

Håvard V. Hagerup  
Markus N. Haugen  
Henrik O. Ness

# Optimalisering av driftsmønster og tilstandsbasert vedlikehold for arbeidskatamaraner i oppdrett

Bacheloroppgave i Maskiningeniør  
Veileder: Viggo G. B. Pedersen  
Mai 2024



Håvard V. Hagerup  
Markus N. Haugen  
Henrik O. Ness

# **Optimalisering av driftsmønster og tilstandsbasert vedlikehold for arbeidskatamaraner i oppdrett**

Bacheloroppgave i Maskiningeniør  
Veileder: Viggo G. B. Pedersen  
Mai 2024

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



Kunnskap for en bedre verden





# RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel (Både på norsk og engelsk kreves)

Optimalisering av driftsmønster og tilstandsbasert vedlikehold for arbeidskatamaraner i oppdrett  
Optimization of operating patterns and condition-based maintenance of work catamarans in aquaculture

*Prosjektnr.* **MTP-D-2024-03**

*Forfattere:*

Håvard V. Hagerup, Markus N. Haugen, Henrik O. Ness

*Oppdragsgiver eksternt:*

MOWI AS

*Veileder internt:*

Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er ÅPEN/LUKKET

*Dato levert:* 21.05.2024

Kort sammendrag (Både på norsk og engelsk kreves)

Mowi er et ledende lakseoppdrettselskap. Bedriften ønsker en overgang fra tidsbestemt vedlikehold, til tilstandsbasert vedlikehold. Det er utarbeidet metoder og forslag gjennom analyser. Forslagene inkluderer visualisering og praktiske implementeringer, for overgang til tilstandsbasert vedlikehold.

Mowi is a leading salmon farming company. The business is aiming to transition from time-based maintenance to condition-based maintenance. Methods and proposals have been developed through analysis. The proposals include visualization and practical implementations for the transition to condition-based maintenance.

Stikkord:

Tilstandsbasert vedlikehold

Driftsmønster

Visualisering

Scania DI13

Keywords:

Condition-based maintenance

Operating pattern

Visualizing

Scania DI13



## Forord

Bacheloroppgaven er gjennomført som avsluttende oppgave ved Institutt for maskinteknikk og produksjon for Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven ble utviklet i samarbeid med MOWI AS, i forbindelse med deres ny oppstartede datainnsamlingsprosjekt.

Gruppen vil benytte muligheten til å rette en stor takk til vår interne veileder Viggo Gabriel Borg Pedersen. Som gjennom prosjektperioden har gitt gode og viktige råd og tilbakemeldinger under veiledning.

Vi vil også rette en takk til samarbeidsbedriften MOWI AS og våre kontaktpersoner fra bedriften, Håvard Larsen og Olai Frøystad. Håvard og Olai har gitt god mulighet for utforming av en spennende oppgave, og god veiledning og informasjon som var essensiell for gjennomføring. Vi vil også takke Jonas Dahn fra Seacloud, for svar på spørsmål om målekjede og plattformen som oppstod i prosjektperioden.

Et av gruppemedlemmenes tidligere erfaring som faglært mekaniker ble til stor nytte under gjennomførelse av FMECA.

*Trondheim / 20.05.2024*

Sted/dato



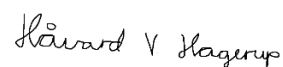
---

Henrik O. Ness



---

Markus N. Haugen



---

Håvard V. Hagerup



## Sammendrag

Oppgaven omhandler Mowi AS, et ledende lakseoppdrettsselskap, som nylig har påbegynt en endring av sin vedlikeholdsstrategi. Et datainnsamlingsprosjekt, sammen med selskapet Seacloud, markerer starten på Mowis overgang fra tidsbestemt vedlikehold til tilstandsbasert vedlikehold. Målet er å bli mer bærekraftig, og samtidig øke utstyrets levetid. Tilstandsdata blir samlet fra arbeidskatamaranene som brukes til daglige gjøremål, og skal etter planen integreres i CMMS-programmet Aquacom.

En FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) ble utført for å gi beslutningsgrunnlag for hvilke parametere som er nyttig å overvåke. Det blir foreslått at oljenivåsensor, vibrasjonssensor, trykkdifferansesensor over filter og lambdasensor legges til som tilstandsparametere, som kan være verdifulle å overvåke. Ved å sette alarmer på nye og eksisterende tilstandsparametere, utløses en varslings som bør føre til videre undersøkelse med et akustisk kamera for å se hvor feilen er lokalisert.

Forslaget inkluderer også en driftsscore for å optimalisere kjøremønstre, basert på data fra Seacloud, med mål om å forlenge motorenes levetid og redusere miljøpåvirkningen. Dette forslaget inkluderer visuelle verktøy for å forbedre forståelsen og håndteringen av uønskede driftsprofiler.

Oppgaven er et eksempel på hvordan Mowi kan bruke tilstandsbaserte metoder for annet utstyr, som kranene på båtene. Implementeringen av sensorbasert tilstandsovervåkning er essensiell for tidlig feildeteksjon, som kan forhindre uforutsette driftsstans og sikre optimal drift.

## Abstract

This report concerns Mowi AS, a leading salmon farming company, which has recently begun a change to its maintenance strategy. The goal is to become more sustainable while simultaneously increasing the lifespan of the equipment. A data collection project, in collaboration with the company Seacloud, marks the beginning of Mowi's transition from time-based maintenance to condition-based maintenance. Condition data is being collected from the work catamarans used for daily tasks and is planned to be integrated into the CMMS program Aquacom.

An FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) was performed to provide a basis for deciding which parameters are useful to monitor. It is suggested that an oil level sensor, vibration sensor, differential pressure sensor across the filter, and lambda sensor be added as condition parameters, which could be valuable to monitor. By setting alarms on new and existing condition parameters, a notification will be triggered that should lead to further investigation with an acoustic camera to locate the fault.

The proposal also includes an operational score to optimize operational patterns, based on data from Seacloud, aiming to extend engine lifespan and reduce its environmental impact. This proposal includes visual tools to improve the understanding and management of undesirable operational profiles.

The work presented, is an example of how Mowi may use condition-based methods for other equipment, such as the cranes on the boats. The implementation of sensor-based condition monitoring is essential for early fault detection, which can prevent unexpected operational downtime and ensure optimal operation.

## Ordliste & Begrepsforklaring

<b>Arbeidskatamaran</b>	Båt med to skrog, løftekran, og innenbords fremdriftsenhet på hver side
<b>Aquacom</b>	Vedlikeholdsstyringsystem tilpasset oppdrettsindustri, benyttet av bedriften.
<b>BB</b>	Babord
<b>CMMS</b>	Vedlikeholdsstyringsystem (engelsk: computerized maintenance management system)
<b>Dødkjøring</b>	Kjøring på tomgang uten at utstyr er i bruk.
<b>Feil</b>	«Tilstand» hvor en komponent eller system har degradert evne til å oppfylle krevd funksjon.
<b>FMECA</b>	Feilmode, effekt- og kritikalitetsanalyse (engelsk: failure mode, effects and criticality analysis)
<b>HMS</b>	Helse, miljø og sikkerhet
<b>KPI</b>	Key Performance Indicator
<b>PDCA</b>	Plan, Do, Check, Act
<b>SAP</b>	Systems, Applications, and Products in Data Processing
<b>SCADA</b>	Overordnet styring, kontroll og datainnsamling (engelsk: supervisory control and data acquisition)
<b>Seacloud</b>	Navn på både selskapet som utvikler-, og SCADA-systemet som blir benyttet i datainnsamlingsprosjektet.
<b>STB</b>	Styrbord
<b>Svikt</b>	«Hendelse» karakterisert av at en enhet ikke lenger er i stand til å oppfylle krevd funksjon.
<b>Sviktmodus</b>	«Måten» en enhet mister evnen til å oppfylle krevd funksjon

## Vedlikeholdstermer

<b>Forbedring av driftssikkerhet</b>	Kombinasjon av alle tekniske, administrative og ledelsesrelaterte tiltak som har til hensikt å bedre den iboende påliteligheten og/eller vedlikeholdsvennligheten og/eller sikkerheten til en enhet, uten å endre enhetens opprinnelige funksjon
<b>Forebyggende vedlikehold</b>	Utføres for å vurdere og/eller minske degradering og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet.
<b>Forhåndsbestemt vedlikehold</b>	Forebyggende vedlikehold som gjennomføres uten forutgående tilstandsundersøkelser, som utføres i henhold til etablerte tidsintervaller eller antall bruksenheter
<b>Korrigerende vedlikehold</b>	Utføres etter at en feil er funnet, og har som formål å gjenopprette en enhet til en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon
<b>Modernisering</b>	Modifikasjon eller forbedring av enheten der det tas hensyn til teknologisk framskritt, for å oppfylle nye eller endrede krav
<b>Prediktivt vedlikehold</b>	Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten.
<b>Tidsbestemt vedlikehold</b>	Utføres i henhold til en fastsatt tidsplan eller et angitt antall bruksenheter.
<b>Tilstandsbasert vedlikehold</b>	Forebyggende vedlikehold som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulige påfølgende vedlikeholdstiltak
<b>Tilstandsparameter</b>	En målbar indikator som gir informasjon om tilstanden og ytelsen til en maskin eller et system



# Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Formål og omfang .....	2
1.2	Avgrensninger .....	4
1.3	Resultatmål.....	5
1.4	Effekt mål.....	7
1.5	Oppbygning.....	8
2	Teori.....	9
2.1	Industri 4: Den moderne utviklingen .....	10
2.2	FN ´ s bærekraftmål.....	13
2.3	Vedlikehold .....	14
2.4	Ståstedsanalyse .....	21
2.5	FMECA .....	22
2.6	Tilstandsbasert vedlikehold .....	26
2.7	Båtens drivverk .....	36
3	Metode .....	44
3.1	Forprosjektet.....	45
3.2	Standardbruk .....	45
3.3	Ståstedsanalyse .....	46
3.4	FMECA .....	48
3.5	Driftsscore .....	51
4	FMECA .....	55
4.1	Dieselsystem .....	56
4.2	Innsugssystem .....	58
4.3	Eksossystem.....	60
4.4	Smøresystem .....	62

4.5	Kjølesystem .....	64
4.6	Sensorikk .....	66
5	Resultat .....	67
5.1	Hovedfunn fra ståstedsanalyse .....	68
5.2	Identifisering av Tilstandsparameter for Fremdriftsenhetene.....	75
5.3	Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet: .....	88
6	Diskusjon .....	94
6.1	Systemkunnskap og driftsoversikt .....	95
6.2	Operasjonell Kontekst og Vedlikeholdsplaner .....	96
6.3	Teknisk Oversikt:.....	97
6.4	Datainnsamling og Evaluering: .....	98
6.5	Identifisering av tilstandsparameter for Fremdriftsenhetene .....	100
6.6	Datavisualisering og Implementering:.....	104
6.7	Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet.....	105
6.8	Feilkilder.....	115
7	Konklusjon .....	116
8	Videre arbeid.....	117
8.1	FMECA & Rotårsaksanalyser .....	117
8.2	Nåverdi og kost/nytte analyser.....	118
8.3	Identifisering av tilstandsparametre.....	118
8.4	Alternativ fremdriftsenhet.....	119
8.5	Annet .....	119
	Referanseliste.....	120
	Vedlegg.....	124

## Figurliste

Figur 1 Bilde fra befaring på Indre Skjærvøy (Privat, 2024).....	1
Figur 2 Viser prosjektets omfang, tilpasset fra leverandørens tekniske tegninger (Nogva, 2023) ....	2
Figur 3 Gullhom (Mørenot Digital, 2024) .....	3
Figur 4 De fire industrielle revolusjonene (Novotek, u.d.).....	10
Figur 5 FN bærekraftsmål 9 (FN-sambandet, 2024) .....	13
Figur 6 FN bærekraftsmål 12 (FN-sambandet, 2024).....	13
Figur 7 FN bærekraftsmål 14 (FN-sambandet, 2024).....	13
Figur 8 Vedlikeholdsstyringsløyfen (Bye, 2009).....	18
Figur 9 Hva som utgjør driftssikkerhet (Pedersen, 2022, s. 13).....	20
Figur 10 PF-diagram, suboptimal vs optimal drift (Pedersen, 2022, s. 6, tilpasset).....	20
Figur 11 Skjematisk framstilling av begrepene i FMECA (Bye, 2009, justert av gruppen) .....	23
Figur 12 FMECA prosessen, hentet og tilpasset fra NEK EN IEC 60812:2018 .....	24
Figur 13 Flytskjema tilstandskontroll (Bye, 2009).....	26
Figur 14 Illustrerer trendutvikling av tilstandsparameter, og sammenhengene mellom Grenseverdi og vedlikeholdstidspunkt (Lund & Hellevik, 2016). .....	28
Figur 15 Svingningshastighet går over grenseverdien og tiltak må iverksettes (Lund & Hellevik, 2016).....	32
Figur 16 Illustrerer hvordan vibrasjonsmålinger ser ut før og etter FFT er anvendt (Lund & Hellevik, 2016).....	32
Figur 17 Piezoelektrisk akselerometer (Wu, et al., 2023).....	33
Figur 18: Eksempel på hvordan et akustisk kamera ser ut (Teledyne Flir, 2023) .....	34
Figur 19: Prinsippet bak stråleforming (ResearchGate, 2012). .....	35
Figur 20 Drivverk på båt (kilde: teknisk tegning Gullholm, tilpasset av gruppen).....	36
Figur 4-takstprinsippet (Fiskaa, 2019) .....	38
Figur Scania DI13 073M (Scania Marine Engines).....	39
Figur 23 Illustrasjon av motorens smøresystem .....	41
Figur 24 Kjølekrets båt (Brooks, 2020) tilpasset av gruppen. ....	42
Figur 25 Turbo (Turbo Dynamics, u.d.) .....	43
Figur 26 Motor tilhørende Slettholm (befaring 2) .....	47
Figur 27 Motor tilhørende Gullholm (befaring 1) .....	47

Figur 28: Funksjonshierarki for drivverket (se figur 14), med oppgavens omfang i oransje(T2), og analysens detaljnivå i rød (T3).....	48
Figur 29 Histogram av gjennomsnittlig drivstofforbruk avhengig av pådrag.....	52
Figur 30 Histogram for dreiemoment ved tomgang.....	53
Figur 31 Gasspådrag over tid, og perioder med identifisert dødkjøring uthevet i rødt.....	54
Figur 32 Skjematisk tegning av Dieselsystem (Sclar, 2021) .....	56
Figur 33 Skjematisk tegning, med innsugssystemet uthevet (Maruyama, Ejiri, Ikai, & Shimotani, 2012). .....	58
Figur 34 Skjematisk tegning, med eksosystemet uthevet (Maruyama, Ejiri, Ikai, & Shimotani, 2012). .....	60
Figur 35 Illustrasjon av motorens smøresystem, tilpasset av gruppen (Online Store, 2024).....	62
Figur 36 Kjølekrets båtmotor, justert av gruppen (Brooks, 2020). .....	64
Figur 37 Sensorikken i en motor (Onestop Auto, 2012) .....	66
Figur 38 Gateway og dens tilkobling til Gullholms motorstyreenhet med CAN bus, bilde fra andre befarng. ....	73
Figur 39 Illustrasjon av målekjeden, fremstilt av gruppen .....	73
Figur 40 Plot med identifisert dødkjøringstid for en periode over 100 dager .....	80
Figur 41 Dødkjøring var svært regelmessig i store deler av første kvartal 2024.....	80
Figur 42 Python plot for Gasspådrag over 3 mnd. Med alarmgrense på 85 % (markert med rød stippet linje) .....	81
Figur 43 Gasspådrag alarmer for 24.Mar - Dagen med lengste enkelttid over grensen. ....	81
Figur 44 Test-plot for oljenivåmålinger over tid, med økende oljeforbrukshastighet og påfyllingshyppighet. ....	82
Figur Eksempel-plottet viser en rask endring i påfyllingshyppighet etter påfylling nr.2, før den igjen jevnes ut - som kan indikere en feil i smøresystemet, eller motorens tilstand. ....	83
Figur Innsugstemperatur, Gullholm (øverst), og Rognholm (nederst). Gj.snitt(grønn) og maksimum .....	84
Figur Referanseverdi kan beregnes fra historiske data .....	85
Figur Alarmgrense, på 66 °C innsugstemperatur.....	85

## Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over resultatmål i fase 1 av prosjektet.....	5
Tabell 2 Oversikt over resultatmål i fase 2 og 3 av prosjektet.....	6
Tabell 3 Oversikt over gruppens effektmål .....	7
Tabell 4 Oversikt over Mowis effektmål .....	7
Tabell 5 Oversikt over rapportens oppbygning.....	8
Tabell 6 Ståstedsanalysens fokusområder. ....	22
Tabell 7 Faser til FMECA (Pedersen, 2022) .....	25
Tabell 8 FMECA-delens rekkefølge .....	55
Tabell 9 Oversikt over hvilke mål som blir besvart i hvilken del .....	67
Tabell 10 Målene besvart i del 5.1.1 .....	68
Tabell 11 Målene besvart i del 5.1.2.....	69
Tabell 12 Valgt arbeidskatamaran.....	69
Tabell 13 Vedlikeholdsoppgaver for Gullholm.....	71
Tabell Tabellen er basert på Scania sine anbefalinger for DI13 marinemotor (SCANIA, s.27, 2022) .....	71
Tabell 15 Målene besvart i del 5.1.3.....	72
Tabell 16 Sammendrag av FMECA-skjema, med de viktigste punktene .....	72
Tabell 17 Mål besvart i del 5.1.4 .....	74
Tabell 18 Funksjonalitet i Seacloud med beskrivelse.....	74
Tabell 19 Målene besvart i del 5.1.2.....	75
Tabell 20 Oversikt over Gullholms tilgjengelige parametere i Seacloud.....	75
Tabell 21 Klassifisering av tilstandsdata med kort forklaring.....	77
Tabell 22 Målene besvart i del 5.2.2.....	78
Tabell 23 Klassifisering og anvendelse av parameter .....	79
Tabell 24 Målene besvart i del 5.2.3.....	86
Tabell 25 Målene besvart i del 5.3.1 .....	88
Tabell 26 Mål besvart i del 5.3.2 .....	92
Tabell 27 Klassifisering inkludert nye forslag (med fet tekst) til nye tilstandsparameter .....	106
Tabell 28 Fordeler og ulemper med vibrasjonsmåling.....	110
Tabell 29 Fordeler og ulemper med lydkamera .....	112

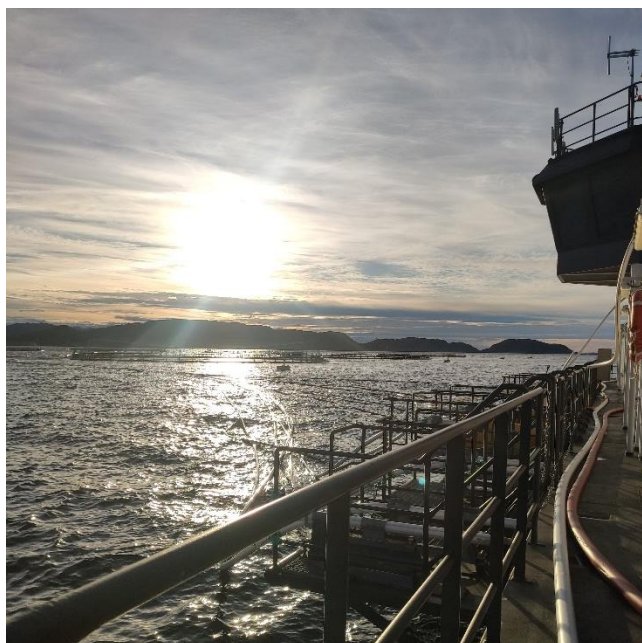
## 1 Innledning

MOWI er blant verdens ledende sjømatbedrifter og står som verdens største produsent av atlantisk laks. Fra 2019 til 2023 har MOWI blitt kåret til den mest bærekraftige protein produsenten. Bedriften har lokaliteter langs store deler av norskekysten som driftes daglig. For å kunne drifte anleggene til sjøs er Mowi avhengig av sine spesialiserte arbeidskatamaraner (MOWI, 2024).

Prosjektets problemstilling er følgende:

**«Hvordan kan man effektivt identifisere og utnytte tilstandsparameter fra fremdriftsenhetene i arbeidskatamaraner hos oppdrettsflåten for å optimalisere driftsmønster og vedlikehold?»**

For noen måneder siden implementerte bedriften et overvåkningssystem for fremdriftsenhetene montert på arbeidskatamaranene. Målet med sensorprosjektet er å gi Mowi bedre innsikt og forbedre driftsmønster og vedlikeholdsstrategi. Gjennom flere møter, har prosjektgruppen og bedriften sammen utarbeidet en problemstilling, og en oppgave med potensial for verdiutvikling og læringsutbytte for begge parter.

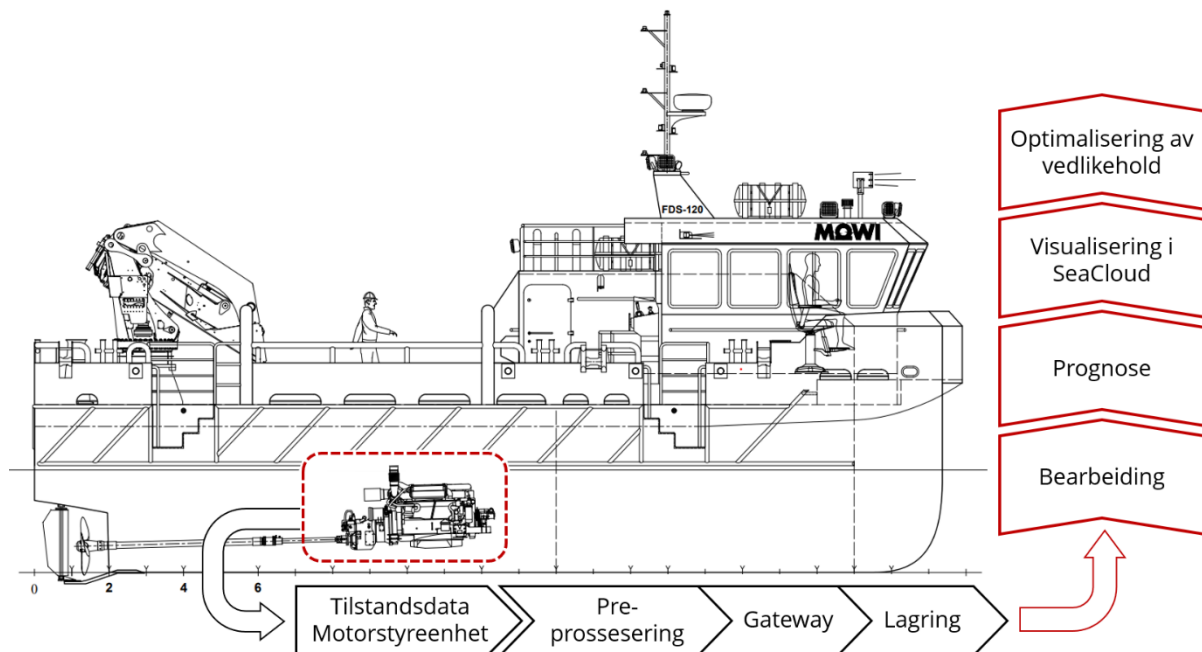


*Figur 1 Bilde fra befaring på Indre Skjærvøy (Privat, 2024)*

Hovedmålet med prosjektet er å utarbeide og anbefale forslag til metoder for identifisering, analyse og utnyttelse av tilstandsparameter og driftsdata for fremdriftsenhetene i båtene.

## 1.1 Formål og omfang

Prosjektet har som formål å utarbeide og anbefale forslag til metoder for identifisering, analyse og utnyttelse av tilstandsparameter og driftsdata for fremdriftsenhetene i oppdrettsflåten arbeidskatamaraner. Oppgaven vil fokusere på Scania DI13 motoren, som finnes i arbeidskatamaranen Gullholm. Det er ønskelig at eventuelle funn kan ha overføringsverdi til resten av oppdrettsflåten.



Figur 2 Viser prosjektets omfang, tilpasset fra leverandørens tekniske tegninger (Nogva, 2023)

**Arbeidskatamaranene** er allerede inkludert i Seacloud-prosjektet, og ble ansett som prosjektet det var mest hensiktsmessige å rette fokus på. Arbeidskatamaranene er driftskritiske, og de blir benyttet til essensielle funksjoner for daglig drift i fiskeoppdrett, inkludert vedlikehold av merdene. De benyttes også som transport for personell til og fra anleggene. På arbeidskatamaranene er det mye driftskritisk utstyr, bl. annet kranene som gjør den tunge løftingen av fisk og merder, og sleping av foringsrør.

Data fra flere av disse fartøyene ble allerede hentet inn gjennom Seacloud, men bedriften var uten metoder for anvendelse av de innhentede data.

**Gullholm:** I 2023 fikk Mowi overlevert tre nye Arbeidskatamaraner. Gullholm var en av disse, som ble sett på under den første befaringen til et av oppdrettsanleggene til Mowi. I forprosjektet, ble

det bestemt at fokuset ville være rettet på videre arbeid og analyser av fremdriftsenhetene i Gullholm.

**Fremdriftsenhetene:** Spesifikt i Gullholm benyttes to dieseldrevne Scania DI13 fremdriftsenheter. Utover fremdriften de generer, driver de også på styrbord side hydraulikken til kranen, og på babord en generator til båtens elektriske behov. Dataen som hentes inn til Seacloud-plattformen, hentes fra styringsenhetene på disse fremdriftsenhetene, gjennom CAN-bus til en Siemens-Gateway, administrert av Seacloud. I kapittel 4.4 blir dette forklart nærmere.



*Figur 3 Gullhom (Mørenot Digital, 2024)*



## 1.2 Avgrensninger

Det ble besluttet tidlig i prosjektfasen at visse avgrensninger måtte settes: Før prosjektets oppstart, ble store deler av produksjonsaktiviteter og produksjonsutstyr på oppdrettsanleggene vurdert, blant annet forslag om sensorpakker til kompressorene som driver foringsprosessen til merdene. Men vurdering av mengden redundans på foringssystemet, sammenlignet med manglende redundans ved arbeidskatamaranene, gjorde at arbeidskatamaranen ble prioritert.

I samme art, ble det diskutert sensorpakker til girkasse og propellakslinger. Men det ble altså vurdert mer hensiktsmessig å undersøke kvalitet og bruksområder av de data som allerede ble innhentet fra fremdriftsenhetene, istedenfor å implementere nye sensorpakker på annet utstyr. Eventuelt ville endringer eller tilskudd av nye målepunkter til den eksisterende målekjeden vurderes.

### 1.3 Resultatmål

## Fase 1 - Ståstedsanalyse og Evaluering av Datainnsamling:

### Systemkunnskap og driftsoversikt:

<b>1.a</b>	Bli kjent med vedlikeholdsfilosofien/strategien til Mowi.
<b>1.b</b>	Bli kjent med Mowis vedlikeholdstyringssystem - Aquacom.

### Operasjonell kontekst og vedlikeholdsplaner:

<b>1.c</b>	Bestemme en arbeidskatamaran fra Seacloud-prosjektet å sette søkelyset på.
<b>1.d</b>	Bli kjent med vedlikeholdsplan, -historikk og operasjonell kontekst for båten.
<b>1.e</b>	Utarbeide oversikt over vedlikehold for fremdriftsenheten fra båten.

### Teknisk innsikt:

<b>1.f</b>	Identifisere kritiske komponenter for den valgte DI13 fremdriftsenheten.
<b>1.g</b>	Gjør rede for Målekjede og -utstyr benyttet for innsamling av driftsdata.

### Datainnsamling og evaluering:

<b>1.h</b>	Bli kjent med funksjonalitet i Seacloud og behandling av sensor rådata.
------------	---

Tabell 1 Oversikt over resultatmål i fase 1 av prosjektet.

## Fase 2 - Identifisering av tilstandsparameter for fremdriftsenhetene:

### Evaluering og forslag til tilstandsparameter:

<b>2.a</b>	Vurdere datapunkter, -kvalitet og innsamlingsmetodikk fra DI13 ECU.
<b>2.b</b>	Evaluere tilstandsparameter i Seacloud, for den valgte DI13.

### Foreslå metodikker for:

<b>2.c</b>	Identifisering av tilstandsparameter og fastsetting av grenseverdi for DI13.
<b>2.d</b>	Identifisering & sammenligning av miljøpåvirkning, basert på olje og drivstofforbruk.
<b>2.e</b>	Analyse av tilstandsparameterdata.
<b>2.f</b>	Fastsetting av alarmgrense.

### Datavisualisering og implementering:

<b>2.g</b>	Utvikle metoder for effektiv visualisering av tilstandsparameterdata.
<b>2.h</b>	Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

## Fase 3 - Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet:

### Analysebaserte forbedringstiltak

<b>3.a</b>	Utforsk mulige drift- & vedlikeholdstiltak basert på analyser av innsamlede data og metoder.
<b>3.b</b>	Evaluere drift- & vedlikeholdstiltak basert på deres nytteverdi, effektivitet og egnethet.

### Foreslå forbedringer:

<b>3.c</b>	Foreslå egnede metoder og forbedringstiltak, for Mowi.
------------	--

Tabell 2 Oversikt over resultatmål i fase 2 og 3 av prosjektet

## 1.4 Effektmål

Tidlig i prosjektet ble det laget effektmål for både gruppen og bedriften som skal gi en indikasjon på prosjektets suksess. I tabellene under er effektmålene for gruppen og bedriften med en kort beskrivelse.

<b>Effektmål for gruppen</b>	<b>Beskrivelse</b>
Faglig utvikling og erfaring	Få verdifulle erfaringer ved å samarbeide med en stor bedrift
	Utvikling av ferdigheter i dataanalyse, systemforståelse og prosjektledelse
Innsikt i industrielle prosesser	Dypere forståelse av drift og vedlikeholdsprosesser
	Øke kunnskapen om hvordan teknologi anvendes for å forbedre industrielle operasjoner
Problemløsnings ferdigheter	Erfaring med å identifisere og løse komplekse, reelle problemer
	Utvikling av evnen til å anvende teoretisk kunnskap i praktiske situasjoner
Samarbeid og nettverksbygging	Muligheter for nettverksbygging med fagfolk i bransjen
	Erfaring med tverrfaglig samarbeid og teamarbeid
Akademisk bidrag	Mulighet til å bidra til akademisk forskning gjennom casestudier eller publikasjoner

Tabell 3 Oversikt over gruppens effektmål

<b>Effektmål for bedriften</b>	<b>Beskrivelse</b>
Forbedret vedlikeholdsstrategi	Implementering av datadrevne vedlikeholdsstrategier
Økt driftssikkerhet	Forbedret sikkerhet og driftsstabilitet
Datainnsikt og beslutningsstøtte	Øke forståelsen av driftsdata og tilstandsparameter
	Informerte beslutninger basert på nøyaktig og oppdatert data
Miljømessige fordeler	Potensiell reduksjon i miljøpåvirkning gjennom optimalisert ressursbruk og effektivitet
	Forbedret overvåking og styring av miljøpåvirkning
Økonomiske fordeler	Kostnadsbesparelser gjennom effektivisert drift og vedlikehold
	Potensiell økning i lønnsomhet på grunn av forbedret driftseffektivitet

Tabell 4 Oversikt over Mowis effektmål

## 1.5 Oppbygning

Under følger tabell med kapitteloversikt:

<b>Kapittel</b>	<b>Kapittelets innhold</b>
1. Innledning	Innledningen er ment for å gi bakgrunn for oppgaven, samt resultatmålene
2. Teori	Dette kapittelet skal gi faglig grunnlag for resten av rapportens innhold
3. Metode	I metodedelen beskrives framgangen for å svare på resultatmålene
4. FMECA	FMECA-kapittelet gir en opplisting med funnene som også finnes igjen i skjemaet, vedlegg X
5. Resultat	Resultatmålene blir besvart under dette kapitelet i rekkefølge
6. Diskusjon	Arbeidets og resultatenes validitet diskuteres
7. Konklusjon	Anbefalte tiltak oppsummeres i konklusjonen
8. Videre arbeid	Videre arbeid presenterer veier bedriften kan gå for å fortsette arbeidet denne rapporten har diskutert

*Tabell 5 Oversikt over rapportens oppbygning*

## 2 Teori

I teorikapitlet vil relevant teori knyttet til prosjektet og rapporten bli presentert. Først vil det bli sett på industri 4.0, som digitaliserer og automatiserer industrielle prosesser. Dette fører videre til FNs bærekraftsmål, og hvordan slike teknologier kan bidra til bærekraftige praksiser. Videre blir det gitt et innblikk i vedlikeholdsledelse og -verktøy, noe som er essensielt for å kunne opprettholde effektive og gode tekniske systemer. Relevant teori for ståstedsanalyse og FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) vil så presenteres. Videre vil tilstandskontroll og sensorbasert overvåkning presenteres, der forskjellige tilstandssensorer og -analyser presenteres. Teoridelen avsluttes med et innblikk av relevant teori om båtens drivverk, der fokuset blir lagt på diesel forbrenningsmotorer.

## 2.1 Industri 4: Den moderne utviklingen

De siste årene har det vært en stor utvikling i industrien, der den nåværende trenden er automatisering og datautveksling. Den moderne utviklingen er kjent som industri 4.0, og bygger videre på industri 3.0 - som omhandlet automatisering gjennom datateknologi, som nå utvides ved integrering av moderne digitale teknologier (Martinsen, 2023).

Målet med industri 4.0 er å skape effektive, automatiserte og fleksible prosesser, ved å benytte seg av avansert moderne datateknologi. Eksempler på slik teknologi kan være Tingenes internett (IoT), integrerte systemer, stordataanalyser, kunstig intelligens (KI) og maskinlæring (Martinsen, 2023). Teknologiene er effektive med tanke på overvåkning av avanserte systemer, samt at deler av eller hele service og vedlikeholds prosesser kan automatiseres.



Figur 4 De fire industrielle revolusjonene (Novotek, u.d.)

På neste side diskuteres vedlikeholdets rolle i denne utviklingen, gjennom de nevnte teknologiene.

### 2.1.1 Tingenes internett

Tingenes internett er et sentralt prinsipp i industri 4.0. som handler om at maskiner kommuniserer med hverandre og med internett.

*«Enhetene i tingenes internett kan være utstyrt med sensorene som kan måle temperatur, trykk eller posisjon, samt kommunikasjonsutstyr. På den måten kan man ved hjelp av tingenes internett hente nyttig informasjon fra slike fysiske enheter og kommunisere med andre enheter av samme type eller med internett og sluttbrukere» (Øverby, 2021).*

I sammenheng med denne rapporten betyr det at Mowi integrerer fremdriftsenheten og lokalitetsbåtene med internett ved å benytte seg av produktene til SeaCloud, inkludert deres skyløsninger. Det gjør at en kontinuerlig og effektiv dataflyt og fjernstyring av utstyret er oppnåelig.

### 2.1.2 Kunstig intelligens

Kunstig intelligens er et kraftig verktøy som nylig har blitt allemannseie, så sant man har tilgang til en datamaskin eller smarttelefon. Kunstig intelligens er «[...] datasystemer som kan lære av egne erfaringer og løse komplekse problemer i ulike miljøer» (PricewaterhouseCoopers, u.d.).

