



Bacheloroppgave

MAR600 Marin logistikk og økonomi

Prediktivt vedlikehold

Veronika Hansen

Totalt antall sider inkludert forsiden: 92

Molde, 30. Mai 2020



Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i URKUND, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Personvern

Personopplysningsloven

Forskningsprosjekt som innebærer behandling av personopplysninger iht.

Personopplysningsloven skal meldes til Norsk senter for forskningsdata, NSD, for vurdering.

Har oppgaven vært vurdert av NSD?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

- Hvis nei:

Jeg/vi erklærer at oppgaven ikke omfattes av Personopplysningsloven:

Helseforskningsloven

Dersom prosjektet faller inn under Helseforskningsloven, skal det også søkes om forhåndsgodkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, REK, i din region.

Har oppgaven vært til behandling hos REK?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Per Schjølberg

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Høgskolen i Molde en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Dato: 30.05.2020

Introduksjon

Vedlikehold og produksjon er nært forbundet. En effektiv produksjon krever et effektivt vedlikehold. Det er viktig at nedetiden blir minst mulig, og da er det en fordel å kunne predikere feil og svikt før de oppstår, for dermed å kunne forhindre dem. Fremveksten av industri 4.0, har gitt prediktivt vedlikehold flere og bedre metoder for å kunne predikere feil, i form av sensorer, maskin kapasitet og kunstig intelligens.

Den økende befolkningen, har behov for mere mat, og den økte matproduksjonen bør sette et så lite fotavtrykk som mulig, for å være bærekraftig. Det at det blir mindre landareal, og at fisk er klimavennlig produksjon, gjør at havbruksnæringa spiller en viktig rolle i framtidens matproduksjon.

Den europeiske matmyndigheten anbefaler voksne å innta minst 0,25 g EPA (eikosapentaensyre) + DHA (dokosaheksaensyre) pr dag. Mange velger da å ta disse essensielle fettsyrene som kosttilskudd.

Norsk marin ingrediensindustri, med produksjon av marine oljer til helsekost som dominerende bransje, har hatt en jevn økning av omsetningen fra starten av 2000-tallet.

Sammendrag

Dette er en oppgave om prediktivt vedlikehold, og viser hvordan prediktivt vedlikehold kan føre til høyere tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet.

Oppgaven er firedeleddet, der den første delen beskriver prosjektet, den andre presenterer vedlikeholdsteori og trender, den tredje beskriver vedlikeholdet hos G.C.Rieber Oils og den fjerde delen inneholder analyser med forbedringstiltak.

Oppgaven er et krav ved Bachelor i Marin logistikk og økonomi ved Høgskolen i Molde.

Prediktivt vedlikehold er tilstandsbasert vedlikehold basert på prognoser, der prognosene bygger på analyser, kjente egenskaper og evaluering av kjente parametere for degradering.

Den andre delen beskriver ulike typer vedlikehold, og ser på mulighetene som ligger i industri 4.0. Det er 4 ulike nivå av prediktivt vedlikehold, der de to siste nivåene baserer seg på bruk av avansert teknologi som sensorer og internettoppkoblinger. Disse to siste nivåene krever en del investeringer i teknologi, utstyr og kunnskap hos personell, men viser seg å gi tilbake i form av redusert nedetid, økt kundetilfredshet og reduserte vedlikeholdskostnader.

Den tredje delen består av beskrivelser av vedlikeholdet hos G.C.Rieber Oils. Det som kjennetegner vedlikeholdet er korrigerende vedlikehold, mangelfull data og rapporteringer. Noe som gjør at analysen bygger på egne beregninger, antagelser og usikre tall.

Den fjerde delen inneholder analyser og forbedringsforslag.

Først blir bedriften sammenlignet med hva som er ansett å være vedlikehold av «World Class», deretter blir metoden Value Driven Maintenance & Asset Management brukt til en mer grundig analyse. Metoden går ut på først å analysere hva som er den dominante verdidriveren akkurat nå for bedriften, og kom frem til at det er å øke tilgjengeligheten på produksjonssystemet. Deretter går den inn på akkurat de kompetansene som kan forbedre de dominante verdidriverne. Analysene og overvåkningene baserer seg på aktuelle KPI'er som blir målt kontinuerlig

Forslagene til forbedring ligger i å samle inn data spesielt i form av registrering av nedetid, for å kunne gjøre en korrekt analyse av kritisk utstyr. Da er det mulig å utføre en RCM og/eller koble utstyret til et preventivt vedlikeholds program som det i SAP Hana. Prediktive analyser bidrar til å redusere nedetid for dermed og øke tilgjengeligheten.

Summary

This is a paper about predictive maintenance and shows how predictive maintenance may lead to higher availability, safety and reliability.

The thesis is in four parts, with the first part describing the project, the second presents maintenance theory and trends, the third describes the maintenance at G.C.Rieber Oils and the fourth part contains analyses with improvement measures.

The thesis is a requirement at bachelor in marine logistics and economics at Molde University College.

Predictive maintenance is condition based maintenance carried out following a forecasts, derived from analyses, known characteristics and evaluation of significant parameters of degradation.

The second section describes different types of maintenance and looks at the possibilities that lie in Industry 4.0. There are 4 different levels of predictive maintenance, with the last two levels based on the use of advanced technologies such as sensors and internet connections. These last two levels require some investment in technology, equipment and knowledge of personnel, but turn out to give back in the form of reduced downtime, increased customer satisfaction and reduced maintenance costs.

The third part consists of descriptions of maintenance at G.C.Rieber Oils. What characterizes the maintenance is corrective maintenance, inadequate data and reports. This makes the analysis based on my own calculations, assumptions and uncertain numbers.

The fourth section contains analyses and improvement suggestions.

First, the company is compared with what is considered to be "World Class" maintenance, then the Value Driven Maintenance & Asset Management method is used for a more thorough analysis. The method is first to analyze what is the dominant value driver right now for the company. It concludes that it is increasing the availability of the production system. Then it taps into exactly the skills that can improve the dominant value drivers. The analyses and monitoring are based on current KPIs that are measured continuously.

The suggestions for improvements lie in collecting data specifically in the form of recording downtime, in order to do a correct analysis of critical equipment. Then it is possible to perform an RCM and/or connect the equipment to a predictive maintenance program like that in SAP Hana.

Predictive analyses help reduce downtime and increase availability.

Innhold

1.0	Innledning.....	1
1.1	Mål.....	1
1.2	Problem beskrivelse.....	2
1.3	Involverte parter.....	2
1.3.1	Høgskolen i Molde	2
1.3.2	G.C.Rieber Oils	2
1.4	Prosjektets framdrift	3
1.5	Prosjektets begrensninger	3
1.5.1	Tid.....	3
1.5.2	Data.....	3
1.5.3	Litteratur	3
1.5.4	Involvering fra bedrift.....	3
1.5.5	Spesielle omstendigheter	3
1.6	Metode	4
1.6.1	Intervju -det åpne individuelle intervjuet	4
1.6.2	Dokumentundersøkelse.....	4
1.7	Bakgrunn.....	5
1.7.1	Andre bedrifter.....	5
2.0	Grunnleggende vedlikeholds-teori	7
2.1	Vedlikehold.....	7
2.2	Ingen vedlikehold	8
2.3	Korrigerende vedlikehold	8
2.4	Forebyggende vedlikehold.....	8
2.5	Prediktivt vedlikehold.....	9
2.6	RCM -reliability centered maintenance (driftsikkerhetsstyrt vedlikehold)	10
2.6.1	FMEA og FMECA	11
2.6.2	Tilgjengelighet.....	12
2.7	RCFA -Root cause failure analysis.....	12
2.8	Life cycle cost (LCC)	12
2.9	TPM -total productive maintenance	13
2.9.1	OEE -overall equipment effectiveness	14
2.10	World class maintenance	15
2.11	Styring av vedlikehold.....	16

2.12	Oppsummering vedlikeholds-teori	18
3.0	Prediktivt vedlikehold og smarte metoder	19
3.1	Prediktivt vedlikehold.....	19
3.2	Industri 4.0.....	20
3.2.1	Internet of Things	22
3.2.2	Big data.....	22
3.2.3	Cyber-Physical-System.....	22
3.2.4	Smart vedlikehold.....	23
3.3	Preskriptivt vedlikehold.....	23
3.4	Trender.....	26
3.5	Oppsummering prediktiv vedlikeholds-teori.....	26
4.0	G. C. Rieber Oils	27
4.1	G.C.Rieber	27
4.2	G.C. Rieber Oils	27
4.3	Produksjonsprosessen	28
4.4	Oppsummering produksjon	30
5.0	Vedlikeholdet ved G.C.Rieber Oils	31
5.1	Korrigerende vedlikehold	31
5.2	Forebyggende vedlikehold.....	32
5.3	Bruk av overtid	32
5.4	Ledetid.....	32
5.5	Pålitelighetsanalyse.....	33
5.6	KPI.....	34
5.7	Tilgjengelighet.....	35
5.8	OEE.....	35
5.9	Krav til systemet.....	35
5.10	Kritisk utstyr	35
5.11	VP-06700.....	37
5.12	Oppsummering av vedlikeholdet.....	38
6.0	Diskusjon	39
6.1	Analyse world class	39
6.2	Innledning Value Driven Maintenance and Asset Management	41
6.3	Sensivitetsanalyse av G.C.Rieber Oils	42
6.4	Verdi driver analyse.....	44



6.4.1	Forklaring av kompetanse-modellen	45
6.4.2	Steg 1 -Måle nåværende nivå hos G.C.Rieber Oils	46
6.4.3	Steg 2 sammenligne med andre bedrifter	47
6.4.4	Steg 3 Finne ut hva som er et realistisk og gjennomførbart mål	48
6.4.5	Steg 4 Regne ut den dominante verdi driveren.....	48
6.5	Vinnende strategi.....	49
6.6	Beste praksis	49
6.7	Asset Portfolio Management	50
6.8	Reliability Engenering	50
6.9	Planning and Scheduling	51
6.10	Asset Utilization improvement loop.....	54
6.11	Asset Data Control.....	55
6.11.1	Master data.....	56
6.11.2	Konfigurasjonsdata	56
6.11.3	Tegninger og dokumenter.....	57
6.11.4	Vedlikehold -og drifts data	58
6.12	Big data og prediktivt vedlikehold	58
6.13	EAM-system.....	59
6.13.1	SAP Hana.....	59
6.14	Barriere for å adoptere beste praksis	62
6.14.1	endringvillighet	63
6.14.2	mål	63
6.14.3	Strategi.....	63
6.14.4	Ledelse.....	64
6.14.5	Motivasjon	64
6.15	Standarder.....	65
6.16	Oppsummering analyser	66
7.0	Konklusjon	67
7.1	Forbedrings forslag.....	68
7.1.1	Mål.....	68
7.1.2	Vedlikeholdsprogram	69
7.1.3	Planlegging	70
7.1.4	Utføring.....	70
7.1.5	Rapportering	71



7.1.6	Veikart for framtida	71
Figurliste		73
Bibliografi		75
Litteratur		77



1.0 Innledning

Mar 600 -bacheloroppgave, er en del av bachelor studiet i marin logistikk og økonomi. Studiet går over 3 år (fulltidsstudie) og 180 studiepoeng. Bacheloroppgaven skrives i siste semester. Denne oppgaven bygger på faget Pet 500 -vedlikehold og vedlikeholds styring, der jeg har valgt å se nærmere på et interessant tema -prediktivt vedlikehold. Oppgavens omfang er på 15 studiepoeng i løpet av 16 uker. Noe som utgjør en arbeidsbelastning på $16 \cdot 20 \text{ timer} = 320 \text{ timer}$. Noe som betyr en gjennomsnittlig arbeidsbelastning på 23 timer i uka.

Oppgaven er i henhold til studieplanen der det står det beskrevet at: "Tema for oppgaven skal være logistikkrelatert, og skal godkjennes av studieleder før detaljarbeidet iverksettes. De fleste studentene skriver oppgaven i samarbeid med en ekstern oppdragsgiver. Oppgaven skal inneholde teori knyttet til de fagområdene som inngår i grunnstudiet eller anvendelser av denne.". Utenom dette er det få retningslinjer til en bacheloroppgave i marin logistikk og økonomi.

Denne oppgaven er om vedlikehold, nærmere bestemt prediktivt vedlikehold og er i samarbeid med G.C Rieber Oils. Den vil se på vedlikeholdssystemet hos G.C.Rieber Oils.

Jeg ønsker å presentere prediktivt vedlikehold, se på det eksisterende vedlikeholdet ved G:C. Rieber Oils og finne ut hva de bruker for å overvåke produksjonen og vedlikeholdet, samt å finne ut om prediktivt vedlikehold kan bidra med noen forbedringer.

1.1 Mål

Målet er å belyse hvordan prediktivt vedlikehold kan brukes for å oppnå høyere tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet ved fabrikken ved G.C.Rieber Oils.

Jeg ønsker å se på trender i vedlikehold generelt, hvordan status er ved G.C.Rieber Oils innenfor høyere grad av tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet. Oppgaven vil primært dreie seg rundt prediktivt vedlikehold.

1.2 Problem beskrivelse

Problemet er formulert av meg -student Veronika Hansen, i samarbeid med veileder Per Schjølberg.

Følgende oppgaver trenger å besvares i rapporten:

1. Presenter prediktivt vedlikehold.
2. Beskrive trender i vedlikehold
3. Beskriv produksjonen ved G.C.Rieber Oils
4. Beskriv vedlikeholdsprosedyrene ved G.C.Rieber Oils.
5. beskrive status på vedlikehold innenfor høyere grad av sikkerhet og pålitelighet
6. Analyser effekten av de nåværende prosedyrene, samt identifikasjon av mulige forbedringstiltak.

1.3 Involverte parter

Det er 3 parter involvert i denne oppgaven. Studenten som skriver oppgaven, -Veronika Hansen, Høgskolen i Molde ved veilederen i vedlikehold, Per Schjølberg og G.C.Rieber Oils ved kontaktperson Tor Håkon Åsgård.

1.3.1 Høgskolen i Molde

Høgskolen i Molde er en vitenskapelig høgskole i logistikk, og har ca 2400 studenter og 170 ansatte.

Per Schjølberg underviser i faget vedlikehold ved høgskolen i Molde, og er ansatt ved NTNU der han er førsteamanuensis ved institutt for maskinteknikk og produksjon.

1.3.2 G.C.Rieber Oils

G.C.Rieber Oils har 56 ansatte i Kristiansund. De produserer Omega 3-konsentrater til et globalt marked. De foredler og oppkonsenterer fiskeolje med fokus på kvalitet. De største markedene for Omega 3-konsentrater er USA etterfulgt av Asia og Europa.

1.4 Prosjektets framdrift

For å sikre fremdrift i prosjektet er det tatt i bruk verktøy som tidsplan, regelmessige møter mellom student og veileder, samt å fokusere på risiko knyttet til prosjektet.

1.5 Prosjektets begrensninger

Oppgaven ble startet i desember 2019 først med en annen bedrift og oppgave, som bedriften ikke kunne følge opp om. I februar/mars startet jeg med denne oppgaven i samarbeid med G.C.Rieber Oils. Der rakk jeg akkurat ett møte før Covid-19 utbruddet kom, og restriksjoner ble satt inn for besøk. Dette har begrenset muligheten for egne observasjoner, og gjort oppgaven avhengig av data bedriften var villig til/hadde anledning til å dele. Følgende begrensninger gjelder:

1.5.1 Tid

Oppgaven har et omfang på 320 timer, og en varighet på 15 uker. Noe som gir ca 23 arbeidstimer i uka.

1.5.2 Data

Oppgaven har ei begrensning på hvilke typer data jeg kan få tak i, og nøyaktigheten i disse. Corona begrensninger gjorde at jeg ble avhengig av data bedriften hadde anledning å dele.

1.5.3 Litteratur

Oppgaven omhandler et område det er skrevet lite litteratur om. Derfor vil en begrensning være litteratur. Den vil stort sett bli basert på artikler.

1.5.4 Involvering fra bedrift

G.C.Rieber oils har begrensede ressurser til dette prosjektet. Hvordan de prioriterer relevansen av denne oppgaven, samt data de velger å dele.

1.5.5 Spesielle omstendigheter

Corona -covid-19, pandemiens restriksjoner begrenset fysiske møter og observasjoner i bedriften. Den endret også bedriftens forutsetninger med økt produksjon og hjemmekontor funksjoner.

1.6 Metode

Metode er en måte å samle inn data om virkeligheten på. Ifølge boka til Jacobsen: hvordan gjennomføre undersøkelser, er det to hovedmetoder for datainnsamling: den kvalitative og den kvantitative. I denne oppgaven vil den kvalitative metoden bli brukt. Da jeg ikke på forhånd har noen formening om hva jeg vil finne eller hvilke data som er tilgjengelig, vil den kvalitative metoden egne seg bedre siden den er mere åpen for ny informasjon og passer bedre til en induktiv tilnærming.

Det er brukt hovedsakelig to metoder i denne oppgaven: intervju og dokumentundersøkelse.

1.6.1 Intervju -det åpne individuelle intervjuet

Denne metoden kjennetegnes med at partene -den som intervjuer og den som blir intervjuet, prater sammen som i vanlig dialog. Det åpne intervjuet egner seg fordi det er relativt få enheter som skal undersøkes og fordi det er større mulighet å få dybde informasjonen som trengs, og som kanskje ikke er tilgjengelig i dokumenter. Hovedintervjuene har vært ansikt til ansikt, mens det har vært mange oppfølgingsintervju pr epost.

I starten var det første intervjuet strukturert, med planlagte spørsmål. Det viste seg etterhvert ikke å være fruktbart da det fantes lite svar på de planlagte spørsmålene. Intervjuet dreide seg da mere mot et åpent intervju. De påfølgende intervjuene har vært mere strukturerte med oppfølging av det som ble funnet/avdekket i det første intervjuet og fra dokumentundersøkelser.

1.6.2 Dokumentundersøkelse

I denne oppgaven er det brukt dokumentundersøkelser på to måter. I den første delen av oppgaven som omhandler teori om prediktivt vedlikehold, er det brukt lærebøker, artikler og nettsider.

I den delen som omfatter vedlikeholdet ved G.C.Rieber Oils, er det brukt og analysert en del rådata fra diverse vedlikeholds oversikter i form av Excel-ark, som igjen er supplert med intervju.

Felles for begge disse, er at det er data samlet inn av andre.

1.7 Bakgrunn

I høstsemesteret 2019, gjennomførte 3. års studentene et fag som het Pet 500, -vedlikehold og vedlikeholds styring. Her ble det lært mye om vedlikehold -både historien, metoder, styring og hva som skjer innenfor industri 4.0 på dette feltet. Det ble også lært en del ved å studere hva andre bedrifter har oppnådd ved å ta i bruk nye metoder innenfor industri 4.0. Det er inspirerende å lese hvordan andre bedrifter har løst sine vedlikeholdsproblemer, ofte med å benytte nye metoder som sensorer, algoritmer og kunstig intelligens, for å oppnå mindre nedetid og lavere kostnader på vedlikehold.

Jeg ønsker å takke min veileder Per Schjølberg, for viktige og nyttige innspill til oppgaven min. Jeg ønsker også å takke Tor Håkon Åsgård fra G.C.Rieber Oils som har vært veldig hjelpsom med å finne tak i opplysninger som var nødvendig for å skrive denne oppgaven.

1.7.1 Andre bedrifter

1.7.1.1 Bosch

Bosch konsernet er ledende innen teknologi og tjenester. De er oppdelt i 4 forretningsområder: mobility solutions, industrial technology, consumer goods og energy and building Technology. De driver med løsninger for å koble opp industri, hjem, byer og mobile enheter på nett.

Under området industriell teknologi spesialiserer de seg på drev -og kontrollteknologi. De tilbyr intelligente komponenter, tilpassede systemløsninger og tjenester og fullt tilkoblede applikasjoner, til industri 4.0. De tilbyr en helhetsløsning av tjenester; fra rådgivning, teknisk support og opplæring av medarbeidere til implementering av applikasjoner på stedet. Bosch har vært ledende innen kobling mot industri 4.0. De var tidlig ute med å bruke sensorer og algoritmer for å kunne forutsi feil før de oppstod, og dermed redusere nedetiden.

1.7.1.2 Siemens

Siemens har utviklet et prediktivt verktøy som overvåker utstyr/ressurser, analyserer det via KPI'er og bruksdata. Programmet, mindsphere, bruker sensorer som måler vibrasjoner, temperaturer, sykluser, vekt og trykk. Modellen overvåker utstyret i sanntid, og dersom avvik oppstår identifiserer systemet rotårsakene. Den har digitale modeller på maskinene, -typene med konfigureringer og komponenter. Den kan spore spesifikke datakilder som er relevante for å bestemme maskin ytelsene. Det er også mulig å knytte alarmer til spesifikke KPI verdier, slik at man får beskjed om utstyret yter utenfor akseptabelt nivå.

2.0 Grunnleggende vedlikeholds-teori

Her gis en oversikt over aktuelle trender og definisjoner i vedlikehold frem til i dag.

2.1 Vedlikehold

Definisjonene av vedlikehold (NS-EN 13306, 2017)

Vedlikehold er en kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.

Det er høye krav til vedlikeholdet. Konkurransen mellom bedrifter, fører til at mange presser utstyret for å oppnå størst mulig kapasitet, samtidig som de kutter kostnader. Manglende vedlikehold eller feil vedlikehold, kan føre til alvorlige ulykker. Gasslekkasjen ved Mongstad i 2016, er et eksempel på det. Petroleumstilsynet konkluderte med at det skyldes nedprioritering av overflatevedlikeholdet over flere år. Før man utfører vedlikehold, er det også viktig at risikovurderinger er på plass i vedlikeholdsrutinene.

Vedlikeholdet har som mål (Hai Qui, 2016):

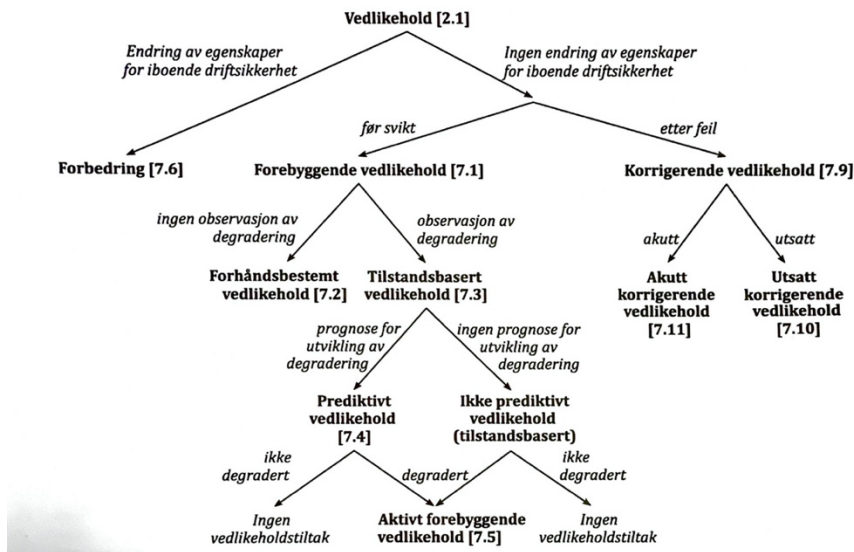
- Øke enhetens pålitelighet og redusere nedetiden
- Øke enhetens forventede levetid
- Øke gjennomstrømmingen
- Øke sikkerhet og kvalitet

Det er tre typer vedlikeholds aktiviteter: korrigerende vedlikehold, forebyggende vedlikehold og forbedringsvedlikehold.

Korrigerende vedlikehold utføres etter at feil oppdages, med hensikten å bringe enheten tilbake til tilstanden der den kan utføre sin krevde funksjon.

Forebyggende vedlikehold utføres etter forutbestemte intervall (kan være tidsfastsatt eller tilstandsbasert), der hensikten er å redusere sannsynligheten for svikt eller feil.

Forbedringsvedlikehold har til hensikt å øke standarden på enheten eller den krevde funksjonen (pålitelighet, vedlikeholdsvennlighet eller sikkerhet).



Figur 1 Vedlikeholdsterminologi (NS-EN 13306, 2017)

2.2 Ingen vedlikehold

Det kan skje ved 2 anledninger. 1: Det er ingen mulighet for å reparere det. Enheten kan ikke repareres enten på grunn av et spesielt forhold eller fordi det ikke finnes noen måter å gjøre det på.

2: Det er ikke verdt å reparere det. Det er billigere å kjøpe ny, enn å reparere. Disse mulighetene blir ikke tatt med videre.

2.3 Korrigerende vedlikehold

Det har vært den mest vanlige metoden for vedlikehold. Her blir enhetene og delene kun reparert etter at de feiler eller svikter.

Korrigerende vedlikehold kan føre til katastrofale maskin skader, lengre nedetid og større økonomiske konsekvenser. Det har også vært en tendens til å behandle symptomene i stedet for rotårsakene.

