



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 16:10	Termin:	2019 VÅR
Sluttdato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 115

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Etablering av vedlikeholdsprogram for en traverskran ved hjelp av RCM for å møte utfordringer med sensorering i forbindelse med Industri 4.0

Engelsk tittel *: Establishing a maintenance program for an overhead crane using RCM to meet challenges with censoring in conjunction with Industry 4.0

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?:** Nei

Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *: Ja

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 3

Andre medlemmer i gruppen: 100, 113

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja



Høgskulen
på Vestlandet

Etablering av vedlikeholdsprogram for en traverskran ved hjelp av RCM for å møte utfordringer med sensorering i forbindelse med Industri 4.0



Bachelor utført ved
Høgskulen på Vestlandet

Maskiningeniør

Av: Kjell Harald Thorsen
Sabrina Børildsen
Miriam Berge Olsen

Kandidatnummer: 100
Kandidatnummer: 113
Kandidatnummer: 115

BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Kjell Harald Thorsen
Sabrina Børilden
Miriam Berge Olsen

Linje & studieretning Maskiningeniør Marin konstruksjonsteknikk
Prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: Etablering av vedlikeholdsprogram for en traverskran ved hjelp av RCM for å møte utfordringer med sensorering i forbindelse med Industri 4.0

Oppgavetekst:

På Karmøy ligger Hydro Aluminium sitt metallverk. Her skjer både produksjon av primeraluminium, videreforedling til ulike produkter og distribusjon av disse. På Hydro Karmøy er det nylig blitt etablert en ny teknologipilot som produserer aluminium med verdens minste CO2 fotavtrykk. I teknologipiloten brukes det opp til flere traverskraner for å utføre diverse operasjoner. En av disse traverskranene er Ascom 50t som primært brukes til kryssing av celler innenfor produksjon av aluminium.

Ascom kranen kommer med et tradisjonelt vedlikeholdsprogram fra leverandør. Hydro sine tidligere erfaringer tilsier at dette vedlikeholdsprogrammet ikke er tilstrekkelig. Det ønskes et nytt vedlikeholdsprogram med fokus på pålitelighetsstyrt vedlikehold som samtidig møter fremtidsrettede mål innenfor Industri 4.0, ved å anvende RCM metodikk (Reliability Centered Maintenance / pålitelighetsstyrt vedlikehold).

Studentene skal forklare fordeler og ulemper med RCM mot Ascom sitt tradisjonelle vedlikeholdsprogram. RCM skal beskrives og anvendes som et verktøy for å etablere et pålitelighetsstyrt vedlikeholdsprogram for et delsystem på Ascom kranen. Kranens heismaskineri brukes som delsystem for RCM analysen og skal forklares i grove trekk. RCM analysen skal definere vedlikeholdsstrategi nødvendig i forhold til komponent, og definere feilmøder som har en observerbar feilutvikling som kan overvåkes kontinuerlig med sensor. Bakgrunnen for Industri 4.0 skal forklares og det skal tas ut en feilmøde som et eksempel på utførelse av dette. Eksempelet skal ta utgangspunkt i en sensor og fremlegge en forenkling av hvordan PLS innsamlede data kan visualiseres i et dashboard.

Endelig oppgave gitt: 04.03.2019

Innleveringsfrist: Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00

Interne veiledere Runald Walter Meyer
Torleiv Ese

Ekstern veileder Leif Tore Larsen – LeifTore.Larsen@Hydro.com
Røsteveien 1, 4270 Åkrehamn

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

J. C. Lindaa
30/4-19

OPPGAVENS TITTEL Etablering av vedlikeholdsprogram for en traverskran ved hjelp av RCM for å møte utfordringer med sensorering i forbindelse med Industri 4.0		RAPPORTNUMMER <i>(Fylles ikke ut)</i>
UTFØRT AV Kjell Harald Thorsen Sabrina Børildsen Miriam Berge Olsen		
LINJE Maskiningeniør		STUDIERETNING Marin konstruksjonsteknikk Prosess- og energiteknikk
GRADERING Åpen	INNLEVERT DATO 8.mai 2019	VEILEDERE Runald Walter Meyer (intern - HVL) Torleiv Ese (intern - HVL) Leif Tore Larsen (ekstern - Hydro)

EKSTRAKT

Industri 4.0 er et begrep for den fjerde industrielle revolusjonen, hvor internett kobles sammen med produksjon, og digitalisering og automatisering er essensielle begrep.

Oppgaven er utarbeidet for Hydro, og har som hovedmål å hjelpe med å utvikle et nytt vedlikeholdsprogram for en traverskran som vil møte den fremtidsrettede utviklingen innenfor vedlikehold og Industri 4.0.

Det utføres analyser for funksjon, feilmode, effekt og kritikalitet for å utvikle et nytt, begrunnet vedlikeholdsprogram basert på metodikk for pålitelighetsstyrt vedlikehold.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2019 ved Høgskulen på Vestlandet (HVL), Campus Haugesund. Det er den avsluttende avhandlingen av et treårig maskiningeniør-bachelorprogram. Oppgaven er del av et teknisk spesialiseringsemne, ING 3039, og tilsvarer 20 av totalt 180 studiepoeng. Rapporten er utført og skrevet av totalt tre studenter; to fra marin konstruksjonsteknikk og én fra prosess- og energiteknikk.

Rapportens oppdrag er gitt av Hydro Karmøy; et firma som produserer, foredler og distribuerer aluminium. Innenfor produksjonen anvendes det blant annet en traverskran i Hydro sitt nylig oppstartede Pilotanlegg. For å oppnå sikker, pålitelig og effektiv drift av kranen ønsket Hydro et optimalisert vedlikeholdsprogram, og ga bachelorgruppen i oppgave å se på dette. Det har vært en utfordrende og interessant oppgave ettersom Pilotanlegget og kranen er såpass ny, og det derfor er lite erfaringer omkring nettopp dette systemet.

Vi ønsker å rette en stor takk til veilederen vår fra Hydro, Leif Tore Larsen, for godt samarbeid med god veiledning og for å ha økt vårt kunnskapsnivå betraktelig innenfor vedlikehold som rapporten omhandler.

Våre interne veiledere fra HVL, Torleiv Ese og Runald Walter Meyer, vil vi gjerne takke for å ha bidratt med nyttige diskusjoner og tilbakemeldinger underveis i prosjektet.

Det rettes en takk til Øyvind Breivik fra Hydro for lån av fotografi til rapportens fremside.

Haugesund 03.05.2019



Kjell Harald Thorsen



Sabrina Børildsen



Miriam Berge Olsen

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven dreier seg om vedlikehold, med fokus på pålitelighetsstyrt vedlikehold (RCM) rettet mot den fjerde industrielle revolusjonen, kalt «Industri 4.0». Oppgaven er skrevet for Hydro og omhandler kranen i deres nye teknologipilot på Karmøy. Hydro Karmøy er et metallverk som produserer, viderefedler og distribuerer Aluminium. I forbindelse med produksjonen av aluminium anvendes en kran fra Ascom, som Hydro ønsker et optimalisert vedlikeholdsprogram for. Vedlikeholdsprogrammet skal fokusere på automatikk og sensorering for innretting mot Industri 4.0.

Rapporten starter med en teoretisk gjennomgang av Industri 4.0, typer vedlikehold og RCM. Oppgavens hovedfokus er å etablere et nytt vedlikeholdsprogram ved å anvende RCM metodikk, som samtidig møter fremtidsrettede mål innenfor Industri 4.0. RCM forklares hovedsakelig etter metoden beskrevet i J. O. Asmundvaag, P. Okoh og P. Schjølbergs rapport for NFV, med åtte hovedtrinn for analysen hvor to av disse er i fokus; utførelse av feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA) og analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA).

Det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet fra Ascom og resultatene fra RCM-analysen sammenlignes for å illustrere forskjellen mellom dagens løsninger og fremtidens mål innenfor industriens teknologiutvikling. I prosjektets utførte RCM-analyse presenteres det en rekke sensorer for installering på kranen for å nå dette målet. Ut ifra studering og vurdering av gruppens egen kritikalitetsanalyse i RCM-analysen, er det gitt en anbefaling om å installere vibrasjonssensor først, da denne vurderes til høyst prioritet.

Rapporten avrundes med en gjennomgang av hovedtrusselen som oppstår som følge av det økende fokuset på digitalisering. En stor konsekvens av dette er at industrien blir mer sårbar for cyberangrep. Gruppen ønsker å øke bevisstheten rundt dette for å redusere fremtidige vellykkede cyberangrep, ved å sette søkelyset på fakta og statistikk om cybertrusler og ved å bruke Hydro sin egen nylige erfaring med cyberangrep som et virkelig eksempel.

Forslag til videre arbeid for å utbedre bacheloroppgavens resultater, eller for å øke kvaliteten på andre fremtidige prosjekter, er også presentert i rapporten.

Summary

This bachelor thesis is mainly about maintenance, with a focus on Reliability Centered Maintenance (RCM) oriented towards the fourth industrial revolution, called “Industry 4.0”. The thesis is written for Hydro and concerns the crane in their new Technology Pilot at Karmøy. Hydro Karmøy is a metalwork that manufactures, refines and distributes aluminum. In conjunction with the production of aluminum, a crane from Ascom is used. Hydro wants an optimized maintenance program for this crane, which should focus on automatic detection for increased alignment with Industry 4.0.

The report starts with a theoretical review of Industry 4.0, types of maintenance and RCM. The focus of the task is to establish a new maintenance program using RCM methodology, which simultaneously meets future-oriented goals within Industry 4.0. RCM is mainly explained by the method described in J. O. Asmundvaag, P. Okoh and P. Schjølberg’s report for NFV, with eight main steps for the analysis with two of these in the focal point; execution of Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) and Maintenance Task Analysis (MTA).

The traditional maintenance program from Ascom and the results of the RCM-analysis are compared to illustrate the difference between current solutions and the futuristic development aims in industrial technology. In the project’s RCM-analysis, several sensors for installation on the crane are presented to achieve this goal. Based on studies and assessment of the groups own criticality analysis, a recommendation is given to install the vibration sensor first, as this is rated to be the highest priority.

The report is rounded off with a review of the main threat that arises with the increasing focus on digitalization. A major consequence is that the industrial factories become more vulnerable to cyberattacks. The group wants to raise awareness around this to reduce the risk of future successful cyberattacks, by highlighting cyber threats and statistics, as well as using Hydro’s own recent cyberattack experience as a real-life example.

Proposals for further work to improve the results of the bachelor thesis, or to increase the quality of other future projects, are also presented in the report.

Forkortelser

Noen forkortelser anvendt i rapporten. Andre defineres ved bruk.

BETYDNING	
CA	Criticality Analysis (kritikalitetsanalyse)
CMMS	Computerized Maintenance Management System (datastyrt vedlikeholdssystem)
DBIR	Data Breach Investigations Report (databrudd undersøkelsesrapport)
FFA	Function Failure Analysis (Funksjonsfeilanalyse)
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Feilårsaksanalyse)
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse)
FV	Forebyggende Vedlikehold
Hz	Måleenhet for frekvens, Hertz
ICS	Industrial Control Systems (industrielle kontrollsystem)
IoT	Internet of Things (Tingenes internett)
KTP	Karmøy Teknologipilot
MIA	Maintenance Interval Assessment (Vurdering av vedlikeholdsintervall)
MTA	Maintenance Task Analysis (Analyse av vedlikeholdsoppgaver)
MTC	Maintenance Task Comparison (Sammenligning av vedlikeholdsoppgaver)
MTTF	Mean Time To Failure (gjennomsnittstid til svikt)
NFV	Norsk Forening for Vedlikehold
NSM	Nasjonal sikkerhetsmyndighet
PLS	Programmerbar Logisk Styring
PTIL	Petroleumstilsynet
PV	Prediktivt Vedlikehold
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety (Pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdsvennlighet, sikkerhet)
RCM	Reliability Centered Maintenance (pålitelighetsstyrt vedlikehold)
RTF	Run To Failure (kjør til svikt)

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Forkortelser.....	iv
Figurlister	vii
1. Innledning.....	1
1.1 Om Hydro	1
1.1.1 Karmøy Teknologipilot	1
1.2 Ascom Service Kran	2
1.3 Vedlikeholdsintroduksjon	3
1.4 Målsetting	4
1.4.1 Begrensninger	4
1.5 Metode	4
1.6 Rapportens organisering	5
2. Bakgrunn for Industri 4.0	6
2.1 Vedlikehold i Industri 4.0	7
2.1.1 Vedlikehold	7
2.1.2 Vedlikeholdsutvikling	8
3. Reliability Centered Maintenance (RCM).....	13
3.1 De syv spørsmålene	13
3.2 Introduksjon til RCM-analysens hovedtrinn.....	14
3.2.1 Forberedelse for analyse.....	14
3.2.2 Funksjonsfeilanalyse (FFA)	15
3.2.3 RAMS datainnsamling	16
3.2.4 Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA)	16
3.2.5 Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)	16
3.2.6 Vurdering av vedlikeholdsintervall (MIA).....	17
3.2.7 Sammenligning av vedlikeholdsoppgaver (MTC)	18
3.2.8 Datastyrt vedlikeholdssystem (CMMS) databaseoppdatering	18
3.3 Nøyere beskrivelse av prosjektets hovedtrinn	19
3.3.1 Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA)	19
3.3.2 Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)	20
3.4 Fordeler og ulemper med RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram.....	22
3.4.1 Positive aspekter med RCM metoden	22
3.4.2 Negative aspekter med RCM metoden.....	23
3.4.3 RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram	23

4.	Utførelse av RCM.....	24
4.1	Forberedelser	24
4.1.1	Forberedelse for analyse	24
4.1.2	Funksjonsfeilanalyse (FFA)	25
4.2	FMECA – Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse	29
4.2.1	Feilmoder.....	29
4.2.2	Effekter	30
4.2.3	Kritikalitetsanalyse før MTA og MIA.....	31
4.3	Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA) samt intervallforslag (MIA)	33
4.3.1	Kritikalitetsanalyse etter MTA	35
4.4	RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram	37
4.4.1	Tradisjonelt vedlikeholdsprogram.....	37
4.4.2	Vedlikeholdsprogram fra RCM-analyse.....	37
4.4.3	Gapanalyse av sensorer på Ascom kran	38
5.	Prosjektets anbefalte sensor for implementering mot Industri 4.0	40
5.1	Proessen for valg av sensor	40
5.2	Vibrasjonsmåling	41
6.	Hovedutfordringen med Industri 4.0	44
6.1	Oppgaveendring grunnet utfordring med cyberhacking.....	45
6.2	Cyberhacking i forbindelse med Industri 4.0.....	46
6.2.1	Utviklingen av cybertrusler	46
6.2.2	Statistikk fra databruddundersøkelser i 2018	46
6.2.3	Utsatte områder for cyberhacking	48
6.2.4	Tiltak mot cyberhacking.....	49
6.3	Cyberangrepet på Hydro	51
7.	Videre arbeid for komplett RCM	52
8.	Oppsummering	53
	Referanser.....	54
	Vedlegg.....	57
	Vedlegg A: RCM-analyse	I
	Vedlegg B: Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom (utdrag).....	II
	Vedlegg C: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran Katt øst, Hydro.....	VI
	Vedlegg D: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran elektrisk anlegg, Hydro	VIII

Figurlister

FIGURER

Figur 1.1 Ascom service kran [Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom].....	2
Figur 1.2 Vedlikeholdstyper og styringskategorier [8, p. 3.1]	3
Figur 2.1 Den industrielle revolusjon [10]	6
Figur 2.2 Styring av vedlikehold [15, p. 9]	8
Figur 2.3 Utviklingen av vedlikeholdsteknologi [13]	9
Figur 2.4 Klassisk kurve for tidsbasert forebyggende vedlikehold [16, p. 12]	10
Figur 2.5 Sviktmønster [16, p. 2]	10
Figur 3.1 Funksjonsfeilanalyse [19, p. 9].....	15
Figur 3.2 Analyse av vedlikeholdsoppgaver, beslutningslogikk [19, p. 15]	17
Figur 3.3 Optimum vedlikehold [8, p. 3.3]	18
Figur 4.1 Heismaskineriets komponenter.....	25
Figur 4.2 Beslutningslogikk vedlikeholdsstrategi [18] Rekonstruert av gruppen.....	33
Figur 5.1 Årsaker for svikt i motor [36, p. 269] Rekonstruert av gruppen	42
Figur 5.2 Målingspunkter for vibrasjonsmåling [22, p. 75]	43

TABELLER

Tabell 4.1 RCM - FMECA – feilmøder [Vedlegg A: RCM-analyse]	29
Tabell 4.2 RCM - FMECA – effekt [Vedlegg A: RCM-analyse]	30
Tabell 4.3 RCM - FMECA - kritikalitet før MTA [Vedlegg A: RCM-analyse]	31
Tabell 4.4 Kritikalitetsmatrise.....	31
Tabell 4.5 RCM - MTA (og MIA) [Vedlegg A: RCM-analyse].....	34
Tabell 4.6 RCM - Kritikalitet etter MTA [Vedlegg A: RCM-analyse].....	35
Tabell 4.7 Vedlikeholdsaksjoner fra tradisjonelt vedl.prog. katt øst [Vedlegg C: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran Katt øst, Hydro]	37
Tabell 4.8 Vedlikeholdsaksjoner fra tradisjonelt vedl.prog. elektrisk anlegg [Vedlegg D: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran elektrisk anlegg, Hydro].....	37
Tabell 4.9 Forebyggende vedlikehold fra RCM-analyse [Vedlegg A: RCM-analyse]	38
Tabell 4.10 Sensormendrag fra RCM-analyse.....	39
Tabell 6.1 Potensielle påvirkninger av et suksessfullt cyberangrep [27] Oversatt og rekonstruert av gruppen.....	47
Tabell 6.2 Cyberhacking angrepsmål [27]. Utdrag oversatt og rekonstruert av gruppen.	49

FLYTSKJEMAER

Flytskjema 4.1 Oversikt traverskran	26
Flytskjema 4.2 Funksjonstre (traverskran).....	26
Flytskjema 4.3 Utvidet funksjonstre (wire).....	27
Flytskjema 4.4 Utvidet oversikt- og funksjonstre for valgt delsystem.....	28

DIAGRAMMER

Diagram 2.1 Eksempel sviktmønster, komponenter i personfly	11
Diagram 4.1 Kritikalitet før vurdert vedlikehold	32
Diagram 4.2 Kritikalitet etter vurdert vedlikehold	36
Diagram 4.3 Sammenligning av kritikalitet før og etter vedlikehold.....	36
Diagram 4.4 RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram.....	38
Diagram 4.5 Antall sensorer på Ascom kranen.....	39

1. Innledning

1.1 Om Hydro

Hydro er et aluminiumsselskap som har alt fra utvinning av aluminium til ferdigstilte produkter. Totalt innen selskapet er det 35 000 ansatte i 40 land verden over. Der er det lokale eksperter, verdensomspennende virksomhet og kompetanse på forsknings og utviklingsarbeid. Hydro er aktive innen alle markeder for aluminium, med salg og handelsaktiviteter langs hele verdikjeden og mer enn 30 000 kunder. [1]

«Noen av produktene inkluderer vinduer, bildeler, rør, fasade plater og drikkebokser. Hydro er bransjeleder på en rekke produkter innen aluminium, spesielt innenfor transport.» [2]

Hydro Aluminium ble etablert på Karmøy i 1963 og er en såkalt hjørnestens bedrift i kommunen. 17.Juni 1968 startet den første cellen i elektrolysehallen som var basert på «Søderberg teknologi», samtidig som valseverket startet opp. [3]

Anlegget på Karmøy er et av Europas største integrerte aluminiumsverk. Det finnes tre støperier i anlegget; pressbolt, trådstøperi og båndstøperi. Det er også et senter for forskning og utvikling ved anlegget, som har forbedring av produksjonsprosessen som hovedfokusområde. Totalt produserer Hydro Karmøy nå ca. 190 000 tonn flytende aluminium og 194 000 tonn støperiprodukter per år. Antall ansatte er ca. 900. [4]

1.1.1 Karmøy Teknologipilot

Pilotanlegget er bygget ved Hydros eksisterende aluminiumsverk på Karmøy i Rogaland. Produksjonen startet 29.januar 2018. Den årlige aluminiumsproduksjonen vil være på 75,000 tonn per år. Dette kommer i tillegg til den allerede eksisterende kapasiteten på ca. 200,000 tonn per år. Pilotanlegget vil gi nye arbeidsplasser på Karmøy og øke produksjonskapasiteten ved anlegget med 40 prosent. [5]

Ved hjelp av den nye teknologien basert på HAL4E, som er hemlighetsstemplet teknologi utviklet av Hydro sitt forskningssenter, vil aluminiumsproduksjonen bli 15% mer energieffektiv. Dette vil også gi verdens minste CO₂-fotavtrykk. De fleste aluminiumsverk drives med kullkraft, men i Norge er det mulig å bruke vannkraft. Sammenlignet med verdens gjennomsnitts CO₂-utslipp, vil teknologipiloten produsere 60 tusen færre tonn per år. [6]

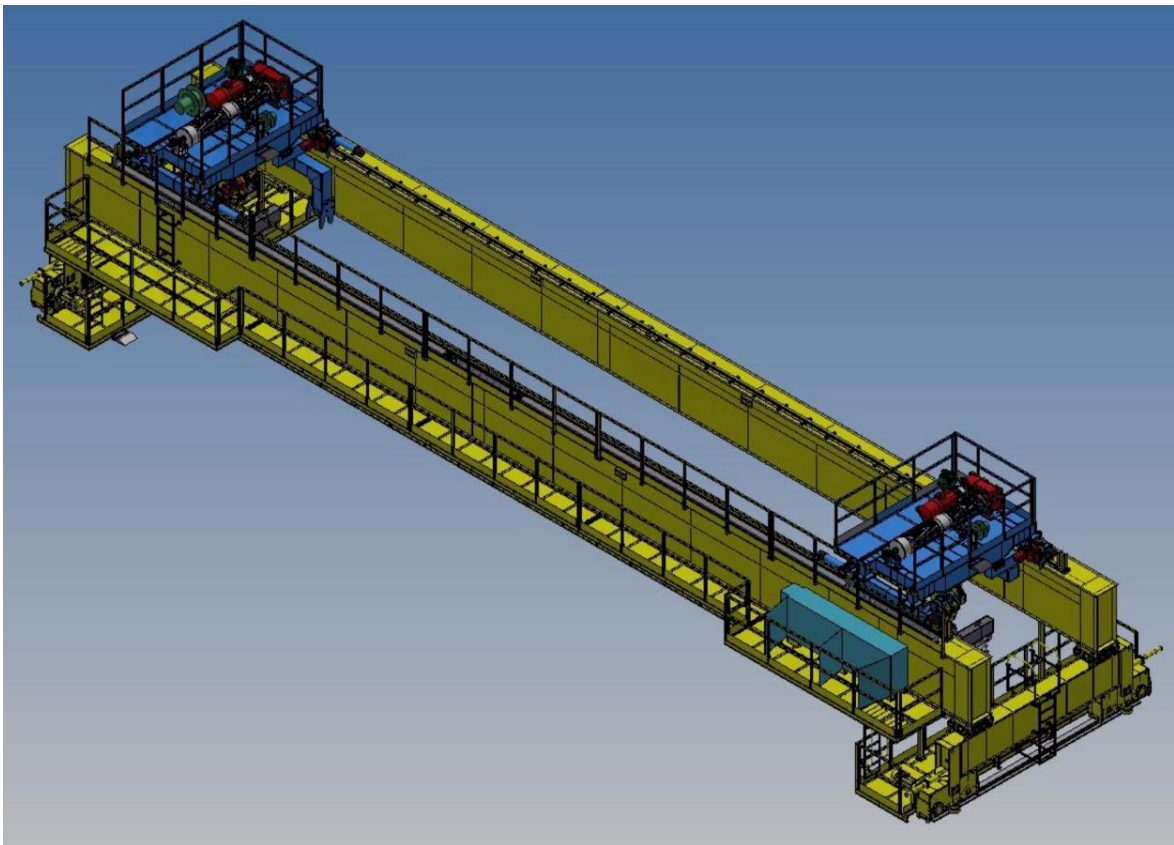
Pilotanlegget på Karmøy hadde en samlet kostnad på rundt 4,3 milliarder kroner. Det består av 60 elektrolyseceller, der 12 av disse brukes som forskningsceller for å undersøke ytterligere reduksjon av energibruken.

1.2 Ascom Service Kran

Hensikten med Ascom service kranen er å forflytte ulike gjenstander. På Hydro brukes den til forflytting i forbindelse med «krysserigg», som er et spesialisert verktøy som brukes til å jekke opp anodene fra cellene. Kranen kan også brukes til å bytte ut hele celleoverbygget, som er toppen av cellene. Den har en løftekapasitet på opptil 50 tonn, fordelt på to løftesystemer (25+25 tonn).

Kranen ble konstruert i 2017 av Ascom, som leverer kranen med et eget vedlikeholdsprogram. Det er to av disse kranene inne på Hydro, begge befinner seg inne på teknologipiloten. Kranene fjernstyres ved hjelp av en radiokontroll eller ved hjelp av et panel. Den har også en «dødmannsknapp» funksjon, som gjør at en operatør kan stoppe kranen hvis en farlig situasjon skulle oppstå.