Det kan f.eks. brukes når man setter opp grenseverdier knyttet til tilstanden på fremdriftsenhetene til lokalitetsbåtene. Et eksempel er om sensorene oppdager at det er lite olje på fremdriftsenheten, kan systemet genere arbeidsordre, bestille deler og varsle teknikere som skal utføre jobben at det må gjøres.

### 2.1.3 Maskinlæring

Innen kunstig intelligens finnes en spesialisering som er maskinlæring. Datamaskiner får store datasett og bruker statistiske metoder for å finne mønstre (Tidemann & Elster, 2023). Modeller blir utviklet for å forutse hendelser. Datamaskinen kan da finne mønstre fortere og mer presist enn mennesker. Datamaskinen vil «lære» av å løse hendelser og utfordringer, istedenfor å bli programmert. Flere hendelser datamaskinen må løse, desto bedre mønstre og metoder vil den finne for å løse utfordringene. Målet med maskinlæring er at en skal danne en metode som effektivt kan identifisere feil og minimere feilsøkingstiden (Azure, u.d.).



#### 2.1.4 Vedlikeholdstyringssystem

Vedlikeholdstyringssystem er ofte referert til som CMMS (Computerized Maintenance Management Systems), er kritiske verktøy i moderne industri. Disse systemene tilbyr en strukturert tilnærming til vedlikehold av utstyr og infrastruktur ved å digitalisere og automatisere prosessen. For å sikre et godt og operativt vedlikeholdstyringssystem er det viktig å implementere flere moduler i systemet:

- **Anleggsregister:** En av de grunnleggende modulene. Et register der det lagres informasjon om eiendeler, samt historikk, endringer, spesifikasjoner, dokumentasjon og tidligere vedlikehold.
- **Arbeidsordremodul:** Er et register med oversikt over planlagte og pågående jobber i et anlegg. Brukes for effektiv planlegging og utførelse av vedlikehold. Disse arbeidsordrene opprettes ofte automatisk basert på en vedlikeholdsplan og tilstandsovervåkning. De inneholder detaljerte instruksjoner, nødvendig verktøy, reservedeler og tidsplaner for gjennomføring.
- **Preventivt vedlikeholdsmodul:** Prosess som er med på å automatisere planleggingen av inspeksjoner og vedlikehold, som baseres på vedlikeholdsplan og tilstandskontroll.
- **Innkjøpsmodul:** Styrer kjøp av varer og tjenester, viktig med tanke på å ha reservedeler i tilfellet feil eller svikt oppstår.
- **Dokumentasjonsmodul:** Lagring og tilgang til viktige dokumenter, eksempelvis tegninger, prosedyrer, datablader og annen viktig informasjon.
- **Rapportering og analysemodul:** Utvikler gode rapporter og dashboard for analyse av vedlikeholdsdata og er med på å gjøre forbedringer.

**En nøkkelfunksjon** i vedlikeholdstyringssystemer er deres evne til å støtte beslutningstaking gjennom rask tilgang til informasjon og analysemoduler. Systemene lagrer og håndterer store datamengder på komponentnivå, noe som muliggjør omfattende analyse av vedlikeholdsdata for å forutsi feil og bestemme optimalt vedlikeholdstidspunkt. Dette kan bidra til en forebyggende vedlikeholdsstrategi som reduserer driftsavbrudd og vedlikeholdskostnader. Essensielt for å oppnå dette, er effektiv **visualisering** som bringer fram signifikante beslutningsgrunnlag fra stor data.

CMMS-systemer kan også gi viktig støtte for risikobasert vedlikehold (RCM) og feileffektanalyse (FMECA), som ytterligere forbedrer effektiviteten og sikkerheten i vedlikeholdsarbeid (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2022)

## 2.2 FN's bærekraftsmål

I en verden med stor endring innenfor næringslivet, har det de siste årene blitt satt stort fokus på å skape en bærekraftig verden. Der fokuset er at nåværende generasjoner, samt fremtidige generasjoner vil kunne få sine behov dekket. For næringslivet og bedrifter har det blitt fokusert på å implementere bærekraftige og miljøvennlige praksiser i den daglige driften. Bærekraftmålene som ble vedtatt av FN sine medlemsland er med på å guide forbedringer, slik at bedrifter skal klare å oppnå målene (FN, 2024).



Figur 5 FN bærekraftsmål 9 (FN-sambandet, 2024)



Figur 6 FN bærekraftsmål 12 (FN-sambandet, 2024)



Figur 7 FN bærekraftsmål 14 (FN-sambandet, 2024)

For oppdrettsnæringen har det blitt essensielt å implementere slike praksiser, dette gjelder spesielt for bruken av båtene til og fra merdene der fremdriftsenheten er en sentral rolle i bedriften sin miljøpåvirkning. Bærekraftsmål 9, 12 & 14 er spesielt relevante for oppdrettsnæringen, spesielt med tanke på driftsoptimalisering for de fossile fremdriftsenhetene i deres operasjoner.

**Mål 9: Industri, innovasjon og infrastruktur** viser til innovasjon og betydningen av en bærekraftig industrialisering. Overgangen til grønnere teknologi- og industriformer gir en miljøgevinst, samtidig som bedriften kan optimalisere prosesser.

**Mål 12: Ansvarlig forbruk og produksjon** fokuserer på effektiv ressursbruk og reduisering av avfall. Forbedringer og optimalisering av fremdriftsenhetene sin drivstofføkonomi, dette kan bidra til å redusere drivstoffkostnader og miljøfotavtrykk.

**Mål 14: Livet under vann** handler om å bevare og bruke havet og de marine ressursene på en måte som fremmer bærekraftig utvikling. Målet fremhever nødvendigheten av å beskytte de marine økosystemene (FN-sambandet, 2024).

## 2.3 Vedlikehold

Dette underkapittelet fokuserer på vedlikehold, relevante standarder, og metodikker. Rapporten benytter begrep og terminologi som definert i NS-EN-13306. Standarden definerer vedlikehold som:

*«en kombinasjon av alle tekniske, administrative og ledelsesrelaterte tiltak gjennom en enhets livssyklus som har til hensikt å opprettholde den i eller gjenopprette den til en tilstand der den kan oppfylle den krevde funksjonen».*

Vedlikehold er avgjørende for optimal drift av utstyr og sikrer at det fungerer effektivt gjennom hele levetiden. Dette omfatter ikke bare tekniske aspekter, som reparasjoner og utskifting av deler, men også planlegging og administrasjon som sikrer optimal drift- og kostnadseffektivitet.

Viktige punkter som fremhever betydningen av vedlikehold i henhold til NS-EN-13306:

### 1. Forebyggende vedlikehold:

- Forebyggende tiltak reduserer risikoen for uforutsette feil og nedetid, som er en faktor som potensielt bidrar til økonomisk gevinst.
- Regelmessige inspeksjoner og vedlikehold basert på utstyrets tilstand og operasjonshistorikk sikrer at utstyret fungerer som forventet, samtidig som problemer oppdages før de blir alvorlige.

### 2. Livssykluskostnader:

- En viktig del av vedlikeholdet er å minimere totalkostnadene over utstyrets levetid. Dette inkluderer kostnader til reparasjoner, utskiftninger, samt tap av inntekter ved nedetid.
- Vedlikehold bidrar til å optimalisere levetiden til utstyret og sikrer at investeringen gir maksimal retur.

### 3. Bærekraft og miljøhensyn:

- Effektivt vedlikehold kan også spille en stor rolle i miljøstyring. Ved å sikre at utstyret fungerer effektivt, reduseres energiforbruket og klimagassutslippene.
- Riktig vedlikehold kan forlenge levetiden til utstyret, det reduserer behovet for nytt utstyr. Det kan da produseres mindre utstyr som påvirker klima og miljø i positiv forstand, ved reduksjon av produksjon og avfall.

Implementering av en god vedlikeholdsstrategi bidrar til effektiv og pålitelig drift av utstyret. Dette legger til rette for at bedrifter kan overholde bærekraftige praksiser som vil være positivt for miljøet. Økonomisk effektivitet og bedriftens renommé vil samtidig kunne dra nytte ved å anvende slike praksiser.

### 2.3.1 Sammenhengen mellom bærekraft og vedlikehold

Sammenhengen mellom vedlikehold og bærekraft har mange paralleller som henger sammen. Innovasjon, ansvarlig forbruk og reduksjon av miljøpåvirkninger i sammenheng med vedlikeholdsledelse, tilstandskontroll og driftssikkerhet er nøkkelpunkter for bærekraftig industri. Riktig anvendelse gjør at vedlikeholdet direkte legger til rette for oppnåelse av noen bærekraftsmål. Disse inkluderer:

#### **Industri, innovasjon og infrastruktur - FN's bærekraftsmål nr. 9**

- **Vedlikehold av forbrenningsmotorer** i arbeidskatamaraner bidrar til mer pålitelig og effektiv drift, som er direkte koblet til innovasjon og infrastrukturforbedringer innen oppdrettsnæringen.
- **Tilstandsovervåking** sikrer at utstyret er optimalisert for beste ytelse, som reduserer nedetid og øker produktiviteten. Dette understøtter mål 9 ved å fremme en resilient infrastruktur gjennom forbedret ressurseffektivitet.

#### **Ansvarlig forbruk og produksjon - FN's bærekraftsmål nr. 12**

- **Forlengelse av levetid:** Vedlikehold hjelper med å forlenge levetiden på fremdriftsenheter og utstyr, reduserer behovet for å produsere nye enheter og dermed minimerer avfall. Dette er essensielt for å fremme mer bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre.
- **Reduksjon av avfall og forurensning:** Regelmessig vedlikehold og feilforebygging bidrar til mindre oljelekkasjer og utslipp av skadelige gasser, som støtter mål om å redusere avfall og forurensning fra oppdrettsnæringens arbeidskatamaraner.

#### **Livet under vann - FN's bærekraftsmål nr. 14**

- **Reduksjon av miljøpåvirkning:** Gjennom bedre vedlikehold og drift av forbrenningsmotorer, reduseres risikoen for oljeutslipp og andre forurensende utslipp i vannet, noe som direkte beskytter marine økosystemer.
- **Bærekraftig driftspraksis:** Optimalisering av motorprestasjon gjennom presis tilstandsovervåking sikrer at fremdriftsenheter ikke bruker mer drivstoff enn nødvendig. Det vil redusere miljøfotavtrykket av operasjonene i oppdrettsnæringen.

Det finnes samtidig grunner til å investere i vedlikehold, som ikke svarer direkte til FN's bærekraftsmål.

**Økonomisk gunstighet:** Ved å investere i robuste vedlikeholdsprogrammer, reduserer bedrifter kostnadene knyttet til akutt korrigerende vedlikehold og unngår tap av inntekter grunnet uventet nedetid. Økonomisk er dette også fordelaktig da det fremmer mer forutsigbare driftskostnader og bedre kontroll over kapitalutgifter.

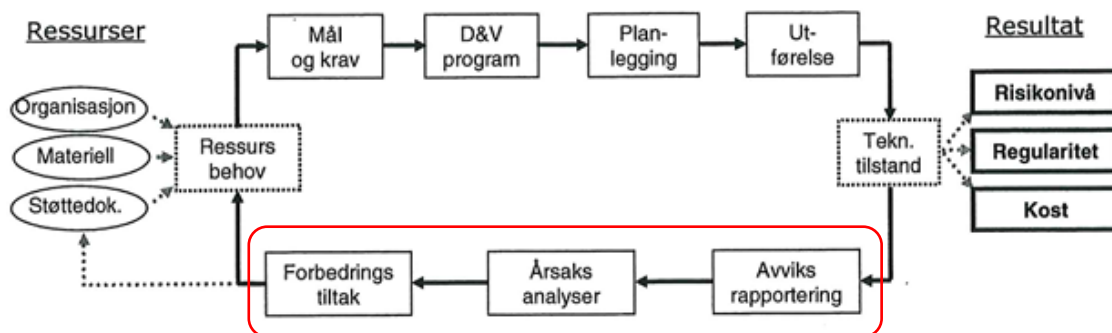
**Motvirke bruk-og-kast-kulturen:** Vedlikeholdsledelse i industrien står også som en motvekt til den rådende bruk-og-kast-kulturen. Gjennom å vedlikeholde og oppgradere eksisterende fremdriftsenheter og systemer, istedenfor å stadig erstatte dem med nye, bidrar næringen til mer bærekraftig forvaltning av ressurser. Ved å reparere, framfor å kaste fremmes sirkulær økonomi (Kjørstad, 2018).

Ved å koble vedlikeholdsstrategi direkte til bærekraftsmål, kan oppdrettsnæringen ikke bare forbedre sin driftseffektivitet og økonomiske ytelse, men også spille en aktiv rolle i å beskytte og bevare miljøet. Dette er essensielt i lys av globalt fokus på bærekraft og nødvendigheten av å ivareta våre naturressurser for fremtidige generasjoner.

### 2.3.2 Vedlikeholdstyringsløyfen

Vedlikeholdsstyringsløyfen er foreslått som beste-praksis modell for vedlikeholdsstyring i standarden NORSOK Z-008 (2017). Den beskriver nøkkeloppgaver innen administrativt vedlikehold, og flyten mellom dem. Metodikk for konsekvensklassifisering og prioritering av vedlikehold blir presentert i standarden, der utstyrets kritikalitet og risiko vurderes for å bestemme vedlikeholdsprioriteringen.

Vedlikeholdsstyringsløyfen kan på mange måter anses som en videreutvikling av *PDCA*-modellen (*plan do check act*). Modellen ble utviklet av - og for aktører innen Norsk petroleumsindustri, med hensikt om å sikre en nødvendig *effektivisering og optimalisering av ressursbruk* på Norsk sokkel. Med tiden har den også blitt tatt i bruk i landbaserte produksjonsbedrifter, og bidrar til optimalisering av kostnader og bærekraftig drift hos virksomhetene som tar den i bruk.



Figur 8 Vedlikeholdstyringsløyfen (Bye, 2009)

Spesielt aktuelt for denne oppgaven er stegene: Rapportering, Analyse og Forbedringer.

**Rapportering** omfatter innsamling og kvalitetssikring av vedlikeholdsdata, samt presentasjon av disse til vedlikeholdsavdelinger og ledelse i form av definerte **indikatorer**. Det er spesielt viktig at den tekniske tilstanden er kjent og rapporteres på passende nivåer for å støtte beslutningstaking. Dette inkluderer ifølge NORSOK Z-008 (2017):

- Definisjon av KPI-er for overvåking og oppfølging av ytelse.
- Avvik fra mål skal rapporteres og håndteres.
- Rapporter om sikkerhetsprestasjon, produksjon og kostnader sammenlignet med mål/budsjett skal være tilgjengelige og kommuniseres i organisasjonen.

**Analyse og forbedringer** involverer analyse av historiske vedlikeholdsdata og uønskede hendelser relatert til vedlikehold, for eksempel trendanalyse og rotårsaksanalyse. Informasjonen skal evalueres, og tiltak foreslått basert på analysene skal implementeres. Prosessen skal omfatte:

- En definert analyseprosess som adresserer utløsende verdier, analysemetodikk og ansvarsfordeling.
- Arbeidet skal dokumenteres og overvåkes.
- Analyseprosessen skal også inkludere evaluering av vedlikeholdets effektivitet, det vil si i hvilken grad vedlikeholdsprogrammet håndterer risikoer og ytelseskrav for individuelle systemer eller nøkkelkomponenter.
- Identifiserte forbedringer og tiltak skal implementeres, og effekten av disse skal overvåkes.

### 2.3.3 Driftssikkerhet

Standarden NS-EN-13306 (2018) definerer også driftssikkerhet som:

*«evne til å fungere som det kreves og slik det kreves».*

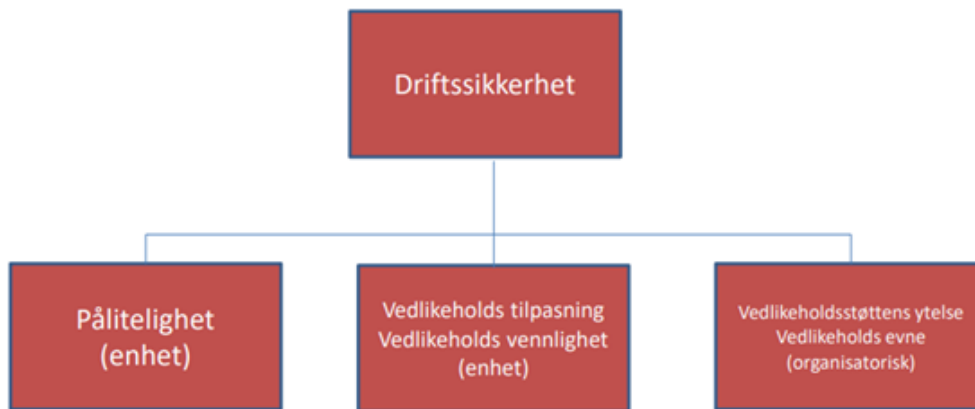
Det bemerkes at driftssikkerhet brukes som en felles term for enhetens **tidsrelaterte kvalitetsegenskaper**, og omfatter følgelig: tilgjengelighet, sikkerhet, sikring, holdbarhet, økonomi; og faktorene som påvirker disse. Lang nedetid fører til lavere driftssikkerhet.

Driftssikkerhet avhenger av de tre hovedfaktorene:

- **Pålitelighet:** evnen enheten har til å opprettholde krevd funksjon
- **Vedlikeholdsvennlighet:** Definerer hvor enkel tilgang det er for å utføre nødvendig vedlikehold
- **Vedlikeholds evne:** Definerer evnen en vedlikeholdsorganisasjon har til å utføre korrekt vedlikehold på riktig tid og sted.

Illustrert ved figur på neste side:

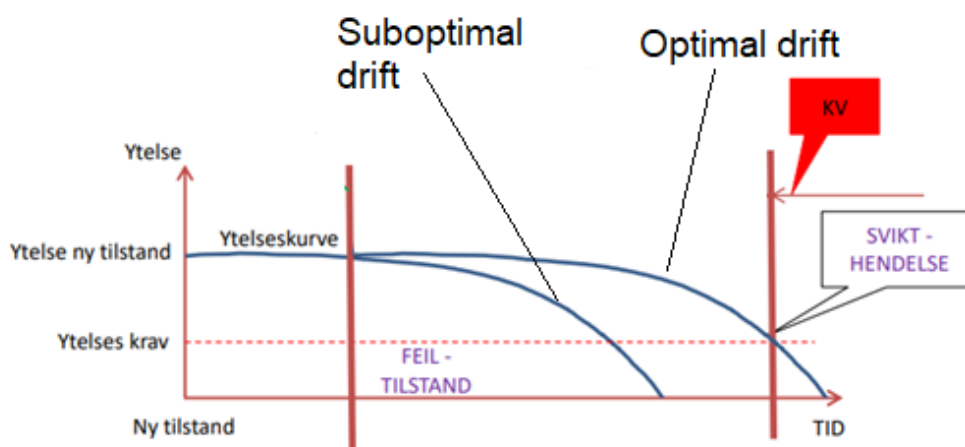




Figur 9 Hva som utgjør driftssikkerhet (Pedersen, 2022, s. 13)

I tillegg til pålitelighet, vedlikeholdsvennlighet, og -evne nevnes også, bruks-betingelser og operatørens påvirkning (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2022).

Optimal drift kan påvirke ytelse over tid, og dermed utvide levetiden til maskinen. Under optimale driftsforhold vil punktet der korrektivt vedlikehold er nødvendig bli utsatt, i forhold til suboptimal drift. Figuren nedenfor illustrerer dette:



Figur 10 PF-diagram, suboptimal vs optimal drift (Pedersen, 2022, s. 6, tilpasset)

### 2.3.4 Fremdriftsenhetens driftssikkerhet

Til tross for høye interne påkjenninger og krefter, er driftssikkerheten hos en moderne forbrenningsmotor generelt høy, men påvirkes i stor grad av omstendigheter som bruks-betingelser og operatørens påvirkning.

Iboende pålitelighet er høy ved optimale driftsmønstre og forhold, men kan reduseres betydelig ved suboptimal drift. Produsentene har satt vedlikeholdsintervaller på fremdriftsenheter, spesielt for justeringer og utskifting av slidedeler. Hvis disse ikke følges, risikerer en redusert effekt, økt drivstofforbruk og forhastet degradering av enheten, og en generell reduksjon av enhetens pålitelighet.

Videre kompliseres vedlikeholdet, ved at fremdriftsenhetene er installert i båter - som dermed reduserer vedlikeholdsvennligheten gjennom en mer komplisert tilkomst ved omfattende vedlikeholdsarbeid (Mowi, personlig kommunikasjon, 2024).

## 2.4 Ståstedsanalyse

Før man begir seg ut på et prosjekt er det nødvendig å vite hvordan nåsituasjonen er. En ståstedsanalyse er en strukturert metode som hjelper med å lage en objektiv oversikt over nåsituasjonen til f.eks. en organisasjon, produksjonsprosess eller et vedlikeholds objekt etc. Der hensikten er å danne et innblikk over nåsituasjonen.

En god ståstedsanalyse baserer seg på godt planlagt og systematisk innhenting av informasjon. Her er det flere metoder som kan brukes der man kan sammenligne svar og funn for å danne et bilde på nåsituasjonen. Innsamling av slik informasjon kan man få gjennom intervju, dokumentasjon, bilder og datainnsamling.

For effektiv gjennomføring av ståstedsanalyse er det viktig å legge en god og strukturert plan. En starter med å definere fokusområde sammen med veileder, enten de er interne eller eksterne. Deretter er det viktig å identifisere hvilke deler av bedriften man skal inkludere. Planen videre for analysen utarbeides, inkludert hvem man skal intervju, samt hvilke data og dokumenter som er nødvendige. Når all informasjon er samlet gjennomføres analysen, resultatene systematiseres og danner grunnlaget for beslutninger om videre tiltak for å løse identifiserte utfordringer (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2023).

I en Ståstedsanalyse er det viktig å ha riktig fokus. Tabellen nedenfor viser noen sentrale fokusområder i en ståstedsanalyse, og noen detaljer rundt områdene:

Fokusområder	Detaljer
Arbeidsplassorganisering	Orden, system – er det rot?
Mål og strategier	Finnes det? Hvordan er de definert?
Vedlikeholdsstyring	Bruk av systemer? Sløyfa, SAP
Myndighetskrav	Er de ivaretatt, isf. hvordan?
Teknisk dokumentasjon	Er dokumentasjonen oppdatert?
HMS	Skader, fravær – statistikk og årsaker
Kunnskapsnivå og kompetanse	Nåværende kompetansenivå og utviklingsbehov

*Tabell 6 Ståstedsanalysens fokusområder.*

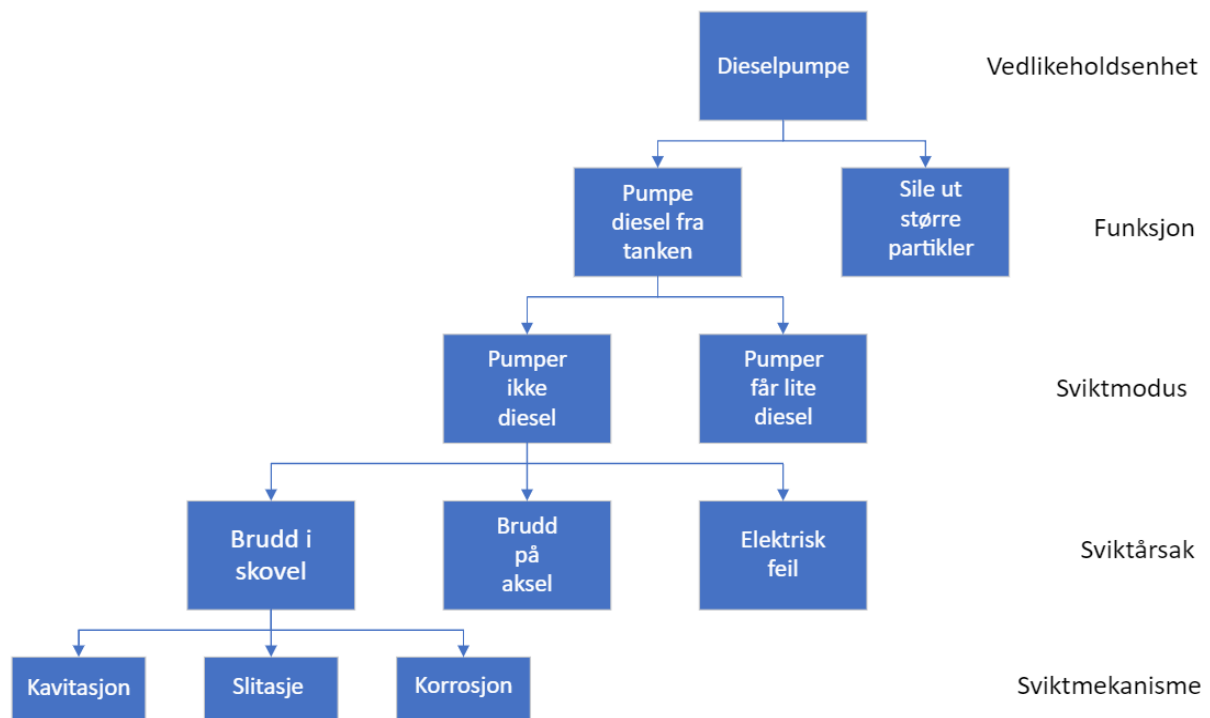
Man må også huske på at å bli undersøkt kan føre til atferdsendring. Dette kan forstyrre resultatene. Likevel kan en Ståstedsanalyse motivere til endring. Endelig blir de ansatte hørt. (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2023)

## 2.5 FMECA

**Failure mode, effects, and criticality analysis** er et rammeverk for risikovurdering, og brukes for å avdekke og løse potensielle problem i et system før de oppstår. I en FMECA går en systematisk gjennom analyseobjektets komponenter for å identifisere mulige sviktmoduser, samt vurdere konsekvensene av svikt på det overordnede systemet. Sviktmodusene vil så prioriteres basert på alvorlighetsgrad og sannsynlighet, med vurderinger om metoder for deteksjon av feil - og forslag til avvergende tiltak (Hagerup, Hansen, Haugen, Madsen, Ness 2023).

Begreper brukt i FMECA:

- **Vedlikeholdsenhet:** Hvilket system eller komponent som blir vurdert.
- **Funksjon:** Den krevde funksjon systemet eller komponenten må opprettholde.
- **Sviktmodus:** Hvordan feilen manifesterer seg i praksis. F.eks. delvis tap av pumpekapasitet.
- **Sviktårsaker:** Hvilke spesifikke omstendigheter som ledet til sviktmekanisme. Dette kan inkludere designfeil, uventede operasjonelle belastninger, manglende vedlikehold, material-tretthet osv. F.eks. undertrykk på sugesiden av pumpen på grunn av dårlig installasjon.
- **Sviktmekanismer:** Hvorfor svikten skjedde, altså de underliggende prosessene som fører til sviktmodus. F.eks. kavitasjon i impellerskovler.



Figur 11 Skjematisk framstilling av begrepene i FMECA (Bye, 2009, justert av gruppen)

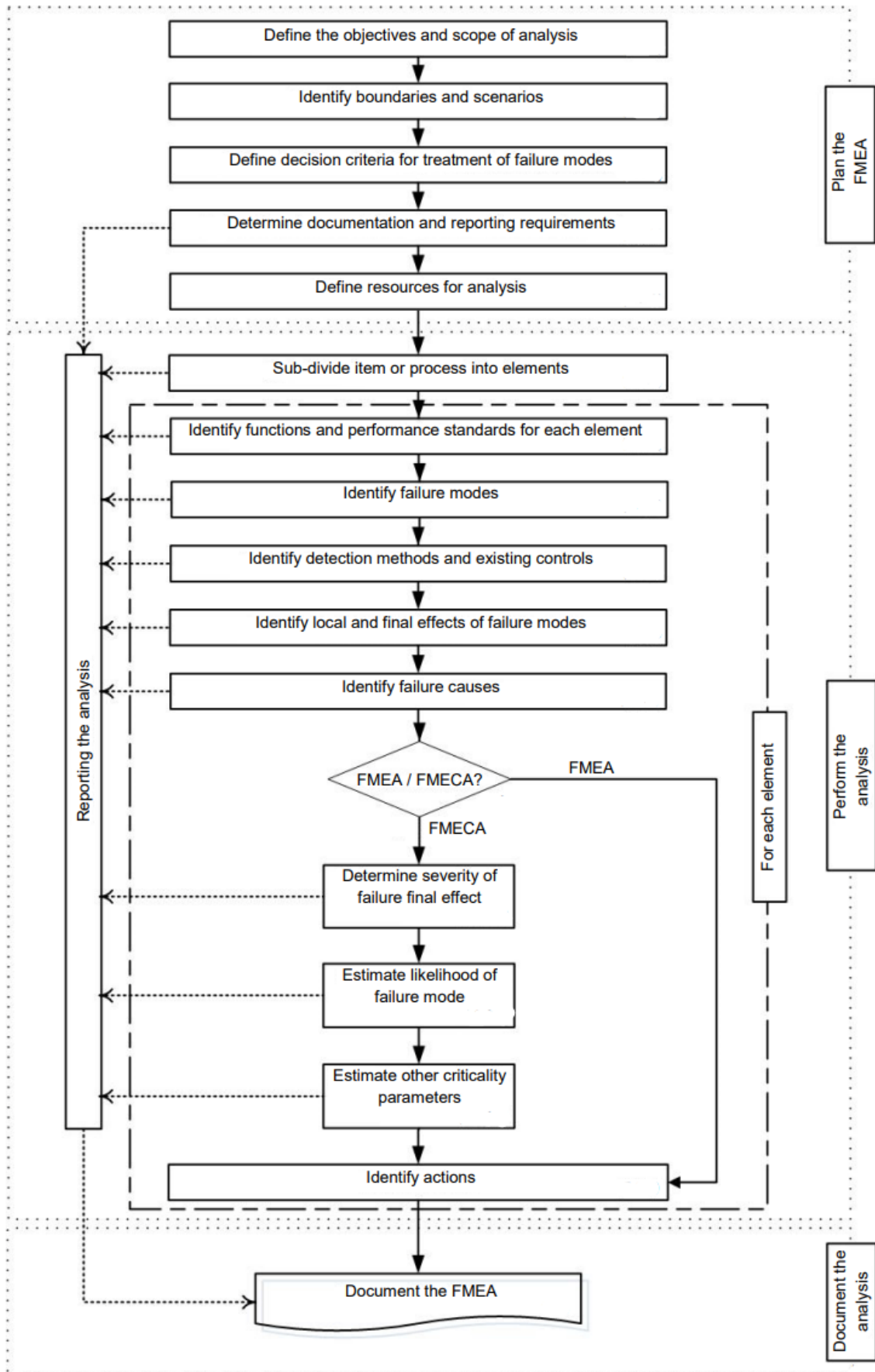
Metoden er spesielt hensiktsmessig i produkter og systemer som kan svikte på grunn av feil i enkeltkomponenter eller undersystemer. Standarden NEK-EN-IEC 60812 beskriver detaljert planleggingen, gjennomføringen og dokumenteringen av FMECA.

(Pedersen, personlig kommunikasjon, 2022)

### 2.5.1 FMECA-prosessen

FMECA er en omfattende metode som gjennom tre faser med kontinuerlig rapportering, ender med en omfattende ressurs og datagrunnlag til utførelse av vedlikehold, og forbedring av enhetens driftssikkerhet. Prosessen er avbildet i sin helhet - som figur på neste side.

Den starter med **planleggingsfasen**, der målene og rammene for analysen defineres. Her blir det en klar og felles forståelse hvorfor analysen er nødvendig, hvilke system og komponenter det skal fokuseres på, samt under hvilke operasjonelle tilstander det skal vurderes for. I planleggingsfasen legges det samtidig strategier som skal sørge for at analysen utføres på en ressurseffektiv måte. Planlegging er essensielt for å sikre at FMECA- prosessen har et bestemt mål og tilpasset behov og risiko knyttet til det aktuelle systemet (Norsk Elektronisk Komite, 2018).



Figur 12 FMECA prosessen, hentet og tilpasset fra NEK EN IEC 60812:2018

### 2.5.2 Hensikt

Hensikten med FMECA er å identifisere alle potensielle feil og svikter som kan oppstå i et system eller i enkelt komponenter. Deretter analyseres feilene for å skaffe forståelse om hvordan de påvirker systemet, for å kunne vurdere egnede risikoreducerende tiltak (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2022).

### 2.5.3 Gjennomføring av analysen

I analysen blir alvorlighetsgraden og sannsynligheten for hver feil vurdert, slik at de kan rangeres i henhold til deres potensielle innvirkning på systemets pålitelighet og sikkerhet. Tabellen viser de tre grunnleggende fasene i analysen, med tilhørende output.

<b>Fase</b>	<b>Spørsmål</b>	<b>Output</b>
Avdekke	Hva kan gå galt?	Feilbeskrivelser Årsaker, Sviktmodus, Effekter
Analyser	Hvor sannsynlig er svikten? Hva er konsekvensene?	Feilrater Risikoindeks Kritikalitetsoversikt
Handle	Hva kan gjøres? Hvordan kan vi fjerne årsakene? Hvordan kan vi redusere konsekvensene?	Risikoreducerende tiltak Designløsninger Testplaner Produksjonsendringer Feilopprettinger, etc.

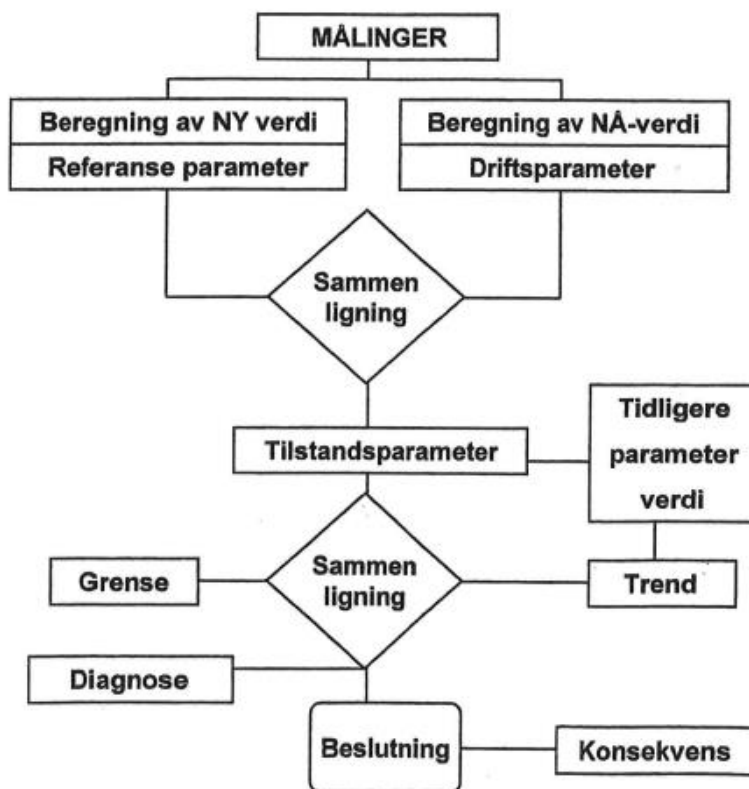
*Tabell 7 Faser til FMECA (Pedersen, 2022)*

En slik oversikt over det tekniske systemet, der kritikaliteten er bestemt, kan benyttes enten som et selvstendig dokument eller som støttedokumentasjon i beslutningsprosesser om passende tiltak. Dette er med på å danne et solid fundament for drift og vedlikeholdsprogrammer.

