noe aktivitet på enheten.

### 3.2.2 Korrigerende vedlikehold

(Bye, 2009) definerer korrigerende vedlikehold som; «Vedlikehold som utføres etter en feil er oppdaget, og som har til hensikt å bringe en enhet tilbake i en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon.» Ved et slikt vedlikehold må man først gjøre en feilsøking på enheten og deretter gjennomføre selve inngrepet. Et eksempel på et slikt inngrep er å skifte ut deler. Til slutt vil man kvalitetssikre vedlikeholdet ved å undersøke at funksjonen til enheten er slik som den skal være. Vi har to typer korrigerende vedlikehold: forutsett og uforutsett.

Forutsett korrigerende vedlikehold brukes når man gjennom en tilstandskontroll har oppdagat et avvik som vil utvikle seg til en svikt, eller at man gjennom analyser beslutter å la enkelte svikt kunne oppstå (Bye, 2009).

Uforutsett korrigerende vedlikehold er aktiviteter som gjennomføres ved en uforutsett svikt for å gjenopprette funksjonsevnen til enheten. Dette er uønsket (BSI Standards Publication, 2010).

Utsatt korrigerende vedlikehold er vedlikehold som ikke iverksettes med engang en feil er identifisert på en enhet, men blir utsatt siden feilen oppstår på en enhet med lav kritikalitet. Slike vedlikehold har lav prioritet og blir derfor utsatt (BSI Standards Publication, 2010).

Akutt korrigerende vedlikehold utføres umiddelbart etter at en feil er identifisert for å unngå uakseptable konsekvenser (BSI Standards Publication, 2010). Dette vil være for å fikse svikt med høy kritikalitet. Slike aktiviteter har høy prioritet.

### **3.2.3 Prediktivt vedlikehold**

Den Britiske standarden BS EN 13306 definerer prediktivt vedlikehold som «condition-based maintenance carried out following a forecast derived from repeated analysis or known characteristics and evaluation of the significant parameters of the degradation of the item» (BSI Standards Publication, 2010). I utgangspunktet var aktiviteter for vedlikehold begrenset til reparering av utstyret etter en feil, men dagens teknologi gir muligheten for implementering av prediktive aktiviteter (Chebel-Morello, et al., 2017). Risken ved enhetsfeil kan minkes ved å ha kontinuerlig, automatiserte analyser av enhetsytelsen for å indentifisere feil før de blir kritiske (Capehart & Brambley, 2015). Det som er komplisert er å velge riktig vedlikeholdssystem som må bli optimalisert for å redusere kostnader (Chebel-Morello, et al., 2017). Målet er å spare penger og gjøre påliteligheten til utstyret eller enheten større (Capehart & Brambley, 2015), samtidig utforme optimale vedlikeholdssystemer for å øke driftstiden ved maksimal ytelse (European Comission, 2016).

### **3.2.4 Reservedelsstyring og lagerhold**

Et kostnadseffektivt vedlikehold forutsetter riktig lagerhold (Bye, 2009). Det kan være mulig å redusere kostnader betraktelig ved å fokusere på reservedelsnivået i en bedrift. Reservedeler bør være tilgjengelig når behovet melder seg, men kan medføre store kostnader ved

kapitalkostnader, lagerkostnader og administrasjonskostnader. For reservedeler med lav omsetningsfrekvens er det vanskelig å bestemme størrelsen på bestillingen på grunn av usikkerhet med tanke på behovet for delen i framtiden.

Størrelsen på et reservedelslager avhenger av (Bye, 2009):

- Forbruk
- Leveringstid og leveringssikkerhet
- Lagerholdkostnader
- Konsekvenser av mangel
- Feilsannsynlighet
- Skadeutvikling
- Stillstandskostnader (NB: store ved fly)
- Restlevetid

Generelt sett kan man klassifisere reservedeler i to båser: forbruksreservedeler og beredskapsdeler (Bye, 2009). Forbruksreservedeler anskaffes ved behov og beredskapsdeler lagerføres. De ulike reservedelene kjennetegnes ofte slik:

Tabell 2. Klassifisering av reservedeler.

<b>Forbruksreservedeler</b>	<b>Beredskapsreservedeler</b>
<i>Uregelmessig forbruk</i>	<i>Lavt forbruk</i>
<i>Delvis kjent etterspørsel</i>	<i>Ikke målbar skadeutvikling, uforutsigbart</i>
<i>Målbar skadeutvikling</i>	<i>Dyrt å anskaffe</i>
	<i>Høye stillstandskostnader</i>

Beredskapsreservedeler pleier normalt sett å kun lagerføres dersom stillstandskostnader er større enn den forventede kostnaden av lagerhold (Bye, 2009).

Et sikkerhetslager er en buffer som skal hindre en bedrift i å gå tom for en bestemt vare/del ved uforutsette hendelser (Bye, 2009). Målet ved et slik lager er å ha tilstrekkelig med reservedeler på lager, slik at man ikke kommer til å gå tom på grunn av svingninger i behov eller leveringstid fra leverandøren sin side. Størrelsen man bør ha på sikkerhetslageret varierer med variasjon i etterspørsel, leveringstid/leveringssikkerhet, servicenivå og konsekvenser av mangel på reservedeler (Bye, 2009).

### 3.2.5 Stillstandskostnader

Når man skal ta beslutningen om å anskaffe en reservedel eller ikke må man tenke på de økonomiske konsekvensene anskaffelsesbeslutningen innebærer. Beslutningsgrunnlaget må være både økonomisk og sikkerhetsmessig motivert.

Økonomiske faktorer er innkjøps- og lagerkostnader samt tap av inntekter ved stopp grunnet manglende reservedeler (Bye, 2009). Kostnaden er avhengig av lengden på nedetiden og er dermed direkte påvirket av om en reservedel er på lager eller ikke. Beredskapsdeler er ofte forbundet med usikre tidsintervaller og er ofte forbundet med høy kritikalitet.

Stillstandskostnad defineres som forskjellen i de totale kostandene som påløper til utstyret er oppe å går igjen, avhengig av om reservedelen finnes på lager eller ikke (Bye, 2009).

Kostnadenes størrelse avhenger av tiden det tar å anskaffe reservedelen (ledetiden) og spesielle kostnader som påløper grunnet manglede reservedel (Bye, 2009).

### 3.2.6 EOQ og ROP

Valg av ordremengde, minimumsbeholdning og bestillingspunkt er av stor betydning for vedlikeholdsforetak. EOQ står for Economic Order Quantity (økonomisk ordrekvantum) og er en grunnleggende modell for planlegging av lagerhold og inventar. Til tross for simplisiteten til modellen blir den brukt av mange selskap over hele verden og spiller en viktig rolle i styring av lagerhold (Wayne L. Winston, 2015). Modellen blir også kalt for kvadratrotsformelen på norsk. Modellen gir ordrestørrelsen som på en best mulig økonomisk måte tilfredsstiller etterspørselen for en gitt tidsperiode (Nicholas, 2011). EOQ blir regnet ut slik:

$$Q = EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (3.1)$$

der

Q = Ordrestørrelse

D = Månedlig etterspørsel/behov

S = Ordrekostnad

H = Lagerkostnad per enhet/måned

Bruk av formelen forutsetter følgende (Nicholas, 2011):

1. Etterspørselen er konstant og kontinuerlig.



2. Etterspørselen er uavhengig.
3. Ordrekostnaden er konstant, uavhengig av ordrestørrelsen.
4. Lagerkostnaden per enhet er konstant; total lagerkostnad er en lineær funksjon av ordrestørrelse.
5. Hele ordren blir levert på engang.
6. Enhetsprisen er konstant, uavhengig av ordrestørrelse (for eksempel ingen rabatter ved kjøp av store ordrer).
7. Lageret går aldri tomt.

ROP står for Reorder Point, og er et system som brukes for når man skal gjennomføre en ny bestilling. Dette vil skje når lageret synker til et kritisk nivå. ROP er basert på den estimerte mengden materiale som brukes mellom tidspunktet når bestillingen er gjort og når den nye batchen er mottatt. Formelen for ROP er (Nicholas, 2011):

$$ROP = D * LT + SS \quad (3.2)$$

der

$D$  = Demand (etterspørsel/behov)

$LT$  = Lead time (ledetid)

$SS$  = Safety Stock (sikkerhetslager)

Dette vil si at hvis etterspørselen av en enhet er 25 per dag, ledetiden er 5 dager og sikkerhetslageret er på 350 enheter (nok til å vare i 14 dager), vil ROP være lik  $25 * 5 + 350 = 475$  enheter. Når enhetene når dette nivået må en ny bestilling skje.

### 3.3 Prognoser/Forecasting

Den norske ordboken (2018) definerer prognose som «forutsigelse av hvordan en utvikling vil arte seg, basert på tidligere tilfeller eller statistiske utregninger». Prognoser gjør det lettere å forutse hva man skal bestille, når man skal bestille det og hvor mye man skal bestille. En prognose er et estimat av framtidig etterspørsel eller behov og kan bestemmes ved bruk av matematiske metoder ved å se på historiske data. Prognoser gjør det lettere å holde lagerhold nede og øker servicenivået.

### **3.3.1 Kvalitative og kvantitative prognosemetoder**

Kvalitative prognosemetoder baserer seg på erfaring og dømmekraft (Hesham K. Al-fares, 2009). Slike metoder brukes når det er fravær eller finnes lite av historisk data.

Kvantitative prognosemetoder baserer seg på matematiske modeller som bruker historiske data for å estimere framtidige trender (Hesham K. Al-fares, 2009). Disse er enten basert på tidsserier, for eksempel glidende gjennomsnitt, eller regresjonsmodeller. Slike modeller brukes når det finnes nok historisk data.

### **3.3.2 Delphi-metoden**

Delphi-metoden er en kvalitativ metode innen prognoser som handler om å samle inn informasjon fra et større antall eksperter på området (Sander, 2017). Spørreskjema blir sendt rundt til eksperter i flere runder for å til slutt ha som mål å nå en felles konsensus (Park, 2012). Ekspertene kommer med svar basert på tidligere erfaring, forskning og personlig mening. Svarene i spørreundersøkelsen er anonyme. Ved å kombinere kunnskap og vurderinger prøver man å komme fram til et sannsynlig bilde av framtiden (Sander, 2017).

### **3.3.3 Moving averages – Glidende Gjennomsnitt**

#### **Simpelt glidende gjennomsnitt:**

Glidende gjennomsnitt er en kvantitativ prognosemetode der man bruker gjennomsnittet av tidligere etterspørsel for å regne ut en prognose for framtiden (Wayne L. Winston, 2015).

Den utregningen blir utført løpende for hver dag/måned/år og er dermed «glidende».

Prognosen for enhver periode er gjennomsnittet av de foregående periodene (Wayne L.

Winston, 2015). Først må man velge spennvidden på hvilke data man vil bruke. La oss si at man velger en spennvidde på seks måneder, da vil verdien som blir prognostisert fram for måned nummer 7 et gjennomsnitt av de foregående seks månedene. Om man først bestemmer seg for å bruke en spennvidde på seks måneder vil man alltid måtte bruke seks måneder i denne modellen. For eksempel for å prognostisere verdien for juli bruker du januar-juni og for å prognostisere verdien for august vil man februar-juli. Dette kan visualiseres lettere gjennom å bruke Excel for å få fram en tabell og en graf:

Tabell 3. Data for eksempel av glidende gjennomsnitt.

Måned	Behov	Glidende gjennomsnitt med spennvidde 2	Glidende gjennomsnitt med spennvidde 4
1	12		
2	8		
3	7	10	
4	13	8	
5	9	10	10
6	11	11	9
7	7	10	10
8	13	9	10
9	7	10	10
10	10	10	10
11	12	9	9
12	10	11	11
<b>13</b>		<b>11</b>	<b>10</b>

I dette eksempelet har vi brukt fiktive tall for å prognostisere behovet i måned nr. 13 ut ifra behovene de siste tolv månedene. Vi har brukt bevegelig gjennomsnitt med en spennvidde på to og fire. For å regne ut en prognose ved glidende gjennomsnitt brukes følgende formel:

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^N D_{t-i}}{N} \quad (3.3)$$

der

$$F_t = \text{Forecast}(\text{prognose})$$

$$D_t = \text{Demand at time period } t \text{ (behov ved tidsperiode } t)$$

$$N = \text{Spennvidden}$$

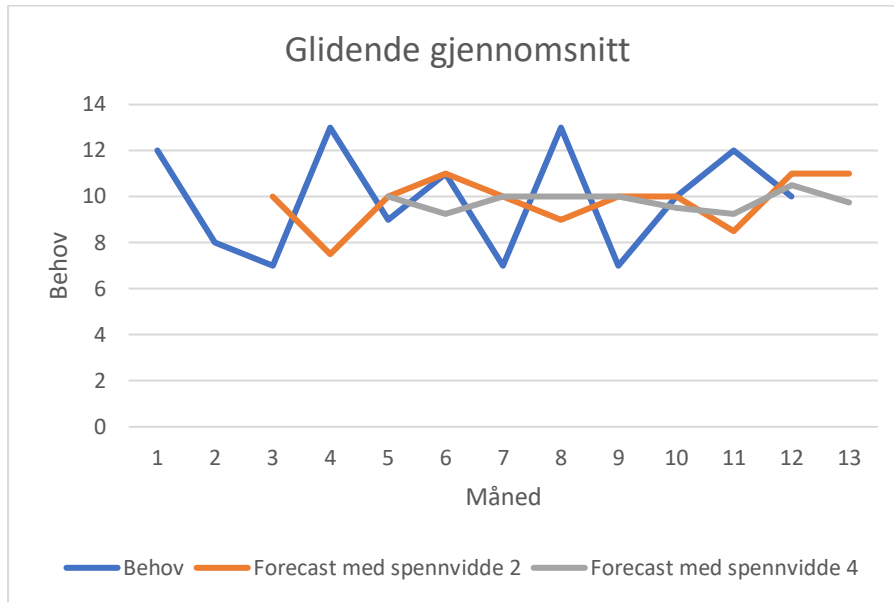
Behovene i måned nr. 13 er regnet ut slik:

Ved spennvidde på 2:

$$\frac{12 + 10}{2} = 11$$

Ved spennvidde på 4:

$$\frac{7 + 10 + 12 + 10}{4} = 9,75 \approx 10$$



Figur 5. Prognose glidende gjennomsnitt.