(Vedlegg B: Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom)

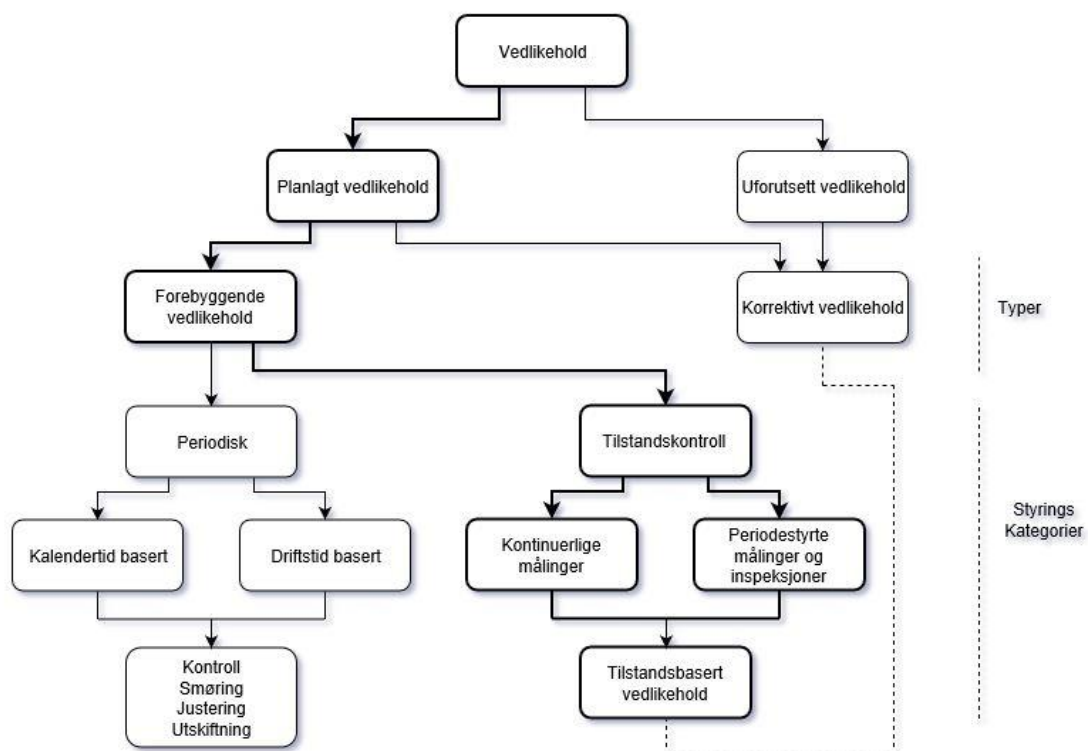


Figur 1.1 Ascom service kran [Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom]

1.3 Vedlikeholdsintroduksjon

Vedlikehold har lenge blitt sett på som en plage eller en irriterende kostnad, noe som et hvert selskap «bare må ha». [7, p. 283] Fra tidligere har det ikke blitt gjort vedlikehold før svikt allerede har inntruffet eller er i ferd med å skje. Når diverse anlegg/maskiner ble konstruert har ikke vedlikehold blitt tatt i betraktning. Fokuset lå kun på de funksjonelle problemene og økonomien. Utviklingen innenfor industrien med komplekse anlegg har gjort det nødvendig å forandre synet på vedlikehold. I dag er vedlikehold allmenn akseptert og sett på som noe positivt. Det har stor betydning innenfor flere felt. Disse feltene er blant annet sikkerhet og miljøforhold, tilgjengelighet og energiøkonomi. [8, p. 1.1]

Vedlikehold kan deles inn i ulike typer og styringskategorier, hvor vedlikeholdet er delt inn i to hovedkategorier: Planlagt og uforutsett. Disse to hovedkategoriene kan deles inn i mange underkategorier, deriblant forebyggende vedlikehold som videre deles inn i for eksempel tilstandsbasert vedlikehold. [8, p. 3.1] Figur 1.2 viser et hierarki over typer vedlikehold, med retningen prosjektet sikter seg inn på markert med tykkere linjer.



Figur 1.2 Vedlikeholdstyper og styringskategorier [8, p. 3.1]

I en verden hvor det stadig utvikles økende krav til tilgjengelighet, ytelse og kvalitet innenfor industri, vil forbedring av vedlikehold være et sentralt fokus for å oppnå dette. Disse forbedringene kan oppnås gjennom suksessfull implementering av RCM vedlikeholdsprogram og i fremtiden ved bruk av «*smart factories*» ved hjelp av Industri 4.0.

1.4 Målsetting

Rapporten heter «Etablering av vedlikeholdsprogram for en traverskran ved hjelp av RCM for å møte utfordringer med sensorering i forbindelse med Industri 4.0».

Hydro sine tidligere erfaringer tilsier at vedlikeholdsprogrammet levert med kranen av leverandør ikke er tilstrekkelig. De ønsker et nytt vedlikeholdsprogram med fokus på pålitelighetsstyrt vedlikehold som samtidig møter de fremtidsrettede målene innenfor Industri 4.0. Dette er mulig å oppnå ved anvendelse av RCM metodikk.

Hovedmålet med oppgaven er å hjelpe Hydro Karmøy med å utvikle et nytt vedlikeholdsprogram som ved hjelp av sensorering møter den fremtidsrettede utviklingen innenfor vedlikehold og Industri 4.0.

1.4.1 Begrensninger

Basert på oppgaven har gruppen bestemt å følge noen begrensninger:

- Oppgaven utføres selv om gruppen ikke hadde tilgang til vedlikeholdshistorikk omkring kranen fra leverandør eller Hydro Karmøy, da den er relativt ny og dette er ikke-eksisterende.
- RCM-analysen avgrenses til heismaskineriet som delsystem, fremfor hele kranen.
- RCM-analysen utføres delvis. Kun 2 av 8 av analysens trinn blir prosjektets hovedfokus. Det gruppen anser som nødvendig fra enkelte andre trinn utføres i tillegg for en mer helhetlig analyse. Trinnene i hovedfokus begrenses til følgende:
 - Trinn 4: Feilmode-, effekt-, og kritikalitetsanalyse (FMECA)
 - Trinn 5: Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)
- Hovedfokuset vil være på de kritiske komponentene innenfor heismaskineriet.
- Det ses i hovedsak på maskinrelaterte feil i analysen, ikke menneskelige faktorer og designfeil.

1.5 Metode

Metoden brukt i dette prosjektet er dokumentstudier. Dokumentstudier betyr at andres forskning anvendes og tilpasses for å gi kontekst til prosjektet.

Informasjon er hentet fra bøker, internett og artikler. I tillegg er informasjon mottatt fra ekstern sensor via samtaler og e-post. En negativ side med denne metoden som lett kan oppstå, er at når tekst anvendes som kontekst, tas den ofte for gitt som sann. Dette skjer ved at man ikke setter spørsmålstegn ved om de tekstene man bruker i seg selv kan plasseres i en kontekst.

En RCM-analyse ble utført i Microsoft Excel, hvor gruppen lagde et regneark for denne spesifikke oppgaven. Det er valgt å bruke en *case* som er overførbar og kan brukes i andre sammenhenger. Ettersom det ikke var vedlikeholdshistorikk tilgjengelig brukte gruppen egen og ekstern veileders erfaring til utførelsen av analysen.

For å skaffe informasjon fra personell med erfaring angående traverskranen, har det vært gjennomført møter med vedlikeholdspersonell i KTP. De har foretatt vedlikehold på kranen i rundt et år, og har på denne tiden fått litt erfaring med kranens utfordringer, som prosjektgruppen kunne dra nytte av.

1.6 Rapportens organisering

Rapporten er delt inn i 9 kapitler etterfulgt av referanser og vedlegg. Det er også et lite avvik fra rapportinnhold i forhold til oppgavetekst, som utdypes nærmere i kapittel 6.1.

Kapittel 1, «Innledning», gir bakgrunnsinformasjon for kommende kapitler. Foruten om rapportens organisering, metode og mål, omhandler innledningen litt generelt om Hydro samt Hydro Karmøys Teknologipilot, om traverskranen som rapporten er skrevet i forbindelse med og en liten introduksjon til vedlikehold.

Kapittel 2, «Bakgrunn for Industri 4.0», forklarer kort bakgrunnen for Industri 4.0 med oversikt over de bemerkningsverdige industrielle revolusjonene, og diskuterer de ulike aspektene ved vedlikehold, inkludert hvorfor vedlikehold er et viktig konsept.

Kapittel 3, «Reliability Centered Maintenance (RCM)», gir en beskrivelse av analysemetodikken brukt i dette prosjektet; RCM. Her gis en oversikt over alle de nødvendige trinnene i en RCM-analyse og hvordan informasjonen samles. Hvilke av disse trinnene i RCM-analysen som har blitt utført i dette prosjektet utnevnes, og forklares mer nøyaktig. Her gis det også en teoretisk sammenligning mellom RCM og det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet, hvor det ses på positive og negative aspekter med RCM metoden.

Kapittel 4, «Utførelse av RCM», er rapportens hovedkapittel for prosjektets utførende del i forbindelse med å lage nytt vedlikeholdsprogram for kranen. Kapitlet forklarer systemet og komponenter som blir analysert ved at måten prosjektgruppen selv forberedte seg til analysen fremvises. Det blir presentert resultater fra RCM-analysen, fra et Microsoft Excel «*worksheet*» med oversikt over deler av analysen. Kapitlet avsluttes med en kort praktisk sammenligning mellom RCM og det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet, hvor den faktiske forskjellen etter utført RCM-analyse fremvises. Dette inkluderer også en gapanalyse av sensorene på kranen nå og i forhold til gruppens anbefalinger, med formål å innrette mot Industri 4.0.

Kapittel 5, «Prosjektets anbefalte sensor for implementering mot Industri 4.0», inneholder fremgangsmåten for valg av den første og viktigste sensoren prosjektgruppen vil anbefale for installering på kranen, samt informasjon om den valgte sensoren.

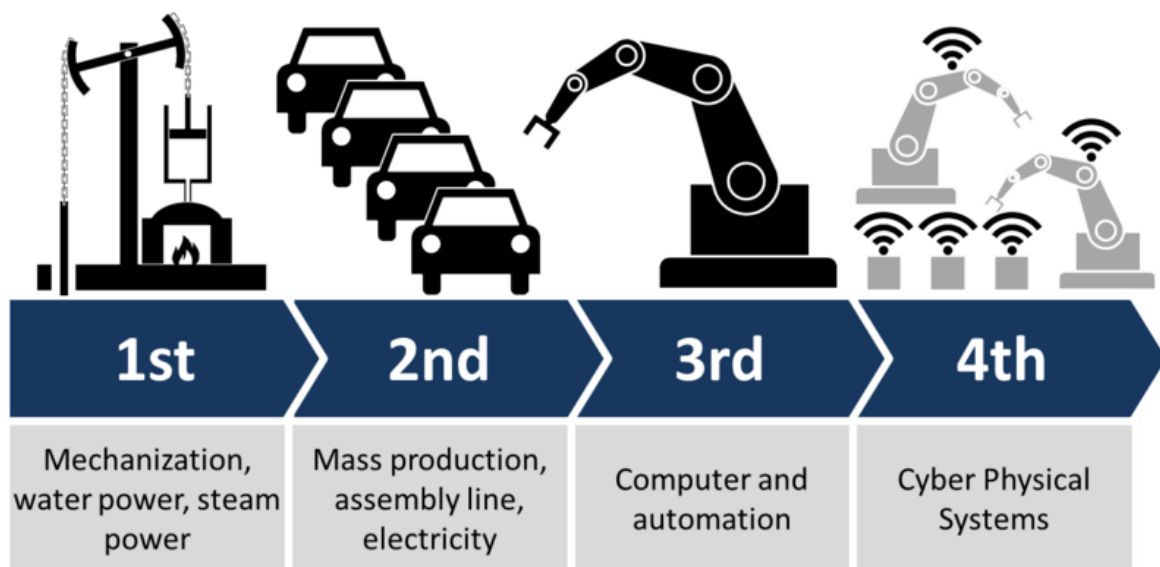
Kapittel 6, «Hovedutfordringen med Industri 4.0», beskriver først en endring i oppgaven grunnet hendelse med *cyberhacking*. Deretter er hovedfokuset i kapitlet nærmere undersøkelser omkring cybertrusler, med noe statistikk og tiltak mot *cyberhacking*. En hendelse på Hydro under bachelorprosjektet brukes som et reelt og aktuelt eksempel på denne utfordringen.

Kapittel 7, «Videre arbeid for komplett RCM», inneholder anbefalt videre arbeid for å utbedre bacheloroppgavens resultater, eller for å øke kvaliteten på andre framtidige prosjekter.

Kapittel 8, «Oppsummering», presenterer en oppsummering av arbeidet og resultatene fra bachelorrapporten.

2. Bakgrunn for Industri 4.0

Det har gjennom tidene vært tre bemerkningsverdige industrielle revolusjoner, vist i Figur 2.1. Historikere identifiserte disse revolusjonene lenge etter deres innvirkning på samfunnet og industrien. I 2013 kom den neste revolusjonen, som ble kalt Industri 4.0. Gitt de store fremskrittene innen teknologi og deres potensial for å forbedre produksjonsmiljøene, er Industri 4.0 et passende navn. Uten bruk av en tidsmaskin for å kunne forutsi hva det betyr å revolusjonere industrien for fremtiden, er dette en visjon som vil lede oss til utvikling. [9, p. 3]



Figur 2.1 Den industrielle revolusjon [10]

Industri 4.0 er en visjon for fremtiden som startet i Tyskland, og som nå andre land har tatt en del i. Tyskland har lenge vært et foregangsland for industriell produksjon. De fanget tidlig opp den globale trenden om digitalisering og skapte ideen som i dag er kjent som Industri 4.0. [11]

Tyskland samlet en arbeidsgruppe med sikte på å formulere de neste skrittene mot fremtiden for fabrikkautomatisering. Resultatet ble Industri 4.0, som beskriver overgangen til en «smartindustri». For å kunne implementere Industri 4.0 er det ulike hovedkomponenter som må settes i drift. Blant disse er prinsippet «*Internet of things*» (IoT). Dette begrepet sammenfatter ideen om at selv den minste gjenstanden skal ha kretser som tillater sending og mottak av informasjon over internett. Dette gir systemet tilgang til nye typer data. Disse dataene er ikke bare knyttet til produksjonsflyten, men også informasjon om miljøet under produksjon. [9, pp. 4-5]

Videre er prinsippet IoT en vesentlig faktor for å implementere «smartindustri». IoT går ut på at systemet skal kunne gå online for å bruke tjenester som er nyttige i sitt domene. Dette krever at tjenester utvikles med fokus på samspillsevne, som vil si at tjenesten er

strukturert på en måte som lett kan brukes av andre systemer. Det er også påkrevd at tjenestene er åpne for alle, eller i det minste satt opp med et tilgangssystem som gjør det mulig for kvalifiserte brukere å anvende dem. [9, pp. 5-6] Begge disse prinsippene vil hjelpe å oppnå det som kalles vedlikehold Industri 4.0.

I produksjonsområdet er IoT-teknologien en avgjørende faktor for å muliggjøre prediktivt vedlikehold. Gjennom bruk av IoT-sensorer kommer «smartfabrikker» til liv, med tilkoblede maskiner som kan kommunisere med hverandre og med mennesker, som kan ta tiltak når det er nødvendig. Denne teknologien kan oppdage forandringer og feil som er usynlige for det menneskelige øyet. I stedet for å løse et problem etter at det har hendt, vil prediktivt vedlikehold varsle systemet på forhånd, slik at mennesker (eller maskiner) kan ta de nødvendige tiltakene for å sikre at det ikke oppstår noe problem i det hele tatt.

Dårlig vedlikehold kan redusere anleggets produktivitet med 5-20 prosent. Prediktivt vedlikehold kan redusere eller eliminere uplanlagt nedetid ved å forutsi når en maskin trenger kontroll eller når det kan oppstå feil. Optimalisering av vedlikeholdsoppgaver på denne måten maksimerer levetiden til utstyret og unngår kostbare forstyrrelser. [12]

2.1 Vedlikehold i Industri 4.0

Videre vil det presenteres en oversikt over de ulike fasene som vedlikehold har gjennomgått. Kapitlet baserer seg på en artikkel: «*Near-zero downtime: Overview and trends*» av Hai Qiu og Dr. Jay Lee. [13]

2.1.1 Vedlikehold

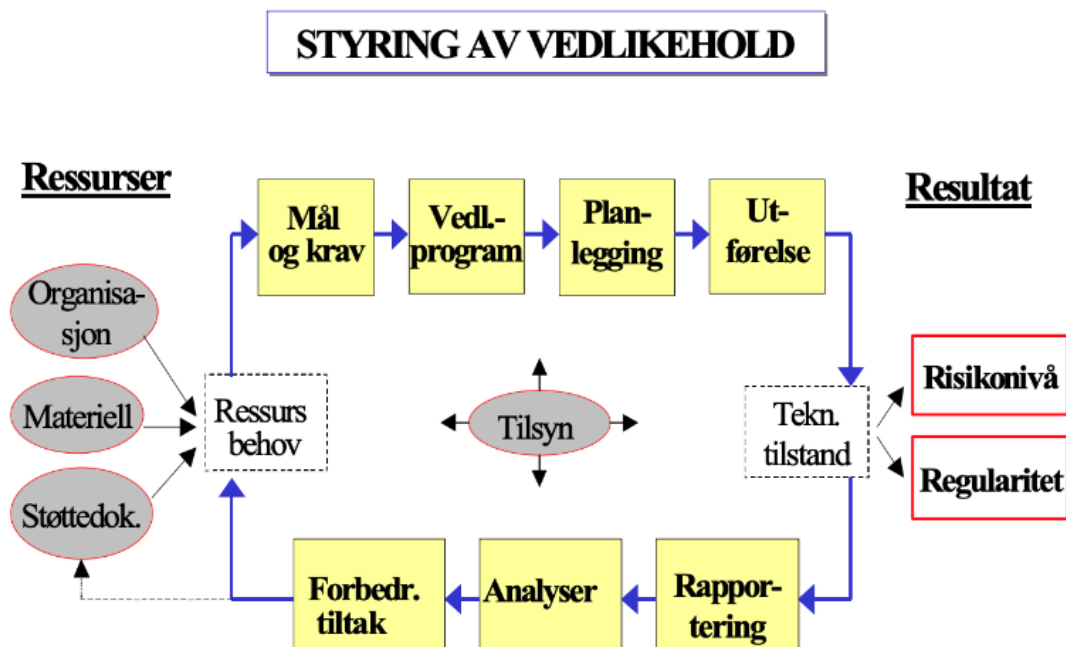
Vedlikehold er ifølge Norsk Standard [14], en kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter i løpet av levetiden til en enhet med hensikt å opprettholde eller gjenvinne en gitt tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en påkrevd funksjon.

Vedlikeholdsteknologi har ifølge Qiu og Lee [13] som mål å:

1. Øke påliteligheten til enheten og redusere produksjonstap
2. Øke raten til produksjonen
3. Øke levetiden til enheten
4. Øke sikkerhet, kvalitet og ytelse

Mange produksjonsselskap presser grensen for hva som er mulig å utvinne av kapasitet på produksjonsutstyret sitt, samtidig som de prøver å redusere kostnadene. Dette gir et stort press på viktigheten av vedlikeholdet som utføres på maskinene. Service og vedlikehold er i ferd med å bli livsviktig for bedrifter som ønsker å opprettholde produksjonskapasiteten og kundetilfredsheten på et høyest mulig nivå. Betydningen av vedlikeholdsfunksjoner, og dermed vedlikeholdsstyring, har vokst enormt de siste årene.

Vedlikeholdsledelse, eller kalt vedlikeholdsstyring, er ifølge Norsk Standard, [14], definert som: «alle ledelsens aktiviteter som bestemmer kravene, målene, strategiene og ansvarsområdene knyttet til vedlikehold, og implementering av dem ved hjelp av for eksempel vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll og forbedringen av vedlikeholdsaktiviteter og økonomi»

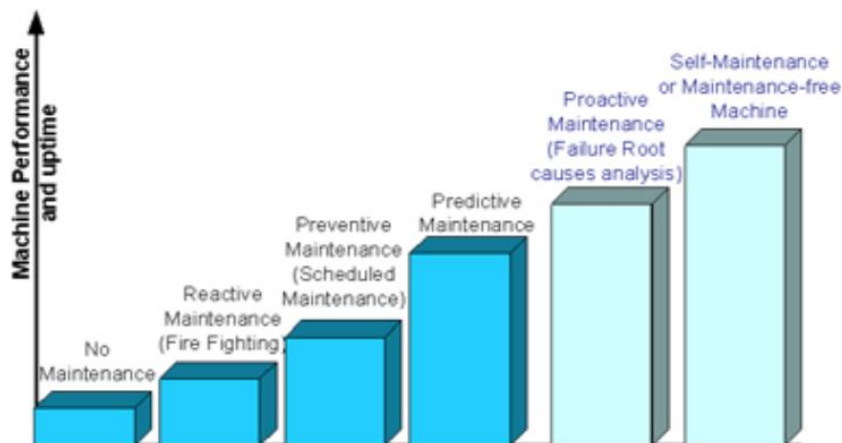


Figur 2.2 Styring av vedlikehold [15, p. 9]

Figur 2.2 kalles ofte styringsløyfen og er utviklet av PTIL. Styring av vedlikehold er i modellen framstilt som en overordnet prosess (styringsløyfe), som ved hjelp av nødvendig ressursinnsats vil produsere produkter i samsvar med for eksempel sikkerhet (lav risiko) og høy tilgjengelighet/regularitet. Hvert element i styringsløyfen kan bestå av en rekke mindre operasjoner, med et produkt knyttet opp.

2.1.2 Vedlikeholdsutvikling

I følge Qiu og Lee [13], om man ser historisk på vedlikehold og hvor det er på vei, kan det fremstilles som i Figur 2.3 på neste side.



Figur 2.3 Utviklingen av vedlikeholdsteknologi [13]

2.1.2.1 No maintenance / ingen vedlikehold

Det finnes to situasjoner hvor det ikke vil foretas vedlikehold.

1. Det er ingen måte å reparere enheten på. Dette kan være fordi enheten er så spesiell eller fordi det ikke er utviklet en måte å fikse den på.
2. Den er ikke verdt å fikse. Noen maskiner/utstyr ble designet for å brukes én gang, typisk fordi det er billigere å kaste eller kjøpe ny del kontra å vedlikeholde den.

2.1.2.2 Korrektivt vedlikehold

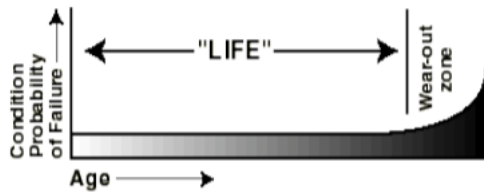
Korrektivt vedlikehold utføres etter at enheten har sviktet, når den er i en feiltilstand og dermed ikke kan utføre sin påkrevde funksjon. Reparasjonen må ofte utføres så snart som mulig etter svikt, og korrektivt vedlikehold kalles ofte «brannslukking». Korrektivt vedlikehold kan deles inn i to deler: planlagt og uforutsett.

Planlagt vedlikehold benyttes i tilfeller hvor det er lett å utføre vedlikehold på enheten og konsekvensen av at enheten svikter ikke er stor. Uforutsett kan brukes i tilfeller hvor svikt er lite risikabelt, men uforutsett er uønsket da plutselig produksjonsstopp og lang nedetid på maskinen ikke er lønnsomt.

2.1.2.3 Tidsbasert forebyggende vedlikehold

Tidsbasert forebyggende vedlikehold er ifølge Qui og Lee [13]; overhaling, reparasjon eller utskiftning av en komponent ved et fast intervall, uavhengig av enhetens tilstand ved utskiftningen.

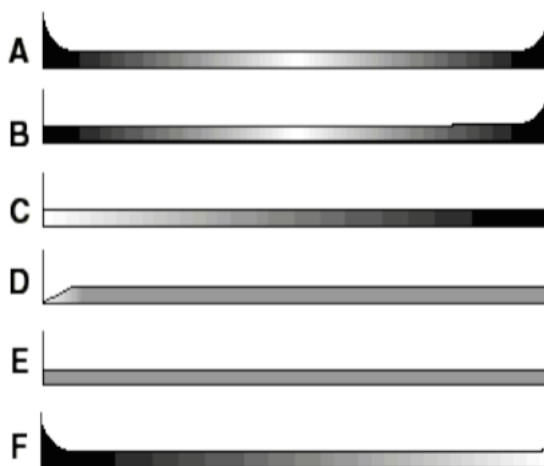
Tidligere har tankegangen for å vedlikeholde komponenter vært at de skal skiftes ut ved faste intervaller. Dette er fortsatt den mest vanlige måten å tenke at en skal optimalisere tilgjengeligheten til utstyret/maskinen, ved å utføre en form for forebyggende vedlikehold rutinemessig.



Figur 2.4 Klassisk kurve for tidsbasert forebyggende vedlikehold [16, p. 12]

Figur 2.4 er basert på at de fleste komponentene opererer pålitelig i en gitt periode for så og slites ut. Den klassiske tankegangen er at dersom det samles mye data når komponenten svikter, vil man kunne bestemme levetiden for så å planlegge når komponenten skal skiftes/repareres like før den svikter.