En grundig analyse gir gode forutsetninger for å kunne velge og installere de riktige sensorene og tilstandsparametere for å støtte tilstandsbasert vedlikehold. Dette vil være med på å kunne optimalisere systemet, ved at innsamlet data fra sensorer kan benyttes til å lage prediktive modeller. Modellene vil hjelpe med å forutse potensielle feil og optimalisere vedlikeholdsrutiner før feil oppstår.

## 2.6 Tilstandsbasert vedlikehold

Tilstandskontroll er et essensielt aspekt ved forebyggende vedlikehold. Det omhandler også forskjellige målemetoder som kan benyttes til dette. For å benytte seg av tilstandsbasert vedlikehold er man nødt til å ha kontroll over tilstanden til en maskin. Dette kan gjøres på mange måter. Det er likevel noen fellesnevnerer for hvordan man går fram, som illustrert i figur 13.



Figur 13 Flytskjema tilstandskontroll (Bye, 2009)

«Første trinn i tilstandskontroll er å observere eller registrere måleverdier. [...] Tilstandsparameteren skal gi uttrykk for i hvilken grad den tekniske tilstanden har forandret seg siden komponenten var ny og fungerte perfekt» (Bye, 2009).

Tilstandsparameteren sammenlignes med en grenseverdi. Grenseverdien er ofte satt ut fra erfaring, eller fra produsentens anbefaling. Ved å sammenligne med grenseverdien og/eller se på trenden som utvikler seg over tid, kan man sette en diagnose og ta en beslutning ut fra tilstanden til maskinen. Det kan være at maskinen opererer som den skal, at den begynner å bli slitt, eller at det nærmer seg havari. «For å få et fullgodt bilde av en enhets tilstand, må en ofte ta i bruk flere tilstandskontrollmetoder» (Bye, 2009). Det må være pålitelige metoder, der de vanligste feilene må kunne avdekkes.

**Sensorbasert overvåking:** Er en metode for å overvåke tilstanden til en maskin, der sensorer benyttes for å skape et effektivt overvåkningssystem. Sensorene blir plassert strategisk, og kontinuerlige målinger av parameter gjennomføres. Målingene blir deretter benyttet til tallfesting for degradering og restlevetid av utstyret. Sensorbasert overvåking har som hensikt å effektivisere overvåkingen av prosesser, slik at en enkelt ser når avvikende situasjoner oppstår.

**Visuell inspeksjon:** Den kanskje mest vanlige tilstandskontrollmetoden er visuell inspeksjon. Visuell inspeksjon benyttes ved store og små objekter når man søker etter feil. Dette kan ofte brukes for å bekrefte det man ser fra sensorovervåkingen, enten tilstanden er bra eller dårlig (Bye, 2009).

**Gateway:** Er en maskinvarekomponent som kobler sammen nettverk. Gatewayen vil i dette tilfelle koble det digitale nettverket, som inkluderer styreenheten og sensorer, til det trådløse nettverket. Dette muliggjør kontinuerlig integrering med SeaCloud og skylagring, som vil føre til en effektiv dataflyt og gi tilgang til informasjon i sanntid (Wikipedia, 2024). I enkelte tilfeller vil en gateway lagre data til den får dekning, dataen prosesseres før den så sender de videre. Videre kan en gateway kobles sammen med eksterne sensorer, som gjør det mulig å analysere uthentet data fra sensorene.

**Visualisering:** For å enklest mulig tolke resultatene fra tilstandsmålingene bør man jobbe litt med hvordan data presenteres. En enkel måte er å benytte seg av et trafikklyssystem.

- Grønn betyr at alt er bra og man trenger ikke å foreta seg noe
- Gul betyr at en nærmer seg en grense, og bør begynne planlegging av vedlikehold
- Rød betyr at nå kan en svikt oppstå når som helst.

Farger er lettere å lese enn tall. Ved å benytte farger i framstillingen blir det lettere å få oversikt over den generelle tilstanden, uten at man trenger å sette seg ned å analysere tallene som vises.

Disse aspektene ved visualisering kan i tillegg til i analytisk og akademisk sammenheng, benyttes i mer praktiske anvendelser. Et eksempel på dette, kan være en varselampe som lyser opp når operatøren ikke drifter utstyret optimalt. (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2023).

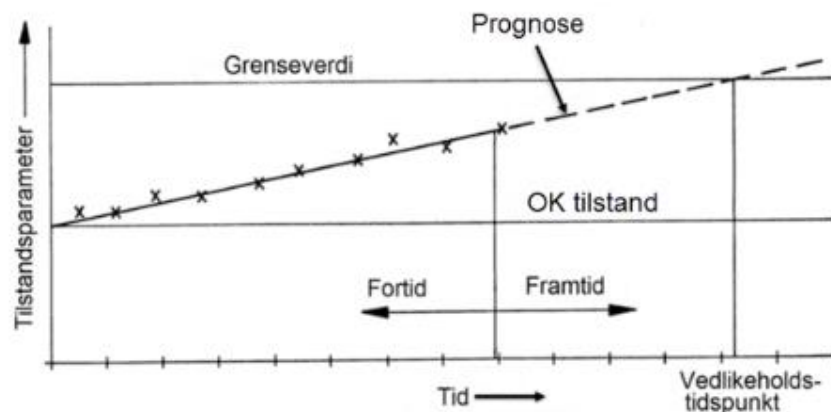


### 2.6.1 Grenseverdier og alarmgrenser

Grenseverdier og alarmgrenser fastsettes basert på erfaring som ofte er innhentet gjennom systematisk testing. For å utarbeide en prognose for hvor raskt en enhet vil degradere, og når den vil nå disse grenseverdier, må man følge disse trinnene:

1. Velge riktig tilstandsparemeter som indikerer tilstanden
2. Utføre målinger med jevne mellomrom
3. Registrere avviket, f.eks. i prosent

Målingene blir brukt til å lage en prognose, eller vise en trend. Veldig enkelt kan prognosen vises som en rett strek. Dette vil bidra med å overvåke enhetens ytelse og varsle når vedlikehold eller utskifting er nødvendig (Lund & Hellevik, 2016).



Figur 14 Illustrerer trendutvikling av tilstandsparemeter, og sammenhengene mellom Grenseverdi og vedlikeholdstidspunkt (Lund & Hellevik, 2016).

Når **grenseverdien** er satt og en prognose er lagd, kan man sette en alarmgrense. Før tilstanden når grenseverdien, ønsker man å planlegge vedlikeholdet.

**Alarmgrensen** vil være punktet der man begynner planlegging av vedlikehold. Ressurser allokteres, deler bestilles, og nedetid planlegges. Intervallet mellom alarmgrense og grenseverdi beregnes med statiske formler, og bør gi tilstrekkelige tid til planlegging. Dette går veldig hånd i hånd med PF-diagrammet (figur 14), som predikterer svikt.

Produsenten av maskinen har ofte anbefalinger man kan forholde seg til.

Videre må det tas hensyn til hvor lenge deler blir liggende på lager. Deler har ofte «shelf-life» (utløpsdato), som forteller hvor lenge en del kan ligge på lager før funksjonen til delen ikke kan garanteres lenger. Lagerplass må også tas i betraktning når det bestemmes hvor alarmgrensen skal settes.

## 2.6.2 Måleteknikk og målekjede

Effektiv tilstandsovervåkning og vedlikehold krever presise og gode målinger. For å kunne sikre nøyaktige målinger må en benytte presise måleteknikker og målekjeder.

**Måleteknikk** er definert som teknologien bak metoder og verktøy som benyttes for å utføre målinger. Måleteknikker er essensielt for å kunne sikre pålitelige resultater og data, noe som er svært sentralt innenfor tilstandsbasert vedlikehold. Det finnes forskjellige typer måleteknikker, både direkte og indirekte målinger. De direkte målingene bruker instrumenter, som f.eks. termometer, mens de indirekte målingene baserer seg på andre målinger (Holtebekk, 2023).

**Målekjeden** henviser til systemet som benyttes for å utføre målinger, her inkluderes sensorer som oppdager signalet til den endelige registreringen og behandlingen av data. Viktige aspekt i en målekjede inkluderer:

1. **Sensorer:** Oppdager og måler et fysisk fenomen.
2. **Transdusere:** Konverterer det som blir målt til et signal, dette skjer ofte elektrisk.
3. **Signalkondisjonering:** Forsterker eller filtrerer signalet for å gjøre det enklere i de videre prosessene.
4. **Datainnsamling:** Digitalisering og lagrer signalet.
5. **Dataanalyse:** Analyserer de innsamlede dataene, dette skjer ved hjelp av programmer.
6. **Visualisering:** Resultatet fra analysene blir presentert, slik at en får en oversikt over målingene.

**Nøyaktighet og presisjon** står sentralt når det kommer til måleteknikk, og de er med på å underbygge validiteten til målinger. Nøyaktighet kan defineres med hvor nært en måling er den sanne verdien, mens presisjon refererer til målingens pålitelighet (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2023). Standarder definerer krav og metoder for måleteknikk, for å sikre pålitelig data. NORSOK Z-008 stiller krav til systematisk vedlikehold og inkluderer behovet for nøyaktige målinger og presise overvåkningssystemer.

### 2.6.3 Vurdering av sensor rådata, kvalitet, innsamlingsmetodikk og oppløsning

God datakvalitet innebærer at dataene har evnen til å støtte de informasjonsformål de brukes til. Dette innebærer at de må tilfredsstillende krav til validitet, fullstendighet, aktualitet og konsistens.

- **Validitet:** Validitet refererer til hvorvidt de målte verdiene nøyaktig representerer de faktiske verdiene de er ment å representere. Det innebærer å sikre at dataene ikke inneholder feil og er korrekt representert i forhold til den virkelige observasjoner og målinger.
- **Fullstendighet:** Innebærer at all nødvendige data er tilgjengelige og ingen viktige data mangler. Dette aspektet sikrer at analyser og beslutninger kan gjøres på et komplett informasjonsgrunnlag. I vedlikeholdssammenheng er det essensielt med fullstendighet da manglende data kan medføre kritiske feil.
- **Aktualitet:** Viser til hvor oppdaterte dataene er. I en vedlikeholdssammenheng er det avgjørende at dataene reflekterer den nåværende tilstanden til utstyret. Dette for å kunne identifisere potensielle problemer tidlig og forebygge feil.
- **Konsistens:** Betegner at dataene ikke har interne motstridigheter og er logisk koherente både innenfor et datasett og på tvers av datasett. Konsistens er viktig for å sikre at analyser basert på dataene gir pålitelige og sammenlignbare resultater. Sammenligning av flere datasett og dokumenter kan underbygge god konsistens.

Hvert av de fire kravene nevnt ovenfor er essensielle for at datakvaliteten tjener til sitt formål effektivt. Kvalitetskriteriene sørger samtidig for at dataene som blir innhentet er pålitelige kilder for informasjonsinnhenting (Grønno, 2024).

#### 2.6.4 Oljeanalyse

Oljeskift med filter blir som regel utført på brukstid eller kalendertid. Ved å analysere oljen kan man potensielt gå bort fra produsentens anbefalinger, og utvide intervallene. I tillegg kan analyseresultatene gi en indikasjon på maskinens tilstand. En oljeanalyse kan gi informasjon om:

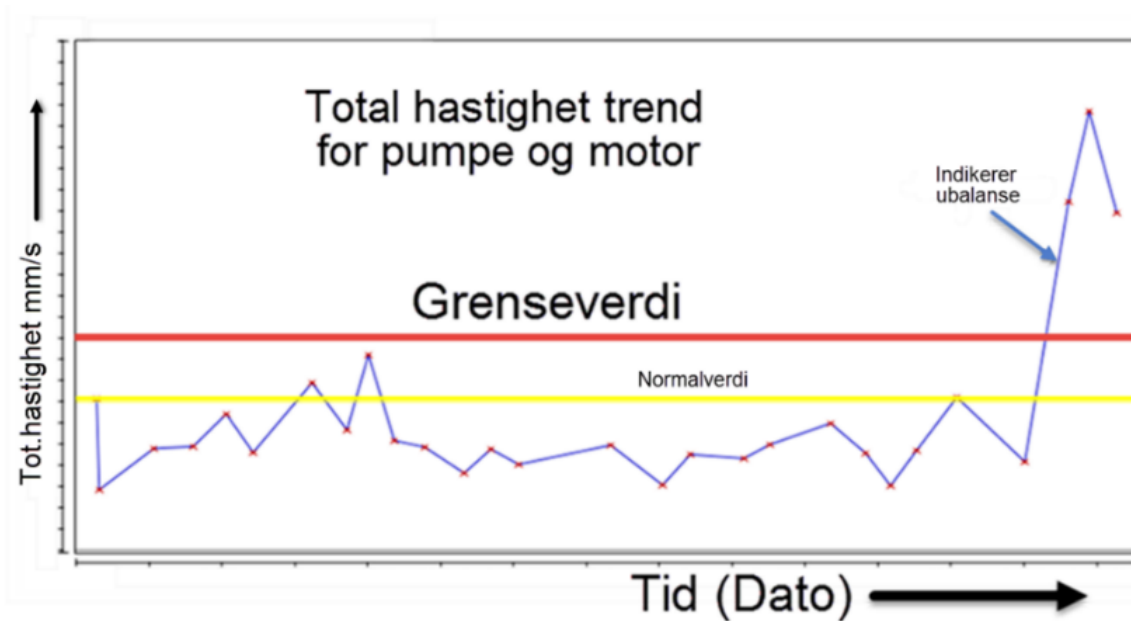
- Vanninnholdet
- Viskositeten
- Syretall
- Flammepunkt
- Stivnepunkt
- Bakterie- og soppvekst

Ved å sende inn en oljeprøve til laboratorium vil man få en mest mulig korrekt analyse. Ved mikroskopi f.eks. kan man se partikkelinnholdet i oljen. Oljen blir sendt gjennom et fint filter, der partiklene fordeler seg, og man kan telle hvor mange partikler det er på en gitt mengde olje. Det er mulig å utføre analyse på egenhånd, men oljeanalyse er arbeid som krever spesialutstyr, og trent personell. (Bye, 2009).

#### 2.6.5 Vibrasjonssensor og vibrasjonsanalyse

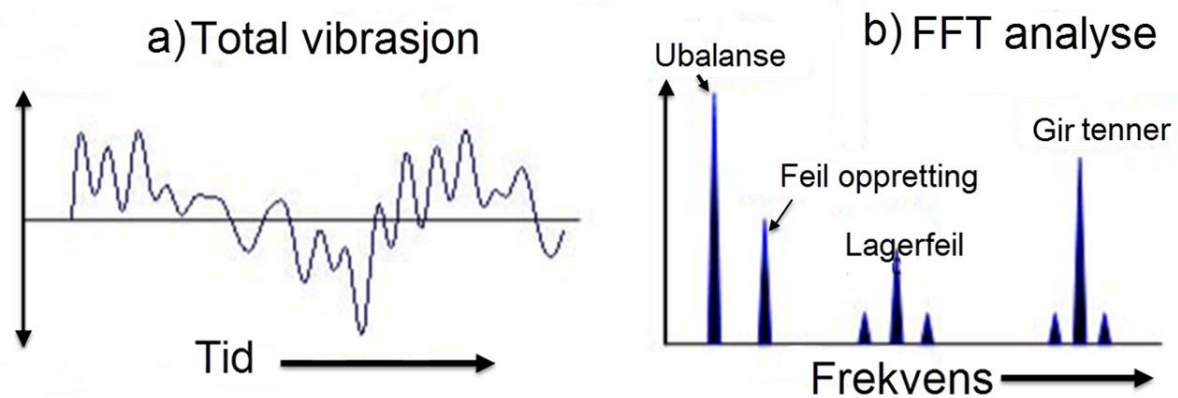
Roterende maskineri og system blir i mange tilfeller utsatt for store påkjenninger. Deler kan løsne eller være montert feil fra start, noe som kan føre til at det oppstår vibrasjoner utenfor normalen i systemet. Slike vibrasjoner kan gjøre stor skade på et system og i noen tilfeller kan hele systemet svikte. Det kan i mange tilfeller være vanskelig å oppdage feil i vibrasjonen før problemet har blitt for stort. For å kunne detektere store vibrasjoner i en tidlig fase kan en benytte seg av vibrasjonssensorer.

Vibrasjonssensorene henter inn data om frekvensen og amplituden til en vibrasjon i et system. Dataene sendes inn til et program der man kan hente ut grafer, for så å kunne analysere vibrasjonene. Programmet mottar dataene kontinuerlig slik at man skal kunne detektere feil umiddelbart.



Figur 15 Svingningshastighet går over grenseverdien og tiltak må iverksettes (Lund & Hellevik, 2016)

I en vibrasjonsanalyse er det frekvensen og amplituden som gir grunnlaget for å kunne detektere en feil. Frekvensen gir kilden til vibrasjon, mens amplituden gir en indikasjon på hvor alvorlig vibrasjonen er for systemet (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2022).



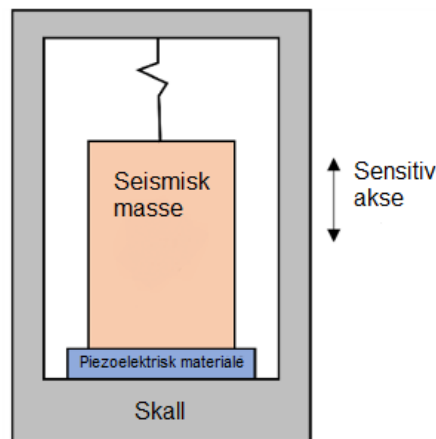
Figur 16 Illustrerer hvordan vibrasjonsmålinger ser ut før og etter FFT er anvendt (Lund & Hellevik, 2016)

Ved å utføre en Fast Fourier Transformasjon (FFT) får man ut frekvensspekteret. Toppene viser frekvensen de ulike komponentene roterer med. Økning i amplitude på disse toppene indikerer degradering eller begynnende svikt i komponenten. Metoden synliggjør de små frekvensene som kanskje kan forsvinne i akselerasjonsbildet, og synliggjør utviklingen av disse. Det stiller store krav til målefrekvens, prosessering, og ekspertise (Lund & Hellevik, 2016).

### 2.6.6 Akselerometer

Et akselerometer er en sensor som registrerer endring i fart eller retning, altså akselerasjonen, til et objekt. Akselerometeret anvendes ofte når man skal måle vibrasjonen hos et system. I industrien er det vanlig å benytte et akselerometer for observasjon av et maskineri, noe som kan gi gode indikasjoner på tilstanden (Andresen, 2023).

Akselerometeret monteres enkelt på systemet eller objektet som skal måles, f.eks. ved å skru det fast. To vanlige akselerometer er akselerometer med intern seismisk masse og piezoelektrisk akselerometer.



Figur 17 Piezoelektrisk akselerometer (Wu, et al., 2023)

Metoden et **akselerometer med intern seismisk masse** bruker for å registrere forskyvningen på er at det er en intern masse i akselerometret som reagerer på bevegelse og tyngdekraft. Forskyvningen blir deretter omgjort til elektriske signaler som definerer retningene til akselerasjonen (Andresen, 2023). Et **piezoelektrisk akselerometer** benytter en krystall som element, med en masse festet til. Krystallen genererer en elektrisk spenning når det blir utsatt for kraft. Denne spenningen er proporsjonal med akselerasjonen, og brukes til å fastslå akselerasjonen (Pedersen, personlig kommunikasjon, 2023).

### 2.6.7 Lydsensor og lydanalyse

Akustisk kamera er instrument som kan bli brukt til å måle endring av lyd i en komponent eller i et system. Kameraet kombinerer lydmålinger sammen med bildeteknologi som visualiserer hvor lydkilden er lokalisert. Kameraet er utstyrt med mange mikrofoner som er plassert på en flate, enten sirkelformet, i gitterstruktur eller matrisestruktur. Mikrofonene fanger opp lydbølgene fra forskjellige vinkler, og kan med hjelp fra en programvare analysere lydbølgene for å finne lydets lokasjon (Presisjonsteknikk , 2023)



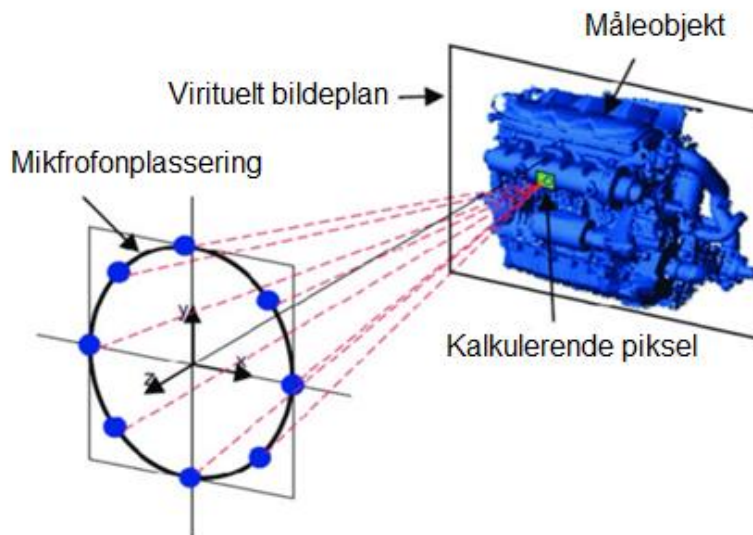
*Figur 18: Eksempel på hvordan et akustisk kamera ser ut (Teledyne Flir, 2023)*

Et akustisk kamera er brukervennlig og har som hensikt å hjelpe med forebyggende vedlikehold, samt å detektere feil. Ifølge ELMA Instruments AS kan man ved hjelp av et slikt kamera «i mange tilfeller identifisere problemer opptil 10 ganger raskere enn tradisjonelle feilsøkningsmetoder.» (Elma-instruments, 2024). Akustiske kamera er kostbare verktøy og kan koste alt fra 50 000 kr. til godt over 400 000 kr. for de beste på markedet (ITM instruments INC, 2024).

#### **Prinsipper**

Stråleforming, beamforming på engelsk, er en teknikk der lydsignalene som innhentes i mikrofonene kombineres, slik at man skal kunne lokalisere lydkilden. Signalene som mikrofonene tar inn forsterker lyden i en spesifikk retning, mens andre lyder blir undertrykt. Tidsforskjellen mellom når lyden når de forskjellige mikrofonene gjør at en kan finne og danne en visuell representasjon av lydets lokasjon. Akustiske kamera har samtidig frekvensfiltrering, noe som gjør

at de kan filtrere bort bakgrunnsstøy og fokusere på frekvensene for typiske feil. De tre teknologiene legger til rette for høy nøyaktighet ved bruk av akustiske kamera (Sæten & Sesseng, Akustisk Kamera, 2021, s. 21).



Figur 19: Prinsippet bak stråleforming (ResearchGate, 2012).

### Bruksområder

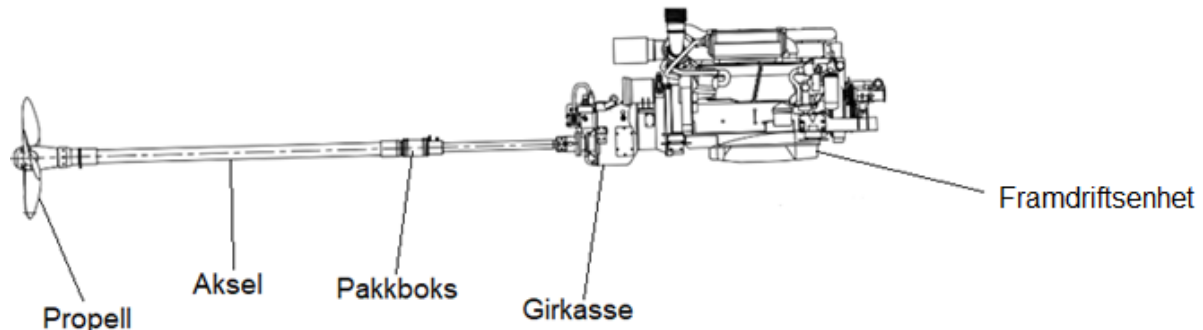
En kan bruke akustiske kamera til forskjellige formål, som f.eks. forebyggende vedlikehold, feildiagnose og systemovervåking.

- **Forebyggende vedlikehold:** Kameraet kan benyttes til å detektere feil før de fører til større problemer eller svikt i et system.
- **Feildiagnose:** Gir nøyaktig lokasjon og identifikasjon om kilden til de unormale lydene.
- **Systemovervåking:** Overvåking av kritiske systemer eller komponenter. For å sikre optimal drift og forebygge uventede svikt og nedetid.



## 2.7 Båtens drivverk

Drivverket på en båt består av fremdriftsenhet, som produserer moment. Girkasse som overfører moment til akselen og propell som generer fremdrift i vannet:



*Figur 20 Drivverk på båt (kilde: teknisk tegning Gullholm, tilpasset av gruppen)*

- **Fremdriftsenhet** produserer moment til fremdrift, i tillegg til hydraulisk trykk og generator. Diskutert nærmere under neste kapittel.
- **Girkasse** leverer nødvendig moment ut fra belastning og fart, ved hjelp av utvekslingen tannhjul i forskjellige diametere gir. Ved å bruke en girkasse kan propellen og fremdriftsenheten rotere med forskjellig hastighet. Det tillater fremdriftsenheten å jobbe på det mest effektive turtallet, mens propellen driver båten framover i forskjellige hastigheter. Forskjellig moment gir båten mer kraft til å øke farten hurtig fra stillestående.
- **Aksel med pakkboks** overfører kraften fra fremdriftsenhet og gir videre ut til propellen. Akselen er koblet til girkassen med en fleksibel kobling, som tar opp vibrasjoner. Pakkboksen er tetningen mellom skrog og aksling. Den kan utformes på mange måter, men jobben den gjør er uansett å holde vannet ute fra båten. Samtidig fungerer den som et lager for akselen.
- **Propell** sitter ytterst på drivakselen og generer fremdrift fra fremdriftsenhetens moment. Vannet akselereres bakover, noe som danner en kraft som «skyver» båten framover. Propellen skyver vannet bakover og dytter dermed båten framover, som følger Newtons 3. bevegelseslov, «Kraft og motkraft virker alltid på to forskjellige legemer og er like store og motsatt rettet» (kristiansen, 2021).

### 2.7.1 Forbrenningsmotor

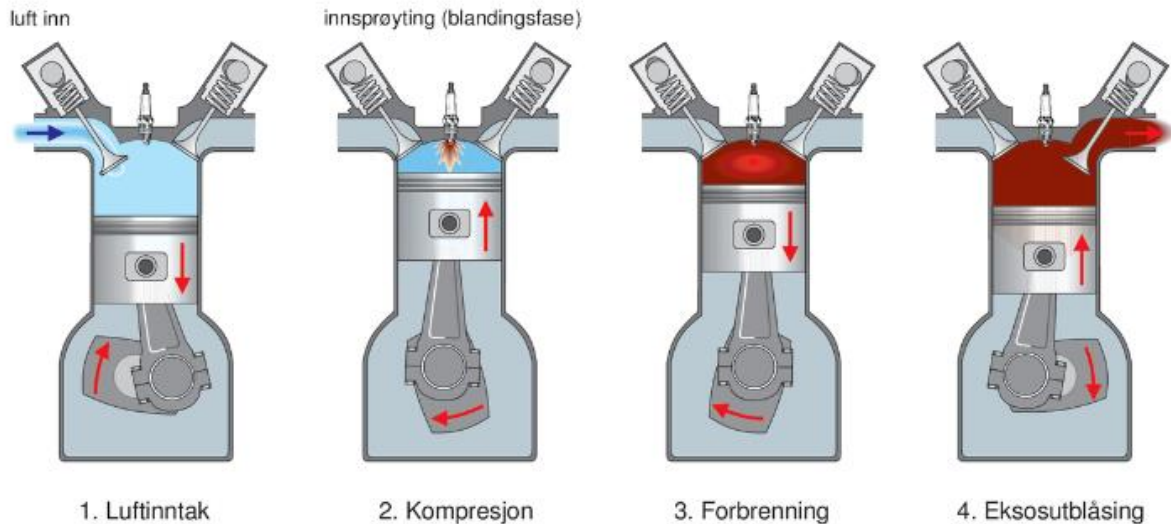
En forbrenningsmotor er varmekraftmaskin som omgjør kjemisk energi til kinetisk energi gjennom forbrenning av drivstoff. Det finnes to hovedtyper forbrenningsmotorer: eksterne og interne. Hos maritime fartøy, som f.eks. båter, blir interne forbrenningsmotorer benyttet. Derfor vil det fokuseres på intern forbrenning. Funksjonen til de interne forbrenningsmotorene er at drivstoffet forbrennes inne i motoren, mens forbrenningen i eksterne skjer utenfor motoren. Den interne forbrenningsprosessen produserer et høyt trykk og temperatur, som driver motorens bevegelige deler og fremdrift dannes.

I båter er stempelmotor den mest utbredte typen. Det finnes mange typer stempelmotorer, med forskjellige plassering og orientering av sylindrer og stemplene. Fremdriftsenheten denne rapporten omhandler har 6 sylindrer på rekke, som omtales for rekke-sekser.

En forbrenningsmotor er lagd av forskjellige typer metaller som beveger seg mot hverandre, med smale toleranser. Termisk ekspansjon medfører dermed krav til driftstemperaturrekkevidder, og kjøling. Det er også viktig å ha noe form for smøring, som spesifiseres av motorprodusenten.

### 2.7.2 Virkemåte

Stempelmotorer er enten 2-takt eller 4-takt. Det tilsvarer hvor mange steg, eller takter, som går inn i en full syklus. Det gjenspeiles også i antall rotasjoner veivakselen har. I en 2-taktsmotor roterer veivakselen 1 runde for hver syklus. I en 4-taktsmotor roterer veivakselen 2 runder per syklus. Fremdriftsenheten rapporten beskriver er en 4-taktsmotor. De 4 taktene er: innsug, kompresjon, tenning/kraftslag og utblåsning.



Figur 21 4-takstprinsippet (Fiskaa, 2019)

**Takt 1 (innsug):** En ventil åpnes og en blanding av luft og drivstoff suges inn i sylindern i det stampelet går fra øvre dødpunkt til nedre dødpunkt. Når stampelet har nådd nedre dødpunkt lukkes ventilen og neste takt starter.

**Takt 2 (kompresjon):** Stampelet beveger seg oppover mot øvre dødpunkt og komprimerer blandingen.

**Takt 3 (forbrenning):** Rett før stampelet når øvre dødpunkt tennes en gnist og blandingen antenner. Kraften fra forbrenningen skyver stampelet ned til nedre dødpunkt. Det er kraften stampelet dyttes ned med som gjør at veivakselen roterer og moment produseres.

**Takt 4 (eksosutblåsing):** Eksosventilen åpnes og eksosen presses ut av sylindern når stampelet beveger seg mot øvre dødpunkt igjen. På øvre dødpunkt lukkes eksosventilen og innsugsventilen åpnes igjen for å starte en ny syklus.

### 2.7.3 Scania DI13 073M

Motoren denne rapporten fokuserer på heter Scania DI13 073M. Det er en dieselmotor designet for å operere i et marint miljø. Det innebærer at det benyttes korrosjonsbestandig materialer for å unngå korrosjon på motoren. Marine fremdriftsenheter er kompakt designet, da det er begrenset med plass på en båt. De er samtidig konstruert for å håndtere høye turtall og tung last. Dette er en markant forskjell fra dieselmotorer som benyttes i biler, som typisk kjører med lavt turtall og mindre last for å generere fremdrift. Erfaring viser at maritime fremdriftsenheter er mer «lukket» sammenlignet med tilsvarende enheter i industri og biler. De elektriske komponentene

og kritiske systemene er mer beskyttet mot miljøet. Det gjør at Scania DI13 er en robust motor, som er tilpasset de maritime forholdene en båt kan utsettes for (Mitsubishi, 2023).



*Figur 22 Scania DI13 073M (Scania Marine Engines)*

#### 2.7.4 Dieselmotor

En dieselmotor trenger i prinsippet ikke strøm for å fungere, i motsetning til en ottomotor som trenger gnist for å antenne drivstoffblandingen. I stedet for gnist, så anvender man Ideell gasslov:  $pV = nRT$  (Fjellvåg, Ystenes, & Helseth, 2024). Dieselen selvantenner fordi kompresjonsforholdet er så høyt at temperaturen i sylindere går over selvantennings temperaturen til dieselen som er 225 grader (Norges Brannskole, 2011).

Forholdet fra nedre og øvre dødpunkt er ca. 20:1 på en dieselmotor. Det høye kompresjonsforholdet gjør at fremdriftsenhetene produserer mye moment på lavere turtall, noe som gjør dem ypperlig for tungtransport. Siden en dieselmotor kan kjøre på lavere turtall å gi samme effekt som en ottomotor, blir også drivstofforbruket lavere.

Dagens fremdriftsenheter benytter mange sensorer for optimal forbrenning, f.eks. for innsprøytnings-tidspunkt, som gjør at de er avhengige av strøm for å kjøre. I første takt slipper en dieselmotor bare inn luft, som blir komprimert. Dieselen blir sprøytet inn i sylindere på omtrent samme tidspunkt som en gnist ville blitt tent i en ottomotor. Tidspunktet for innsprøytingen avhenger av turtall, gasspådrag og hvor mye luft som har kommet inn i fremdriftsenheten (hvor mye ladetrykk turboen har generert).