2.4 Forebyggende vedlikehold

Definisjon av forebyggende vedlikehold fra standarden: «forebyggende vedlikehold utføres for å vurdere og/eller minske degradering og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet» (NS-EN 13306, 2017) Forebyggende vedlikehold har som mål å bytte ut,

overhale eller gjenvinne deler ved bestemte intervall. Disse intervallene kan være tidsbaserte eller tilstandsbaserte.

Når vedlikeholdet er tidsbasert, blir det gjort etter faste tidsintervall, uavhengig av enhetens tilstand ved vedlikeholds-tidspunktet. Dette kan være ei fin løsning når det gjelder mindre oppgaver som rengjøring, smøring og rutine justeringer for å opprettholde enhetens funksjon, men har også blitt gjort ved større reparasjoner og utskiftinger.

Delene blir skiftet ut basert på en tidsfaktor. De blir skiftet ut etter antagelsen om at de får en feil i fremtiden. Dette kan føre til at komponenter og enheter blir skiftet ut mens de fortsatt har levetid igjen. Noe som fører til at vedlikeholds-kostnadene øker unødvendig.

Tilstandsbasert vedlikehold kan utføres både manuelt og automatisk, og måler i forutbestemte intervaller, en enhets faktiske fysiske tilstand med hensyn til egenskaper og parametere.

2.5 Prediktivt vedlikehold

Prediktivt vedlikehold er definert som «tilstandsbasert vedlikehold utført etter en prognose utledet av gjentatte analyser eller kjente egenskaper, og evaluering av de signifikante parametere for degradering av enheten» (NS-EN 13306, 2017)

Prediktivt vedlikehold er en strategi basert på prognoser. Prediktivt vedlikehold analyserer trender mot kjente grenseverdier med hensikten å korrigere feil før de oppstår -rett del på rett sted til rett tid. Den bygger på tilstandsbasert vedlikehold der hensikten er å sammenligne tilstandsinformasjonen med kjente grenser for hva utstyret kan tåle. Det krever teknologi og menneskelige ferdigheter kombinert med all tilgjengelig diagnose, ytelsesdata, vedlikeholds historie, operatørlogger og design data.

Innføring av prediktivt vedlikehold kan føre til høye investeringskostnader da det kreves en del teknologi og ferdigheter hos personell. På lengre sikt kan det føre til fordeler som

bedre produktivitet, at samlede kostnadene blir reduserte og at det gir kundene større tilfredshet.

Det er også mulig at maskiner kan styre vedlikehold sitt selv, samt overvåke og diagnostisere seg selv.

Det er mulig å bygge inn en selvdiagnose funksjon som sier fra når og hvilket vedlikehold som trengs. Deretter kan vedlikeholds personell utføre vedlikeholdet. Systemet kan også kobles sammen med bedriftens ERP system, og kan da utstede disse arbeidsordrene og bestille reservedeler der det er nødvendig.

Ved noen tilfeller kan maskinene utføre noe av vedlikeholdet selv.

Dette fører til at tilstandssjekker og planleggingsfasen blir enklere og billigere.

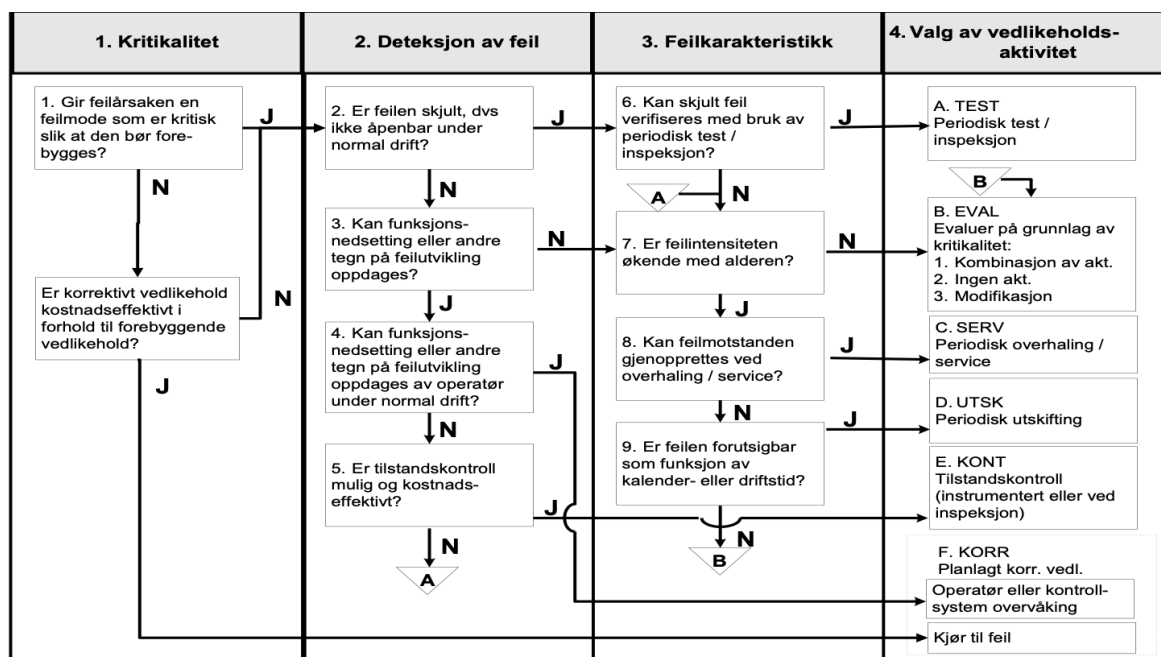
2.6 RCM -reliability centered maintenance (driftsikkerhetsstyrt vedlikehold)

RCM er en strategi for å optimere vedlikeholdet hos en bedrift, ved å forsikre at enhetene kan utføre sin krevde funksjon. Her er det 7 esensielle spørsmål:

1. Hva er den krevde funksjon?
2. hvordan kan enheten feile?
3. Hva fører til at feil oppstår?
4. hva skjer når feilen oppstår?
5. på hvilken måte har feilen betydning?
6. hva kan gjøres for å unngå feilen eller predikere den?
7. hva bør gjøres?

Det er 4 prinsipp som er kritiske i RCM:

1. *Hovedfunksjonen er å opprettholde system-funksjonene*
2. *identifiser feilmoder som kan påvirke systemets funksjoner*
3. *prioriter feilmodene*
4. *velg aktuelle og effektive oppgaver for å kontrollere feilmodene*



Figur 2 RCM-beslutningslogikk (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

Dette skjemaet er til hjelp når man skal finne rett vedlikeholds aktivitet på de prioriterte feilmodene. Man går altså ikke gjennom denne på alle delene man har, men velger ut de feilmodene man oppfatter som kritiske i forhold til å opprettholde system-funksjonen. Resultatene av denne går inn i vedlikeholdsprogrammet -forebyggende og korrigerende. Deretter evalueres resultatene ved hjelp av datainnsamling og analyser.

Ulempene med en RCM analyse, er at den er omfattende og kan være vanskelig å begrense. Den er ressurskrevende, og krever nøyaktige og detaljerte data. Det er også omfattende å finne rotårsakene, sidene dataene ofte er reparasjonsorienterte.

2.6.1 FMEA og FMECA

En feil er en tilstand der enheten ikke kan utføre sin krevde funksjon og en feilmode er måten denne enheten svikter på.

Noen av analysemetodene som tas i bruk her, er FMEA og FMECA. Her brukes FMEA for å identifisere de mulige feilmodene på enhetene, samt deres årsaker og konsekvenser. FMECA ser på hver enkelt enhet i systemet. Hvordan disse kan feile, samt hvilke effekter og konsekvenser det får. Disse rangeres så etter f.eks. kritikalitet, konsekvenser, årsaker eller hvor raskt en feil inntreffer.

2.6.2 Tilgjengelighet

Påliteligheten til disse systemene er viktig å få vurdert. Pålitelighet er et kvalitetsbegrep, og ikke målbart, men det er andre mål som sier noe om påliteligheten til en enhet.

Et viktig mål er tilgjengelighet. Tilgjengelighet er «evnen denne enheten har til å utføre en tiltenkt funksjon, enten ved et bestemt tidspunkt eller over en gitt tidsperiode.» (Rolstad, 1999)

$$\text{tilgjengelighet} = \frac{\text{oppetid}}{\text{oppetid} + \text{nedetid}}$$

Noen selskaper har erfart at «full RCM» på alle systemer og alt utstyr, er ressurskrevende, og at uttellingen i form av resultater ikke nødvendigvis står til innsatsen. Derfor har mange selskaper innført dette på de sikkerhetsmessige viktigste systemene.

2.7 RCFA -Root cause failure analysis

Rotårsaksanalyse er en systematisk analyse for å finne rotårsakene for feil og svikt.

Tilstandsovervåkning varsler om feil som ikke skulle eksistert, men sier ikke noe om de bakenforliggende årsakene til feilene. Rotårsaksanalyse bruker data relatert til design, innkjøp, transport og bruken av utstyret, for å finne årsaker til at feilene oppstår. Den identifiserer forhold som reduserer levetiden til utstyret, som for eksempel ubalanse, forskyvning, bøyde skaft, resonans, utslitte lager m.m. en utfordring er at disse dataene ofte ikke blir dokumentert før feilen allerede har oppstått.

2.8 Life cycle cost (LCC)

Livssyklus kostnad er summen av alle kostnader som genereres gjennom livssyklusen til en enhet (NS-EN 13306, 2017)

Dette er kostnader knyttet til anskaffelse, drift, vedlikehold og avhending. Formålet med en LCC analyse, er å vurdere kostnadene i hele den planlagte levetiden. Det er viktig å få frem de skjulte kostnadene som ligger i drift, vedlikehold, reservedeler, transport og kassasjonskostnader mm, og ikke bare anskaffelseskostnadene.

LCC analyser brukes i denne sammenhengen ved vurdering av innkjøp og planlegging av vedlikeholdssystem som preskriptivt vedlikehold.

2.9 TPM -total productive maintenance

Total productive maintenance ble oppfunnet I Japan, med målet om at utstyret skulle kjøres med mest mulig effektivitet for å oppnå optimal livssyklus kost på utstyret. og det ble viktig å unngå sløsende faktorer. De sløsende faktorer ble delt inn i 7 viktige områder:

- Korrigerende.
Å gjøre ting på nytt eller reparere. Eksempler er sammenbrudd oppsett, justeringer, småstopp, defekt produksjon
- Overproduksjon.
For eksempel å lage unødvendig mange
- Bevegelse
For eksempel å ta flere steg enn nødvendig
- Material bevegelse.
For eksempel viktig å unngå og føre materiell gjennom mange unødvendige steg.
- Venting.
Vente på arbeid, vente på deler, lav hastighet, oppstartstap, er eksempler på unødvendig tap pga venting.
- Inventar.
Det er viktig å ikke bruke arbeidsplasser som lagring av ting som ikke er i bruk.
Prosedyre om 5s (Sortere, systematisere, skinne, standardisere og sikre)
- Prosedyre eller prosess.
For eksempel å gjøre ting om igjen på grunn av tungvinte prosesser.

Vedlikehold ble et viktig satsingsområde for TPM. Metoden fokuserer på å optimere utstyret. Hovedideen var at maskin kapasiteten kunne økes ved å utnytte operatørens kunnskaper og kreativitet bedre, siden operatøren er den som kjenner maskinen best. Operatøren blir kalt for den følelsesmessige eieren av maskinen, og ble ikke bare ansvarlig for produksjonsdelen, men også for grunnleggende vedlikehold. Operatøren registrer alle produksjonstap underveis (nedetid, kvalitetstap, nedsatt fart). Dette ble synliggjort i form av 7 søyler:

1. Autonomt vedlikehold

Basis vedlikeholdet (smøring, rengjøring, stramming, inspeksjoner) overlates til operatører, mens vedlikeholds staben får mere tid til komplekse oppgaver. Dette har

flere fordeler: operatørene blir ansvarliggjort, ikke venting, økte ferdigheter, problemer blir tatt hånd om før det fører til nedetid. Vedlikeholds-staben blir fri til å gjøre andre oppgaver.

2. utdanning og trening

Det er viktig å fylle kunnskapshullene, og gjøre operatørene i stand til å utføre grunnleggende vedlikehold -sertifiseringsprogram.

3. Planlagt vedlikehold.

Planlegging av vedlikehold basert på observert oppførsel som feilrater og sammenbrudd. Fordelen er at vedlikeholdet kan gjøres når det ikke er så travelt på fabrikken, slik at produksjonen blir avbrutt minst mulig.

4. OEE

Måle tilgjengelighet, ytelse og kvalitet jevnlig.

5. Aktivitet i små grupper.

Tverrfaglige team for å jobbe med problemutstyr.

6. Tidlig i gang med rett vedlikehold på nytt utstyr.

Bruker informasjon fra tidligere vedlikehold, for å sikre at nytt utstyr oppnår maks produktivitet så snart som mulig.

7. Motivasjon

2.9.1 OEE -overall equipment effectiveness

OEE er et mål på utstyrets tilgjengelighet, ytelse og kvalitet

$$OEE = \text{tilgjengelighet} * \text{ytelse} * \text{kvalitet}$$

Tilgjengelighet = opptid/tilgjengelig tid

Ytelse = faktisk fart/standard fart

Kvalitet = (total ant produkt – defekte produkt)/ totale ant produkt

En OEE på 100% betyr at man produserer bare perfekte produkt, så hurtig som mulig og uten nedetid. Den gyldne standard til OEE på 80%, mens world class er over 85%.

Det er 8 store tap forbundet med OEE:

1. Stopp
2. Havari

3. Justeringer
4. Utskiftinger av forbruksdeler
5. Uvirksom tid eller små stopp
6. Redusert fart
7. Oppstart tap
8. Defekte produkter

De 4 første tapene går ut over tilgjengeligheten, mens 5 og 6 går ut over ytelsen. Tap som gjelder 7 og 8, er tap som går ut over kvaliteten i produksjonen.

Noen studier viser at det ikke alltid er en suksess å overføre denne metoden til bedrifter i vesten. Mange har derfor konkludert med at denne metoden bare fungerer i Japan, men det stemmer ikke. Metoden kan være krevende å innføre da 3 ting er viktige:

1. Den krever direkte kontakt mellom operatører og maskiner
2. Villighet til å endre
3. Forlenget støtte og engasjement fra ledelse. Implementering av denne som metode tar mellom 3-4 år

2.10 World class maintenance

World class maintenance er et mye brukt begrep, ofte brukt uten å egentlig ha en felles forståelse på hva det betyr.

Bedrifter som er i world class innen vedlikehold, er bedrifter som stadig demonstrerer industriens beste praksis og produserer gode resultater samtidig.

Eksempler på slik beste praksis er:

- 100% av tiden til en vedlikeholdsarbeider er arbeidsordre
- 90% av tiden blir brukt på planlagt arbeid.
- 90% av arbeidsordrene er forebyggende vedlikehold
- 30% av arbeidet er forebyggende.
- 100% av pålitelighetsnivået er nådd 100% av tiden.
- Det blir sjelden fritt for reservedeler
- Overtid er mindre enn 2% av vedlikeholds-tiden.
- Vedlikeholdskostnadene er 2% (+-) av budsjettet.

Veien til World Class Maintenance

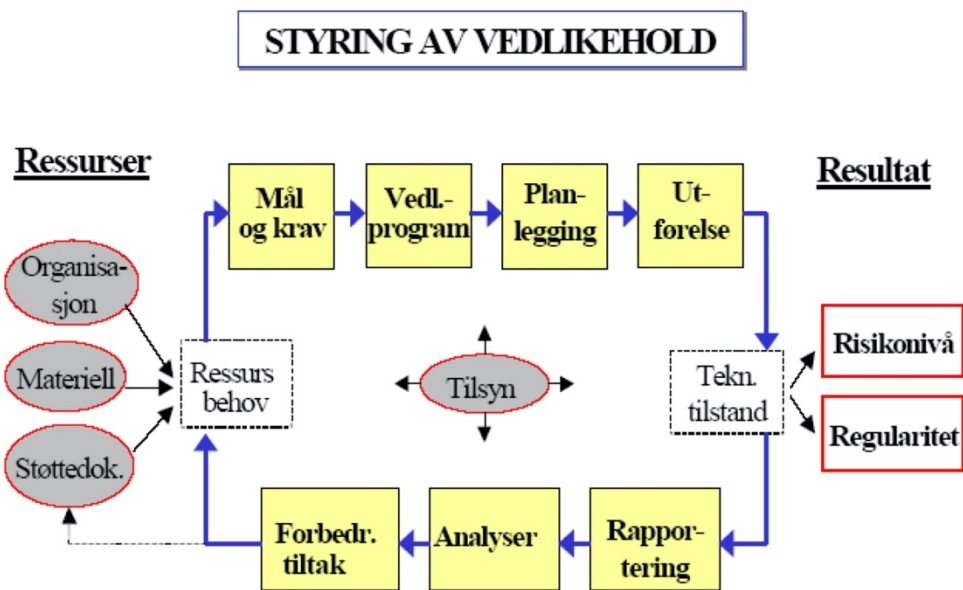
	Målestokk	Fokus	Organisasjon	Dataverktøy	Beredskap	Kompetanse	Metodikk
World Class	Konkurranseskraft	Kjernevedlikehold	Optimal vedlikeholdsorganisasjon	Verktøy for optimalisering	Prosessforbedring	Forbedringskompetanse	Optimalisering av intervall og reservedeler
Nærmer seg toppen	PLI	Tilstandsbasert vedlikehold	Proessorientert slank, fleksibel	Dashbord Prediksjon	Er i forkant av problemer	Analysekompetanse	RCM
Godt i gang	OEE	5S Opplæring av operatører	Utskilling av 1.linje vedlikehold	Tilstandsmåling/-analyse	Pit stop	Prosesskompetanse/ Flerfaglighet	FMEA
Satt i system	Stopptidsregistrering	Preventivt program	Utskilling av vedlikehold utenfor kjerne	EDB-basert vedlikeholdssystem	Verktøy Reservedeler Prosedyrer	Maskin-kompetanse	Feilsøking
Primitiv/	Vedlikeholdsbudsjettet	Reparasjon	Tradisjonell vedlikeholdsavdeling	Vedlikeholdstabelle Manuelle arbeidsordrer	Brannslukking	Fagkompetanse	Egen erfaring

Bedrift x

Tabell 1 World Class Maintenance, (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

2.11 Styring av vedlikehold

Petroleumstilsynet har utviklet en basis-studie i vedlikeholdsstyring. Dette er en «metode for systematisk og helhetlig vurdering av selskapets eget vedlikeholdsstyringssystem» (oljedirektoratet, basisstudie vedlikeholdsstyring). Denne er regnet som det mest grunnleggende innen vedlikeholdsstyring, og er adoptert av alle næringer. Målet med denne studien er kontinuerlig forbedring av eget system og et grunnlag for felles forståelse av styringssystemet -både for myndigheter og operatører. Studien er rettet mot vedlikeholdssystemets kvalitet til å opprettholde teknisk tilstand og sikker drift.



Figur 3 Vedlikeholdssløyfa fra Ptil, (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

Denne styringssløyfen fra basisstudien, er utgangspunktet for vedlikeholdet. Mål og krav settes i samarbeid med krav fra myndigheter og bedriftens interne mål og krav. Det kan være alt fra myndighetens krav til elektriske installasjoner og HMS-krav til for eksempel bedriftens krav om teknisk tilgjengelighet av anlegget. Vedlikeholdsprogrammet brukes til å fastsette tid til inspeksjoner, tilstandsovervåkning og løpende vedlikehold. Her kan RCM, FMECA og livssyklusanalyser være nyttige hjelpemidler. Dette settes så sammen i en helhetlig plan, der både langtidsplaner (2-5 år) og mere korttidsplaner (eks uker og måneder) er inkludert.

Utførelse av vedlikehold inneholder både korrigerende og forebyggende vedlikehold, samt rutiner for å ivareta en sikker og trygg arbeidshverdag.

Rapportering, er en viktig del av denne sløyfa, da disse utgjør grunnlaget for å analysere resultatene. Data fra feil, feilmoder, uregelmessigheter og svikt, utgjør grunnlaget for analyser og forbedringstiltak. Uregelmessigheter kan analyseres videre med for eksempel rot-årsaks-analyse eller sikker-jobb-analyser.

2.12 Oppsummering vedlikeholds-teori

Godt vedlikehold skal øke påliteligheten, redusere nedetiden, øke levetiden, øke gjennomstrømmingen samt øke sikkerheten og kvaliteten. For å kunne finne ut hva som er godt vedlikehold er det viktig å bruke de samme begrepene og definisjonene på vedlikehold. RCM og TPM er anerkjente metoder som har skapt gode resultater innenfor vedlikehold over tid. De øker begge kvaliteten på vedlikeholdet, men med to ulike tilnærminger. RCM er opptatt av å opprettholde systemfunksjonene, mens TPM er opptatt av å redusere sløsende faktorer. Det er etterhvert kommet flere supplerende analyser som rotårsaks analyser og livssyklus kostnads analyser.

Det er også vanlig med måltall for å måle hvor godt vedlikeholdet blir gjort. Her er det vanlig med tall for tilgjengelighet, OEE og World Class (en sammenligning av måltall). Petroleumstilsynet har utviklet en metode for å hjelpe styringen av vedlikeholdet - styringsløyfa. Målet med denne er at selskaper skal bruke denne for å kontinuerlig forbedre eget system.

3.0 Prediktivt vedlikehold og smarte metoder

Prediktivt vedlikehold bygger på forebyggende vedlikehold. Forebyggende vedlikehold som er basert på tilstandsovervåkning, kan predikeres.

Fremveksten av industri 4.0 har ført til at dette er blitt lettere og mere tilgjengelig ved hjelp av sensorer og smarte systemer for mønstergjenkjenning.

Mye av denne teorien er basert på engelske artikler, og derfor er det en del figurer og modeller som ikke er oversatt til norsk.

3.1 Prediktivt vedlikehold

Det er en fordel å kunne predikere feil og svikt før de oppstår, for dermed å kunne forhindre dem. Prediktivt vedlikehold kan deles inn i 4 modningsnivå (Mark Haarmann M. M., Predictive maintenance 4.0 Predict the unpredictable, 2017)

Nivå 1 visuell kontroll:

Periodiske fysiske kontroller. Konklusjonene er basert kun på inspektørens ekspertise.

Nivå 2 kontroll av instrumenter:

Periodiske kontroller basert på kombinasjonen av inspektørens ekspertise og instrument avlesning

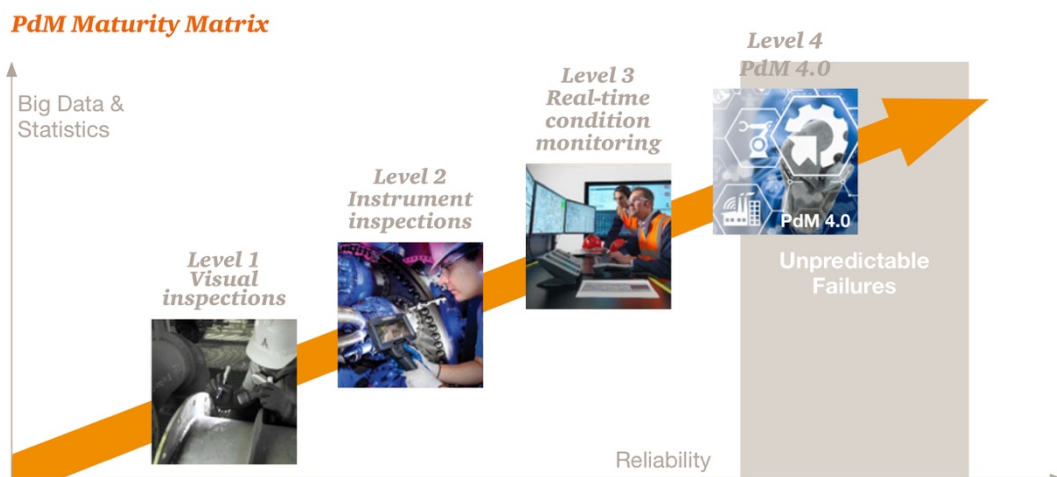
Nivå 3 kontinuerlig overvåkning i sanntid:

Kontinuerlig overvåkning av ressurser (sensorer), med alarmer basert på forhåndsdefinerte regler eller kritiske nivå.

Nivå 4 prediktivt vedlikehold 4.0:

Kontinuerlig overvåkning av ressurser, med alarmer basert på prediktive teknikker som regresjonsanalyser.

Det involverer å ta i bruk datamuligheten innenfor industri 4.0, for å analysere store mengder data, og ta i bruk maskinlæringsalgoritmer for å finne mønstre og anomaliteter. Denne nye teknologien gjør at det er mulig å forutsi det som før var uforutsigbart.