Denne kurven stemmer for enklere/simplere utstyr, og for utstyr som er mer avansert og har en dominant feilmode. Spesielt gjelder dette for slitasje, som ofte oppstår der hvor utstyret er i direkte kontakt med produktet. Aldersrelatert svikt forbinder man ofte med utmatting, korrosjon, slitasje og fordamping. Utstyr i dagens industri er generelt mye mer komplekse enn de var for 20 år siden. Dette har ført til oppsiktsvekkende endringer i sviktmønstre, som vist i Figur 2.5.



Figur 2.5 Sviktmønstre [16, p. 2]

- A: Badekar kurve
- B: Sakte økende sannsynlighet for svikt (Figur 2.4)
- C: Sakte økende sannsynlighet for svikt, men ingen klar slitasjegrense
- D: Lav sannsynlighet for feil når komponenten er ny, så en rask økning til konstant nivå
- E: Konstant sannsynlighet for svikt uansett alder (tilfeldig svikt)
- F: Starter med høy sannsynlighet for svikt, før den får en konstant eller sakte økende sannsynlighet for svikt

Ved tidsbasert (FV) vil komponenten erstattes eller reparert før svikt. Dette kan føre til at enhetens levetid ikke utnyttes tilstrekkelig, og kan igjen føre til økte vedlikeholdsutgifter. I andre enden av skalaen vil for lange intervaller føre til svikt og dermed føre til korrektivt vedlikehold. [13]

Studier utført på personfly viser hvor mange komponenter som følger hvilken sviktkurve. Denne statistikken vises i Diagram 2.1.

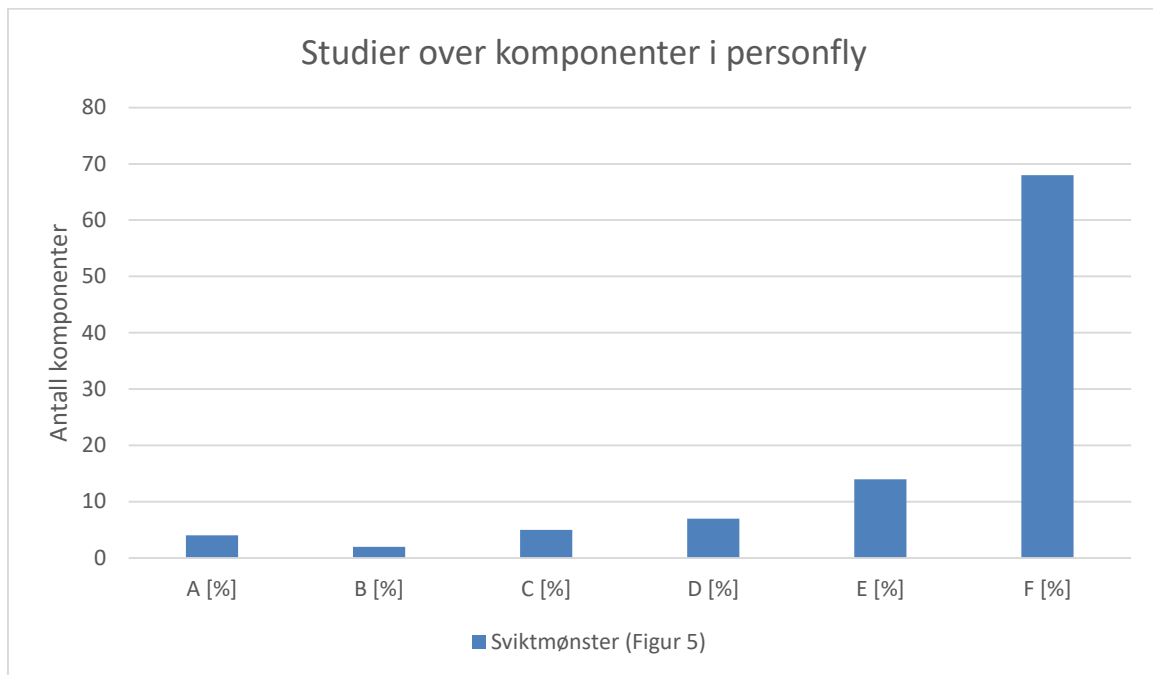


Diagram 2.1 Eksempel sviktmønster, komponenter i personfly

Disse tallene er ikke nødvendigvis relevante for andre industrier, men denne statistikken kan brukes for å vise at jo mer komplekst utstyret blir, desto mer ser vi av sviktmønster F. [16, pp. 11-13]

Ved tilstandsbasert (FV) blir tilstanden til komponenten bestemt. Dette er ifølge M.Rasmussen [8] et vidt begrep som inkluderer funksjoner som funksjonstesting, inspeksjon og både manuelle og automatiske målinger ved hjelp av sensorer og data-analyse. Dette fører til at det er enklere å planlegge vedlikeholdet, i tillegg til at levetiden utnyttes maksimalt.

2.1.2.4 Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold (Prediktivt vedlikehold)

Prediktivt vedlikehold (PV) er en «Akkurat i tide» vedlikeholdsstrategi. PV beskrives best som en prosess som krever moderne teknologi og kompetent personell, for å samle inn og analysere data som er tilknyttet og overvåker utstyret. Dette kan for eksempel være vedlikeholdshistorie, designdata, operatørlogger og ytelsesdata.

Integrering av ulike data, informasjon og prosesser fører til et suksessfullt PV-program. Det analyserer utviklingen av målte fysiske parametere mot kjente tekniske grenser for å oppdage, analysere og korrigere et problem før en feil oppstår. En vedlikeholdsplan lages basert på informasjonen man har fått gjennom tilstandskontrollen.

Et tilstandsbasert FV-program kan koste mer å få etablert enn hva et vanlig tidsbasert FV-program vil koste. Dette fordi prediktivt vedlikehold er avhengig av utdanning av personell, teknologi tilknyttet kontinuerlig tilstandsovervåking og mye planlegging. På langsiktig basis vil det øke utstyrets pålitelighet og informasjon om utstyret slik at planleggingen kan forbedres og dermed redusere uventede driftsstopper og driftskostnader. [13]

2.1.2.5 Proaktivt vedlikehold

Denne strategien går ut på å analysere rot-årsakene til en svikt. Etter at rot-årsakene er funnet vil de elimineres, om mulig, ved hjelp av å forbedre maskinens design eller endre driften. Slik vil feilene forebygges proaktivt. Et eksempel kan være hvordan man forebygger hjertesvikt i menneskekroppen ved å endre kosthold, som igjen er den underliggende saken til hjertesvikt hos enkelte.

Det er fortsatt noe debatt om effektiviteten og sviktrespons hastigheten for proaktivt vedlikehold, men det er ingen tvil om at det er mangel på kommunikasjon mellom vedlikehold og design. [13]

2.1.2.6 «Self maintenance»

En «self-maintenance» maskin kan overvåke og diagnostisere seg selv, og dersom det oppstår noen form for feil eller degradering, kan den opprettholde sine funksjoner for en stund. For å kunne utføre vedlikehold på seg selv må maskinen designes smart nok. Dette utføres ved å innføre kunstig intelligens (AI). En annen måte er å bygge inn en selvdiagnoserings-funksjon, som vil gi beskjed om hvilke vedlikeholdsoppgaver som kreves. Dette vil minste behovet for tilstandssjekker og planlegging av vedlikehold. [13]

3. Reliability Centered Maintenance (RCM)

«RCM er en metode for å etablere vedlikeholdsstrategier for alle utstyrsenheter i et anlegg basert på interne og eksterne kriterier relatert til sikkerhet, miljø, operasjon og økonomi. RCM ser utstyrsenheterne i et systemperspektiv basert på funksjonskrav, funksjonsfeil og forebygging av disse funksjonsfeil.» [8, p. 4.1]

RCM er retningslinjer om vedlikeholdsstrategi for utstyr; hvilke strategier innen vedlikehold som skal foretas samt hvor ofte det skal utføres. Det er en metode som brukes for å tilrettelegge en strukturert behandling av informasjon. Informasjonen kan komme fra vedlikeholdshistorikk i eksisterende systemer eller erfaren personell med relevant bakgrunn. I prinsippet er RCM egnet for vedlikeholdstekniske analyser innenfor alle fasene av et anleggs levetid. [8, pp. 4.1-4.2]

RCM har formelt blitt definert av John Moubray som «en prosess som brukes til å bestemme hva som må gjøres for å sikre at en fysisk ressurs fortsetter å gjøre hva brukeren vil at den skal gjøre i sin nåværende driftskontekst». Hovedprinsippene til metoden kan summeres opp i fire hovedpunkter:

1. Bevare funksjoner
2. Identifisere feilmoder som kan føre til tap av funksjon
3. Prioritere funksjonsbehov ved hjelp av feilmoder
4. Velg kun relevante og effektive oppgaver

RCM prioriterer vedlikeholdsbehov og fokuserer ressurser på de oppgavene som fremhever systemets pålitelighet. [17] Det ble designet for å balansere kostnader og fordeler for å få det mest kostnadseffektive forebyggende vedlikeholdsprogrammet. For å oppnå dette må de ønskede systemytelsesstandardene angis. RCM vil ikke forhindre alle feil. Derfor må de potensielle konsekvensene av hver mulige feil identifiseres, samt sannsynligheten for feilene må være kjent. Når man utvikler vedlikeholdsprogrammet må det være innforstått av RCM aldri vil være en erstatning for dårlig design, utilstrekkelig byggekvalitet eller dårlig vedlikeholdspraksis. En RCM-analyse gir i utgangspunktet svar på syv spørsmål. [18, p. 122]

3.1 De syv spørsmålene

I henhold til SAE JA1011 (SAE, 1999), er minimumskriteriene som enhver RCM-prosess må oppfylle for å være en sann RCM, å kunne svare på følgende syv spørsmål [19, pp. 7-8]:

1. Hva er funksjonene og tilhørende ytelsesstandarder for ressursen i den nåværende driftskontekst (funksjon)?
2. På hvilke måter kan det feile i å oppfylle sine funksjoner (funksjonsfeil)?

3. Hva er årsaken til hver funksjonsfeil (feilmoder)?
4. Hva skjer når hver feil oppstår (feileffekt/feilvirkning)?
5. Hvilken betydning får hver feil (konsekvens)?
6. Hva kan bli gjort for å forhindre hver feil (proaktive oppgaver og proaktivintervaller)?
7. Hva skal gjøres hvis en egnet forebyggende oppgave ikke kan bli funnet (standardhandlinger)?

Ved å begynne en RCM-prosess bør man få omfattende svar på hvert av de enkelte spørsmålene. Erfaringer viser også at ca. 30 prosent av innsatsen i en RCM er involvert i å definere funksjoner og ytelsesstandarder, som vil si å besvare spørsmål nummer 1.

[18, p. 122]

3.2 Introduksjon til RCM-analysens hovedtrinn

Det finnes mange ulike variasjoner av RCM-prosessen i dag. De ulike variasjonen baseres på antall punkter man bryter prosessen ned i. Det finnes blant annet versjoner med 24 punkter, 12 punkter og 8 punkter. For dette prosjektet vil følgende prosess brukes, som også tilfredsstillende bestemmelser til SAE JA1011. [19, p. 8]:

1. Forberedelse for analyse
2. Funksjonsfeilanalyse (FFA)
3. RAMS datainnsamling
- 4. Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA)**
- 5. Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)**
6. Vurdering av vedlikeholdsintervall (MIA)
7. Sammenligning av vedlikeholdsoppgaver (MTC)
8. Datastyrt vedlikeholdssystem (CMMS) databaseoppdatering

I dette prosjektet skal punkt 4 og 5 av RCM-analysen utføres samt enkelte deler av andre trinn ses på, som nevnt i kapittel 1.4.1 «begrensninger». Punkt 1 og 2 utføres i svært grove trekk, men ikke fullverdig, og det gis et forslag til punkt 6 for et mer helhetlig resultat. Dette forklares nærmere også i kapittel 4 angående utførelsen av RCM-analysen.

3.2.1 Forberedelse for analyse

Forberedelse for analyse innebærer foreløpig arbeid gjort forberedende til selve RCM analyseprosessen. Dette innebærer følgende:

- Teknisk gjennomgang. Bestående av et tverrfaglig team, som gjerne består av systemingeniører, vedlikeholds- og driftsrepresentanter, samt en RCM ekspert

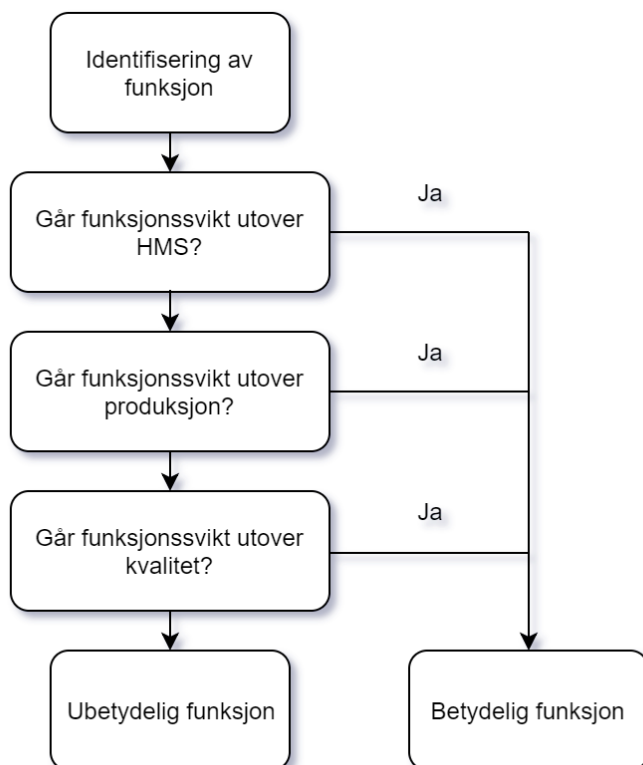
- Systemvalg. Metodisk utvelgning av systemer utføres basert på konsekvensnivået av en funksjonsfeil og systemkompleksitet for å begrense omfanget av analysen og for å eliminere unødvendig analysearbeid
- Systemgrenser eller omfangsdefinisjon. Spesifikasjon av bruksgrenser når det gjelder tekniske samlinger, enten på anlegg, system eller delsystemnivå. Nivået for funksjonsfeilanalysen (FFA) skal være et håndterbart nivå, noe som betyr et funksjonsnivå der en funksjonsfeil har direkte innvirkning på RAMS-elementene.
- Innsamling av dokumentasjon og håndbøker. Henting av alle tekniske materialer som er relevante for systemet under vurdering, inkludert monteringsstegninger, design datablad og driftshåndbøker

[19, p. 8]

3.2.2 Funksjonsfeilanalyse (FFA)

Funksjonsfeilanalyse er delt inn i flere deltrinn:

- Identifisere systemfunksjoner. Klassifisering av funksjonene og deretter analysere for å kontrollere om funksjonene er betydelige eller ikke. Se Figur 3.1



Figur 3.1 Funksjonsfeilanalyse [19, p. 9]

- Identifisere potensielle funksjonsfeil (feilmode). Fullstendig manglende evne til å utføre en funksjon, underytelse av en funksjon, overytelse av en funksjon eller ingen ytelse av en funksjon.

- Identifisere funksjonsfeil konsekvenser for hver operativ modus. Dette har fokus på å sette en grense for videre analyse ved å eliminere ubetydelige funksjonsfeil. [19, p. 9]

3.2.3 RAMS datainnsamling

RAMS datainnsamling innebærer innsamling av data for videre kvalitativ og kvantitativ analyse. Den kvalitative analysen kan avdekke relevante feilmoder og feilårsaker, mens den kvantitative analysen kan omfatte pålitelighetsmengder som MTTF, aldringsparametere, PF-intervaller og lignende. [19, p. 11]

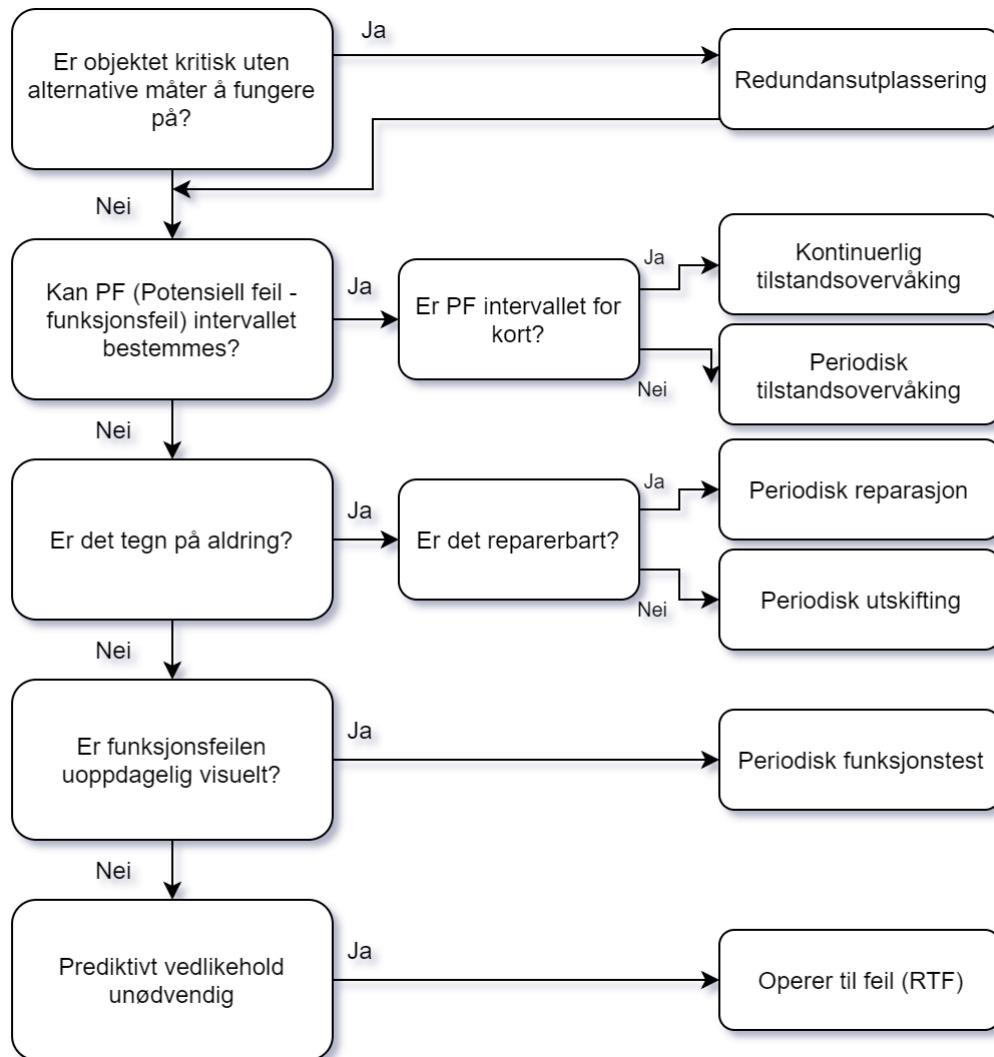
3.2.4 Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA)

I henhold til MIL-STD-1629A (1980) er feilmodus og effektanalyse (FMEA) «en prosedyre hvor hver potensiell feilmodus i et system analyseres for å bestemme resultatene eller effektene derav på systemet og å klassifisere hver potensielle feilmodus i henhold til alvorlighetsgrad», mens kritisk analyse (CA) er «en prosedyre hvor hver potensielle feilmodus er rangert i henhold til den kombinerte påvirkning av alvorlighetsgrad og sannsynlighet for forekomst». Feilmodus og kritisk analyse (FMECA) er en kombinasjon av FMEA og CA. [19, p. 11]

3.2.5 Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)

Passende oppgavevalg er et skritt mot å realisere optimalisering av vedlikeholdsstrategier. En strategi for optimalisering av vedlikehold innebærer bruk av mest kostnadseffektive teknikk eller metoden til et gitt vedlikeholdsprogram.

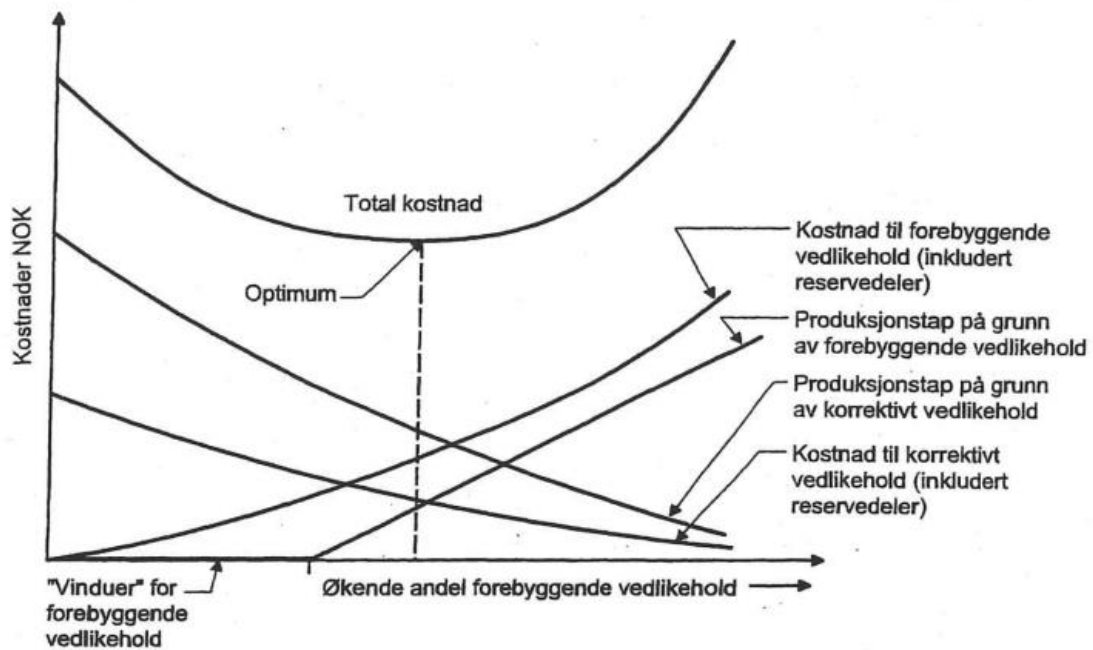
En veiledning for å velge riktig vedlikeholdsmetode er bruk av RCM-beslutningslogikk, hvor signifikante feilmoduser og tilhørende feilmekanismer er ideelt tilført for å avgjøre hvorvidt en forebyggende vedlikeholdsoppgave er hensiktsmessig eller en korrektiv vedlikeholdsoppgave, slik som «Run to Failure» (RTF). [19, pp. 14-15] Se Figur 3.2.



Figur 3.2 Analyse av vedlikeholdsoppgaver, beslutningslogikk [19, p. 15]

3.2.6 Vurdering av vedlikeholdsintervall (MIA)

Vurdering av vedlikeholdsintervall innebærer bestemmelse av den mest kostnadseffektive frekvensen for anvendelse av vedlikeholdsstrategier i et gitt vedlikeholdsprogram. Dette med tanke på at man med for lite vedlikehold kan risikere at en feil oppstår og senere fører til svikt, og med for mye vedlikehold vil kosten øke betraktelig. [19, p. 17] Se Figur 3.3.



Figur 3.3 Optimum vedlikehold [8, p. 3.3]

3.2.7 Sammenligning av vedlikeholdsoppgaver (MTC)

Sammenligning av vedlikeholdsoppgaver innebærer å identifisere forskjeller mellom den valgte oppgaven og eksisterende vedlikeholdspraksis. Dette gjøres for å analysere hvilke funksjoner som kan være nødvendige i et nytt vedlikeholdsprogram og deres effekter på systemet og organisasjonen. [19, p. 17]

3.2.8 Datastyrt vedlikeholdssystem (CMMS) databaseoppdatering

Computerized Maintenance Management System, eller CMMS, er en programvarepakke som opprettholder en database med organisasjonens vedlikeholdsprogrammer. Denne informasjonen blir brukt for å hjelpe vedlikeholdsarbeidere med å gjøre jobben sin mer effektivt og til å hjelpe ledelsen med å ta informerte beslutninger.