### **Avgassmåling - Lambda**

Måling av avgassene kan fortelle mye om tilstanden til motoren. Ved å se om blandingsforholdet er optimalt eller om det enten for mye luft eller for mye diesel. Ideelt blandingsforhold er 14,7:1 (luft:diesel). Ideell blanding omtales som lambda 1. Lambda måler også avgassene:

- HC (hydrokarboner)
- CO (karbonmonoksid)
- CO<sub>2</sub> (karbondioksid)
- O<sub>2</sub> (oksygen)

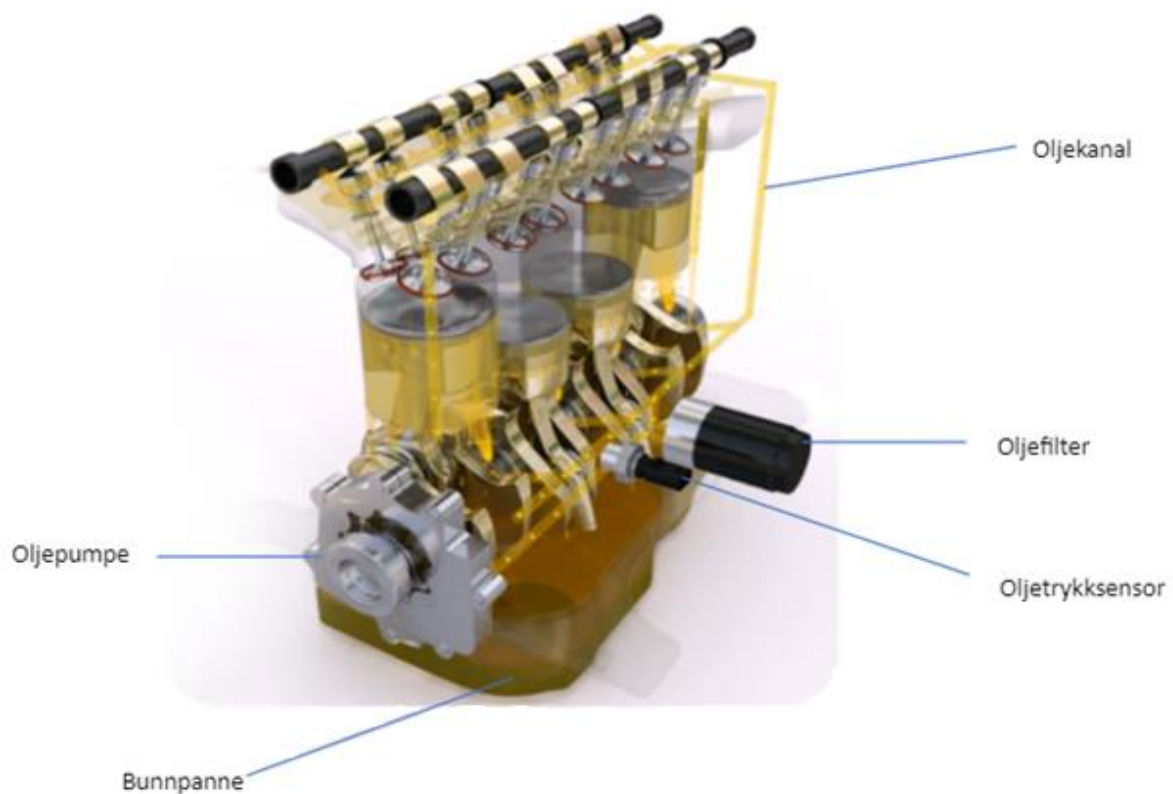
Lambda 1 kommer fra O<sub>2</sub>-innholdet i eksosen. Er lambda mer enn 1 har man for mye oksygen, mager blanding. Er lambda under 1, har man for mye diesel, fet blanding. Ved normal kjøring, når motoren har nådd driftstemperatur, vil en avvikende lambdaverdi tyde på en feil i et system, avhengig av om verdien er over eller under 1 (Austincc, u.d.). Verdien varierer også noe ved forskjellig pådrag på ulike motorturtall. Motoren sprøyter mer diesel i sylindere for å øke turtallet.

Regenerering av partikkelfilter blir gjort ved jevne mellomrom. Dette er for å rense filteret for sot. Da blir det kjørt med fet blanding for å øke temperaturen i filteret så soten brennes. Regenerering gjør motoren automatisk, men det fører riktignok til en lambda under 1 i perioden regenereringen skjer (Flissundet, 2020).

### 2.7.5 Smøring

Smøring er nødvendig for å minske friksjon i en forbrenningsmotor. Det er vesentlig at oljesystemet holdes rent, da det er mange trange «tuneller» og åpninger i og rundt motorblokken som oljen skal passere gjennom.

Oljen ligger i bunnpannen til fremdriftsenheten og blir sugd opp av oljepumpen når fremdriftsenheten starter. Oljepumpen blir drevet av veivakselen, gjerne med kjede eller med tannhjul. Før oljen forlater bunnpannen går den gjennom en sil for at ikke større metallbiter skal tette igjen oljesystemet. Oljen går så gjennom et filter, for å fjerne små partikler, før det blir dyttet videre ut til de forskjellige komponentene som trenger smøring. Filteret og oljen bør skiftet regelmessig for å sikre at det ikke hopper opp forurensing som kan tette systemet. Fremdriftsenheten får også en kjølede effekt av oljen som sirkulerer.



Figur 23 Illustrasjon av motorens smøresystem

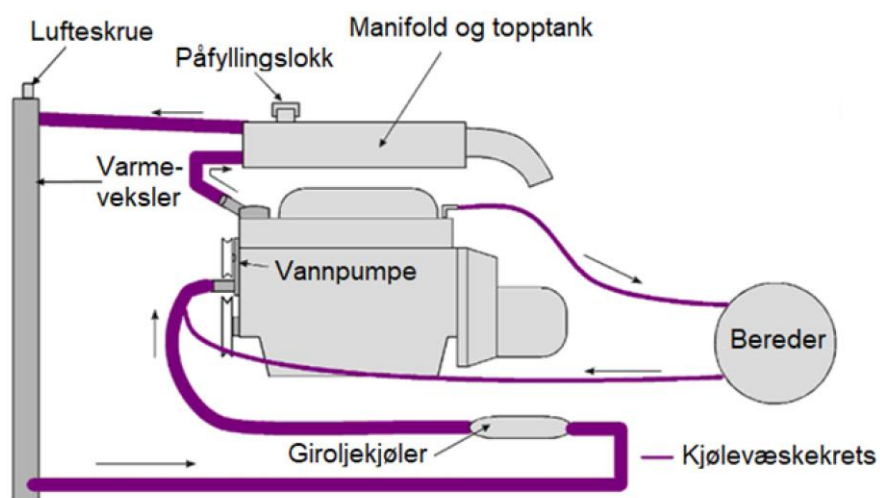
((Online Store, 2024) Justert av gruppen)

En fremdriftsenhet vil av design forbruke olje når den kjører. Det er en veldig liten andel, men det kan gi utslag over tid. En tynn oljefilm er nødvendig mellom sylindervegg og stempel for å forhindre friksjon. På stempelet sitter det en oljeskraper som tar med seg oljefilmen når stempelet er på vei ned. Oljefilmen blir tilført av trykket i veivhuset og at oljen plasker når veivakselen roterer ned i oljebadet, samt dyser som spylar olje for å kjøle ned stempelet. Oljeskraperen skraper ikke bort all oljen fra sylinderveggen. Denne oljen blir brent opp på kraftslaget. Ved degradering vil oljemengden som blir igjen på sylinderveggen øke, og forbruket øker deretter (Total Energies, 2024).

### 2.7.6 Kjøling

Et kjølesystem er nødvendig for å fjerne overskuddsvarme i en fremdriftsenhet, slik at en optimal driftstemperatur opprettholdes. Forbrenningen i sylindren skjer ved 1500-1600 grader (Fiskaa, 2019). For at oljen ikke skal kokes og materialene bli utmattet må varmen fjernes. Ved å betrakte termodynamiske prinsipper, kan en designe et kjølesystem som effektivt bruker vann eller kjølevæske for temperaturregulering. I motorblokken er det kanaler rundt sylindrene som kjølevæsken sirkulerer gjennom. Kjølevæsken går deretter ut fra fremdriftsenheten til en radiator eller varmeveksler som avkjøler den oppvarmede væsken. Denne prosessen gjentar seg så kontinuerlig.

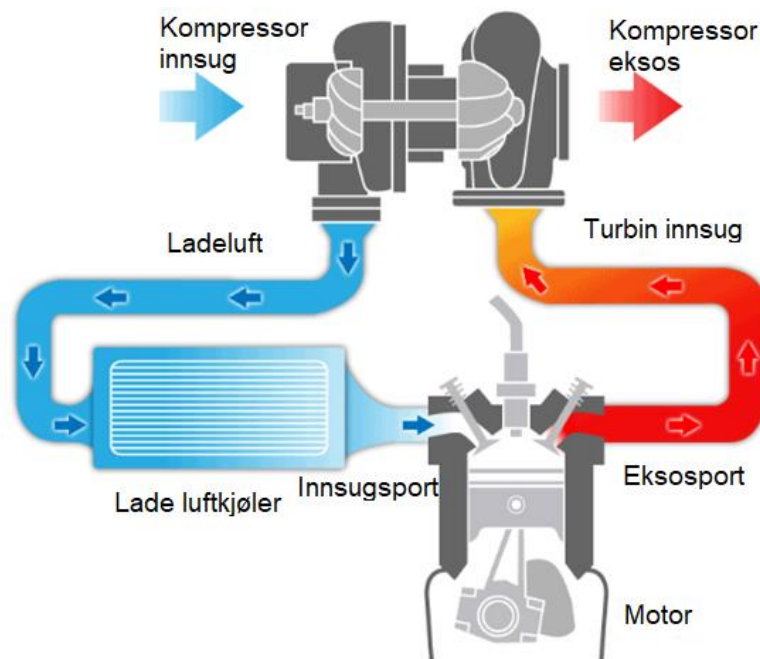
For både kjøling og smøring er det viktig å jevnlige kontrollere at det er tilstrekkelig med væske på fremdriftsenheten. Dette for å sikre at smøring og kjøling blir gjort, pluss et raskt avvik i nivået kan indikere feil eller problemer med fremdriftsenheten.



Figur 24 Kjølekrets båt (Brooks, 2020) tilpasset av gruppen.

### 2.7.7 Turbo

Turboen bruker eksosen til å drive en turbin, som komprimerer luft og gir et overtrykk. Overtrykket turboen skaper, gjør at man får mer luft i sylindere. Økt lufttilførsel gjør at det trengs mer drivstoff i sylindere, for å opprettholde det ideelle blandingsforholdet. Resultatet er en kraftigere forbrenning. Turbo gir mer effekt ut av en liten fremdriftsenhet. Turbo spinner veldig fort (ca 150 000rpm), og er dermed avhengig av smøring. Smøringen fungerer ofte som kjøling på turboen, selv om det også finnes vannkjølte turboer (Koch, 2022).



Figur 25 Turbo (Turbo Dynamics, u.d.)



## 3 Metode

I metodekapittelet presenteres de systematiske tilnærmingene for innsamling og dokumentasjon av informasjon. Her vil en få innsikt i teknikker og verktøy som er brukt for datainnsamling, samt hvordan relevant og troverdig informasjon ble sikret. Kapittelet vil være med på å tydeliggjøre hvordan metodene støtter oppgavens hovedfunn og konklusjoner.

Metodedelen vil presentere gjennomføringen av forprosjektet og ståstedanalysen, samt hvordan innsamlingen av dokumentasjon ble gjennomført. Deretter vil metoden for gjennomføringen av FMECA presenteres. Avslutningsvis i kapittelet vil metoden for utvikling av driftsscore presenteres.

### 3.1 Forprosjektet

Forprosjektet ble utarbeidet i starten av prosjektperioden, her ble en plan for prosjektet dannet. Det ble definert resultat- og effektmål for prosjektet, og en problemstilling. Forprosjektet dannet grunnlaget for prosjektet og der kom det frem metoder og strategier for bacheloren.

En plan for hovedaktiviteter for prosjektperioden ble utviklet, der ansvar og tidsfrist for aktivitetene ble fordelt. Aktivitetene ble lagt inn i et Gantt-skjema slik at oversikten over hvilke aktiviteter som skulle utføres og til når. I forprosjektet ble det samtidig gjennomgått hvordan data og dokumentasjon skulle kvalitetssikres, samt en risikovurdering for å unngå feller. Forprosjektet var med på å danne et godt grunnlag for prosjektperioden, og har vært svært nyttig for gjennomføringen av prosjektet.

### 3.2 Standardbruk

Der relevant, har det blitt forsøkt å anvende standarder. Standardene omhandler blant annet vedlikeholdsterminologi og -metoder, og gir nøkkelindikatorer for ytelse innen drift og vedlikehold. Ved å bruke standarder i oppgaven gjennomføres arbeidet tilnærmet industristandard.

### 3.3 Ståstedsanalyse

Ståstedsanalysen ble utført helt i starten av prosjektet. Analysen har vært med på å forme prosjektet da det har blitt fokusert på å skrive rundt analysen. For gjennomføring av ståstedsanalysen ble teori og tidligere erfaringer fra ståstedsanalyser brukt. Det ble i første del lagt en plan med konkrete fokusområder, sammen med intern og ekstern veileder. Det ble gitt tidlig tilgang til plattformene Aquacom og Seacloud, som er der bedriftens har data og dokumenter lagret.

Videre ble det satt opp befaringer til forskjellige anlegg som skulle danne et innblikk over hvordan arbeidskatamaranene, som ble hovedfokus for oppgaven, driftes og vedlikeholdes. Til hver befaring ble det laget spørsmål til personellet på anleggene, som var ment som et intervju. Samtidig var hensikten å gi et innblikk om våre ønsker for befaringen til personellet.

#### 3.3.1 Dokumentstudier

Gjennom tilgang til bedriftens CMMS-systemet, Aquacom, har tilgang til dokumenter angående båtene, vedlikeholdsrutiner og motordata vært lett tilgjengelig. Dokumentene som var tilgjengelige i Aquacom ble godt benyttet, da dokumentene her inneholder god kunnskap rundt fokusområdet.

#### 3.3.2 Møter med Mowi

Under prosjektperioden har blitt gjennomført en rekke møter med Mowi. I møtene ble det diskutert hvordan Mowi utfører daglige gjøremål, samt hvordan de jobber med det nylige oppstartede tilstandsbaserte prosjektet, som ble påbegynt sommeren 2023. På det første møtet ble Seacloud prosjektet introdusert. De påfølgende møtene gikk med på å spisse oppgaven og fokusområdet slik at det ble klart hva oppgaven skulle omhandle. Møtene videre gikk spesifikt inn på temaet om hvordan driften og vedlikeholdet er i dag, samt hva som er målet.

#### 3.3.3 Befaring på anlegg

Det har blitt gjennomført to befaringer hos Mowi, på to forskjellige anlegg. Den første befaringen var i Indre Skjærvøy, mens den andre befaringen var på Grøttingsøya (Frøya). Fokuset med befaringene var å få et godt innblikk i de daglige arbeidsoppgaver, og drift- og vedlikeholdsrutinene, samt hvordan fremdriftsenhetene er montert og plassert.

Før befaringene ble mål for befaringen diskutert og notert, samt spørsmål som ble oversendt til driftslederne på anleggene noen dager før befaringen. Spørsmålene var med på å danne et

grunnlag for intervju, der svarene ga innsikt i daglig drift og eventuelle utfordringer. Målene var sentrale under begge befaringene og ble fulgt nøye, det ga en dypere forståelse av Mowi sine operasjonelle prosesser og vedlikeholdsstrategi.

Et innblikk i hvordan utstyr og datasystemer blir brukt var et fokusområde under befaringene. De var med på å gi en god forståelse for arbeidskamaratene sin daglige drift. Under besøket ble det en gjennomgang av motorrommet, der eventuelle spørsmål ble besvart og en visuell observasjon av hvordan fremdriftsenheten er montert. Det ble observert mange likheter i motorrommene, til tross for at det er forskjellige motortyper i noen av båtene.



*Figur 26 Motor tilhørende Slettholm (befaring 2)*



*Figur 27 Motor tilhørende Gullholm (befaring 1)*

#### 3.3.4 Systematisering av informasjon

Når informasjon fra dokumenter, møter, befaringer og intervju var samlet, ble de systematisert for å danne et overblikk over situasjonen. Videre ble dataen analysert. Analysen er vedlagt oppgaven (vedlegg 2). Hovedfunn fra analysen blir presentert i kapittel 5.

### 3.4 FMECA

I dette underkapittel forklares fremgangsmåten for planlegging og gjennomførelse av FMECA for Scania DI13.

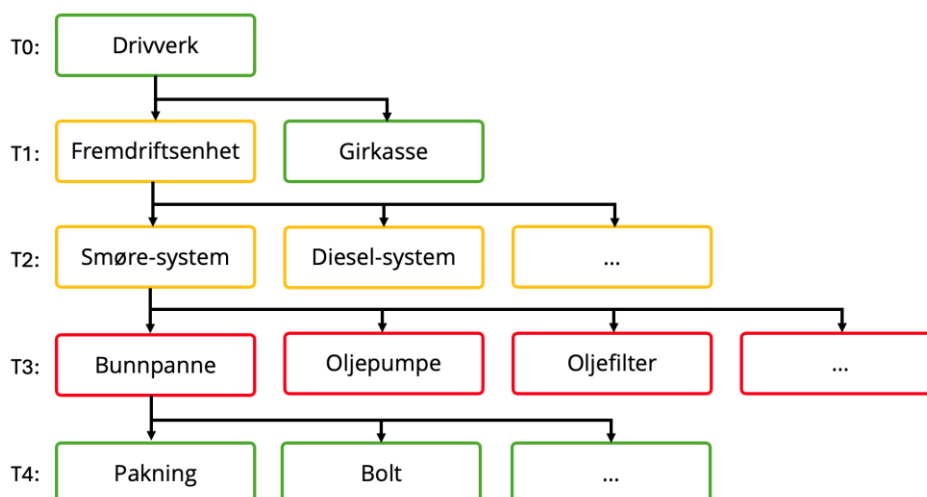
#### 3.4.1 FMECA-plan

Som nevnt i Teoridelen: I henhold til standarden, skal sluttresultatet fra planleggingsfasen være en prosjektplan - som detaljerer analysens:

- Mål og omfang.
- Avgrensinger og operasjonelle tilstander.
- Vurderingskriterier for tiltak til behandling av sviktmodus.
- Bestemmelser for hvordan analysen skal dokumenteres.
- Hvilke ressurser som tildeles analysen.

Bestemmelsene fra planleggingsfasen ble følgende:

**Mål og omfang:** Analysen skal fokusere på fremdriftsenheten Scania DI13 M073, og skal gi en teknisk innsikt i fremdriftsenhetens oppbygning og kritiske komponenter, i samsvar med resultatmål 1-F. Denne tekniske innsikten etablerer grunnlag for videre arbeid og vurderinger i analysearbeidet. På grunn av ressursbegrensinger vil analysen avgrenses til enhetens funksjonelle undersystemer, uten å gå helt til laveste komponent-nivå.



Figur 28: Funksjonshierarki for drivverket (se figur 14), med oppgavens omfang i oransje(T2), og analysens detaljnivå i rød (T3)

**Avgrensinger og operasjonell modus:** Som en del av et sammensatt system er det viktig å sette avgrensinger for analysen. Her benyttes de samme som er satt overordnet i oppgaven, analyseobjektet er altså fremdriftsenhet uten girkasse og propellaksling. Operasjonell modus for denne analysen er med fremdriftsenheten i påskrudd, aktiv tilstand. Gjennomgangen og oppsummeringen av sviktmodus er ikke fullstendig omfattende, pga. ressursbruken dette ville medført. Det har derfor blitt valgt å sette søkelys på noen av de viktigste elementene ved hvert undersystem.

**Hvilke ressurser som tildeles analysen:** Det har vært begrenset med tilgang til analyseobjektet, og det har ikke blitt gjennomført en fysisk gjennomgang av dens oppbygging. Analysen baseres på enhetens tekniske tegninger, motormanual, og generell forståelse av diesel-forbrenningsmotorer. Videre er detaljnivået begrenset som følge av tidsbruk.

**Vurderingskriterier for tiltak til behandling av sviktmodus:** Anbefalinger til tiltak bestemmes fra kritikalitet - feil som er sannsynlig i å forhindre enheten i å oppfylle krevd funksjon vil vektlegges. Både direkte feil og feil som medfører forhastet degradering av enheten. I tillegg, i tråd med målet om oppnåelse av FNs bærekraftsmål, vil tiltak anbefales for å opprettholde og gjenopprette ytelse, der feil forårsaker økt forbruk av olje, diesel eller reservedeler. Hvis deteksjon kan forenkles ved bruk av sensorbasert tilstandskontroll, anbefales dette.

**Bestemmelser for hvordan analysen skal dokumenteres:** Dokumenteringen foregår i form som del av resultat i denne rapporten, inklusiv vedlagt Excel-ark (vedlegg 2).

### 3.4.2 Utførelse og utforming av FMECA

Til anbefaling av tilstandsparameter, har det først blitt benyttet FMECA til å identifisere sviktmodus og sviktens effekt på enheten, og deretter vurdert hvordan disse kan detekteres.

FMECA-en er utformet ved hjelp av et excel-ark, i tillegg til en opplisting i resultatkapitlet.

Følgende aspekter ved komponentene:

- **Funksjon:** Den krevde funksjon systemet eller komponenten må opprettholde.
- **Sviktmodus:** Hvordan feilen manifesterer seg i praksis. f.eks. delvis tap av pumpekapasitet.
- **Deteksjon av feil:** Hvordan feilutviklingen kan oppdages. F.eks. gjennom lyd, temperatur, trykk, vibrasjon.

- **Sviktmekanismer:** Hvorfor svikten skjedde, altså de underliggende prosessene som fører til sviktmodus. F.eks. kavitasjon i impellerskovler.
- **Sviktårsaker:** Hvilke spesifikke omstendigheter som ledet til sviktmekanisme. Dette kan inkludere designfeil, uventede operasjonelle belastninger, manglende vedlikehold, material-tretthet osv. F.eks. undertrykk på sugesiden av pumpen på grunn av dårlig installasjon.
- **Feileffekt:** Konsekvensen av svikt på enheten, og det globale systemet.
- **Kritikalitet:** Forenklet vurdering av sannsynlighet ganger konsekvens.

FMECA-en er utført tilstrekkelig for å identifisere tilstandsparametere som kan overvåke enkelte vedlikeholdspunkter på fremdriftsenheten.

For eksempel: For forbrenningsmotoren, vil flere forskjellige feil kunne føre til suboptimalt blandingsforhold. Dermed vil det bli forsøkt å identifisere metoder for å måle eksosinnholdet.

**Identifisering av sviktmodus:** ble gjort ut fra egne erfaringer, og forståelse av forbrenningsmotoren og dens undersystemer. Det ble opprettet kontakt med motorleverandør, grunnet en hektisk tidsplan fant ikke motorleverandøren tid til møte for å diskutere sviktmodus.

**Identifisering av tilstandsparameter:** FMECA, med de avgrensinger som er gjort rede for, legger grunnlaget for identifisering av parametere for tilstandskontroll. FMECA utføres for å få forståelse av hvilke tilstandsparametere som bør overvåkes.

### 3.5 Driftsscore

Sammen med Mowi ble det utforsket muligheter for å sammenstille en driftsscore. Altså, en score på operatørens påvirkning på enheten, som indikerer hvor effektivt og bærekraftig motorene blir benyttet. Motivasjonen er å kunne fremme lang levetid for enhetene, og redusere miljøpåvirkningen fra unødvendig forbruk. Dette starter gjennom å identifisere hendelser hvor motoren er under høyere belastning enn nødvendig, i forhold til funksjonen den oppfyller i øyeblikket.

Det ble først forsøkt å utarbeide en slik indikator, eller samling av indikatorer i dialog med motorleverandør, men på grunn av tidsfaktoren ved prosjektet ble en slik fremgangsmåte ikke mulig. Videre ble to ulike metoder for utregning av slike indikatorer utarbeidet. De presenteres under:

**Bånn gass:** Den første indikatoren baseres på en øvre grense for gasspådrag, og utleder en total score for hvor lenge overskridelsene varer og hvor langt over grensen pådraget var, over en viss tidsperiode.

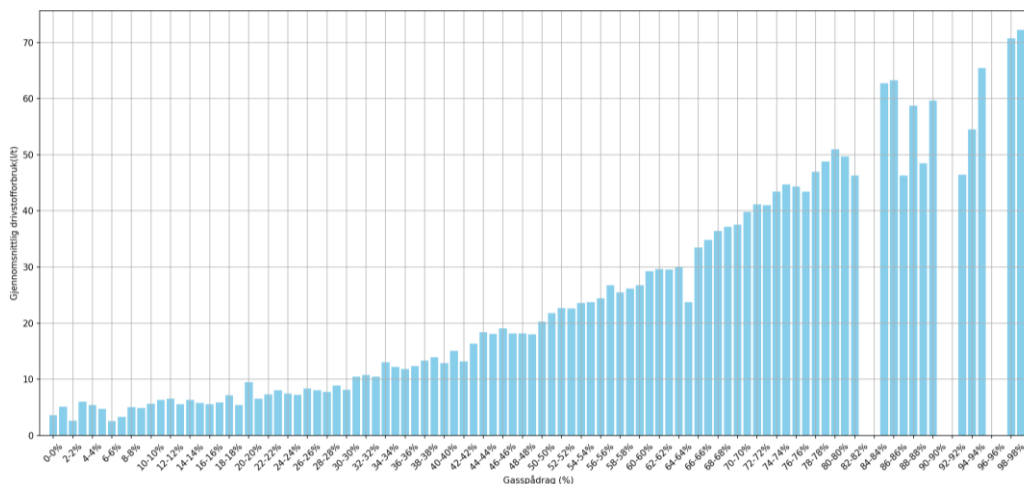
**Dødkjøringstid:** Den andre indikatoren, er et mål på det som har blitt definert som dødkjøringstid, hvor motoren er på, men uten å utføre arbeid.

For begge indikatorene, blir det foreslått praktiske implementeringer av disse i resultatdelen.



### 3.5.1 Kjøreoppførsel, gasspådrag

For å gi et forslag til hvordan dette kan gjennomføres ble det utviklet et Python-skript for behandling av pådrags rådata lastet ned fra Seacloud. Koden ligger som vedlegg til oppgaven.



Figur 29 Histogram av gjennomsnittlig drivstofforbruk avhengig av pådrag.

**Sammenligning av drivstofforbruk:** Plottet viser hvordan drivstofforbruk øker avhengig av pådrag.

Metoden er forholdsvis enkel, og fungerer slik at den over en bestemt øvre grense for pådrag, summerer produktene av en konstant faktor, varigheten og magnituden av overskridelser. Disse trekkes fra en verdi på 100. Formelen brukt for å regne ut indikatoren ( $\tau$ ) basert på gasspådrag er:

$$\tau = 100 - k \times \sum \text{Oppholdsmagnitudo}$$

I Python-skriptet gjøres dette i flere steg. Først loggføres overskridelsene i en liste med intervaller i følgende format: [Start-tid, Stopp-tid, Gjennomsnittlig overskridelse for periode].

Oppholdets magnitudo regnes så ut som oppholdstiden ganger gjennomsnittet av overskridelsen. Formelen for et enkelt oppholds magnitudo er altså:

$$\text{Oppholdsmagnitudo} = \text{Oppholdstid} \times (\text{Gj.snitt Gasspådrag} - \text{Grense})$$

Grensen ble satt til 85% pådrag. Jo høyere over grensen, og jo lenger nivået holdes - jo større blir «straffen». Der k er en faktor som påvirker størrelsen av «straffen». Den konstante faktoren ble satt til 0.003. Denne ble justert ved testing, slik at det over en 100 dagers periode med rundt 10 minutter over grensen, skulle gi en endelig score rundt 98 av 100.

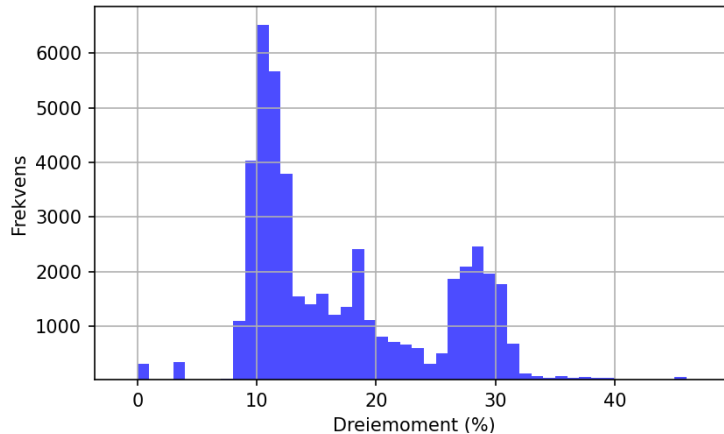
### 3.5.2 Kjøreoppførsel, dødkjøring

Mowi har et ønske om å få oversikt over, og potensielt redusere tomgang. Dette er utfordrende å skape oversikt over, fordi det er forholdsvis utfordrende å skille mellom nyttig tomgang, når kranen eller generatoren er i drift, og når den står parkert på tomgang uten å utføre arbeid.

Ved bruk av Python, ble det forsøkt å analysere driftsdata lastet ned fra Seacloud. Først ved å betrakte drivstofforbruk, under perioder med tomgang, for å forsøke å fastslå om motoren utførte arbeid eller ikke.

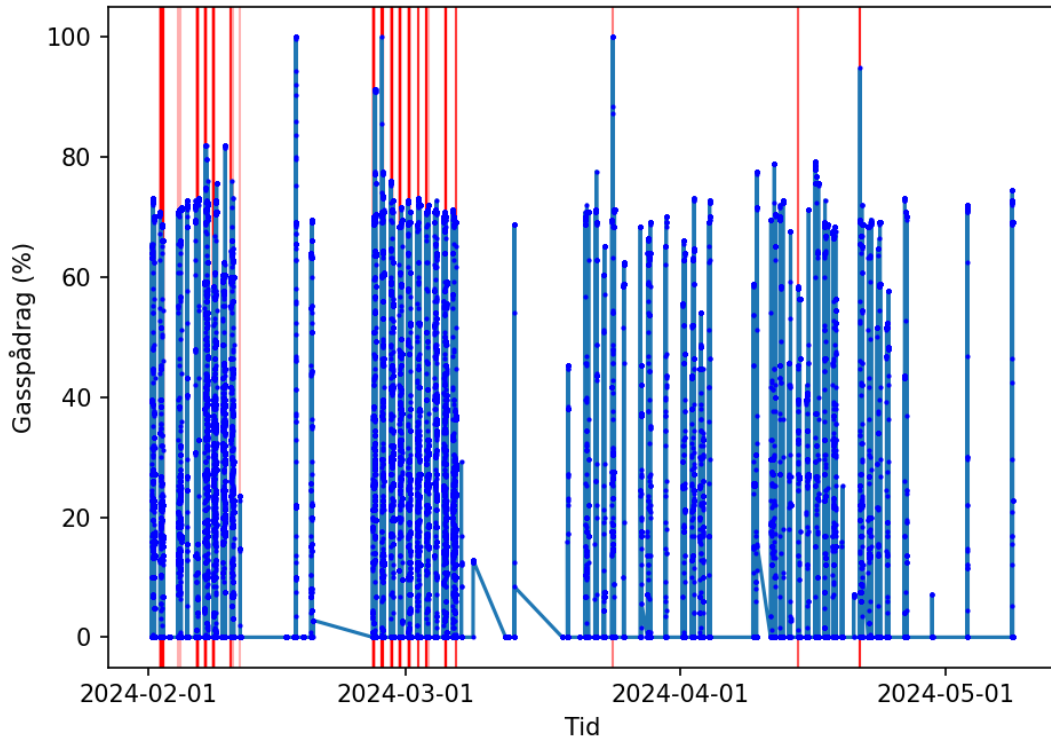
Deretter ble påkjenningene på motoren når gasspådrag var på 0% betraktet, altså dreiemomentet som prosentverdi av maksimum for motoren. Alle måleverdiene for dreiemoment som var sammenfallende med gasspådrag på 0% ble innsamlet og fordelingen av dreiemoment ble presentert i et histogram.

Fra dette ble fordelingen av nyttig og dødkjøring dermed synlig, og kvantifiserbar, gjennom målinger av dreiemoment:



Figur 30 Histogram for dreiemoment ved tomgang

For å visualisere dataen, ble det også laget et plot over alle gasspådragene fra den opprinnelige måleserien, der periodene med identifisert dødkjøring ble farget røde. Det ble utarbeidet et Python-skript som sammenstilte måleseriene, basert på måletidspunkter. Deretter, for hvert individuelle tidspunkt, sjekkes at både måleverdien for gasspådrag er null, og deretter om måleverdien for dreiemoment er under nivået for nyttig tomgang. Skriptet legger også sammen oppholdstidene til en kumulativ teller.



*Figur 31 Gasspådrag over tid, og perioder med identifisert dødskjøring uthevet i rødt*

## 4 FMECA

I denne delen presenteres en gjennomgang over hovedfunnene oppnådd gjennom FMECA-metoden. En detaljert oversikt er vedlagt, som Excel-ark (vedlegg 2). Følgende undersystemer blir presentert i resultatdelen:

Nr.	Undersystem
1.	Dieselsystem
2.	Innsugsystem
3.	Eksosystem
4.	Smøresystem
5.	Kjølesystem
6.	Sensorikk

*Tabell 8 FMECA-delens rekkefølge*

Alle fremdriftsenhetens sensorer blir vurdert til å ha samme sviktmodus og feileffekt i FMECA pga. ressursbruk. I deteksjon av feil vil det likevel bli diskutert relevante enkeltsensorer der det er nødvendig.

Følgende aspekter ved komponentene presenteres, med forklaringer inkludert for lesers bekvemmelighet:

- **Funksjon:** Den krevde funksjon systemet eller komponenten må opprettholde.
- **Sviktmodus:** Hvordan feilen manifesterer seg i praksis. f.eks.: Delvis tap av pumpekapasitet.
- **Deteksjon av feil:** Hvordan feilutviklingen kan oppdages. F.eks.: gjennom visuell inspeksjon eller ved sensorbasert tilstandskontroll.
- **Sviktmekanismer:** Hvorfor svikten skjedde, altså de underliggende prosessene som fører til sviktmodus. F.eks.: Kavitasjon i impellerskovler.
- **Sviktårsaker:** Hvilke spesifikke omstendigheter som ledet til sviktmechanisme. Dette kan inkludere designfeil, uventede operasjonelle belastninger, manglende vedlikehold, material-tretthet osv. F.eks.: undertrykk på sugesiden av pumpen på grunn av dårlig installasjon.
- **Feileffekt:** Konsekvensen av svikt på enheten, og det globale systemet.
- **Kritikalitet:** Sannsynlighet ganger konsekvens.

**Risikoreduserende tiltak** er detaljert under neste teorikapittel: Identifisering av tilstandsparameter.

## 4.1 Dieselsystem

### 1. Funksjon

**Tank:** Lagrer diesel nødvendig for fremdriftsenhetens drift.

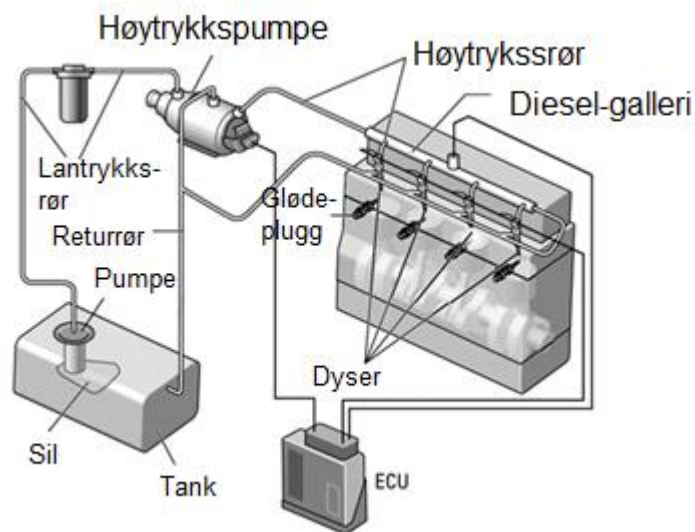
**Pumpe fra tanken:** Pumper diesel fra tanken til motoren.