Figur 4 PDM maturity matrix (Mark Haarmann M. M., Predictive maintenance 4.0. Predict the unpredictable, 2017)

67% av bedriftene befinner seg på nivå 1 og 2, 33% er på nivå 3, mens 11% er på nivå 4 (Haarmann, 2017)

I Frankrike innførte en bedrift prediktivt vedlikehold på rundt 400 roterende maskiner ved bruk av ultralyd (cristal union,» (Dannepond, 2018). Disse målingene bidro til å gi bedre kontroll med smøringene, og mulighet for å predikere når en maskin måtte stoppes for reparasjon. Noe som førte til at maskinene kunne stoppes på et tidspunkt det ikke var så travelt på fabrikken.

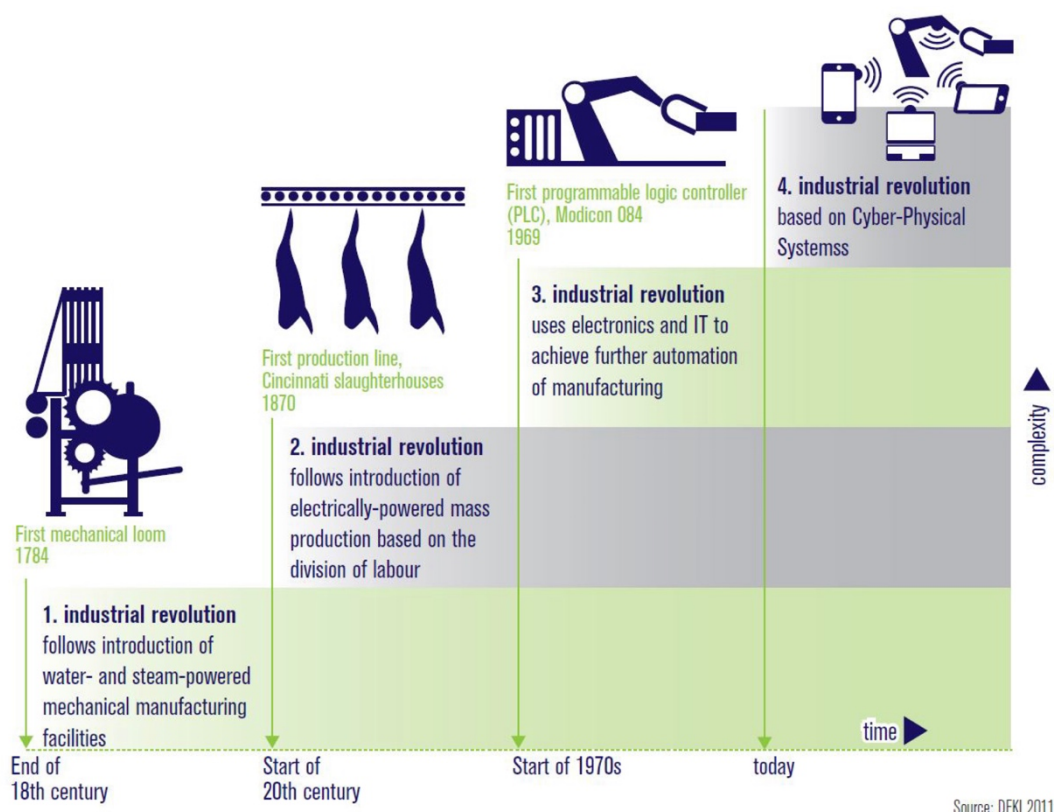
Samlet sett bidro denne omleggingen til at bedriften unngikk 5-7 uplanlagte vedlikeholds stopp. Behovet for overhaling av maskinene gikk ned fra 80/100 til 27 dette året.

Tilgjengelighet av reservedelene til rett tid, gjorde at vedlikeholdet ble raskere utført.

Mange av vedlikeholdsmetodene som blir brukt av bedrifter, inneholder både korrigerende og forebyggende vedlikehold. Den forebyggende delen i disse metodene blir gjerne utviklet mot industri 4.0.

3.2 Industri 4.0

Industri 4.0 er betegnelsen på en evolusjon/revolusjon innen industrien, der eksisterende teknologi kobles sammen på en ny måte for å bidra mer til effektivisering og kostnadsreduksjoner.



Source: DFKI 2011

Figur 5 Four stages of industrial revolution (Per Schjølberg, 2016)

I 1760 startet prosessen med å gå over til arbeid drevet med dampmaskiner.

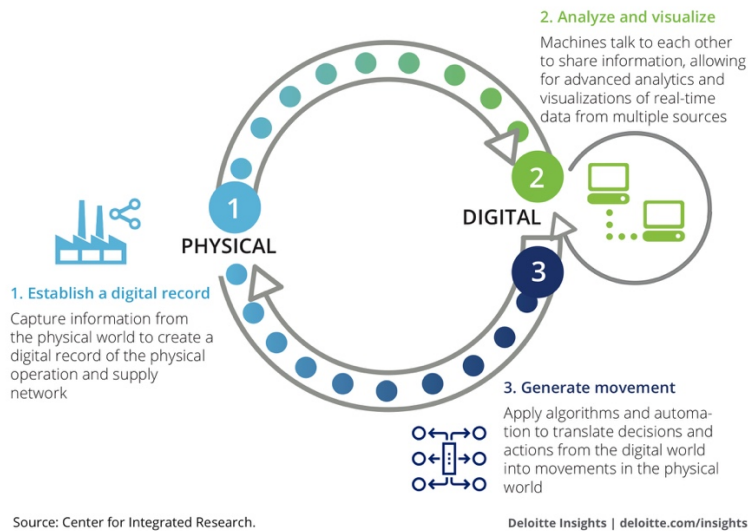
Den andre industrielle revolusjonen med teknologien som gjorde masseproduksjon mulig, begynte i 1850-årene. I 1970-årene startet den tredje industrielle revolusjonen, der oppfinnelsen av transistoren førte til muligheter for automatisk produksjon og produksjon styrt av digital teknologi.

I 2013 ble visjonene for en ny revolusjon, -industri 4.0, presentert. Den eneste revolusjonen som ble annonsert før den kom.

Revolusjonen, eller evolusjonen som noen kaller den, beskriver en overgang til smart produksjon. Da vil hele verdikjeder være knyttet opp mot internett, og det blir da viktig at informasjonen flyter mellom den fysiske verden og den digitale verden. Denne flyten skjer i tre steg, også kjent som fysisk-til-digital-til-fysisk sirkel.

- Fysisk til digital.
Samler fysiske data fra ulike sensorer til en lagringsenhet.
- Digital til digital.
Deler informasjon, og bruker den til avanserte analyser og kunstig intelligens.
- Digital til fysisk.

Bruker algoritmer for å overføre digitale avgjørelser til den fysiske verden.



Figur 6 Physical-to-digital loop and related technologies (Deloitte Insights, 2017)

3.2.1 Internet of Things

Dette er en samling av sammenhengende databehandlingsenheter som overfører data til et nettverk. I et industrianlegg skal alle enheter kunne kommunisere gjennom internett, og sende data som drift, tilstand og miljø.

Noen av utfordringene her, er kostnader knyttet til investering og implementering av systemet og sensorene, samt sikkerhet.

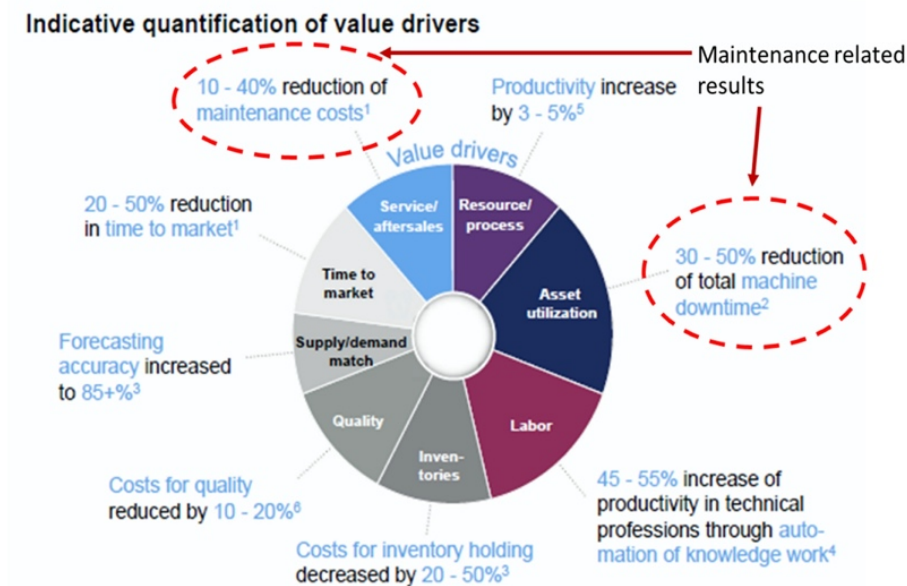
3.2.2 Big data

Big data er et uttrykk for å beskrive de store mengder data som blir samlet inn. Denne datamengden må analyseres av maskiner, og er mulig for maskinlæring og kunstig intelligens.

3.2.3 Cyber-Physical-System

Dette systemet sørger for at det er forbindelse mellom den fysiske verden og den digitale verden.

3.2.4 Smart vedlikehold



Figur 7 The main drivers for industrie 4.0 (McKinsey & Company, 2015)

De viktigste driverne for å innføre smart vedlikehold, har vært å få redusert nedetid og vedlikeholdskostnader.

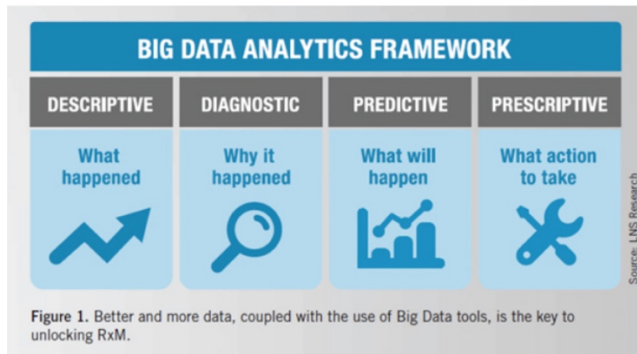
Smart vedlikehold handler om at maskiner kan sende tilstands data i sanntid, og gjennom data-algoritmer forutsi og forhindre feil før de skjer.

Dette er mulig dersom man installerer sensorer som kan sende tilstandsbasert data til et system der de kan analyseres. Det finnes mange ulike sensorer som f.eks. kan måle elektrisitet, fukt, ultralyd, vibrasjoner og trykk.

Det er viktig å skjønne hva som er essensielt å måle, og det kan ofte oppdages ved å kjennes systemet og vedlikeholds historien.

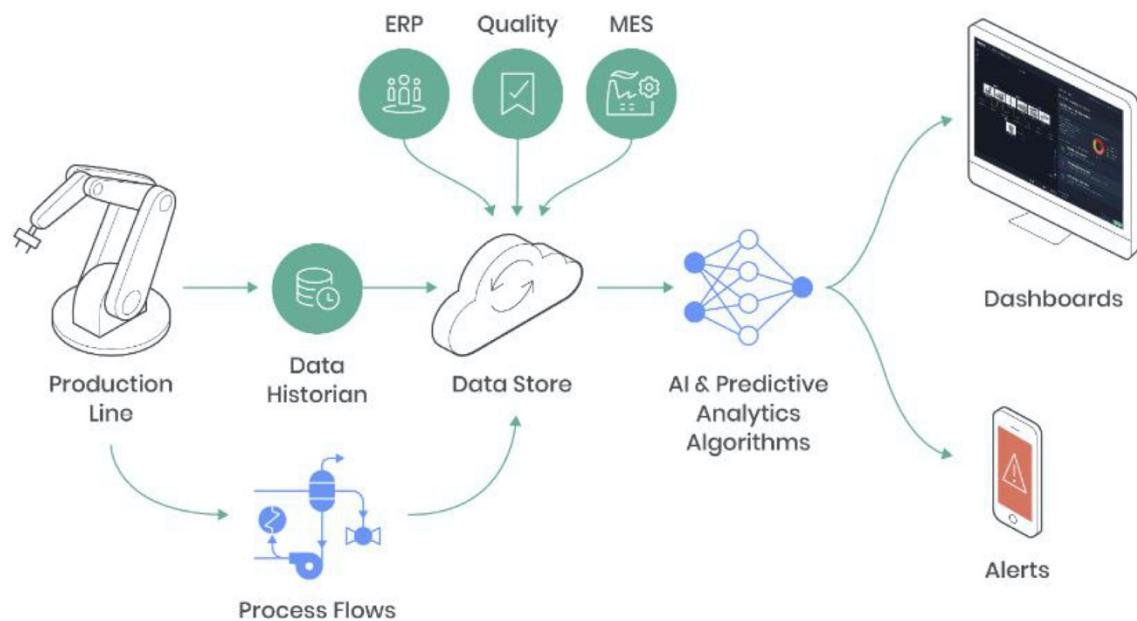
3.3 Preskriptivt vedlikehold

Preskriptivt vedlikehold er en forflytning fra streng planlegging til muligheten å utføre vedlikehold basert på faktiske data i sanntid. Datasystemet identifiserer mønstre og finner rotårsaker, og gir deretter presise avgjørelser for når vedlikeholdet bør utføres. Preskriptivt vedlikehold blir brukt til å redusere nedetid, maksimere profitt og øke utstyrets pålitelighet.



Figur 8 Bedre og mere data, koblet sammen med Big data (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

Dersom f.eks. en sensor viser økt temperatur, vil prediktiv analyse fortelle at utstyret vil feile etter så og så lenge, mens preskriptiv forteller at dersom du reduserer farten med så og så mye, så kan tiden før feil oppstår bli doblet. Det kan føre til at det planlagte vedlikeholdet fortsatt kan gjøres på det planlagte tidspunkt, og da kan man fortsatt nå den planlagte produksjonen.

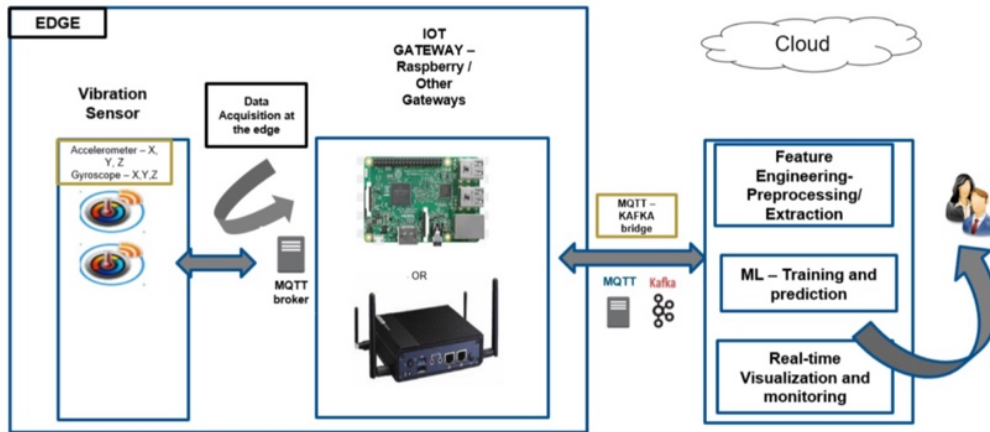


Figur 9 Illustrasjonsbilde av hvordan prediktivt vedlikehold er koblet sammen (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

Ai og maskinlæring er hjernen i preskriptivt vedlikehold. Modellene er laget som maskinlæring, og er designet for finne anomaliteter under produksjonen. Det gjør at den finner

mønstre som avviker fra forventet oppførsel innen datasettet. Dette bidrar til å hindre at feil oppstår, og til å redusere ikke-planlagt vedlikehold.

Maskinlæringens anbefalinger er bygd på anomaliteter, sensorenes lokasjoner, sensor data, tidspunktet det oppstod og utstyrets egenhet.



Figur 10 Prescriptive maintenance real-time visualization platform (Deka, 2018)

Preskriptivt vedlikehold skal håndtere store mengder data fra flere kilder, og skal bruke disse til å generere effektiv støtte til avgjørelser og komme med anbefalinger for forbedring/optimering av vedlikeholdet sammen med planlegging av produksjonen.

Preskriptivt vedlikehold har 5 funksjoner:

- Prediksjonsevne -overvåker, analyserer og finner skjulte mønstre og uregelmessigheter. Predikerer kritiske og uventede feil
- Optimeringsevne -finder det optimale punktet for vedlikehold.
- Tilpasningsevne -tilpasser seg til uventede endringer og rekonfigurerer.
- Læringsevne -kontinuerlig læring av tidligere erfaring.
- Evne til intelligente avgjørelser -automatisk vedlikeholdssystem med støtte for avgjørelser.

Preskriptivt vedlikehold er både proaktivt og prediktivt. Det innebærer å flytte vedlikeholdet fra planlagt forebyggende, til en tilstand hvor man foretar vedlikeholdet når statusen på utstyret tillater det. Det betyr at neste tidspunkt for vedlikehold beregnes av kunstig intelligens og maskinlæring. Preskriptivt vedlikehold bruker industri 4.0, maskinlæring og logikk til å forutsi hendelser før de skjer, og gi informasjon og anbefalinger. I noen tilfeller kan maskinene utføre dette selv. Det er mange ulike meninger om hvorvidt preskriptivt vedlikehold hører med under prediktivt vedlikehold eller ikke. Jeg har valgt å

se det under prediktivt vedlikehold siden dette bygger på prognoser, og anbefaler handlinger basert på disse prognosene.

3.4 Trender

I en trendstudie utført av VP digital Business innovations i mai 2019 (med deltakerbedrifter i Norden, Benelux, Uk med Irland, Frankrike, Tyskland, Spania og Italia), rapporteres det om at overgang til prediktivt vedlikehold fører til eksempel 2-6% økning av tilgjengelighet, 10-40% reduksjon i reaktivt vedlikehold og 5-10% kostnads reduksjon.

91% av selskapene rapporterer at hovedmålet med å innføre prediktivt vedlikehold, er å redusere nedetiden og tiden til reparasjoner, mens 93% oppgir forbedring av aldrende infrastruktur som hovedmål.

I de europeiske landene rapporterer 52% av selskapene at de har allerede investert i prediktivt vedlikehold, mens 94% sier at de har planer om det i de neste to årene. De 4 største utfordringene som blir nevnt for å innføre prediktivt vedlikehold er data sikkerhet, interne analyseferdigheter, redesigning av vedlikeholds prosesser og innkjøpskostnader.

3.5 Oppsummering prediktiv vedlikeholds-teori.

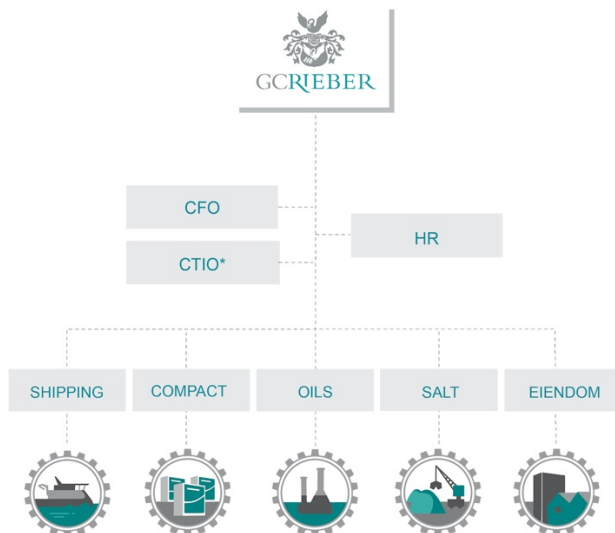
Prediktivt vedlikehold er en del av forebyggende vedlikehold som baserer seg på tilstandsbasert overvåkning. Resultatene fra denne tilstandsbaserte overvåkningen, brukes i analyser for å kunne forutsi -predikere feil og svikt. Teknisk utvikling og fremveksten av industri 4.0 har gjort det billigere og mere tilgjengelig å gjøre denne overvåkningen i sanntid med sensorer koblet opp til nettet. Disse store mengdene med data (big data) blir samlet i en sky-løsning eller en lagringsenhet på stedet. Her kan dataene tas frem for analyser. Siden det er etterhvert blitt så store mengder data, må disse håndteres av en maskin. Maskinen kan lete etter mønster og anomaliteter, og sammenlikne disse med kjente grenser for hva utstyret kan tåle eller maskinene kan være programmert med selvlærende algoritmer som er i stand til å gi mere nøyaktige prognoser for når feil oppstår. Her skjer den tekniske utviklingen fort, og det er allerede vanlig at maskiner kan utføre noe av vedlikeholdet selv og gi støtte til avgjørelser vedrørende vedlikehold.

4.0 G. C. Rieber Oils

G.C.Rieber Oils holder til i Kristiansund og produserer omega 3 av fiskeolje. De er en del av G.C.Rieber konsern.

4.1 G.C.Rieber

G.C.Rieber er et privateid selskap med 500 ansatte, som har majoritetsinvesteringer på 5 områder: shipping, Compact, Oils, Salt og Eiendom, samt en finansportefølje. De ønsker å være en drivkraft som utvikler av verdier for fremtiden, både nærings -og samfunnsmessig. Et tydelig verdigrunnlag og felles bedriftskultur danner rammer for aktivt samfunnsansvar og bærekraft i alle ledd (G.C.Rieber , 2020).



* Fra februar 2018

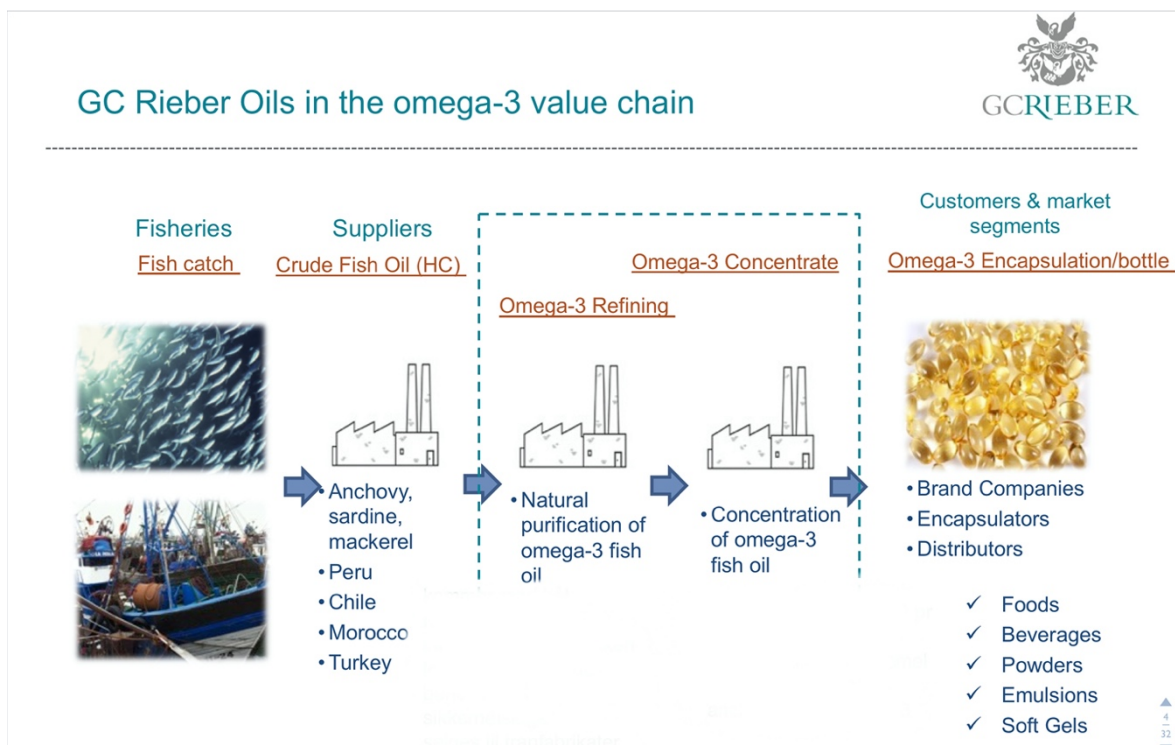
Figur 11 G.C.Rieber konsernstruktur (G.C.Rieber, 2020) (G.C.Rieber Oils, 2019)

4.2 G.C. Rieber Oils

G.C.Rieber Oils har 56 ansatte i Kristiansund. De produserer Omega 3-konsentrater til et globalt marked. De foredler og oppkonsentrerer fiskeolje med fokus på kvalitet. De største markedene for Omega 3-konsentrater er USA etterfulgt av Asia og Europa. De har «fokus på nisjeproduksjon og høyverdige produkter av ypperste kvalitet er kjernefokus for selskapet.» (G.C.Rieber, 2020)

G.C.Rieber Oils produserer Omega-3-konsentrater med strenge krav til både Omega-3 innhold, smak, renhet og holdbarhet.