Journalføring er et viktig aspekt av RCM-prosessen. Dette vil fremme effektiviteten av vedlikeholdsprogrammer under en livssyklus for utstyr. [19, p. 17] For hver signifikant svikt som oppstår i systemet, bør svikt karakteristikkene sammenlignes med FMECA analysen. Hvis feilen ikke dekkes tilstrekkelig i analysen, bør den relevante delen revideres om nødvendig. [18, p. 130]

3.3 Nøyere beskrivelse av prosjektets hovedtrinn

3.3.1 Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (FMECA)

Feilmode- og feileffektanalyse (FMEA) var en av de første systematiske metodene for å analysere feil i tekniske systemer. Det ble utviklet på slutten av 1940-tallet for å avdekke problemer som kunne oppstå grunnet feil i militære systemer. [20, p. 145]

«Hensikten med analysen er vanligvis å identifisere deler eller egenskaper ved systemet som bør forberedes for å møte fastsatte krav til sikkerhet eller pålitelighet» [20, p. 146]

En FMECA skal gi svar på følgende:

- Hvilke feilmoder kan inntreffe for hver enkelt av komponentene i systemet?
- Hva er årsakene til disse feilmodene?
- Hvilken effekt har hver enkelt feilmode på resten av systemet?
- Hvordan oppdages feilmodene?
- Hvor ofte inntreffer hver feilmode?
- Hva er risikoen knyttet til hver feilmode?
- Hvilke risikoreducerende tiltak kan være aktuelle? (sensor)

3.3.1.1 Feilmoder

Når hver funksjonsfeil er identifisert, er neste trinn å forsøke å identifisere hendelsene som kan forårsake hver feiltilstand. Disse hendelsene kalles feilmoder. Mulige feilmoder er de som har skjedd på samme eller lignende utstyr som opererer i samme sammenheng, feil som for tiden hindres av eksisterende vedlikeholdsregimer, eller feil som ikke før har skjedd men som ansees som mulige. Tradisjonelle lister over feilmoder inneholder feil som skyldes degradering eller normal slitasje. Listen bør imidlertid inkludere feil som skyldes menneskelige feil og designfeil, slik at alle sannsynlige årsaker til utstyrssvikt kan identifiseres og håndteres på riktig måte. Det er også viktig å identifisere årsaken til hver svikt i nok detalj for å sikre at tid og krefter ikke bortkastes, og prøve å behandle symptomer i stedet for årsaker. På den andre siden er det like viktig å sikre at tiden ikke kastes bort på selve analysen ved å gå inn i for mye detalj. Det er derfor viktig å finne riktig balanse mellom disse to. [16, p. 9]

3.3.1.2 Effekter

Det neste trinnet i en FMECA medfører oppføring av feileffekter, som beskriver hva som skjer når hver feilmodus oppstår. Disse beskrivelsene skal inneholde all nødvendig informasjon for å støtte evalueringen av konsekvensene av feilen, som for eksempel:

- Hvilke bevis (hvis noen) at feilen har oppstått
- På hvilke måter (hvis noen) utgjør en trussel mot sikkerheten eller miljøet
- På hvilke måter (hvis noen) påvirker det produksjon eller drift

- Hvilken fysisk skade (hvis noen) er forårsaket av feilen
- Hva må gjøres for å reparere feilen

Et av målene med denne øvelsen er å fastslå om det er nødvendig med forebyggende vedlikehold (FV). Skal dette utføres på riktig måte kan det ikke antas at noen form for FV allerede er utført, slik at effektene av svikten beskrives som om ingen tiltak er gjort for å forhindre det.

[16, p. 73]

3.3.1.3 Kritikalitetsanalyse

I følge M.Rasmussen [8] er kritikalitet et mål på risikoen når en utstyrsfeil som forårsaker en funksjonsfeil inntreffer. I kritikalitetsanalysen ligger vurdering av konsekvens når en feil inntreffer samt hvor hyppig (frekvensen).

Hensikten med en slik analyse er å vurdere om forebyggende vedlikehold (FV) skal anbefales eller ikke, samt at vedlikeholdet som anbefales er tilstrekkelig eller ei. Innenfor analysen er det ulike klassifikasjoner. Hva disse klassifikasjonene er og hvilke betydninger de har, defineres av analysens utførende. [8, p. 4.12]

3.3.2 Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA)

MTA trinnet er enkelt i forhold til andre teknikker for vedlikeholdsplanlegging. En «decision logic» benyttes for å veilede analytikeren gjennom et spørsmål og en svarprosess. Inngangen til RCM-beslutningslogikken er de dominerende feilmodusene fra FMECA analysen i trinn 4. Hovedideen er at hver dominerende feilmode skal avgjøre om en FV-oppgave er aktuell og effektiv, eller om det vil være mest kostnadseffektivt å la komponenten fortsette i drift til feilmode og etterpå utføre korrigerende vedlikeholdsoppgaver.

Det er generelt tre hovedgrunner for å gjøre en FV-oppgave:

- For å unngå feil
- Å oppdage begynnende svikt
- Å oppdage en skjult feil

Følgende grunnleggende vedlikeholdsoppgaver vurderes:

1. Planlagt tilstandskontroll
2. Planlagt overhaling
3. Planlagt utskiftning
4. Planlagt funksjonstest
5. Kjør til svikt (RTF)

Under vises de ulike kriteriene for de ulike vedlikeholdsoppgavene som nevnes ovenfor. Kriteriene gitt for bruk av de ulike vedlikeholdsoppgavene bør kun betraktes som retningslinjer for valg av en passende oppgave. En oppgave kan betraktes som riktig valg selv om noen av kriteriene ikke er oppfylt.

3.3.2.1 Planlagt tilstandskontroll

Den planlagte tilstandskontrollen er en oppgave for å bestemme tilstanden til komponenten, ved for eksempel tilstandsovervåking. Det er tre kriterier som må oppfylles for at en tilstandsoppgave skal være passende.

1. Det må være mulig å oppdage redusert sviktmotstand for en bestemt feilmode
2. Det må være mulig å definere en potensiell sviktilstand som kan oppdages av en eksplisitt oppgave
3. Det må være et rimelig konsistent aldersintervall mellom tiden for potensiell feil og tidspunkt for funksjonsfeil

3.3.2.2 Planlagt overhaling

Planlagt overhaling utføres ved eller før en bestemt aldersgrense og kalles ofte «hardtidsvedlikehold». En overhaling anses bare som passende om følgende kriterier er møtt:

1. Det må være en identifiserbar alder hvor man ser en synlig økning i komponentens sviktmønster
2. En stor del av komponentene må overleve til den spesifiserte alderen
3. Det må være mulig å gjenopprette komponentene til opprinnelig sviktmotstand ved å reparere den

3.3.2.3 Planlagt utskiftning

Planlagt utskiftning utføres når eller før en bestemt aldersgrense. En planlagt utskiftning anses kun som aktuell om de følgende kriteriene er møtt:

1. Komponentene må være utsatt for en kritisk feil
2. Test data må vise at det ikke forventes av svikt oppstår under den gitte aldersgrensen
3. Komponentene må være utsatt for en svikt som har store økonomiske konsekvenser
4. Det må være en identifiserbar aldersgrense for når en komponent viser en hurtig økning i sviktmønster
5. En stor del av komponentene må overleve til denne alderen

3.3.2.4 Planlagt funksjonstest

Planlagt funksjonstest er en planlagt feilsøkingsoppgave eller inspeksjon av en skjult funksjon for å identifisere svikt. Funksjonstester er kun forebyggende i den forstand at de forhindrer overraskelser ved å avsløre svikt i skjulte funksjoner. En planlagt funksjonstest er aktuell for en komponent under følgende forhold:

1. Komponenten må være underlagt en funksjonssvikt som ikke er tydelig for driftspersonalet under utførelsen av normale oppgaver
2. Det er ingen annen type oppgave som er aktuell eller effektiv for denne komponenten

3.3.2.5 Kjør til svikt (RTF)

RTF er en bevisst beslutning om å la komponenten være i drift frem til den svikter. Dette benyttes dersom ingen av de andre oppgavene er mulige eller dersom de andre oppgavene ikke er kostnadseffektive nok i forhold til å la den kjøre til svikt.

[18, pp. 127-128]

3.4 Fordeler og ulemper med RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram

Det skal i dette kapittelet diskuteres rundt positive og negative sider med RCM, samt se på hvordan denne prosessen måles opp mot det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet fra leverandøren.

3.4.1 Positive aspekter med RCM metoden

RCM bidrar til å strukturere arbeidsprogrammet med å revidere det eksisterende vedlikeholdsprogrammet, som i dette prosjektet er levert av kranens leverandør. Analysen fører til at de utførende får erfaring om utstyret som behandles. Dette vil gjelde på tvers av arbeidsområdene. Ettersom prosessen er strukturert og dokumenteres underveis er det god sporbarhet i beslutningsprosessen. Dette legger et godt fundament for kontinuerlig oppdatering av vedlikeholdsstrategien, som baseres på ny kunnskap som opparbeides etter implementeringen av RCM-analysen. Her inngår det kunnskap om feil, feilårsaker, sviktmønster og risiko ved feil. [8, pp. 4.5-4.7]

En gjennomført RCM-prosedyre fører det til raske, store og vedvarende forbedringer som:

- Bedre driftsforhold (ytelse, produktkvalitet, kundeservice)
- Utstyrspålitelighet
- Større kostnadseffektivitet innen vedlikehold
- Lengre levetid på dyre komponenter
- Omfattende database
- Økt motivasjon til enkeltpersoner

- Bedre teamarbeid
- Bedre kvalitet, helse, miljø og sikkerhet (KHMS)
- Avkastning på investering

[19, p. 7] [16, pp. 19-20]

3.4.2 Negative aspekter med RCM metoden

Anvendelse av RCM er et klokt valg dersom det brukes på riktig måte og under riktige omstendigheter, men det er nødvendig å markere de eksisterende ulempene som knyttes til prosessen.

RCM-analysen er ekstremt intensivt, og utfordrer ofte implementering av åpenbare tilstandsovervåkingsoppgaver. Dette medfører store kostnader og kan bli sett på som en langtidsinvestering. Resultatet av RCM-prosessen vil ikke sees umiddelbart, men vil vise seg over en lengre periode. [21]

3.4.3 RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram

Det er nå sett på positive og negative sider med RCM. Med dette som grunnlag skal det nå sees på hvordan dette måles opp med det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet fra leverandøren, ut ifra tolkningene til prosjektets utførende studenter.

Ved bruk av det tradisjonelle programmet spares det tid og penger under den tiden programmet lages, men langsiktig kan dette føre til flere uforventede og langvarige stopp på anlegget. Dette ettersom programmet er lettvinnt og mindre vurdert enn programmet som lages etter RCM er utført. Det tradisjonelle programmet tar ikke hensyn til helheten med tanke på systemets mange funksjoner, men ser kun på hver enkelt komponent for seg selv. Programmet tar heller ikke hensyn til driftskonteksten. Leverandøren sitt vedlikeholdsprogram tar ofte mer hensyn til sitt eget behov, som kan føre til overdrevent vedlikehold med fokus på å sikre leverandøren økonomisk, garantibestemmelser og fremtidig arbeid. Innenfor det tradisjonelle programmet har de tilstandskontroll kun på det som er høyst kritisk med tanke på sikkerhet.

Det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet skal likevel ikke undervurderes, selv om det ikke er et fullverdig alternativ til RCM. Programmet danner fremdeles et brukbart grunnlag, samt at det er tidsbesparende. Denne tidsbesparingen fører som nevnt til en viss reduksjon i kostnader tatt i betraktning at programmet tar kortere tid og mindre personell for å utvikle – der og da. Ser man derimot på kostnader over lengre tid vil det ikke være mer effektivt enn en RCM-analyse utført av kompetent personell, da de nøye vurderingene i denne analysen vil føre til større kostnadseffektivitet, som beskrevet i kapittel 3.4.1. Med bruk av kompetent personell vil også denne prosessen ikke ta så alt for lang tid. Dette vil si at RCM-analysen tar lengre tid å utvikle, ergo dyrere å utvikle, men vil lønne seg mest med tiden grunnet kostnadsbesparing på selveste vedlikeholdet.

4. Utførelse av RCM

Det er som vist i kapittel 3.2, åtte trinn som utgjør en RCM prosedyre. Dette prosjektets fokus vil som nevnt være punkt nummer 4 og 5 av disse åtte. Med tanke på prosjektets tidsbegrensning er det ikke realistisk å fullføre alle åtte punktene. For å få utført fokuspunktene på best mulig og nøyaktig vis, må punktene før også sees på ettersom alle bygger på hverandre. For å utføre en FMECA, som omhandler punkt 4, må de fleste punktene før være vurdert for best mulig analyseresultat. Videre beskrives utførelsen i forhold til RCM prosedyrens retningslinjer.

4.1 Forberedelser

4.1.1 Forberedelse for analyse

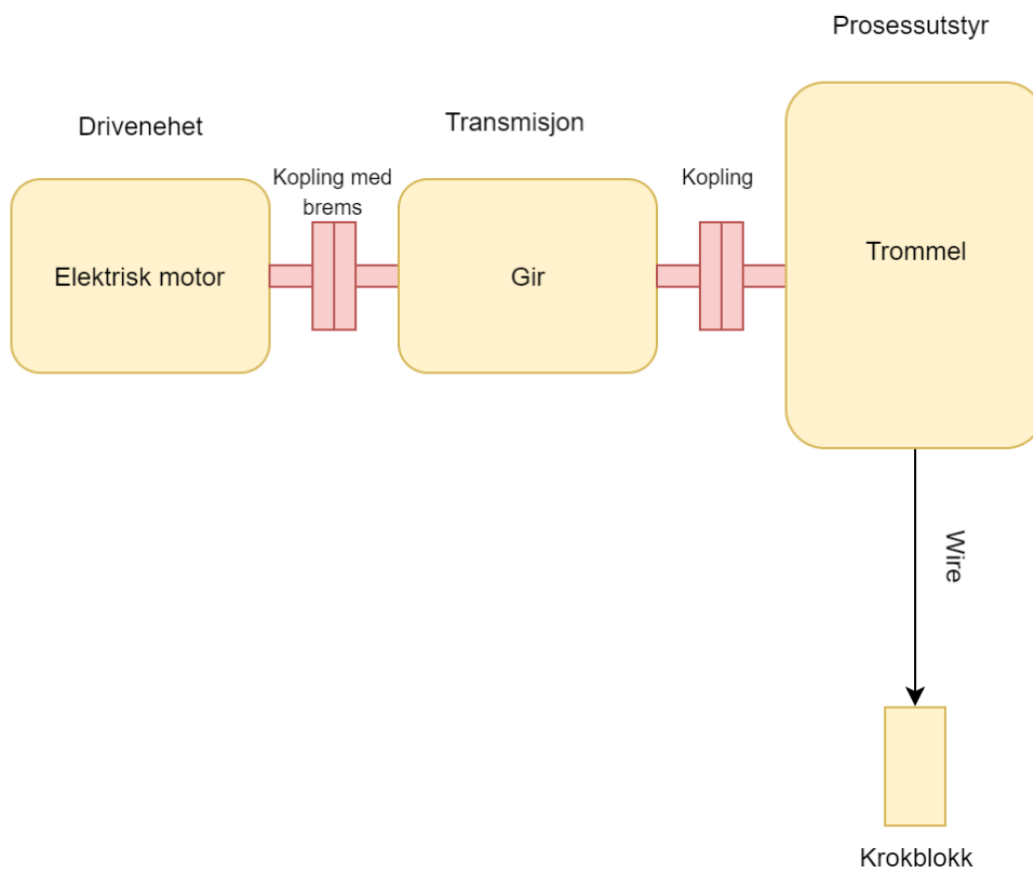
Under startprosessen samles det informasjon for å kunne starte på RCM prosedyren. Det inngår flere undertrinn i det første trinnet, som nevnt i kapittel 3.2.

Teknisk gjennomgang er det første undertrinnet og starten av RCM prosedyren. Dette trinnet går ut på å samle et tverrfaglig team som består av blant annet en RCM ekspert og vedlikeholdspersonell, og ble ikke utført under dette prosjektet. Grunnen for dette er manglende ressurser for å danne et slikt team, i tillegg til at prosjektteamet selv ikke har nok praktisk erfaring til å danne et slikt team alene. For å skape et mer bærekraftig grunnlag ble det innhentet en del generell teoretisk informasjon om vedlikehold, RCM og FMECA. Dette ble utført for å veie opp for mangelen på et tverrfaglig team.

Det neste trinnet i prosedyren er å velge et system, som går sammen med det neste trinnet som omhandler systemavgrensning. Disse punktene utføres for å begrense omfanget av analysen og for å eliminere unødvendig analysearbeid. I dette prosjektet; også for å vurdere omfanget av analysen i forhold til prosjektets tidsfrist. Systemet valgt for ble derfor avgrenset til heismaskineriet til en traverskran. Hovedsystemet er Ascom traverskranen, og delsystemet valgt innenfor traverskranen er heismaskineriet.

Den siste delen av trinn 1 er innhenting av dokumentasjon og håndbøker. Informasjon om kranen og standarder ble hentet inn etter systemgrensene var satt. Dokumentasjonen om kranen inneholdt blant annet den tradisjonelle vedlikeholdsplanen.

4.1.1.1 Heismaskineriets oppbygging

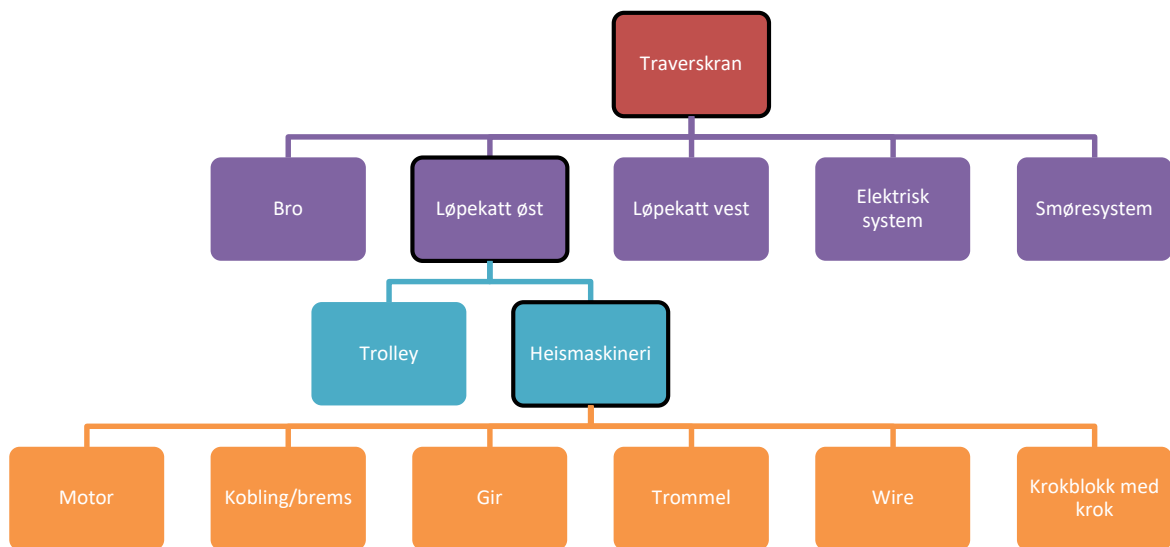


Figur 4.1 Heismaskineriets komponenter

4.1.2 Funksjonsfeilanalyse (FFA)

En FFA er delt inn i 3 trinn. For dette prosjektet ble det valgt å utføre en forenklet versjon. Det ble først laget en hovedoversikt, deretter funksjonstrær for hver av komponentene for så å innføre feilmøder for valgt delsystem. I en original FFA skal dette utføres i et skjema. Dette prosjektets forenklete metode ble utført i flytskjema som «hierarki-trær». Eksempler fra disse vil fremlegges videre med enkel forklaring til.

Disse hierarki-trærne viser også hvilket «nivå» analysen baserer seg på, med tanke på hvor dypt ned komponentene ses på. Selv om dette er noe prosjektgruppen utfører på en forenklet måte, var dette noe av det mest tidskrevende i analysen.



Flytskjema 4.1 Oversikt traverskran

Flytskjema 4.1 viser startmetoden på den anvendte forenklingen, hvor det ble laget en oversikt over systemet. Hovedsystemet øverst i hierarkiet, traverskranen, etterfulgt av hovedsystemets delsystemer. Hierarkiet går videre ut fra løpekatt øst hvor man finner delsystemet valgt, heismaskineriet, samt dens komponenter som vil være vesentlige å få oversikt over for kommende arbeid i analyseprosessen.

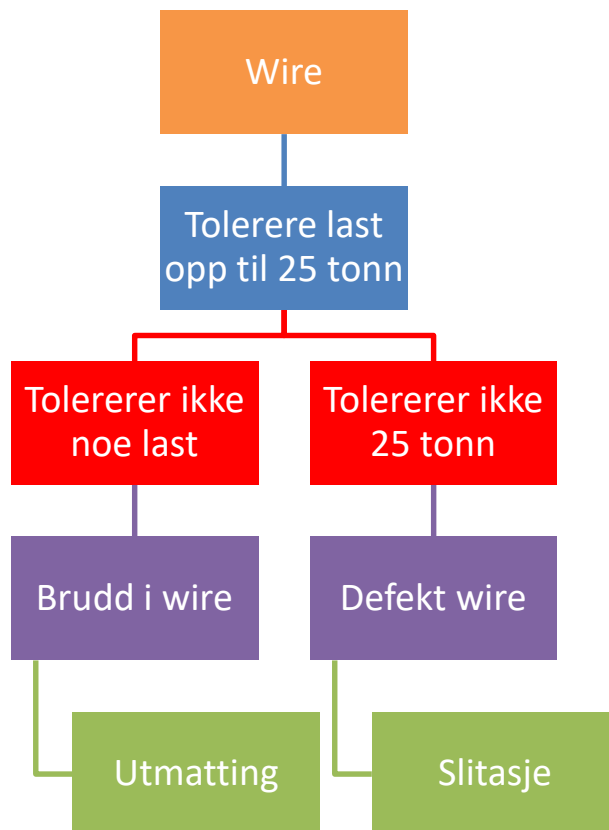
For å øke forståelse over systemet og for å sørge for at alle funksjoner er vurdert og ivarettatt, ble det laget funksjonstrær for hver komponent i dette oversiktstree. Flytskjema 4.2 viser funksjonstree for hovedsystemet, traverskran, som et eksempel på dette.



Flytskjema 4.2 Funksjonstre (traverskran)

Disse generelle funksjonstrærne ble laget videre for rad 1-3 i Flytskjema 4.1. For komponentene til delsystemet valgt (rad 4 i samme flytskjema), ble det laget et utvidet funksjonstre som også inkluderer feilmoder og feilårsaker. Med forståelse for funksjoner, feilmoder og feilårsaker for underkomponentene til heismaskineriet, vil man øke forståelse for tilsvarende for selveste heismaskineriet.

Flytskjema 4.3 under viser det utvidede funksjonstreet for heismaskineriets wire som et eksempel på dette.



Flytskjema 4.3 Utvidet funksjonstre (wire)

Delsystemet valgt i prosjektet, heismaskineriet, ble vurdert til å ha én funksjon. Etter fullføring av funksjonstrær for hele systemet og en oversikt for økt systemforståelse var etablert, ble heismaskineriet ført inn i et eget hierarki med hovedsystemet og videreført med mulige feilmoder og feilårsaker for funksjonen. Utførelsen av FMECA bygger videre på Flytskjema 4.4 som vises under.



Flytskjema 4.4 Utvidet oversikt- og funksjonstre for valgt delsystem

4.2 FMECA – Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse

Ut i fra Flytskjema 4.4 startet arbeidet med utarbeiding av FMECA, som er punkt 4 i en RCM-analyse. Dette ble utført i Microsoft Excel sammen med MTA og MIA (punkt 5), som et eget produkt ønsket av Hydro. Kapittel 3.3.1 forklarer hva en FMECA skal inneholde, og at hver FMECA kan utføres på forskjellige måter. Valgt løsning i dette prosjektet skal beskrives videre i dette kapittelet.

4.2.1 Feilmoder

Tabell 4.1 RCM - FMECA – feilmoder [Vedlegg A: RCM-analyse]

Beskrivelse av feil			
Funksjon	Feilmode	Feilårsak	Feilmekanisme
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker ikke	Motorstopp grunnet lagerhavari	Slitasje
		Motorstopp grunnet rotor-/statorfeil	Vibrasjon
		<i>Motorstopp grunnet el.syst.feil</i>	
		Motorstopp grunnet viftefeil	Forurensing
		Motorstopp grunnet brudd i aksling	Utmatting
		Brems grunnet låst i lukket stilling	Korrosjon
		<i>Brems grunnet el.syst.feil</i>	
		Kobling grunnet brudd	Utmatting
		<i>Endebryter grunnet el.syst.feil</i>	
		Gir grunnet brudd i aksling	Utmatting
		Gir grunnet lagerhavari	Slitasje
		Gir grunnet tannhjulshavari	Slitasje
		Trommel grunnet lagerhavari	Slitasje
		Trommel grunnet feilspolt wire	Slitasje
		Wire grunnet brudd	Utmatting
			Overbelastning
		Trinse grunnet lagerhavari	Slitasje
Trinse grunnet brudd i aksling	Utmatting		
Krok grunnet brudd	Utmatting		

Tabell 4.1 viser et utdrag fra Excel arket med de første kolonnene i FMECA analysen, som viser heismaskineriets funksjon, en valgt feilmode og feilårsakene til denne feilmoden. Hver feilmode er fremstilt med feilårsaker som dette videre nedover radene i Excel arket.

Det er her, i forbindelse med feilårsakene, de utvidede funksjonstrærne for underkomponentene til heismaskineriet var til ekstra nytte. Ref. Flytskjema 4.3 i kapittel 4.1.2.

4.2.2 Effekter

Tabell 4.2 RCM - FMECA – effekt [Vedlegg A: RCM-analyse]

Effekt	
På heismaskineri	På traverskran
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)
Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)

Tabell 4.2 viser et utdrag fra Excel arket med de videre kolonnene i FMECA analysen, som viser effektene vurdert på heismaskineriet og på traverskranen ut fra feilmoden. Dette er kolonnene etterfulgt av kolonnene i Tabell 4.1.