Hvilken spennvidde man velger er viktig (Wayne L. Winston, 2015). Vi ser på grafen over at ved bruk av en spennvidde på 2 vil grafen være mer lik det originale behovet og at ved bruk av en spennvidde på 4 vil man få en mye glattere graf. Hvis man velger et stort antall verdier å ha med på spennvidden så vil det bli med mange verdier i utregningene og ekstreme verdier vil ha mindre effekt på gjennomsnittsutregningen. Resultatet av å bruke en stor spennvidde er at grafen av prognosen vil bli mye glattere. Om man ønsker å få en prognose som mer viser effekten av ekstreme verdier så bør man bruke en spennvidde med et mindre antall verdier.

### Vektet glidende gjennomsnitt:

Ved vanlig glidende gjennomsnitt er alle dataene vektet likt. Ofte vil man se for seg at de nyere verdiene vil ha større verdi for prognostiseringen enn de eldre. Derfor kan man modifisere modellen slik at nyere datapunkt vil være vektet mer. Man kan for eksempel se for seg at hver nye verdi vil være vektet dobbelt så mye som forrige verdi. Her er det samme eksempelet som brukt over bare at vi bruker vektet glidende gjennomsnitt:

Tabell 4. Data gitt for prognose av vektet glidende gjennomsnitt.

Måned	Behov	Prognose med spennvidde 2	Prognose med spennvidde 4
1	12		
2	8		
3	7	9	
4	13	7	
5	9	11	11
6	11	10	10
7	7	10	10
8	13	8	9
9	7	11	11
10	10	9	9
11	12	9	9
12	10	11	11
<b>13</b>		<b>11</b>	<b>10</b>

For å regne ut vektet glidende gjennomsnitt brukes følgende formel:

$$F_t = \sum_{i=1}^N w_i D_{t-i} \quad (3.4)$$

der

$$F_t = \text{Prognosen}$$

$$D_t = \text{Demand at time period } t \text{ (behov ved tidsperiode } t)$$

$$w_i = \text{Vekten av observasjon i } N\text{-perioden glidende gjennomsnitt}$$

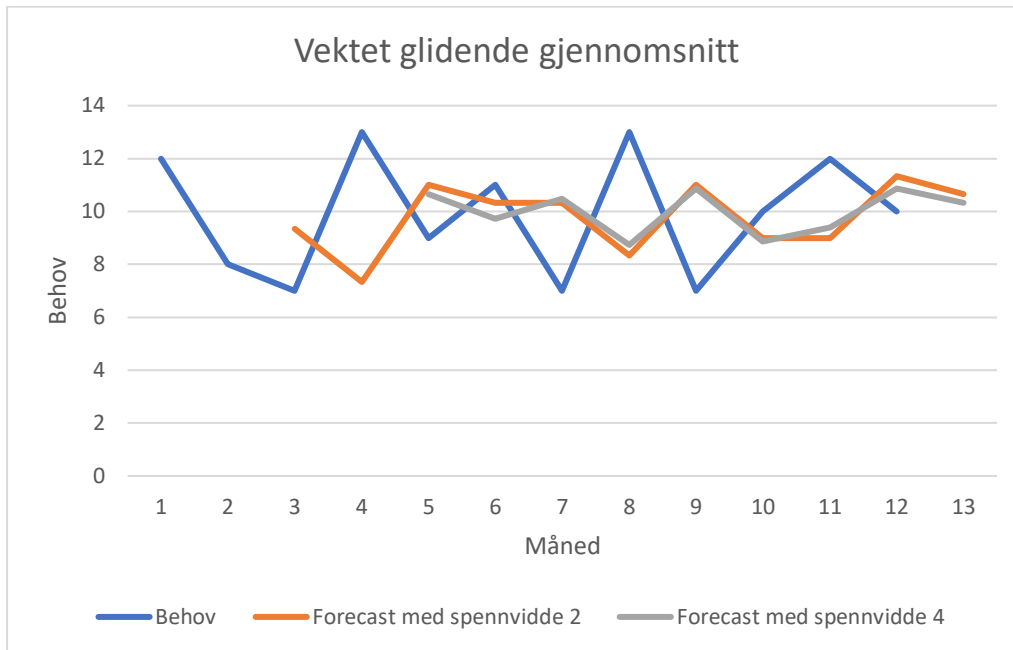
Behovene for måned nr. 13 er regnet ut slik:

Ved spennvidde på 2:

$$\frac{12 + 2(10)}{3} = 10,67 \approx 11$$

Ved spennvidde på 4:

$$\frac{7 + 2(10) + 4(12) + 8(10)}{15} = 10,33 \approx 10$$



Figur 6. Prognose vektet glidende gjennomsnitt

Vi ser her at når vi bruker vektet gjennomsnitt så vil prognosene endre seg litt. Dette er fordi de nyere verdiene vil ha mye større uttelling på utregningen av behovet.

### 3.3.4 Regresjonsanalyse

Regresjonsanalyse er forskningen på forholdet mellom variabler (Wayne L. Winston, 2015). Det er et av de mest nyttige verktøy for en forretningsanalytiker for det kan brukes i mange forskjellige situasjoner. Dette innebærer blant annet analyser av lønn, priser, salg, enhetskostnader etc. Det finnes flere ulike regresjonsmodeller (Hesham K. Al-fares, 2009). Tidsserie-regresjonsmodeller har kun tid som en selvstendig variabel, mens i «causal»-regresjonsmodeller finnes det andre selvstendige variabler. For eksempel hvis kostnaden av vedlikehold for en gitt periode  $m(t)$ , er en lineær funksjon av driftstimer i samme periode  $h(t)$ , er funksjonen gitt ved (Hesham K. Al-fares, 2009):

$$m(t) = a + bh(t) + \varepsilon_t \tag{3.5}$$

Likning 3.5 representerer et rettlinjet regresjonsforhold med én enkel prognostisk variabel  $h(t)$ . Parameterne  $a$  og  $b$  er intervallet og stigningen av linjen. I prosessen med å estimere

parameterne brukes «least-squares method» som finner de beste verdiene til  $a$  og  $b$ . Den generelle lineære ligningen som viser en lineær trend av etterspørsel etter vedlikeholdsarbeid  $D_i$  over en tid er:

$$D_i = a + bt_i + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

der

$$D_i = \text{etterspørsel på tidsperioden } t_i$$

$$\varepsilon_t = \text{feil på tidsperioden } t_i$$

La oss anta at  $n$  historiske datapunkter er tilgjengelige:  $(t_1, D_1), (t_2, D_2), \dots, (t_n, D_n)$ . «Least-squares» metoden vil anslå  $a$  og  $b$  ved å minimere følgende totalen av kvadratrotsfeil (sum of squared errors):

$$SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - a - bt_i)^2 \quad (3.7)$$

Ved å ta partielle derivasjoner med hensyn på  $a$  og  $b$  og setter dem lik null produserer man et 2x2 system av lineære likninger, der løsningen er gitt ved:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i D_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n D_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (3.8)$$

$$a = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n D_i - b \sum_{i=1}^n t_i) = \bar{D} - b\bar{t} \quad (3.9)$$

Nedenfor regnes ut et kort eksempel for hva etterspørselen av reservedelen i år 5 ved å bruke lineær regresjon. Følgende verdier er gitt:

Tabell 5. Verdier gitt for eksempelet.

År $t$	1	2	3	4
<b>Etterspørsel av del <math>D(t)</math></b>	100	120	150	170

Mellomberegningene for kalkulasjonene som trengs i likning 3.8 og 3.9 er vist i tabellen på neste side.

Tabell 6. Data og mellomberegninger for lineær regresjonseksempel.

					<b>Sum</b>
<b><i>t</i></b>	1	2	3	4	<b>10</b>
<b><i>D(t)</i></b>	100	120	150	170	<b>540</b>
<b><i>tD(t)</i></b>	100	240	450	680	<b>1470</b>
<b><i>t</i><sup>2</sup></b>	1	4	9	16	<b>30</b>

Intervallet og stigningen av linjen er regnet ut ved hjelp av likning 3.8 og 3.9 slik:

$$b = \frac{4(1470) - 10(540)}{4(30) - 10^2} = 24, \quad a = \frac{1}{4} [540 - 24(10)] = 75$$

Utregningen for minste kvadratrets rettlinje er  $D(t) = 75 + 24t$ . Derfor er den prognostiserte etterspørselen for reservedeler i år 5:

$$D(5) = 75 + 24(5) = 195 \text{ enheter.}$$

### 3.3.5 Eksponentiell glatting

#### Simpel eksponentiell glatting:

Denne metoden er lik metoden for vektet glidende gjennomsnitt ved at man legger mer vekt på nyere data. Forskjellen ligger i at ved å bruke eksponentiell glatting så bruker et vektet gjennomsnitt av all tidligere data og ikke bare den valgte spennvidden (Hesham K. Al-fares, 2009). En annen forskjell er at ved glidende gjennomsnitt så er vektingen ganske vilkårlig mens i denne metoden så synker vektingen eksponentielt jo eldre dataen er. Lettere sagt så er den nåværende prognosen et vektet gjennomsnitt av den forrige observasjonen av data og den nyeste prognosen. Ved eksponentiell glatting så velger man en glattingskonstant mellom 0 og 1. Jo høyere glattingskonstant, jo mer vektlegges de nyeste observasjonene. I eksempelet under har vi valgt en glattingskonstant på 0,2.

Under her ser vi formelen for å regne ut en prognose ved hjelp av eksponentiell glatting.

Prognosen  $F_t$  er gitt ved glattingskonstanten  $\alpha$  ganget med det forrige behovet  $D_{t-1}$  pluss  $(1-\alpha)$  ganget med den forrige prognosen  $F_{t-1}$ .

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1} \quad (3.10)$$

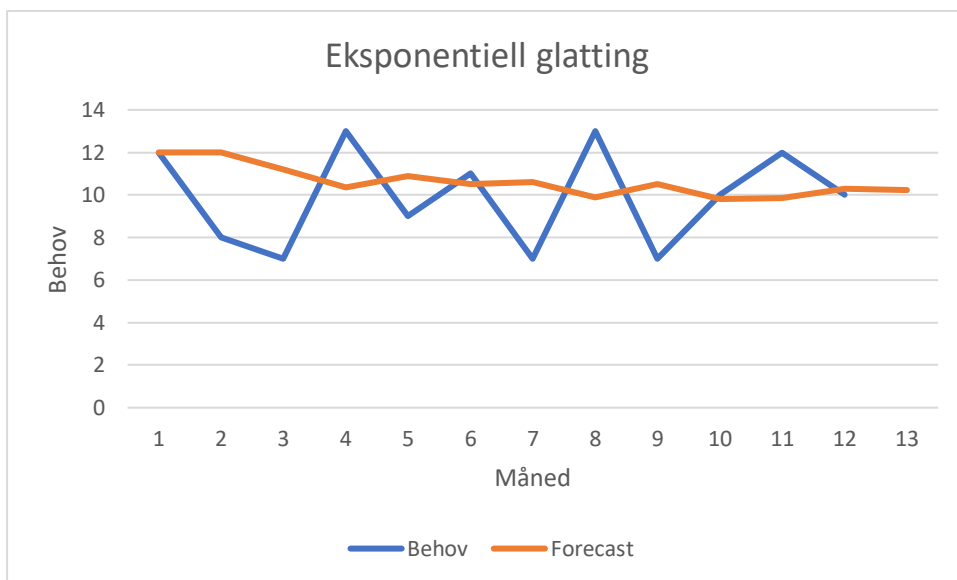


I dette eksempelet har vi brukt de samme tallene som vi brukte i eksemplene for simpel og vektet glidende gjennomsnitt i delkapittel 3.3.3. Glatningskonstanten er gitt ved  $\alpha = 0.2$ .

Tabell 7. Data for eksempelet av eksponentiell glatting.

Måned	Behov	Forecast
1	12	12
2	8	12
3	7	11
4	13	10
5	9	11
6	11	11
7	7	11
8	13	10
9	7	11
10	10	10
11	12	10
12	10	10
<b>13</b>		<b>10</b>

Vi ser at vi får ganske et ganske likt resultat ved bruk av denne metoden som det vi gjorde med glidende gjennomsnitt.



Figur 7. Prognose eksponentiell glatting.