G.C.Rieber Oils kjøper Crude Fish Oil fra Peru, Chile, Marokko og Tyrkia, med hovedtyngden fra Peru og Chile. Oljen kommer med båt, og leveres inn i konsentratfabrikken. Der blir den renses og konsentrert, for så å bli levert på fat til kunder.



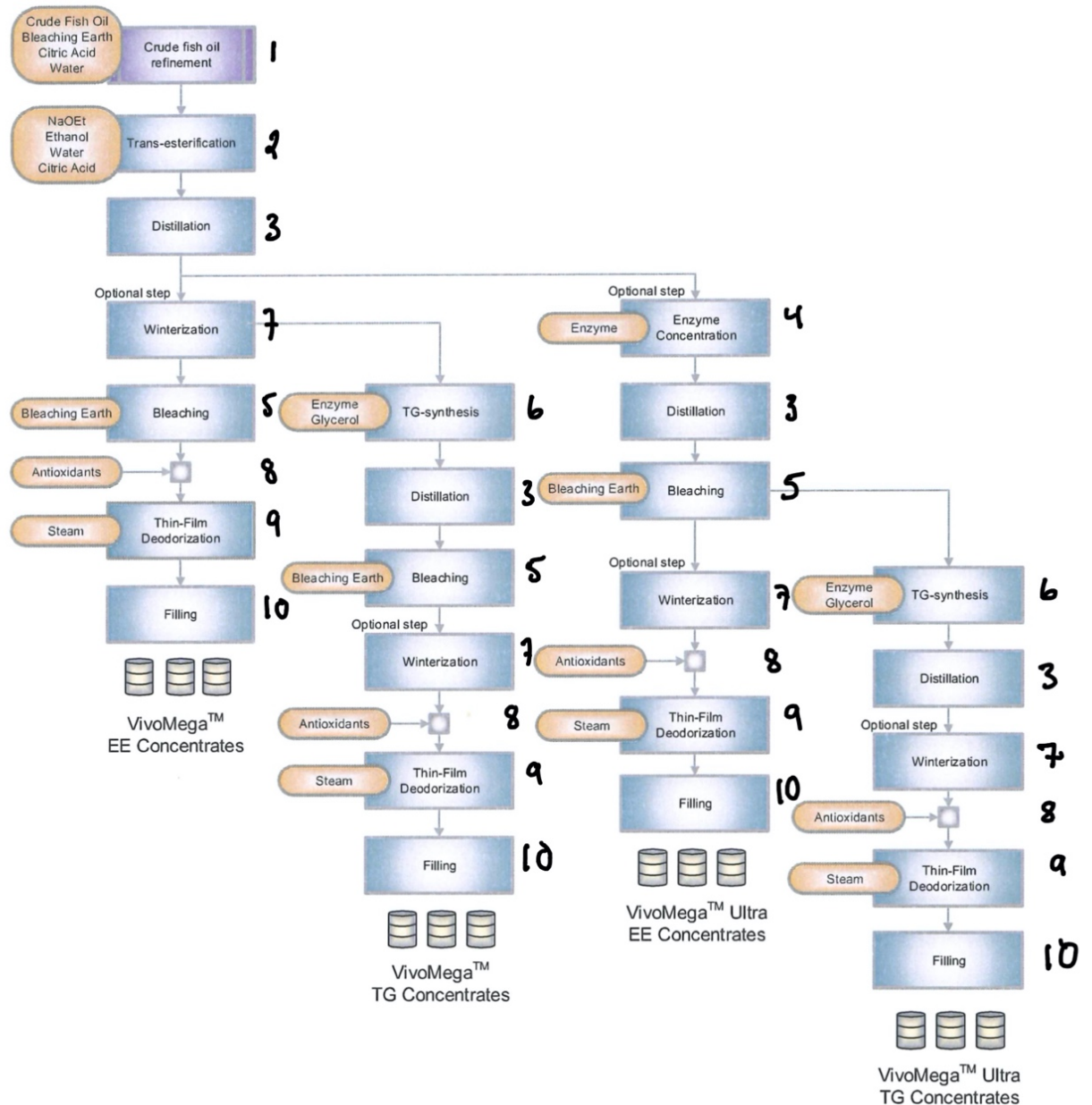
Figur 12 G.C.Rieber Oils Omega-3 verdi kjede (Forelesningsnotater, 2019)

4.3 Produksjonsprosessen

G.C.Rieber Oils produserer 4 forskjellige fiskeolje-konsentrater, med total omega-3 innhold opp til 90%. De tilbyr forskjellige produkter med ulik sammensetning av EPA og DHA. Første trinn er råolje raffinering (1). Her blir oljen renses, og uønskede frie fettsyrer og miljøgifter blir fjernet fra standard raffineringsprosessen. Transesterifisering (2) er prosessen hvor triglyserid blir konvertert til etyl ester. Ved destillering (3) blir omega-3 etyl oppkonsentrert. Etter TG syntesen, blir rester av etyl ester fjernet ved destillering. Her skiller det ut ei produksjonslinje som blir til ultra EE Konsentrat. Deretter forsetter den til Winterization (7) Her blir oljen kjølt ned og krystallene filtrert bort. Dette trinnet blir gjort når det er nødvendig i henhold til spesifikasjonene, også seinere enn vist i skjema. Etter dette trinnet skiller det ut ei produksjonslinje som blir til TG konsentrat.

Ultra EE konsentrat går gjennom en enzym-konsentrasjon (4). Her blir omega-3 etyl estere oppkonsentrert gjennom en enzym-reaksjon. Deretter er det en ny destilleringsprosess (3), før den går videre til bleking (5). Blekeprosessen fjerner oksiderende komponenter i oljen.

Her blir produksjonslinjen som skal bli ultra TG konsentrat skilt ut, og går til TG-syntese (6). I TG-syntesen blir omega-3 etyl estere konvertert tilbake til triglyserid ved hjelp av enzymer. Prosessen skjer ved hjelp av vakuum. Denne oljen har enda en destilleringsprosess (3), før den går til Winterization (7). Her blir oljen kjølt ned og krystallene filtrert bort. Dette trinnet blir gjort når det er nødvendig i henhold til spesifikasjonene, også seinere enn vist i skjema. Deretter blir antioksidanter tilført (8), før oljen blir deodorisert (9). I denne prosessen blir smak og lukt komponenter fjernet fra oljen. Til slutt blir den fylt på stål fat (10), og transportert bort.



Figur 13 Produksjonsprosessen (G.C.Rieber Oils, 2020)

4.4 Oppsummering produksjon

G.C.Rieber Oils produserer omega 3 av fiskeolje. De lager 4 hovedprodukter; vivomega EE, vivomega TG, vivomega ultra og vivomega ultra TG. Disse produktene går gjennom ulike produksjonstrinn.

5.0 Vedlikeholdet ved G.C.Rieber Oils

Som en del av oppgaven skulle vedlikeholds prosedyrene ved G.C.Rieber Oils beskrives. I første intervju, ble det sagt at de drev mest med reaktivt vedlikehold, uten at de hadde noe tall på det. De har ingenting prediktivt vedlikehold, -det er altså ingen vedlikehold som bygger på prognoser.

Vedlikeholds-strategien ved G.C.Rieber Oils er «vi skal prøve å komme oss over fra løpende vedlikehold til mere planlagt vedlikehold». Konsernets vedlikeholds strategi er ikke oppfattet eller formidlet.

Blant data som ble undersøkt, var en liste over alt vedlikeholdet som var gjort i 2019. Den inneholdt datoer, TAG nr, timer brukt, litt ulike beskrivelser av feil/ hva som var utført. Det ble også undersøkt en liste over vedlikehold som var meldt av kontrollrom 2019. Den inneholdt TAG nr, anleggs nr, dato meldt, beskrivelse av feil/hva som var gjort, status, hvem meldt og hvem utført. Det ble dessuten gjennomgått en liste med tidsbasert planlagt vedlikehold.

5.1 Korrigerende vedlikehold

Da korrigerende vedlikehold ofte fører til høyere kostnader og lengre nedetid, ble det først undersøkt hvor mye korrigerende vedlikehold var vanlig ved G.C.Rieber Oils i 2019.

Dermed ble alt vedlikehold som var vasking, rydding, bygging, montering, overhaling, bytte av lysrør, div kontroller, ombygging, utbedringer og daglig vedlikehold tatt ut. Det ble korrigerende for der det gikk frem i teksten at det var utført på grunn av en feil som var oppdaget.

Det ble da funnet ut at det ble utført 57% korrigerende vedlikehold (etter antall oppgaver) i 2019 og 51% av timene ble brukt til korrigerende vedlikehold.

Hele 47% av vedlikeholdet var omfattende vedlikehold, det vil si vedlikeholdsoppgaver der det ble brukt 4 timer eller mer.

Til sammenligning er det vanlig med 20% korrigerende vedlikehold i industrien generelt. Resultatet ved G.C.Rieber Oils er noe usikkert, da det ikke alltid gikk fram av

beskrivelsene av vedlikeholdsoppgavene om det var utført etter at en feil ble oppdaget, eller ikke.

Det fantes heller ikke noen liste over arbeidsordre knyttet til disse vedlikeholdsoppgavene.

5.2 Forebyggende vedlikehold

43% av vedlikeholdsoppgavene som ble gjort var forebyggende vedlikehold, der mesteparten bestod av rengjøring. Det fantes også en plan for kontroller som jevnlig skulle utføres. Der ble det funnet ut at 124 oppgaver var meldt som daglig vedlikehold, mens det ikke stod noen daglige kontroller i planen. 5 av 288 månedskontroller var gjennomført, men det var ikke notert på hvilket anlegg det var gjennomført på. 1 av 24 terminkontroller var gjennomførte, 0 av 4 årskontroller var gjennomførte og 3 av 0 5-års kontroller var gjennomførte.

5.3 Bruk av overtid

Det er bare registrert 13 timer overtid i 2019. Det tilsvarer at 0,43% av vedlikeholdstimen er brukt på overtid.

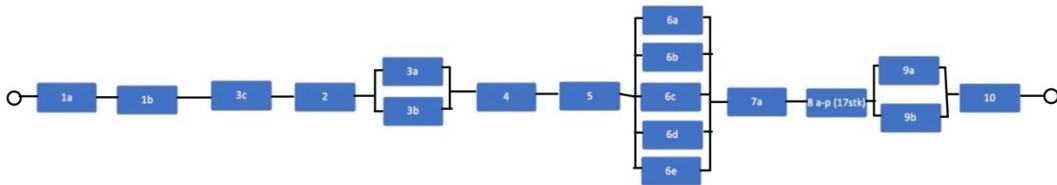
For å være i sjiktet World Class, må bedrifter ha en bruk av overtid på vedlikehold som er mindre enn 2%. Dette tilsier at de er i World Class når det gjelder bruk av overtid innen vedlikehold.

5.4 Ledetid

Det er viktig å finne ut hvor lang tid det går fra en feil ble registrert til den blir utbedret. Den eneste dokumentasjonen som fantes her, var en oversikt fra kontrollrom med feil de hadde meldt. Totalt hadde de meldt 150 feil av den totale mengden vedlikeholdsoppgaver som var 1545. Det viste seg å være vanskelig å finne igjen oppgaver meldt i listen over oppgaver utført, da det ikke var konsekvent føring av TAG nr. Jeg fant 19 feil meldt av kontrollrommet, igjen i listen over utført vedlikehold. Disse 19 hadde en gjennomsnittlig ledetid på 6,5 dager.

5.5 Pålitelighetsanalyse

Det er ikke utført noen pålitelighetsanalyser av produksjonsanlegget. Jeg har et inntrykk av at de som jobber i vedlikeholdsavdelingen, har en muntlig kunnskap om pålitelighetsnettverket til anlegget, men det er ikke nedtegnet formelt. Derfor ble det laget et pålitelighetsnettverket med utgangspunkt i produksjonsprosessen.



Figur 14 Pålitelighetsnettverk (Hansen, Pålitelighetsnettverk, 2020)

Pålitelighetsstrukturen til dette blir da:

$$\begin{aligned} \text{Ø}(x) = & x_{1a} * x_{1b} * x_2 * x_{3c} (1 - (1 - x_{3a})(1 - x_{3b})) * x_4 * x_5 * (1 - (1 - x_{6a})(1 - x_{6b})(1 - x_{6c})(1 - x_{6d})(1 - \\ & x_{6e})) * x_7 * (1 - (1 - x_{8a})(1 - x_{8b})(1 - x_{8c})(1 - x_{8d})(1 - x_{8e})(1 - x_{8f})(1 - x_{8g})(1 - x_{8h})(1 - x_{8i})(1 - x_{8j})(1 - \\ & x_{8k})(1 - x_{8l})(1 - x_{8m})(1 - x_{8n})(1 - x_{8o})(1 - x_{8p})) * ((1 - (1 - x_{9a})(1 - x_{9b})) * x_{10} \end{aligned}$$

For å regne ut påliteligheten til systemet, trenger jeg data på opptid og nedetid på hver komponent (blå boks). Jeg fikk et ark som heter plunder og heft. Dette arket har nedetid på de fleste av boksene mine, og dermed er det mulig å regne tilgjengeligheten på hver av dem.

Anlegg	Pålitelighetsnr	Timer 2019	Tilgjengelighet
Stripp 7913	3c	464	0,947
Nydest 6106	3b	61	0,993
Gmldest 4315	3a	123	0,986
Deo gammel	9a	50	0,994
Deo ny	9b	582	0,934
Etylering	2	165	0,981
Bleik	5	23	0,997
R-6100	6a	76	0,991
R-6200	6b	2	1
R-6300	4	12	0,999
R-6400	6c	66	0,994
R-6500	6d	29	0,997
R-6700	6e	74	0,992
Diverse		79,5	0,991
Fraksjonering	7	81	0,991
Vask av vekslere		41	0,995
Renseanlegg		1582	0,819

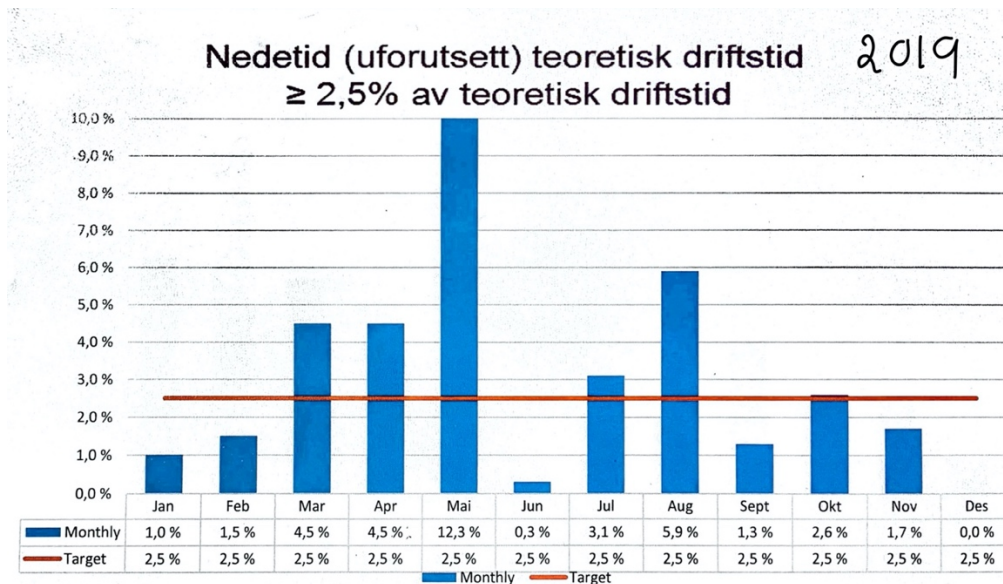
Tabell 2 Nedetid og tilgjengelighet på noen anlegg (Hansen, Nedetid og tilgjengelighet på noen anlegg, 2020)

Dette gir en systemtilgjengelighet på 91,6%, men det er svakheter i dataene her.

- Registrering av nedetiden starter i april
- 1a og 1b er ikke med i registreringen av nedetid. Det er heller ikke 8 og 10
- Det er registrert nedetid på 3 poster som ikke er relatert direkte til en av produksjonsprosessene. Posten renseanlegg er f.eks. knyttet til alle. Dersom disse timene for nedetid fordeles jevnt på de andre, så blir systemtilgjengeligheten 84,3%

5.6 KPI

På oppslagstavla ved kontorene hang det en oversikt over uforutsett nedetid på drift.



Figur 15 KPI nedetid (G.C.Rieber Oils, 2020)

Denne figuren forteller at de har som mål å ikke kommer over 2,5% nedetid. Det finnes ikke detaljer om nedetiden, -hvilket TAG.nr eller hvilket anlegg som har nedetiden, bare denne samlede oversikten. Mange anlegg har ekstra (se fig. 4) -redundans, så denne forteller heller ikke om produksjonen som helhet, har nedetid. Responsen fra folkene som jobbet med vedlikehold, var at denne brydde de seg ikke noe om, den var altså ikke relevant. Men den var likevel noe som måtte forsvares ovenfor ledelsen.

5.7 Tilgjengelighet

Det finnes ingen nøyaktig data om oppetid og nedetid ved anlegget. På spørsmål om tema, kom svaret at grunnet stor etterspørsel, kjøres anlegget hele tiden for fullt. «Det er bare stengt 8 timer julaften, 2 uker på sommeren» og «produksjonen blir prioritert før vedlikeholdet» Antall driftstimer i 2019 var 72700. Dersom disse fordeles jevnt på de 10 prosessene, så vil det bli en tilgjengelighet på 83%

$$\frac{7270}{365} = 0,83 \quad 83\% \quad \text{«World class (>90%)»}$$

5.8 OEE

Overall equipment effectiveness er et tall mange bedrifter bruker som mål på hvor effektiv produksjonen er. OEE består av tilgjengelighet*ytelse*kvalitet. Det finnes ikke noe tall for OEE hos G.C.Rieber Oils. Det ble forsøkt å se om det er mulig å finne ut hvilken OEE de har:

Tilgjengelighet: 0,83 (etter tidligere regning)

Kvalitet: 0,996 (etter oversikt over kundeklager og antall produkt produsert)

Ytelse: får jeg ikke regnet ut da det mangler data på standard tid produktene bruker i produksjonen og den faktiske tid de bruker i produksjonen.

OEE=0,83*0,996*X. Dersom produktene bruker like lang tid som standard til -altså ytelse 100%, vil OEE bli 0,8267. World class OEE er over 85%

5.9 Krav til systemet

Det foreligger ikke noen krav fra produksjonen vedrørende produksjonsvolum eller kvalitet.

5.10 Kritisk utstyr

Det var i praksis to måter å gå frem på for å finne ut hva som kunne være «kritisk utstyr» for bedriften. Den første var å gå ut fra det utstyret som ble sagt å være en «flaskehals» i produksjonen deres. Det ble sagt at ny destillering med TAG nr 6106 var en «flaskehals» i produksjonen. Dette fordi destillering (trinn 3 i figur 3) er en prosess oljen går gjennom flere ganger (1-4 ganger) etter hvor oppkonsentrert de ønsker at produktet skal være. Dette

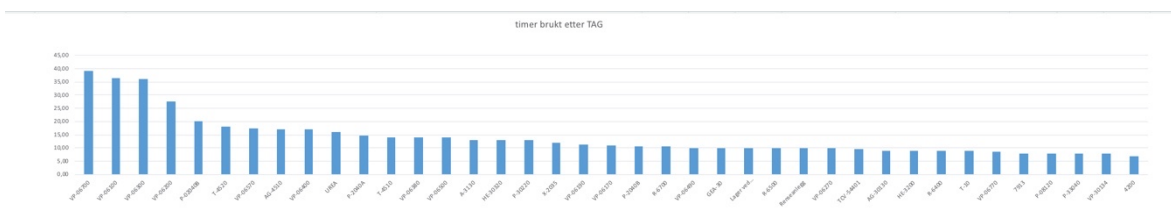
TAG nr var ikke å finne igjen i den daglige oversikten over vedlikeholdet. Det ble funnet to tilfeller av denne som feil meldt av kontrollrom, men da med andre TAG nr. Feilene på denne «ny destillering», ble da vanskelig å spore.

Den andre måten var å finne ut hva de bruker mest vedlikehold på. Til dette, var det en liste med 911 vedlikeholds oppgaver fordelt på 3016,45 timer. 372 av disse hadde TAG nr. Flere steder var det skrevet flere TAG nr i samme rute for samme oppgave og timer. Disse ble skrevet i ulike ruter med timetallet likt fordelt mellom dem.

Rangering etter antall timer brukt på TAG nr, gav meg 4 TAG nr som rangerte øverst:

1.	VP-06700	39,0 timer
2.	VP-06100	36,5 timer
3.	VP-06300	36,0 timer
4.	VP-06200	27,5 timer

Tabell 3 Oversikt vedlikeholdstimer brukt 2019 (Hansen, Oversikt vedlikeholdstimer brukt 2019, 2020)



Figur 16 Oversikt over hvilke TAG nr som har brukt mest vedlikeholdstimer (Hansen, Oversikt over TAG nr og vedlikehold, 2020)

Derfor ble det brukt tid på å sjekke alle TAG med VP-nr. Samlet sett utgjorde vedlikehold på TAG med VP-xxxxx 10% av timene brukt på vedlikehold. Det første som ble oppdaget var ulike noteringer. Noen ganger var de notert uten 0 foran, og noen ganger med. Det kom også frem etterhvert at disse 4 TAG nr egentlig var en «samle pott» som bestod av 3 vakuumpumper hver: VP-xxx70, VP-xxx80 og VP-xxx90. Dette er tre vakuumpumper som er knyttet sammen i serie. Fungerer ikke den ene, så fungerer ikke de andre. Den siste VP-xxx90 kan fungere om en av de to første ikke fungerer, men da med veldig dårlig vakuumpumpe. Noteringene var noe ulike. Noen ganger var de notert med disse «samle-pott» numrene, andre ganger var de notert med eks VP-06790. Etter å ha samlet alle TAG-nr i rett serie, så det sånn ut:

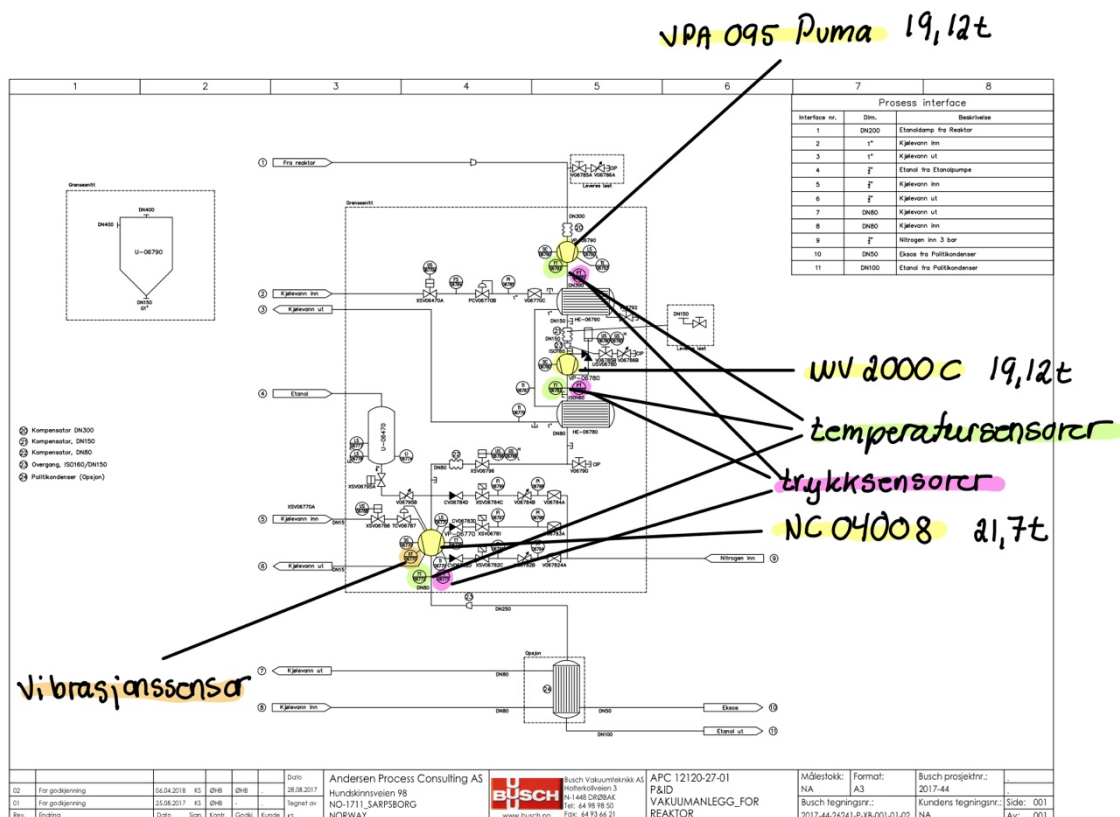
1. VP-06700	59,94 timer
2. VP-06100	59,00 timer
3. VP-06300	50,00 timer
4. VP-06200	39,00 timer

Tabell 4 Oversikt vedlikeholdstimer brukt på anlegg (Hansen, Oversikt vedlikeholdstimer brukt på anlegg, 2020)

Disse 4 seriene utgjør 7% av det totale antall timer som ble utført på vedlikehold i 2019. VP-06700, VP-06100, og VP-06200 er en del av TG-syntesen (nr 6 i fig 3 og 4). VP-06300 er en del av enzym-konsentrasjons prosessen (nr 4 i fig 3 og 4). Denne er ikke så mye brukt, og for tiden ikke i bruk.