Effektene er vurdert ut ifra 3 kriterier: «Stopp», «påvirker» og «påvirker ikke». Tilleggsinformasjon er lagt til i parenteser for mer utfyllende beskrivelse.

I dette utdraget viser radene samme konklusjon, «stopp» for både heismaskineri og traverskranen. Dette kommer av at utdraget er fra feilmoden vist i Tabell 4.1, som er «heiser/senker ikke». Dette tilsvarer fullt stopp i systemet, og at hverken heismaskineriet eller traverskranen får utført sin funksjon. For neste feilmode, «heiser/senker for lite» vil effekten bli «påvirker (klarer ikke løfte 25tonn)» for heismaskineriet og «påvirker (får kanskje ikke krysset)» for traverskranen.

Utdraget fra Tabell 4.2 viser noen blanke rader som vi ser ikke er blanke i Tabell 4.1. Dette kommer av de kursive linjene fra Tabell 4.1, hvor feilårsaken refererer til «el.syst.feil» (feil i elektrisk system). Dette er et eget system som krever en egen FMECA analyse, og blir derfor ikke analysert her. Videre tabeller vil derfor ha de samme blanke radene. En av kolonnene helt i enden har et «annet» felt markert med «kommentar» hvor egen analyse refereres til.

4.2.3 Kritikalitetsanalyse før MTA og MIA

Tabell 4.3 RCM - FMECA - kritikalitet før MTA [Vedlegg A: RCM-analyse]

Kritikalitet før		
Frekvens	Feileffekt gradering	Kritikalitet
Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
-	-	-
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium

Tabell 4.3 viser et utdrag fra Excel arket med de neste kolonnene i FMECA analysen, som viser kritikalitetsanalysen utført før MTA og MIA. Det vil si, før delen av RCM-analysen som omhandler vedlikeholdsbeslutning er tatt i betraktning.

Dette er vurdert ut ifra en kritikalitetsmatrise laget av prosjektgruppen, med utgangspunkt i Hydro sin matrise, vist i Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Kritikalitetsmatrise

Frekvens > Feilrate ^v	Sjeldent (1/10+år)	Sannsynlig (1/år)	Ofte (1/mnd.)
Kritisk	Medium	Høy	Høy
Stor	Lav	Medium	Medium
Liten	Lav	Lav	Medium

Vurderingen av frekvens står beskrevet i parenteser i matrisen, mens vurderingen av feilraten krever mer plass og viser ikke i matrisen. Feilraten ble vurdert ut ifra følgende kriterier:

- **Kritisk:** En feil som reduserer systemets funksjonsevne utover akseptable grenser, og som kan medføre en uakseptabel tilstand, enten operasjonelt eller sikkerhetsmessig.
- **Stor:** En feil som reduserer systemets funksjonsevne utover akseptable grenser, men som kan ivaretas eller kontrolleres med egnede tiltak.
- **Liten:** En feil som ikke reduserer systemets funksjonsevne mer enn det som normalt tillates.

Utdraget i Tabell 4.3 viser kun eksempler på tilfeller som er vurdert som kritiske. Dette grunnet feilmoden eksemplene er tatt i fra, som er «heiser/senker ikke». Dette ble vurdert til en uakseptabel tilstand operasjonelt, ettersom hverken delsystemet eller hovedsystemet får utført sin funksjon dersom feilmoden oppstår. Videre vil dette føre til en del kritikalitetsvurderinger i kategorien «medium» og «høy». Et av målene med analysen er å innføre vedlikehold som skal redusere denne kritikaliteten. Etter at vurdering av vedlikehold, MTA og MIA, er utført, vil denne reduksjonen av kritikalitet vises med en ny kritikalitetsanalyse. Diagram 4.1 viser vurdert kritikalitet før vedlikeholdsplanen er innført, for alle feilmode og feilårsakene i FMECA analysen.

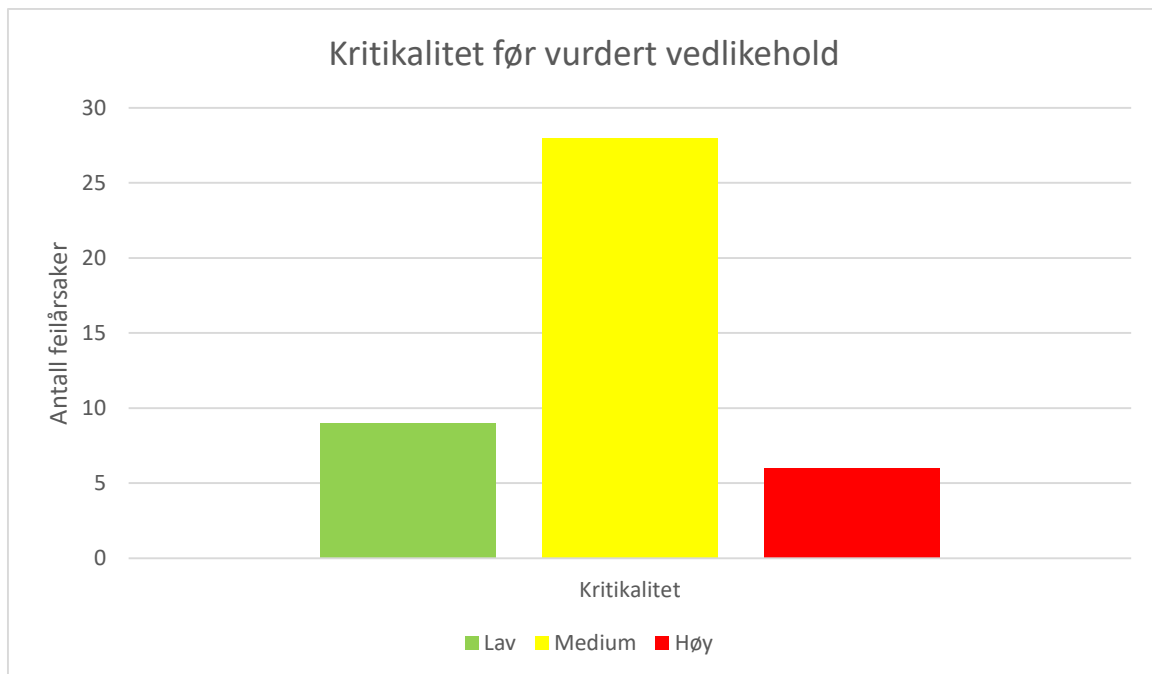
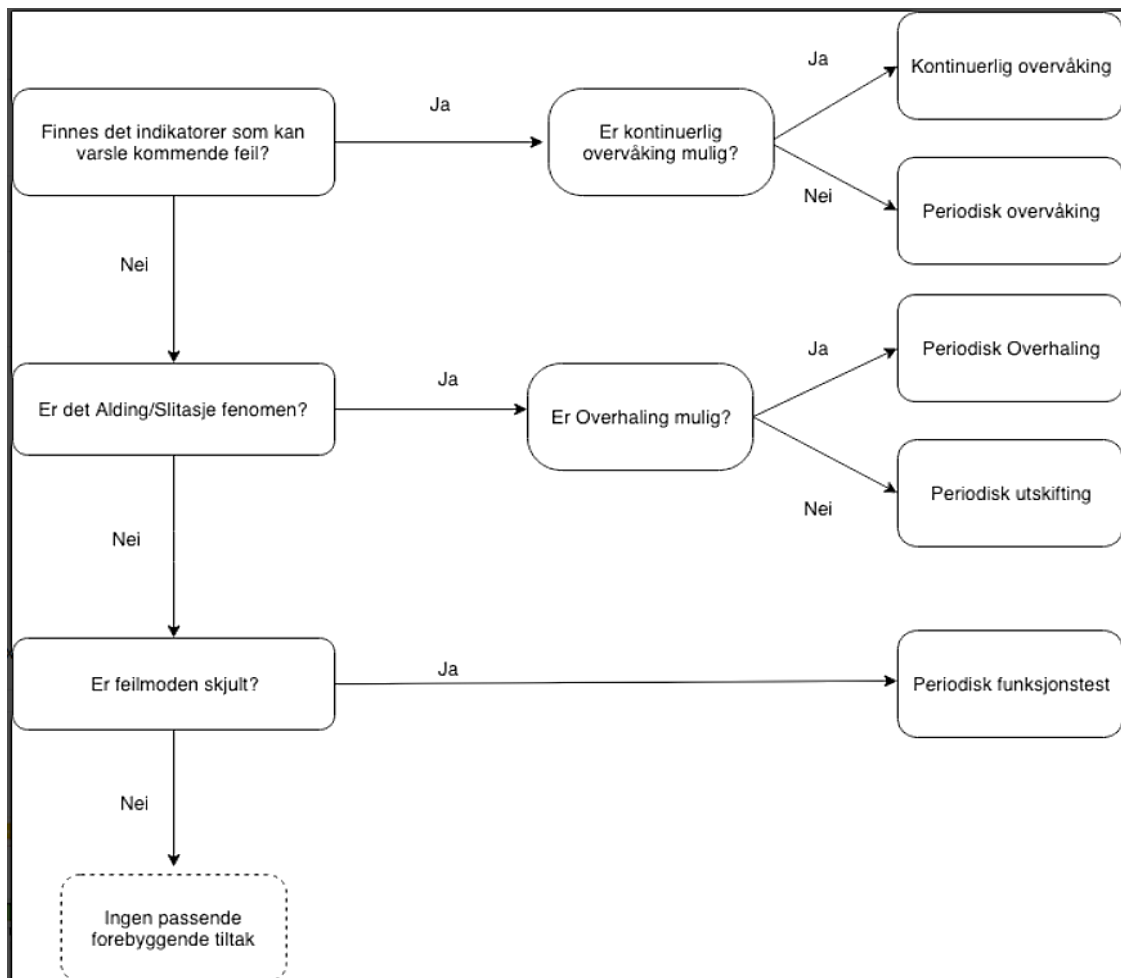


Diagram 4.1 Kritikalitet før vurdert vedlikehold

4.3 Analyse av vedlikeholdsoppgaver (MTA) samt intervallforslag (MIA)

Som nevnt i kapittel 3.2.5 og vist i Figur 3.2, brukes det RCM-beslutningslogikk for å bestemme vedlikeholdsoppgaver. Beslutningslogikken anvendt i denne analysen vises i Figur 4.2.



Figur 4.2 Beslutningslogikk vedlikeholdsstrategi [18] Rekonstruert av gruppen

Analyse av vedlikeholdsoppgaver, MTA, er trinn 5 i en RCM prosedyre. Måten det ble utført på i dette prosjektet var med et flytskjema med beslutningslogikk fra M.Rausand, vist i Figur 4.2. Dette er koblet sammen med kolonnen for «Beslutningsstrategi» i Tabell 4.5. Her er hver rute med «J» eller «N» svarene på spørsmålene i Figur 4.2.

Rutene helt til høyre i Figur 4.2 vil være den anbefalte vedlikeholdsstrategien. Denne noteres under neste kolonne i Tabell 4.5, under «strategi mulig». Dersom det velges annen strategi enn anbefalt er dette notert i neste kolonne, under «annen strategi valgt». Kolonnen etter med «beskrivelse» angir utfyllende informasjon om vedlikeholdsstrategien valgt. Tabell 4.5 viser forskjellige eksempler på dette; som hvilken type sensor anbefalt eller om det skal utføres kontroll eller visuell inspeksjon.

Tabell 4.5 RCM - MTA (og MIA) [Vedlegg A: RCM-analyse]

Vedlikeholdsanalyse										
Beslutningsstrategi					Strategi mulig	Annen strategi valgt	Beskrivelse	Intervall		
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon +soft start/stop	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Sensor for temperatur	Kont.		
N	N	N			Ingen passende forebygging	RTF	→Utskiftning			
N	N	J			Periodisk funksjonstest	Periodisk overvåkning	Kontroll av brems	6 mnd.		
N	N	N			Ingen passende forebygging	RTF	→Utskiftning			
N	N	N			Ingen passende forebygging	RTF	→Utskiftning			
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Sensor (partikkel, avstand?)	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon av lager	12 mnd.		
N	J	N			Periodisk utskiftning	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon spor på trommel	12 mnd.		
N	N	N			Ingen passende forebygging	Kontinuerlig overvåkning	Telleverk driftstimer > bytt wire	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning		Veiecelle og overlastbryter	Kont.		
J	J				Kontinuerlig overvåkning	Periodisk overvåkning	Inspeksjon av lager	12 mnd.		
N	N	N			Ingen passende forebygging	RTF	→Utskiftning			
N	N	N			Ingen passende forebygging	RTF	→Utskiftning			

Tabell 4.5 viser et utdrag av Excel arket med kolonnene etter FMECA analysen, som inneholder analyse av vedlikeholdsoppgaver og vurdering av vedlikeholdsintervaller.

Eksempel fra rad 1 «beslutningsstrategi»:

Finnes det indikatorer som kan varsle kommende feil? → Ja → Er kontinuerlig overvåking mulig? → Ja → Kontinuerlig overvåking anbefales valgt som vedlikeholdsstrategi.

Denne raden omhandler «heiser/senker ikke» med feilårsak «motor grunnet lagerhavari», og kan overvåkes kontinuerlig med hjelp av sensor for vibrasjon. Dette vurderes som aktuelt både kostnadmessig og relevant for å redusere kritikalitet, og velges dermed som vedlikeholdsstrategi i analysen.

For noen av disse anbefalte strategiene velges det likevel en annen strategi. Dette velges av prosjektets utførende studenter, ut fra kunnskapen de har tilegnet seg i forbindelse med kostnad, kritikalitetsvurdering og hva som er mest tenkelig å utføre i praksis. Eksempelvis er mange av feilårsakene med utmatting som feilmekanisme, vurdert til RTF («*Run to failure*»). Dette kommer av at utmatting er noe man ikke kan overvåke, teste eller overhale, og det skjer så sjeldent om det skjer i det hele. Dermed vil det være mer kostnadseffektivt med RTF.

Forslag til intervall (MIA):

Vurdering av vedlikeholdsintervall er trinn 6 i en RCM-analyse. Kun siste kolonne i Tabell 4.5 består vurdering av vedlikeholdsintervall, med overskrift «intervall». Det er nevnt i forbindelse med prosjektets begrensninger at enkelte trinn vurderes av gruppen som nødvendige å utføre, men vil ikke utføres fullverdig. Dette gjelder blant annet vurdering av vedlikeholdsintervall. Dette er en svært krevende prosess som dette prosjektet har begrenset forkus på grunnet tid, men har fremstilt et svært forenklet forslag til for å få en mer fullverdig vedlikeholdsplan.

Feilene som er vurdert til kontinuerlig overvåkning blir alltid overvåket med sensor, og er derfor markert med «kont.» ettersom det ikke kreves noe intervall. Videre er 3, 6, 12 og 24 mnd. brukt. Dette er vurdert av prosjektets utførende studenter, med hensyn til grad av kritikalitet.

4.3.1 Kritikalitetsanalyse etter MTA

Tabell 4.6 RCM - Kritikalitet etter MTA [Vedlegg A: RCM-analyse]

Kritikalitet etter		
Frekvens	Feileffekt gradering	Kritikalitet
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium
Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium

Tabell 4.6 viser utdrag av de neste kolonnene, som angår kritikalitetsanalyse etter MTA er utført. Dette er noe prosjektets utførende studenter har gjort som et tillegg i analysen for å fremstille hvilken forskjell godt vurdert vedlikehold kan utgjøre i forbindelse med feilmodenes kritikalitet.

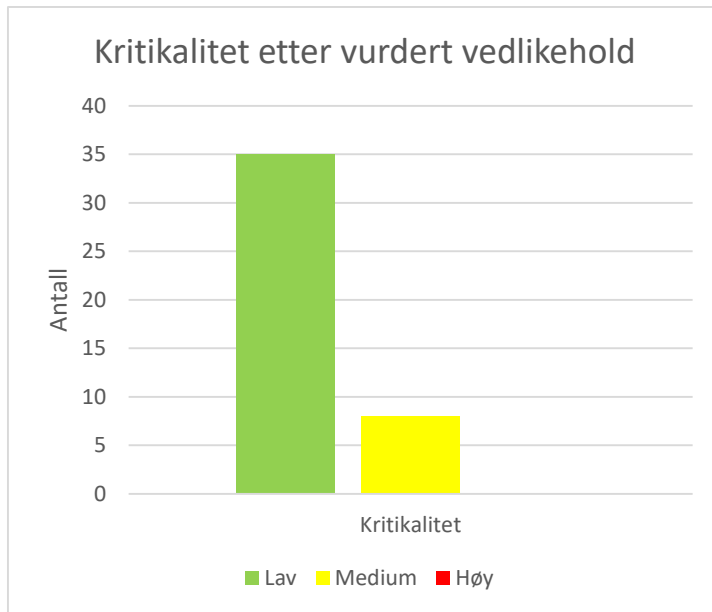


Diagram 4.2 viser vurdert kritikalitet etter at plan for vedlikehold er innført, for alle feilmode og feilårsakene i FMECA analysen. Dette tilsvarer en tydelig reduksjon i medium og høy kritikalitet, og økning i lav kritikalitet.

For å se tydelig forskjell på kritikalitet før og etter vedlikehold, samles disse statistikkene i et felles diagram. Se Diagram 4.3.

Diagram 4.2 Kritikalitet etter vurdert vedlikehold

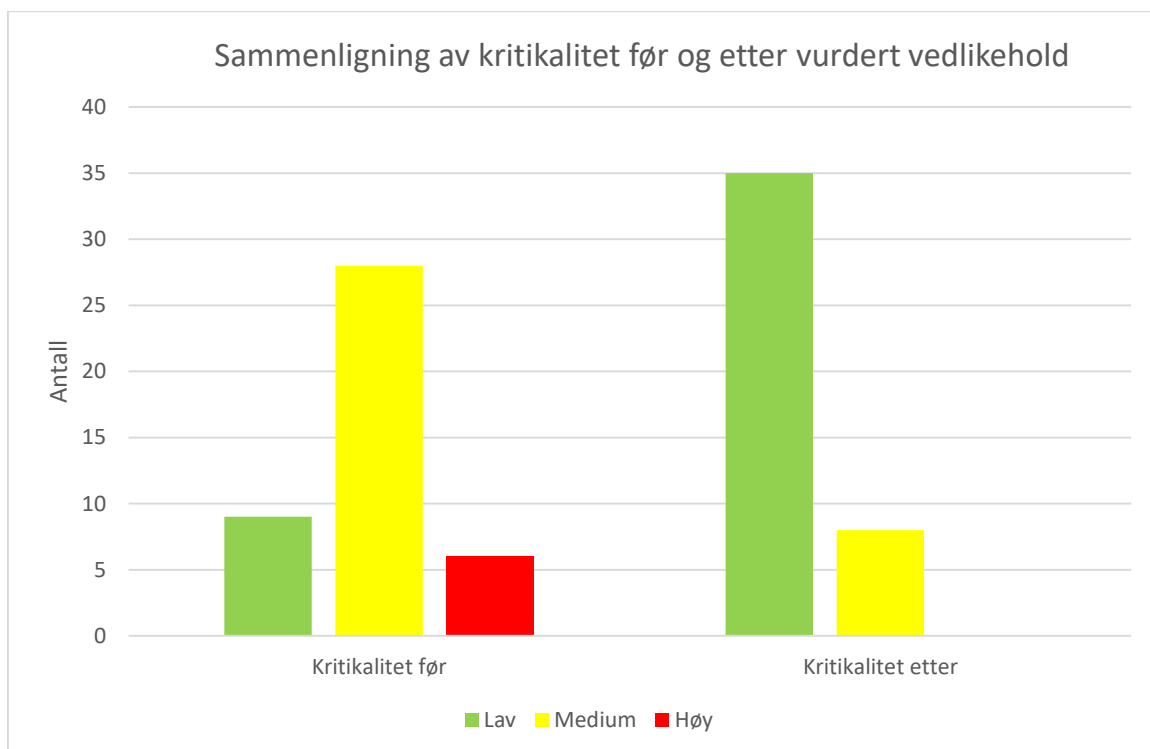


Diagram 4.3 Sammenligning av kritikalitet før og etter vedlikehold

4.4 RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram

4.4.1 Tradisjonelt vedlikeholdsprogram

Det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet for løpekatten er vist i vedlegg C. Det som er aktuelt for heismaskineriet som gjennomgås i dette prosjektet, er 4 av disse vedlikeholdsaksjonene, vist i Tabell 4.7.

Tabell 4.7 Vedlikeholdsaksjoner fra tradisjonelt vedl.prog. katt øst [Vedlegg C: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran Katt øst, Hydro]

Intervall	Komponent	Vedlikehold
6.mnd	Løfte vinsj brems	Sjekk om bremsen er i god stand. Hvis nødvendig, løse problemet, følg alle produsentens spesifikke instruksjoner
12.mnd	Supporting winch barrel	Smør lager
12.mnd	Winch reduction gear	Sjekk oljenivå, fyll på olje om nødvendig
36.mnd	Fixing of gear-motors	Kontroll av skrueforbindelser

I tillegg inngår endebrytere og lastbegrensningsanordning på heismaskineriet i det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet for elektrisk anlegg, fra vedlegg D. Disse viser i Tabell 4.8. Dette øker totalantallet med 3; fra 4 til 7 stk. vedlikeholdsaktiviteter for heismaskineriet.

Tabell 4.8 Vedlikeholdsaksjoner fra tradisjonelt vedl.prog. elektrisk anlegg [Vedlegg D: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran elektrisk anlegg, Hydro]

Intervall	Komponent	Vedlikehold
6.mnd	Limit switches	Funksjonstest av endebrytere
6.mnd	Proximity switches	Funksjonstest av endebrytere
60.mnd	Load limiting device	For vedlikehold av lastbegrensningsanordningen, se produsentens bruksanvisning

4.4.2 Vedlikeholdsprogram fra RCM-analyse

Vedlikeholdsprogrammet med periodiske tiltak fra RCM-analysen oppstilles strukturert i Tabell 4.9.

Ettersom RCM-analysen ikke tar hensyn til smøresystem eller elektrisk system, og sensorene skal sees videre på i gapanalysen i kapittel 4.3.3, er Tabell 4.9 en forkortet liste i forhold til totalt vedlikehold. Likevel inneholder vedlikeholdsaksjonene fra tabellen fire punkter mer enn det tradisjonelle vedlikeholdet.

Tabell 4.9 Forebyggende vedlikehold fra RCM-analyse [Vedlegg A: RCM-analyse]

Intervall	Komponent	Vedlikehold
3.mnd	Wire	Visuell inspeksjon
6.mnd	Brems	Kontroll av brems
12.mnd	Trommel	Visuell inspeksjon av lager
	Trommel	Visuell inspeksjon spor på trommel
	Trinse	Inspeksjon lager
	Motor	Måle parallellitet
	Kobling	Kontroll av slitasje på kobling
24.mnd	Krok	Kontroll av slitasje på krok
	Trommel	Kontroll av sikring
	Wire	Bytte wire

Dersom man skal se bort i fra smøresystem og elektrisk system også i det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet, må to av de fire radene i Tabell 4.7 ses bort ifra da disse gjelder smøring, samt begge de to radene i Tabell 4.8 må ses bort i fra da disse begge gjelder elektrisk (sensorering). Da sitter man igjen med kun to vedlikeholdsaktiviteter i det tradisjonelle sammenlignet med prosjektgruppens RCM med totalt ti vedlikeholdsaktiviteter med de samme begrensningene.

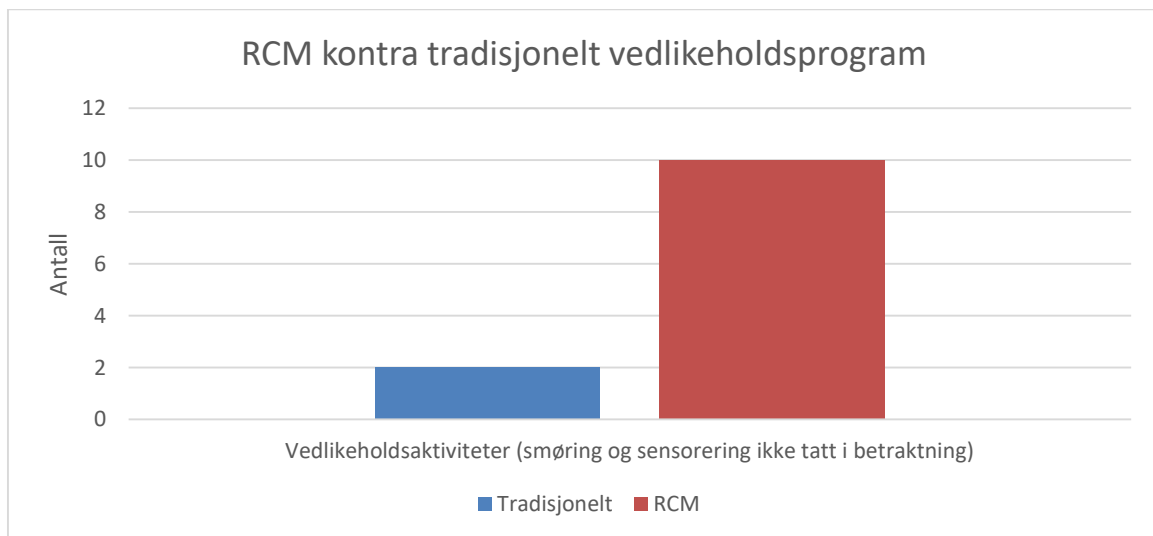


Diagram 4.4 RCM kontra tradisjonelt vedlikeholdsprogram

4.4.3 Gapanalyse av sensorer på Ascom kran

Det er her foretatt en gapanalyse av sensorene på Ascom kranen, hvor det sees på differansen av antall sensorer i det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet mot sensorer anbefalt etter utført RCM-analyse. Dette er anbefalinger med formål å innrette systemene og vedlikehold mot Industri 4.0, og gapanalysen utføres henholdsvis for å påpeke hvor man er i dag i forhold til hvor man ønsker å være.