### Dobbel eksponentiell glatting (Holts metode):

Den simple metoden for eksponentiell glatting kan brukes på konstante (stasjonære) modeller. Dobbel eller trippel eksponentiell glatting kan brukes ved lineære modeller, polynommodeller eller ved sesongbaserte prognostiseringsmodeller (Hesham K. Al-fares, 2009). Flere doble eksponentielle glattingsteknikker har blitt utviklet for prognostisering med lineær data. En av disse modellene kalles for Holts doble eksponentielle glattingsmetode. Holts metode er nyttig når det er en trend men ikke når den er sesongbasert (Wayne L. Winston, 2015). Ved bruk av denne metoden trenger vi to glattingskonstanter (Hesham K. Al-fares, 2009):  $\alpha$  og  $\beta$  ( $\beta \leq \alpha$ ). To glattingsvariabler er også med i utregningen: en er  $a_t$ , intervallet ved tiden  $t$ , og den andre er  $b_t$  som er stigningen ved tiden  $t$ :

$$a_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.11)$$

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3.12)$$

Startverdiene for  $b_0$  og  $a_0$  er gitt slik:

$$b_0 = \frac{D_n - D_1}{t_n - t_1} \quad (3.13)$$

$$a_0 = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n D_i - b_0 \sum_{i=1}^n t_i) = \bar{D} - b_0 \bar{t} \quad (3.14)$$

På slutten av perioden  $t$ , regnes prognosen for perioden  $t$  ( $t > 1$ ) slik:

$$F_t = a_t + b_t(t - 1) \quad (3.15)$$

Nedenfor regnes ut et kort eksempel for hva etterspørselen av reservedelen i år 5. Følgende verdier er gitt:

$$\alpha = \beta = 0.2$$

Tabell 8. Verdier gitt for eksempelet.

År $t$	1	2	3	4
Etterspørsel av del $D(t)$	100	120	160	190

Verdiene for  $b_0$  og  $a_0$  er regnet ut ved hjelp av likningene 3.13 og 3.14:

$$b_0 = \frac{190 - 100}{4 - 1} = 30, \quad a_0 = \frac{1}{4} [570 - 30(10)] = 67.5$$

Mellomberegningene er vist i tabellen på neste side.

Tabell 9. Data og beregninger for det doble eksponentielle eksempelet.

t	0	1	2	3	4
$D_t$		100	120	160	190
$\alpha_t$	67.5	$0.2(100) + 0.8(67.5 + 30) = 98$	$0.2(120) + 0.8(98 + 30.1) = 126.48$	157.005	187.544
$b_t$	30	$0.2(98-67.5) + 0.8(30) = 30.1$	$0.2(126.48-98) + 0.8(30.1) = 29.776$	29.926	30.049

Etterspørselen ved slutten av år 4 regnes ut ved hjelp av likning 3.15:  $F_t = 187.544 + 30.049(t - 4)$ . Derfor er den prognostiserte reservedelsetterspørselen i år 5 gitt ved:  $F_5 = 187.544 + 30.049(5 - 4) = 217.593$ .

### Croston's Metode:

J. D. Croston demonstrerte i sin artikkel «Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands» at å bruke simpel eksponentiell glatting ofte førte til overflødig lagernivå av ulike deler, spesielt ved deler som har sporadiske, irregulære behov (Croston, 1972). Han utviklet derfor en modell som blir kalt for Croston-metoden. Denne modellen brukes for deler der det ofte er perioder med null behov. Modellen består av to steg. Først gjøres det separate estimater ved eksponentiell glatting for den gjennomsnittlige størrelsen på et behov. Det andre steget er å beregne det gjennomsnittlige intervallet mellom behovene. Dette brukes da i en form av den konstante modellen for å forutsi fremtidig behov.

### 3.3.6 Sesongbasert prognostisering

Etterspørselen for mange produkter og tjenester følger et sesongbasert eller syklisk mønster, som repeterer seg selv hver  $N$  perioder (Hesham K. Al-fares, 2009). Et sesongbasert datamønster er et tidsmønster som blir påvirket av sesongmessige faktorer (Goetschalckx, 2011). Et eksempel er at det blir solgt mest is krem på våren og sommeren i forhold til resten av året. Lengden av syklusen er ikke nødvendigvis kun knyttet til årstidene, men etterspørselen på selve produktet eller tjenesten er avgjørende (Hesham K. Al-fares, 2009). For eksempel har etterspørselen etter strøm en daglig syklus, etterspørselen etter restauranter en ukentlig syklus, mens etterspørselen for klær har en årlig syklus (Hesham K. Al-fares,

2009). Vedlikeholdsarbeid kan variere i sesongen grunnet periodiske endringer i vær, etterspørsel eller driftsforhold (Hesham K. Al-fares, 2009). Hvis etterspørselen er sesongmessig, øker produksjonshastighetene i høysesongen og det er intensiv utnyttelse av utstyret som gjør sannsynligheten for feil eller vrak større. Hvis den ikke er sesongmessig, kan for eksempel høye temperaturer under sommeren føre til overoppheting og ofte svikt av utstyr. Plotting av data er nødvendig for å avgjøre om mønsteret er sesongmessig, trend, eller begge mønstrene (Hesham K. Al-fares, 2009). Nedenfor tar vi for oss en av dem, Winters metode, og forklarer den kort.

Winters metode er en utvidelse av eksponentiell glatting som brukes når etterspørselen er sesongbasert. Modellen estimerer følgende variabler (Nicholas, 2011):

$L_t$  – Antallet på tiden  $t$ , konstant for glatting  $\alpha$

$$L_t = \alpha \left( \frac{Y_t}{S_{t-M}} \right) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.16)$$

*der  $M$  er antall kvartaler*

$T_t$  – Variabelen for trenden (estimering av endringen i serien fra en periode til en annen), konstant for glatting  $\beta$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.17)$$

$S_t$  – Sesongbasert faktor for hver periode som vanligvis er en måned/kvartal, konstant for glatting  $\gamma$

$$S_t = \gamma \left( \frac{Y_t}{L_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-M} \quad (3.18)$$

*der  $Y$  er salget/etterspørselen*

Metoden tar altså for seg antallet  $L_t$ , trenden  $T_t$  og den sesongbaserte faktoren  $S_t$ , ved å bruke glattingskonstantene  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$ . Konstanten  $\alpha$  har vanligvis en liten verdi på 0,1 eller 0,2 for at

prognosen skal oppføre seg mindre tilfeldig til opp- og nedsvingninger (Nicholas, 2011).

Konstanter		RMSE	
Alpha	0.5751349	RMSE	5.826857338
Beta	0.05429621		
Gamma	0.49600001		

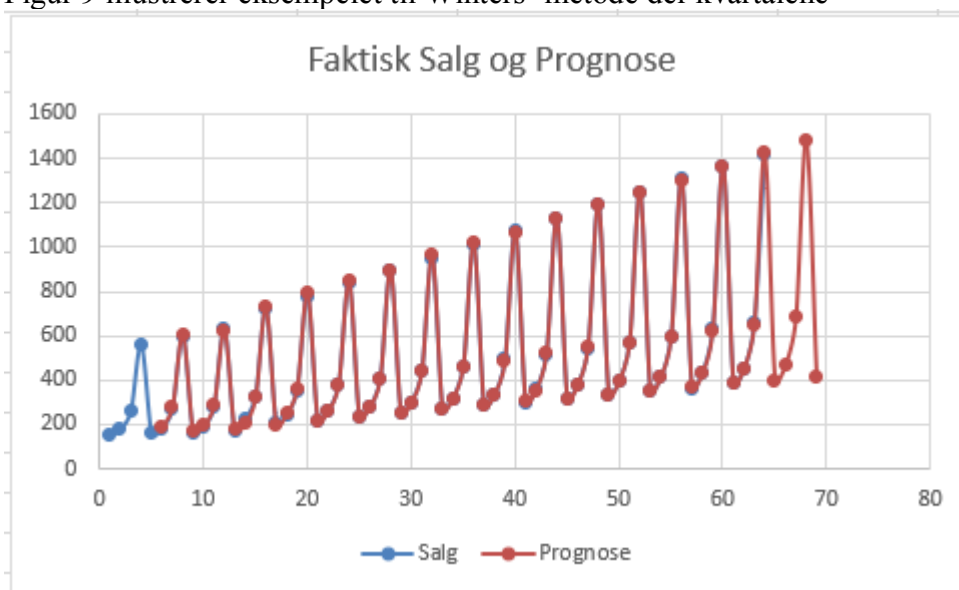
  

Kvartal	Salg	Antall	Trend	Sesongbasert	Prognose	Feil
Q1-03	155			0.536796537		
Q2-03	180			0.623376623		
Q3-03	260			0.9004329		
Q4-03	560			1.939393939		
Q1-04	160	298.064516	9.31451613	0.536796537		
Q2-04	185	301.277887	8.98324709	0.618751134	191.612903	-6.612903
Q3-04	270	304.276646	8.65831208	0.893943975	279.369333	-9.369333
Q4-04	600	310.887502	8.54714299	1.934719099	606.90416	-6.904160
Q1-05	165	312.501041	8.17067463	0.532432582	171.471411	-6.471411
Q2-05	190	312.848977	7.74592961	0.613082178	198.415988	-8.415988
Q3-05	280	316.352612	7.51558911	0.889551566	286.593885	-6.593885
Q4-05	635	326.367556	7.6512946	1.94014276	626.592343	8.407657
Q1-06	172	327.707748	7.30862567	0.528675539	177.842519	-5.842519
Q2-06	226	354.34829	8.35827535	0.625337544	205.392568	20.607432
Q3-06	329	366.814586	8.58132527	0.893201796	322.646193	6.353807
Q4-06	721	373.225482	8.46347923	1.936008755	728.321659	-7.321659

Figur 8. Utregning Winters metode

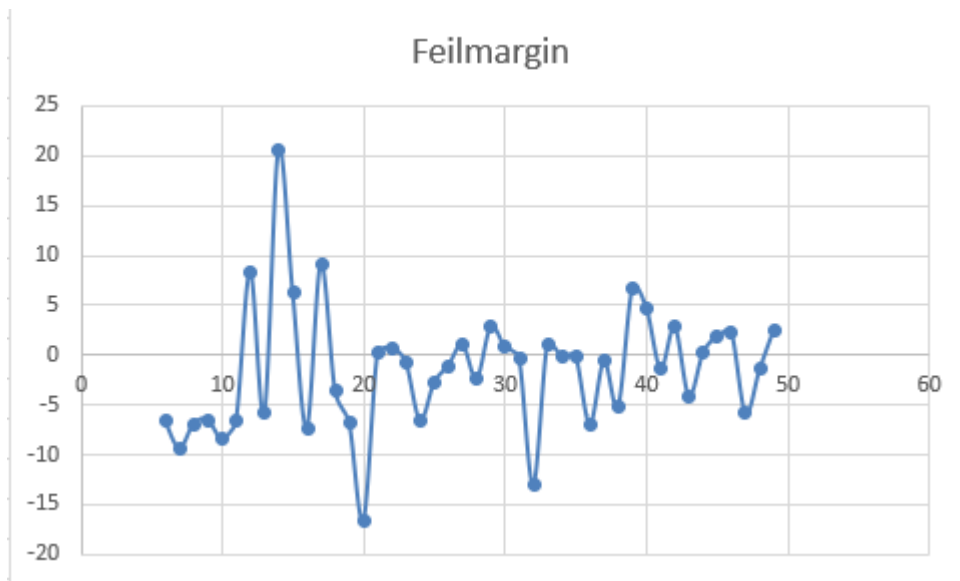
Figur 8 viser et utklipp av utregning for et eksempel av Winters metode gjort i Excel. Den tar for seg konstantene, RMSE (root mean squared error) og formlene vist over, for å prognostisere salget de neste årene.

Figur 9 illustrerer eksempelet til Winters' metode der kvartalene



Figur 9. Sesongbasert Prognostisering.

strekker seg fra år 2003 til 2019. Figur 9 viser en prognose som nesten er helt korrekt der prognosen (i rød) følger det faktiske salget (i blå) hele veien. Konstantene  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$  har blitt optimalisert i Excel men kan også velges vilkårlig til en viss grad.



Figur 10. Feilmargin.

I Figur 10 presenteres feilmarginene av prognosen. Grunnen til at det er store feil i begynnelsen er på grunn av at startverdiene i datasettet ikke er perfekte.

## 4 Case

Dette kapitlet gir en beskrivelse av Cervino Consulting AS og hvorfor de ønsker å forbedre prognosesystemer. I tillegg presenteres videre utvikling på området og to prognosesystemer. Denne oversikten er nødvendig for å kunne gi svar på problemstillingen.

### 4.1 Om Bedriften

Cervino Consulting AS er opprinnelig et svensk konsulentfirma som ble etablert i 2013 (Cervino Consulting AS, 2019). I dag har de 20 ansatte og holder til i Stockholm, Gøteborg og Oslo, hvor sistnevnte ble opprettet i 2014 (Cervino Consulting AS, 2019). De består av seniorkonsulenter med 10-20 års erfaring innenfor luftfartsindustrien. Cervino jobber hovedsakelig mot flyindustrien og andre MRO-industrier, der logistikkoptimering og optimering av prosesser innenfor vedlikehold er deres hjemmebane. De tilbyr tjenester som prosessinnovasjon og digital transformasjon, prosjektledere med bransjespesifikk kunnskap, valg av riktig MRO programvare, programvarekurs etc. Tjenestene leveres til selskaper som SAS, Avinor, Scania, Bane NOR og flere.