5.11 VP-06700

Disse vakuumpumpene består av en serie på 3 vakuumpumper hver: VP-xxx70, VP-xxx80 og VP-xxx90. Fungerer ikke den ene, så fungerer ikke de andre. Den siste VP-xxx90 kan fungere om en av de to første ikke fungerer, men da med veldig dårlig vakuumpumpe.



Figur 17 Oversikt over vakuumpumpesystemet til VP-06700, fra G.C.Rieber Oils (G.C.Rieber Oils, 2020)

Alle pumpene har temperatur og trykksensor. Det er bare vakuumpumpe VP-06770 som har vibrasjonssensor. Signalene fra disse sensorene overføres til et kontrollrom, der de blir

overvåket i sanntid. Alarmer blir utløst om verdiene på disse sensorene kommer utenfor det som blir ansett som grensene for hva utstyret kan tåle.

5.12 Oppsummering av vedlikeholdet

Vedlikeholdet ved G.C.Rieber Oils preges av korrigerende vedlikehold. De mangler en del data -data som trenges for å gjøre viktige beregninger som tilgjengelighet, OEE og viktige KPI'er.

Det mangler for eksempel:

- Data om nedetid på hvert enkelt TAG nr og registreringer av nedetid på systemet.
- Data som skiller korrigerende fra forebyggende vedlikehold.
- Mangler arbeidsordre som kan indikere ledetid på korrigerende arbeid.
- Mangler backlog som gir oversikt over arbeid ikke utført i tide.
- Mangler data om ytelse i produksjonen -standard tid og faktisk tid.
- De dataene som finnes er på forskjellige steder og ikke lett tilgjengelige.

Vedlikeholdsarbeidet preges også av at det er lite planlegging. Vedlikeholdet mangler et mål og en strategi. Det eksisterer ikke noe krav fra produksjonen vedrørende tilgjengelighet på utstyr eller vedlikeholds ansatte, og ingen prioriteringsrekkefølge på vedlikeholdsarbeid. Det meste som blir utført er korrigerende arbeid.

6.0 Diskusjon

For bedre å forstå vedlikeholdet, blir det først analysert på 2 måter. Først blir det sett på vanlige måltall og prosedyrer som sammenligner G.C.Rieber Oils med de bedrifter som er antatt å være flinkest -World Class. Deretter blir det brukt en anerkjent og forholdsvis ny metode, som heter Value Driven Maintenance and Asset Management. Denne metoden belyser at det som gir mest verdi for bedriften endrer seg over tid, og derfor starter denne med å finne ut akkurat hva det er som gir mest verdi akkurat nå.

6.1 Analyse world class

Et vanlig måltall er begrepet «world class». Dette er et begrep som blir brukt om bedrifter som viser industriens beste praksis samtidig som de produserer gode resultater. Disse resultatene blir ofte brukt av andre bedrifter for sammenligning.

Godt vedlikehold hjelper bedriften å øke konkurransevnen og å oppnå en bærekraftig posisjon.

	G.C.Rieber Oils	norsk industri	nordisk industri	world class
vedlikeholdskostnader av erstatningsverdi	3,4	1,3	2	<1,8
total lagerverdi som % av bedriftens gjenskaffelses verdi	0,6	0,7	0,8	<0,25
tid til forebyggende vedlikehold som % av tid til vedlikehold	49	30,9	38,4	<40
tid til akutt korrigerende vedlikehold som % av tid til vedlikehold	51	23,7	29,8	<5%
planlagt og forutbestemt tid som % av tid til vedlikehold	2	58,3	63	<90
faktisk driftstid som % av krevd driftstid	?	89,8	88,1	<85
Overtid i % av total vedlikeholdstid	0,43			>2
OEE	?	72,7	76,4	<85
Vedlikeholdskostnad i % av omsetning	2,03			+2

Tabell 5 World Class tall (Hansen, World Class tall, 2020)

Dette er noen av de vanligste måltallene for «World Class»

Disse tallene viser at G.C.Rieber Oils har forholdsvis gode tall på det som dreier seg om økonomi og verdi, men heller dårlige på det som gjelder andel korrigerende og forebyggende vedlikehold samt andel planlagt vedlikehold. De mangler opplysninger på nedetid og hva som er krevd driftstid, samt OEE.

G.C.Rieber Oils							
	Målestokk	Fokus	organisasjon	dataverktøy	beredskap	kompetanse	metodikk
World class	konkurranseskraft	kjernevedlikehold	optimal vedlikeholdsorganisasjon	verktøy for optimalisering	prosessforbedring	forbedringskompetanse	optimalisering av intervall og reservedeler
Nærmer seg toppen	PLI	tilstandsbasert vedlikehold	proessorientert, slank, fleksibel	dashbord prediksjon	er i forkant av problemer	analysekompetanse	RCM
Godt i gang	OEE	5s opplæring av operatører	utskilling av 1. linje vedlikehold	tilstandsmåling/-analyse	pit stopp	prosesskompetanse, flerfaglighet	FMEA
Satt i system	stoppetidsregistrering	forebyggende program	utskilling av vedlikehold utenfor kjerne	EDB-basert vedlikeholdssystem	verktøy, reservedeler, prosedyrer	maskinkompetanse	Feilsøking
primitiv	vedlikeholdsbudsjettet	reparasjoner	tradisjonell vedlikeholdsavdeling	vedlikeholdstavle, manuelle arbeidsordre	brannslukking	fagkompetanse	egen erfaring

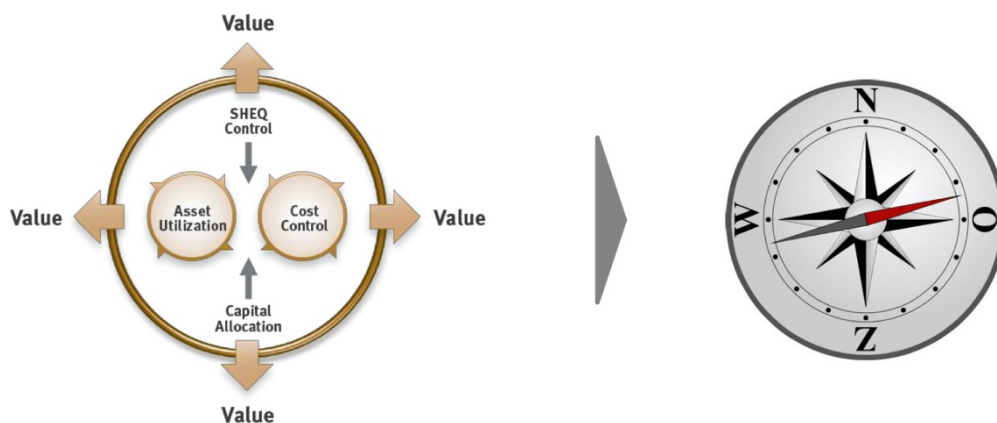
Tabell 6 Veien til World Class Maintenance (Hansen, Veien til World Class, 2020)

Denne oversikten baserer seg på informasjon fra bedriften og litt på inntrykk. De registrerer ikke nedetid som muliggjør beregning av tilgjengelighet, de har ingen forebyggende vedlikeholdsprogram, de har nettopp skilt ut vedlikeholdsavdelingen fra produksjonsavdelingen og gjør mesteparten av vedlikeholdet selv, men outsourcer litt, de har planer om å starte opp vedlikeholdsmodulen i Sap Hana (foreløpig baserer de seg på regneark), vedlikeholdsarbeidet består mest av brannslukning (etter eget utsagn). Min

oppfatning er at de har god kompetanse i vedlikeholdsavdelingen (flerfaglig) og at vedlikeholdsarbeidet baserer seg mest på egen erfaring og litt på feilsøking på utstyr som er koblet opp med sensorer.

6.2 Innledning Value Driven Maintenance and Asset Management

Value driven maintenance starter med å identifisere hva som er verdi driveren. Denne verdi driveren er forskjellig fra bedrift til bedrift, og endrer seg i bedriften etterhvert som produksjonen endrer seg, alderen på maskinene, etterspørselen endres, krav fra myndighet endres osv.



Figur 18 Verdi drivere som kompass, fra Haarmann, Delahay; VDMxl (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)

Det er 4 verdi drivere som kan tilføre verdi til en eksisterende ressurs.

- 1. Asset utilization** er ressurs utnyttelse, og maksimerer inntekt ved å øke den tekniske tilgjengeligheten.
- 2. SHEQ Control** står for Safety, Health, Environment and Quality. Denne HMS og kvalitet driveren beregner økonomiske tap forbundet med ulykker og tapt anseelse.
- 3. Cost Control** omfatter overvåking og redusering av kostnader forbundet med lønn, opplæring, reservedeler, verktøy og kostnader ved outsourcet vedlikehold.
- 4. Capital Allocation** er verdi driveren som øker verdi ved å forlenge livet til resursene ved hjelp av modifiseringer og erstatninger.

6.3 Sensivitetsanalyse av G.C.Rieber Oils

Dette er første steg i metoden Value Driven Maintenance and Asset Management.

En sensitivetsanalyse kalkulerer hva 1% forbedring betyr for hver av de ulike verdidriverne.

1. For å finne verdien av verdidriveren **Asset Utilization**, trengs data på årlig omsetning, brutto bidrag, tilgjengeligheten og resterende service levetid for fabrikken. Årlig omsetning og brutto bidrag kom fra økonomi avdelingen. Resterende service levetid ble satt til 25 år (10 år gått av 35). Tilgjengeligheten ble forsøkt regnet ut på 2 måter -en gjennom pålitelighetsnettverket og en via driftstimer totalt. Det ble regnet med at tilgjengeligheten ligger mellom 83%-84% med alle de begrensningene i data nevnt ovenfor, og bruker da 83% tilgjengelighet i sensitivetsanalysen.

Det ble da regnet frem til at 1% forbedring av ressurs utnyttelsen har en verdi på 19,8925 millioner (beløpet er nåverdiberegnet etter resterende service levetid).

2. G.C.Rieber Oils hadde ingen tall på **SHEQ -risiko** ved ulykker og tapt kvalitet. Denne ble da hoppet over.

3. For å regne ut **Cost Control** var det behov for tall på årlig vedlikeholdskostnad og erstatningsverdi. Disse kom fra økonomiavdelingen. Vedlikeholdskostnaden inneholdt ikke personalkostnadene, så det ble lagt til 2 millioner, og beregnet vedlikeholdskostnadene til å være 2% av omsetningen. Verdien av 1% vedlikeholdskostnad ble da 0,36622 millioner (beløpet er nåverdiberegnet etter resterende service levetid).

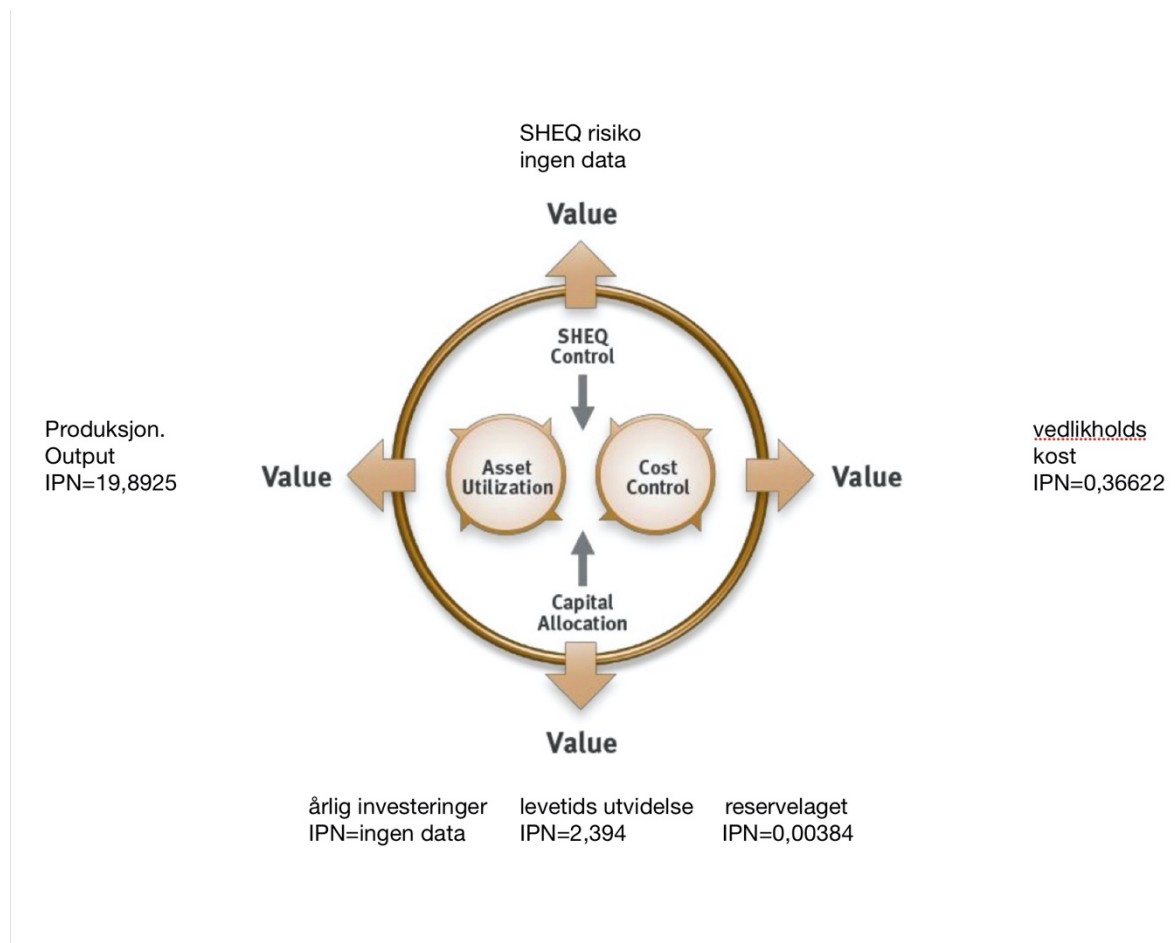
4. **Capital Allocation** er et 3 delt: verdien av 1% årlig investering, verdien av 1% levetids utvidelse og verdien av 1% reservedelslager.

Verdien av 1% investeringer, ble ikke beregnet, da tall for modifiseringer, oppgraderinger, erstatninger og levetidsutvidelser ikke var tilgjengelige på analysetidspunktet.

Opplysninger om tall på renter de bruker, erstatningsverdi og verdien på reservedelslageret ble gitt.

Verdien av 1% utvidelse av levetiden ble 2,394 millioner og verdien av 1% reservedelslager ble 0,00383 millioner (beløpet er nåverdiberegnet etter resterende service levetid).

Verdi driverne ble da:



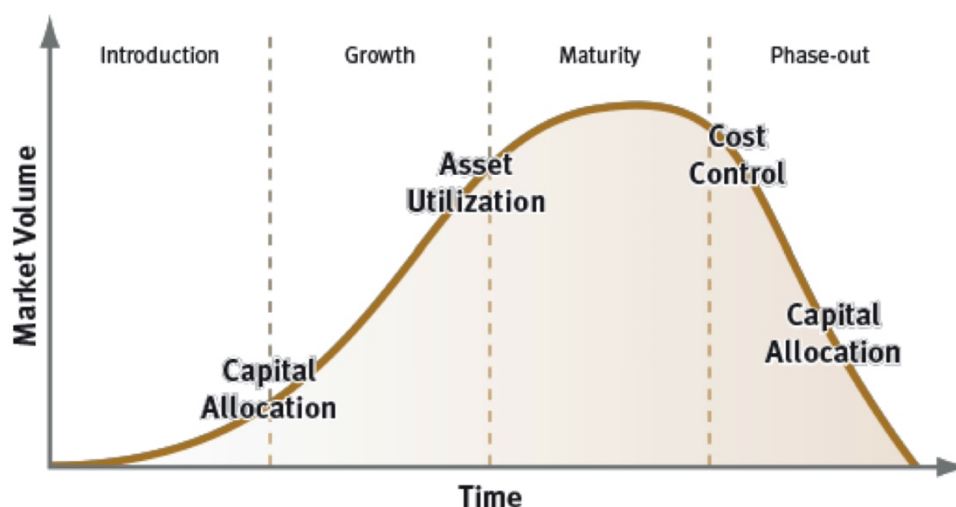
Figur 19 Verdi driverne hos G.C.Rieber Oils (Hansen, Verdi driverene hos G.C.Rieber Oils, 2020)

Vi ser med en gang at den driveren (vi har data på) som gir mest verdi her, er Asset utilization.

Denne sensitivitetsanalysen sier ikke om det er gjennomførbart å oppnå 1% forbedring, den sier heller ikke noe om hva det koster å oppnå 1% forbedring og den sier heller ikke noe om hvor mye forbedring som faktisk er mulig.

Denne analysen tar hensyn til tidsverdien av «maintenance and asset management». Etterhvert som fabrikken blir eldre vil verdi drivere som Asset utilization og Cost control bli lavere, mens drivere som lifetime extension vil øke.

Dominance Value Driver vs Product Life Cycle



Figur 20 Dominante verdi drivere vs produktets livssyklus (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance and Asset Management, 2017)

Sensivitetsanalysen kan for eksempel brukes dersom man vil regne på hva verdiene tilført vil bli, dersom man reduserer kostnadene med eks 10%, og det gir 2% lavere tilgjengelighet:

Verdi tilført ved kostnadsreduksjon: $10 \times 0,36622 = 3,6622$

Verdi tilført ved lavere tilgjengelighet $\underline{-2 \times 19,8925 = -39,785}$

Total verdi tilført $= -36,128$

Basert på denne vil anbefalingen være å ikke gjennomføre kostnadsreduksjonen.

6.4 Verdi driver analyse

Vi har nå funnet ut at verdien av en ressurs kan forbedres ved hjelp av 4 drivere. Vi kan øke den tekniske tilgjengeligheten, redusere vedlikeholdskostnadene, redusere årlige investeringer og forbedre samsvaret med helse, miljø, sikkerhet og kvalitet.

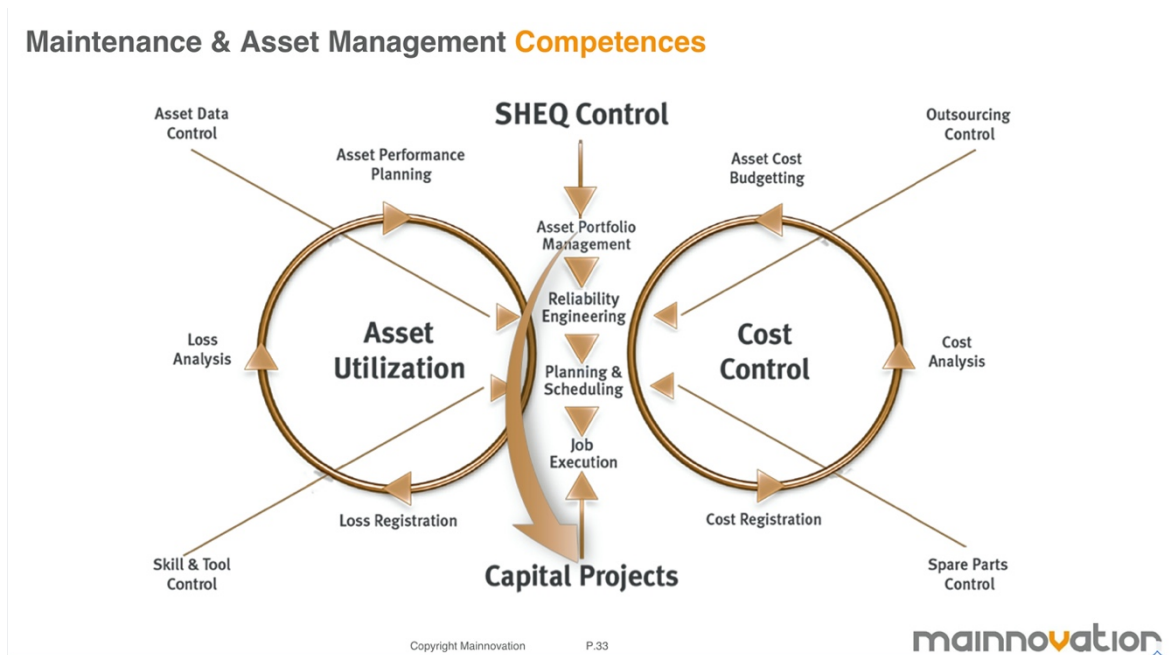
Analyse av de ulike verdi driverne gjøres i 4 trinn:

Steg 1: måle nåværende nivå på Maintenance and Asset management

Steg 2: sammenlign nivået med andre bedrifter

Steg 3: finn ut hva som er det høyeste mål som kan oppnås av bedriften

Steg 4: sammenlign med sensitivetsanalysen og regn ut den dominante verdi driveren.



Figur 21 VDMxl kompetanse modell, (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)

6.4.1 Forklaring av kompetanse-modellen

Til venstre er kompetansene knyttet til Asset Utilization, og til høyre er kompetansene knyttet til Cost Control. SHEQ Control kompetansen er plassert øverst, mens Capital Allocations er plassert nederst.

Kompetansene til Asset Utilization skaper et forbedrings hjul. Det starter med å bestemme målene. Hvilken tilgjengelighet og pålitelighet kreves av produksjonen, og er det mulig å nå disse med nåværende ressurser? Dersom svarene er ja, så må tilgjengeligheten og påliteligheten inkluderes i det preventive vedlikeholdsprogrammet. Dersom det ikke er mulig å nå målene med eksisterende ressurser, så må det initieres prosjekter som modifierer, erstatter, utvider levetid etc -her kalt Capital Projects.

Den preventive vedlikeholdsplanen genererer arbeidsordre sammen med svikt og feil som rapporteres. Disse planlegges og utføres (planning and scheduling og Job-execution).

Deretter blir produksjons-tap og nedetid som følge av preventive og korrigerende vedlikeholdsoppgaver, registrert og analysert.

Et tilsvarende forbedrings hjul gjelder for Cost Control. Her starter det også med å definere mål -hvilket beløp skal brukes på vedlikehold innenfor budsjettet? Er det mulig å oppnå

disse med nåværende ressurser? Dersom ja, så inkluderes dette i den preventive vedlikeholdsplanen. Hvis ikke, så initieres det utskiftinger, modifieringsprosjekt etc. Kostnader som følge av korrigerende og preventivt vedlikehold registreres underveis, og analyseres i forhold til finansielle mål.

Mellom begge forbedringshjul ligger det 4 kompetanser som forbinder dem: Asset Portfolio Management, Reliability Engenering, Planning and Scheduling og Job Execution -aortaen i vedlikehold.

6.4.2 Steg 1 -Måle nåværende nivå hos G.C.Rieber Oils

For å måle nåværende nivå, ble det valgt ut disse 12 KPI'ene (disse var nevnt i metodeboka), men det finnes mange ulike KPI (key performance indicators) å velge blant.

Mange av disse utregningene lider av manglende data, og må derfor mest fungere som et eksempel.

1. vedlikeholdskost/erstatningsverdi	3,4 %
2. teknisk tilgjengelighet	83,0 %
3. inspeksjoner utført i tide	2,8 %
4. gj.snillig årlig omsetning/erstatningsverdi	167,2 %
5. alder/teknisk levetid	28,6 %
6. preventiv vedlikeholdskost/samlet vedlikeholdskost	49,0 %
7. planlagte arbeidsordre utført i tide	2,8 %
8. teknisk produktivitet	44,5 %
9. verdi reservelager/erstatningsverdi	0,6 %
10. kostnader outsourcing kontrakter/totale outsourcing kost	-
11. opplæringskost/totale personell kost	-
12. andel utstyr i EAM system/totale antall utstyr	2,9 %

Data:

KPI 1: posten vedlikeholdskost mangler personalkostnad, og 2 millioner er lagt til

KPI 2: manglende data om nedetid. Utregning med manglende data nevnt ovenfor her om tilgjengelighet.

KPI 3: Inspeksjoner registrert er de planlagte kontrollene nevnt i preventiv vedlikeholdsplan og daglig vedlikeholdsoversikt.

KPI 4: korrekt data

KPI 5: teknisk levetid er antatt til å være 35 år (bygges på levetiden til andre fabrikker), der 10 år er beregnet gått.