På Ascom kranen er det i dag to sensorer som henger tett sammen, disse sensorene har dog ingen «output» i den forstand at det ikke går an å ta ut data fra dem. Sensorene måler henholdsvis strekk i wire og omformer dette til et elektrisk signal som vil leses av som vekt likt en vanlig «baderomsvekt». Den andre måler/teller antall løft på f.eks. 35 tonn og regner ut en «*remaining life*» for wire. Sensoren for *remaining life* ble ikke installert av Ascom, men ble etterinstallert av Westcon Løfteteknikk.

RCM-analysen fremstiller flere sensorer som aktuelle for installering på kranen. Det vises et sammendrag av disse i Tabell 4.10.

Tabell 4.10 Sensorsammendrag fra RCM-analyse

Komponent	Aktuelle sensorer
<i>Motor</i>	Vibrasjon / Temperatur
<i>Gir</i>	Vibrasjon / Partikler eller avstand
<i>Wire</i>	Telleverk / Veicelle / Overlastbryter
<i>Brems</i>	Bremsebelegg

Som Tabell 4.10 fremstiller, anbefaler studentene 8 forskjellige sensorer: 2 stk. på motor, 2 stk. på gir, 3 stk. på wire og 1.stk på brems.

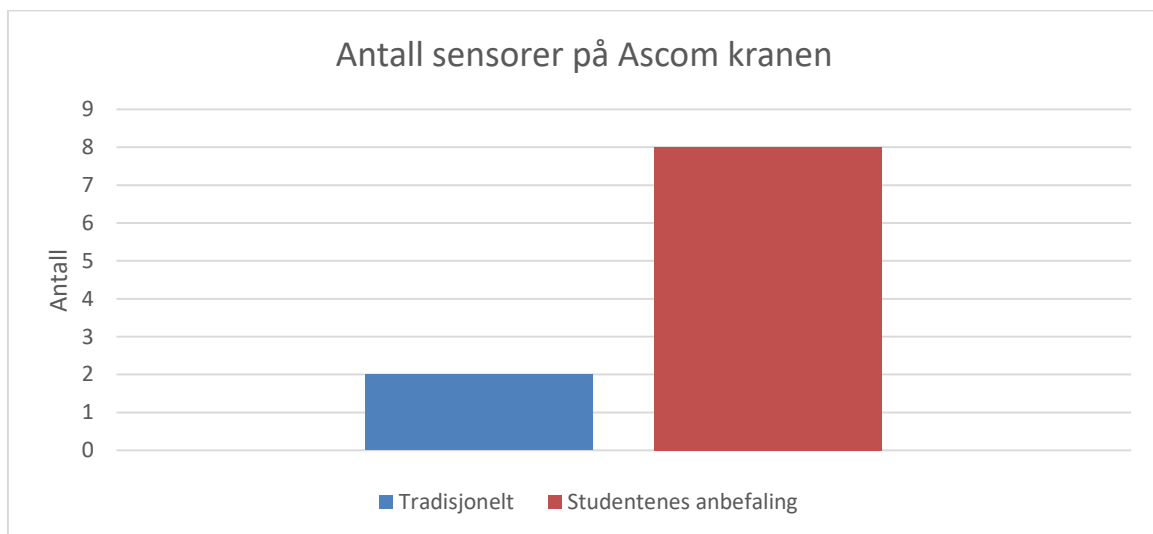


Diagram 4.5 Antall sensorer på Ascom kranen

Diagram 4.5 viser forskjellen på sensorer på det opprinnelige designet av kranen (blått), og studentenes anbefalte sensorer (rødt). Dette tilsvarer et gap på 6 stk. sensorer, og vil gi en vesentlig forskjell på antall komponenter og eventuelle feilmøder som overvåkes kontinuerlig.

Tanken med disse sensorene er som beskrevet for å innrette systemene inn for fremtiden innenfor vedlikehold med Industri 4.0. Kranens opprinnelige løsning er dermed ikke designet spesielt for dette, men RCM-analysens vurderinger utgjør et mer fremtidsrettet vedlikehold for kranen.

5. Prosjektets anbefalte sensor for implementering mot Industri 4.0

Prosjektgruppen anbefaler i hovedsak de 8 sensorene som fremvist i RCM-analysen i vedlegg A og fremstilt i Tabell 4.10, for å implementere kranen mot Industri 4.0. Likevel presenteres det en anbefaling av den sensoren som vurderes til viktigst, for første prioritet til installering på kranen. Dette vurderes ut ifra feilmodens kritikalitet, og vil forklares nærmere i videre kapittel.

5.1 Prosessen for valg av sensor

De aktuelle sensorene til første prioritets anbefaling, vil være de som er kategorisert som «Høy» under «Kritikalitet» i RCM-analysen (Vedlegg A). Det ble funnet 3 sensorer under kritikaliteten høy:

1. Vibrasjonssensor for å unngå motorstopp grunnet lagerhavari som fører til heiser/senker ikke
2. Veicelle og overlastbryter for å unngå brudd i wire som fører til heiser/senker ikke
3. Måling av bremsebelegg for å unngå nedslitt bremsebelegg som fører til heiser/senker for raskt

Disse 3 mulige sensorene må gjennomgås hver for seg for å kunne konkludere med den viktigste. Til dette ble informasjon fra RCM-analysen brukt:

1. Effekt på heismaskineri: Stopp (får ikke hevet/senket)
Effekt på traverskran: Stopp (får ikke krysset)
Kritikalitet oppnådd etter sensortiltak: Lav
2. Effekt på heismaskineri: Stopp (får ikke hevet/senket)
Effekt på traverskran: Stopp (får ikke krysset)
Kritikalitet oppnådd etter sensortiltak: Lav
3. Effekt på heismaskineri: Påvirker (heiser/senker over maks hastighet)
Effekt på traverskran: Påvirker (upresis kjøring, fare ved posisjonering)
Kritikalitet oppnådd etter sensortiltak: Lav

Ut fra disse vurderingene ser man at alle 3 sensorene skal føre til «lav» kritikalitet ved installering av anbefalt sensor, og tilsier ikke at en er viktigere enn en annen. Det som utgjør en forskjell her, er effekten på heismaskineri og traverskranen. Sensor nummer 3 (bremsebelegg) tas her bort fra vurderingen, ettersom effekten går under «påvirker». Sensor nummer 1 og 2 har effekt vurdert til «stopp», som er en høyere grad enn «påvirker» og vil derfor prioriteres først.

For å vurdere videre valg mellom sensor 1 og 2, ble det sett på hvor mange andre feilmoder denne sensoren ville forhindre ut i fra RCM-analysen.

1. Foruten om hovedårsaken, «heiser/senker ikke» grunnet «motorstopp grunnet lagerhavari», forhindrer også vibrasjonssensor følgende:
 - «Heiser/senker ikke» grunnet «motorstopp grunnet rotor-/statorfeil» (medium kritikalitet)
 - «Heiser/senker for lite» grunnet «motor grunnet lagerhavari» (medium kritikalitet)
 - «Heiser/senker for lite» grunnet «motor grunnet rotor-/statorfeil» (medium kritikalitet)
 - «Heiser/senker for sakte» grunnet «motor grunnet lagerhavari» (medium kritikalitet)
 - «Heiser/senker for sakte» grunnet «motor grunnet rotor-/statorfeil» (medium kritikalitet)
2. Foruten om hovedårsaken, «heiser/senker ikke» grunnet «wire grunnet brudd», er det ingen andre feilmøder i RCM-analysen som forhindres direkte med installering av veiecelle og overlastbryter.

Disse vurderingene viser at sensor nummer 1, vibrasjonssensor på motor, er den viktigste å installere først. Denne forhindrer ikke bare hovedårsaken som er vurdert som kritisk, men i tillegg fem andre feilårsaker som er vurdert til medium kritikalitet.

5.2 Vibrasjonsmåling

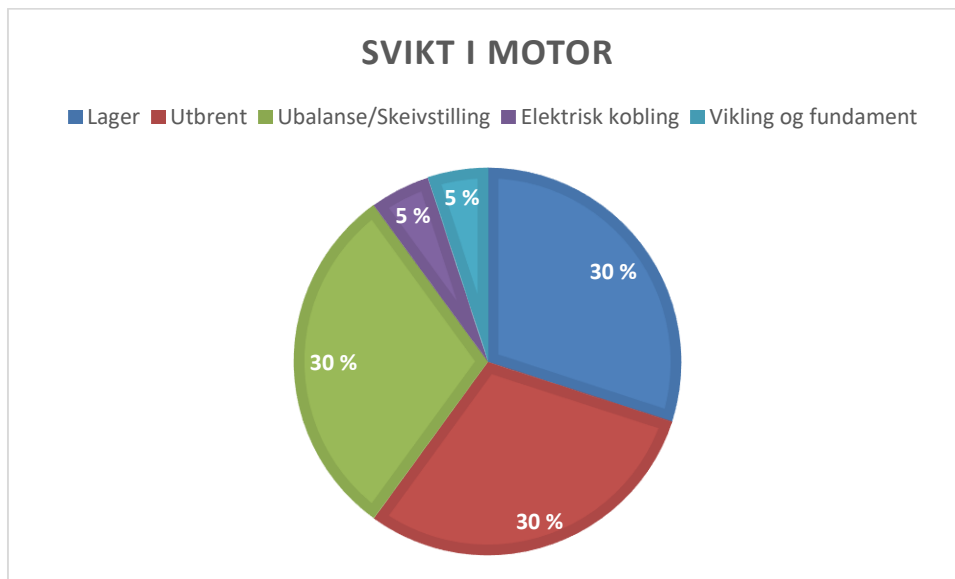
Ifølge M.Rasmussen er vibrasjonsovervåking mye brukt innen industrien for å bedømme maskineriets driftstilstand. Det har lenge vært kjent at en økning i vibrasjonsnivå indikerer en kommende feil, og den første standarden publisert om dette temaet var allerede i 1939. Denne standarden bedømmer tilstanden eller skaderisikoen ut ifra vibrasjonsmålinger. Grunnlaget for å benytte vibrasjon som en tilstandsindikator er at en del av kreftene som skal gå igjennom maskineriet vil virke på selve maskineriet. For at vibrasjonen skal kunne måles må materialet ikke være for fleksibelt eller stivt. Grunnen til dette er at hvis det er for stivt eller fleksibelt, vil ikke materialet overføre kreftene slik at en vibrasjon kan oppstå og måles. Når disse kravene er møtt vil kreftene forplante seg gjennom maskineriet å skape en vibrasjon.

Når en skade oppstår kan en av to ting skje:

1. Skaden fører til en økning av krefter som går gjennom maskineriet
2. Skaden fører til at maskineriet «letter» kan settes i bevegelse

Dette vil føre til en økning i vibrasjonsnivå som vil være en indikator på kommende feil. Erfaring fra industrien viser at før en feil oppstår øker vibrasjonene i 90% av tilfellene.

[8, p. 7.1]



Figur 5.1 Årsaker for svikt i motor [36, p. 269] Rekonstruert av gruppen

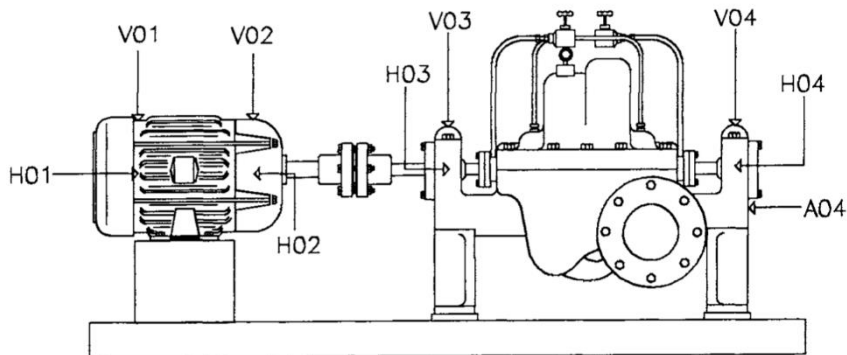
Vibrasjon er svingende bevegelser av et fast materiale om et referansepunkt eller stilling. Antall svingninger per sekund vil danne en frekvens, som måles i hertz (Hz).

Vibrasjonsmåling kan foregå på en av to ulike metoder:

1. Måle forskyvningen mellom to komponenter (F.eks. mellom aksling og lager)
2. Måle den absolutte vibrasjonen til komponenten

Den vanligste plasseringen av måleren er utenpå lagerhuset. Måleren må da plasseres nær overføringspunktet for de kreftene som forårsaker vibrasjon. Den mest benyttede typen måler for plassering utenpå godset er akselerometer. En vanlig type av dette er piezoelektriske akselerometer. Denne typen er relativt simpel, billig og enkel å installere.

Det er ikke alltid man er interessert i den absolutte vibrasjonen, men heller ønsker å se på den relative forskyvningen mellom ulike maskinkomponenter. Dette er særlig vanlig når man ser på bevegelsen av akselen i forhold til lageret. For å måle dette brukes ofte forskyvningsmåler, som gjerne er plassert i eller nær lageret. Somregel installeres to målere 90 grader på hverandre, som fører til at akselens senterbane kan måles. Det monteres også en fasemarkering for å plassere banen riktig rotasjonsmessig. [8, pp. 7.8-7.10]



AO = Axial Orientation, HO = Horizontal Orientation, VO = Vertical Orientation

Figur 5.2 Målingspunkter for vibrasjonsmåling [22, p. 75]

Figur 5.2 viser tydelig at det settes to sensorer sammen med 90 graders vinkel. Her henger H01 sammen med V01, H02 sammen med V02 og tilsvarende for 3 og 4.

Ved bruk av vibrasjonsmålere på en traverskran må det tas hensyn til de andre kranene, om det skulle være noen som går på samme løpebane. Dette kommer av at de andre kranene vil lage frekvenser som vil leses av vibrasjonsmåleren. Når det skal settes spesifikke grenser for hva som er tillatt frekvens for å avdekke feil, må dette tas spesielt hensyn til, og vil gjøre grensesettingen mer komplisert enn med andre tilfeller. Dette kan eksempelvis utføres ved å sette ulike grenser etter hvor kranen befinner seg på banen. Grensene kan være høyere der sannsynligheten for å komme i nærkontakt med en annen kran er større.

Grunnet ekstrem magnetisme og andre forhold, som nærliggende kraner i teknologipiloten, har gruppen ikke sett på hvilke spesifikke type vibrasjonsmåler som bør installeres. Hydro tar selv hensyn til dette ved bestilling av vibrasjonssensor. Det finnes flere leverandører av sensorer, som også tilbyr totalløsninger innen tilstandskontroll; blant annet SKF, IKM, ABB og Distrutive Technologies.

6. Hovedutfordringen med Industri 4.0

Foruten de mange fordelene ved Industri 4.0, må også selskapene takle visse risikoer som følger med det nye organisatoriske konseptet. Disse inkluderer IT-sikkerhet, tilgjengelighet av utstyr og datasikkerhet.

Risikoen kan deles inn i to hovedkategorier: IT-sikkerhet og nettstabilitet. IT-sikkerheten til industrielle kontrollsystemer (ICS) kan kompromitteres grunnet integrering av eksterne nettverk (inkludert internett) og et høyere antall tilgangspunkter. Dette kan føre til forstyrrelser forårsaket av manipulering, *cyberhacking* samt menneskelige feil og programvarefeil. Nettverksstabiliteten kan kompromitteres grunnet et høyt antall hovedbrukere (ofte med forskjellige funksjoner og autorisasjoner) som fører til høyere nettverksbelastning, samt risikoen for gjensidig blokkering eller motstridende operasjoner. Begge kan forårsake produksjonsforsinkelser, funksjonsforstyrrelser og utstyrssvikt. [23]

«For mange virksomheter har ikke oversikt over egne sårbarheter og hvilken risiko de er utsatt for, sier Annette Tjaberg, fungerende direktør i Nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSM)». [24]

20.mars 2019 ble rapporten for «Risiko 2019» lansert, som er NSMs årlige tilstandsrapport for norske virksomheter. Denne rapporten har pekt på 6 faktorer som er særlig viktige for å vurdere den totale risikoen virksomheter bør forholde seg til. Punkt 4 av disse er svært aktuell innenfor industriens utvikling i forbindelse med Industri 4.0.

Punkt 4 gjelder økende digitalisering uten at sikkerheten i løsningene bedres tilsvarende [24], og lyder som følgende i NSMs rapport:

«Funksjoner som i dag ikke er heldigitaliserte, eller tilgjengelige via en digital inngangsport, vil i stor grad bli det i fremtiden. Utilstrekkelig sikring av samfunns viktig informasjon og informasjonssystemer utgjør risiko for at trusselaktører kan få tilgang til langt flere av våre verdier fremover». [25]

6.1 Oppgaveendring grunnet utfordring med cyberhacking

I videre delkapitler har prosjektgruppen utført nærmere undersøkelser av utfordringen med *cyberhacking* i forbindelse med Industri 4.0. Dette er ikke definert i prosjektets oppgavetekst, men grunnet et faktisk cyberangrep på Hydro under bachelorskrivingen, måtte noen endringer foretas.

Hydro ble utsatt for cyberangrep 19.mars 2019, og det er fremdeles pågående konsekvenser av dette fire uker etter angrepsstart. Det var satt av et bestemt tidsrom for planlegging av installering samt installering av sensor. Grunnet angrepet blir ikke en del av oppgavestillingen i prosjektet utført, ettersom tiden ikke strekker til for å gjøre tilstrekkelige vurderinger for installering av sensor i forhold til kostnad av installeringen.

Gjeldende del, er:

«Bakgrunnen for Industri 4.0 skal forklares og det skal tas ut en feilmode som et eksempel på utførelse av dette. Eksempelet skal ta utgangspunkt i en sensor og fremlegge en forenkling av hvordan PLS innsamlede data kan visualiseres i et dashboard.»
[fra oppgavetekst]

Bakgrunnen for Industri 4.0 er forklart i kapittel 2. Det er valgt ut en feilmode som et eksempel med utgangspunkt i en sensor, som gjennomgås i kapittel 5. Utfordringen med følgende endring gjelder den forenklete fremleggingen av hvordan PLS innsamlede data kan visualiseres i et dashboard. Ved planlagt start av dette arbeidet, ble Hydro cyberangrepet og alt innenfor data var utilgjengelig. Da tilstanden var nærmere normalisert, ble tiden for knapp for planleggingen og utviklingen i forhold til kostnad på implementeringen av sensor. Det er en stor kostnad å installere nytt utstyr på allerede eksisterende maskineri, og det bør derfor være nok tid for en tilstrekkelig vurdering før dette vedtas og utføres.

Som en erstatning utfører prosjektgruppen nærmere undersøkelser innen utfordringer med *cyberhacking*. Hendelsen vil defineres nærmere i kapittel 6.3 som et virkelig og aktuelt eksempel på dagens type *cyberhacking*, etter en nærmere introdusering av temaet i kapittel 6.2.

6.2 Cyberhacking i forbindelse med Industri 4.0

Kapittel 2 introduserer Industri 4.0 som en overgang til en «smartindustri». Her beskrives IoT (*Internet of Things*) som en viktig hovedkomponent for Industri 4.0 konseptet. I dette begrepet inngår det at sending og mottak av informasjon skal foregå over internett og gi tilgang til store mengder data. Økt digitalisering gir flere sårbarheter innenfor IT-sikkerhet. *Cyberhacking* er en av de store risikoene med digitalisering, og kan kategoriseres i to deler: cyberspionasje og cybersabotasje.

Cyberspionasje brukes innenfor industrien for å skaffe informasjon og kompetanse. Spionasje kan skaffe sensitiv informasjon som kan misbrukes til for eksempel utpressing og politisk påvirkning. Cybersabotasje brukes innenfor industrien for å for eksempel slå ut kritisk infrastruktur som el-nett, kommunikasjonsnettverk, vannsystemer, industrielle kontrollsystemer, digitale maskiner etc. Dette kan for eksempel utføres for å kreve penger via utpressing, eller for å simpelthen sabotere. [26]

6.2.1 Utviklingen av cybertrusler

Det er interessant å se på hva som nøyaktig menes med «*cyber threat*» (cybertrussel). Det finnes en rekke definisjoner, men de har alle et felles underliggende budskap: Uautorisert tilgang til et system og tap av konfidensialitet, integritet, og/eller systemets tilgjengelighet, systemets data eller applikasjoner. [27]

Det første dataviruset ble sluppet for over 25 år siden. Cybertrusler har utviklet seg siden. Når man ser på trusselen mot industrielle systemer, er denne utviklingen bekymringsverdig grunnet tre hovedgrunner. For det første kommer de første angrepsvinklene fremdeles i felles databehandlingsplattformer. Dette betyr at den første inntrengningen av industrisystemer blir enklere gjennom utviklet og sofistikert skadelig programvare. For det andre er industrisystemene på lavere nivåer i økende grad målrettet. For det tredje fortsetter truslene å utvikle seg, og utnytter vellykkede teknikker fra tidligere skadelige programvarer, samtidig som de introduserer nye evner og kompleksitet.

Systemene er ekstremt sårbare, og kan betraktes som et tiår eller mer bak typiske bedriftssystemer når det gjelder modenhet innenfor cybersikkerhet. Dette vil si at når sikkerheten første er brutt, er det mest sannsynlig et suksessfullt angrep som vil være vanskelig eller umulig å omgjøre. Bedriftenes primære forsvarslinje forblir forretningsnettene som omgir dem og nettverksbaserte forsvar mellom hvert sikkerhetsnivå og nettverket. 20 prosent av hendelsene er rettet mot energi, transport og kritiske produksjonsorganisasjoner i henhold til 2013 *Verizon Data Investigations Report*. [27]

6.2.2 Statistikk fra databruddundersøkelser i 2018

Verizon sine «*Data Breach Investigations*»-rapporter (DBIR) inneholder mye statistikk og informasjon angående cybertrusler. Rapporten fra 2018 [28] viser at det var over 53000 sikkerhetshendelser det året, fordelt på 65 land, inkludert 2116 bekreftede databrudd. Rapporten viser atter en gang at cyberkriminelle fortsatt yter suksess med de samme prøvde og testede teknikkene, og ofrene gjør fremdeles de samme feiltakene. Det kommer frem at de fleste cyberkriminelle er motivert av penger, da 76% av bruddene var økonomisk motiverte.

Nesten tre fjerdedeler (73%) av cyberangrepene ble begått av utenforstående. Medlemmer av organiserte kriminelle grupper var bak halvparten av alle brudd, med nasjonalstat eller statlig tilknyttet aktører involvert i 12%. Ikke alle de angrepene er imidlertid utført av utenforstående, da over en fjerdedel (28%) av angrepene er interne. Internt russelsen kan være ekstra vanskelig å beskytte mot, ettersom det er vanskelig å se tegnene hvis noen bruker sine legitime tilganger til data til kriminelle formål. [28]

6.2.2.1 I industrien

Ser man på all industridata, er de fleste cyberangrep opportunistiske, altså en handling som skal gi fordeler for en selv. Men i produksjonsindustrien er 86% av angrepene målrettet, hvor målet ofte er planlegging, forskning og utvikling for nye løsninger. Nesten halvparten (47%) av brudd involverte tyveri av intellektuell eiendom, kunnskap, for å oppnå konkurransefordeler. [28]

Tabell 6.1 viser potensielle påvirkninger av et suksessfullt cyberangrep.