**Høytrykkspumpe:** Øker dieseltrykket til nødvendig nivå for innsprøyting.

**Rør/Slange:** Transporterer diesel fra tank til fremdriftsenhet.

**Filter:** Renser diesel for partikler og urenheter før innsprøyting.

**Innsprøytingsdyser:** Sprøyter finfordelt diesel inn i forbrenningskammeret.



Figur 32 Sjematisk tegning av Dieselsystem (Sclar, 2021)

### 2. Sviktmodus

**Tank:** Lekkasje fra korrosjon eller skade.

**Pumpe fra tanken:** Virker ikke.

**Høytrykkspumpe:** Delvis tap av pumpekapasitet.

**Rør/Slange:** Lekkasje eller brudd.

**Filter:** Tett filter som hindrer drivstoffstrøm.

**Innsprøytingsdyser:** Tett eller utett, påvirker drivstoffspray

### 3. Deteksjon av Feil

**Tank og Rør/Slange:** Visuell inspeksjon eller trykktesting.

**Pumpe fra tanken:** Ingen lyd fra pumpe ved å skru på strøm. Får ikke startet motor

**Høytrykkspumpe:** Overvåkning av drivstofftrykk og ytelsesdata.

**Filter:** Overvåkning av trykkfall over filter.

**Innsprøytingsdyser:** Lyd, vibrasjonsanalyse for ujevn motorgange, eksosanalyse for.

#### 4. Sviktmekanismer

**Tank:** Korrosjon grunnet vann i diesel.

**Pumpe fra tanken:** Degradering.

**Høytrykkpumpe:** Slitasje eller kavitasjon.

**Rør/Slange:** Erosjon eller materialtretthet.

**Filter:** Akkumulering av forurensninger.

**Innsprøytingsdyser:** Forkalkning eller slitasje på dysens spiss.

#### 5. Sviktårsaker

**Tank:** Mangelfull vedlikehold av korrosjonsbeskyttelse.

**Pumpe fra tanken:** Elektrisk feil.

**Høytrykkpumpe:** Utilstrekkelig filtrering av diesel.

**Rør/Slange:** Utilstrekkelig støtte og vibrasjonsdemping.

**Filter:** Utilstrekkelig vedlikehold og utskifting.

**Innsprøytingsdyser:** Dårlig kvalitet på drivstoff.

#### 6. Feileffekt

**Generelt for systemet:** Nedsatt motorytelse eller full motorstans.

#### 7. Kritikalitet

**Dieselsystem:** Høy. Feil i noen av disse komponentene kan føre til driftsstans og høye reparasjonskostnader. Risikoen for dyre nedetider og sikkerhetsrisikoer gjør disse komponentene kritiske.

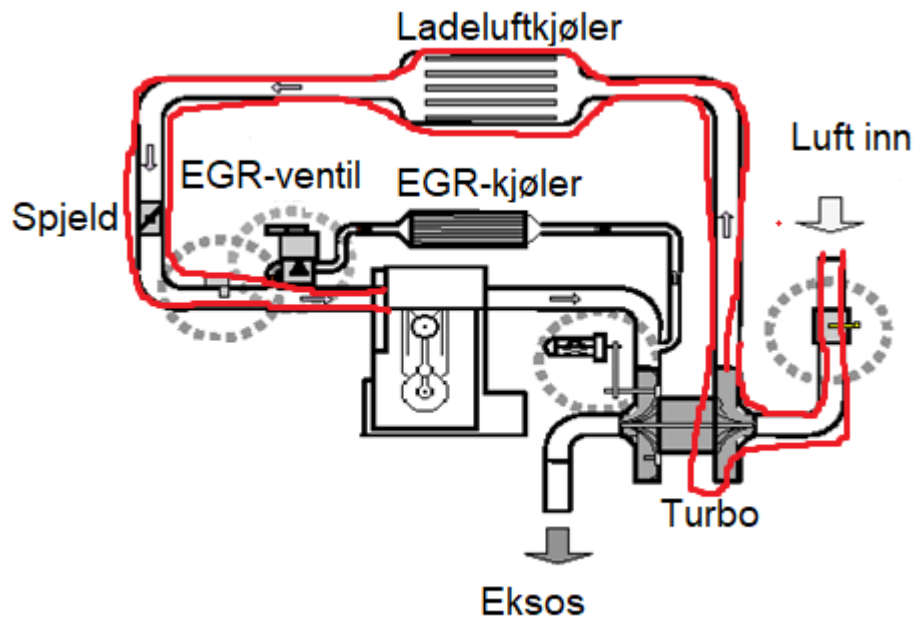
## 4.2 Innsugssystem

### 1. Funksjon

**Filter:** Sikre ren lufttilførsel til fremdriftsenheten ved å filtrere ut partikler og forurensninger.

**Turbo (kald side):** Øke luftinntaket ved å komprimere luften som går inn i fremdriftsenhetens forbrenningskammer.

**Ventiler:** Kontrollere inntak av luft i fremdriftsenhetens sylindere.



Figur 33 Skjematisk tegning, med innsugssystemet uthevet (Maruyama, Ejiri, Ikai, & Shimotani, 2012).

### 2. Identifisert sviktmodus

**Filter:** Redusert luftgjennomstrømning på grunn av tilstopping.

**Turbo (kald side):** Svikt i turboens kompressorhjul eller lager.

**Ventiler:** Ventilene brenner, lekker eller henger seg opp.

### 3. Deteksjon av feil

**Filter:** Visuell inspeksjon, måling av trykkfall over filteret.

**Turbo (kald side):** Lytting etter uvanlige lyder, ytelsesmålinger, og bruk av vibrasjonsanalyse.

**Ventiler:** Lydmålinger (støy), ytelsestester og regelmessige inspeksjoner.

#### 4. Sviktmekanismer

**Filter:** Akkumulering av skitt og partikler.

**Turbo** (kald side): Slitasje på lager, eller skade på kompressorhjulet.

**Ventiler:** Slitasje fra høy temperatur og korrosjon, eller mekanisk feil.

#### 5. Sviktårsaker

**Filter:** Utilstrekkelig vedlikehold, bruk av filteret ut over anbefalt skiftintervall.

**Turbo (kald side):** Slitasje, dårlig vedlikehold, eller inntak av fremmedlegemer.

**Ventiler:** Overoppheting, mangel på smøring, forurensninger i brennstoffet.

#### 6. Feileffekt

**Filter:** Redusert motorytelse og økt drivstofforbruk.

**Turbo** (kald side): Redusert effektivitet og potensiell motorskade.

**Ventiler:** Redusert motorytelse og potensiell motorstopp.

#### 7. Kritikalitet

**Innsuget:** Svært høy, siden en svikt kan føre til alvorlige motorproblemer og havari.

Innsugsluftens kvalitet og trykk påvirker direkte fremdriftsenhetens ytelse og levetid.



## 4.3 Eksosystem

### 1. Funksjon

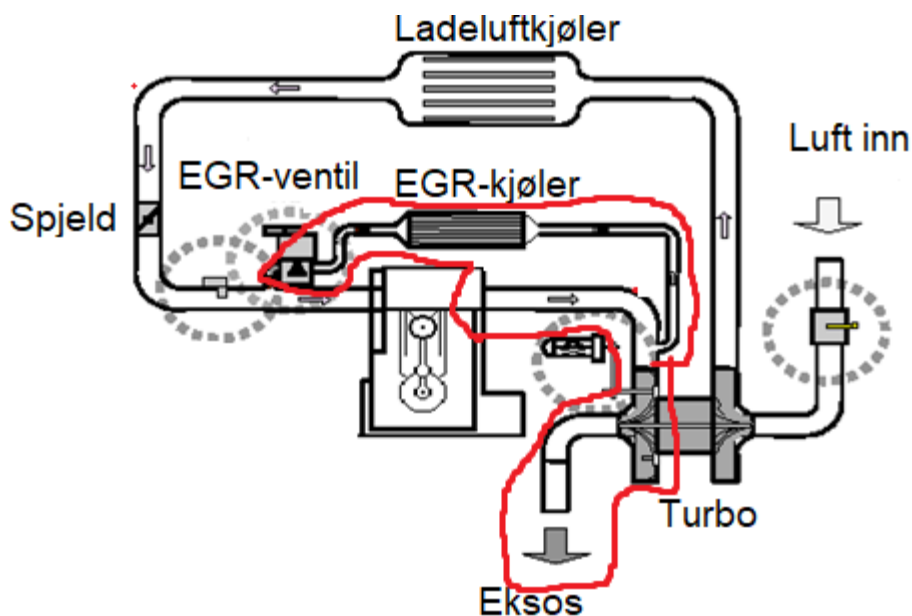
**Partikkelfilter:** Fjerner sotpartikler fra eksos for å redusere utslipp og møte miljøkrav.

**Turbo (varm side):** Øker fremdriftsenhetens inntaksluft ved å bruke eksosgasser for å drive en turbin, som forbedrer effektiviteten og ytelsen.

**Ventiler:** Regulerer strømmen av gasser inn og ut av fremdriftsenhetens forbrenningskammer.

**Isolasjon rundt eksosen:** Holder varmen borte fra motorrommet.

**SCR-system:** Reduserer NOx-utslipp ved å injisere en urea-løsning i eksosstrømmen, som omdannes til nitrogen og vann.



Figur 34 Sjematisk tegning, med eksossystemet uthevet (Maruyama, Ejiri, Ikai, & Shimotani, 2012).

### 2. Sviktmodus

**Partikkelfilter:** Tilstopning eller fysisk skade som hindrer riktig funksjon.

**Turbo:** Slitasje på turbinbladene eller lagerfeil som fører til redusert ytelse eller svikt.

**Ventiler:** Ventilslitasje eller -brenning som fører til dårlig forsegling og redusert motorprestasjon.

**Isolasjon rundt eksosen:** Slipper varme fra eksosrøret ut i rommet.

**SCR-system:** Katalysatordegradering eller dysesvikt som reduserer effektiviteten av NOx-reduksjonen.

### 3. Deteksjon av feil:

**Partikkelfilter:** Trykksensorer og diagnostiske systemer kan oppdage økt mottrykk.

**Turbo:** Ytelsesmåling og lydanalyse kan indikere ineffektivitet eller skade.

**Ventiler:** Kompresjonstester og lydidiagnostikk kan avdekke lekkasjer eller funksjonsfeil.

**Isolasjon rundt eksosen:** Forhøyet temperatur i motorrom.

**SCR-system:** NOx-sensorer og systemdiagnostikk oppdager ineffektivitet i utslippskontroll.

### 4. Sviktmekanismer:

**Partikkelfilter:** Akkumulering av sot og aske over tid.

**Turbo:** Høy temperatur og partikler i eksosgassene som fører til erosjon eller korrosjon.

**Ventiler:** Termisk stress og mekanisk slitasje fra repeterende eksponering for høy temperatur og trykk.

**Isolasjon rundt eksosen:** Det blir skader av at man kommer borti isolasjonen med skarpe gjenstander.

**SCR-system:** Kjemisk nedbryting av katalysatormaterialer og tilstopping av dysene.

### 5. Sviktårsaker:

**Partikkelfilter:** Utilstrekkelig regenerering eller høyt askeinnhold i drivstoffet.

**Turbo:** Dårlig kvalitet på eksosgasser eller utilstrekkelig vedlikehold (f.eks. oljeskift).

**Ventiler:** Uegnet drivstoff eller olje som fører til for tidlig slitasje.

**Isolasjon rundt eksosen:** Skade på isolasjon.

**SCR-system:** Bruk av uegnet urea-løsning eller feil i doseringssystemet.

### 6. Feileffekt:

**Partikkelfilter:** Økt drivstofforbruk og redusert motorprestasjon.

**Turbo:** Redusert motor-effekt og økt drivstofforbruk.

**Ventiler:** Tapt motor-effektivitet og økte utlipp.

**Isolasjon rundt eksosen:** Lufta motoren trekker inn blir varmere. Varmere luft gir dårligere effekt.

**SCR-system:** Feil i å møte utslippskrav, potensiell skade på motoren.

### 7. Kritikalitet:

**Eksosystem:** Svært høy, kritisk for riktig motorfunksjon. Direkte innvirkning på utlipp og motorprestasjon.

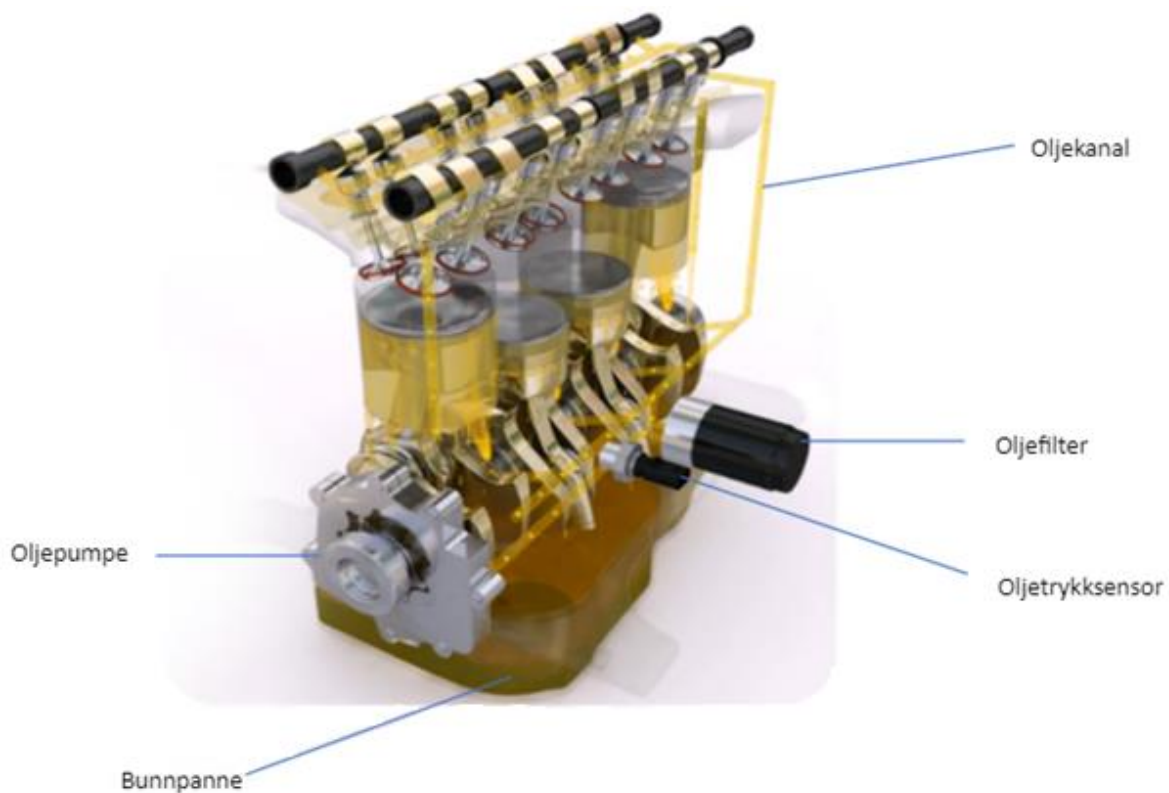
## 4.4 Smøresystem

### 1. Funksjon:

**Bunnpanne:** Lagrer motoroljen som brukes i smøring av motoren.

**Pumpe:** Transporterer olje fra bunnpannen gjennom motoren for å sørge for adekvat smøring av bevegelige deler.

**Filter:** Renser oljen for forurensninger og metallpartikler før den sendes tilbake til fremdriftsenheten.



*Figur 35 Illustrasjon av motorens smøresystem, tilpasset av gruppen (Online Store, 2024)*

### 2. Sviktmodus:

**Bunnpanne:** Korrosjon og fysiske skader som kan føre til oljelekkasje.

**Pumpe:** Delvis tap av pumpekapasitet grunnet slitasje eller mekaniske feil.

**Filter:** Tette filter som resulterer i redusert oljeflyt.

### 3. Deteksjon av Feil:

**Bunnpanne:** Lekkasje oppdages visuelt under rutinemessige inspeksjoner.

**Pumpe:** Redusert oljetrykk kan oppdages med trykksensorer.

**Filter:** Økt trykkforskjell over filteret indikerer tilstopping.

#### 4. Sviktmekanismer:

**Bunnpanne:** Korrosjon på grunn av langvarig eksponering mot aggressive miljøer.

**Pumpe:** Kavitasjon i impellerskovler som følge av utilstrekkelig inntakstrykk.

**Filter:** Akkumulering av forurensninger til det punktet hvor oljesirkulering hindres.

#### 5. Sviktårsaker:

**Bunnpanne:** Uegnet materialvalg eller tykkelse som ikke tåler driftsmiljøet.

**Pumpe:** Undertrykk på sugesiden grunnet dårlig installasjon eller slitasje.

**Filter:** Overdreven oppsamling av partikler på grunn av manglende vedlikehold eller feil i oljekvalitet.

#### 6. Feileffekt:

**Bunnpanne:** Oljelekkasje kan føre til utilstrekkelig smøring og motorhavari.

**Pumpe:** Mangel på oljetrykk kan føre til alvorlige motorskader.

**Filter:** Redusert oljestrømming kan resultere i overoppheting og motorfeil.

#### 7. Kritikalitet:

**Smøresystem:** Svært høy. Essensiell for motoroperasjon og -sikkerhet. En lekkasje raskt kan føre til alvorlige skader, miljøpåvirkning.

## 4.5 Kjølesystem

Fra ståstedsanalysen ble det oppdaget en feil på kjølepumpe. Denne er ikke inkludert i FMECA, da feilen skyldes på det elektriske anlegget.

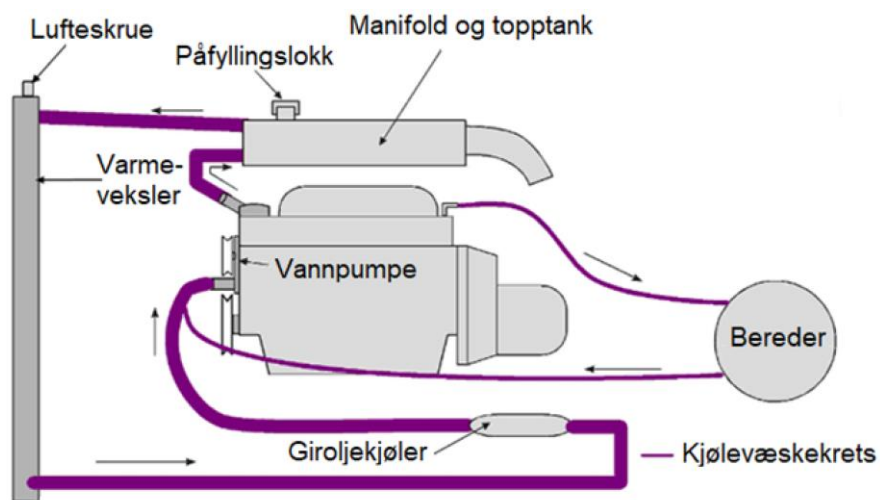
### 1. Funksjon

**Reservoar:** Lagrer kjølevæske som sirkulerer i systemet.

**Pumpe:** Sirkulerer kjølevæsken gjennom systemet for å overføre varme fra fremdriftsenheten.

**Termostat:** Regulerer strømmen av kjølevæske for å opprettholde optimal motortemperatur.

**Varmeveksler:** Overfører varme fra fremdriftsenheten til kjølevæsken som deretter avkjøles.



Figur 36 Kjølekrets båtmotor, justert av gruppen (Brooks, 2020).

### 2. Sviktmodus

**Reservoar:** Lekkasje, korrosjon eller sprekke dannelse.

**Pumpe:** Delvis tap av pumpekapasitet, fullstendig svikt.

**Termostat:** Feil i åpning/lukking som fører til overoppheting eller underkjøling.

**Varmeveksler:** Tilstopning eller lekkasje som forhindrer effektiv varmeoverføring.

### 3. Deteksjon av feil

**Reservoar:** Nivåmåler, visuell inspeksjon for lekkasje eller skader.

**Pumpe:** Lytting for unormale lyder, måling av strømningsrate.

**Termostat:** Overvåking av motortemperatur.

**Varmeveksler:** Overvåking av temperaturgradienter, trykktesting.

#### 4. Sviktmekanismer

**Reservoar:** Korrosjon på grunn av kjemisk reaksjon med kjølevæsken.

**Pumpe:** Slitasje av lager eller forsegling, kavitasjon i impeller.

**Termostat:** Slitasje eller fastkiling av ventilmekanisme.

**Varmeveksler:** Korrosjon, avleiringer som reduserer effektiviteten.

#### 5. Sviktårsaker

**Reservoar:** Uegnet materialevalg, dårlig vedlikehold.

**Pumpe:** Undertrykk på sugesiden på grunn av dårlig installasjon, utilstrekkelig vedlikehold.

**Termostat:** Feil i produksjon, aldring av komponenter.

**Varmeveksler:** Feil i vedlikeholdsrutiner, utilstrekkelig rengjøring.

#### 6. Feileffekt

**Reservoar:** Tap av kjølevæske kan føre til overoppheting.

**Pumpe:** Redusert kjølevæskestrøm kan føre til motorskade.

**Termostat:** Feil temperaturregulering kan føre til ineffektiv drift eller skade.

**Varmeveksler:** Redusert varmeoverføring kan føre til overoppheting.

#### 7. Kritikalitet

**Kjølesystem:** Høy. svikt kan føre til umiddelbar overoppheting. Kritisk for å opprettholde riktig driftstemperatur.



## 5 Resultat

Resultatkapittelet vil fokusere på funnene for resultatmålene 1.a - 2.h, som omhandler ståstedsanalyse og evaluering av datainnsamling og identifisering av tilstandsparameter for fremdriftsenhetene. Hovedfunnene fra analysene gjennomført for prosjektet, vil også presenteres i kapittelet.

<b>Fase 1 - Ståstedsanalyse og Evaluering av Datainnsamling:</b>	
<b>1.a &amp; 1. b</b>	Systemkunnskap og driftsoversikt
<b>1.c - 1.e</b>	Operasjonell kontekst og vedlikeholdsplaner
<b>1.f &amp; 1.g</b>	Teknisk innsikt
<b>1.h</b>	Datainnsamling og Evaluering
<b>Fase 2 - Identifisering av tilstandsparameter for fremdriftsenhetene:</b>	
<b>2.a &amp; 2. b</b>	Evaluering og forslag til tilstandsparameter
<b>2.c - 2.f</b>	Foreslå metodikker for identifisering og analyse
<b>2.g &amp; 2.h</b>	Datavisualisering og implementering
<b>Fase 3 - Forslag til optimalisering av Seacloud og Driftssikkerhet:</b>	
<b>3.a &amp; 3.b</b>	Analysebaserte Forbedringstiltak
<b>3.c</b>	Foreslå forbedringer

*Tabell 9 Oversikt over hvilke mål som blir besvart i hvilken del*

Resultatdelen fokuserer først på funnene som ble gjort i Ståstedsanalysen, som svarer til resultatmål 1.a til 1.h. Videre vil resultatene som dekker identifisering av tilstandsparameter presenteres, der funnene til foreslåtte metodikker og datavisualisering vil fremkomme. Avslutningsvis vil hovedfunnene fra FMECA bli presentert.



## 5.1 Hovedfunn fra ståstedsanalyse

I dette underkapittelet presenteres en gjennomgang over hovedfunnene oppnådd gjennom ståstedsanalysen. Analysen fokuserer på hvordan daglig drift utføres, vedlikeholdsstrategien til Mowi, og dagens datainnsamling. Ståstedsanalysen tar først for seg de mest generelle punktene for bedriften, deretter spisses analysen seg inn mot oppgavens hovedfokus: fremdriftsenhetene i arbeidskatamaranene.

### 5.1.1 Systemkunnskap og Driftsoversikt

Mål med denne delen er:

<b>1.a</b>	Bli kjent med vedlikeholdsfilosofien/strategien til Mowi.
<b>1.b</b>	Bli kjent med Mowis vedlikeholdstyringssystem - Aquacom.

*Tabell 10 Målene besvart i del 5.1.1*

#### 1.a - Bli kjent med vedlikeholdsfilosofien/strategien til Mowi:

- Mowi benytter seg av **tidsbestemt vedlikehold**.
  - Mowi har utformet sin **vedlikeholdsstrategi** basert på anbefalingene fra leverandørene.
  - Uforutsette feil og svikt hos arbeidskatamaranene gjenoprettes ved **korrektivt vedlikehold**; Frem til kost/nytte-analyser tilsier at det vil lønne seg skifte den ut.
- Med **fokus på modernisering**: Bedriften har nylig endret filosofi, som vist gjennom Seacloud-prosjektet med innsamling av driftsdata.
  - Dette ble utgangspunktet for denne analysen.
- På enkelte anlegg har bedriften **egne verksteder** med teknisk ansvarlige som håndterer og utfører en større del av vedlikeholdsarbeidet for båtene. Bedriften har som mål å øke andelen av anlegg med eget verksted i fremtiden.
  - Når det gjelder **rutinemessige vedlikeholdsoppgaver** og grunnleggende vedlikeholdsarbeid er personellet som utfører disse røktere.
- For større og mer **komplekse vedlikeholdsoppgaver** blir båtene sendt til verft.
  - Hvis tilgjengelig, kan teknisk ansvarlig bistå med lokalisering og diagnostisering av feil for å forhaste forberedelsene til vedlikeholdet.

## 1.b - Bli kjent med Mowis vedlikeholdstyringssystem - Aquacom.

- Aquacom er CMMS-programmet brukt av Mowi, og deres leverandører for å samkjøre prosjekter.
  - Aquacom's utvikler er eier av prosjektet med Seacloud. Prosjektet ble startet på Mowi's initiativ, med ønske om å få implementert en tilstandsbasert drift og vedlikeholdsmodul.
- Systemet er moderne med funksjonalitet tilpasset akvakultur:
  - Info og indikatorer over enhetenes tekniske tilstand kommer ikke tydelig fram.
  - **Tilstandsbasert vedlikeholds modul er under utvikling**, med Seacloud.
  - Automatisk ukentlig rapport for alle anlegg kan sendes direkte til ansvarlig leder.
- **Anleggsregister:** Alle tekniske komponenter på sjøanlegget legges inn i Aquacom og bruker har da full tilgang til tekniske spesifikasjoner, sjekklister, brukerhåndbok, m.m.
  - Komponentene som f.eks. en arbeidskatamaran, kan flyttes mellom lokaliteter uten at historiske data går tapt.
- Aquacom styrer størsteparten av de daglige gjøremålene for de ansatte, ved faste sjekklister som skal gjennomføres, og arbeidsordre for vedlikehold.
  - De ansatte mener systemet fungerer godt, med noen få unntak: Arbeidsmengden knyttet til sjekklister og kontroll bli slik at de oppleves å ta fokus vekk fra røkteransvaret til de ansatte.

### 5.1.2 Operasjonell Kontekst og Vedlikeholdsplaner:

Mål med denne delen er:

<b>1.c</b>	Bestemme en arbeidskatamaran fra Seacloud-prosjektet å sette søkelyset på.
<b>1.d</b>	Bli kjent med vedlikeholdsplan, -historikk og operasjonell kontekst for båten.
<b>1.e</b>	Utarbeide oversikt over vedlikehold for fremdriftsenheten fra båten.

Tabell 11 Målene besvart i del 5.1.2

### 1.c - Bestemme en arbeidskatamaran fra Seacloud-prosjektet å sette søkelyset på i oppgaven:

Arbeidskatamaran	Nøkkelpunkter
Gullholm	Byggeår 2023
	28 målepunkter i Seacloud
	En av tre båter fra samme verft med like spesifikasjoner

Tabell 12 Valgt arbeidskatamaran

Det blir jobbet for at løsningene skal ha **overføringsverdi** til resten av Mowis arbeidskatemaraner.

### 1.d - Bli kjent med vedlikeholdsplan, -historikk og operasjonell kontekst for båten:

- Gullholm tilhører anlegget i **Indre Skjervøy**, som er en av lokalitetene med **eget verksted**.
- Veien fra land til foringsplattform er relativt kort,
  - Bidrar til mindre behov for lange perioder med høye påkjenninger og gass pådrag.
- En av de nyeste båtene, har dermed **lite vedlikeholdshistorikk**,
- **Signifikante avvik:**
  - Det ble oppdaget at det har oppstått noen tilfeldige feil, som blir tolket som barnesykdommer, ettersom båten er tidlig i sin levetid.
  - Ulyd i STB. aksling ved 1300 rpm, fra inntrenging av vann i oljesmurt hylse (#55831)
  - Jordfeil melding ved oppstart av BB motor (#57130)
  - Gir på STB side kobler ikke ut (#67440)
  - Gir på STB side kobler ikke inn (#67700)(svikt)
  - Kjølepumpe starter ikke på signal fra motor (#63493)
- **Verftet** som bygde båten, har siden gått **konkurs**.
- På Gullholm er det to Scania DI13.
  - Babord fremdriftsenhet er koblet til generator for el-anlegget på båten,
  - Styrbord fremdriftsenhet genererer trykk til den hydrauliske kranen.
- **Operasjonell modus:**
  - **Cruising:** Til og fra anlegg, kjøres båten som regel på 75% pådrag
  - **Shuttle:** Mellom merd og foringsplattform.
  - **Tomgang:** Når båten står stille, men kranen eller generatoren er i bruk.
  - **FMECA**-analysen behandler disse som en samlet «Aktiv» modus.
  - Det vil bli identifisert forskjell mellom nyttig tomgangskjøring og dødkjøring, og kvantifisere disse.
  - Et system for kvantifisering av pådrag vil bli utviklet for situasjoner hvor cruising overstiger en bestemt grense, noe som resulterer i høyere motorbelastning og drivstofforbruk enn nødvendig.

## 1.e - Utarbeide oversikt over vedlikehold for fremdriftsenheten fra Seacloud-prosjektet:

Tabellen under viser daglige og årlige vedlikehold for Scania DI13 motoren:

Kategori	Vedlikeholdsoppgaver
<b>Daglig</b>	<i>Hovedmotor</i>
	kjølevæsknivå
	Visuell sjekk
	Oljenivå på gir
	Dieselfilter sjekk
	Luftfilter sjekk
<b>Årlig</b>	Dra etter bolter på motor labber
	Sjekk av skrog, fremdrift, ror og anoder

Tabell 13 Vedlikeholdsoppgaver for Gullholm

Det gjennomføres tidsbestemt vedlikehold på fremdriftsenhetene med tilleggspunkter hver 500, 1000, 2000 og 6000 driftstimer. Tabellen under viser fremdriftsenhetens systemer, sjekkpunkter og vedlikeholdsintervaller:

System	Sjekkpunkter	Vedlikeholdsintervall
<b>Smøresystem</b>	Sjekk av oljenivå	Daglig
	Oljeskift og rengjøring av oljefilter	500 t
<b>Luftfilter</b>	Sjekk av undertryksindikator	Årlig
	Skifte filterelement	Årlig
<b>Kjølesystem</b>	Sjekke kjølevæsknivå	Daglig
	Skifte av kjølevæske og rengjøring	Hvert 5. år, eller 6000 t
<b>Drivstoffsystem</b>	Kontroll av drivstoffnivå	Daglig
	Fylle drivstoff	Ved behov
<b>Diverse</b>	Kontroll av drivreim og lekkasjer	Årlig, eller 1000 timer
	Justering av ventilasjon og innsprøytning	2000 t
	Skifte reduksjonsmiddel filter	500 t

Tabell 14 Tabellen er basert på Scania sine anbefalinger for DI13 marinemotor (SCANIA, s.27, 2022)

### 5.1.3 Teknisk Oversikt:

<b>1.f</b>	Identifisere kritiske komponenter for den valgte DI13 fremdriftsenheten.
<b>1.g</b>	Gjør rede for Målekjede og -utstyr benyttet for innsamling av driftsdata.

Tabell 15 Målene besvart i del 5.1.3

#### 1.f - Identifisere kritiske komponenter for den valgte DI13 fremdriftsenheten.

FMECA-en for fremdriftsenheten gjennomføres for å få oversikt over de mest kritiske undersystemene og komponentene. Under vises tabell med de mest vesentlige FMECA-funn:

Komponent	Sviktmodus	Kritikalitet	Feilreduserende tiltak
<b>Dieselsystem:</b>			
Høytrykkspumpe	Pumpe virker ikke	<b>Svært høy</b>	Det anbefales differansetrykksensor for å se om filteret blir tett. Da kan det skiftes før det slutter å oppnå ønsket effekt
Dyser	Virker ikke		Det anbefales differansetrykksensor for å se om filteret blir tett. Da kan det skiftes før det slutter å oppnå ønsket effekt
Rør/slange	Lekkasje		Unngå rør i spenn og knekk på slanger
Filter	Tett		Det anbefales differansetrykksensor for å se om filteret blir tett. Da kan det skiftes før det slutter å oppnå ønsket effekt
<b>Innsugssystem:</b>			
Filter	Tett	<b>Høy</b>	Det anbefales differansetrykksensor for å se om filteret blir tett. Da kan det skiftes før det slutter å oppnå ønsket effekt
Ventiler	Tetter ikke sylindere		Kjøring som fremmer lang levetid. Opprette en driftsscore for kjøremønster
<b>Eksossystem:</b>			
Ventiler	Tetter ikke sylindere	<b>Høy</b>	Motoren kjører med mer diesel enn optimalt blandingsforhold med jevne mellomrom for å rense partikkelfilter. Ikke stopp motoren når den gjør dette. Kan kontrolleres med avgassmåling
Diesel-partikkelfilter	Tett		Motoren kjører med mer diesel enn optimalt blandingsforhold med jevne mellomrom for å rense partikkelfilter. Ikke stopp motoren når dette skjer. Kan kontrolleres med avgassmåling
<b>Smøresystem:</b>			
Filter	Tilstoppet	<b>Svært høy</b>	Det anbefales differansetrykksensor for å se om filteret blir tett. Da kan det skiftes før det slutter å oppnå ønsket effekt

Tabell 16 Sammendrag av FMECA-skjema, med de viktigste punktene

### 1.g - Gjør rede for Målekjede og -utstyr benyttet for innsamling av driftsdata:

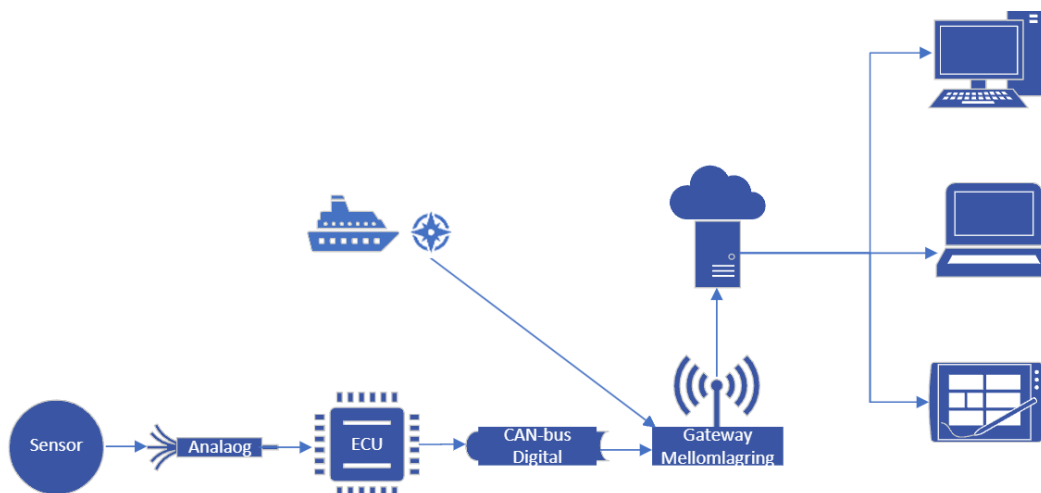
De iboende sensorene fra produsenten av motoren sender et analogt signal som blir tolket og omformet til et digitalt signal av motorsyreenheten (ECU). De digitale signalene blir kommunisert via CAN bus, og leses av en Siemens-Gateway. Gatewayen tillater oppkobling av nye sensorpakker, og kan lese både analoge digitale, og trådløse signal. Den er også koblet til båtens navigasjonssystem.