KPI 6: Den preventive vedlikeholdskostnaden har tatt utgangspunkt i timer som er brukt på det definert til å være preventive vedlikeholdsoppgaver og delt på det totale antall timer brukt på vedlikehold, med de begrensninger som er tatt vedrørende dataene i kapitlet om korrigerende

vedlikehold -5.1.1. Det er ikke registrert egne kostnader for preventivt vedlikehold eller korrigerende vedlikehold. Denne antas dermed å være for høy.

KPI 7: Planlagte arbeidsordre utført i tide har tatt utgangspunkt i den preventive vedlikeholdsplanen og sammenlignet med det som er notert utført i vedlikeholds oversikten. Her kan dårlig rapportering har mye av skylden for dette lave tallet

KPI 8: Det finnes ikke noen data om teknisk produktivitet. Her er utgangspunktet 4 personers arbeidstimer i løpet av 1 år og sett det i sammenheng med det totale timer som er ført på vedlikehold i 2019.

KPI 9: Reserveredslageret og erstatningsverdi er rett data på

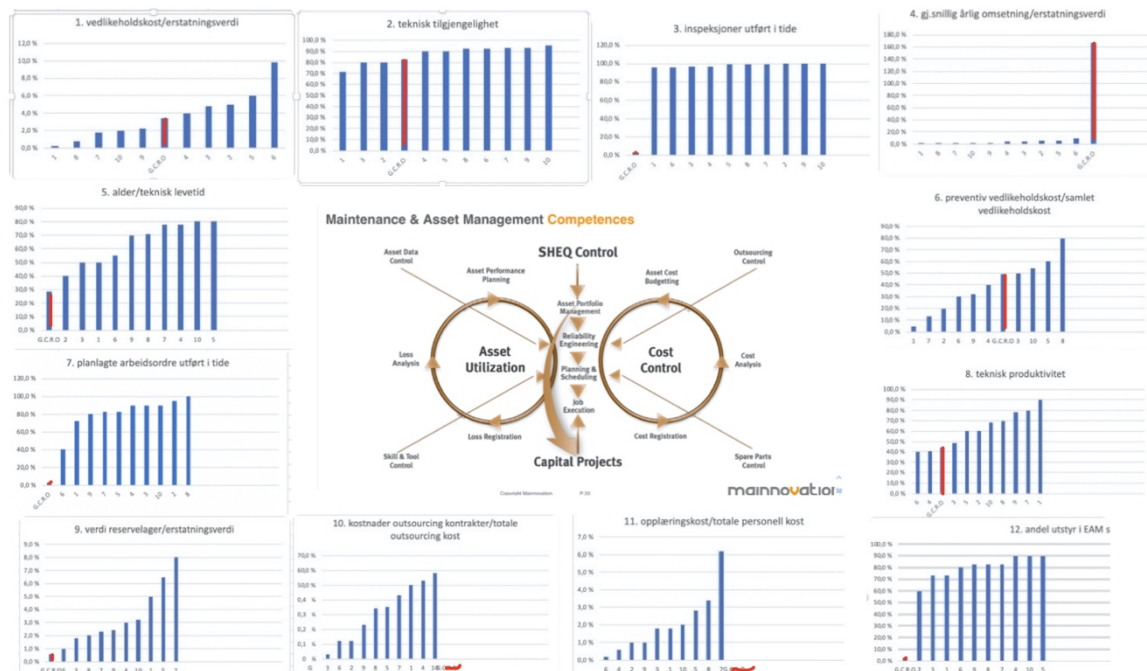
KPI 10: Det finnes ingen data på outsourcing av vedlikehold

KPI 11: Det finnes ikke data på opplæringskostnader i forhold til personalkostnader på vedlikehold

KPI 12: Når det gjelder andel utstyr i EAM-system i forhold til totalt antall utstyr, så er det ikke noen data på det. De har reserverelageret sitt i SAP, antall utstyr er anlegg beregnet ut fra pålitelighetsnettverket.

6.4.3 Steg 2 sammenligne med andre bedrifter

Det ble forsøkt å få tak i KPI'er som var i bruk hos lignende bedrifter i nærheten, men bedriftene var ikke interessert. Disse bedriftene jeg har hentet KPI'er fra er muligens ikke de rette å sammenligne med, da de for det første er generelt helseprodukt produsenter og for det andre er dette bedrifter som er eldre enn G.C.Rieber Oils. Dette blir mest å fungere som et eksempel på hvordan det kan gjøres.



Figur 22 VDM analyse (Hansen, VDM analyse, 2020)

6.4.4 Steg 3 Finne ut hva som er et realistisk og gjennomførbart mål

Denne analysen peker ut Asset Utilization som et mulig forbedringsområde, og det blir da opp til bedriften og finne ut hva som er et gjennomførbart mål på tilgjengelighet og de 3 andre verdi driverne. Eks:

Asset Utilization: øke med 7%

Cost Control: redusere med 1,4%

SHEQ Control: ikke data

Capital Allocation: redusere investeringskostnader : ikke data

Øke levetiden med 10%

Redusere reservedels lagret med 1%

6.4.5 Steg 4 Regne ut den dominante verdi driveren

Asset Utilization:

Gjennomførbart mål: øke teknisk tilgjengelighet med 7%

Verdi potensiale: $7 \times 19,8925 = 139,2475$

Cost Control:

Gjennomførbart mål: redusere vedlikeholdskost med 10%

Verdi potensiale: $10 \times 0,36622 = 3,6622$

SHEQ Control:

Ikke data

Capital Allocation:

Gjennomførbart mål investeringer: ikke data

Gjennomførbart mål levetidsforlengelse 10%

Verdi potensiale: $10 \times 2,394 = 23,94$

Gjennomførbart mål redusere reservedelslageret med 10%

Verdipotensiale: $10 \times 0,00383 = 0,0383$

Her vises det tydelig at det største verdi potensialet ligger i å øke den tekniske tilgjengeligheten.

6.5 Vinnende strategi

Nå har vi funnet ut at Asset Utilization er den største potensielle verdidriveren. Da er det viktig å gå tilbake til kompetanse modellen, for å finne ut hvilke kompetanser som er kjernekompetansene til denne verdi driveren.

KPI'ene som omfatter inspeksjoner (3), preventivt vedlikehold (6), planlagte arbeidsordre (7) og andel utstyr i EAM (12) er områder som har forbedringspotensiale. Derfor antas det at områdene Asset Portfolio Management, Asset Data Control, Reliability Engineering og Planning and Scheduling er områder som kan forbedre verdi driveren. Venter da med Job Execution fordi KPI nr 8 har veldig usikre data.

Etter at strategien er valgt, gjøres det en kalkulering på hva strategien koster, og beregner på nytt verdi potensialet

Verdipotensialet for 7% økning av teknisk tilgjengelighet – kostnader ved strategi = netto verdi.

Mens strategien implementeres, blir de 12 KPI overvåket jevnlig (månedlig).

Her kan styringssløya brukes i implementeringen av ny strategi.



Figur 23 Styringsløyfa fra Ptil, (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)

6.6 Beste praksis

Vedlikehold i en bedrift eksisterer ikke i et vakuum, men må sees i sammenheng med resten av bedriften. Det viktigste i en produksjonsbedrift er produksjonen: input, transformasjonen og output. G.C.Rieber kjøper inn crude fish oil, kjører det gjennom ulike prosesser, og ut kommer det omega 3. For at produksjonsprosessen skal fungere, må systemene fungere optimalt. De må vedlikeholdes: repareres, justeres, kalibreres, inspiseres og ombygges/tilpasses. G.C.Rieber Oils har en egen vedlikeholdsavdeling på 4

personer som jobber med å vedlikeholde systemene. For å bistå vedlikeholdet, har de ulike ressurser.

Det er flere kompetanser som har innvirkning på tilgjengeligheten av utstyret: Asset Portfolio Management, Reliability Engenering, Planning and Scheduling, Asset Utilization improvement loop og Asset Data Control.

6.7 Asset Portfolio Management

Denne kompetansen handler om å kjenne de tekniske ressursene, kjenne alderen og den teoretiske service levetiden. For å langtidsplanlegge ressursene på best mulig måte, er det viktig å ha kjennskap til disse dataene:

- Anskaffelsesdato
- Forventet service levetid med planlagt bruk
- Garantiperiode
- Krevd vedlikehold hvert år
- Årene det kreves omfattende overhaling og stopp
- Om og når det skal gjøres en midtveis oppgradering
- Hvordan avhendingen skal skje etter avsluttet service liv

Service liv kan overvåkes både ved tilstandsovervåkning og ved analyse av gjenværende levetid.

Mange av ressursene hos G.C.Rieber Oils har sensorer. Opplysningene fra disse blir overvåket i sanntid på et kontrollrom. Disse opplysningene kan også inngå i et prediktivt vedlikeholdsprogram der service levetiden blir overvåket.

Deretter kan vi bruke SAPA -Strategic asset portfolio analysis, for å identifisere hvilket utstyr som nærmer seg slutten av levetiden sin, og som kan trenge erstatning, oppgradering, overhaling osv. Denne analysen sikrer at bedriften har rett utstyr.

6.8 Reliability Engenering

For at utstyret skal fungere, er det viktig å ha en fungerende forebyggende vedlikeholdsplan. Den beste måten å utvikle/optimere en forebyggende vedlikeholdsplan, er ved hjelp av RCM -Reliability Centered Maintenance. I praksis har en RCM positiv effekt på alle 4 verdi driverne.

En RCM skal bare utføres på kritisk utstyr, som ikke har en forebyggende vedlikeholdsplan og som har flere feilmoder. Det første som bør gjøres, er å utføre en kritisk rangering av utstyr og komponenter. Dersom den største verdidriveren hadde vært Cost Control, så hadde anbefalingen vært å gjøre en RCM på det utstyret som brukte mest timer på vedlikehold -altså VP-06700. Men ifølge analysen over, er det den tekniske tilgjengeligheten som er den største verdi driveren. Derfor vil det være mest fornuftig å gjøre en RCM på det utstyret som fører til mest nedetid. Her er manglende data et problem. Det finnes noe nedetid registreringer, men ikke data om de individuelle nedetidene har ført til nedetid på systemet.

En sammenligning av pålitelighetsnettverket med nedetiden som er registret, fører til konklusjonen om å prioritere en RCM på 3c -stripp 7913. Dette anlegget er notert med 464 timer nedetid mens det bare er notert 8 timer vedlikehold på dette anlegget (fra daglig vedlikeholdsoversikt). Enten vedlikeholder dette anlegget seg selv, eller så er det noe manglende føring av vedlikeholdsdata her. Renseanlegget kan også være et anlegg som bør prioriteres, dersom nedetiden på denne fører til nedetid for hele anlegget.

Etter at en RCM er utført på valgte enheter, så er det viktig å utvikle en preventiv vedlikeholdsplan, og implementere denne. Når denne skal evalueres, gjøres det med å overvåke om planen har den ønskede effekt på KPI'ene. Fører den nye vedlikeholdsplanen til økt tilgjengelighet på systemet?

RCM som analyse metode, har utviklet seg mye de siste årene. Det finnes en del verktøy og software som gjør denne analysen lettere og mere tilgjengelig. Det finnes også verktøy som kalkulerer hvordan den påvirker de 4 verdi driverne.

6.9 Planning and Scheduling

Dersom en RCM er utført på riktig måte, så vil den gi en strukturert liste over inspeksjoner, regelmessige utskiftinger, overhalinger og reparasjoner som skal utføres. Den sier også noe om hvilke intervall dette skal utføres etter og hvilket utstyr som kreves. Uansett hvor mange RCM som blir utført og hvor god den forebyggende vedlikeholdsplanen er, så vil det alltid være noe korrigerende vedlikehold. Dette vedlikeholdet skal også inn i planleggingen.

G.C.Rieber Oils har en forebyggende vedlikeholdsplan som inneholder periodiske kontroller, uten flere detaljer.

Vedlikeholdsrapporteringen ved G.C.Rieber har en god oversikt over antall timer brukt på vedlikehold, men skiller ikke om det er korrigerende eller forebyggende vedlikehold. Siden de har som mål å få større andel av vedlikeholdet over til forebyggende vedlikehold, vil det være viktig å få en oversikt over hvordan forholdet er mellom korrigerende og forebyggende vedlikehold i dag. Dersom de gjør dette i den daglige vedlikeholds rapporteringen sin, vil de ha et tall på forholdet mellom korrigerende og forebyggende vedlikehold, som kan brukes til å overvåke fremgangen og til å motivere.

Denne informasjonen vil komme lettere fram om det eksisterende arbeidsordre, og om disse kunne knyttes direkte til en feil og et TAG nr. Da vil man også kunne følge med ledetiden til en arbeidsordre -hvor lang tid det tar etter at en feil blir meldt til det blir utført reparasjoner. Dette er også et tall som kan bruke til å følge med effektiviteten i vedlikeholdet som blir utført. Da vil det også mest sannsynlig eksistere en Backlog som holder oversikt over oppgaver som ikke er blitt gjort til rett tid. I den daglige vedlikeholdsrapporten til G.C.Rieber Oils, er det brukt flest timer av vedlikeholdet på system det er redundans på -altså på anlegg som ikke øker tilgjengeligheten på systemet som helhet. Det er derfor naturlig å tenke at det hadde lurt med et prioriteringssystem vedrørende vedlikeholdsoppgavene.

Det er mange ulike prioriteringssystem. Eks

Prioritet	tid til konsekvens	Konsekvens
1. Akutt	Umiddelbart eller pågående	Nødsituasjon med tap. Sikkerhetsmessig, lovmessig, økonomisk eller miljømessige konsekvenser
2. Haster	< 48t	Nært forestående eller sannsynlig sikkerhetsmessig, lovmessig, økonomisk eller miljømessige konsekvenser
3. Alvorlig	< 1 uke	Alvorlig situasjon med potensiell alvorlig skade på utstyr med sikkerhetsmessig, lovmessig, økonomisk eller miljømessige konsekvenser
4. Medium	< 1 mnd	ikke-kritisk vedlikehold på produksjonsutstyr
5. Lavest	< 2 mnd	Lavest prioritet av vedlikehold

Tabell 7 Eksempel på et prioriteringssystem (Pålitelighet.no, 2020)

En annen mulighet, er å ha en «portvakt». Denne portvakten kan bestemme at bare reparasjoner med positiv nåverdi skal bli utført -dersom verdi driveren hadde vært Cost Control, hadde dette vært en løsning. I G.C.Rieber Oils tilfeller ville portvakten prioritere oppgaver etter hvordan oppgavene forbedrer tilgjengeligheten på systemet. Når oppgavene planlegges, gjøres utstyret og reservedelene tilgjengelige. På denne måten blir arbeidet mere effektivt. Mesteparten av vedlikeholdsarbeidet som gjøres ved G.C.Rieber Oils gjøres uten at målet for vedlikeholdet er kjent, eller etter en

prioriteringsplan. Bedrifter som ønsker å være blant de beste, har et mål om å ha under 20% korrigerende arbeidsoppgaver.

Undersøkelser av effektiviteten ved vedlikeholdsavdelinger avslører at den varierer fra 18% til 74%. Viktige områder det registreres tap av tid, er for eksempel hvor tilgjengelig verktøy og nødvendige materiell er. Dette er det viktigste produktivitetstapet. Dette er et tap som i tillegg til ineffektiv arbeidstid, også fører til lengre nedetid av maskinene og produksjonen. Dersom arbeidet planlegges, gjøres utstyret tilgjengelig på forhånd.

A.I.Poling peker på ulike miljø som er mere utsatte for effektivitetstap. På toppen av denne listen, er miljø der upålitelig utstyr regjerer. I disse miljøene mener han det nesten er umulig å oppnå høyt nivå av effektivitet. Han peker også på at miljø med stor andel korrigerende vedlikehold, har vanskelig for å oppnå effektivt vedlikehold. Da det naturlig nok ikke foregår planlegging av disse oppgavene, noe som fører til at disse vedlikeholdsoppgavene er ineffektive og dyre.

W.Edwards Demings råd: «du kan ikke styre det du ikke måler» Er det et ønske om å øke effektiviteten av vedlikeholdet, må det først måles og rapporteres.

Ikke alle vedlikeholdsoppgaver er mulig å planlegge. Noen ganger dukker det opp akutte oppgaver som må repareres med en gang. Da kan et forhånds forberedt reparasjonssett være en løsning som kan gjøre arbeidet mere effektivt.

For å få tidligst mulig informasjon om det totale arbeidsvolum og tilgjengelighet av resurser og utstyr, er det viktig at planleggingen av arbeidsordrene omfatter langtidsplan, medium horisont, kort horisont og dagsplan.

Langtidsplan ser fram maks 1 år, og inneholder en oversikt over når utstyret må være tilgjengelig for vedlikehold. Denne må samkjøres med produksjonen.

Medium horisont planen ser frem 1-3 måneder, og justeres hver måned. Her blir det preventive vedlikeholdet planlagt på ukesbasis. Prosjekter som allerede er forberedt i detalj, kan nå tids-plasseres nøyaktig. Vedlikeholdsarbeid med lav prioritet må også inn i planen.

Kort tids horisont er på ukes basis. Her blir arbeidet kategorisert, men ikke tildelt individuelle vedlikeholdsarbeidere ennå. Arbeidsordre, supplerende dokumenter og tegninger gjøres klare.

Ved den daglige planleggingen blir dagens aktiviteter koordinert med portvakt og produksjonen. Oppgaver som haster blir prioritert høyest.

6.10 Asset Utilization improvement loop

Hovedoppgavene til vedlikehold, har vært å sørge for at utstyr og maskiner holder høy tilgjengelighet og pålitelighet. Likevel er det mange bedrifter som ikke får til dette på rett måte. Mange overvåker den tekniske tilgjengeligheten, men analyserer ikke forbedringsmuligheter.

Total Productive Maintenance -TPM, er en metode som fokuserer primært på Asset Utilization. Denne metoden oppstod i Japan ved slutten av 1960-tallet ved Toyota fabrikken. Denne metoden er ikke like lett å innføre i sin helhet. Industri 4.0 har f.eks. gjort det mere vanlig å styre maskiner fra et kontrollrom, og fjerner dermed en av de viktigste forutsetningene for suksessrik innføring av TPM -nærheten operatøren har til maskinene. Det er likevel mange elementer fra denne metoden som kan brukes. VDM metoden som brukes i Asset Utilization bygger på TPM, men skiller seg på 2 viktige punkter: den er ikke avhengig av autonomt vedlikehold og forbedringshjulet søker å optimere OEE, ikke å oppnå maks OEE (avhengig av det som til enhver tid er verdidriveren). Registrering av tap er viktig -nedetid, tap av kvalitet og tap av fart. Forbedringshjulet i Asset Utilization starter med å bestemme kravet til utstyret.

G.C.Rieber Oils mangler rapportering av nedetid på systemet. De har oversikt over kvalitetstap i form av kundeklager, men har ikke selv beregnet kvalitetssavviket. Tap av fart eller hva som er standard fart produktene har gjennom produksjonen, er heller ikke beregnet. En viktig del av vedlikeholdsarbeidet, er rapportering. Dette muliggjør analyser, som er grunnlaget for forbedringsendring. Rapporteringen bærer preg av at målet for rapporteringen, er at de skal holde seg under en samlet nedetid på 2,5%. Hverken målet eller rapporteringen sier noe om nedetiden for produksjonen som helhet. Dette gjør det vanskelig å få et nøyaktig tall på tilgjengeligheten ved produksjonen. Det mest brukte måltall i produksjonen er OEE -overall equipment effectiveness. Dette tallet består av 3 elementer;

$$OEE = \text{tilgjengelighet} * \text{ytelse} * \text{kvalitet}$$

Kvalitet handler om hvor stor andel av produktene er perfekte med hensyn på kvalitet. Ytelse handler hvor hurtig det går å produsere produktene. Tilgjengelighet er vedlikeholdsavdelingens «bidrag» til OEE. For å finne tilgjengeligheten må vi for det

første vite hva den tilgjengelige produksjonstiden er -oppetid og nedetid tilsammen. Deretter må man vite nedetiden i produksjonen. Ved G.C.Rieber Oils registreres nedetiden bare i grupper som Vacuum, mekanisk, girpumpe, instrument og vask av veksler. Det registreres ikke om denne nedetiden har ført til stans i produksjonen. Dermed finnes det ikke tall på tilgjengelighet.

Dersom G.C.Rieber Oils ønsker å bli bransjens beste på vedlikehold, må de først vite hvor de står i dag.

Da må det starte med å registrere nedetid og feil på en annen måte enn de har gjort til nå. Det hadde vært fint om det kom fram om feilen på TAG nr fører til nedetid på samme TAG nr....som igjen fører til nedetid på anlegg med TAG nr...som igjen fører til nedetid på produksjonsprosessen. Da vil det i framtiden være mulig å analysere feil ved TAG nr for seg, feil ved anlegg for seg, samt sammenhengen mellom dem og ha et tall for produksjonens tilgjengelighet til enhver tid.

Det er heller ikke bestemt noen krav til utstyret ved G.C.Rieber Oils, og dermed mangler vedlikeholdet et konkret mål.

En SLA-avtale -Service Level Agreement, er en avtale mellom produksjon, vedlikehold og økonomi, der kravene for utstyret bestemmes. Her kan konkrete mål bestemmes, som hvor stor den tekniske tilgjengeligheten skal være og hvilke tidsrom svikt blir reparert.

Vedlikeholdsavdelingen blir da ansvarlig for å klare f.eks den tilgjengeligheten som bestemmes i denne avtalen.

SLA starter med å beskrive den årlige produksjonen, og hva som kreves av utstyret for å nå disse produksjonsmålene. Vedlikeholdsavdelingen undersøker om den forebyggende vedlikeholdsplanen kan møte dette behovet innenfor kravene fra myndigheter og de begrensede ressurser som finnes. Om det kreves moderniseringer, utskiftninger osv, må det finne en balanse med budsjettet. Verdi drivere analysen bestemmer retningen til SLA avtalen.

6.11 Asset Data Control

Denne kompetansen handler om å digitalisere informasjon slik at den er tilgjengelig der arbeidet skal utføres gjennom IT-systemene. Denne kompetansen har direkte virkning på den dominante verdi driveren som her er Asset Utilization.

VDM skiller mellom 5 typer data:

Master data, konfigurasjonsdata, kart data, tegninger og dokumenter, vedlikeholds -og driftsdata

6.11.1 Master data

Alt utstyr har statistisk og dynamisk masterdata. Dette er data som etter innførsel ikke endres, som utstyrets unike kode, beskrivelsen, produkt kode, leverandør data, innkjøps pris, teoretisk service levetid, lokaliserings data osv.

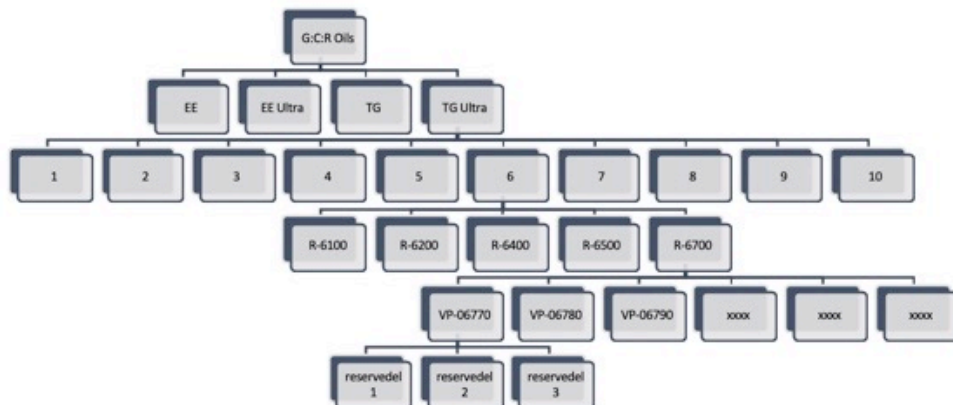
Dynamisk data er data som endres eller må oppdateres underveis, som kritikalitet (endres over tid), erstatningsverdi (oppdateres hvert år), og forventet levetid (oppdateres etter service inspeksjon)

G.C.Rieber Oils har noe av de statistiske masterdataene sine digitalt, men ikke i et EAM-system. Mye av de dynamiske dataene finnes ikke.

6.11.2 Konfigurasjonsdata

I tillegg til master data, er det viktig å ha kunnskap om hvordan utstyret er konfigurert. For å ha oversikt over strukturen og de fysiske komponentene, bruker vi ABS -asset breakdown structure. ABS utgjør en logisk presentasjon av ressursene, og inneholder: en hierarkisk presentasjon av funksjon-strukturen, beskrivelse av sammenhengen mellom de fysiske prosessene, geografisk presentasjon av bygninger og rom, en hierarkisk presentasjon av utstyr, deler som kan repareres og reservedeler. ABS-stukturen utgjør hjertet i EAM systemet, og er rammen som gjør det mulig å administrere ressursene. G.C.Rieber Oils har ingen ABS struktur som gir oversikt over funksjonene, men alt utstyr har et TAG nr. TAG nr kan så spores til tilhørende anlegg.