### 4.2 Hvorfor ønsker Cervino å forbedre prognosesystemer?

Dagens marked er sterkt preget av konkurranse og mange bedrifter har store kostnader når det kommer til vedlikehold i forhold til konkurrentene sine. Dette er grunnet dårlig prognosemetoder og liten oversikt over hva pengene går til (Bye, 2009). Derfor er det viktig å ha gode systemer for å forutse behovet for vedlikehold og utføre det når det trengs. Ved å ha dårlig vedlikehold vil man få ustabil drift. Mange har lite effektive rutiner når det kommer til forebyggende vedlikehold og har store kapitalbindinger i reservedeler. Dårlige systemer for lager og innkjøp fører til ekstra kostnader som kan reduseres ved hjelp av gode systemer og metoder for prognoser. Utilstrekkelige system for planlegging og prognoser av vedlikehold kan føre til for store eller for små innkjøp av eksterne varer og tjenester og dermed lang ventetid ved gjennomføring av jobber. Dårlig vedlikehold kan føre til stopp eller stillstand av for eksempel fly (se 4.3 under) eller tog, og dermed store påførende kostnader.

Av de ulike typene vedlikehold diskutert i kapittel 3.2 er det vanskeligste å prognostisere for uforutsett korrigerende vedlikehold. Det er lettere å gjøre prognoser for forebyggende eller planlagt vedlikehold fordi da vet vi når vedlikeholdet skal gjennomføres og kan bestille

reservedeler etter en plan. Korrigerende vedlikehold utføres først etter at en feil er oppdaget og er vanskeligere å prognostisere for. Ved slikt vedlikehold kan man bruke prediktive dataanalyser for å prognostisere når vedlikeholdet trengs og dermed bestille deler til riktig tid.

### **4.3 AOG – Viktigheten av å ha riktig deler til riktig tid**

AOG (Aircraft on Ground) er et begrep innen vedlikehold av fly som handler om at et problem med flyet fører til at det må stå på bakken til det blir godkjent for flyving igjen (Kinnison & Siddiqui, 2013). Når et fly ender opp AOG og materialer som kreves ikke er tilstede så må delene bli transportert til flyet så raskt som mulig. AOG-personell er opplært til å «låne» materialer som trengs av andre flyselskaper om de ikke har de tilgjengelige selv. Dette er for å få tak i delen raskest mulig og kan føre med seg store kostnader.

AOG kan skape store stillstandskostnader (se 3.2.5) og ifølge DHL kan AOG på det meste koste opptil 925.000 euro per dag (DHL, 2017). Derfor er det topp prioritet å få flyet opp i lufta igjen slik at man unngår videre forsinkelser eller kanselleringer. Ved AOG kan man få ekstra kostnader ved å skaffe overnattingssted og transport for passasjerer og situasjonen kan ødelegge omdømmet til flyselskapet. Deler for å reparere flyet må anskaffes raskt – koste hva det koste vil. Derfor har alle flyselskaper en AOG-desk, som er en dedikert tjeneste til luftfartslogistikk. Hovedoppgaven deres er å anskaffe ressurser og tjenester ved en AOG-situasjon.

Dette er også relevant hos andre transportbransjer som for eksempel tog. Stopp av tog på grunn av manglende deler til vedlikehold fører også til stillstandskostnader. Ved stopp av tog må for eksempel togselskaper av og til sett opp buss-for-tog som kan føre med seg store kostnader.

### **4.4 Videre utvikling innen vedlikehold, prognoser og MRO/M&E-systemer**

I dette kapittelet ser vi på noen av faktorene som kan være med på å utvikle MRO/M&E IT-systemer for prognoser og vedlikehold i framtiden (Aircraft IT, 2017). Ikke alt dette kan brukes i dag men det er alternativer som er under utvikling. Punktene er fokusert på forskjellige aspekter. Noen av punktene er fokusert på selve vedlikeholdet, andre er fokusert på prognoser av materialforsyning og andre handler om å utvikle IT-støttesystemet og å ta i



bruk nye teknologier.

#### **4.4.1 Prediktivt vedlikehold/dataanalyse**

Prediktivt vedlikehold blir beskrevet i 3.2.3. Prediktivt vedlikehold benyttes der man ønsker å legge vekt på å forutsi tilstanden i framtiden basert på tidligere data – altså å prognostisere.

En god prognose muliggjør riktig planlegging fram i tid. Gjennom bruk av dataanalyse finner man ut når man vil trenge flere reservedeler og når man må gjennomføre vedlikehold. Dette er en annerledes type vedlikehold enn forebyggende/planlagt vedlikehold, korrigerende vedlikehold og modifikasjonsbasert vedlikehold. Forskjellene blir bedre forklart i delkapittel 3.2.1, 3.2.2 og 3.2.3. Prediktivt vedlikehold og gjennomføring av dataanalyse er en viktig faktor i videre utvikling av systemer for prognoser og vedlikehold, spesielt med tanke på hvor mye datakraften øker nå for tiden.

#### **4.4.2 Mobil og «wearable» databehandling**

Mobil databehandling er definert som bruken av transportable databehandlingsenheter med mobil kommunikasjonsteknologi (Cuddy, 2009). Det er snakk om enheter som kan sende og motta data uansett hvor de er uten å være koblet til en fysisk link. Eksempler på slike mobile enheter kan være mobiltelefoner, bærbare datamaskiner, nettbrett eller smartklokker.

«Wearable» databehandling er et begrep som refererer til å øke menneskelige evner gjennom teknologi du kan «ha på deg» (Vega & Fuks, 2016). Dette kan for eksempel være datadrevne klær, klokker, briller, sko osv. Et spesifikt eksempel er et pulsbelte. Slike typer datamaskiner kan brukes ute i felten slik at de som driver vedlikeholdet kan se eller samle data i sanntid. Man kan for eksempel undersøke instruksjoner for vedlikehold eller se tidligere data om en enhet mens man holder på.

#### **4.4.3 Utvidet virkelighet/Augmented Reality (AR)**

Utvidet virkelighet betyr at den virkelige verden blandes med den digitale verden (Yarnall & Kumar, 2015). Dette kan for eksempel brukes gjennom en AR-brille eller å se gjennom kamera på en mobil. Dette er en type mobil databehandling. Da vil du se verden rundt deg i tillegg til et datagenerert bilde som legger seg over den fysiske verden. Det er viktig å presisere at augmented reality er ikke det samme som virtual reality (virtuell virkelighet). I

virtuell virkelighet så vil alt rundt deg være datagenerert. Et eksempel på et bruksområde for AR er at du kan se hvordan et møbel ville passe inn i hjemmet ditt.

AR har allerede vist at det kan brukes til å foreta gode utviklinger innen vedlikehold (Martinez, et al., 2013). Ved denne teknologiske hjelpen kan vedlikeholdsarbeid bli gjort raskere og tryggere. Gjennom å bruke AR i vedlikehold kan man få informasjon om en ressurs i sanntid eller få trinnvise instruksjoner for hvordan man skal reparere noe mens man faktisk holder på. AR kan gi bedre muligheter for å dokumentere arbeidet ditt og sende det direkte til ledere gjennom å bruke bærbar teknologi som gir deg et forbedret syn på ressurser under vedlikehold.

#### **4.4.4 Utvikling av RFID**

Radiofrekvensidentifikasjon (RFID) er en fremvoksende teknologi som i økende grad blir brukt i næringslivet, og fly/togindustrien er bare en av flere bransjer som kan dra nytte av teknologien (Mishra & Mishra, 2010). Det er en automatisk identifikasjonsteknologi som er brukt til å identifisere, spore og oppdage ulike objekter (Mishra & Mishra, 2010). RFID er bygget opp som et digitalt merkesystem for å lagre og hente data ved hjelp av små enheter kalt for RFID-brikker. Et typisk RFID-system består av objekter utstyrt med en RFID-brikke som kan avleses av en RFID-leser (Delphin, 2018). RFID kan for eksempel brukes til å identifisere, spore og styre flydeler. Informasjon som delenummer, produksjonsdatoer og historien av vedlikehold blir lagret på brikken og teknikere kan bruke en håndholdt leser til å oppdatere og lese RFID-informasjonen trådløst.

#### **4.4.5 Papirløse vedlikeholdssystemer**

Papirløst vedlikehold handler om å gå fra papirbaserte systemer til heldigitale systemer. Originalt var alle dokumentene og skjemaene innen vedlikehold på papir, og nå blir mange av dokumentene skannet til PDF-filer (Canaday, 2018). Det neste logiske steget er å bruke elektroniske dokumenter fra starten av. I stedet for å bruke penn og papir kan man bruke mobile datamaskiner som for eksempel nettbrett. Noen av fordelene med å gå papirløst er at man får mer nøyaktig og synlig data, reduserte datastyringskostnader og at man unngår at data blir tapt eller ødelagt (Canaday, 2018). Kostnadene på digital lagring har også gått ned de siste årene. Å gå papirløst har altså mange fordeler, men medfører også en del kostnader (Canaday, 2018): oppgradering av IT-systemer, opplæring av personale og endring av

prosesser. Gjennom utvikling av E-signaturer og biometriske identifiseringsmetoder er det også blitt lettere å godkjenne signatørens identitet (Canaday, 2018).

#### **4.4.6 Bruk av droner**

En drone er et fjernstyrt eller selvstyrt luftfartøy som finnes i mange ulike størrelser (Tandberg & Jarslett, 2019). Noen typer droner styres manuelt, mens andre kan fly autonomt ved hjelp av programvare, sensorer eller GPS.

Innen vedlikehold kan droner brukes til kartlegging, inspeksjoner og etter hvert gjennomføring av mindre vedlikehold (Prime Industries, 2016). Droner kan også brukes til å levere reservedeler til teknikere og til å gjennomføre skanninger av for eksempel fly for å levere 3D-tegninger til mekanikere. I dag er det en del begrensninger ved bruk av droner til dette, både økonomiske og tekniske, men i framtiden kan droner bli en viktig del av vedlikehold.

#### **4.4.7 Kunstig Intelligens**

Kunstig intelligens er datamaskiner som er «intelligente», altså maskiner som er i stand til å løse problemer og lære av erfaringer (Liseter, 2018). Kunstig intelligens er i sterk utvikling og kan brukes innen prediktivt vedlikehold.

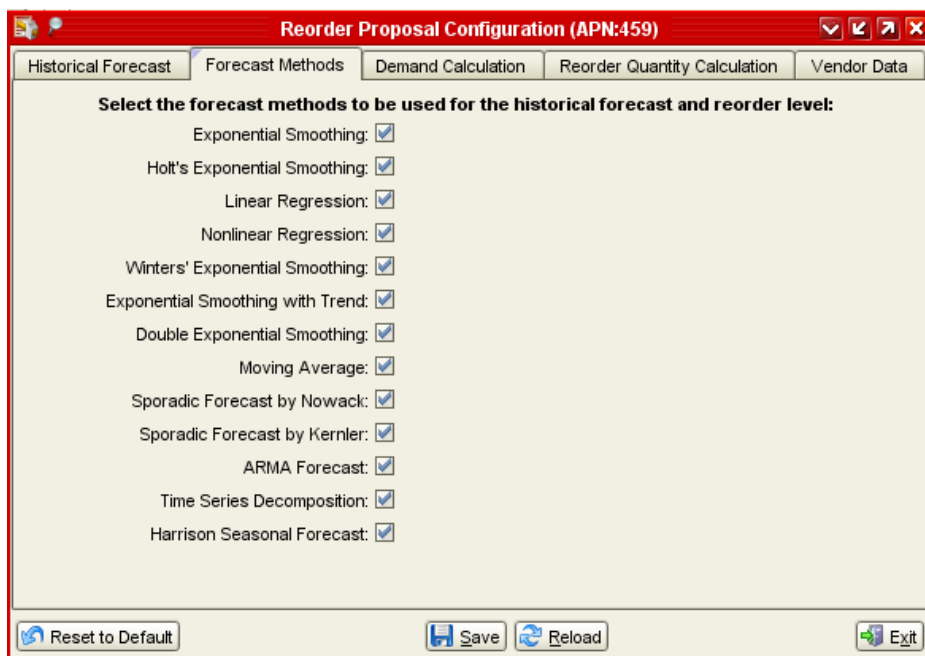
Maskinlæring er en type kunstig intelligens der datamaskiner lærer av å se på data (Tideman & Elster, 2019). Man bruker statistiske metoder for at datamaskiner skal klare å finne mønstre i store deler av data (Compello, 2019). Dette kan være relevant til prognoser av materialforsyning til vedlikehold. Datamaskinene lærer seg basert på tidligere data å se mønstre og komme fram til beslutninger. Innen vedlikehold kan det brukes til å gjennomføre dataanalyse for å gjøre bedre prognoser av materialbehov og vedlikehold.

### **4.5 AMOS**

Et av programvarene som Cervino jobber med i dag er AMOS. Det er et av de mest brukte prognoseverktøyene innen flyindustrien. AMOS har over 180 kunder over hele verden (Airline Software, u.d.) og kom på markedet for første gang i 1992 (Swiss Aviation Software, 2019). Det er en MRO-programvare for luftfartøy utviklet av Swiss Aviation Software (tidligere kalt Airline Maintenance & Operational Systems og derfor navnet på

programvaren), som tilbys til alle flyselskaper uansett størrelse og MRO-leverandører (Swiss Aviation Software, 2019). Programvaren gir brukerne muligheten til å håndtere sine vedlikeholds-, ingeniør- og logistikkbehov, og sikrer at kundene overholder et komplekst system av luftfartsforskrifter. AMOS sin kjerne består sentralt av åtte moduler, mens to ekstra funksjonelle deler som er HR og Økonomisk Administrasjon fullstendiggjør systemet (Swiss Aviation Software, 2019).