Figur 38 Gateway og dens tilkobling til Gullholms motorstyreenhet med CAN bus, bilde fra andre befaring.

- Gatewayen pre-prosesserer, loggfører og mellomlagrer datapunkter før de sendes til skylagring på Seacloud-plattformen.
- Pre-prosesseringen innebærer gjennomsnittsutregninger av avleste målinger for definerte intervaller, og tidsmerking av disse intervallene.

Derfra kan man hente elementer til Aquacom CMMS. Figuren illustrerer målekjeden:



Figur 39 Illustrasjon av målekjeden, fremstilt av gruppen

#### 5.1.4 Datainnsamling og Evaluering:

<b>1.h</b>	Bli kjent med funksjonalitet i Seacloud og behandling av sensor rådata.
------------	---

*Tabell 17 Mål besvart i del 5.1.4*

#### 1.h - Bli kjent med funksjonalitet i Seacloud og behandling av sensor rådata:

<b>Funksjonalitet</b>	<b>Beskrivelse</b>
Plattform og tjenester	SeaCloud utvikler en løsning for innhenting av sensor data fra ECU. Plattformen benyttes til skylagring og presentasjon av drift- og tilstandsdata. Skal Integreres i Aquacom CMMS.
Brukervennlighet	Plattformen er brukervennlig og navigerbar.
Data kategorisering	Datapunkter er ikke kategorisert og dårlig beskrevet. Skiller mellom fartøydata, babord og styrbord side.
Alarmgrenser	Ingen aktive alarmgrenser for Gullholm. Enkel fremgangsmåte for å sette alarmer med varsling for tilstandsparameter som overskrider spesifiserte grenser. Kun enkle nivågrenser er mulig f.eks. ved oljetemperatur over 100°C  Ikke mulig: Grenser på stor endringshastighet av f.eks. trykk; eller betingede grenser som evaluerer flere parameter i kontekst.
Data visualisering	Enkel 'speedometer' fremstilling av sanntidsdata via nettleser dashboard. Grafer for historiske data, tilpasses med spesifikke start og stopp tidspunkt.
Data prosessering	For historiske plot i Seacloud: Rådata prosesseres til minimum, maksimum, og gjennomsnittlig måleverdi for perioder avhengig av valgt tidshorisont.
Historiske data	Historiske grafer kan være misvisende på grunn av interpolering mellom punkter, som kan forårsake urealistiske linjer når målingene stopper plutselig når fremdriftsenheten blir skrudd av.
Alarm og varsling	Varsling skjer via dashboard og kan sendes automatisk via SMS og epost. Automatisk genererte perioderapporter kan tilpasses.
Data eksport	Rådata kan filtreres og hentes ut til Excel-regneark, CSV-filer. CSV-filer kan bearbeides med Python ved bruk av DateTime pakken. Nedlasting er begrenset til 100 dagers intervall for rådata.

*Tabell 18 Funksjonalitet i Seacloud med beskrivelse*

## 5.2 Identifisering av Tilstandsparameter for Fremdriftsenhetene

I dette underkapittelet, som representerer det første høydepunktet i rapporten, presenteres resultater relatert til identifisering av tilstandsparameter for fremdriftsenhetene.

### 5.2.1 Evaluering og forslag til tilstandsparameter:

<b>2.a</b>	Vurdere datapunkter, -kvalitet og innsamlingsmetodikk fra DI13 ECU.
<b>2.b</b>	Evaluere tilstandsparameter i Seacloud, for den valgte DI13.

*Tabell 19 Målene besvart i del 5.1.2*

### 2.a - Vurdere datapunkter, -kvalitet og innsamlingsmetodikk fra motorstyreenhet:

På Gullholm er det til sammen 28 datapunkter, hvor det er 13 for hver fremdriftsenhet. I tillegg samles båten retning og fart over bakken. I tabellen under finnes en oversikt over datapunktene fra Gullholm:

<b>Motorsensor</b>	Batterispenning
	Turbotrykk
	Kjølevæsketemperatur
	Gasspådrag
	Drivstofforbruk
	Innsugstemperatur
	Motortimer
	Oljetrykk
	Oljetemperatur
	Motorturtall
	Gasspådrag motor
	Moment fra motor
	Totalt drivstofforbruk
<b>Fartøydata</b>	Retning
	Hastighet over bakken

*Tabell 20 Oversikt over Gullholms tilgjengelige parametere i Seacloud*

Disse datapunktene, gir en oversikt over fremdriftsenhetens tilstand og operatørens kommandoer. Det er mange potensielt nyttige datapunkter, men rom for å utvide anvendelsen og listen med flere målepunkter blir sett på som en mulighet.

På neste side er en vurdering av kvalitet, oppløsning og innsamlingsmetodikk datapunktene.



## 2.a - Vurdering av datakvalitet, -oppløsning og innsamlingsmetodikk:

Som diskutert i teoridelen, innebærer god datakvalitet at dataene har evnen til å støtte de informasjonsformål de brukes til. Dette innebærer at de må tilfredsstillende krav til:

- **Korrekthet**
- **Fullstendighet**
- **Aktualitet**
- **Konsistens**

**Kvalitet:** Ansees som god, fordi dataene er fra de iboende sensorene installert av produsenten, hentet direkte fra motorstyreenheten. Denne korrektheten gjelder naturligvis bare så lenge den individuelle sensor ikke svikter. Muligheten for sensorfeil må tas i betraktning ved behandling av avvik.

**Oppløsning:** Ved nedlastning av rådata, vil en få en måleserie med intervaller avhengig av hvilket målepunkt en har valgt. De fleste lagres hvert femte sekund, hvor måleverdien er registrert som den gjennomsnittlige måleverdien i intervallet. Mens, ved for eksempel akselerasjonsmåling kan hyppigheten økes. Enkelte målepunkter, som totalt drivstofforbruk lagres bare en gang i minuttet. Gateway-en kan likevel fange opp alle verdier for et målepunkt, fra motorstyreenheten via CAN bus i sanntid og pre-prosessere disse slik at dataen får en fornuftig oppløsning, uten å miste detaljer.

**Innsamlingsmetodikk:** Ansees også som god, med samme grunnlag som for kvalitet. For å underbygge dette, kan det presiseres at det blir benyttet en konsistent metodikk for hver måling, på tvers av motorene i hele flåten. Dette eliminerer muligheten for at forskjellige målinger påvirker resultater i forskjellige retninger.

**Svakheter med innsamlingen:** Sensorene på fremdriftsenhetene sender fullstendige data til Seacloud med regelmessige intervaller **bare så lenge motoren er aktiv**. Dette innebærer at målingene stopper umiddelbart, når motoren skrues av.

I tillegg er opplastning til Seacloud-plattformen ikke mulig så lenge **Gatewayen er uten dekning**. Slik at sanntidsanalyser kan bli umulig. For mange anlegg, innebærer dette at målingene ikke blir lastet opp før arbeidskatamaranen er tilbake nær landbase, ved slutten av arbeidsdagen.

## 2.b. - Evaluere eksisterende datapunkter/tilstandsparameter i Seacloud, for fremdriftsenhetene i den valgte arbeidskatamaranen:

Det har blitt gjennomført en klassifisering av datapunktene, med forklaringer:

**Ingen av parameterne for Gullholm i Seacloud-plattformen har fastslåtte alarmgrenser.**

Klasse/sensor	Forklaring
<b>Bruksparameter:</b>	
Operatørens gasspådrag	Nivået av gasspådrag som brukes for å kontrollere fremdrift.
Motorens gasspådrag	Spesifikt nivå av gasspådrag motoren kjører på.
Motortimer	Total driftstid som motoren har vært i bruk, viktig for vedlikeholdsintervaller.
<b>Drivstoff og forbruk:</b>	
Drivstoffbruk	Mengden drivstoff motoren bruker i øyeblikket.
Totalt drivstoffbruk	Total mengde drivstoff brukt over motorens levetid.
<b>Motorparameter:</b>	
Motorturtall	Angir hvor raskt motoren roterer, målt i omdreininger per minutt (rpm)
Moment fra motor	Dreiemomentet som motoren genererer, viktig for å forstå belastningen og ytelsen til motoren
<b>Smøresystem:</b>	
Oljetrykk	Trykket i motorens oljesystem, essensielt for riktig smøring
Oljetemperatur	Temperaturen på motorens olje, viktig for å vurdere oljens smøreevne
<b>Innsugsystem:</b>	
Turbotrykk	Trykket som turboen gir for å øke motoreffektivitet og effekt.
Innsugstemperatur	Temperaturen på luften som suges inn i motorens sylindre, som kan påvirke motoreffektivitet.
<b>Kjølesystem:</b>	
Kjølevæsketemperatur	Temperaturen på motorens kjølevæske, avgjørende for å forhindre overoppheting.
<b>Elektrisk:</b>	
Batterispenning	Spenningsnivået til batteriet som gir elektrisk kraft til motor og annet utstyr

Tabell 21 Klassifisering av tilstandsdata med kort forklaring

## 5.2.2 Foreslå metodikker for Identifisering av Tilstandsparameter:

<b>2.c</b>	Identifisering av tilstandsparameter og fastsetting av grenseverdi for DI13.
<b>2.d</b>	Identifisering & sammenligning av miljøpåvirkning, basert på olje og drivstofforbruk.
<b>2.e</b>	Analyse av tilstandsparameterdata.

*Tabell 22 Målene besvart i del 5.2.2*

### **2.c - Metoder for fastsetting av tilstandsparameter og grenseverdi for DI13.**

På et overordnet nivå foreslås metoder definert under teori. Det henvises til teori om tilstandskontroll.

**Tilstandsparameter:** identifiseres basert på funn fra FMECA, der datapunkt effektivt kan benyttes som grunnlag for å overvåke enhetens tilstand og informere om svikt eller sviktutvikling.

**Referanseverdier:** Siden motorene er forholdsvis nye, kan bedriften sammenligne måleverdiene for de relevante tilstandsparameterene for alle DI13 enhetene i flåten. Innhentede data kan da bli brukt til å definere en ny-tilstand.

**Grenseverdier:** For å bestemme grenseverdier kan en sette nivågrenser i forhold til referansenivåer  $\pm 10\%$ . Referanseverdiene for enheten i ny-tilstand, bestemmes gjennom observasjon av tilstandsdata når enheten er tilnærmet ny, eventuelt fra leverandørs anbefalinger. Ved overskridelser av grenseverdi burde inspeksjon følge, for å vurdere om grensen faktisk indikerer feilutvikling. Det er viktig å også undersøke om avvikene kan komme fra andre steder i enheten, enn undersystemet de er koblet til.

I fremtiden kan en bestemme spesifikke alarmgrenser, med potensielle forvarslings intervaller før svikt, spesielt i forhold til identifiserte trender fra data registrert i perioder før svikthendelse på enheten. Dekkes nærmere under 2.e.

På neste side er en oversikt over hvordan de spesifikke parameterne kan brukes for å optimalisere tilstandsovervåkingen og vedlikeholdsstrategien for motoren og dens undersystemer:

Klasse/parameter	Anvendelser av parameter
<b>Bruksparameter:</b>	
Operatørens- og motorens gasspådrag	Overvåk disse for å identifisere uvanlige variasjoner eller avvik fra normale driftsprofiler som kan indikere ineffektiv drift eller forestående mekaniske problemer.
	Dataene kan brukes til å analysere drivstoffeffektivitet og motorbelastning under forskjellige driftsforhold.
Motortimer	Erstatter manuell timeregistrering, vedlikeholds aktiviteter som oljeskift, filterbytte, og inspeksjoner
<b>Drivstoff og forbruk:</b>	
Drivstoffbruk	Overvåk og analyser disse for å fastslå motorøkonomi på forskjellige driftsprofiler, og for å oppdage eventuelle avvik i drivstoffsystemet.
Totalt drivstoffbruk	Viktig for kostnadskontroll og miljøpåvirkning, bidrar til bærekraftig drift.
<b>Motorparameter:</b>	
Motorturtall & dreiemoment	Kjerneindikatorer for motorbelastning og driftseffektivitet.
	Kan indikere slitasje eller potensielle feil hvis det er avvik fra etablerte normer under vanlige driftsbetingelser.
<b>Smøresystem:</b>	
Oljetrykk & -Temperatur	Trykket i oljen som sirkulerer i motoren.
	Overvåkning hjelper i tidlig deteksjon av lekkasjer, blokkeringer, eller nedbrytning av oljeegenskaper.
<b>Innsugsystem:</b>	
Turbotrykk & Innsugstemperatur	Viktige for å vurdere motorens lufthåndteringseffektivitet og deteksjon av problemer i turbosystemet.
	Svingninger her kan indikere problemer med luftinntak, kjøling, eller turboeffektivitet.
<b>Kjølesystem:</b>	
Kjølevæske-temperatur	Overvåk for å detektere feil i motorens kjølesystem, og for å forhindre overoppheting og potensiell motorskade.
	Viktig for å opprettholde optimal driftstemperatur og forebygge korrosjon og avleiringer i kjølesystemet.
<b>Elektrisk:</b>	
Batterispenning:	Sørger for at elektriske systemer og startevnen er innenfor nødvendige spesifikasjoner.
	Avvik fra normale spenningsnivå kan indikere problemer med ladesystem eller batteridegradering.

*Tabell 23 Klassifisering og anvendelse av parameter*

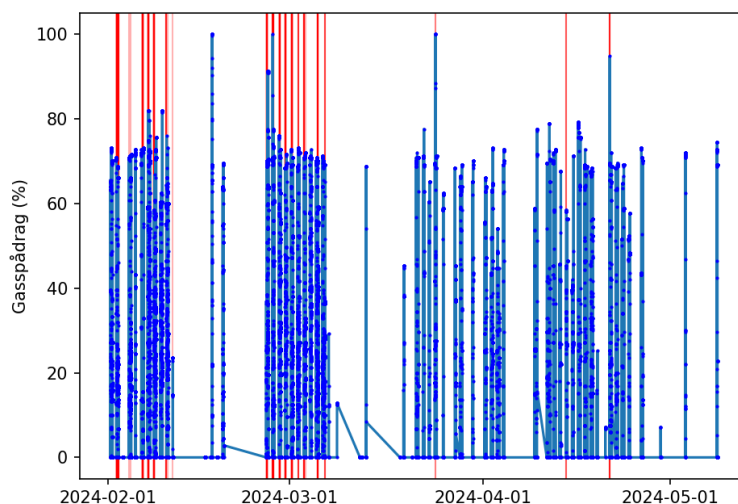
Ved å systematisk analysere og reagere på disse tilstandsparemetere, kan man utvikle mer effektive vedlikeholdstrategier og forbedre både pålitelighet og levetid for motoren.

## 2.d - Identifisering & sammenligning av miljøpåvirkning, basert på olje og drivstofforbruk.

Det er utviklet forslag til analytiske implementeringer av driftsparameterdata. Forslagene fokuserer på å informere vedlikeholdsledelsen og operatørene om enhetens driftsprofil. Informasjonen brukes til optimalisering av drivstofforbruk, og evaluering av behov for videre tiltak for forebygging av uønskede driftsmønstre, som f.eks. dødkjøring og full gass. I tillegg anbefales å tallfeste det kumulative drivstofforbruket fra de forskjellige uønskede driftsmønstre.

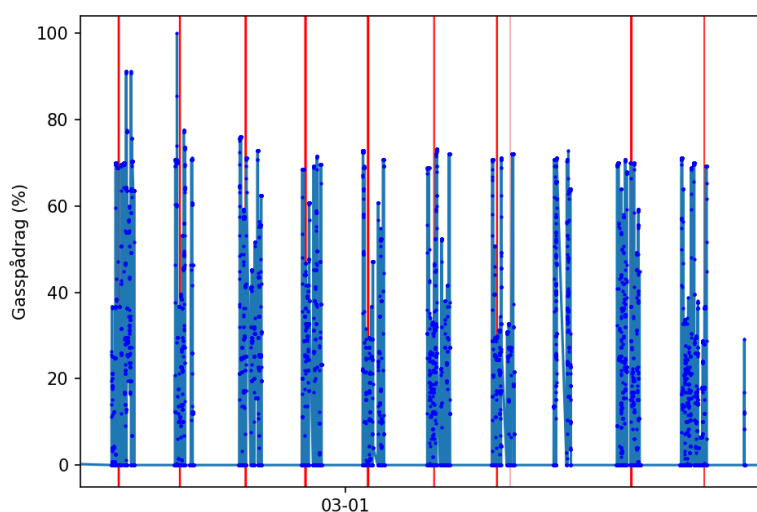
**Driftsprofil for dødkjøring:** Statistikk og plot av gasspådrag over tid, viser og kvantifiserer perioder med dødkjøring. Fra ytelseskurve, ble det vurdert at 85% pådrag var mest hensiktsmessig som grense:

Plottet er for en periode på 100 dager, med identifisert dødkjøringstid på totalt 26 minutter.



Figur 40 Plot med identifisert dødkjøringstid for en periode over 100 dager

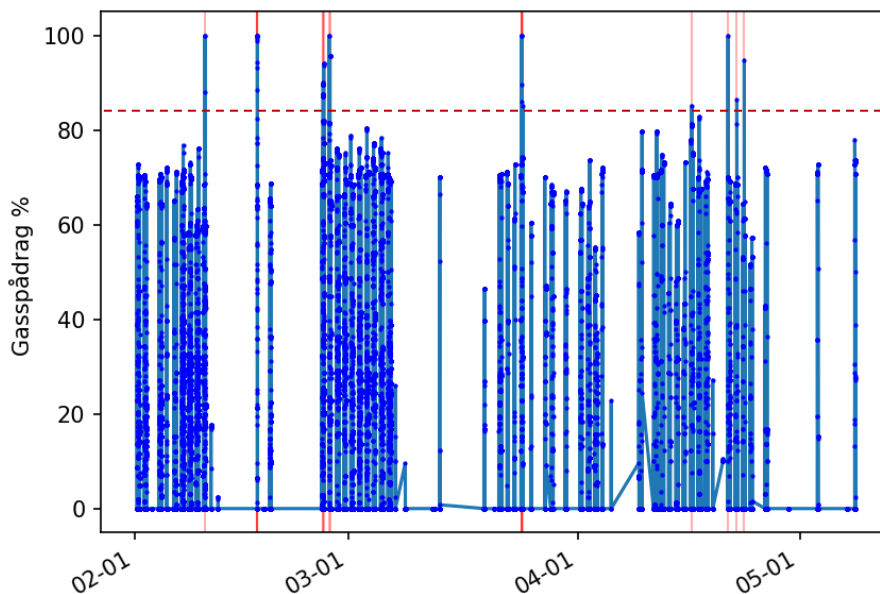
De røde linjene markerer intervaller med identifisert dødkjøring.



Figur 41 Dødkjøring var svært regelmessig i store deler av første kvartal 2024

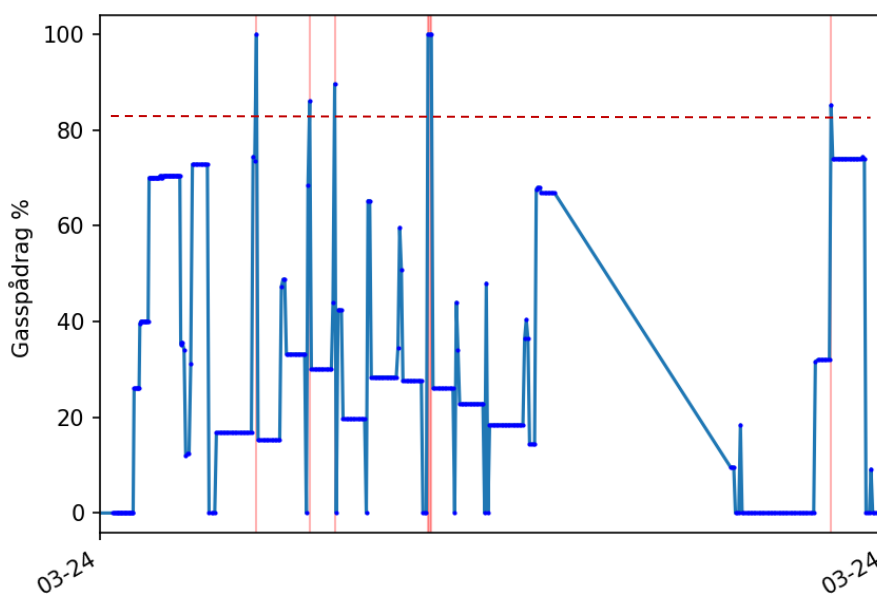
**Driftsprofil for gasspådrag:** Statistikk, og plot som viser forholdet mellom gasspådrag og drivstoff forbruk over tid:

- Total oppholdstid over grensen: 0:09:30
- Indikatorscore: 98.062



Figur 42 Python plot for Gasspådrag over 3 mnd. Med alarmgrense på 85 % (markert med rød stiptet linje)

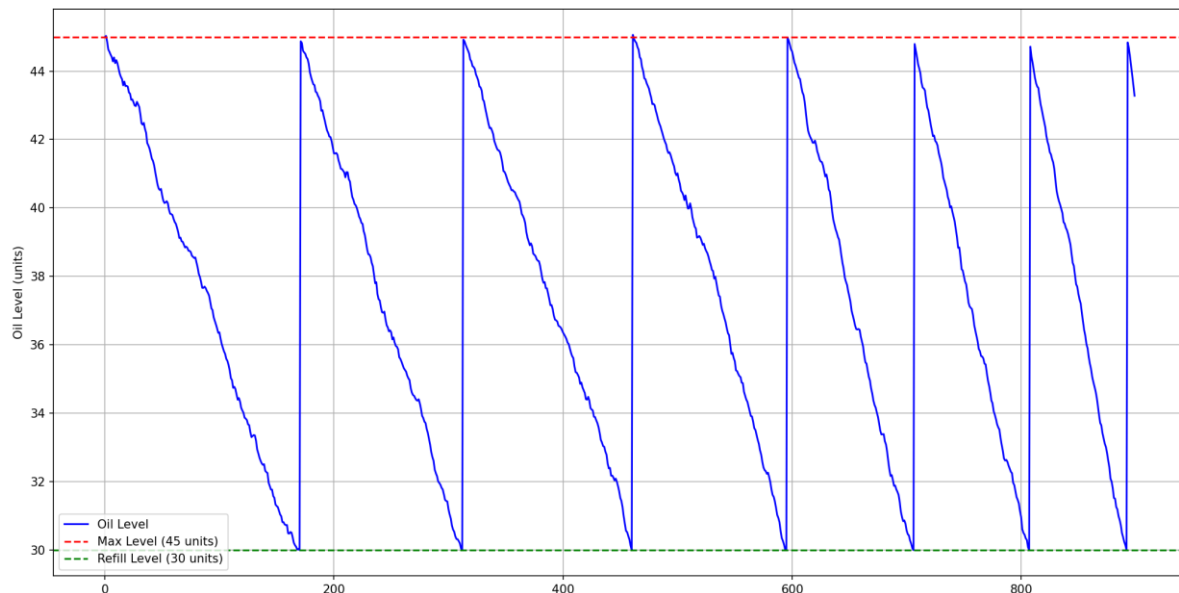
De blå prikkene er individuelle målinger, gjennomført med 5 sekunders intervall så lenge motoren er aktiv. Skrå strake linjer indikerer endring i gassposisjon når motoren er avskrudd. Lengste enkelttid over grensen var på 2 minutter, den 24. mars kl.10:01:30



Figur 43 Gasspådrag alarmer for 24.Mar - Dagen med lengste enkelttid over grensen.

**Oljeforbruk som tilstandsparemer:** Nivåmåler for olje er anbefalt for å skape bedre oversikt og statistikk for oljeforbruket ved fremdriftsenheten. Påfyllingshyppighet kan brukes som tilstandsparemer, spesielt hvis det sees i sammenheng med brukstimer.

Det er generert eksempel-data for å vise hvordan slike målinger kan visualiseres:



Figur 44 Test-plot for oljenivåmålinger over tid, med økende oljeforbrukshastighet og påfyllingshyppighet.

I plottet, er påfyllingshyppigheten doblet mellom start og slutt.

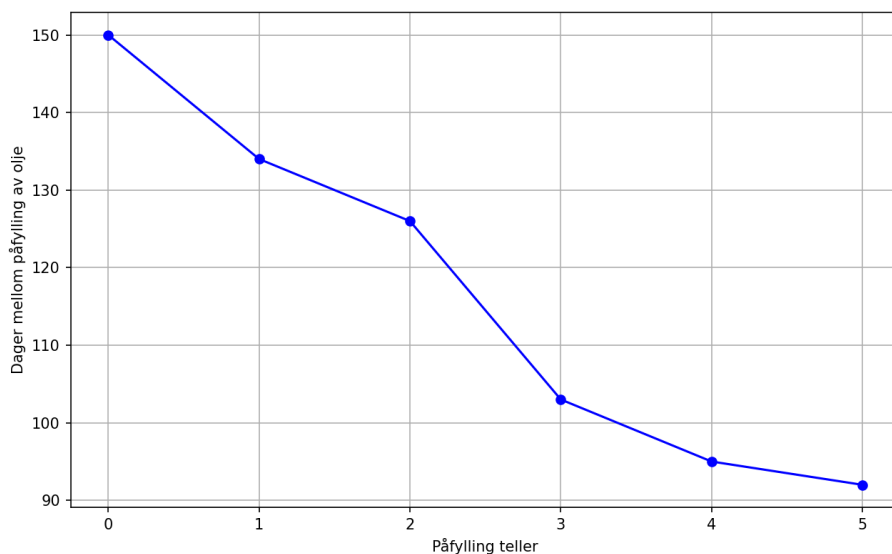
- Totale påfyllinger: 6
- Minimum-, Gjennomsnittlig-, og Maksimum forbruksrate: 0.08 / 0.114 / 0.154 (enheter/tid)

Her hadde tallfesting av påfyllingshyppighet (etter dager/brukstimer) vært en nyttig indikator for motorens- og smøresystemets tilstand. En gradvis endring i oljeforbruk forventes med innkjøring av motoren. Men, raske endringer kan indikere høy slitasje og eventuelle lekkasjer. Som vist på neste side

## 2.e - Analyse av tilstandsparemeterdata

Når enheten er i tilnærmet ny tilstand, vil avvik typisk være akutte feil, i motsetning til feil med lang forvarslingsstid. Etter hvert som enheten kommer nærmere slutten av levetid, vil degradering av enkelte motoren, og enkelte undersystemer bli synliggjort gjennom en trendanalyse.

På forrige side vises figur for oljenivåmålinger, som illustrerte degradering av enheten, gjennom økt påfyllingshyppighet. Et plot for «dager mellom påfyllinger» over «teller for antall påfyllinger», ville illustrert degradering tydeligere:



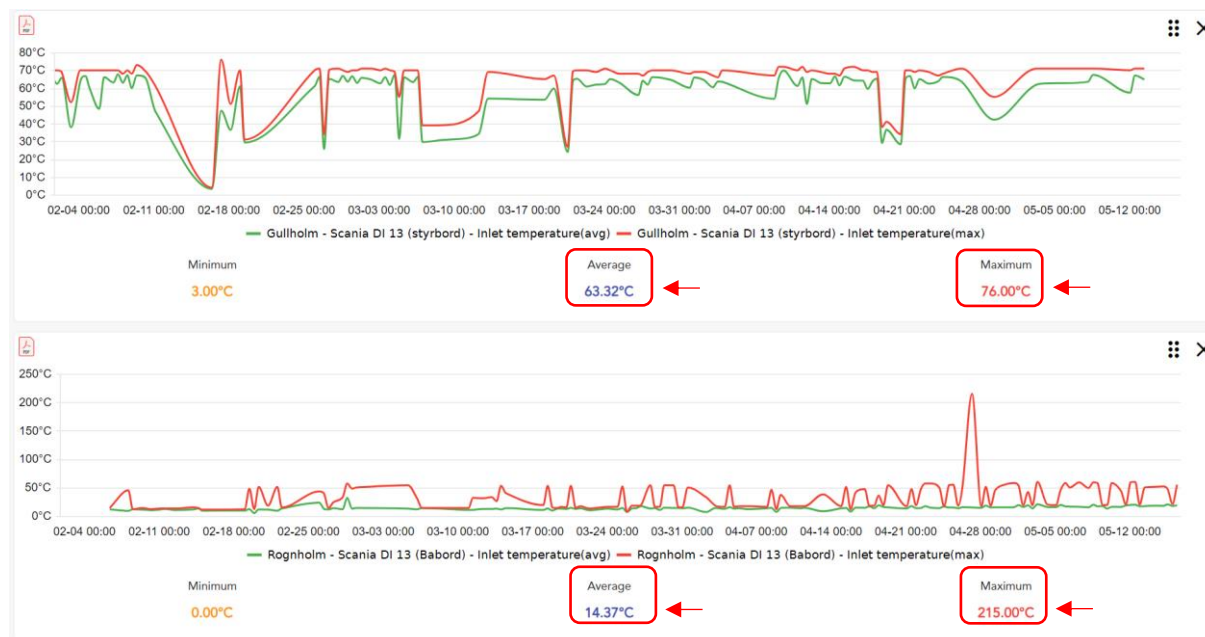
*Figur 45 Eksempel-plottet viser en rask endring i påfyllingshyppighet etter påfylling nr.2, før den igjen jevnes ut - som kan indikere en feil i smøresystemet, eller motorens tilstand.*

**Trend-analyser:** Registrering av avvik fra ny-tilstand (referanse) over tid kan brukes til å lage prognoser eller trender som viser sannsynlig tidspunkt for overskridelse av grenseverdier. Disse trendene kan hjelpe til med å bestemme spesifikke alarmgrenser med potensielle forvarslingsintervaller før svikt, spesielt i forhold til identifiserte trender fra data registrert i perioder før svikthendelse.

**Statistisk sammenligning:** Sammenligning av data fra flere båter med samme motor benyttes til identifisering av avvik, og eventuelle trender.

Figuren under viser resultat av en sammenligning mellom innsugstemperatur fra to båter Gullholm, og Rognholm.





Figur 46 Innsugstemperatur, Gullholm (øverst), og Rognholm (nederst). Gj.snitt(grønn) og maksimum

To avvik bemerkes:

1. Gullholms gjennomsnittlige innsugstemperatur er nesten 50°C over Rognholm.
2. Rognholm hadde en periode med maksimum innsugstemperatur 200°C over gjennomsnittet.

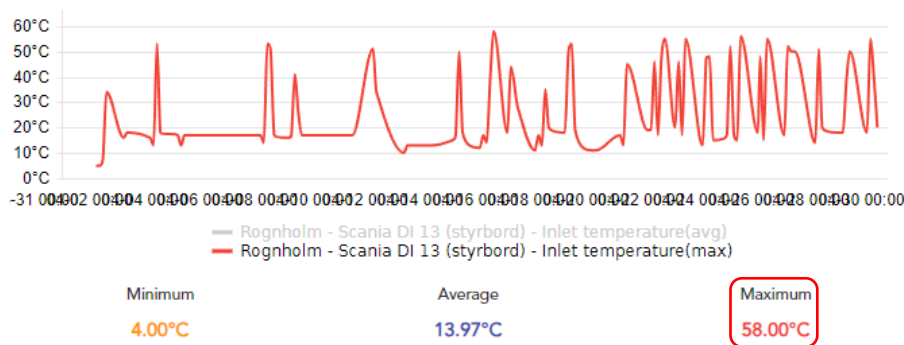
#### Videre figurforslag:

- **Histogram:** Fordeling av tilstandsparameterverdier for å identifisere normalt tilstand og avvik.
- **Bruk av trendgrafer:** for å visualisere f.eks. oljenivå og påfyllingshastighet. Disse grafene kan vise tidsserier med data som hjelper i å identifisere mønstre og avvik.
- **En prognosekurve:** som viser forventet tid til svikt for en spesifikk komponent basert på historiske data.
- **Scatterplott:** for å korrelere forskjellige tilstandsparametere, som for eksempel drivstofforbruk mot ytelse, for å avdekke sammenhenger som kan indikere begynnende svikt.

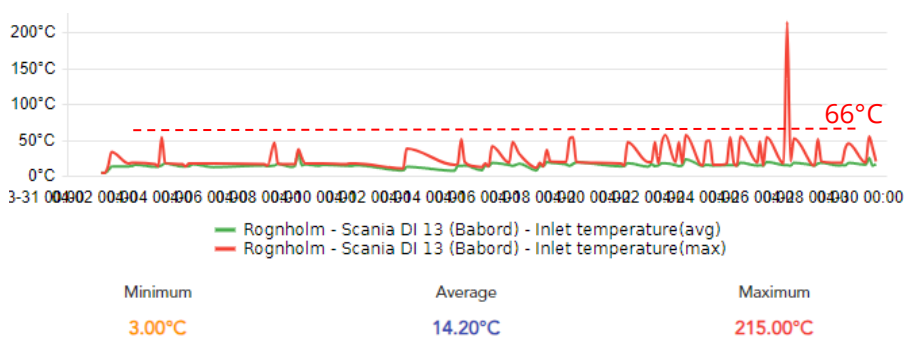
## 2.f - Fastsetting av alarmgrenser.

Dette målet samsvarer med 2.c. Grenseverdier kan fastslåes ut fra referanseverdier  $\pm 10\%$ .

Vi henviser til plottet over innsugstemperatur fra 2.e, og sammenligninger med like enheter i nytilstand. I dette tilfellet kan vi bestemme denne til 58 °C: Deretter beregnes alarmgrense fra referanseverdi +10%, til 66°C:



Figur 47 Referanseverdi kan beregnes fra historiske data



Figur 48 Alarmgrense, på 66 °C innsugstemperatur

Etter en feil i en enhet er det viktig å analysere dataene fra perioden som ledet opp til feilen. Ved å undersøke denne dataserien kan man identifisere trender eller avvik som gradvis utviklet seg og til slutt resulterte i enhetens svikt. Gjennom en slik analyse er det mulig å estimere en forvarslingsstid – det vil si hvor lang tid det er fra de første indikatorene på en potensiell feil oppstår, til selve feilen inntreffer. Alarmgrensen vil bli satt slik at det gis tilstrekkelig forvarslingsstid, så vedlikehold kan planlegges før grenseverdien nås.

Implementering av sensorbasert tilstandskontroll gjør det mulig å analysere trender som leder opp til svikt. Dette kan gi verdifull innsikt i tidlige varslings signaler og kritiske parametere som må overvåkes for å forhindre fremtidige feil. En systematisk tilnærming til feilanalyse bidrar til bedre forståelse av enhetens drift og kan implementeres for å styrke vedlikeholdsstrategien.