Type hendelse	Potensiell påvirkning
Endring i et system, operasjonssystem eller applikasjonskonfigurasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Kommando og kontroll kanaler introdusert inn i ellers sikre systemer - Undertrykkelse av alarmer og rapporter for å skjule ondartet aktivitet - Endring av forventet adferd for å produsere uønskede og uforutsigbare resultater
Endring in programmerbar logikk i PLS og andre kontrollsystemer	<ul style="list-style-type: none"> - Skade på utstyr og/eller fasiliteter - Svikt i prosessen («shutdown») - Deaktiverer kontroll over en prosess
Feilinformasjon rapportert til operatører	<ul style="list-style-type: none"> - Upassende handlinger tatt som svar på feilinformasjon som kan resultere i en endring av operasjonelle parametere - Skjule eller formørke ondsinnet aktivitet, inkludert hendelsen selv eller injisert kode
Tukle med sikkerhetssystemer eller andre kontrollere	<ul style="list-style-type: none"> - Hindre forventede operasjoner, fail safes, og andre sikkerhetsfunksjoner med potensielt skadende konsekvenser
Ondartet programvare (virus) infeksjon	<ul style="list-style-type: none"> - Innføring av flere hendessscenarier - Produksjonspåvirkning som følge av verdier tatt offline for analysering, rensing, og/eller erstatning - Midler utsatt for ytterligere angrep, informasjonstyveri, endring eller infeksjon
Informasjonstyveri	<ul style="list-style-type: none"> - Lekkasje av sensitiv informasjon som en oppskrift eller kjemisk formel
Informasjonsendring	<ul style="list-style-type: none"> - Endring av sensitiv informasjon som en oppskrift eller kjemisk formel for å sabotere eller på annen måte påvirke det fremstilte produktet negativt

Tabell 6.1 Potensielle påvirkninger av et suksessfullt cyberangrep [27] Oversatt og rekonstruert av gruppen

6.2.2.2 Ransomware / løspengevirus

Som nevnt er de fleste cyberangrep i industrien opportunistisk motiverte, og en av de skadelige programvarene som nå er mest utbredt er «ransomware» (løspengevirus). Cyberkriminelle trenger ikke å stjele data for å tjene penger – de kan bare hindre firmaene i å bruke dataen sin. Verizon så først løspengevirus i sin 2013 DBIR, og i 2018 rapporten var det blitt den mest utbredte typen av skadelig programvare. Løspengevirus er toppvalget av skadelig programvare, og er funnet i 39% av tilfellene der skadelig programvare er identifisert. Det har blitt så vanlig fordi det er lett å distribuere og kan være veldig effektivt. Man trenger ikke å være en mesterkriminell; et nybegynnersett rett fra hyllen tillater hvilken som helst amatør til å opprette og distribuere løspengevirus i løpet av minutter. Det er liten risiko eller kostnad involvert og det er ikke behov for å tjene penger på stjålet data.

Flere og flere cyberkriminelle ser ikke ut til å bare kryptere enkelt brukerenheter. De kan gjøre mye mer skade og tjene mye mer penger, med å kryptere en filserver eller database. Hvis man ikke er sikkerhetskopiert, kan de hacke virksomheter når de er offline.

[28]

6.2.3 Utsatte områder for cyberhacking

I boken «*Industrial Network Security*» [27] er det laget en tabell med informasjon om utsatte områder for *cyberhacking*; inkludert angrepsmåter, metoder og mulige konsekvenser. Denne tabellen inneholder alle områder i industrien som er digitalisert og dermed er sårbare for hacking. Prosjektgruppen har rekonstruert et utdrag i Tabell 6.2 som fremstiller de mest sentrale systemene som er innført digitalt grunnet økende automatisering av utstyr i forbindelse med Industri 4.0.

Angrepsmål	Angrepsvinkler	Angrepsmetoder	Konsekvenser
Tilstandsbasert overvåknings-system	<ul style="list-style-type: none"> - Underleverandørs PC - Fjerntilgang til vedlikehold - Anlegg (vedlikehold) nettverk - Programvare fra leverandør 	<ul style="list-style-type: none"> - Utnyttelse av ubeskyttede applikasjoner - Installering av skadelig programvare (virus) via ikke-validert programvare fra leverandør - Nettverkstilgang via usikre tilkoblingspunkt (kompressor/pumpehus) - Fjerntilgang VPN via stjalne eller kompromitterte underleverandør PC-er - Fjerntilgang VPN via kompromitterte vedlikeholds leverandørnettsted - Fjerntilgang via interaktive kontoer - Databaseinjeksjon - Usikker implementering av kommunikasjonsprotokoller 	<ul style="list-style-type: none"> - utstyrsskade / sabotasje - Anlegg forstyrrelser/ «shutdown» - Uautorisert tilgang til ytterligere ICS eiendeler

Kontroller (PLS)	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniør arbeidsstasjon - Operatør HMI (Menneske/maskin-kobling) - Frittstående ingeniørverktøy - usikker enhet i kontrollsone - USB/ flyttbare media - Kontrollnettverk - kontroll (utstyrs)nettverk 	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniør/teknikker misbruk - Nettverkutnyttelse av industriell protokoll; kjent svakhet - Nettverkutnyttelse av industriell protokoll; kjent funksjonalitet - Nettverksspill angrep - Nettverk DoS (Disc operating system) via kommunikasjonsbuffer overbelastning - Direkte kode / skadelig programvare injeksjon via USB - Direkte tilgang til enhet via usikkert nettverk (local/remote) PC med hensiktsmessig utstyr / programvare 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulasjon av kontrollert(e) prosess(er) - Kontroller feiltilstand - Manipulasjon/ maskering av input/output data til/fra kontroller - Anlegg forstyrrelser/ «shutdown» - Kommando og kontroll
Analysatorer og styringssystem	<ul style="list-style-type: none"> - Underleverandørs PC - Vedlikehold fjerntilkobling - Anleggsanalysator nettverk 	<ul style="list-style-type: none"> - Utnyttelse av ubeskyttede applikasjoner - Nettverkstilgang via usikre tilkoblingspunkt - Fjerntilgang VPN via stjalne eller kompromitterte underleverandør PC-er - Fjerntilgang VPN via kompromitterte vedlikeholds leverandørnettsted - Usikker implementering av kommunikasjonsprotokoll 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktkvalitet; svinn, produksjonstap, tap av inntekter - Rykte; produkt tilbakemelding, produktpålitelighet

Tabell 6.2 Cyberhacking angrepsmål [27]. Utdrag oversatt og rekonstruert av gruppen.

6.2.4 Tiltak mot cyberhacking

Å beskytte firmaets sikkerhet og renommé brytes ned til to faktorer; forsvar og respons. Man trenger å bygge forsvar som er sterke nok til å sende cyberkriminelle i retning av et enklere mål. Men, ingen forsvar er 100% effektivt. Skulle en angriper komme gjennom, må man være forberedt på å respondere raskt og effektivt.

Noen tips, fra 2018 DBIR, er som følger:

Vær årvåken

Ikke vent med å finne ut om brudd fra myndigheter eller en kunde. Logging av filer og endring av styringssystemer kan gi en tidlig advarsel om et sikkerhetskompromiss.

Rust ansatte til å være første linjes forsvar

Øk bevisstheten og forståelsen til ansatte rundt cybersikkerhet. Sørg for opplæring for hvordan de kan se tegn på angrep og hvordan man skal reagere.

Del kun sensitiv data med nødvendig personell

Begrens tilgang til sensitiv informasjon til de som trenger det for å utføre jobbene sine, og ha prosesser på plass for å tilbakekalle informasjonen når de endrer arbeidsroller.

Oppdater antivirusprogrammer

Cyberkriminelle utnytter fortsatt kjente sårbarheter, med hell. Man kan beskytte seg mot mange trusler simpelthen med å holde antivirusprogrammer oppdaterte.

Krypter sensitive data

Sjansene er store for at man en dag blir offer for et cyberangrep, men ved å kryptere kan man gjøre dataene sine ubrukelige hvis de er stjålet.

Bruk tofaktorautentisering

«*Phishing*» kampanjer er fortsatt svært effektive, altså «fiske» på nett etter sensitiv informasjon, og ansatte gjør fremdeles feil. Tofaktorautentisering kan begrense følgende skade dersom legitimasjon er tapt eller stjålet.

Ikke glem fysisk sikkerhet

Ikke alt data tyveri skjer online. Overvåkingskameraer og inngangssystemer for begrensede områder kan for eksempel bidra til å unngå kriminelle fra å tukle med systemer eller stjele sensitivt materiale.

[28]

6.2.4.1 Styrke kompetansen innenfor cybersikkerhet

«Det blir anslått at vi i Norge vil ha et kompetansegap på 4100 personer i 2030, dersom flere ikke velger yrkesretningen» sier Mathilde S. Øksendal, ansatt som innholdsmarkedsfører og webredaktør for Noroff (*School of technology and digital media*). [29]

Videre informerer artikkelen fra Noroff at *cyber security*-eksperter troner førsteplassen over de ti mest etterspurte *tech*-yrkene i 2019. Noroff kunngjorde nylig oppstart av bachelorstudiet *cyber security*, fra og med august 2019.

Også regjeringen satser for fullt på digital sikkerhet, hvor blant annet NSM styrkes med en halv milliard for å sette ut flere og bedre digitale brannalarmer som skal hindre datainnbrudd og øke digital sikkerhet. For å gjennomføre dette trengs det kompetanse innen IT-sikkerhet, og skarpe cybersikkerhet hoder. [29]

For å få denne kompetansen har som nevnt Noroff startet opp bachelor *innenfor cyber security*, med studiebeskrivelsen:

«IT-utdanning som lærer deg å sikre digitale systemer mot cyberangrep, datakriminalitet og digital krigføring. Studiet gjør deg klar til å jobbe praktisk med IKT-sikkerhet og redusere digital sårbarhet» [30]

Utdanninger som dette vil være viktige bidrag til fremtiden for å redusere cyberangrep og konsekvenser av kommende angrep.

6.3 Cyberangrepet på Hydro

Fakta og hendelser er hentet fra Hydros nettsider [31], dersom ikke annet er oppgitt.

Cyberangrepet på Hydro startet 19.Mars, som nevnt i kapittel 6.1. De fleste forretningsområdene skiftet da til manuell drift. I starten av angrepet var det ikke klart hva som hadde skjedd. Hydro valgte da å isolere alle anleggene og operasjonene, slik at hovedprioriteten ble å fortsette sikker drift og begrense operasjonelle og økonomiske konsekvenser.

Ikke lenge etter angrepet startet ble det kjent hva som hadde forårsaket problemer; løspengeviruset Lockergoga. Dette ble oppdaget ved hjelp av ekstern støtte. Det ble identifisert en kur i samarbeid ved hjelp av de eksterne støttene, og her ifra ble det trinnvis gjenopprettet forretningskritiske IT-baserte funksjoner. Blant de eksterne støttespillerne for Hydro, var Microsoft og Kripos. Angrepet ble også meldt til politiet, som startet en etterforskning.

Løspengevirus har lenge vært en plage for cybersikkerhetsbransjen. Ettersom angrepene har gått over fra å paralysere filer til å fullstendig lamme datamaskinene innen selskapene, representerer dette ikke bare utpressing, men også lammende forstyrrelser. Det har kommet en ny og verre versjon av løspengevirus, Lockergoga, som paralyserer datamaskinene til industrifirmaer som kontrollerer produksjonssystemer. Siden starten av året har dette viruset angrepet en rekke industri- og produksjonsfirmaer med tilsynelatende katastrofale konsekvenser. Etter det første angrepet på et fransk ingeniørfirma, Altran, ble neste offer Hydro. I følge WIRED sin artikkel er det 5 eller flere ulike bedrifter som har blitt rammet av dette nye viruset. [32]

Når viruset installeres går Lockergoga løs på brukerens konto og endrer passordene. Den prøver også å logge av brukerne som er logget på systemet. Deretter krypterer den filer som ligger på selve datamaskinen og tilkoblede servere. I tillegg vil viruset prøve å slette sikkerhetskopier. Viruset krypterer de mest brukte filtypene som finnes på datamaskinen, som PDF, Word og Excel filer, samt databaser og videoer. Når filene blir låst merkes de med «locked». Til slutt vil viruset legge igjen en tekst-fil som forklarer brukeren hva som har skjedd og kontaktinformasjon for å låse opp datamaskinene igjen. [33] Som følge av dette ble mange av IT-systemene til Hydro avslått. Ikke fordi de var infisert med viruset, men for å hindre spredningen videre utover systemene. Under angrepet ble flere avdelinger påvirket; blant disse var det spesielt ekstrudering og rullede produkter som ble hardt lammet. Deres produksjonsnivå var redusert til bare 50%.

En uke etter angrepet gikk det meste av produksjonen på normal kapasitet (fire av fem forretningsområder). Fokuset frem til dette tidspunktet var teknisk gjenoppretting. De endret deretter fokus til normalisering av anlegget. En kommentar fra Eivind Kallevik, finansdirektøren til Hydro Norge, gir et godt innblikk i denne problematiske tiden: «Proessen med å sikre trygg gjenoppretting etter dette sofistikerte angrepet, er komplisert og tidskrevende. Vi gjør gode fremskritt, men det tar tid å komme tilbake normal IT-drift».

Fire uker etter har ennå ikke alle avdelingene oppnådd fullstendig normal drift. Dette viser hvor farlig et slikt angrep kan være for industrien og hvor viktig det er å ta hensyn til den stadig utviklende teknologiske verden. Det er estimert at Hydro fikk et tap på rundt 300-350 millioner kroner etter den første uken etter cyberangrepet, ifølge Aftenposten. [34]

7. Videre arbeid for komplett RCM

Det er fremdeles en del arbeid som må utføres for å oppnå best løsning for optimalt vedlikehold av Ascom kranen. Arbeidet utført i prosjektet vil gi et solid grunnlag for beslutningsprosessen, med sikte til fremtiden. Arbeidet som er utført fremhever noen viktige aspekter som man ikke finner i dagens vedlikeholdsprogram. Ettersom dette prosjektet blir et verktøy for videre utfyllende arbeid, har prosjektgruppen noen forslag som kan være med på å optimalisere vedlikeholdsprogrammet videre:

- Etablere en gruppe bestående av personell fra vedlikeholdsavdelingen og faglært personale med relevant kompetanse; eksempelvis en mekaniker og en fra drift, for å utføre mer presise beslutninger innenfor analysen
- Utvide fra en forenklet RCM til å fullføre alle trinn i RCM-analysen
- Utvide RCM-analysen for å inkludere alle funksjonsfeil og feilmoder som er koblet til systemet
- Gjennomføre RCM-analyse på de resterende delsystemene for å dekke hele traverskranen
- Bruke vedlikeholdsprogrammet til å utføre flere analyser, som for eksempel planlegging av reservedeler
- Undersøke og beregne potensialet for å redusere driftskostnadene på lang sikt, som følge av implementering av vedlikeholdsprogram konstruert av RCM praksis
- Installering av anbefalte sensorer i henhold til det nye vedlikeholdsprogrammet, for forberedelse til implementering av Industri 4.0
- Loggføre og observere vedlikeholdet og utføre endringer i RCM-analysen fortløpende for kontinuerlig forbedring
- Introdusere viktigheten av et effektivt vedlikeholdsprogram for ansatte som arbeider innenfor vedlikehold. Dette for å øke forståelse, involvering og motivasjon, med formål å oppnå mer bærekraftig og effektiv drift

Forslagene er ment for å være et supplement til dagens etablerte modell. Med implementering av de representerte metodene fra rapporten vil videre arbeid bidra til å øke Hydro Karmøys vedlikeholdsprogram til et mer bærekraftig nivå.

8. Oppsummering

Dette bachelorprosjektets problemstilling har fokusert i hovedsak på RCM og Industri 4.0. Først ved å utføre en RCM-analyse for å utvikle et vedlikeholdsprogram for Ascom kranen, som ved hjelp av sensorering møter den fremtidsrettede utviklingen innenfor vedlikehold og Industri 4.0. Deretter skulle det ut fra oppgaveteksten tas ut en feilmode som et eksempel på hvordan PLS innsamlede data kan visualiseres i et *Dashboard*.

Vedlikeholdsprogrammet ble utviklet ved å anvende RCM metodikk, på forenklet vis. Det ble herav tatt i bruk hovedsakelig to av de åtte trinnene i RCM prosedyren, men gruppen fant fort ut at vi måtte innom noen av de andre trinnene også for å få en helhetlig analyse som kunne resultere i et vedlikeholdsprogram. Utførelsen av FMECA og analyseringen av vedlikeholdsoppgaver bød på sine utfordringer, da dette er et utrolig stort fagfelt med mange flere faktorer som må vurderes enn gruppen var forberedt på, på forhånd. Det var utfordrende å sette grenser for hvilke faktorer som skulle vurderes i vår forenklete versjon, og holde seg konkret til disse.

På tross av at gruppen ikke besto av noe tverrfaglig team med eksperter, var forberedelsene vi utførte som en gruppe blandet med informasjonen og veiledningen vi mottok fra Hydro, likevel nok til å utføre oppgaven med et greit resultat. Vi mener det er utarbeidet et resultat som Hydro kan dra nytte av å videreutvikle og forbedre med å utføre de resterende trinnene for å få en komplett RCM. Fra gapanalysen kommer det klart frem hvor mye mer fremtidsrettet vedlikeholdsprogram som resulterer fra en RCM-prosess, enn fra det tradisjonelle programmet fra leverandør. Prosjektets arbeid legger også et godt grunnlag for videre analyser og arbeid for å optimalisere kranens vedlikeholdsrutiner, og i forbindelse med vedlikehold for andre lignende systemer. RCM-analysen inneholder nok til å kunne hjelpe Hydro med å utvikle et fullstendig nytt vedlikeholdsprogram som ved installering av flere sensorer vil innrette kranen mot Industri 4.0.

Hydro sitt andre ønske om å ta ut et eksempel fra en feilmode med sensorering, ble ikke mulig å gjennomføre på en grundig nok måte til at hverken gruppen eller Hydro ønsket oppgaven utført. Situasjonen ble slik grunnet redusert tid som følge av cyberangrep på Hydro. Det ble under denne tidsperioden store utfordringer med kommunikasjon med veileder grunnet avslåtte datasystemer, som ga mangel på oppstart av denne deloppgaven. Prosjektet har fremstilt sine vurderinger for anbefaling av vibrasjonssensor med høyest kritikalitet, men fikk ikke installert og visualisert denne som tiltenkt. Gruppen tok lærdom i hvor mye arbeid som må utføres både i forbindelse med planlegging og kostnad av utstyr som skal installeres. En konklusjon fra arbeidet som faktisk ikke kunne utføres, er at det er en stor fordel å designe systemer opprinnelig med tanke på Industri 4.0 utviklingen, i stedet for å etterinstallere fremtidsrettet utstyr på allerede eksisterende maskinerier.

Ut ifra omstendighetene ble det utført en alternativ tilleggsoppgave, som gikk ut på å utføre nærmere undersøkelser av utfordringen med cybertrusler i forbindelse med Industri 4.0. Dette vurderte vi som et svært aktuelt og interessant tema for undersøkelse, ettersom dette faktisk skjedde under bachelorprosjektet og er det store faremomentet ved fremtidens innretting mot Industri 4.0.

Referanser

Fremsidebilde fra Teknisk Ukeblad [35]. Godkjent gjenbruk av bilde fra fotograf Øyvind Breivik.

- [1] Hydro, «Hydro i Norge,» [Internett]. Available: <https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge>. [Funnet 12 Mars 2019].
- [2] Hydro, «Hydro i Norge: Vår virksomhet: Vår verdikjede,» [Internett]. Available: https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/var-virksomhet/var-verdikjede/?fbclid=IwAR2FmpDvDBxeWRPOIzgqWtxIqJuctgLxFP_587RDBztVxEQLF-SEOXNm_sY#. [Funnet 12 Mars 2019].
- [3] Hydro, «Hydro i Norge: Om Hydro: Vår Historie: 1946-1977: Da fiskerne gikk på land,» [Internett]. Available: <https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/Om-Hydro/Var-historie/1946---1977/1963-Da-fiskerne-gikk-pa-land/>. [Funnet 12 Mars 2019].
- [4] Hydro, «Hydro i Norge: Vår virksomhet: Her finner du oss: Karmøy: Karmøy metallverk,» [Internett]. Available: https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/var-virksomhet/her-finner-du-oss/karmoy/karmoy-metallverk/?fbclid=IwAR0qASi7N3Hvim0gtCZbQJFS3sdu2PssuqB_qfk74WfqIDgoHjNtHCeFIKM. [Funnet 12 Mars 2019].
- [5] Hydro, «Hydro i Norge: Pressesenter: Teknologipiloten på Karmøy,» [Internett]. Available: https://www.hydro.com/no/hydro-i-norge/pressesenter/teknologipiloten-pa-karmoy/?fbclid=IwAR2VbpXJiPR2C6fGu9QS9Fr57vCMwOXnK_kdSNjslorJsY1BobfE7Jxh0ww. [Funnet 12 Mars 2019].
- [6] Hydro, «Contentassets: Karmoypilot factsheets,» [Internett]. Available: https://www.hydro.com/contentassets/5b8bc4290300489280e95531d338b399/karmoypilot_factsheets_a4_no.pdf. [Funnet 12 Mars 2019].
- [7] A. Rolstadås, B. Andersen og P. Schjøberg, Produksjon og Driftsteknikk, TAPIR Forlag, 1999.
- [8] M. Rasmussen, Driftsteknikk Grunnkurs, NTNU, 2003.
- [9] R. Ravnå og P. Schjøberg, Industry 4.0 and Maintenance, Norsk forening for Vedlikehold, 2016.
- [10] Roser og Christoph, «Industry 4.0,» Wikimedia Commons, 20 mars 2016. [Internett]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0.png. [Funnet 15 mars 2019].
- [11] «Innovasjon Norge: Hva er egentlig Industri 4.0,» [Internett]. Available: <https://innovasjonsbloggen.com/2015/10/22/hva-er-egentlig-industri-4-0/>. [Funnet 01 Mars 2019].
- [12] Engineering.com. [Internett]. Available: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15798/How-Predictive-Maintenance-Fits-into-Industry-40.aspx>. [Funnet 01 Mars 2019].
- [13] H. Qiu og D. J. Lee, «Near-zero downtime: Overview and trends,» [Internett]. Available: <https://www.reliableplant.com/Read/6971/downtime-trends>. [Funnet 12 Mars 2019].

- [14] Standard Norge, «Vedlikehold Vedlikeholdsterminologi, NS-EN 13306,» Standard Norge, 2017.
- [15] Oljedirektoratet, «Basisstudie vedlikeholdsstyring: Metode for egenvurdering av vedlikeholdsstyring,» 1 mai 1998. [Internett]. Available: <http://www.ptil.no/getfile.php/131817>. [Funnet 20 mars 2019].
- [16] J. Moubray, Reliability-Centered Maintenance, Industrial Press Inc, 1997.
- [17] «Sciencedirect,» [Internett]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X02000143>. [Funnet 19 Februar 2019].
- [18] M. Rausand, «Reliability centered maintenance,» *Elsevier Science Limited*, vol. 60, 1998.
- [19] J. O. Asmundvaag, P. Okoh og P. Schjøberg, Reliability Centered Maintenance, NFV, 2014.
- [20] M. Rausand og I. B. Utne, Risikoanalyse: Teori og metoder, Tapir akademisk forlag, 2009.
- [21] C. A. D. S. R. Alan Pride, «Reliability-centered maintenance (RCM),» 11 September 2016. [Internett]. Available: <http://www.wbdg.org/resources/reliability-centered-maintenance-rcm>. [Funnet 26 Mars 2019].
- [22] Mobley og R. Keith, An Introduction to Predictive Maintenance, USA: Elsevier Science, 2002.
- [23] Rhebo, «Industry 4.0 and its risks,» Rhebo, [Internett]. Available: <https://rhebo.com/en/services/glossary/industry-4-0-and-its-risks/>. [Funnet 11 april 2019].
- [24] Nasjonal sikkerhetsmyndighet, «Nasjonal sikkerhetsmyndighet: aktuelt: NSMs årlige risikovurdering: Norske virksomheter vet ikke hvordan de rammes,» 20 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.nsm.stat.no/aktuelt/risiko-2019/>. [Funnet 15 april 2019].
- [25] NSM, E-tjenesten, PST, DSB, «Risiko 2019 - Krafttak for et sikrere Norge,» RK grafisk, 2019.
- [26] K. Friis, «Cyber Security Centre / Norsk Utenrikspolitisk Institutt / Polyteknisk forening,» 8 februar 2018. [Internett]. Available: www.polyteknisk.no/wp-content/.../180208-Cybersikkerhet-Polyteknisk-forening.pdf. [Funnet 11 april 2019].
- [27] E. D. Knapp og J. T. Langill, Industrial Network Security - Second Edition, Massachusetts, USA: Elsevier Inc., 2015.
- [28] Verizon, «2018 Data Breach Investigations Report,» Verizon, 2018.
- [29] M. S. Øksendal, «Dette er det mest etterspurte tech-yrket i 2019,» Noroff - School of technology and digital media, 15 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.noroff.no/nyheter/it-sikkerhet/727-dette-er-det-mest-etterspurte-tech-yrket-i-2019?fbclid=IwAR2hJAdWtdZdey3x0wEUa0PQnFex1HTtXGo1wE8HB6EVtqa00lopsH2mCS4>. [Funnet 15 april 2019].
- [30] Noroff - school of technology and digital media, «Bachelor i cyber security,» Noroff, [Internett]. Available: <https://www.noroff.no/studier/hoyskole/cyber-security>. [Funnet 15 april 2019].

- [31] Hydro, «Media / On the agenda / Cyberangrep på Hydro,» 29 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.hydro.com/no-NO/media/on-the-agenda/cyberangrep-pa-hydro/?fbclid=IwAR205AaDMBPpytlo0qE7SF20Svwn-DcyshtInFAyksGD-cgQFA9mkNdZUrc>. [Funnet 15 april 2019].
- [32] A. Greenberg, «A Guide to LockerGoga, the Ransomware Crippling Industrial Firms,» WIRED, 25 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.wired.com/story/lockergoga-ransomware-crippling-industrial-firms/>. [Funnet 15 april 2019].
- [33] Trend Micro, «What You Need to Know About the LockerGoga Ransomware,» 20 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.trendmicro.com/vinfo/no/security/news/cyber-attacks/what-you-need-to-know-about-the-lockergoga-ransomware>. [Funnet 15 april 2019].
- [34] H. C. Ekroll, «Cyberangrep kan foreløpig ha kostet Hydro opptil 350 millioner kroner,» Aftenposten, 26 mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.aftenposten.no/norge/i/e8M77M/Cyberangrep-kan-forelopig-ha-kostet-Hydro-opptil-350-millioner-kroner>. [Funnet 15 april 2019].
- [35] T. Førde og Ø. B. (foto), «Hydro-sjefen: Vil satse mer på Karmøy enn Qatar,» Teknisk Ukeblad, 24 desember 2017. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/hydro-sjefen-vil-satse-mer-pa-karmoy-enn-qatar/414717>. [Funnet 19 april 2019].
- [36] B.K.N.Rao, Handbook of condition monitoring, The boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, UK: Elsevier Advanced Eechnology, 1996.