AMOS er kun skrevet i JAVA og det finnes i tillegg flere funksjoner i programvaren som kontrollerer arbeidsflyt og rapportering (Aircraft IT, 2019). Blant annet, regner AMOS ut og gir et forslag for når man burde gjennomføre en ny bestilling av materialer (ROP) og den mest økonomiske ordrestørrelsen (Cervino Consulting AS, 2014), som forklart i 3.2.6.



Figur 11. Prognosemetoder i AMOS (Cervino Consulting AS, 2014).

Etter å ha plottet inn historiske data, foreslår AMOS en liste med forskjellige kvantitative metoder for å regne ut prognosen (se Figur 11). Denne listen inkluderer eksponentiell glatting, Winters og Holts metode, glidende gjennomsnitt, regresjonsanalyse etc. (se 3.3). Når dette er utført og verdier av etterspørselen er skrevet inn, vil AMOS foreslå et bestillingspunkt.

AMOS er ikke perfekt. Programmet inneholder ikke alle funksjonene brukerne ønsker og det oppstår problemer ved flere av dem. Hovedproblemene ved prognostisering i AMOS uten å gå i dybden på hver enkelt, er (Cervino Consulting AS, 2014):

- Ingen mulighet for å gruppere delene/delgruppene etter forskjellige parametere. For eksempel lager parameteren «Historical forecast period», størrelsen på ROP for alle delene, ikke hver enkelt. Det er heller ikke mulig å gruppere i for eksempel treige deler, dyre deler, billige deler etc. og gi dem forskjellig strategi. Dette er lite fleksibelt og vil påvirke servicenivået negativt og øke lagermengden.
- Høy risiko for at forslag for ROP er feil med hensyn på leverandør, pris, ordrestørrelse og ledetid. I den automatiske utvelgelsen av leverandør, pris, ledetid og avtal finnes det feil og oppsettet er ikke logisk. Dette betyr det ofte vil bli foreslått feil leverandør/pris, og at feil pris og ledetid til å beregne prognosen og ROP. Problemet vil gi innkjøpsavdelingen mer arbeid og høy risiko for negativ effekt av servicenivået.
- Tekniske ordre og lagerjusteringer påvirker prognoseberegningene. Dette påvirker servicenivået negativt og øker lagermengden.
- Ingen mulighet til å gjøre prognoser på linjestasjoner og/eller filialer. Det er ingen automatisk måte å prognostisere hvilket sikkerhetslager og ROQ som skal ligge på avdelinger og linjestasjoner. Dette påvirker servicenivået negativt og øker lagermengden.
- Ingen mulighet for å lage forslag for ROP uten en total omberegning av prognosen. Dette gjør at ledetiden blir større på ROP-prosessen og vil øke risikoen for et dårligere servicenivå.
- Tar ikke hensyn til intern ledetid. Det finnes ikke ledetid av transport, behandlingstid eller inspeksjonstid i AMOS. Dette betyr at prognosen og beregningen av ROP ikke bruker den faktiske ledetiden i kalkulasjonene.
- Prognoser for enveis utvekslingsvarer fungerer ikke. Dette betyr at du for eksempel kan bytte ut del AB med del CD, men ikke motsatt. Når en del blir erstattet med en nyere versjon, er den vanlige prosessen å slutte å kjøpe det gamle delnummeret, bruke det som er igjen og fortsett å kjøpe det nye delnummeret basert på forbruket av den gamle. Ingen av disse funksjonene er tilgjengelige i AMOS. Dette må endres manuelt.
- Minimums ordrestørrelse påvirker ikke beregningen av antall ordrer. Man kan ende opp med å sende kjøpsordre for mye mindre enn leverandørens minimums ordrestørrelse.

## 4.6 SPOS

SPOS (Spare Parts Optimization System) er et av verktøyene utviklet av Cervino, blant annet for å fikse manglene til AMOS og andre MRO programvarer for prognostisering og planlegging (Cervino Consulting, u.d.). SPOS henter data fra MRO programvaren, gjennomfører beregninger basert på parametere og delgrupper, og foretar simulasjoner av ny ROP og EOQ (se 3.2.6). Beregningene blir utført ved hjelp av EOQ og Spare Optimization Model (utviklet av Cervino). Disse burde brukes for å optimalisere lageret og forhindre nedetid eller AOG (se 4.3). Nytt ROP og ny reservedelsoptimering kan importeres tilbake til MRO-systemet. Dette er et verktøy Cervino vil distribuere til sine kunder for å forbedre deres nåværende programvare.

Verktøyet er laget for å forbedre dagen programvarer ved å tilby nye funksjoner. Dette er noen av funksjonene (Cervino Consulting AS, 2019):

- Reduserer ikke lageroverskudd eller foreldet materiale, men forhindrer å ha lageroverskudd/foreldet materiale i fremtiden.
- Støtter «multifleet» baser og flerproduksjonsbaser. Prognostiserer per P/N per base. Hovedbasen følger et forhåndsdefinert sett med kriterier.
- Bygger seg på kombinasjonen av flere ulike klasser, for eksempel prisklassen, transaksjonsklassen og ledetidklassen, som sammen former en strategisk matrise.
- I den strategiske matrisen kan hver gruppe med reservedeler bli tildelt til riktig og passende lagerprinsipper og prognosemetode.
- Intern ledetid eller ledetid mellom baser er integrert i prognosemetodene til SPOS. Beregningen av ROP består av en hvis-/eller-loop som sjekker om intern ledetid må legges til i beregningen.
- Genererer et tilgjengelig prognosekonsept og en kontrollert prosess for å utføre prognoseberegninger. Den har en kontrollert prosess som sikrer at korrekt ledetid, leverandør og pris er valgt med hensyn til forhåndsbestemte kriterier.
- Beregningen av ordrestørrelsen består av en hvis/eller-loop, som følger et sett med kriterier. Dette sørger for at du ikke sender ut kjøpsordre som er mindre enn leverandørens ordrestørrelse.

## 5 Resultat

Dette kapittelet gir en nøytral og objektiv presentasjon av resultatene fra spørreundersøkelsen. Svarene til respondentene vil diskuteres nøyere i kapittel 6.

### 5.1 Respondent 1 – Norwegian

Første respondent på spørreundersøkelsen var Edgardo Rueda Reyes i Norwegian Air Shuttle ASA. Han er ansatt som Production Manager hos Norwegian og har lang erfaring innen vedlikeholdsstyring av fly og tog gjennom tidligere jobber hos SAS og Mantena. Han skriver at Norwegian bruker et MRO system som heter AMOS. AMOS blir beskrevet i delkapittel 4.5. De har brukt AMOS siden 2010 – altså i 9 år. På en skala fra 1-10 på hvor fornøyde de er med systemet sitt så skriver han 10 og at han absolutt vil anbefale systemet til kontakter og kollegaer. Han skriver at AMOS er mye bedre enn MRO-systemer som SAP, MOVEX og MAXIMO siden AMOS er spesifikt for luftfart og vedlikehold av fly. Norwegian ble oppmerksomme på AMOS gjennom konferanser og promotering. Når det kommer til videre utvikling innen MRO ser Edgardo på AR (augmented reality), papirløse vedlikeholdssystemer og bruk av droner som viktige faktorer for forbedring av systemene i framtiden.

### 5.2 Respondent 2 - Anonym

Den andre respondenten er fra et flyselskap som ønsker å bli holdt anonyme i oppgaven. Respondenten skriver at de bruker MRO-systemet AMOS. Respondenten mener at det er et helhetlig program som holder god oversikt over de fleste funksjonene de har behov for innen flyvedlikehold. Delebehov legges inn i «work orders» og blir synlige i en Parts Consumption Forecast-modul som monitoreres av Logistikk fordelt på flytype per behandler. Forbruksmateriale blir fulgt opp via en Reorder-proposal modul, men denne tar ingen hensyn til ulike forbruk på ulike stasjoner og det blir derfor en viss mengde manuell oppfølging. Selskapet hennes har brukt AMOS siden 2011. På en skala fra 1-10 på hvor fornøyde de er med systemet vil hun rangere deres bruk av AMOS til 8. Dette handler mest om at ledelsen deres ikke har prioritert nok opplæring i programmet og at det derfor finnes uutnyttede ressurser og funksjoner. Deler av programmet blir også brukt på en «gammel» måte slik at man ikke får optimal utnyttelse av det. Respondenten tror ikke det er realistisk å få et

program som vil nå toppscore siden det er så mange ulike måter å drive et selskap eller organisasjon på. For at et program skal kunne nå toppscore for alle disse må det inngås mange kompromisser som gjør at noen blir fornøyd med noe som andre misliker. Respondenten tenker at et mer realistisk mål er å fokusere på utvikling, service og tilpasningsgrad. De fleste andre respondenter har kontakt med innen bransjen bruker AMOS men respondenteren kjenner til noen som bruker et system som heter SAP. Ut ifra respondentens erfaringer så er AMOS et mye mer brukervennlig og logisk system. Respondenten ville anbefalt AMOS til kollegaer og kontakter i industrien. Respondenten har ikke oversikt over når systemet ble implementert i selskapet men det ble kjøpt direkte fra leverandøren. Når det kommer til videre utvikling innen MRO så ser respondenteren på prediktivt vedlikehold/dataanalyser og papirløst vedlikehold som viktige faktorer for forbedring av systemene.

### **5.3 Respondent 3 – KLM Cityhopper**

Tredje respondent i spørreundersøkelsen er Supply Chain Analyst (leverandørkjedeanalytiker) hos det nederlandske flyselskapet KLM Cityhopper, som er et datterselskap av KLM Royal Dutch Airlines. Han skriver at de bruker MRO-systemet AMOS for alle vedlikeholdsrelaterte aktiviteter men at de også er på utkikk etter prognoseverktøy i tillegg til AMOS for å hjelpe med logistikk. De har brukt AMOS siden 2006 men dataen i systemet går helt tilbake til midten av 90-tallet. På en skala fra 1-10 rangerer han systemet som 8. Han skriver at systemet er perfekt fra et operativt synspunkt, men at for taktiske og strategiske beslutninger så er det utilstrekkelig. Han synes AMOS er bedre enn de andre MRO-systemene han har kjennskap til og vil anbefale det til kollegaer og kontakter. Når det kommer til videre utvikling innen MRO-systemer så jobber de allerede med prediktivt vedlikehold, mobil databehandling, papirløst vedlikehold, bruk av droner og AR (augmented reality). De holder også på å se utvikling av RFID. Ved riktig datautvalg mener han også at AI kan bli stort.

### **5.4 Respondent 4 - Anonym**

Den fjerde respondenteren er fra et Europeisk flyselskap som ønsker å holdes anonyme i oppgaven. De ønsker ikke å svare på de fleste av spørsmålene da de ikke ønsker å fortelle om produktet til en programvareleverandør til en tredjepart. Han kan fortelle oss at selskapet



bruker et MRO-system og at de har brukt det i cirka i 15 år. For å anskaffe systemet ble det gjennomgått en undersøkelse av leverandørmarkedet som fantes på den tiden.

## **5.5 Respondent 5 - Anonym**

Den femte respondenten er et selskap som driver vedlikehold av skinnegående kjøretøy. De ønsker å være anonyme i oppgaven. De bruker ikke noe avanserte prognoseverktøy-/programvare for vedlikeholdsplanlegging i dag. ERP-systemet de bruker i dag har ikke installert prognoseverktøymodulen. For å planlegge innkjøp av material til vedlikehold så bruker de bestillingspunkt i ERP-systemet. I tillegg så gjøres det analyser med Excel for innkjøp av boggier, hjulskiver, bremseklosser osv. basert på historisk forbruk. De har derimot bestilt en prognoseverktøymodul som skal kobles på ERP-systemet deres (Maximo). De ønsker dette for å øke innkjøpskvaliteten og forbedre økonomien.

## **5.6 Respondent 6 - Anonym**

Den sjettede respondenten er fra et selskap som driver med vedlikehold av skinnegående kjøretøy som ønskes å holde anonyme i oppgaven. Vedlikeholdsleverandøren bruker to vedlikeholdsstyringsystem. Det første er deres egen virksomhet sitt system, Maximo, som brukes for planlegging og ordrehåndtering av komponentproduksjon. Dette vil senere i 2019 også bli tatt i bruk for førstelinjevedlikehold og planlegging av forebyggende togvedlikehold for nye kunder. De vil også ta dette i bruk for logistikkstyring av lager for nye kunder som ønsker dette. Samtidig som de bruker Maximo så benytter de seg også av deres kunders M&E-system for vedlikehold og logistikkstyring. Systemet til kunden brukes primært av de for å håndtere førstelinjevedlikehold og planlegging av togvedlikehold. Systemet brukes også for styring av komponentvedlikehold. Dette systemet har også en materialprognosemodul som er tatt delvis i bruk, men ikke slik at innkjøp basert på prognoser går automatisk. Vedlikeholdsprognosemodulen brukes ikke av deres virksomhet, men brukes av kunden for kalkulere vedlikeholdsbudsjetter som leveres av vedlikeholdsleverandør. Kunden sitt system har vært i bruk siden 04.11.2013 og deres eget system, Maximo, har vært i bruk siden 04.12.2017.

Kundens system blir rangert som 5 på en skala fra 1-10. Dette systemet er et omfattende ERP-system som opprinnelig var designet for offshore vedlikehold og det har vært vanskelig

å tilpasse dette til togvedlikehold. Planlegging og vedlikeholdsprosessene er tunge med mange prosessbilder hvor informasjon finnes og/eller data skal legges inn. Maximo blir rangert som 7 på en skala fra 1-10. Dette er et enklere system og bedre tilpasset togvedlikehold. Med dette systemet er det enklere å få tilpasset gode prosesser, planlegging og vedlikehold tilpasset deres virksomhet. De vet foreløpig lite om hvordan prognosemodulen fungerer da denne ikke er tatt i bruk.