### 5.2.3 Datavisualisering og Implementering:

<b>2.g</b>	Utvikle metoder for effektiv visualisering av tilstandsparameterdata.
<b>2.h</b>	Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

*Tabell 24 Målene besvart i del 5.2.3*

#### **2.g - Utvikle metoder for effektiv visualisering av tilstandsparameter.**

Det er utviklet forslag til analytiske & praktiske implementeringer av visualisering for tilstandsparameter. Analytiske implementeringer er nærmere dekket under resultatmål 2.e. Til hjelp for evalueringen av enhetens degradering, og praktiske implementeringer for fasilitering av rask avviksbehandling. Det vil være nødvendig å fastslå **alarmgrenser**, som indikerer sviktutvikling. Det henvises til bl.a. figur for oljenivåmålinger (figur 44, side 84) og påfyllingshastighet (figur 45, side 85).

#### **Praktiske implementeringer av visualisering:**

**Forbedring av visning i Seacloud:** Sortering og beskrivelse av parameter, etter kritikalitet- og undersystem fra FMECA.

**Informering til operatør:** Indikatorer for enhetens drift og tilstand må informeres til operatør. I første omgang gjennom implementering av disse i Aquacom CMMS. Der burde indikator for perioden vises (f.eks. 100 siste dager), sammen med nylige endringer til indikator fra f.eks, dag/uke.

**Trafikklysmetoden:** Fargekoder for forskjellige nivåer, som skaper klare inntrykk av avvik fra referanseparameter. Grønn, gul og rød for henholdsvis ok, overvåk nøyere/planlegg tiltak og tiltak må iverksettes.

**Integrering med skipsdatasystemer:** som kan vise sanntidsdata på skjermer i kabinen for kontinuerlig overvåking. Audio/visuelle varsler i kabinen hvis spesifikke tilstandsparameter krysser grensene, for fasilitering av hurtig inspeksjon ved avvik. Samme system kan også varsle når motoren kjøres i uønskede driftsmønstre.

**Automatiske varslinger:** SMS eller e-postvarsler som sendes til teknisk- og vedlikeholds ansvarlig når parameter nærmer seg eller overskrider en alarmgrense. Og perioderapporter som sendes til både operatør og teknisk ansvarlige.

## 2.h - Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

Fra 2.b: **Evaluere eksisterende datapunkter/tilstandsparameter i Seacloud, for fremdriftsenhetene i den valgte arbeidskatamaranen:**

- Presenter datapunkter i definerte grupper, for fasilitering av lesbarhet og tydelighet.
- Oppgrader beskrivelsen av datapunkter og tilstandsparameter i Seacloud, med inkludering av forklarende tekst for hva som måles, og nøyaktig beskrivelse av sensorens plassering.
- Inkluder referanseverdier og alarmgrenser i visningen.

Fra 2.c: **Metoder for fastsetting av tilstandsparameter og grenseverdi for DI13:**

- **Tilstandsparameter:** Identifiser basert på funn fra FMECA, og eventuelle Rotårsaksanalyser, der målinger av fysiske størrelser effektivt kan benyttes som grunnlag for å overvåke enhetens tilstand og informere om svikt eller sviktutvikling.
- **Referanseverdier:** Når motorene er forholdsvis nye, kan bedriften sammenligne måleverdier for de relevante tilstandsparameterne for alle DI13 enhetene i flåten. Innhentede data kan da bli brukt til å definere en ny-tilstand.
- **Grenseverdier:** For å bestemme grenseverdier kan en sette nivågrenser i forhold til referansenivåer  $\pm 10\%$ . Ved overskridelser av grenseverdi burde inspeksjon følge, for å vurdere om grensen faktisk indikerer feilutvikling. Det er viktig å også vurdere om avvikene kan komme fra andre steder i enheten enn undersystemet de er koblet til, eventuelt sensorfeil.

Under 2.d: **Å identifisere og sammenligne miljøpåvirkning basert på olje og drivstofforbruk:**

Det er utviklet forslag til analytiske anvendelser av tilstandsparameterdata, som fokuserer på å informere vedlikeholdsledelsen og operatørene om enhetens driftsprofil, til bruk i evaluering av behov for videre tiltak for optimalisering.

- **Driftsprofiler:** Statistikk, indikatorer, og graf som viser forhold mellom gasspådrag og drivstofforbruk over tid **gjøres tilgjengelig for operatør**. Slik at hen oppfordres til optimalisering av sin utnyttelse av båten. Ved båter med hyppige opphold i uønskede driftsprofiler kan implementering av visualisering i kabinen, evt. sterkere tiltak vurderes.

Under 2.e: **Analyse av tilstandsparameterdata:**

For å praktisk implementere analyser av tilstandsparameterdata, er det nødvendig med forbedring av Seacloud-plattformen.

### 5.3 Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet:

Resultatene til resultatmålene som omhandler «Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet vil bli presentert her.

#### 5.3.1 Analysebaserte Forbedringstiltak:

<b>3.a</b>	Utforsk mulige drift- & vedlikeholdstiltak basert på analyser av innsamlede data og metoder.
<b>3.b</b>	Evaluere drift- & vedlikeholdstiltak basert på deres nytteverdi, effektivitet og egnethet.

*Tabell 25 Målene besvart i del 5.3.1*

#### **3.a - Utforsk mulige drift- & vedlikeholdstiltak basert på analyser av innsamlede data og metoder.**

Ut ifra analysene av data og metoder er det flere drift- og vedlikeholdstiltak som kan være gode forslag til implementeringer for Mowi, for videreutvikling av tilstandsbasert vedlikehold. Under kommer utviklede forslag:

- **Identifisering av tilstandsparameter:** Kan videreføres med bakgrunn i videreutvikling av FMECA - sviktmode og konsekvensklassifisering.
- **Forbedring av Seacloud:** Inkludering av referansenivåer og alarmgrenser for de allerede inkluderte tilstandsparameterne, forklaring av disse, og med sortering etter kritikalitet og kategorisering – fra FMECA.
- **Forbedring av prosessering til Rådata:** Analyser av tilstandsdata kan forbedres ved oppgradering av nedlastningsfunksjonalitet.
- **Implementering av drifts indikatorer for optimalisering av driftsmønster:** Reduser miljøpåvirkning, forbedre levetid og drivstofføkonomi gjennom bedre formidling av uønskede driftsprofiler.
- **Implementering av visualisering i kabinen:** Dette vil muliggjøre rask identifisering av uønskede driftsprofiler og forbedre beslutningsgrunnlaget for operatøren.
- **Investering i bedre dekning for sanntidsanalyser:** Dette vil legge til rette for rask fasilitering av avviksbehandling gjennom praktiske visualiseringsmetoder

- **Implementering av oljenivåsensor:** Med dagens innsamlingsmetodikk kan by på utfordringer, men det vil kunne gi kritisk informasjon om motorens tilstand og bidra til forebygging av feil.
- **Implementering av vibrasjon- og lydsensor:** Dette vil kunne gi tidlig varsling om noe unormalt skulle oppstå i roterende undersystemer, som kan være tegn på potensielle problemer. En implementering vil hjelpe med å forutse svikt, og uforutsette driftsstans kan unngås.

### **3.b - Evaluere drift- & vedlikeholdstiltak basert på deres nytteverdi, effektivitet og egnethet.**

Drift- og vedlikeholdstiltakene som ble nevnt ovenfor i resultatmål 3.a er tiltak som kan bidra til forbedret driftssikkerhet og vedlikehold, samtidig som nedetiden kan reduseres. Det anbefales å prioritere tiltakene basert på nytteverdi og hvor praktiske implementeringen er for bedriften.

#### **1. Identifisering av tilstandsparameter**

- **Nytteverdi:** Identifisering av kritiske tilstandsparametere er fundamentalt for å oppdage tidlige tegn på feil og skader. Ved å bruke FMECA kan bedriften fokusere på de mest kritiske områdene for vedlikehold, noe som øker driftssikkerheten og reduserer risikoen for uforutsette feil.
- **Effektivitet:** Å identifisere tilstandsparametere gjør det mulig å utføre tilstandsbasert vedlikehold, som er mer kostnadseffektivt enn tradisjonelt tidsbasert vedlikehold. Dette gir raskere respons på problemer og reduserer nedetid.
- **Egnethet:** Denne tilnærmingen er spesielt egnet for komplekse systemer som dieselmotorer, hvor ulike parametere som temperatur, trykk, og vibrasjon kan gi indikasjoner på maskinens helse. Det er en praktisk metode som kan tilpasses bedriftens spesifikke behov og driftsscenarioer.

#### **2. Forbedring av Seacloud**

- **Nytteverdi:** Ved å inkludere referansenivåer og alarmgrenser for tilstandsparameter, kan systemet raskt identifisere og varsle om avvik. Dette forbedrer beslutningstaking og vedlikeholdsplanlegging.
- **Effektiviteten** Alarmgrenser gjør at man kan reagere raskt på problemer før de eskalerer, noe som reduserer nedetid og vedlikeholdskostnader.

- **Egnethet:** Dette tiltaket er svært relevant for systemer som krever kontinuerlig overvåking. Det er praktisk å gjennomføre i eksisterende systemer og gir stor verdi uten å kreve betydelige ressurser.

### 3. Forbedring av prosessering til rådata

- **Nytteverdien:** Bedre analyser av tilstandsdata kan gi dypere innsikt i maskinens ytelse og helse, som igjen kan forbedre vedlikeholdsstrategiene.
- **Effektivitet:** Økt kapasitet for dataanalyse muliggjør raskere og mer nøyaktige beslutninger, noe som kan forebygge kostbare feil.
- **Egnethet:** Dette tiltaket er relevant og nødvendig i en tid hvor datamengden øker. Bedre prosessering av rådata krever en investering i teknologi og kompetanse, men dette er ofte nødvendig for å holde følge med moderne vedlikeholdsbehov.

### 4. Implementering av visualisering i kabinen

- **Nytteverdien** av dette er at operatørene vil kunne oppdage uønskede driftsprofiler raskt, dette kan medføre forbedring av beslutninger og driften.
- **Effektiviteten** av implementeringen vil gi raskere respons når uønskede driftsprofiler oppstår, og nedetid kan reduseres.
- **Egnethet:** Tiltaket er relevant da det vil gi operatører god oversikt over driften av motoren. Det vil kreve en implementering som vil medføre en kostnad som er relativt liten. Opplæringen av en slik implementering vil være ganske generell og enkel da operatørene allerede har god kjennskap til båten.

### 5. Investering av dekning for sanntidsanalyser

- **Nytteverdien** av en slik investering er å få forbedret sanntidsanalysene. Det vil føre til raskere deteksjon og håndtering av avvik.
- **Effektiviteten** en optimalisering av sanntidsdataen vil medføre er muligheten man har til å reagere raskt på problemer.
- **Egnethet:** Tiltaket står sentralt for systemer som trenger kontinuerlig overvåking og rask respons under drift. En slik implementering kan bli kostbar, men kan til gjengjeld redusere nedetiden som vil være økonomisk gunstig.

### 6. Implementering av oljenivåsensor

- **Nytteverdien** av en slik implementering er at den gir informasjon om motorens tilstand.

- **Effektiviteten** det gir er at det gir varslng av lavt oljenivå. Hvor nyttig dette er vil være avhengig av nøyaktigheten og påliteligheten til sensorene. Implementeringen kan fjerne daglige gjøre mål som vil gi rom for mer effektivitet til annen drift.
- **Egnethet:** Med dagens innsamlingsmetodikk vil det være utfordringer knyttet til en slik implementering, men nyttig for motorens pålitelighet og driftssikkerhet. For en slik implementeringer må det gjennomføres noen teknologiske oppgraderinger.

## 7. Implementering av vibrasjon- og lydsensor

- **Nytteverdien** av en slik implementering vil medføre tidlig varslng om potensielle problemer, slik at vedlikehold kan planlegges. Dette kan forhindre uforutsette driftsstans og forlenge levetiden til utstyret.
- **Effektiviteten** av en slik investering vil forbedre overvåkingen i sanntid, og gi tidlig varslng ved avvik. Dette vil være positivt for motorens drift og reduserende med tanke på vedlikeholdskostnadene.
- **Egnethet:** For maskineri som motoren som er fokus i prosjektet er dette metoder som er svært relevante. En implementering av enten vibrasjon- eller lydsensor vil være litt kostbart, da det trengs sensorer og programvarer. Det vil samtidig være behov for opplæring av operatører og personell ved slike investeringer.



### 5.3.2 Utvikling av forslag:

<b>3.c</b>	Foreslå egnede metoder og forbedringstiltak, for Mowi.
------------	--

*Tabell 26 Mål besvart i del 5.3.2*

#### **3.c - Foreslå egnede metoder og forbedringstiltak, for Mowi.**

**Identifisering av tilstandsparameter** Ved å videreutvikle FMECA for kritisk produksjonsutstyr kan Mowi systematisk identifisere de mest kritiske tilstandsparametre for dieselmotoren, og resten av oppdrettsflåten. Dette inkluderer parametere som temperatur, trykk, vibrasjon, og oljenivå. Installer sensorer som kontinuerlig overvåker disse parameterne og integrerer dataene i Seacloud-systemet for analyse. Dette gjør det mulig å oppdage tidlige tegn på feil og iverksette forebyggende vedlikeholdstiltak.

**Forbedring av Seacloud:** Inkluder referansenivåer og alarmgrenser for de allerede inkluderte tilstandsparameter i Seacloud-systemet. Alarmgrenser kan kategoriseres og forklares slik at operatørene raskt kan forstå og reagere på avvik. Dette kan inkludere visuelle alarmer som varsler ved kritiske tilstander og driftsmønstre – for å forhindre forhastet degradering, og forbedre drivstofforbruk. Videre kan oppgradering av nedlastningsfunksjonen for rådata forenkle analysearbeid.

#### **Forbedring av prosessering av rådata**

Øk kapasiteten for dataanalyse ved å bruke avanserte algoritmer og maskinlæring for å behandle store mengder tilstandsdata effektivt. Implementer skybaserte løsninger for dataanalyse som muliggjør sanntidsbehandling og -overvåking. Dette kan bidra til å bedre forutsi feil før de oppstår og optimalisere vedlikeholdsrutiner.

**Visualisering** i kabinen kan være et vedlikeholdstiltak ved implementering av en lampe kan være et godt vedlikeholdstiltak (trafikklysmetoden). Når lampen lyser, vil det indikere at driftsmønstrer og kjøringen er i uønsket tilstand, det gjør det enkelt for personell og forholde seg til. Tiltak for å oppnå ønsket tilstand kan da bli gjort umiddelbart.

**Oljenivåsensor** er et vedlikeholdstiltak som kan fjerne eventuelle sjekklister, som daglig oljenivåsjekk. Det vil bli enklere å se om påfyllingshyppigheten øker, ettersom vurderingen til kontrolløren blir tatt bort. I stedet blir det satt et standard nivå og påfyllingsmengde, som gir mer presise data.

**Vibrasjonssensor og -analyse** er et drift- og vedlikeholdstiltak som kan hjelpe med overvåkning av roterende maskineri i motoren, som f.eks. turbo og pumpe. Et akselerometer må i dette tilfellet implementeres og et program som kan hente ut resultatene.

**Lydsensor og -analyse** kan detektere og lokalisere ulyder i motoren. Implementering av slikt utstyr vil bidra til enklere overvåkning av motoren og detektering av feil, som vil være et drift- og vedlikeholdstiltak. For en slik implementering må en investere i et akustisk kamera, som er kostbart.

**Trykkdifferansesensor over filter** vil indikere om filteret tettes. Oljetrykket skal ligge mellom 3 og 6 bar ved bruk, og luftfilteret tillater et trykktap opptil 65mb. Ved å måle trykktapet over filtrene kan verdiene settes som grenseverdier for når vedlikehold skal utføres.

**Lambdasensor** gir indikasjoner om at en feil er i ferd med å utvikle seg. Lambdasensoren kan indikere hvilket undersystem det er noe galt med, men ikke spesifikke komponenter. Avvikende verdier for lambda utløser inspeksjon og feilsøking.

## 6 Diskusjon

I diskusjonskapittelet vil funnene fra resultatdelen bli diskutert og deres betydning og utfordringer vil bli knyttet til drift og vedlikehold. Kapittelet vil ta for seg hvordan dataene og resultatene støtter eksisterende teorier og praksiser, men også utforske potensielle forbedringer, tekniske utfordringer og metodikker for videreutvikling knyttet til drift og vedlikehold.

Gjennom en detaljert FMECA-analyse av undersystemer, og diskusjon av andre spesifikke teknikker som vibrasjons- og lydanalyse, vil det trekkes sammenhenger mellom resultater/funn og teoretisk forståelse. Avslutningsvis vil diskusjonen vurdere hvordan funn i rapporten kan bidra til å nå FNs bærekraftsmål, samt identifisere feilkilder som kan ha påvirket resultatene. Diskusjonskapittelet har som hensikt å vise god forståelse av prosjektets utfordringer og bidra til en felles forståelse av de tekniske aspektene knyttet til drift og vedlikehold.

## 6.1 Systemkunnskap og driftsoversikt

<b>1.a</b>	Bli kjent med vedlikeholdsfilosofien/strategien til Mowi.
<b>1.b</b>	Bli kjent med Mowis vedlikeholdstyringssystem - Aquacom.

Resultatdelen viste til at Mowi bruker tidsbestemt vedlikehold i dag, der vedlikeholdsstrategien baserer seg på leverandørens anbefalinger. Baserer man vedlikeholdet på anbefalingen fra leverandøren kan man risikere å gjennomføre vedlikehold selv om at det ikke er nyttig. Uforutsette feil og svikt gjenopprettes ved korrektivt vedlikehold frem til at kost/nytte analyser sier det ikke er fordelaktig.

Gjennom kartlegging av vedlikeholdsfilosofien til Mowi har det vært noe mangelfull systematisering av intervjuene, fra gruppen sin side. Gjennom den anvendte struktureringen, kan enkelte detaljer ha falt fra, og enkelte presiseringer kan ha blitt misforstått på et senere tidspunkt. Spesielt med tanke på Aquacoms oppbygning.

## 6.2 Operasjonell Kontekst og Vedlikeholdsplaner

<b>1.c</b>	Bestemme en arbeidskatamaran fra Seacloud-prosjektet å sette søkelyset på.
<b>1.d</b>	Bli kjent med vedlikeholdsplan, -historikk og operasjonell kontekst for båten.
<b>1.e</b>	Utarbeide oversikt over vedlikehold for fremdriftsenheten fra båten.

For oppgaven ble båten Gullholm valgt, denne båten fikk Mowi i 2023 og den ble en del av Seacloud prosjektet. Under første befaring var dette en av arbeidskatamaranen det ble sett på, noe som var en av årsakene til at den ble satt fokus på. Siden Mowi fikk den i 2023 er den nokså ny og har begrenset med vedlikeholdshistorikk, som gir mindre grunnlag til å lære av tidligere avvik, samt for utarbeiding av rotårsaksanalyser. I ny tilstand vil det være lettere å definere referanseparameter og å sette hensiktsmessige alarmgrenser fra disse.

Det har likevel vært noen feil og barnesykdommer som ble presentert i resultatdelen. Rotårsaksanalyser av disse er ikke inkludert videre i FMECA pga. avgrensingene satt. Barnesykdommer er samtidig ikke de mest interessante tilstandsbasert vedlikehold, da de oppstår plutselig, og med lite forvarsling.

I prosjektet kunne en annen båt med mer vedlikeholdshistorikk enn Gullholm blitt vurdert. Det kunne da ha kommet frem andre resultater. Gullholm var likevel nyttig å se på, da den har flere parameter inne i Seacloud, mens arbeidskatamaranene med mer vedlikeholdshistorikk hadde færre.

Oversikten som ble utarbeidet over vedlikeholdet blir i resultatdelen presentert i to tabeller. De viser god oversikt for vedlikeholdet og sjekklister for Scania DI13 marinmotoren. Mowi har sagt at de følger leverandørens anbefalinger, og tabellene har tatt utgangspunkt i Instruksjonsboken for fremdriftsenheten. Det gjør at validiteten for oversikten skal være god og nøyaktig.

## 6.3 Teknisk Oversikt:

<b>1.f</b>	Identifisere kritiske komponenter for den valgte DI13 fremdriftsenheten.
------------	--

### 6.3.1 FMECA

Resultatene fra FMECA- analysen som ble gjennomført for å skape et grunnlag for vurdering av hvilke parameter som bør overvåkes på fremdriftsenheten, og des anvendelser.

Analysen hadde begrenset omfang, og gikk ikke ned på laveste komponentnivå på motoren. Ideelt sett burde en slik analyse utarbeides gjennom designfasen til analyseobjektet, og i det minste - baseres på erfaring og ekspertise med det. For å kunne utarbeide en grundig FMECA helt ned på komponentnivå vil det være nyttig å ha muligheten for demontering av objektet.

Validiteten til FMECA-en vil være begrenset da det i analysen ble avgrenset til undersystem. For prosjektet ble gode funn gjort i analysen gjennom analysen, men for bedriften kan en fullstendig og grundig FMECA potensielt gi flere nyttige funn, som vil tillate mer helhetlig tilstandskontroll.

En fullstendig og detaljert FMECA på laveste komponentnivå er en tids- og ressurskrevende prosess, men kan gi oppsiktsvekkende og nyttige beslutningsgrunnlag. Mowi kan derfor undersøke om motorprodusenten har utført FMECA i forbindelse med designet av motoren, og utføre eventuelle endringer som anses nødvendig.

Om FMECA ikke er tilgjengelig fra motorleverandør, kan bedriften vurdere kost/nytte som kreves for å utføre en fullstendig og detaljert FMECA for Scania DI13.

Dette var ikke mulig i forbindelse med prosjektet og gruppen avgrenset derfor FMECA-en til fremdriftsenhetens undersystemer, som nevnt i metoddelen (side 50). God grunnforståelse om motoren vil gjøre en grundig analyse relativt mye enklere, og mer presis. Denne informasjonen kan skaffes gjennom maskintegninger, datablader, analyse av vedlikeholdshistorikk og demontering av enheten.

## 6.4 Datainnsamling og Evaluering:

Resultatene for Datainnsamling og Evaluering, vil diskuteres med fokus på validitet.

### 6.4.1 Hvordan pre-prosesseres data?

<b>1.g</b>	Gjør rede for Målekjede og -utstyr benyttet for innsamling av driftsdata.
------------	---

Målekjeden ble kartlagt og beskrevet, men det går ikke i detaljnivå for å kontrollere hvert steg av prosessen på grunn av møter med bedriften som indikerte at det hadde vært deres fokusområde i perioden før prosjektets oppstart:

- Oppbyggingen av, og logikken i programvaren på Gateway som hentet ut målinger fra ECU, ble ikke kontrollert.
- De individuelle iboende motorsensorene ble heller ikke kontrollert.

Fra møte med utviklerne av Seacloud ble introduserende spørsmål om pre-prosessering, og det tekniske målesystemet besvart. Det er mulig at det oppstod misforståelser til deler av forklaringen.

### 6.4.2 Hvordan prosesseres data?

<b>1.h</b>	Bli kjent med funksjonalitet i Seacloud og behandling av sensor rådata.
------------	---

En mangel med resultatene fra dette målet, som også nevnt tidligere i diskusjonen, er manglende innsikt i utviklings-siden av Seacloud. Funksjonalitet i Seacloud-plattformen, ble avklart gjennom en noe begrenset systemtilgang, i tillegg til et møte med utvikleren hvor gruppen fikk litt mer innblikk. Med tilgangen kunne en navigere dashboardet, tilpasse forskjellige historiske grafer og automatiske rapporter, og laste ned rådata fra målinger. Aktivering av alarmgrenser kunne ikke gjennomføres med tilgangen. Alarmgrenser ble gjennomgått i møtet.

Behandling av rådata gjennom egen kode, var nødvendig for de oppnådde resultatene. Fremgangsmåten kan avvike fra beste praksis innen koding, statistikk, og databehandling, og logikken burde testes nøyere, før reel implementering i bedriftens CMMS.

### 6.4.3 Hvordan er data validiteten?

<b>2.a</b>	Vurdere datapunkter, -kvalitet og innsamlingsmetodikk fra DI13 ECU.
------------	---

**Datakvalitet:** På generell basis antas datakvaliteten som tilstrekkelig, ettersom den leses direkte fra motorstyreenheten, via CAN Bus. Dette er naturligvis med forbehold om at sensorene måler korrekte verdier, som burde kontrolleres med punktmålinger på inspeksjon etter avvik, og eventuelt jevnlig kalibrering.

**Innsamlingsmetodikk:** Innsamlingsmetodikken ansees også som god, men med visse mangler: Enkelte av datapunktene samles og loggføres på forskjellige måter. Gasspådrag loggføres hvert 5 sekund motoren er på. Mens fartøyets hastighet loggføres sjeldnere - en gang i minuttet.

Enda en utfordring er at dataene gjerne mellomlagres til båten er tilbake ved kai, avhengig av dekning, slik at sanntidsanalyser ikke alltid er mulig. Mowi kunne investert i bedre dekning for å muliggjøre sanntidsanalyser. Dette er dyrt, men nødvendig for å kunne analysere og utnytte data i sanntid.



## 6.5 Identifisering av tilstandsparameter for Fremdriftsenhetene

Resultatene og funnene for identifisering av tilstandsparameter vil diskuteres.

### 6.5.1 Hva samles inn?

<b>2.b</b>	Evaluere tilstandsparameter i Seacloud, for den valgte DI13.
<b>2.h</b>	Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

Klassifiseringen av de forskjellige tilstandsparameter, med grunnlag i FMECA-analysen, betraktes som viktige funn fra beste praksis. I gjennomførelsen av FMECA, kan viktige detaljer og sammenhenger ha blitt oversett. Likevel menes det at implementering av funnene, vil forenkle og forbedre det tilstandsbaserte vedlikeholdsarbeidet hos bedriften. Samtidig, er det viktig ved avvik å vurdere at feil i ett undersystem, kan ha uidentifiserte følgekonssekvenser i et annet. Rotårsaksanalyser kan benyttes for å oppklare slike tilfeller.

Metodikken vil gi en klar oversikt over hva som blir overvåket i de forskjellige systemene, og vil hjelpe med å evaluere hvilke parameter som kan anses som «overflødige» i det daglige, og enda viktigere - hvilke av tilstandsparameterene som er kritiske å overvåke, og reagere på.

### 6.5.2 Forslag av metodikker

<b>2.c</b>	Identifisering av tilstandsparameter og fastsetting av grenseverdi for DI13.
<b>2.h</b>	Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

Ettersom Gullholm og fremdriftsenhetene dens er i starten av sin levetid, regnes de å ha degradert svært lite. Det ansees dermed som del av beste praksis, å anvende de tilhørende innsamlede tilstandsdataene - til beregning av referanseparameter for fastsetting av grenseverdier. Spesielt så, hvis sett i sammenheng med tilstandsdataen fra de to andre nyinnkjøpte «søster»-båtene med like spesifikasjoner.

Referanseverdiene kan eventuelt justeres ved framtidige nyinnkjøp av båter med tilsvarende spesifikasjonene. Men, siden fremdriftsenheter går gjennom en innkjøringsprosess, som kan ha store påvirkninger på tilstandsdata, vurderes ikke dette hensiktsmessig. Det vurderes dermed at båtene var nye nokk ved oppstarten av datainnsamling til å beregne referanseverdier for ny-tilstanden av enhetene.

Grenseverdiene blir satt som en prosent av referanseverdien, og utløser en inspeksjon. Inspeksjonen er ment å hente data som gir vurderingsgrunnlag om grenseverdien skal justeres opp, eller om vedlikehold bør utføres for å ivareta motorens funksjon. Vurdering gjøres på grunnlag av visuell inspeksjon og analyse av tilstandsdata. Der data finnes kan en sammenligne de opp mot leverandørens spesifikasjoner.

Den manglende historikken til arbeidskatamaranen fokusert på i oppgaven gir lite data å lese trender fra, før det har oppstått svikt på fremdriftsenhetene. Det å vente på at en svikt oppstår før man setter grenseverdier er en dyr affære.

Om Mowi setter referanseverdien ut fra tilstanden som er nå, vil det dessuten være fare for at svikt inntreffer før den antatt trygge verdien på 10% nås. Dermed vil ikke bedriften få nok forvarslings tid med metoden som foreslås. Ønsket levetid på fremdriftsenheten er så langt fram i tid at motorene kan anses som ny likevel. Fordi metoden er beheftet med usikkerhet kan en mer konservativ grense kan vurderes, opp mot konsekvensen av unødvendige inspeksjoner.

En nedprioritering av daglige kontroller bør erstattes med flere tilstandsparameter, slik som trykktap over oljefilteret.

### 6.5.3 Driftsmønster indikator

<b>2.d</b>	Identifisering & sammenligning av miljøpåvirkning, basert på olje og drivstofforbruk.
<b>2.h</b>	Utvikle forslag til praktiske implementeringer av metodene nevnt i mål 2b-2e.

**Indikator for uønskede gasspådrag:** For å evaluere hvordan fremdriftsenhetene driftes over tid, er det praktisk å analysere data knyttet til høye gasspådrag. Dieselforbruk og gasspådrag ble forsøkt brukt for å gi en indikator for drivstofforbruk knyttet til uønskede gasspådrag direkte, men på grunn av utfordring med programmering ble dreiemoment benyttet i stedet for dieselforbruk.

Indikatoren utviklet tar hensyn til både varigheten av og størrelsen av overskridelsene over den identifiserte pådragsgrensen. Grunnene til dette er todelt:

1. Øker kontrollen og oppmerksomheten over drivstofforbruk, det vil ha både økonomiske og miljømessige gevinster.

2. Kjøres motoren for hardt, med høyt pådrag, vil den ha degraderes raskere og hyppigere utskiftninger og vedlikehold vil forekomme.

Den nøyaktige grensen for pådrag burde bestemmes empirisk. Videre kan en vurdere om en slik indikator gjør for mange forenklinger, da flere andre faktorer også burde tas i betraktning. Sammenligning av oljetemperatur og motorturtall kan for eksempel inkluderes i en slik indikator, for å forhindre at motoren ikke kjøres for hardt i kald tilstand.

**Kvantifisering av tomgang:** Unødvendig bruk av motor, når båten ikke utfører arbeid. Utregning av denne indikatoren inkluderer flere utfordringer.

- **Krantid og generatortid:** Siden styrbord fremdriftsenhet er ansvarlig for å drive opp det hydrauliske trykket til kranen, og kranarbeid er en krevd funksjon av båten, må krantid skilles fra tomgang. Det samme gjelder for babord side, som driver båtens generator. Dette kan løses ved å betrakte dreiemomentet fra fremdriftsenheten ved drift av hydraulikk og generator, i perioder hvor pådraget er null. Likevel er det viktig å være forsiktig med å ikke trekke forhastede konklusjoner. Nøyaktige verdier for dreiemoment under dødkjøring burde fastslås gjennom empiriske undersøkelser.
- **Av/På:** En annen utfordring i analysene er å oppdage når motoren er slått av og korrigere måleseriene. Til tross for at det høres enkelt ut, er det svært signifikant siden de blir hentet via motorstyreenheten medfører det at målingene stopper plutselig. Dermed blir siste registrerte måling før motoren skrus av «gjeldende» helt til motoren startes opp igjen senere. Som forklarer de rette, skrå linjene i de utarbeidede plottene.

Det kunne også ha blitt identifisert en metode for å bedre vurdere motorens ytelse og drivstoffeffektivitet samlet, som kunne bidratt bedre til å beskrive den generelle tilstanden og drivstoffeffektiviteten for enheten. Det ble ikke ressurser nok til å gjennomføre ideen i den grad at den kunne inkluderes i oppgaven.

**Oljenivå:** Ved montering av oljenivåsensor får en enklere oversikt av oljenivå og -forbruk rett inn i Seacloud. Over tid vil det bli mulig å se trendutvikling i påfyllingshyppigheten. Her kan det bli satt en alarmgrense som burde ses i sammenheng med andre drift- og tilstandsdata. Mowi bør vurdere

om ressurser skal allokere til det, eller om de ønsker å diskutere med motorleverandøren om det allerede finnes anbefalinger på det.

Ofte vil motorolje bli etterfylt med jevne mellomrom uten at det er noe galt med motoren. Likevel anbefales en visuell inspeksjon ved påfylling av motorolje, for å kontrollere at påfylling ikke skyldes lekkasje. Ved montering av oljenivåsensor kan man nedprioritere kontroll av motorolje i det daglige. Ved å nedprioritere kontroll av motorolje, kan feil utvikle seg til å bli større enn de ville blitt hvis man kontrollerte oljenivå manuelt daglig alarmgrenser ikke benyttes og inspeksjon følger avvik.

## 6.6 Datavisualisering og Implementering:

<b>2.g</b>	Utvikle metoder for effektiv visualisering av tilstandsparameterdata.
------------	---

**Forbedring av visning i Seacloud:** Sortering og beskrivelse av parameter, etter kritikalitet- og undersystem fra FMECA. Ansees som et nyttig neste steg i for implementering av tilstandsbasert vedlikehold av fremdriftsenheten. Ettersom en begrenset FMECA er gjennomført i forbindelse med denne oppgaven, kan tilpasninger være nødvendig.

Funksjonalitet burde implementeres for sammenligninger av forskjellige datapunkter i samme plot. Fra FMECA og rotårsaksanalyser kan nyoppdagede sammenhenger mellom parameter legges til i visningen.

Videre, er det nødvendig for prosessen, med visning av referanseverdier og alarmgrenser for hvert av tilstandsparameterne, som benyttes til utførelse av inspeksjon, og planlegging av vedlikehold.

**Trafikklysmetoden:** Vurderes som en nyttig anbefaling for å raskt kommunisere alvorlighet av avvik, og oppfordring til aksjon.

**Informering til operatør:** Indikatorer for enhetens drift og tilstand burde informeres til operatør, for å være nyttige. I første omgang gjennom implementering av disse i Aquacom CMMS, siden dette vil være den mest tilgjengelige plattform for operatørene, på tvers av flåten.

En langtids score, anbefales inkludert for å kunne følge egen utvikling, mens nylige endringer til indikatoren anbefales for å gi hurtig tilbakemelding på driftsmønster.

Resultatene oppnådd i oppgaven, burde videreutvikles og kobles direkte til forbruk av drivstoff, i tillegg til å settes sammen til en overordnet nøkkelindikator driftsmønster.

**Integrering med skipsdatasystemer:** som kan vise sanntidsdata på skjermer i kabinen, for kontinuerlig overvåking og fasilitering av hurtig inspeksjon ved avvik. Samme system burde også varsle når motoren kjøres i uønskede driftsmønstre.

## 6.7 Forslag til optimalisering av Seacloud og driftssikkerhet

I dette underkapittelet vil ideer som henter de store fordelene for optimalisering av drift og vedlikehold bli diskutert.

<b>3.a</b>	Utforsk mulige drift- & vedlikeholdstiltak basert på analyser av innsamlede data og metoder.
<b>3.b</b>	Evaluere drift- & vedlikeholdstiltak basert på deres nytteverdi, effektivitet og egnethet.
<b>3.c</b>	Foreslå egnede metoder og forbedringstiltak, for Mowi.