Et eksempel på ABS-struktur (uten komplett oversikt eller korrekte data):



Figur 24 Eks på en ABS struktur (Hansen, 2020)

Konfigurering er en viktig del av VDM, og den gjøres i tre steg. Først blir den fysiske ressursens anbefalte konfigurasjon registrert. Deretter blir ressursens faktiske konfigurering registrert. Til slutt verifiseres konfigureringene ved å undersøke om den faktiske konfigureringen ligger innenfor det foreslåtte området. Dette er data som også brukes i prediktivt vedlikehold. Dette kan brukes til å analysere årsaker og sammenhenger mellom konfigureringer og feil/svikt.

6.11.3 Tegninger og dokumenter

Mange EAM system tilbyr muligheten for å lagre tegninger og dokumenter og tilknytte dem direkte til tilhørende ressurs. Dette bidrar til at disse dokumentene blir mere tilgjengelige.

G.C.Rieber Oils har digitale dokumenter og tegninger, men disse er ikke lagt inn i et EAM system, og det er usikkert på hvor tilgjengelig disse er for de som driver det daglige vedlikeholdsarbeidet.

6.11.4 Vedlikehold -og drifts data

Denne dataen kommer fra forebyggende vedlikeholdsplaner, feil meldinger, arbeidsordre og tilstandsmålinger. I EAM-system er disse dataene knyttet til tilhørende ressurser og blir en integrert del av Asset data.

Disse dataene er direkte knyttet til KPI-målinger. Mange av disse dataene mangler hos G.C.Rieber Oils. Det er ingen oversikt over feilmeldinger, ingen arbeidsordre og den forebyggende vedlikeholdsplanen inneholder bare periodiske kontroller. De tilstandsbaserte dataene fra sensorene, blir ikke brukt til prediktivt vedlikehold.

6.12 Big data og prediktivt vedlikehold

All Asset data som blir administrert i et EAM system, brukes av alle kompetansene i VDM modellen. Planlegging av vedlikeholdsarbeid, er umulig uten en pålitelig forebyggende plan i bunn. Planlegging av vedlikeholdsoppgaver er umulig uten dokumenter og tegninger. Det økonomiske budsjettet for ressursene bygger på ABS systemet og historiske vedlikeholds data. Når man starter å samle tilstandsdata fra sensorer, blir det etterhvert veldig mye data. For mye til at mennesker kan analysere dette. Denne dataen kalles ofte Big data, og samles ofte i en sky tjeneste eller server. Dersom denne dataen samles, kan den sammen med resten av Asset data kunne analyseres for å kunne predikere feil og svikt, og dermed kunne forhindre feil før de oppstår.

Hos G.C.Rieber Oils har de endel utstyr som har sensorer montert. Informasjonen fra disse sendes rett til et kontrollrom der det er alarmer konfigurert etter forhåndssetablere regler eller kritiske nivå. Disse data samles altså ikke for å sammenstilles med andre data slik at analyser kan foretas.

G.C.Rieber Oils befinner seg på ulike steder når det gjelder modningsnivå for prediktivt vedlikehold. På veldig mye av utstyret så baserer de seg på instrumentavlesning og periodiske kontroller -nivå 2. Der de har sensorer med data flyt rett til et kontrollrom, befinner seg mere på nivå 3 i prediktivt modningsnivå. Det utstyret de bruker mye av vedlikeholds ressursene sine på, befinner seg akkurat her. De ville med stort hell kunne ta disse et nivå videre -altså til prediktive analyser f.eks. ved hjelp av regresjonsanalyser eller kunstig intelligens. Selv om verdidriveren akkurat nå ikke er Cost Cotrol, så ville kanskje en prediktiv plan på dette utstyret kunne føre til en mindre presset situasjon for vedlikeholdsavdelingen, slik at ressurser kan settes inn på tiltak som øker

tilgjengeligheten. Dersom dette er det eneste utstyret de har som har sensorer, så hadde det vært en fin anledning til å prøve dette først -siden dette er system de har redundans på, og dessuten mye data om feil.

6.13 EAM-system

EAM- system (enterprise asset management) er prosesser som administrerer de fysiske ressursene med hensikten å maksimere levetiden, redusere kostnader, forbedre kvaliteten, effektiviteten, helse og miljø sikkerheten. Det er mange EAM-system i bruk, men noen av de som er i bruk er Maximo, upkeep, MVP plant og SAP.

Ved G.C.Rieber Oils har kjøp-og salgsavdelingen startet med å bruke SAP Hana, og planen er at vedlikeholdsavdelingen også skal over til å bruke SAP Hana.

6.13.1 SAP Hana

Sap Hana er en sky basert database som kombinerer ulike applikasjoner. Den støtter tilstandsbasert data-overvåkning som sammen med databasen, gir mange muligheter for analyser. Den støtter også sanntidsovervåkning av sensorer, maskiner og Internet Of Things. Dette gir muligheter for prediktive analyser. Her blir data fra produsent, data fra bruk og konfigureringer, data fra overhalinger og reparasjoner sammenstilt med data fra bruken av ressursene, -som sensoredata. Ut fra dette vil programmet kunne se sammenhenger, og kunne varsle om feil før de oppstår.

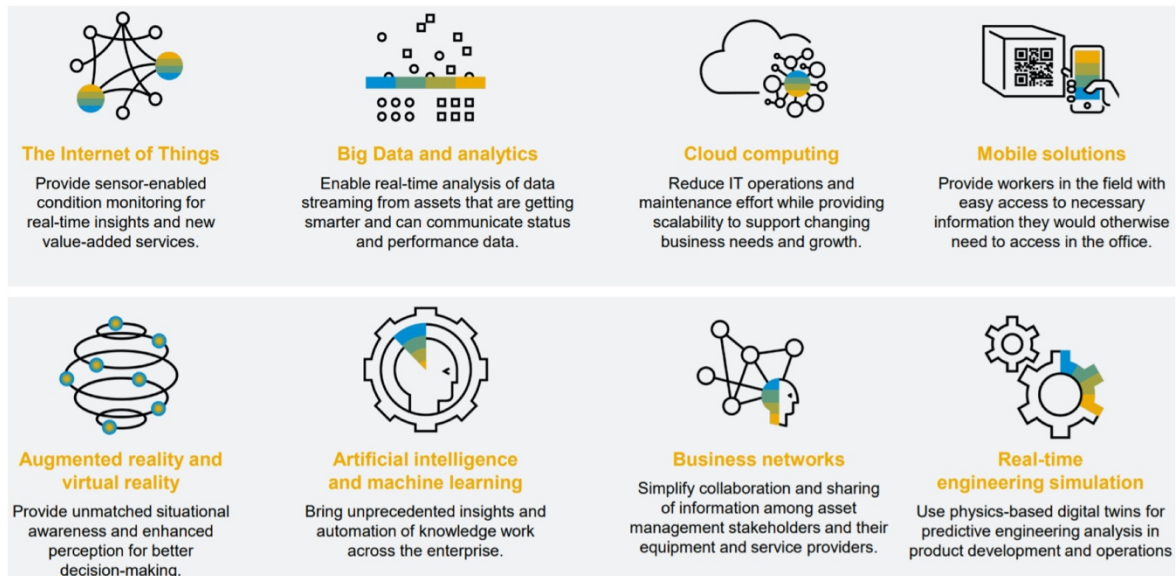


Figur 25 Tilstandsbasert vedlikehold og tilstandsovervåkning (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)

Tilstandsovervåkingen består av 3 elementer: overvåking og funksjonsekstraksjon - utvalg av passende sensorer og signaler, anomalitets-identifikasjon i sanntid -forløpende

registrering av avvik, og feil diagnostisering -alarmer knyttet til to klassifiseringer: feil og kjente feil.

SAPs plattform kan kombineres med en av de kjente vedlikeholds metodene som for eksempel RCM, og blir da et kraftig verktøy som kan optimere tilgjengeligheten og redusere vedlikeholds-kostnader.



Figur 26 Teknologiske hjelpemidler til SAP Hana plattformen (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)

SAP Hana tar altså i tillegg til det som brukes i tilstandsovervåkingen, også i bruk sky-tjeneste med mobile løsninger for hurtig tilgang og AR og VR teknologi samt digital tvilling for å forsterke oppfattelsen og forståelsen av prediktive analyser. Sap Hana har også maskin lærings algoritmer og kunstig intelligens. Det gjør at programmet lærer av feil-historikken, og bruker mønstergjenkjenning til å oppdage anomaliteter. Dette gir enda sikrere prediktive analyser.

Identifisering av kritisk utstyr.

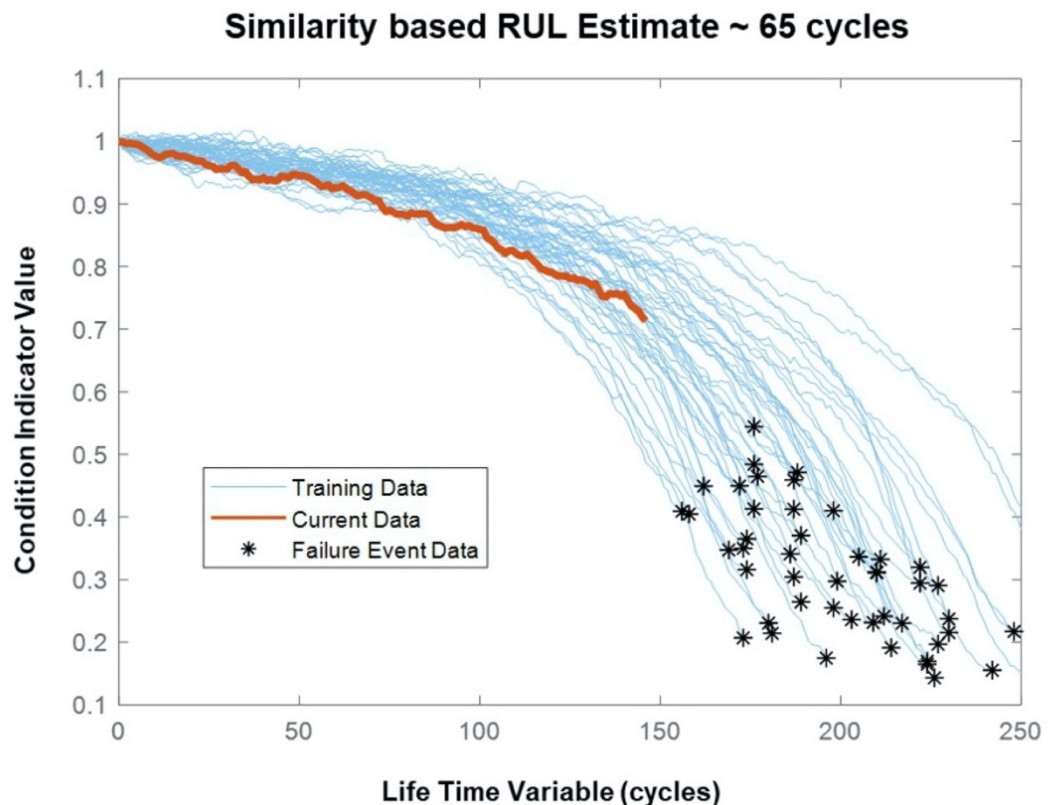
Utstyr kan være kritisk som følge av gjentatte feil, men kan også være kritisk fordi feil kan føre til større feil på systemet. Derfor identifiserer SAP kritisk utstyr etter en risiko matrise eller som en liste med risiko score. Neste steg i SAP Hana er å ta i bruk RCM/FMEA eller FMECA, for deretter å gjennomføre de foreslåtte vedlikeholdsoppgavene. SAP Hana har også en kostnads analyse del som overvåker de faktiske kostnadene forbundet med

nåværende vedlikeholdsordre, og sammenligner de totale vedlikeholdskostnadene for uplanlagt, korrigerende og forebyggende vedlikehold.

Vedlikeholdsanalyse.

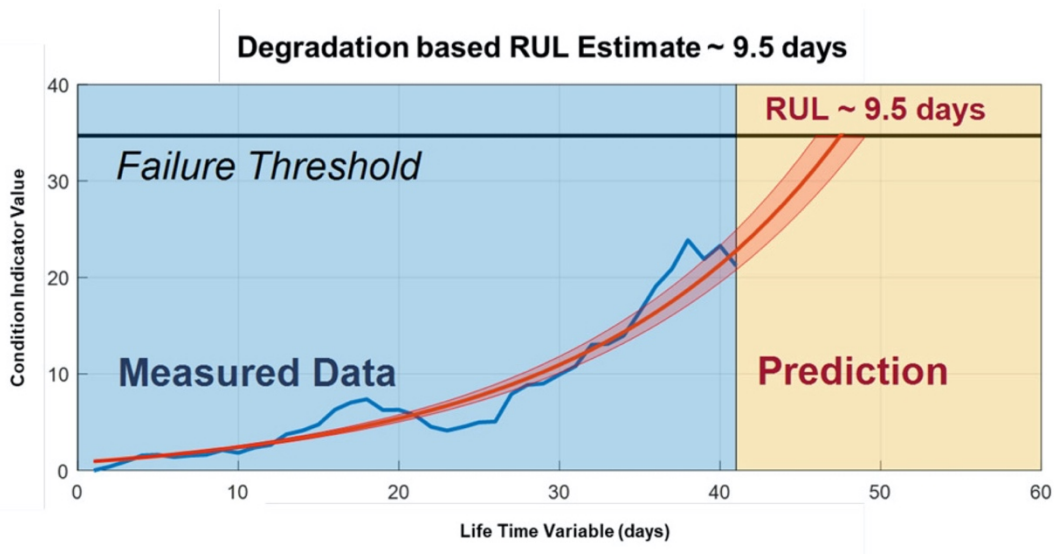
SAP Hana bruker RUL -remaining useful life estimering for å predikere vedlikehold. Modellen bruker tilstandsindikatorer, som kommer fra sensor data og dataloger. Disse dataene endres etterhvert som systemet degraderes eller opererer i ulike moduser. Metodene som blir brukt her, avhenger av hvilke data som er tilgjengelige:

- RUL estimerer fra livstidsdata. Data som sier noe om hvor lang levetid en tilsvarende maskin hadde før feil oppstod.
- RUL estimerer fra tilsvarende maskiners feil historie.
- RUL estimat fra kjente grenseverdier. For eksempel der en veske i en pumpe ikke kan gå over 71 grader og trykket må være under 155 bar. Med denne informasjonen kan man forme tidsserie modeller med tilstandsbasert overvåking av sensorer for temperatur og trykk.



Figur 27 RUL estimat, fra forelesningsnotater (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)

Det blå området er degraderingsprofilen basert på feil historikk. Modellen kan også knyttes til en tidsangivelse, og kan da predikere når feilen kan oppstå (fig 31)



Figur 28 Degradering basert på RUL estimat med tidsangivelse (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)

For at G.C.Rieber Oils skal få utnyttet dette programmet best mulig, bør målet deres være at hele fabrikken skal kobles opp til Sap Hana. Da vil maskinlæringen kunne predikere feil ut fra sammenhengen utstyret brukes i, og predikasjonen vil bli sikrere.

Dersom G.C.Rieber Oils vedlikeholdsavdeling tar i bruk Sap Hana, vil det bli enkelt å holde oversikt over KPI'ene og verdi driverne. Dette gjør at de til enhver tid vil kunne styre vedlikeholdet i retning hva som er mest verdiskapende, og oppdage fort om verdidriverne endrer seg.

Ulempene er at Sap er et stort system, og Saps vedlikeholdsmodul er ressurskrevende. Det kommer kanskje til å ta et par år før dette systemet gir fordeler.

6.14 Barriere for å adoptere beste praksis

Det er flere ting som kan føre til at det blir vanskelig å innføre disse nye tiltakene for å innføre VDM ved G.C.Rieber Oils.

6.14.1 endringsvillighet

En av de viktigste er villigheten til endring. Endring og gjentatte endringer, kan føre til stress og frustrasjon som igjen vil svekke oppslutningen om endringene. Det kan være mange årsaker til dette. Det kan være frykt. Det kan være man føler seg usikker på nye arbeidsoppgaver. Det kan være at man mister oppgaver som var en del av identiteten. Maktforholdene kan endres og arbeidsmengde dobles en periode. Disse tingene trenger ikke å få negative konsekvenser for endringene. Dersom man er klar over dem, og innfører tiltak for å nøytralisere dem, kan dette tvert imot være positivt. Det kan føre til at endringen blir mere planlagt, at ansatte blir tatt med i planene og slutter mere opp om endringene.

Undersøkelser viser at folk er mere villig til endring dersom en trussel blir presentert, enn dersom en mulighet blir presentert.

En sårn trussel kan bli presentert som en «brennende plattform», blir i VDM visualisert gjennom verdi driver analysen og benchmarking.

6.14.2 mål

Det er viktig å ha en klar og felles visjon om målet. Et mål er «en beskrivelse av en ønsket fremtidig tilstand» (Thorsvik, 2013). Et felles mål er motiverende, styrende, legitimerende og fungerer som evaluerings kriterier. Det er viktig at målene, eller delmålene, er konkrete slik at det er mulig å dokumentere om målet er oppnådd. I delen der den dominante verdi driveren blir beregnet (6.3.5), blir målet konkret og tydelig. Målet er å øke tilgjengeligheten med 7%. Det er ikke lurt å velge blindt et «world class» mål, men velge et mål som er mulig å oppnå basert på lignende bedrifter.

6.14.3 Strategi

En strategi beskriver veien mot målet. Her peker VDM metoden på viktigheten av å ikke velge å forandre alt på en gang, men å legge fokuset på bedriftens kjernekompetanse. Det er også en ide å se hva andre bedrifter har lykket med.

VDM er et program bestående av flere prosesser, fordi endring ofte består av flere parallelle prosesser: nytt EAM -system, nye arbeidsprosesser, nye målekriterier osv. For å øke sjansen for å lykkes med å nå målet, bruker bedrifter disse prinsippene:

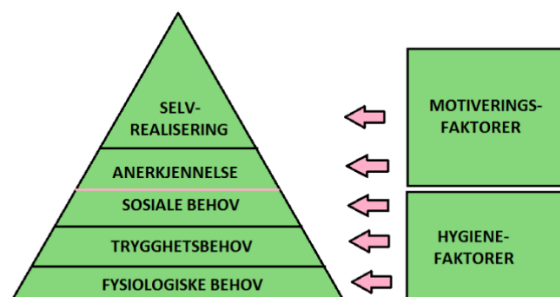
- Start smått, og våg å øke
- Hold deg til det valgte prosjektet
- Hold deg så nært som mulig til standarder, ikke start med tilpasninger.
- Definer oppnåelige milepæler/delmål
- Overvåk fremdriften og forsikre deg om at de nye prosessene fører til målet.

6.14.4 Ledelse

En av de viktigste forutsetningene for å lykkes med endringsprosesser, er at ledelsen er en sentral part. Det viser seg at bedrifter som lykkes med å innføre VDM, ikke bare spør ledelse om lov, men ber også om støtte under implementeringen, f.eks. med en synlig kommunikasjonsrolle. Dette gir ikke bare programmet en nødvendig status, men øker også kraften. Ledelse er i en bedre posisjon til løse problemer som oppstår og fjerne hindringer.

6.14.5 Motivasjon

For å oppnå suksess når noe nytt innføres, er motivasjon en viktig faktor.



Figur 29 Herzbergs motivasjonmodell, (Mark Haarmann G. D., *Value Driven Maintenance & Asset Management*, 2017)

Ifølge denne modellen er det to faktorer som påvirker ansatte, hygiene faktorer og motiverings faktorer. Hygiene faktorer er de som fører til misnøye ved at de mangler, eks ved arbeidsforhold. Motiveringsfaktorer er faktorer som fremmer jobbtildfredshet når de er til stede.

Bedrifter som klarer å innføre VDM med suksess, sørger for at hygiene faktorene er oppfylt, før de aktivt starter på motiveringsfaktorene.

Motiveringsfaktorene ved inføring av VDM, kan være:

- Implentering av KPI. Hver ansatt får et bidrag knyttet til en KPI.

- Fokus på kontinuerlig forbedring. De ansatte utfordres til å komme med forslag og andre kreative ideer
- Historiefortelling. Historier fra hva andre bedrifter har prestert.
- Ansatte får muligheten til å videreutvikle og komme med innspill til prosessene for sammen å utvikle det som blir beste løsning.

6.15 Standarder

Standarder kan hjelpe bedrifter på flere måter. De kan gi bedre tilgang til kunnskap, hjelpe bedrifter med en felles «oppskrift» på hvordan en ting skal være og øke sikkerheten ved repetisjoner av samme løsning.

Standardiseringer har også begrensninger. Noen ganger kan behovet for spesialtilpassede produkter, muligheten for å takle uventede hendelser og eksperimentere med nye løsninger, sette grenser for hvor detaljert prosesser kan standardiseres.

Ns 13306 er en standard for vedlikeholdsterminologi. Den hjelper bedrifter å bruke samme ord vedrørende vedlikehold, og å få lik oppfatning om hva definisjonene betyr og omfatter. I 2017 kom det en norsk versjon av denne, og sørger dermed for at vi bruker de samme norske ordene og definisjonene om vedlikehold (se figur 1)

ISO 55000 er en standard vedrørende styring og forvaltning av anlegg og verdier. Denne standarden er tredelt, der den første ISO 55000 omhandler terminologi, oversikt og prinsipper. ISO 55001 og ISO 55002 handler om krav og styringssystemer.

Det er også i gang et arbeid med å utvikle en ny europeisk standard for vedlikehold -TC 319. Denne standarden skal fokusere på å optimere profitt, øke opptiden og forbedre helse, miljø og sikkerhet. Denne skal dekke generelle prinsipper, kriterier og innhold i vedlikehold, alle stegene i en livssyklus, metoder og teknikker for å kunne vedlikeholde og forbedre den krevde funksjonen til en enhet. Den vil også fokusere på vedlikeholdets rolle i sikkerheten, påliteligheten og vedlikeholdets evne til å oppnå en bærekraftig balanse mellom ytelse, risiko og kostnader.

G.C.Rieber Oils bruker standarden ISO 9001. ISO 9001 er en internasjonal standard for kvalitet. Den inneholder krav til kvalitetssikring vedrørende innkjøp, mottak, produksjon, lagring, transport og beredskap. Den omhandler egentlig ikke vedlikehold, men nevner at vedlikehold av infrastruktur er påkrevd for å oppnå samsvar mellom prosesser og produkt som skal leveres. Den nevner videre at maskiner og utstyres bør vedlikeholdes i samsvar med en forebyggende vedlikeholdsplan.

6.16 Oppsummering diskusjon

For å analysere vedlikeholde ved G.C.Rieber Oils, ble det brukt to metoder: sammenlignet dem med «World Class» og Value Driven Maintenance and Asset management. Begge metodene baserer seg på å regne ut måltall, og her ligger også svakheten i analysene. Det har vært begrensede data, og en del av dataene stemmer ikke helt eller er unøyaktige. Derfor blir også analysene det.

Konklusjonene ved analysene antas likevel å stemme ganske bra.

Verdi driveren i bedriften er nok tilgjengelighet, og de har mest å tjene på å øke denne. Det er heller ingen tvil at de bør øke andelen av forebyggende vedlikehold. Dette er også et punkt som kan øke tilgjengeligheten. For å oppnå en god forebyggende plan, trenger de bedre kontroll med dataene og ressursene sine. Dette har de allerede en plan for da de skal starte å bruke SAP Hana.

Denne endringen av måten å styre vedlikeholdet på, vil føre til store endringer for vedlikeholdsavdelingen og man bør være oppmerksomme på barrierene ved en slik innføring.

7.0 Konklusjon

Målet for denne oppgaven var å belyse hvordan prediktivt vedlikehold kan brukes for å oppnå høyere tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet ved fabrikken ved G.C.Rieber Oils. Planen var å finne ut hvordan tilgjengeligheten kunne økes på det utstyret som var mest kritisk for bedriften ved å undersøke muligheter for å knytte til ulike sensorer. Lite data om vedlikeholdet og at vedlikeholds-arbeidet stort sett var korrigerende arbeid, gjorde at oppgaven ble noe annerledes enn først tenkt. Da forutsetningen for prediktivt vedlikehold er at det først er forebyggende, deretter tilstandsbasert, ble dette starten.

Det viste seg etterhvert at noen av maskinene var tilstandsovervåket med sensorer, men datamangel gjorde det umulig å finne ut om dette var utstyret som var kritisk i forhold til verdidriverne hos G.C.Rieber Oils. En analyse av verdi drivere, viste at det var å øke tilgjengeligheten, som var den største verdi driveren for G.C.Rieber Oils. På dette området var det også minst data, spesielt fordi de ikke registrerer nedetid på maskinene. En registrering av nedetid, ville kunne ledet rett til det korrekte stedet å begynne og øke systemets tilgjengelighet på.