På spørsmålet om hvordan programvaren er i forhold til andre programvarer respondenten han kunnskap om svarer han at mange av programvarene er veldig omfattende og er som regel moduler av et større ERP-system. De er programmert som hyllevare og må konfigureres og tilpasses prosessene i forhold til virksomheten. Dette gjør det vanskelig å få tilpasset et perfekt velfungerende system for alle deler av virksomheten. Systemene er alltid gode på noen deler av prosessen og dårligere på andre deler. Generelt sett vil han si at Maximo er bedre enn andre system og han ville anbefalt det til kollegaer og kontakter. Grunnen til at han ser på det som bedre er at dette systemet har enklere prosesser og er lettere å tilpasse/konfigurere.

Maximo er et system fra IBM som de lenge har hatt kjentskap til og har vært brukt i både Norsk og Svensk jernbane i flere år. Systemet er også utviklet for bruk innen vedlikehold av fly.

Når det kommer til videre utviklingen innen slike IT-støttesystemer de neste årene ser han på prediktivt vedlikehold/dataanalyse, mobil og wearable databehandling, RFID og papirløse vedlikeholdssystemer som viktige faktorer.

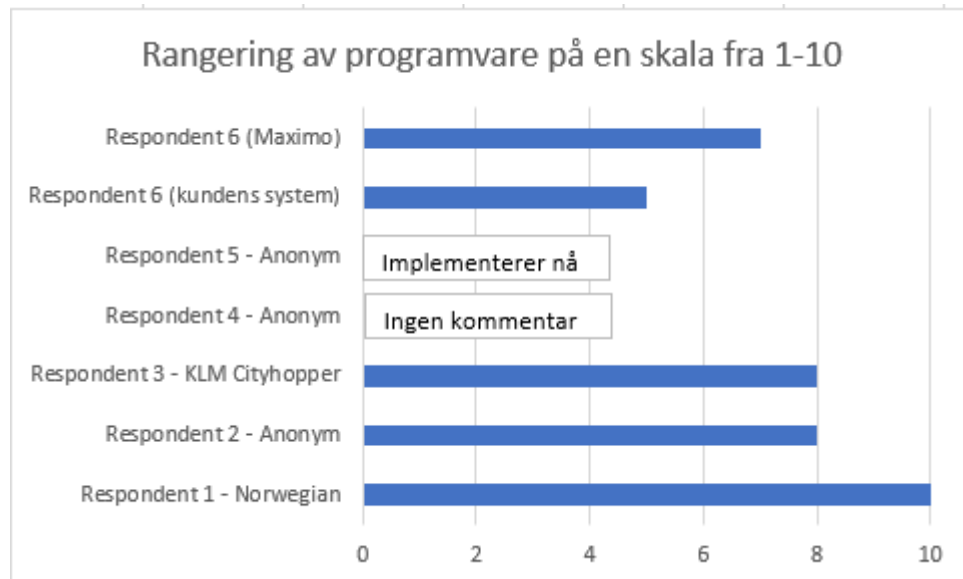
## 6 Diskusjon/analyse

Diskusjonskapittelet diskuterer og sammenlikner svarene fra respondentene i kapittel 5.

Kapittelet sammenlikner også prognosesystemene presentert i 4.5 og 4.6, og diskuterer videre utvikling på området med hensyn til våre funn og teori.

### 6.1 Sammenlikning/diskusjon av svar fra spørreundersøkelse

Ut ifra spørreundersøkelsen så ser vi at de fleste selskapene bruker et MRO-system for å håndtere vedlikehold. Alle flyselskapene bruker AMOS (utenom respondent 4 som ikke ønsker å nevne navnet på deres system). Selskapene som driver med vedlikehold av skinnegående kjøretøy bruker ERP-systemet MAXIMO uten prognosemodulen installert. De benytter seg også av MRO-systemene til kundene sine. Vi kan se ut ifra dette at de fleste selskaper som driver med vedlikehold av transportmidler/kjøretøy bruker slike MRO-system for å gjøre prognoser av vedlikehold. Det er også tydelig at AMOS er det mest brukte innen flyindustrien. Dette samsvarer også med 4.5 der vi ser at AMOS er et av de mest populære MRO-systemene innen flyindustrien med over 180 kunder.



Figur 12. Hvor fornøyd er dere med M&E programvaren deres på en skala fra 1-10?

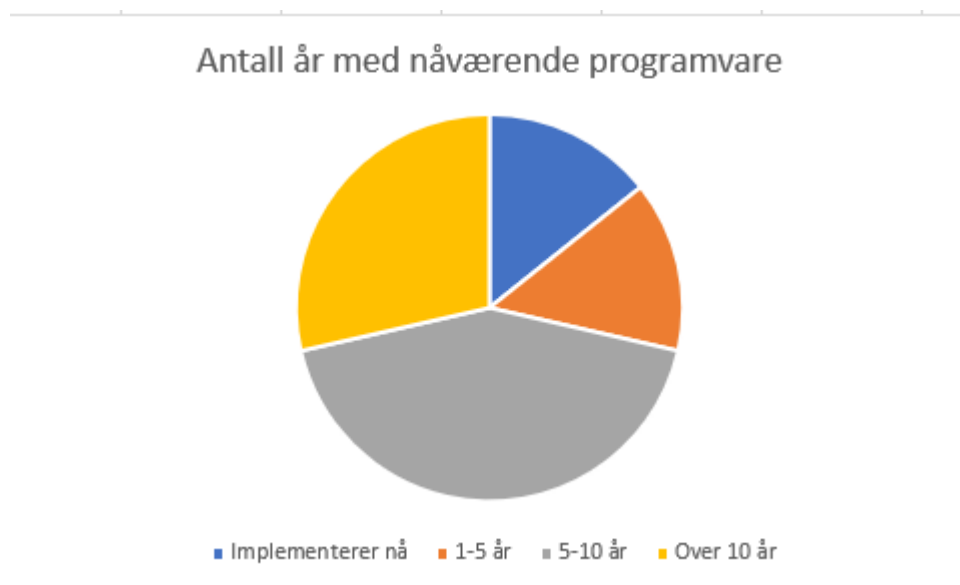
#### Hva er det som trekker ned programvaren og hva kan gjøre den bedre?

Vi ser ut ifra Figur 12 at respondent 2 gir deres bruk av AMOS 8 på en skala fra 1-10 og skriver at dette har med at ledelsen ikke har prioritert nok opplæring i programmet slik at det

finnes masse uutnyttede ressurser og funksjoner samt at deler av programmet blir brukt på en «gammeldags» måte. Dette kan gi tegn på at en viktig del av implementering og bruk av prognosesystem er å lære opp brukerne godt nok. Kanskje både fysisk gjennom kursing og gjennom opplæring innad i selve systemet.

Vi ser også ut ifra Figur 12 at respondent 3 fra KLM Cityhopper gir deres bruk av AMOS 8 på en skala fra 1-10. Han skriver at systemet er perfekt fra et operasjonelt synspunkt men at det mangler muligheter til å gjennomføre taktiske og strategiske beslutninger. Dette vil si at man ikke vil få noe fortrinn i markedet ved å bruke systemet. Systemet gjennomfører prognoser og utregninger for deg, men taktiske og strategiske beslutninger må gjøre manuelt. Det denne respondenten ønsker er funksjoner i systemet som kan hjelpe til med å ta avgjørelser basert på konkurranse i markedet.

Respondent 6 svarer at mange av programvarene er omfattende og som regel moduler av et større ERP-system. Systemene må konfigureres og tilpasses prosessene i forhold til virksomheten. Dette gjør det vanskelig å få et perfekt tilpasset og velfungerende system som passer til alle deler av virksomheten. Systemene er alltid gode på noen deler av prosessen og dårligere på andre deler. Dette ligner også på det respondent 2 skriver om at det ikke er realistisk med et system med toppscore fordi det er så mange ulike måter å drive et selskap på og at et program som skal serve mange må inngå mange kompromisser som gjør at noen blir fornøyde med noe som andre misliker. Dette kan peke til at en viktig faktor ved utvikling av MRO-systemer er tilpasningsdyktighet. Et system bør kunne tilpasses til bransje, til spesifikke selskap og kanskje til og med ulike deler av en virksomhet.



Figur 13. Hvor lenge har selskapet deres brukt den nåværende programvaren?

Vi ser ut ifra Figur 12 at de fleste respondentene rater systemene de bruker ganske høyt og skriver at de ville anbefalt det til kollegaer og kontakter. Samtidig ser vi ut ifra Figur 13 at de fleste har brukt de samme systemene i 5-10 år eller i over 10 år. Vi ser på figuren at nesten 75 prosent av selskapene i undersøkelsen har brukt samme system i minst 5 år. Det er lenge siden de har vært på markedet for nye system og kanskje det nå har kommet bedre programvare enn det de bruker nå? De fleste skriver de er fornøyde med AMOS, men har ikke vært på markedet for nytt MRO-system på 10+ år. Det kan være slik at mange skriver de er fornøyde med programmet sitt siden de er trygge på funksjonene og de vet hvordan det fungerer. Det er komplisert og omfattende å implementere ett nytt system av så store dimensjoner i et selskap, men samtidig bør man tenke langsiktig å se på hvilke positive effekter man kan oppnå av å undersøke MRO-markedet etter ny programvare.

Til slutt kan vi konkludere med at det er tre viktige faktorer for å forbedre MRO-systemer. Det første er å gjennomføre god nok opplæring i systemet. Dette handler ikke bare om å ha kurs i starten samtidig som implementeringen, men også underveis samtidig som systemet oppdateres. Dette er viktig for å sørge for at systemets ressurser og funksjoner blir utnyttet til det fulle. Det kan også være en idé å implementere omfattende (men oversiktlige) brukerveiledninger innad i programmet. Det andre er å sørge for at systemet kan tilpasses til ikke bare ulike bransjer og bedrifter, men at det også kan tilpasses til ulike grener innen en virksomhet. Det siste, og kanskje også vanskeligste, vil være å implementere muligheter for å gjennomføre taktiske og strategiske beslutninger i systemet. Dette kan kanskje være en mulighet i framtiden gjennom for eksempel maskinlæring (som beskrevet i 4.4.7).

## **6.2 Sammenlikning av AMOS og SPOS**

Dette delkapittelet tar for seg problemene ved AMOS (presentert i 4.5), og sammenligner de med forbedringene gjort med SPOS (presentert i 4.6) i tabellen på neste side.

Tabell 10. Sammenlikning av AMOS og SPOS

AMOS (problemer)	SPOS (forbedringer)
Ingen mulighet for å gruppere delene/delgruppene etter forskjellige parametere.	Bygger seg på kombinasjonen av flere ulike klasser.
Høy risiko for at forslag for ROP er feil med hensikt på leverandør, pris, ordrestørrelse og ledetid.	Den har en kontrollert prosess som sikrer at korrekt ledetid, leverandør og pris er valgt med hensyn til forhåndsbestemte kriterier.
Ingen mulighet til å gjøre prognoser på linjestasjoner og/eller filialer.	Støtter multifleet-baser og flerproduksjonsbaser.
Tar ikke hensyn til intern ledetid.	Intern ledetid eller ledetid mellom baser er integrert i prognosemetodene.
Prognoser for enveis utvekslingsvarer fungerer ikke. Innkjøp av gamle deler og foreldet materiale stopper ikke.	Forhindrer lageroverskudd/foreldet materiale i fremtiden.
Man kan ende opp med å sende kjøpsordre for mye mindre enn leverandørens minimums ordrestørrelse.	Sørger for at du ikke sender ut kjøpsordre som er mindre enn leverandørens ordrestørrelse.

Tabell 10 viser forbedringene Cervino sin SPOS kan tilby. Ut ifra tabellen ser vi at SPOS retter opp i mange av feilene AMOS-brukere vil kjenne seg igjen i. Brukerne har ikke lyst til å måtte gjøre manuelle inngrep for å forhindre AOG. De er ute etter et system som automatiserer så mye som mulig uten å forårsake feil. SPOS kan ikke garantere at det ikke vil skje feil, men den tilbyr funksjoner som kan forebygge feilene..

### 6.3 Diskusjon av videre utvikling innen prognosesystemer

I dette delkapittelet skal vi se på hva respondentene i undersøkelsen mener er viktig for videre utvikling av MRO-systemer framover. Noen av alternativene er delvis i bruk eller under utvikling, og andre vil være aktuelle lengre fram i tid. De ulike alternativene blir forklart i delkapittel 4.4. Ingen av respondentene svarer «ingen utvikling» på undersøkelsen – ergo så mener alle at det er rom for utvikling innen MRO-systemer. Man ser ut fra Figur 14 at

alle de ulike alternativene blir sett på som viktige faktorer for utvikling, men at de tre viktigste er prediktivt vedlikehold/dataanalyse, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling. Prediktivt vedlikehold handler, som forklart i 3.2.3, om å prognostisere materialforsyning til vedlikehold og selve vedlikeholdet. Dette er selve hovedidéen bak å forbedre prognoser av reservedeler til vedlikehold.

Papirløse vedlikeholdssystemer handler, som beskrevet i 4.4.5, om å gå fra et papirbasert system til et heldigitalt system. Dette kan hjelpe med prognoser ved at man får mer nøyaktig og synlig data gjennom å ha alt digitalt, som igjen fører til at man kan gjennomføre mer presise prognoser. Man unngår også å miste eller ødelegge data som kan brukes for å prognostisere ved at man ikke bruker papir.