Vedlegg

Vedlegg A: RCM-analyse

Produsert av prosjektgruppen.

Vedlegg B: Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom (utdrag)

Utlevert fra Hydro

Kun utdrag: - *Fremside*
 - *side 3-5*

Vedlegg C: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran Katt øst, Hydro

Merk: Dette dokumentet med oversikt over det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet er Hydro sin oversettelse av Ascom sitt leverte program, og er derfor merket med Hydro og ikke Ascom.

Hydro har også forbedret designet av det tradisjonelle programmet fra Ascom ved å sette alt opp i tabell.

Vedlegg D: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran elektrisk anlegg, Hydro

Merk: Dette dokumentet med oversikt over det tradisjonelle vedlikeholdsprogrammet er Hydro sin oversettelse av Ascom sitt leverte program, og er derfor merket med Hydro og ikke Ascom.

Hydro har også forbedret designet av det tradisjonelle programmet fra Ascom ved å sette alt opp i tabell.

Vedlegg A: RCM-analyse

Beskrivelse av feil				Effekt		Kritikalitet før			Vedlikeholdsanalyse					Annet	Kritikalitet etter					
Funksjon	Feilmode	Feilårsak	Feilmekanisme	På heismaskineri	På traverskran	Frekvens	Feileffekt gradering	Kritikalitet	Beslutningsstrategi	Strategi mulig	Annen strategi valgt	Beskrivelse	Intervall	Kommentar	Frekvens	Feileffekt gradering	Kritikalitet			
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker ikke	Motorstopp grunnet lagerhavari	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav		
		Motorstopp grunnet rotor-/statorfeil	Vibrasjon	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon samt soft start/stop	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav		
		Motorstopp grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Motorstopp grunnet viftefeil	Forurensing	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor for temperatur	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Motorstopp grunnet brudd i aksling	Utmatting	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Ingen passende forebygging	RTF	--> Utskifting		Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	
		Brems grunnet låst i lukket stilling	Korrosjon	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	J		Periodisk funksjonstest	Periodisk overvåkning	Kontroll av brems	6 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Brems grunnet el.syst.feil														Analyses i egen FMECA for elektrisk system				
		Kobling grunnet brudd	Utmatting	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Periodisk utskifting	RTF	--> Utskifting		Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	
		Endebryter grunnet el.syst.feil														Analyses i egen FMECA for elektrisk system				
		Gir grunnet brudd i aksling	Utmatting	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Ingen passende forebygging	RTF	--> Utskifting		Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	
		Gir grunnet lagerhavari	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Gir grunnet tannhjulshavari	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor (partikkel, avstand?)	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Trommel grunnet lagerhavari	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon av lager	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Trommel grunnet feilsplit wire	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon spor på trommel	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Wire grunnet brudd	Overbelastning	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Ingen passende forebygging	Kontinuerlig overvåkning	Telleverk for ant. Timer i bruk > bytt wire	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Trinse grunnet lagerhavari	Siltasje	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning	Periodisk overvåkning	Insp. Lager	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Trinse grunnet brudd i aksling	Utmatting	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Ingen passende forebygging	RTF	--> Utskifting		Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	
		Krok grunnet brudd	Utmatting	Stopp (Får ikke hevet/senket)	Stopp (Får ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	N	N		Ingen passende forebygging	RTF	--> Utskifting		Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker for lite	Motor grunnet lagerhavari	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav		
		Motor grunnet rotor-/statorfeil	Vibrasjon	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon samt soft start/stop	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav		
		Motor grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Motor grunnet skjevstilling	Vibrasjon	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	N			Periodisk overvåkning		Måle parallellitet	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Motor grunnet viftefeil	Forurensing	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor for temperatur	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Kobling grunnet skade	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Kontroll av siltasje på kobling	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Gir grunnet tannhjulshavari	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor (partikkel, avstand?)	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Gir grunnet lagerhavari	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Wire grunnet skade	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon av wire	3 mnd	samt bytt hver 24 mnd	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium
		Wire grunnet svekkelse	Korrosjon	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy	N	N	N		Ingen passende forebygging	Periodisk overvåkning	Visuell inspeksjon av wire	3 mnd	samt bytt hver 24 mnd	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium
		Krok grunnet skade	Siltasje	Påvirker (Klarer ikke løfte 25 tonn)	Påvirker (Får kanskje ikke krysset)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Kontroll av siltasje på krok	12 mnd		Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
		Veicelle grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker for raskt	Motor grunnet el.syst.feil												Analyses i egen FMECA for elektrisk system						
		Brems grunnet låst i åpen stilling	Korrosjon	Påvirker (Heiser/senker over maks hastighet)	Påvirker (Upreis kjøring, fare ved posisjonering)	Sannsynlig (1/3år)	Kritisk	Høy	N	N	J		Periodisk funksjonstest	Periodisk overvåkning	Kontroll av brems	6 mnd	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	
		Brems grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Brems grunnet bremsbelegg	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker over maks hastighet)	Påvirker (Upreis kjøring, fare ved posisjonering)	Ofte (1/år)	Kritisk	Høy	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Måling bremsbelegg	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Trommel grunnet defekt sikring	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker over maks hastighet)	Påvirker (Upreis kjøring, fare ved posisjonering)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Kontroll av sikring	24 mnd		Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker for sakte	Motor grunnet lagerhavari	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav		
		Motor grunnet rotor-/statorfeil	Vibrasjon	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J		Kontinuerlig overvåkning		Sensor for vibrasjon samt soft start/stop	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav		
		Motor grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Motor grunnet skjevstilling	Vibrasjon	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	N			Periodisk overvåkning		Måle parallellitet	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Motor grunnet viftefeil	Forurensing	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor for temperatur	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Brems grunnet låst i delvis lukket stilling	Korrosjon	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sannsynlig (1/3år)	Stor	Medium	N	N	J		Periodisk funksjonstest	Periodisk overvåkning	Kontroll av brems	6 mnd		Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
		Veicelle grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Gir grunnet lagerhavari	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Gir grunnet tannhjulshavari	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor (partikkel, avstand?)	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav	
		Trommel grunnet feilsplit wire	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker under min. hastighet)	Påvirker (Reduserer effektiviteten)	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Kontroll spor på trommel	12 mnd		Sjeldent (1/10+ år)	Liten	Lav
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker ujevnt	Motor grunnet el.syst.feil												Analyses i egen FMECA for elektrisk system						
		Motor grunnet skjevstilling	Vibrasjon	Påvirker (Heiser/senker ujevnt)	Påvirker (Reduserer effektiviteten og øker risiko)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	N			Periodisk overvåkning		Måle parallellitet	12 mnd	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Gir grunnet tannhjulshavari	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker ujevnt)	Påvirker (Reduserer effektiviteten og øker risiko)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	J	J			Kontinuerlig overvåkning		Sensor (partikkel, avstand?)	Kont.	Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav	
		Brems grunnet el.syst.feil													Analyses i egen FMECA for elektrisk system					
		Trommel grunnet feilsplit wire	Siltasje	Påvirker (Heiser/senker ujevnt)	Påvirker (Reduserer effektiviteten og øker risiko)	Sjeldent (1/10+ år)	Kritisk	Medium	N	J	N		Periodisk utskifting	Periodisk overvåkning	Kontroll spor på trommel	12 mnd		Sjeldent (1/10+ år)	Stor	Lav
Heise/senke 25tonn med hastighet på 6,5-15 m/min	Heiser/senker utilskiktet	Signalfeil grunnet el.syst.feil																		

Vedlegg B: Operation and Maintenance Manual, Service Crane H, Ascom (utdrag)

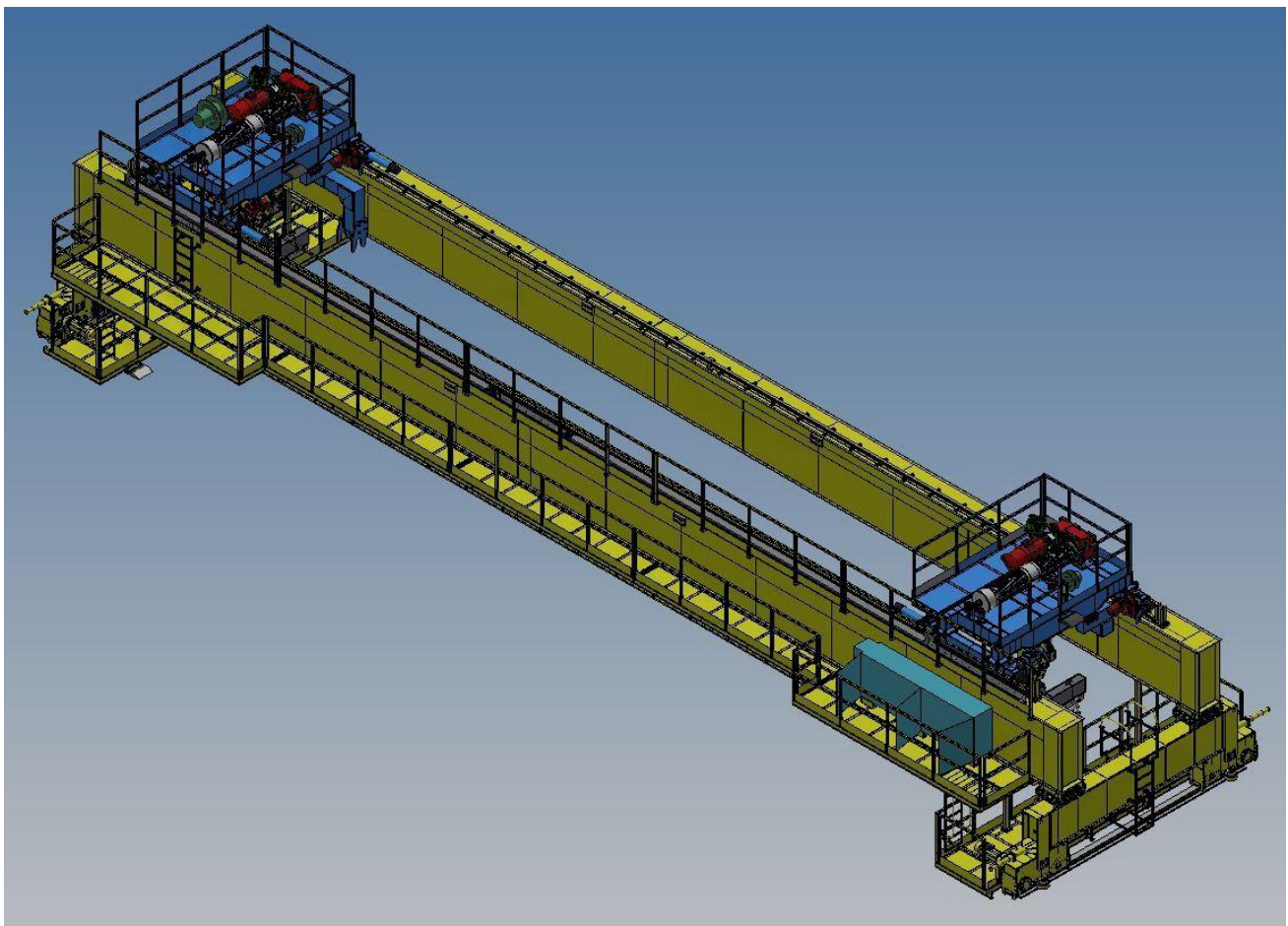
Operation and Maintenance Manual

Service Crane H

08-L1-ASC-J87-00020

Project	4200008908-Cranes-KTP-ASC Internal Contract n° 16004
Document no.	08-L1-ASC-J87-00020
Title	Operation and Maintenance Manual
Rev.	01L
Date	18-05-2017
Pages	18
Area Code	8202
System code	61
Tag Number	61-MC-1100

SERVICE CRANE H
ASCOM s.p.a.
COD. n° 62W00117



05/2017

rev.01L

[Type here]

MARKINGS

Manufacturer : **Ascom S.p.A.** Via della Fornace 16
 41043 Formigine (MO) - Italy
 Tel: ++39 59 558038
 Fax: ++39 59 557034
 E-Mail: info@ascom-italy.it

Machine : **“SERVICE CRANE H (West)**
25+25t” Type : **62W00117-**
HYDRO Code : **08-L1-ASC-J87-00020**
Year of construction : **2017**
Serial n. : **16005**
Nameplate : On bridge crane on board control panel and on winch trolley

Sample of the installed plate:

 Via della fornace, 16 41043 Formigine (MO) Italy Tel +39 059-558038 Fax +39 059-7409111 Web: www.ascom-italy.it Email: info@ascom-italy.it		
<i>Portata t</i> 25+25 <hr/> <i>Capacity metric ton</i>	<i>Anno</i> 2017 <hr/> <i>Year</i>	
<i>Modello</i> 62W00117 <hr/> <i>Model</i>	<i>Potenza kW</i> 105,00 <hr/> <i>Power kW</i>	
<i>Matricola</i> 16004 <hr/> <i>Serial number</i>	<i>Massa a vuoto kg</i> 60.100 <hr/> <i>Empty mass kg</i>	

DESCRIPTION

The purpose of this system is to motion objects of different and for the motion of ANOD JAKING FRAME (AJF) and SUPERSTRUCTURE.

The system is manual and is operator controlled by means of a remote radio control or alternatively by a pendant control push button panel, only one of the two option can be used at a time. Control is operator activated with a “dead man” system, where in case of danger the simple release of the controls by the operator fully stops the system with minimal inertial motion. The operator is in full control of the working area even in the night shift since the area in enlightened by specific headlight to cover the working area underneath the bridge.



**HOISTING EQUIPMENT
MAINTENANCE REGISTER**

	Index
Main characteristics	Page 2
Maintenance programme	Page 3
Wiring diagram	Annex 1
Assembly drawing	Annex 2

Owner name: HYDRO ALUMINIUM AS

Installation place: NORVEGIA

Manufacturer name
 ASCOM S.p.A.
 Via Della Fornace, 16 41043 Formigine (MO) Italia
 Tel: +39 59 558038 Fax: +39 59 7409102
 E-Mail: info@ascom-italy.it
 Internet: www.ascom-italy.it
 ISO 9001:2008 EA:18 - EA28B

Machine: Gru a ponte Bitrave

Type 62W00117 **Serial number:** 16004

Carrying capacity (tons) 25+25 **Year of construction:** 2017

Denounced on At

Code number




MAIN CHARACTERISTICS

Structure Class: A3 Mechanism Class: M6

Beam type	A CASSONE	Beam Height mm.	1.430	Beam Width mm.	650
Head type	tubo rettang.	Head Height mm.	850	Head Width mm.	460
Trolley Manufacturer		Trolley Head HxB mm.		Trolley Transom HxB mm	
Block/Winch					
Manufacturer		Type:		Serial number:	
Manufacturer 2		Type 2:		Serial number 2:	

Speed	(m/min)	Power	(Kw)	Speed	(m/min)	Power	(Kw)
Quick Lifting	15,00	Quick Lifting	#####	Slow Lifting	6,50	Slow Lifting	
Quick Lifting Aux		Quick Lifting Aux		Slow Lifting Aux		Slow Lifting Aux	
Bridge Fast Sliding	60,00	Bridge Fast Sliding	5,50	Bridge Slow Sliding	#####	Bridge Slow Sliding	
Trolley Fast Translation	30,00	Trolley Fast Translation	1,50	Trolley Slow Translation	#####	Trolley Slow Translation	
Trolley Fast Translation 2		Trolley Fast Translation 2		Trolley Slow Translation 2		Trolley Slow Translation 2	
Trolley Fast Rotation		Trolley Fast Rotation		Trolley Slow Rotation		Trolley Slow Rotation	
Bridge Gearmotor Qty	4	Inverter <input checked="" type="checkbox"/>		Trolley Gearmotor Qty	2	Inverter <input checked="" type="checkbox"/>	
Rotation Gearmotor Qty				Rotation Gearmotor Qty		Inverter <input type="checkbox"/>	
Bridge Gauge mm.	25.690	Bridge Wheel base cm:	500	Bridge Wheel rolling diameter cm:	40,00		
Scartamento Carrello mm	3.400	Trolley Wheel base cm:	215	Trolley Wheel cm:	25,00		
Bridge Gearmotor Manufact.	SEW Eurodrive			Bridge Gearmotor Type	FA87/G DRE132M4BE11		
Bridge Gearmotor Part no.	40.7372680911.0002.16			Bridge Gearmotor Part no.	40.7372680911.0003.16		
Trolley Gearmotor Manufact.	SEW Eurodrive			Trolley Gearmotor Type	FA77/G DRE90L4BE2/THV		
Trolley Gearmotor Part no.	40.7372680910.0004.16			Trolley Gearmotor Part no.	40.7372680910.0002.16		
Trolley Manufact.	Ascom S.p.A.	Trolley Type	65S00226	Trolley Part no.			
Trolley Manufact. 2	Ascom S.p.A.	Trolley Type 2:	65S00227	Trolley Part no. 2			
Cable Type AZN636ACAR		Cable Composition	6x36WS+IWRC galvanized	Cable Diameter mm	16,00		
Cable Length m.	62,00	Cable Breaking Load	209,50kN	Cable Bearing Section no.	4		
Chain Diameter mm.		Chain Pitch mm.		Chain Width mm.			
Chain Breaking Load		Chain Bearing Section No.					
Cable 2 Type AZN636ACAR		Cable 2 Composition	6x36WS+IWRC galvanized	Cable 2 Diameter mm	16,00		
Cable 2 Length m.	62,00	Cable 2 Breaking Load	209,50kN	Cable 2 Bearing Section no.	4		
Chain 2 Diameter mm.		Chain 2 Pitch mm.		Chain 2 Width mm.			
Chain 2 Breaking Load		Chain 2 Bearing Section No.					
Hook Type	DIN15401 N*16T	Hook Code	5D720217410	Hook capacity Kg.	25.000		
Hook 2 Type	DIN15401 N*16T	Hook 2 Code	5D720217410	Hook 2 capacity Kg.	25.000		
Radio control Manufact.	Akerstroms	Radio control Type	Mercury M-300J(MC300	Radio control Part No.	129899		

Vedlegg C: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran Katt øst, Hydro


KMV	Forebyggende Vedlikeholdsplan										
	Benevnelse Teknisk Plass	MC-XX00 TRAVERSKRAN KTP	Ordre nr.								
	Tekn. plass nr.		Utførende Fag								
	Revisjon nr.	01	Utført dato:								
	Rev.dato	15.01.2018	Utført sign.								
	Revidert av.	Ahmed Waad									

HMS hensyn	Verktøyliste										

Tag / ID	Objektdel	Vedl. Beskrivelse	EPL / SOP	Materiell	Aksept grense	Frekvens						Utført	Feil funnet / reg.verdi
						3M	6M	12M	24M	36M	48M		
61-CX-XX00	Løfte vinsj brems	Sjekk om bremsen er i god stand. Hvis nødvendig, løse problemet, følg alle produsentens spesifikke instruksjoner					X						
61-EM-XX03	Carriage's drive motor brake	Kontroll av brems for motor.					X						
61-EM-XX01A	Clamp's travel motor brake	Kontroll / Justering av Brems og aksialbevegelse motor.					X						
61-EM-XX01B	Clamp's travel motor brake	Kontroll / Justering av Brems og aksialbevegelse motor.					X						
61-MC-XX03B	Carriage travel wheels	Kontroller hjulets rullende overflater for slitasje. Det må ikke være sprekker, svulster, bukser eller annen unormalitet som hindrer hjulene i å svinge riktig.						X					

61-MC-XX03B	Carriage drive slide rolls	Kontroller sidekantene til hjulene for slitasje. Det må ikke være sprekker, svulster, bukser eller annen unormalitet som hindrer hjulene i å svinge riktig.							X					
61-CG-XX00	Carriage drive reduction gears	Kontroller reduksjonsgirens oljenivå og, om nødvendig, topp det opp. (se i Produsentens manualer).							X					
61-MC-XX03B	Supporting winch barrel	Smør lager							X					
61-MC-XX03B	Winch reduction gear	Sjekk oljenivå, fyll på olje om nødvendig							X					
61-EP-XX00	Carriage drive encoder rack	Kontroller slitestyrken til tannhjulet og tannhjulet. Kontroller slitasje og strekning av kabelen. Smør om nødvendig							X					
61-IB-XX03	Fixed electrical wiring	Sjekk elektriske ledninger								X				
61-EM-XX01A	Fixing of gear-motors	Kontroll av Skrueforbindelser									X			
61-EM-XX01B	Fixing of gear-motors	Kontroll av Skrueforbindelser									X			
61-CG-XX00	Fixing of gear-motors	Kontroll av Skrueforbindelser									X			
61-EM-XX02	Fixing of gear-motors	Kontroll av Skrueforbindelser									X			
61-IB-XX03-X01	Elektrisk kontaktorer	Kontroller av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer										X		
61-IB-XX03-X02	Elektrisk kontaktorer	Kontroller av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer										X		
61-IB-XX03-X03	Elektrisk kontaktorer	Kontroller av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer										X		
61-IB-XX03-X04	Elektrisk kontaktorer	Kontroller av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer										X		
61-MC-XX03	Carriage sliding surface	Kontroller for sprekker, svulster, bukser eller annen unormalitet som hindrer hjulene i å svinge riktig. Rengjør overflaten for å fjerne alt oppsamlet smuss.											X	
61-CG-XX-00	Carriage drive reduction gear	Kontroll av Gear Oljenivå.											X	

Vedlegg D: Forebyggende vedlikeholdsplan Traverskran elektrisk anlegg, Hydro

KMV	Forebyggende Vedlikeholdsplan			 HYDRO						
	Benevnelse Teknisk Plass	MC-XX00 TRAVERSKRAN KTP	Ordre nr.							
	Tekn. plass nr.		Utførende Fag							
	Revisjon nr.	01	Utført dato:							
	Rev.dato	15.01.2018	Utført sign.							
	Revidert av.	Ahmed Waad								

HMS hensyn	Verktøyliste									

Tag / ID	Objektdel	Vedl. Beskrivelse	EPL / SOP	Materiell	Aksept grense	Frekvens							Utført	Feil funnet / reg.verdi
						1U	3M	6M	12M	24M	36M	48M		
61-EL-XX00	Limit switches	Funksjonstest av endebrytere.						X						
61-EL-XX00	Proximity switches	Funksjonstest av endebrytere.						X						
61-EC-XX00-H01	Alarm switches	Kontroller effektiviteten av alarmbrytere ved å trykke på knappene							X					
	Shuttle alarm buzzer	Sjekk om shuttle alarm buzzer fungerer							X					
61-IB-XX01	Fixed electrical wiring	Sjekk elektriske ledninger								X				
61-IB-XX02	Fixed electrical wiring	Sjekk elektriske ledninger								X				
	Mobile electrical wiring	Sjekk elektriske ledninger								X				
	Wiring carrier tracks	Kontroller festing av elementer av sporet. Hvis det er slitasje erstatt elementer.									X			
	L.t. controls power supply lines	Sjekk om rubbing lås er i god stand. Rengjør travel ways om nødvendig for å fjerne oppsamlet smuss.									X			

	H.t. power supply lines (armor plated)	Sjekk om rubbing lås er i god stand. Rengjør travel ways om nødvendig for å fjerne oppsamlet smuss.								X				
61-EC-XX00	Elektrisk Brett	Sjekk elektrisk Brett og rengjør								X				
61-IO-XX01	Pendant push button strip	Kontroller effektiviteten av bevegelsen. Om nødvendig, rengjør guider og kontroller om tannhjul og stativ er inntakt. Fortsett å smøre giret.									X			
	Stall weighing machine	Kontroll av skrueforbindelser									X			
61-IB-XX01-X01	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX01-X02	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX01-X03	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX01-X04	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX02-X01	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX02-X02	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX02-X03	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-IB-XX02-X04	Fixed electrical connections	Kontroll av kontaktorer, kontaktslitasje og tilkoblingsklemmer									X			
61-EC-XX00	Electrical panels	Sjekk komponenter										X		
61-EL-XX00	Rubber pad limit switch	Kontroller at bremsestoppen og gummi er intakte. Om nødvendig, fortsett med utskifting.											X	
	Load limiting device	For vedlikehold av lastbegrensingsanordningen, se produsentens bruksanvisning.											X	
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Rengjør batterikontaktene og kontaktene på sendere og ladere (bruk tørr klut for rengjøring)						X						
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Rengjør senderenes kontrollpanel og kontroller at display er leselig (bruk tørr klut for rengjøring)						X						
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Visuell inspeksjon av radiostyring						X						
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Bytte av sperrefjærer i joystick										X		
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Kontroller belger på joystick						X						
61-IO-XX00A	Remote Control transmitter	Bytte av stoppbryter						X						