Mye av problemet med manglende og unøyaktige data, vil løse seg når de får tatt i bruk mulighetene som ligger i et EAM-system. utfordringen her er at det er et omfattende og krevende arbeid å få denne modulen i Sap Hana i gang. Problemet er at det kan ta 2 år før SAP Hana er i stand til å produsere resultater som gjør bedriften i stand til å øke tilgjengeligheten på systemet deres. Ønsker bedriften da å vente 2 år på å øke system tilgjengeligheten?

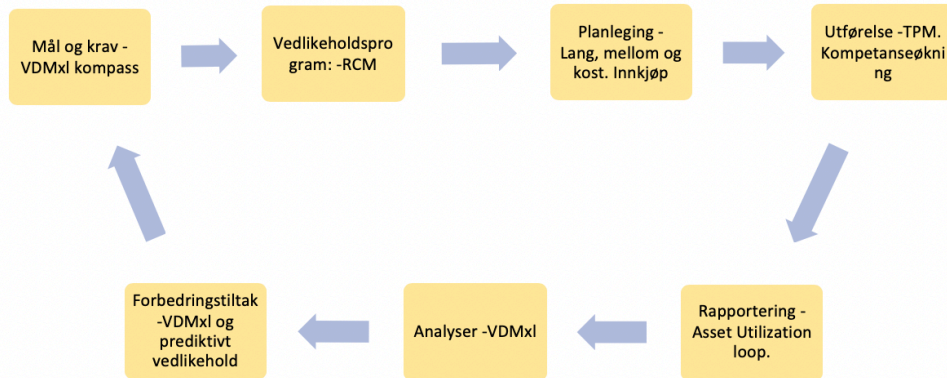
Vedlikeholdet trenger et mål og en strategi. Målet for vedlikeholdet bør settes i samsvar med hva som er den dominante verdi driveren for bedriften, krav fra produksjonen og i samsvar med budsjettet. Å bruke VDM's analyse og overvåking av KPI'er, er en overkommelig metode å bruke for å nå frem til et mål. Den kan inkluderes når SAP Hana er i gang, og er en god metode å bruke da man vet eksakt hvilke data man trenger.

Bedrifter som går over til prediktivt vedlikehold, rapporterer om redusert nedetid og reduserte vedlikeholds kostnader. G.C.Rieber vil også kunne oppnå økt tilgjengelighet på 2-6%, som i følge sensitivetsanalysen har en verdi på 39,785-119,355 millioner, og 5-10%

reduerte vedlikeholdskostnader som i følge sensitivetsanalysen har en verdi på 1,8311-3,6622 millioner, ved å innføre Prediktivt vedlikehold.

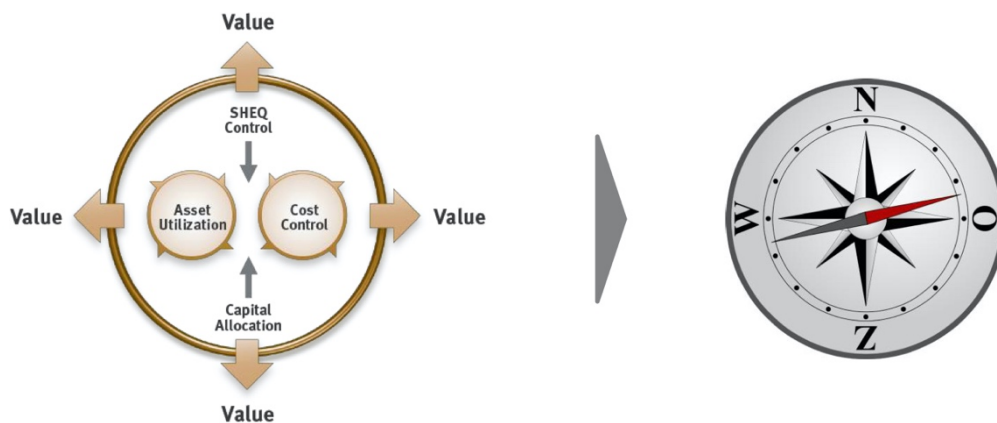
7.1 Forbedrings forslag.

Her blir styringssløyfa brukt for å sette forslagene i system.



Figur 30 Styringssløyfa tilpasset forslag om vedlikehold (Hansen, Styringssløyfa med forslag, 2020)

7.1.1 Mål



Figur 31 Verdi drivere som kompass (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)

Det er viktig å sette et mål først, men for å sette et konkret mål trenger G.C.Rieber først å vite hvor de står i dag. Til dette trenger de å få kontroll på manglende og ufullstendige data. Et godt utgangspunkt er å gå gjennom de 12 KPI'ene, og samle inn dataene som mangler:

Til Asset Utilization:

- Registrering av nedetid.
- Beregning av gjenlevende service levetid for fabrikken

Til SHEQ Control:

- Beregninger av kostnader og risiko på relevante hendelser vedrørende sikkerhet, redusert kvalitet og tap av omdømme

Til Cost Control og Capital Allocation:

- Skille mellom vedlikeholdskost, outsourcingkost og investeringskost innen vedlikehold

KPI'ene:

- Rapportering av inspeksjoner utført i tide
- Skille mellom forebyggende og korrigerende vedlikehold og tilhørende kostnad
- Rapportering av arbeidsordre utført i tide
- Registrer hvor mange timer vedlikeholdsavdelingen har tilgjengelig for vedlikeholdsoppgaver
- Rapportering av kostnader til opplæring
- Oversikt over utstyr som skal inn i et EAM-system, og registrering etterhvert som det er ført inn.

Dersom de også ønsker å bruke OEE -som er et vanlig måltall for bedrifter:

- Tall for standard tid for produktene, og faktisk tid de bruker i produksjonen

Data på disse tingene fører til at de kan utføre en sikrere analyse fremover, og komme med et konkret mål for vedlikeholdet. KPI'ene fungerer også som en del av strategien for hvordan komme til målet.

Dersom den dominante verdi driveren fortsatt er Asset Utilization, så vil den allerede registrerte nedetiden vise hvor på systemet det er viktig å utbedre tilgjengeligheten.

7.1.2 Vedlikeholdsprogram

En RCM-analyse kan være til god hjelp for å bedre tilgjengeligheten på det utstyret som er kritisk i forhold til nedetid på systemet. Den er også viktig for å få en god forebyggende plan for kritisk utstyr.

Dette er også viktige moment å vurdere ved innkjøp av nye anskaffelser. Det er viktig å vurdere kvalitet v.s. kostnader til vedlikehold samt vurdere livssyklus kostnadene og miljøperspektivet ved innkjøp av utstyr som ikke kan repareres eller vedlikeholdes.

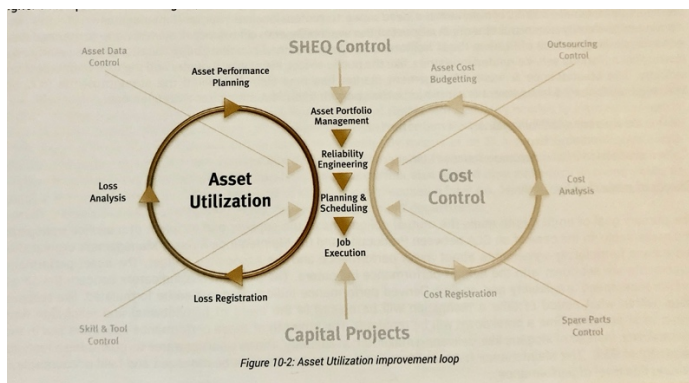
7.1.3 Planlegging

Det er behov for en plan for vedlikeholdet. Denne planen må inneholde forebyggende - som for eksempel det som ble resultatet av RCM-analysen, og korrigerende vedlikehold. Planen må være i samsvar med det som er den dominerende verdidriveren, og avtales med produksjonen om når utstyr kan være tilgjengelig for vedlikehold og sikre at den er innenfor budsjettet. Vedlikeholdet bør også ha en plan for hvordan de ulike oppgavene skal prioriteres. Det er viktig å sørge for å ha en langtidsplan, en med mellomlengde og en korttidsplan. Det bidrar å holde vedlikeholdsarbeidet på veien mot målet.

7.1.4 Utføring

I følge TPM og VDM kan basisvedlikehold som rengjøring, smøring, stramming og inspeksjoner med fordel overlates til operatørene. Dette vil frigjøre ressurser i vedlikeholdsavdelingen til mere komplekse oppgaver. Dette vil også frigjøre tid til planlegging, forbyggende vedlikeholdsplan og til arbeidet med å få utstyret inn i et EAM-system. Dette fører også til fordel for operatørene siden de blir mere ansvarliggjorte, får økte ferdigheter og fører til at problemer blir tatt hånd om før de forårsaker nedetid. Her er det også viktig å vurdere om bedriften innehar den rette kompetansen for å innføre prediktivt vedlikehold. Ifølge World Class maintenance -analysen, kunne de nok hatt mere analyse-kompetanse og kompetanse på kjente vedlikeholdsmetoder som RCM/FMEA.

7.1.5 Rapportering



Figur 32 Asset Utilization improvement loop (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)

I VDM er rapportering en viktig del. Nedetid, tap av kvalitet og tidstap er viktig å registrere kontinuerlig. Dette gjøres i forbedringshjulet i Asset Utilization. Her blir også tapene analysert og forbedret kontinuerlig. Rapportering av vedlikehold bidrar til at de 12 KPI'ene holder seg oppdaterte hele tiden, og sikrer at vedlikeholdet som blir gjort, er vedlikehold som bidrar til å øke tilgjengeligheten (som er den dominerende driveren nå).

7.1.6 Veikart for framtida

I 2017 kom en ny stortingsmelding for industrien -grønnere, smartere og mer nyskapende. Denne sier noe om den politiske visjonen regjeringen har for industrien, og at denne retningen for fremtidig vekst har en miljø-profil, bruker smart teknologi og er innovativ. Denne stortingsmeldingen nevner også vedlikehold for første gang. Den nevner at bruk av sensortechnologi kan redusere nedetid på maskiner, øke effektiviteten samt spare energi.

Ved G.C.Rieber Oils er en del av maskinene allerede utstyrt med sensorer. Sensorene er også koblet opp på nett og blir overvåket fra et kontrollrom. Det neste naturlige steget her er å samle dataene et sted -for eksempel i en sky basert løsning, og få tak i en programvare som kan analysere disse dataene for å kunne predikere feil før de oppstår. Sap Hanas vedlikeholdsmodul har denne programvaren og skyløsning. Den har programvare som sammenligner bruksdata med design, konfigurasjoner, overhalinger, reparasjoner og oppgraderinger, for å finne sammenhenger. Den har også algoritmer for maskinlæring, der programmet lærer av feil historikken og bruker mønstergjenkjenning for å oppdage anomaliteter.

Når G.C.Rieber Oils gjør RCM-analyser av kritisk utstyr, blir det også vurdert (se fig 2 RCM-beslutningslogikk) om utstyret bør kobles opp til en tilstandsbasert løsning med sensorer.

Forslaget i denne oppgaven er at de starter arbeidet med RCM-analyser så snart de har fått nok data om nedetider på systemet, til å slå fast hvilket utstyr som er kritisk for å kunne øke systemets tilgjengelighet. Dersom dette er anlegg 7913 Stripp, så vil en RCM-analyse kunne fortelle hvilke tiltak som kan forbedre tilgjengeligheten. Kanskje vil den vise at det er en fordel å montere sensorer. Dersom det allerede er montert sensorer (og rette sensorer), vil det å få disse sensorene inn i et prediktivt vedlikeholds program kunne øke tilgjengeligheten på maskinene og på hele systemet.

Da er det to prioriterte oppgaver G.C.Rieber Oils bør starte med:

1. Samle data om nedetid og analyser med hensyn på kritisk utstyr
2. Få inn i et EAM-system utstyr som er mest kritisk først, med hensyn på å øke tilgjengeligheten på systemet, og starte det prediktive vedlikeholdsprogrammet.

Siemens prediktive program, Mindsphere, er kompatibel med SAP Hana. Dette programmet bruker sensordata til å etablere KPI'er som hjelper til å bestemme maskinens OEE, som tilgjengelighet, ytelse, kvalitet og antall stopp pr produksjonsenhet. Programmet oppdager hurtig anomaliteter og uventede hendelser som kan indikere dårlig ytelse. Det bruker statistikk for å visualisere de største (topp 10) feil som blir brukt til å identifisere potensielle problem, oppdager de vanligste feil i tidsserie data og bruker lineær og polynom regresjon for å forutsi trender. Dette programmet vil automatisere innsamling av data som trengs til VDM metoden, samt predikere vedlikeholdet. Programmet kan også bygges videre til preskriptivt vedlikehold. Ved å ta i bruk kunstig intelligens og maskinlæring, vil modellen ikke bare fortelle når og hva som vil feile, men også komme med forslag til hva som kan gjøres for å unngå eller utsette feilen. Da vil en reparasjon/overhaling kunne styres til et tidspunkt som passer bedre inn i produksjonsplanene. På denne måten vil denne nye teknologien og industri 4.0, hjelpe bedrifter å oppnå høyere tilgjengelighet.

Figurliste

Figur 1 Vedlikeholdsterminologi (NS-EN 13306 , 2017)	8
Figur 2 RCM-beslutningslogikk (Forelesningsnotater fra Per Schjøberg, 2019).....	11
Figur 3 Vedlikeholdssløyfa fra Ptil, (Forelesningsnotater fra Per Schjøberg, 2019)	17
Figur 4 PDM maturity matrix (Mark Haarmann M. M., Predictive maintenace 4.0. Predict the unpredictable, 2017)	20
Figur 5 Four stages of industrial revolution (Per Schjøberg, 2016)	21
Figur 6 Physical-to-digital loop and related technologies (Deloitte Insights, 2017).....	22
Figur 7 The main drivers for industrie 4.0 (McKinsey & Company, 2015).....	23
Figur 8 Bedre og mere data, koblet sammen med Big data (Forelesningsnotater fra Per Schjøberg, 2019).....	24
Figur 9 Illustrasjonsbilde av hvordan prediktivt vedlikehold er koblet sammen (Forelesningsnotater fra Per Schjøberg, 2019)	24
Figur 10 Prescriptive maintenance real-time visualization platform (Deka, 2018).....	25
Figur 11 G.C.Rieber konsernstruktur (G.C.Rieber, 2020) (G.C.Rieber Oils, 2019).....	27
Figur 12 G.C.Rieber Oils Omega-3 verdi kjede (Forelesningsnotater, 2019).....	28
Figur 13 Produksjonsprosessen (G.C.Rieber Oils, 2020).....	30
Figur 14 Pålitelighetsnettverk (Hansen, Pålitelighetsnettverk, 2020)	33
Figur 15 KPI nedetid (G.C.Rieber Oils, 2020).....	34
Figur 16 Oversikt over hvilke TAG nr som har brukt mest vedlikeholdstimer (Hansen, Oversikt over TAG nr og vedlikehold, 2020).....	36
Figur 17 Oversikt over vakuum systemet til VP-06700, fra G.C.Rieber Oils (G.C.Rieber Oils, 2020)	37
Figur 18 Verdi drivere som kompass, fra Haarmann, Delahay; VDMxl (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)	41
Figur 19 Verdi driverne hos G.C.Rieber Oils (Hansen, Verdi driverene hos G.C.Rieber Oils, 2020)	43
Figur 20 Dominante verdi drivere vs produktets livssyklus (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance and Asset Management, 2017).....	44
Figur 21 VDMxl kompetanse modell, (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)	45
Figur 22 VDM analyse (Hansen, VDM analyse, 2020)	47
Figur 23 Styringssløyfa fra Ptil, (Forelesningsnotater fra Per Schjøberg, 2019)	49

Figur 24 Eks på en ABS struktur (Hansen, 2020)	57
Figur 25 Tilstandsbasert vedlikehold og tilstandsovervåkning (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020).....	59
Figur 26 Teknologiske hjelpemidler til SAP Hana plattformen (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020).....	60
Figur 27 RUL estimat, fra forelesningsnotater (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)	61
Figur 28 Degradering basert på RUL estimat med tidsangivelse (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2020)	62
Figur 29 Herzbergs motivasjonmodell, (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)	64
Figur 30 Styringsløya tilpasset forslaget om vedlikehold (Hansen, Styringsløyfa med forslag, 2020).....	68
Figur 31 Verdi drivere som kompass (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)	68
Figur 32 Asset Utilization improvement loop (Mark Haarmann G. D., Value Driven Maintenance & Asset Management, 2017)	71
Tabell 1 World Class Maintenance, (Forelesningsnotater fra Per Schjølberg, 2019)	16
Tabell 2 Nedetid og tilgjengelighet på noen anlegg (Hansen, Nedetid og tilgjengelighet på noen anlegg, 2020).....	33
Tabell 3 Oversikt vedlikeholdstimer brukt 2019 (Hansen, Oversikt vedlikeholdstimer brukt 2019, 2020)	36
Tabell 4 Oversikt vedlikeholdstimer brukt på anlegg (Hansen, Oversikt vedlikeholdstimer brukt på anlegg, 2020)	37
Tabell 5 World Class tall (Hansen, World Class tall, 2020)	39
Tabell 6 Veien til World Class Maintenance (Hansen, Veien til Worls Class, 2020).....	40
Tabell 7 Eksempel på et prioriteringssystem (Pålitelighet.no, 2020).....	52

Bibliografi

- (2020, april 09). Hentet fra Pålitelighet.no: <http://pålitelighet.no/prioritetssystem>
- Dannepond, P. (2018).
- Deka, P. (2018). Predictive and Prescriptive maintenance in manufacturing industry with machine learning.
- Deloitte Insights. (2017). Forces of change: industry 4.0.
- Forelesningsnotater. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2019).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2020).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2020).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2020).
- Forelesningsnotater fra Per Schjølberg. (2020).
- G.C.Rieber . (2020, mars). Hentet fra <http://arsrapporter.gcrieber.no>.
- G.C.Rieber. (2020).
- G.C.Rieber. (2020). Hentet fra <https://arsrapporter.gcrieber.no/2017/konsernstruktur-og-datterselskaper/>
- G.C.Rieber Oils. (2019). Forelesningsnotater.
- G.C.Rieber Oils. (2020).
- G.C.Rieber Oils. (2020).
- G.C.Rieber Oils. (2020). Oversikt over vakuumsystemet til VP-06700.
- Hai Qui, D. J. (2016). Near-zero downtime: overview and trends.
- Hansen, V. (2020).
- Hansen, V. (2020). Eks på ABS struktur.
- Hansen, V. (2020). Nedetid og tilgjengelighet på noen anlegg.
- Hansen, V. (2020). Oversikt over TAG nr og vedlikehold.
- Hansen, V. (2020). Oversikt vedlikeholdstimer brukt 2019.
- Hansen, V. (2020). Oversikt vedlikeholdstimer brukt på anlegg.
- Hansen, V. (2020). Pålitelighetsnettverk.

- Hansen, V. (2020). Styringsløyfa med forslag.
- Hansen, V. (2020). VDM analyse.
- Hansen, V. (2020). Veien til Worls Class.
- Hansen, V. (2020). Verdi driverene hos G.C.Rieber Oils.
- Hansen, V. (2020). World Class tall.
- Haarmann, M. (2017). Predictive maintenance 4.0.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance and Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance & Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance & Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance & Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance & Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, G. D. (2017). *Value Driven Maintenance & Asset Management*.
Mainnovation.
- Mark Haarmann, M. M. (2017). Predictive maintenace 4.0 Predict the unpredictable.
- Mark Haarmann, M. M. (2017). Predictive maintenace 4.0. Predict the unpredictable.
- McKinsey & Company. (2015).
- NS-EN 13306 (2017).
- NS-EN 13306 (2017).
- NS-EN 13306 (2017).
- NS-EN 13306 (2017).
- NS-EN 13306 (2017).
- Per Schjølberg, R. R. (2016). Industry 4.0 and maintenance.
- Rolstad, A. S. (1999). Produksjon og driftsteknikk.
- Schjølberg, f. f. (2019).
- Schjølberg, f. f. (2019).
- Schjølberg, F. f. (2019).
- Thorsvik, J. (2013). *Hvordan organisasjoner fungerer*.

Litteratur

Nettsider:

Iot solutions prediktivt og preskriptivt vedlikehold.

<https://www.iotsolutions.no/nb/industri-4-0/> og <https://www.iotsolutions.no/nb/hva-er-preskriptivt-vedlikehold/> lest 12.02.2020

Fiixsoftware.com og RCM. <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/reliability-centered-maintenance/> lest 03.10.2019

NRK og gasslekasje. https://www.nrk.no/hordaland/_-gasslekkasjen-viser-den-uheldige-effekten-av-kostnadskutt-i-oljebransjen-1.13426743 lest 12.01.2020

G.C.Rieber. <https://arsrapporter.gcrieber.no/2017/konsernstruktur-og-datterselskaper/> lest 01.03.2020

Sintef og marin ingrediensindustri. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2479730/A21511-Norsk%2bmarin%2bingrediensindustri-%2bRoger%2bNorvald%2bRichardsen.pdf?sequence=1&isAllowed=y> lest 04.03.2020

TPM. <https://leanfactories.com/tpm-pillars-eight-pillars-of-total-productive-maintenance/> lest 12.02.2020

Bosch <https://bosch.io/resources/> lest 07.02.2020

Målstyring og indikatorer. <http://pålitelighet.no/malstyring-og-maltall> lest 09.04.2020

Siemens mindsphere.

<https://new.siemens.com/global/en/products/software/mindsphere.html> lest 29.04.2020

Norsk standard <https://www.standard.no/en/nyheter/news-in-english/2019-news/development-of-a-new-standard-for-maintenance-engineering/#.XqINdi9eFN0> lest 19.04.2020

SAP Hana. <https://www.sap.com/products/hana.html>. lest 19.04.2020

Jason Tranter. Ben Roland. Richard Palmer. Bob Distefano and Bruce Hawkins. Phil Slater. AMMJ, 2016, asset management and maintenance journal. Condition monitoring is not enough, can you have too much detail in an RCM study? Success only after dealing with reactive maintenance, risk based maintenance, automated best practice for driving asset performance, 3 questions to ask before standardizing spare parts.

Graziano Terenzi og Guiseppe Basile. 2018.

Smart maintenance an augmented reality platform for training and field operations in the manufacturing industry.

2018. *Maintenworld 3, implementing a successful preventive maintenance program,*
Patrice Dannepond

Partha Deka, 2018, *Predictive and Prescriptive maintenance of manufacturing industry with machine learning*

Fanzel Ansari, Robert Glawar og Tanja Nemeth. *Prima: a prescriptive maintenance model for cyberphysical production systems*

J.Venkatesh. *An introduction to total productive maintenance (TPM)*

Alesso Bonfietti. 2008, *predictive and Prescriptive maintenance, Mindit*

Deloitte insights *Forces of change: industry 4.0*

Ruben Ravnå og Per Schølberg, Norsk forening for vedlikehold. 2016. *industry 4.0 and maintenance*

Hai Qiu og Dr Jay Lee. *Near-zero downtime: overview and trends. The university of Cincinnati, Cincinnati.*

Norsk standard ns-en 13306:2017. Vedlikehold og vedlikeholdsterminologi. Brussel: European committee for standardization (CEN)

Chris Coleman, Satish Damodaran, Mahesh Chandramouliu og Ed Deuel. *Deloitte university press, making maintenance smarter*

Mark Haarman, Michael Mulders, Costas Vassiliadis, Corwin van Heteren, Hedwich Sijtsema, Jeroen Kerkhof og Alette Marbus. *Predictive maintenance 4.0 predict the unpredictable*

Peter Decaigny, 2019, *how to create value with VDMxl reliability engineering*

Mark Haarmann, 2018, *competing with aging assets*

Meld.st.27 Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende

Wartsila. 2019. *-smart maintenance*

Dr Setrag Khoshafian og Carolyn Rostetter. *Pega digital prescriptive maintenance*

Diverse forelesningsnotater

Dr Milos Milojevic og Frank Nassah, 2018, *Digital industrial revolution with predictive maintenance*

Oljedirektoratet 1998, *basisstudie vedlikeholds styring*

Al Poling, 2017; *RAM Analytics LLC*

Schjølberg, Andersen, Rolstadås, 1999, *Produksjons -og driftsteknikk. Tapir, Trondheim.*

Dag Ingvar Jacobsen, 2005; *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* Cappelen Damm, Oslo

Mark Haarman & Guy Delahay, mainnovation, 2017, *Value Driven Maintenance & Asset Management. Mainnovation*

Jacobsen og Thorsvik, 2014, *hvordan organisasjoner fungerer*, fagbokforlaget, Bergen

Kaufmann og kaufmann, 2015, *psykologi i organisasjon og ledelse*, fagbokforlaget, Bergen