Mobil databehandling handler om å bruke datamaskiner som bli transportert under bruk og kan sende data, lyd og video uten å være koblet til en fysisk link. Dette kan brukes til å samle data i sanntid som igjen vil gi mer nøyaktige data som kan brukes i prognoser.



Figur 14. Hva ser du på som de viktigste utviklingene innen M&E IT de neste årene?

Som nevnt over så er det noen av disse alternativene som er nærmere i tid enn andre. Videre utvikling av dataanalyse for prediktivt vedlikehold er hele tiden under utvikling og får store framskritt ettersom datakraften øker. Samtidig er også papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling under utvikling for tiden. Det som vil være lengst unna er nok spesielt kunstig intelligens.

Respondent 3 fra KLM Cityhopper skriver at de allerede jobber med prediktivt vedlikehold, mobil datahandling, papirløst vedlikehold, bruk av droner og AR. Han skriver også at de

holder på å undersøke muligheten for å bruke RFID og at AI kan bli nyttig i framtiden om man har riktig datamengde. Respondent 6 svarer også at han ser prediktivt vedlikehold, mobil/wearable databehandling, RFID og papirløse vedlikeholdssystemer ligger i horisonten. Vi ser ut ifra dette at de fleste av disse alternativene allerede blir utviklet for bruk innen vedlikehold.

#### **6.4 Link mellom våre funn og tidligere forskning**

I dette kapittelet skal vi se på og sammenlikne tidligere forskning med våre egne funn. I hovedsak skal vi sammenlikne resultatene fra en undersøkelse Aircraft IT gjennomførte i 2017 om MRO IT (gjennomgått i kapittel 3.1) og resultatene fra vår spørreundersøkelse. Det kan være vanskelig å sammenlikne de med tanke på at Aircraft IT hadde 268 respondenter og vi hadde 6. De gjennomførte undersøkelsen hovedsakelig hos flyselskaper og uavhengige MRO-fasiliteter, mens vi gjennomførte undersøkelsen hos flyselskaper og hos selskaper som driver vedlikehold av skinnegående kjøretøy.

Ut ifra undersøkelsen til Aircraft IT ser vi også over 10 prosent av selskapene i undersøkelsen kun bruker Excel og Access til å håndtere vedlikehold av deres fly. Dette samsvarer også med det respondent 5 skriver om at de bruker Excel for å gjøre analyser for innkjøp.

Vi ser også at nesten 70 prosent av selskapene som ikke bruker et M&E/MRO program vurderer å kjøpe/utvikle en IT-løsning. Dette ser vi også i vår undersøkelse da respondent 5 skriver at de holder på med en prosess for å bestille en prognoseverktøymodul som skal kobles på ERP-systemet deres.

Et annet funn fra undersøkelsen til Aircraft IT som samsvarer med våre funn er at de viktigste utviklingene innen MRO-systemer den neste tiden er prediktivt vedlikehold/dataanalyse og papirløse vedlikeholdssystemer.

Ifølge undersøkelsen til Aircraft IT har 33,9 prosent av selskapene brukt samme løsning i over ti år, og 39,7 prosent mellom fem og ti år. Også i vår undersøkelse ser vi at de fleste av selskapene har brukt samme system i over 10 eller 5 år (se Figur 13).

Konklusjonen her blir at de fleste av resultatene våre samsvarer med undersøkelsen gjennomført av Aircraft IT i 2017. Hovedpunktene fra dette å ta med videre er at det finnes selskap som enten kun bruker Excel/Access eller ikke bruker noe form for IT-system for å gjennomføre prognoser av vedlikehold. En stor del av disse er interessert i å kjøpe eller



utvikle en løsning. Dette viser at det er et tydelig marked for MRO-løsninger. Et annet punkt å ta med videre er at de fleste av selskapene som allerede har et MRO-system har brukt dette systemet i mange år. Dette betyr at siden de fleste har brukt det samme programmet over lang tid, så har de ikke undersøkt markedet mye for nye utviklinger og systemer og det kan derfor hende det har kommet bedre løsninger på markedet den siste tiden. Det siste punktet er at de viktigste utviklingene nå framover er videre utvikling av prediktivt vedlikehold og bruk av papirløse vedlikeholdssystemer.

## **6.5 Benyttelse av teorien for videre utvikling av prognosesystemer**

I dette kapittelet skal vi se på teorien i kapittel 3, hvordan dette brukes i dagens system, og hvordan det kan brukes til å videre utvikle systemene.

Som vi har sett igjennom eksemplene i delkapittel 3.3 så finnes det mange metoder for å gjennomføre prognoser. Vi har også sett at i MRO-systemer som for eksempel AMOS (4.5) brukes flere av disse metodene for å gjøre prognoser av materialforsyning til vedlikehold. Det er vanskelig å si hvilke av disse metodene som er best egnet for ulike områder, og en studie av dette vil kreve at man gjør grundige analyser (error-analyser) av utregningene bak prognosemetodene og at man bruker data fra virkeligheten for å gjøre tester. En kan for eksempel gjennomføre benchmarking av de ulike metodene ved hjelp av error-analyser (for eksempel MAPE). Dette kommer vi ikke til å gjøre her, vi kommer heller til å se på litt anvendelsesområder og utfordringer ved de ulike metodene. Det er også gjort en del tidligere komparative analyser av de ulike metodene som vi kommer til å trekke inn i diskusjonen vår.

Som beskrevet i delkapittel 3.3.1 så finnes det både kvalitative og kvantitative metoder for prognostisering. Kvantitative metoder brukes der det finnes historisk data, mens kvalitative metoder baseres seg på meninger og kunnskap. I dette tilfellet, når det kommer til å prognostisere materialforsyning til vedlikehold, vil det være mest relevant å bruke kvantitative metoder. Derfor vil det være lite nyttig å for eksempel bruke den kvalitative Delphi-metoden da den heller brukes for å se på nytenking innen et område. Den kan derimot ha noen få bruksområder innen vedlikehold. Metoden kan brukes til å bestemme tidsstandarder og tidsintervaller for preventivt vedlikehold samt estimere gjenværende levetid for utstyret.

Passasjerflyselskapene ønsker sannsynligvis å fly mest mulig i sommermånedene når det er høysesong. Her kan man bruke sesongbaserte prognostisering for å sørge for nok reservedeler

i månedene når flyene brukes mer enn til vanlig – og dermed minske AOG i denne perioden. Det er sannsynligvis også ønskelig å utsette det man kan av vedlikehold til etter sommermånedene. For flyselskaper som leverer last og varer vil det kanskje være en annen høysesong enn på sommeren og da kan også sesongbasert prognostisering brukes.

Gjennom tidligere forskning har vi også sett at de kanskje to beste metodene for prognostisering av materialforsyning til vedlikehold vil være eksponentiell glatting og simpelt glidende gjennomsnitt. Når behovet er sporadisk og har perioder med null behov vil Crostons metode være den beste. Det viktigste vil være å se på den historiske dataen for behovet for en del og velge best egnet prognosemetode ut ifra dette. For eksempel om man har mye tilgjengelig data og kjente prediktorer kan man bruke regresjon og om man har mindre tilgjengelig data og ukjente prediktorer med sporadisk behov kan man bruke Croston. Dette kan gjøres gjennom å bruke system som kan klassifisere reservedeler for deg basert på historisk data. Generelt bør man velge den metoden som ser ut som den egner seg best og deretter regne ut forecast error på den for å undersøke hvor godt den passer.

EOQ og ROP brukes også i flere av systemene i dag, men det er satt mange spørsmålstejn ved denne modellen (Nicholas, 2011). Logikken bak modellen stemmer, men anvendbarheten i praksis kan være tvilsom. Det finnes nesten ingen industrier som har kontinuerlig og konstant etterspørsel, spesielt ikke på det området vi ønsker å anvende modellen, altså ved uforutsett vedlikehold. Ved hver endring i etterspørsel må EOQ-formelen regnes ut på nytt og dette kan føre til store svingninger i resultat. Dette vil komplisere planleggingen og prognosene. Når etterspørselen/behovet varierer uten noe form for trend, kan man bruke en middelværdi, men dette kan igjen føre til enten for mye enheter på lager eller at lageret går tomt. Et annet problem med EOQ-modellen ligger ved kostnadene (Nicholas, 2011). Det er vanskelig og ligger mye arbeid bak å nøyaktig fastslå ordre- og lagerkostnader.

## 7 Konklusjon

For å konkludere rapporten må vi se på målene vi satte for studien. De to første målene var å kartlegge, analysere og sammenlikne forskjellige prognosesystemer innen vedlikehold, samt å undersøke om det finnes bedre prognostiseringsverktøy enn det som Cervino tilbyr sine kunder i dag. Dette har vi gjort ved å gjennomføre en spørreundersøkelse og å analysere resultatene. Undersøkelsen viser at de fleste systemene på markedet har ulike fordeler og ulemper. Hovedpunktene å ta med videre er at det bør være et større fokus på opplæring, mulighet for tilpasning og mulighet for å gjennomføre taktiske og strategiske beslutninger i systemene. Det mest brukte verktøyet på markedet er AMOS. Allikevel om det er det mest brukte systemene så har det en del ulemper. En del av disse ulempene kan fikses gjennom å for eksempel bruke Cervinos SPOS. Det siste resultatmålet var å gjennomføre en studie av tilgjengelig litteratur og teori om emnet, samt foreslå videre studier om temaet. Dette har vi gjort gjennom å se på tidligere forskning og teori om ulike prognosemetoder. For videre studier foreslår vi hovedsakelig å se på prediktivt vedlikehold/dataanalyse, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling. I tillegg kan også maskinlæring være viktig for videre utvikling framover ettersom det har vært en voldsom utvikling i regnekraft og muligheter innen området den siste tiden. Når det kommer til hvilke prognosemetoder som bør benyttes, vil dette være helt avhengig av tilgjengelig historisk data og hvordan denne dataen ser ut. For eksempel om behovet er sporadisk og har stadig perioder med null behov så vil Crostons metode være den mest egnede. Hovedpoenget her er at det bør være et fokus på riktig klassifisering av reservedeler ut ifra historisk data for å kunne bruke den mest egnede prognosemetoden.

Studien vi har gjennomført er relevant for alle som leverer tjenester innen eller driver med utvikling av MRO/M&E-systemer, spesifikt for prognosedelen av disse systemene. Resultatene kan brukes til å se på hva som er viktige utviklinger videre innen emnet og hvilke metoder som er best egnet for prognostisering av uforutsette og irregulære behov.

Svakhetene ved studien vår er først og fremst at det var lav responsrate på spørreundersøkelsen. Dette kan føre til at resultatene ikke er representative for en stor nok andel av markedet. På grunn av tid- og ressursbegrensinger har vi også kun gjennomført en teoretisk tilnærming til de ulike prognosemetodene. For videre arbeid vil vi anbefale å gjøre en grundigere komparativ analyse av de ulike prognosemetodene med reelle tall fra industrien.

## 8 Vedlegg

### 8.1 Populærartikkel

#### **Prognosesystemer har en lys tid i vente**

**Vårsemesteret 2019 har Adrian Matic og Jonas Hasselø Aasgård skrevet sin bacheloroppgave. Her har de to NTNU-studentene undersøkt hvilke forbedringer som finnes innen forskjellige prognosemetoder og -programvarer. Resultatene viser at med den moderne teknologien finnes det nye populære trender innen vedlikehold.**



Oppgaven er skrevet med bakgrunn i at det er vanskelig å prognostisere materialbehov til uforutsett vedlikehold innen for eksempel flybransjen. Derfor har studentene hjulpet Cervino Consulting med å se på de ulike systemene som brukes av markedet for prognostisering i dag. Problemstillingen lyder som følger:

*Hvordan kan prognosesystemer for materialbehov bli bedre innen vedlikehold?*

Hoveddelen gikk ut på å gjennomføre en spørreundersøkelse av markedet for å se på hvilke system som benyttes og fordeler og ulemper med de ulike systemene. Den ble sendt ut til ulike eksperter innen vedlikehold av for eksempel fly og tog der vi fikk svar på hvilke system selskaper

braker, hva som er bra og dårlig med dem og hva som blir sett på som de viktigste utviklingene innen slike system i tiden framover.

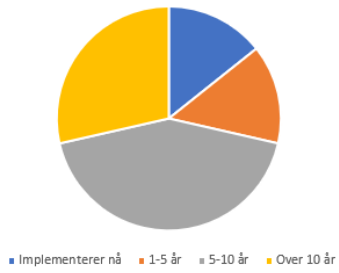
For å danne et teorigrunnlag studerte Adrian og Jonas tidligere forskning innen prognosemetoder og tidligere markedsundersøkelser gjort rundt samme tema. De tre hovedfaktorene som inngår i teorikapittelet deres er vedlikehold, reservedelsstyring og prognoser. De har for eksempel sett på prediktivt vedlikehold, EOQ og vektet glidende gjennomsnitt.

Cervino leverer IT-støttesystemer for gjennomføring av prognoser til selskaper innen flybransjen. De ønsker å levere tjenester som kan imøtekomme behovene til markedet og å være i front når det kommer til videre utvikling innen området. Det finnes mange utfordringer og store kostnader forbundet med prognostisering av materialforbruk. Derfor ønsket de at studentene skulle se på dagens systemer og se på utfordringene med dem og hva som kan gjøres bedre.

Hovedpunktene man kan trekke fra resultatene er:

- AMOS er det mest populære IT-systemet for vedlikehold av fly
- De fleste selskapene har brukt det samme systemet i mer enn fem år
- Alle systemene har forbedringspotensial
- De tre viktigste utviklingene framover er prediktivt vedlikehold, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling
- Resultatene våre samsvarer med tidligere forskning

Antall år med nåværende programvare



Studien vil være relevant for alle som leverer tjenester innen eller driver med prognostisering av material til vedlikehold. De tre viktigste utviklingene framover er prediktivt vedlikehold, papirløse vedlikeholdssystemer og mobil databehandling. For å forbedre systemene bør det være fokus på god opplæring i systemene, tilpasningsdyktighet og mulighet for å gjennomføre strategiske og taktiske beslutninger med systemet.

## 8.2 Interessentanalyse

Primærinteressenter	Sekundærinteressenter
Cervino Consulting AS	Respondenter til spørreundersøkelse
NTNU	Cervinos Konkurrenter
Prosjektskrivere	Cervinos Kunder
	Cervinos Samarbeidspartnere
	Firma som benytter seg av eller er på utkikk etter prognoseverktøy

Stor innflytelse	<b>Tilfredsstilles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Respondenter til spørreundersøkelse</li> </ul>	<b>Tett oppfølging</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cervino Consulting AS</li> <li>Prosjektskrivere</li> </ul>
Liten Innflytelse	<b>Minimal innsats</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cervinos Konkurrenter</li> </ul>	<b>Holdes informert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cervinos kunder</li> <li>NTNU</li> <li>Cervinos Samarbeidspartnere</li> <li>Firma som benytter seg av eller er på utkikk etter prognoseverktøy</li> </ul>
	Liten interesse	Stor interesse

### 8.3 Møteoversikt

Møte nr.	1
Deltagere	Adrian Matic, Jonas Aasgård, Fredrik Ekstrand, Kim Hansen
Dato, tid og sted	11.01.19 13:00-14:00, Skype
Tema for møtet	Presentasjon av bedriften, introduksjon til problemstillingen og avklaring av videre løp
Sammendrag	Vi fikk en rask og grunnleggende presentasjon av Cervino Consulting AS. Deretter diskuterte vi litt rundt de logistikkrelaterte problemene som de opplever og begynte å utforme en problemstilling og mål for studien.

Møte nr.	2
Deltagere	Adrian Matic, Jonas Aasgård, Fredrik Ekstrand, Albin Öberg, Michelle Karlsson
Dato, tid og sted	20.02.19, 20:00-23:00, Kjøpmannsgata 57, Aisuma
Tema for møtet	Diskutere videre om problemstillingen, planlegge videre løp
Sammendrag	I oppfølgende møte med representanter fra bedriften da de var i Trondheim for å møte Bane NOR diskuterte vi videre rundt problemstillingen og fikk planlagt videre løp for arbeid og kommunikasjon. Etter møtet var problemstilling og mål fastsatt og en plan for videre arbeid utarbeidet. Videre kommunikasjon ble planlagt å gjennomføres via mail og telefon da bedriften holder til i Sverige.

## 8.4 Gantt-skjema

Oppgaver	Ansvar	Uke	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>1. Problemdefinisjon</b>	Jonas og Adrian																				
Skrive møte med bedrift																					
Diskutere problemstilling																					
Formulere problemstilling																					
<b>2. Datainsamling</b>	Jonas og Adrian																				
Undersøke hvilke data vi vil samle inn																					
Samle data fra Cervino og andre bilder																					
Spørreundersøkelse																					
Avgrense og samle data i en database																					
<b>3. Litteraturstudie</b>	Jonas og Adrian																				
Litteratursøk: undersøk hvilken litteratur vi ønsker å benytte oss av																					
Samle litteraturen i en database																					
<b>4. Analyse</b>	Jonas og Adrian																				
Analysere innsamlet data																					
Undersøke innsamlet litteratur																					
Brake data og litteratur for å arbeide mot en løsning av problemstillingen																					
<b>5. Forslag til løsning/utvik</b>	Jonas og Adrian																				
Framarbeide et forslag til løsning av problemstillingen																					
<b>6. Konklusjon</b>	Jonas og Adrian																				
konkludere prosjektet																					



## 9 Referanseliste

Adel A. Ghobbar, C. H. F., 2003. *Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model*. London: Elsevier. Tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054802001259>. [Hentet: 20.04.2019].

Aircraft IT, 2017. *Aircraft IT MRO Survey 2017.*, UK: Aircraft IT. Tilgjengelig fra:

[http://www.aircraft-commerce.com/Aircraft\\_Commerce\\_Consulting/Articles/MRO\\_Case\\_Studies/AIRCRAFT%20IT%20MRO%20SURVEY%202017.pdf](http://www.aircraft-commerce.com/Aircraft_Commerce_Consulting/Articles/MRO_Case_Studies/AIRCRAFT%20IT%20MRO%20SURVEY%202017.pdf) [Hentet 20.02.2019].

Aircraft IT, 2019. Aircraft IT. *AMOS*, Tilgjengelig fra:

<https://www.aircraftit.com/MRO/Vendors/AMOS.aspx> [Hentet: 13.03.2019].

Airline Software, u.d. Airline Software. *AMOS*, Tilgjengelig fra:

<https://www.airlinesoftware.net/product/1286/amos> [Hentet: 12.03.2019].

BSI Standards Publication, 2010. *Maintenance Terminology.*, UK: BSI. Tilgjengelig fra:

<http://irma-award.ir/wp-content/uploads/2017/08/BS-EN-13306-2010.pdf> [Hentet:14.03.2019].

Bye, P. I., 2009. *Vedlikehold og Driftssikkerhet*. Trondheim: s.n.

Canaday, H., 2018. Going Paperless Productivity. *MRO Network*, Tilgjengelig fra:

<https://www.mro-network.com/technology/going-paperless-productivity> [Hentet: 01.04.2019].

Capehart, B. L. & Brambley, M. R., 2015. Predictive Maintenance. I: *Automated Diagnostics and Analytics for Buildings*. Lilburn, GA 30047: Fairmont Press, Inc. , pp. 575-580.

Tilgjengelig fra:

[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpADAB0002/viewerType:toc//root\\_slug:automated-diagnostics/url\\_slug:what-is-required-deploy?=undefined&issue\\_id=kt010QMHWJ](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpADAB0002/viewerType:toc//root_slug:automated-diagnostics/url_slug:what-is-required-deploy?=undefined&issue_id=kt010QMHWJ) [Hentet: 14.03.2019].

Cervino Consulting AS, 2014. *AMOS Forecast Report (Bedriftsdokument)*, Stockholm:

Cervino Consulting AS.

Cervino Consulting AS, 2019. *Aircraft IT*. Stockholm: Cervino Consulting AS. Tilgjengelig fra: <https://www.aircraftit.com/MROWebinar-Recording/Spare-Parts-Optimization-Software-Demo-and-Overview-Webinar.aspx>. [Hentet 25.03.2019].

Cervino Consulting AS, 2019. *Spare Parts Optimization System (Bedriftsdokument)*. Stockholm: Cervino Consulting AS.

Cervino Consulting, u.d. Spare and Logistic Optimization. *Cervino*, Tilgjengelig fra: <https://cervino.se/services/spare-and-logistic-optimization/> [Hentet: 09.04.2019].

Chebel-Morello, B., Nicod, J.-M. & Varnier, C., 2017. From Prognostics and Health Systems Management to Predictive Maintenance 2: Knowledge, Reliability and Decision. I: London, UK: Wiley-ISTE. Tilgjengelig fra:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxIYmtfXzE1NTg2NzBfX0FO0?sid=fadf2d5c-2d43-4646-8a2c-f535f5d5d7e0@sessionmgr103&vid=0&format=EK&lpid=navpoint-5&rid=0> [Hentet: 13.03.2019].

Compello, 2019. Compello. *Hva er maskinlæring*, Tilgjengelig: <https://www.compello.com/no/ordbok/hva-er-maskinlaering/> [Hentet: 07.04.2019].

Croston, J. D., 1972. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. I: *Journal of the Operational Research Society*. UK: Palgrave Macmillian , pp. 289-303. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/article/10.1057/jors.1972.50> [Hentet: 10.03.2019].

Cuddy, C., 2009. Mobile Computing. I: *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*. s.l.:Taylor and Francis Group. Tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15424060802705301> [Hentet: 28.04.2019].

Delphin, I. L. A., 2018. RFID. *Store Norske Leksikon*, Tilgjengelig fra: <https://snl.no/RFID> [Hentet: 03.05.2019].

DHL, 2017. Aircraft on Ground. *DHL*, Tilgjengelig fra: [http://www.dhl.com/en/logistics/industry\\_sector\\_solutions/aerospace\\_logistics/aircraft\\_on\\_ground.html](http://www.dhl.com/en/logistics/industry_sector_solutions/aerospace_logistics/aircraft_on_ground.html) [Hentet: 14.02.2019].

European Commission, 2016. *Horizon 2020*. Brussel: European Commission. Tilgjengelig fra: [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016\\_2017/main/h2020-wp1617-focus\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-focus_en.pdf) [Hentet: 14.03.2019].

Goetschalckx, M., 2011. *Supply Chain Engineering*. Boston, MA: Springer US. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4419-6512-7.pdf> [Hentet: 19.03.2019].

Hesham K. Al-fares, S. O. D., 2009. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. London: Springer-Verlag. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-84882-472-0.pdf> [Hentet: 22.03.2019].

Kinnison, H. A. & Siddiqui, T., 2013. *Aviation Maintenance Management*. 2. red. New York: McGraw-Hill Education.

Kumar, R., 2011. *Research Methology. A Step-by-Step Guide for Beginners*. 3. red. London: SAGE Publications Ltd. Tilgjengelig fra: [http://www.sociology.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/06/Ranjit\\_Kumar-Research\\_Methodology\\_A\\_Step-by-Step\\_G.pdf](http://www.sociology.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/06/Ranjit_Kumar-Research_Methodology_A_Step-by-Step_G.pdf) [Hentet: 10.02.2019].

Liseter, I. M., 2018. Kunstig Intelligens. *Store Norske Leksikon*, Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kunstig\\_intelligens](https://snl.no/kunstig_intelligens) [Hentet: 15.04.2019].

Martinez, H., Laukkanen, S. & Mattila, J., 2013. A New Hybrid Approach for Augmented Reality Maintenance in Scientific Facilities. I: *International Journal of Advanced Robotic Systems*. s.l.:SAGE Journals. Tilgjengelig fra: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/56845> [Hentet: 18.03.2019].

Mishra, A. & Mishra, D., 2010. *APPLICATION OF RFID IN AVIATION INDUSTRY: AN EXPLORATORY REVIEW*. Ankara: Promet - Traffic & Transportation. Tilgjengelig fra: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/201> [Hentet 22.03.2019].

Nicholas, J., 2011. *Lean Production for Competitive Advantage*. New York: Taylor and Francis Group.

Olsson, N., 2011. *Praktisk rapportskrivning*. Trondheim: Tapir Akademisk - Forlag.

Park, C., 2012. *A Dictionary of Environment and Conservation*. Oxford: Oxford University Press. Tilgjengelig fra: <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780198609957.001.0001/acref-9780198609957-e-1947?rkey=5ENu6K&result=1901> [Hentet: 18.04.2019].

- Prime Industries, 2016. Drones in Aircraft Maintenance. *Prime Industries USA*, Tilgjengelig fra: <https://primeindustriesusa.com/drones-in-aircraft-maintenance/> [Hentet: 05.03.2019].
- Rolstadås, A., Olsson, N., Johansen, A. & Langlo, J. A., 2014. Praktisk Prosjektledelse. I: Bergen: Fagbokforlaget, pp. 1-20.
- Safavi, A., 2005. Forecasting Demand in the Aerospace and Defense Industry. *The Journal of Business Forecasting; Flushing*, Spring, Issue 24, pp. 2-7. Tilgjengelig fra: <https://www.questia.com/library/journal/1P3-827293911/forecasting-demand-in-the-aerospace-and-defense-industry> [Hentet: 13.03.2019].
- Sander, K., 2017. Delphi-metoden. *Estudie*, Tilgjengelig fra: <https://estudie.no/delphi-metoden/> [Hentet: 06.03.2019].
- Språkrådet, 2019. *Bokmålsordboka*. Bergen: Språkrådet.
- Swiss Aviation Software, 2019. Swiss as. *AMOS-MRO*, Tilgjengelig fra: <https://www.swiss-as.com/amos-mro> [Hentet: 12.03.2019].
- Tandberg, E. & Jarslett, Y., 2019. Drone. *Store Norske Leksikon*, Tilgjengelig fra: <https://snl.no/drone> [Hentet: 24.03.2019].
- Tideman, A. & Elster, A. C., 2019. Maskin Læring. *Store Norske Leksikon*, Tilgjengelig fra: <https://snl.no/maskinl%C3%A6ring> [Hentet: 13.03.2019].
- Vega, K. & Fuks, H., 2016. *Beauty Technology : Designing Seamless Interfaces for Wearable Computing*. Cham: Springer International Publishing. Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-15762-7.pdf> [Hentet: 24.03.2019].
- Wayne L. Winston, S. C. A., 2015. *Practical management science*. 5e red. Boston, US: Cengage Learning.
- Yarnall, L. & Kumar, R., 2015. Augmented Reality. I: *The SAGE Encyclopedia of Educational*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc. Tilgjengelig fra: <http://sk.sagepub.com/reference/download/the-sage-encyclopedia-of-educational-technology/i1586.pdf> [Hentet: 19.03.2019].