### Metoder og tiltak:

#### Identifisering av tilstandsparameter, samt beregning av referanseverdier og alarmgrenser:

Kritikalitetsvurderinger av utstyr, og videre FMECA for å identifisere parameter for tilstandskontroll er anbefalt etter gruppens forståelse for hva som tolkes som beste praksis, og standarder for vedlikehold. Nærmere samarbeid med motorleverandøren enn det oppgaven har hatt kan gi andre nyttige resultater.

**Forbedring av Seacloud:** Anbefales som nødvendig for å hente nytteverdien fra datainnsamlingen, gjennom bedre fasilitering av analyser, og kommunikasjon av signifikante funn og avvik.

Disse metodene burde videreutvikles slik at de resulterer i en helhetlig representasjon av tilstandene ved alt av bedriftens driftskritiske produksjonsutstyr.

På neste side følger en tabell over sensorene i Seacloud, med nye forslag (med uthevet tekst) som blir foreslått å inkludere for mer helhetlig tilstandskontroll. Vurderingen for hvilken klasse sensorene tilhører kommer fram av tabellen, og de blir diskutert nærmere gjennom de påfølgende sidene.

Klasse/sensor	Forklaring
<b>Bruksparameter:</b>	
Operatørens gasspådrag	Nivået av gasspådrag som brukes for å kontrollere fremdrift.
Motorens gasspådrag	Spesifikt nivå av gasspådrag motoren kjører på.
Motortimer	Total driftstid som motoren har vært i bruk, viktig for vedlikeholdsintervaller.

#### Drivstoff og forbruk:

Drivstoffbruk	Mengden drivstoff motoren bruker i øyeblikket.
<b>Differansetrykk over dieselfilter</b>	<b>Måler tilstopping av filteret. Viktig for kontrollav når filter må skiftes</b>
<b>Lambda</b>	<b>Måler blandingsforholdet i sylinder</b>
Totalt drivstoffbruk	Total mengde drivstoff brukt over motorens levetid.

#### Motorparameter:

Motorturtall	Angir hvor raskt motoren roterer, målt i omdreininger per minutt (rpm)
<b>Vibrasjonsensor</b>	<b>Måler vibrasjoner i motoren, og tillater deteksjon av hvilken komponent som forårsaker vibrasjonene</b>
Moment fra motor	Dreiemomentet som motoren genererer, viktig for å forstå belastningen og ytelsen til motoren

#### Smøresystem:

Oljetrykk	Trykket i motorens oljesystem, essensielt for riktig smøring
<b>Differansetrykk over oljefilter</b>	<b>Måler tilstopping av filteret. Viktig for kontrollav når filter må skiftes</b>
<b>Oljenivåsensor</b>	<b>For å kontrollere oljenivå, og enkelt legge inn i Aquacom</b>
Oljetemperatur	Temperaturen på motorens olje, viktig for å vurdere oljens smøreevne

#### Innsugsystem:

Turbotrykk	Trykket som turboen gir for å øke motoreffektivitet og effekt.
<b>Differansetrykk over luftfilter</b>	<b>Måler tilstopping av filteret. Viktig for kontrollav når filter må skiftes</b>
Innsugstemperatur	Temperaturen på luften som suges inn i motorens sylindre, som kan påvirke motoreffektivitet.

#### Kjølesystem:

Kjølevæsketemperatur	Temperaturen på motorens kjølevæske, avgjørende for å forhindre overoppheting.
----------------------	--

#### Elektrisk:

Batterispenning	Spenningsnivået til batteriet som gir elektrisk kraft til motor og annet utstyr
-----------------	---

Tabell 27 Klassifisering inkludert nye forslag (med fet tekst) til nye tilstandsparameter

### 6.7.1 Oljenivåsensor

Oljenivåsensor tilbys som tilleggsutstyr for Scania D113, Og gir mulighet for automatisk peiling av oljenivået hver gang motoren har vært i bruk. Mowi vil få en presis måling av oljenivået direkte i Seacloud. Det vil også bli mulig å sette en alarm når oljenivået har nådd minimumsnivået og må etterfylles. Mowi kan utforske muligheten med å bruke kunstig intelligens for å produsere arbeidsordre når grensen for oljenivå nås. Arbeidsordre lages og legger inn i regnskapet og reservedelslageret hvor mye olje som har blitt fylt på, ut fra standard mengde påfylling fra minimum til maksimum.

Innføring av sensormåling gir en mer presis oversikt over påfyllingshyppigheten av motorolje, da vurdering om påfylling ikke er blitt gjort av personen som utfører målingen. Mer om dette i et senere kapittel.

En slik måling bør foregå noen minutter etter at fremdriftsenhet er slått av, for at oljen skal rekke å renne ned i bunnpannen. Målingen kan bli påvirket av når motorstyreenheten slutter å logge data etter motoren er skrudd av. Mowi utfører peiling av motorolje på morgenen før båten blir startet. Sensormålingene kan programmeres til å utføres på morgenen før motoren startes, sånn som den manuelle peilinga blir utført.

### 6.7.2 Kjølevæsknivå

Det kommer fram at det ikke er nivåsensor for kjølevæsken, i likhet med oljenivåsensor. Argumentene for montering av oljenivåsensor er i veldig stor grad de samme for å montere kjølevæsknivåsensor. Det tillates å sette grenser for minimumsnivå, og det kan automatisk genereres arbeidsordre ved nådd grenseverdi.

Kjølevæsken trenger ikke å renne ned i reservoaret slik som olje må renne ned i bunnpannen før måling, og kan dermed måles kontinuerlig. Det kan føre til store datamengder, ettersom det veldig sjeldent blir et plutselig stort tap av kjølevæske på kort tid.



### 6.7.3 Trykkdifferanse over filter

Når filteret har fanget opp en viss mengde partikler, vil det ikke lenger komme tilstrekkelig mengde væske/luft gjennom filteret. På det tidspunktet bør filteret skiftes for å unngå effekttap.

Trykkdifferansesensorer kan monteres over luftfilteret, oljefilteret og dieselfilteret.

I motormanualen står det beskrevet hvor mye trykk som skal være i motorolje og innsuget, som nevnt i kapittel 5. Mowi kan bruke disse dataene for grensesetting av når de skal skifte filter.

For dieselfilter er en mulighet å sette grenseverdi ved å måle vibrasjonene, eller lyden som kommer fra dieselpumpen. Pumpen vil jobbe hardere etter hvert som filteret samler opp partikler. Ved å ta målinger jevnlig, vil en trend utvikle seg samtidig som trykkfallet øker over filteret. Det krever at bedriften investerer i utstyr f.eks. lydkamera for å måle utvikling i pumpebelastning.

Filter blir i dag skiftet etter et antall motortimer. Flere variabler, som dieselkvalitet, kan gjøre at filter bør skiftes tidligere eller senere. Ved å overvåke trykkfallet blir det mulig å gå over anbefalt intervall om man ser at trykktapet ikke har nådd grensen.

### 6.7.4 Lambda

Ved å overvåke lambdaverdien er det mulig å få en tidlig indikator på at motoren ikke oppfører seg optimalt, og en feil er i ferd med å utvikle seg. Det krever en del kunnskap for å lokalisere feilen som forårsaker unormal lambdaverdi. Det vil likevel gi en indikasjon om at noe er i ferd med å skje og man bør vurdere feilsøking før feilen utvikler seg. For å hjelpe med feilsøking vil en omfattende FMECA gjøre jobben lettere. FMECA-en som har blitt utarbeidet, er begrenset og vil ikke gi informasjonen som trengs.

Under et møte ble det nevnt at det er gjort et forsøk på å implementere lambda i Seacloud. Det var utfordrende ettersom lambda er på en egen lukket krets.

Å sette grenseverdier i forhold til lambda vil være en utfordring, ettersom det er noe variasjon i verdiene ved kald motor, og pådrag på ulike turtall. Regenerering vil gi for lav lambda for en periode. Grenseverdier kan fastsettes ved å se trenden over en periode, som diskutert. Det kan derimot føre til at reelle feil begynner å utvikle seg uten at det blir oppdaget før det blir et større problem. I så fall vil noe av nytteverdien med lambda falle bort, ettersom det er ment som et verktøy for å oppdage feil på et tidlig stadium.

### 6.7.5 Vibrasjonsanalyse

Mowi har allerede installert en vibrasjonssensor på arbeidskatamaranen «Kyrhaug». På bakgrunn av et gjentatt mekanisk problem som de ønsker å forstå og finne rotårsaken til. Problemet er at boltene som sikrer eksosen faller ut, og eksosen ristes løs fra motor. Målet er å se om feilen kan skyldes feil drift, eller om det er design/produksjonsfeil.

Implementering av vibrasjonssensorer på en forbrenningsmotor kan gi enklere oversikt av tilstanden til motoren. Vibrasjonene vil detektere unormalt høye eller lave vibrasjoner som kan indikere feil i systemet. I teoridelen ble det nevnt to typer akselerometer: akselerometer med intern seismisk masse og piezoelektrisk akselerometer.

Et piezoelektrisk akselerometer vil være det som er mest nyttig å implementere på en fremdriftsenhet for vibrasjonsanalyse, da det har bruksområde der raske eller dynamiske akselerasjoner måles.

#### **Fordeler:**

Vibrasjonsanalyse sier mye om tilstanden på fremdriftsenheten. Degradering eller påbegynnende svikt detekteres tidlig ved at vibrasjonsmønsteret endres. Ved strategiske plasseringer av vibrasjonssensor og analyse av hvilke frekvenser de ulike komponentene gir, vil det være mulig å se hvor vibrasjonene kommer fra. Når degradering oppdages får man tidlig varsling om at tiltak bør iverksettes. Tidlig tiltak fører til at feil ikke rekker å utvikle seg, som gir motoren økt levetid.

#### **Ulemper:**

Det er krevende å sette seg inn i vibrasjonsanalyser. Det krever en del kunnskaper og kan være veldig ressurskrevende. For å få mest mulig presis data må det gjøres undersøkelser for hvor det er mest effektivt å plassere sensorene, samt hvor mange sensorer som er hensiktsmessig å bruke.

Vibrasjonssensorene kommer til å stå i et maritimt miljø. Den salte og fuktige luften gjør korrosjon til en utfordring. Sensorene må derfor være lagd for å tåle miljøet de blir utsatt for.

Å få ut brukbar data krever veldig hyppige målinger. Det kan være utfordrende å få høy nok målehyppighet, ettersom det er snakk om veldig høye frekvenser.

Fastmonterte sensorer gir mest presise målinger. Det krever at man modifierer enheten som skal måles, og kan påvirke ytelsen om det blir gjort feil.

<b>Vibrasjonsanalyse</b>	
<b>Fordeler</b>	<b>Ulemper</b>
Tidlig detektering av feil	Ressurskrevende å komme i gang
Økt levetid til systemet	Feil plassering av målepunkt gir dårlig data
Økonomisk gevinst	Krever hyppige målinger
	Bør modifisere motor for montering av sensor

*Tabell 28 Fordeler og ulemper med vibrasjonsmåling*

Det framkommer av tabellen over at det er både fordeler og ulemper med vibrasjonsanalyser. Det blir ikke sett at fordelene gir større gevinst enn tapet ulempene medfører.

### 6.7.6 Lydanalyse

Feil eller svikt kan komme av belastningene og slitasjen de mange bevegelige delene i Scania D113 opplever. Et akustisk kamera legger til rette for implementering av lydanalyse i vedlikeholdssystem. Hensikten med et slikt kamera er at man enkelt kan detektere og lokalisere unormale lyder, som tyder på forstadiet til feil eller svikt. Implementeringen av et akustisk kamera på motoren vil være med på å optimalisere det forebyggende vedlikeholdet, systemovervåkning og hjelpe med feilsøking av enheten. Selv om implementeringen har mange fordeler, vil den også innebære visse utfordringer og ulemper.

#### **Fordeler:**

Et **akustisk kamera** vil være med å kunne forutse og varsle i en tidlig fase om at feil kan oppstå på motoren. Da motoren har mange bevegelige deler som avgir lyd vil mikrofonene enkelt og raskt kunne detektere ulyder og lokalisere de. Slik teknologi vil være et godt hjelpemiddel for bedriften for å kunne optimalisere vedlikeholdet, da det kan være med på å forhindre nedetid.

Systemovervåkning er en stor fordel med et slik kamera, da man kan få varslinger hvis analysen oppdager ulyder i systemet. Det vil samtidig gi mulighet for at noen inspeksjoner, som blir gjennomført fra personell, kan frafalle. Dette tjener bedriften både tid og fokus på oppgaver som rettes direkte mot fiskeoppdrett.

Ved at man i en tidlig fase detekterer feil i enheten, samt hvor de er lokalisert vil en raskt kunne reparere eller skifte ut den skadede komponenten, før den eventuelt forårsaker mer skade. Enheten og dens komponenter vil da bli tatt bedre vare på, og dermed øke enhetens levetid. Her kan man direkte trekke bærekraft inn ved at man raskt kan gjennomføre vedlikehold. Øker enlevetiden til systemet og komponentene vil det ikke bare være et godt tiltak for klimaet og miljøet, men økonomien til bedriften vil samtidig kunne dra stor nytte av dette. En økonomisk gevinst kan begrunnes med mindre nedetid på arbeidskatamaranen, som gjør at den kan være operativ. Samtidig kan man unngå å sende arbeidskatamaranen til verksted, som vil være en kostnad for bedriften.

#### **Ulemper:**

En implementering vil samtidig by på utfordringer, og uforventede problemer vil mest sannsynlig oppstå. For Mowi vil en slik investering være et nytt tilskudd i deres vedlikeholdssystem, og en må

derfor sette av tid og ressurser for opplæring av personell. Dette er en kostnad som vil komme i startfasen av en slik investering. Senere kan personell som allerede har opplæring lære opp annet personell. God opplæring på slikt er svært viktig da feil bruk vil gjøre at kameraet blir en byrde istedenfor et hjelpemiddel.

Et akustisk kamera er et verktøy som har høy pris som nevnt i teoridelen, der prisklassen varierer fra ca. 50 000kr til godt over 400 000kr. Dette er en investering som er veldig stor og krever at man får utnyttet utstyret godt og riktig.

Motoren er operativ i et maritimt miljø, noe som gjør at en må ta noen ekstra hensyn. Et akustisk kamera er utstyrt med flere elektriske og digitale funksjoner, det er derfor viktig å velge et utstyr som kan tåle litt vann og saltholdig luft, mens et annet valg er at man kan sikre kameraet mot vann.

<b>Akustisk kamera</b>	
<b>Fordeler</b>	<b>Ulemper</b>
Tidlig detektering av feil	Høy pris
Enkel systemovervåkning	Opplæring
Økonomisk gevinst	Utfordringer/ problemer knyttet til kameraet
Bærekraftig gevinst	Feil bruk
Økt levetid til systemet	

*Tabell 29 Fordeler og ulemper med lydkamera*

Som tabellen ovenfor viser er det både fordeler og ulemper med en slik investering. Gjennomføring av lydanalyse er et svært nyttig hjelpemiddel, men det må legges til rette for riktig bruk av utstyret. Riktig og nøye opplæring at et slikt kamera er helt essensielt for at det skal bli et godt og trygt hjelpemiddel for bedriften. Riktig bruk av et akustisk kamera legger grunnlag for at man kan oppnå både økonomiske og bærekraftige vinninger. For Mowi, som er et stort selskap, kan dette gjøre en stor forskjell om man ser på det store bildet.

Noen av ulempene knyttet til kostnad og sørge for at kamera tåler det maritime miljøet, kan minimeres ved å investere i et håndholdt lydkamera. Det håndholdte kameraet kan flyttes mellom fartøyene i flåten til Mowi. Bedriften har da muligheten til å bruke kamera der det er nødvendig, når det blir oppdaget unormale verdier for en motor, eller annet utstyr.

### 6.7.7 Bærekraft

De fleste endringene som blir foreslått er til fordel for Mowi, både fra et økonomisk, miljømessig og sosialt bærekraftig perspektiv. Ved overgang til tilstandsbasert vedlikehold kan Mowi møte bærekraftsmålene FN har vedtatt, fordi det blant annet forlenger levetiden til utstyret. Noen mål er mer relevante enn andre. F.eks. vil ikke oljenivåsensor nødvendigvis føre til lavere utslipp, men Mowi slipper å bruke av tiden sin på å kontrollere oljenivået manuelt. Det frigjør mer tid til røkteransvaret og fremmer økonomisk vekst, som er en liten del av den store summen.

Visualisering vil forbedre overvåkingen for operatøren på driftsmønstret, og vil være nyttig for optimalisering av driftsprofilene. Optimaliserte driftsprofiler vil medføre lavere utslipp og er positivt for klimaet og miljøet. Kostnadsbesparelser grunnet lavere utslipp og mulig redusert levetid vil øke lønnsomheten.

Installasjon av andre sensorer, som vibrasjons- og lydsensor, vil ha en positiv for et bærekraftig drift- og vedlikeholdssystem. Det vil øke systemovervåkingen og potensielle feil vil oppdages tidlig, slik at sjansen for svikt og nedetid reduseres. Levetiden på komponenter og motoren vil samtidig forlenges. Unngår en driftsstans og unødvendige feil vil energiforbruket og utslipp reduseres, dette er svært positive miljømessige faktorer. Den økonomiske biten vil samtidig dra stor nytte da utstyret må skiftes ut sjeldnere og vedlikeholdskostnader kan reduseres.

Bærekraft mål 9, 12 og 14, som ble nevnt i teoridelen, står sentrale for de foreslåtte tiltakene nevnt ovenfor. De omhandler innovasjon, ansvarlig forbruk og livet under vann. Tiltakene viser at implementering kan ha positiv påvirkning for både miljøet og økonomien, som hos en bedrift som Mowi står sentralt. Drift- og vedlikeholdstiltakene vil samtidig øke påliteligheten og driftssikkerheten for personell, som forbedrer den sosiale bærekraften.

### 6.7.8 IoT og sikkerhet

Ved å benytte seg av sensordata og skyløsninger, samtidig som man går over til tilstandsovervåking med IoT-løsninger, vil faren for cyberangrep øke. Dette kan være svært sårbart for en bedrift som Mowi. Flere systemer blir koblet opp mot nettet, og informasjonen blir mer utsatt for hacker- eller cyberangrep.

Det finnes flere tiltak som skal gjøre skylagring tryggere, som f.eks. kryptering, autentisering, sikkerhetsoppdateringer osv., men det vil likevel være en risiko forbundet med cyberangrep. Da det stadig blir utviklet nye metoder for å bryte inn i dataplattformer hos bedrifter.

Implementering av IoT løsninger vil for vedlikeholdet være fordelaktig, med tanke på en Scania DI13 motor. Det er samtidig viktig at man vet hvilke risikoer man utsetter informasjonen sin for, og investerer i robuste sikkerhetstiltak. Ved å kombinere teknologiske løsninger sammen med solide sikkerhets og administrative tiltak, kan Mowi få god utnyttelse av IoT løsningene uten at sikkerheten svekkes.

## 6.8 Feilkilder

«Ulempene med tilstandsbasert vedlikehold i forhold til periodisk eller korrektivt vedlikehold er først og fremst at det er en viss risiko for feilbedømming av tilstanden» (Bye, 2009).

Selv om det er fare for feilbedømming av tilstanden, vil det være bærekraftig med tilstandsbasert vedlikehold, både fra et økonomisk og miljømessig perspektiv. En potensiell ulempe er uansett at tilstandsparameter kan utløse unødvendige inspeksjoner. Med dagens situasjon gjennomføres inspeksjon såpass regelmessig at tilstandsdataene kan fungere som støtte ved disse.

Man vil i stor grad klare å bedømme tilstanden godt nok til at man ikke overdriver vedlikeholdet, og man vil klare å forutse svikt. Det blir vurdert at det er lønnsomt å utvide levetiden på utstyret.

Ved å montere sensorer for tilstandsovervåking vil Mowi legge til potensielle vedlikeholdspunkt. En sensor er en komponent som kan feile, og dermed gi feil informasjon til Seacloud. I enkelte tilfeller kan sensoren ha hyppigere feilrate enn komponenten som overvåkes. Flere sensorer øker kompleksiteten i systemet.

Et mer komplekst system øker sannsynligheten for feil i systemet. Hvis en sensor feiler, kan det føre til mer nedetid for feilsøking og retting av feil med sensor, selv om det ikke er feil på maskinen. Det vil være kostnader knyttet til innkjøp og installasjon av sensorer. Tiden brukt på å sette opp sensorer og alarmgrenser kan også bli betydelig.



## 7 Konklusjon

Gjennom denne oppgaven har det blitt utforsket og analysert muligheter for å optimalisere driftsmønsteret og vedlikeholdet av fremdriftsenhetene for Mowi's arbeidskatamaraner. Der hovedfokuset er på overgangen fra tidsbestemt til tilstandsbasert vedlikehold. Hovedfunnene og anbefalingene er oppsummert som følger:

**Overgang til tilstandsbasert vedlikehold:** Implementering av tilstandsbasert vedlikehold vil forbedre driftssikkerhet og utstyrslevetid, redusere driftsstans og tilhørende kostnader, samt gi miljøfordeler. Dette er et viktig skritt mot mer bærekraftig drift og oppfylling av FNs bærekraftsmål.

**Sensorpakker:** For å forbedre tilstandsovervåkingen anbefales det å installere sensorer som lambda-, oljenivå-, vibrasjon-, trykkdifferanse- og lydsensorer. Disse sensorene vil gjøre det mulig å identifisere avvik tidlig, forhindre alvorlige feil og optimalisere vedlikeholdet.

**Driftsscore og visualisering:** Innføring av en driftsscore for vurdering av driftsmønster og -profiler vil bidra til å oppdage uønskede kjøremønstre som kan skape slitasje eller skader på motoren. Visualisering i kabinen vil hjelpe operatører med å ta raske og informerte beslutninger, spesielt ved høyt pådrag.

**Datahåndtering i Seacloud:** Ved å sortere og klassifisere data i Seacloud, kan verdifull innsamlet data analyseres mer effektivt. Dette vil forbedre forståelsen og utnyttelsen av tilstandsparametere.

**Alarmgrenser og grenseverdier:** Utvikling av alarmgrenser og grenseverdier basert på referanseverdier vil gi tilstrekkelig forvarslings tid til å planlegge vedlikehold før grenseverdiene nås.

**FMECA:** Gjennomføring av en FMECA vil gi en grundig analyse av feilmoduser og konsekvenser, noe som er essensielt for å forstå og forbedre vedlikeholdsstrategier. Mowi bør vurdere å utføre FMECA på egenhånd for å oppnå ønsket detaljnivå og bygge intern kompetanse.

Samlet sett viser funnene at de foreslåtte tiltakene vil styrke Mowis vedlikeholdsstrategi, forbedre driftssikkerheten og bidra til en mer bærekraftig produksjon. Videre anbefales det at Mowi kontinuerlig evaluerer effektiviteten av disse tiltakene og tilpasser strategiene etter behov for å sikre optimal ytelse og bærekraftige resultater.

For å sikre en helhetlig tilnærming, bør Mowi også vurdere videre arbeid som inkluderer grundigere FMECA-analyser, med integrering av resten av drivlinjen og annet driftskritisk produksjonsutstyr i vedlikeholdsstrategien.

## 8 Videre arbeid

### 8.1 FMECA & Rotårsaksanalyser

De enhetene og systemene som blir identifisert som mest kritiske, kan en forsøke å videreutvikle det tilstandsbaserte vedlikeholdsprogrammet sitt for - med utgangspunkt i grundigere og mer omfattende FMECA for driftskritiske systemer. Disse kan også underbygges av rotårsaksanalyser fra tidligere avvik.

**Resten av drivlinjen:** Etter hvert kan Mowi se på muligheten for å inkludere resten av drivlinjen i prosjektet med Seacloud. Girkassen og pakkboxen, samt drivaksel kan være interessant å overvåke på samme nivå som fremdriftsenheten.

**Hydraulikk, kran, generator:** Mowi bør i tillegg se på hvordan de kan implementere sensor-basert tilstandsovervåking av kran, hydraulikk, generatoren, og annet kritisk utstyr på båten.

**Føringsflåte:** Utfører en svært viktig funksjon i oppdrett, og analyser kan gjennomføres for å identifisere kritiske tilstandsparameter å overvåke, for å opprettholde denne.

## 8.2 Nåverdi og kost/nytte analyser

Investeringene i implementering av tilstandsbasert vedlikehold burde balanseres mot gevinstene en kan forvente fra den tilhørende økningen i driftssikkerhet og økt bærekraft. Videre økonomiske analyser anbefales for å vurdere utviklede forslag etter disse aspekt.

## 8.3 Identifisering av tilstandsparametre

Tilstandsparameter har blitt sett på som relativt isolert i forhold til undersystemene de tilhører, siden det har vært begrensede ressurser. Mer omfattende vurderinger burde gjennomføres av grupper med mer faglig og praktisk forståelse av de tekniske sammenhengene i fremdriftsenheten. For å utvikle en mer sammenhengende forståelse av sviktutviklinger som de forskjellige tilstandsparameterene kan indikere.

### **Oljeanalyse**

Mowi kan vurdere oljeanalyser av motoroljen. Enten om de utfører enkle analyser på egenhånd for å se partikkelinnhold, eller om de sender inn til laboratorium. Uansett så anbefales det å bruke en magnetisk bunnplugg for å samle små partikler som eventuelt dukker opp i oljen.

Å sende inn oljeanalyser til lab er ofte dyrt, og det kan ta lang tid å få resultatene fra analysen. Skal Mowi gjøre det selv, så krever det utstyr og opplæring av personell som skal utføre analysen. Uten tilstrekkelig opplæring, kan resultatene feiltolkes. Oljeanalysen blir overflødig og i verstefall gi motsatt effekt, som følge av misforståelse. En oljeanalyse blir begrenset av at den ikke avdekker feil som ikke direkte påvirker oljen. Feil med dieselsystemet eller kjølekretsen vil ikke bli fanget opp av en oljeanalyse.

## 8.4 Alternativ fremdriftsenhet

Mowi er rangert som nummer 1 Coller fairr protein producer index. Det er en undersøkelse av de største animalske proteinprodusentene i verden, som går på miljømessige, sosiale og styringsmessige forhold (Mowi, 2024). For å ytterligere styrke deres posisjon som nummer 1 i verden kan grønnere drivlinjer vurderes for framtidige investeringer.

**Hybrid:** Det er i dag flere og flere båter som benytter hybridmotorer, eller hel elektrisk fremdrift. Dette er noe Mowi kan satse på i framtiden for å øke miljøscoren. Hybridmotor øker riktignok kompleksiteten til fremdriftsmaskineriet, siden det består av mange flere deler. I tillegg er det mange flere sensorer og elektriske komponenter som kan feile.

**Hydrogen:** Cummins (2022) har satset på å utvikle en hydrogenmotor for tungtransport og de poengterer at teknologi som er kjent fra før, gjerne byr på mindre problemer enn helt ny teknologi. Denne motoren vil bygge på det som i stor grad er velkjent teknologi. Som de selv skriver på sin hjemmeside: «under toppakningen er komponentene mer eller mindre lik en vanlig forbrenningsmotor. Alt over toppakningen er tilpasset drivstofftypen» (Cummins, 2022).

## 8.5 Annet

### Start/stopp-system

Et start/stopp-system på fremdriftsenhetene til lokalitetsbåtene er et forslag som være interessant for Mowi. Det blir foreslått at Mowi utfører en mulighetsanalyse og egnethetsanalyse. Dette er vanlig å ha på biler, og kan dermed være mulig å implementere på flåten til Mowi, for å få bukt med dødkjøring. Mellom båten stopper og krana blir brukt, kan det f.eks. gå litt tid. På denne tiden kan fremdriftsenheten skrus av, før den starter automatisk i det man begynner å bruke krana. Det er gjort en undersøkelse som sier at det må gå 7 sekunder fra motoren blir skrudd av til den blir skrudd på igjen, for at man skal tjene på det (Engineering Explained, 2024, 00:30).

### Lavere turtallsperre på kald fremdriftsenhet

Nyere personbiler med en del effekt, har sperre på ca. 3k rpm mens motoren er kald. Sperren tillater motoren og oljen å oppnå driftstemperatur før sjåføren får mulighet til å «tyne» motoren. Ved å kjøre motoren hardt før den har oppnådd driftstemperatur degraderes motorens tilstand raskere.

Mowi har motorvarmer, som reduserer behovet for dette tiltaket. Likevel kan det være nyttig å ha i tilfelle motorvarmeren ikke har stått på eller er ute av drift en periode, som en slags redundans.

## Referanseliste

Andresen, G. (2023, Januar 11). *Akselerometer*. Hentet fra Store norske leksikon:

<https://snl.no/akselerometer>

Austincc. (u.d.). Hentet fra Lambda as a Diagnostic Tool:

<https://www.austincc.edu/wkibbe/lambda.htm>

Azure. (u.d.). *Hva er maskinlæring?* Hentet fra Microsoft: [https://azure.microsoft.com/nb-](https://azure.microsoft.com/nb-no/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-machine-learning-platform)

[no/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-machine-learning-platform](https://azure.microsoft.com/nb-no/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-machine-learning-platform)

Brooks, T. (2020, Juli 8). *canalworld*. Hentet fra Foruminnlegg:

<https://www.canalworld.net/forums/index.php?/topic/106855-overheating-engine-where-does-coolant-go-and-what-is-our-cooling-system/>

Bye, P. I. (2009). *Vedlikehold og driftssikkerhet*.

Cummins. (2022, 05 09). *Cummins*. Hentet fra Cummins.com:

<https://www.cummins.com/news/releases/2022/05/09/cummins-inc-debuts-15-liter-hydrogen-engine-act-expo>

Elma-instruments. (2024). *Flir Si24-PD akustisk kamera*. Hentet fra elma-instruments:

<https://elma-instruments.no/produkter/flir-si124-pd-akustisk-kamera>

Fiskaa, A. S. (2019, 07 29). *Forbrenningsmotor*. Hentet fra Store Norske Leksikon:

<https://snl.no/forbrenningsmotor>

Fjellvåg, H., Ystenes, M., & Helseth, L. E. (2024, Januar 22). *ideal gass*. Hentet fra Store norske

leksikon: [https://snl.no/ideal\\_gass](https://snl.no/ideal_gass)

Flissundet. (2020, November 10). *DPF - vi forklarer*. Hentet fra flissundet:

<https://flissundet.no/dpf-dieselpartikkelfilter/>

FN-sambandet. (2024, Februar 1). *FNs b rekeftsm l*. Hentet fra FN: [https://fn.no/om-fn/fns-](https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal)

[baerekraftsmaal](https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal)

Gr nno, S. (2024, Mai 15). *kvalitativ metode*. Hentet fra Store norske leksikon:

[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)

Holtebekk, T. (2023, Januar 23). *metrologi*. Hentet fra Store norske leksikon:

<https://encyclopedia.pub/entry/49752>

Kj rstad, E. (2018, Oktober 15). *Hvordan kan vi komme oss ut av "bruk-og-kast-samfunnet"*.

Hentet fra Forskning: <https://www.forskning.no/resirkulering-miljovern-klima/hvordan-kan-vi-komme-oss-ut-av-bruk-og-kast-samfunnet/1238313>

Koch, P. (2022, Juli 11). *turboladning*. Hentet fra Store norske leksikon:

<https://snl.no/turboladning>

- kristiansen, J. R. (2021, September 2). *Newtons lover*. Hentet fra Store norske leksikon:  
[https://snl.no/Newtons\\_lover](https://snl.no/Newtons_lover)
- Lund, A., & Hellevik, L. (2016, 12 20). K08 Skipsmaskiner Drift og vedlikehold. I A. Lund, & L. Hellevik, *Skipsmaskineri* (ss. 264-292). Bergen. Hentet fra <https://www.marfag.no/k08/5-vedlikehold#autotoc-item-autotoc-12>
- Martinsen, K. (2023, Januar 27). *den fjerde industrielle revolusjon*. Hentet fra Store norske leksikon: [https://snl.no/den\\_fjerde\\_industrielle\\_revolusjon](https://snl.no/den_fjerde_industrielle_revolusjon)
- Maruyama, Ejiri, Ikai, & Shimotani. (2012, Oktober 1). *Model Predictive Control considering disturbances in diesel engine air intake systems*. Hentet fra Semantic Scholar:  
<https://www.dummies.com/article/home-auto-hobbies/automotive/car-repair-maintenance/general-car-repair-maintenance/how-do-diesel-engines-work-196472/>
- Mitsubishi, M. H. (2023, November 8). *Common Differences Between Marine and Industrial Diesel Engines*. Hentet fra LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/common-differences-between-marine-industrial-tguuf/>
- Mowi. (2024). *Mowi, verdens største leverandør av atlantisk laks og den mest bærekraftige produsenten*. Hentet fra MOWI: <https://mowi.com/no/om-oss/>
- Mørenot Digital. (2024). *Aquacom*. Hentet fra Mørenot:  
<https://www.morenot.com/no/aquaculture/aquacom/>
- Nogva. (2023). EngMan Scania DI13 73M. Svellingen: Nogva.
- Norges Brannskole. (2011). *Grunnkurs for Brannkonstabel*. Gyldendal Norsk Forlag.
- Norsk Elektronisk Komite. (2018, 10). Feil modus og effekt analyse (FMEA og FMECA). *NEK EN IEC 60812:2018*. NEK.
- Novotek. (u.d.). *Novotek*. Hentet fra <https://www.novotek.no/insight/industri-4-0-ta-del-i-den-fjerde-industrielle-revolusjonen/>
- Onestop Auto. (2012). *Sensor Map*. Hentet fra OneStop Auto:  
<https://www.onestopauto.com/Sensor-Map-Sensor-02-Sensor-Airflow.html>
- Online Store. (2024). *ArtStation Engine Oil System*. Hentet fra lxlovemk:  
[https://lxlovemk.live/product\\_details/1415551.html](https://lxlovemk.live/product_details/1415551.html)
- Pedersen, V. G. (2022, August 29). Driftsikkerhet.
- Presisjonsteknikk . (2023). *ptnordic*. Hentet fra Akustisk kamera:  
<https://ptnordic.com/collections/akustisk-kamera>
- PricewaterhouseCoopers. (u.d.). *Hva er "AI" og hvordan virker det?* Hentet fra pwc:  
<https://www.pwc.no/no/teknologi-omstilling/digitalisering-pa-1-2-3/kunstig-intelligens.html>

- Scania Marine Engines. (u.d.). DI13 073M. 280kW (380hp). Södertälje, Sverige: Scania.
- Scania Marine Engines. (u.d.). DI13 073M. 280kW (380hp). södertälje, Sverige: Scania Marine Engines.
- Sclar, D. (2021, Mai 24). *How Does Diesel Engines Work*. Hentet fra Dummies:  
<https://www.dummies.com/article/home-auto-hobbies/automotive/car-repair-maintenance/general-car-repair-maintenance/how-do-diesel-engines-work-196472/>
- StandardNorge. (2018). *Standard Norge*. Hentet November 1, 2022 fra  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProduktID=999507>
- T92-15459-01, N. (2023). Engineering Manual For Scania DI13 73M 380hk/2100rpm HC-168C/HC-02 gear Propulsion. *Engineering Manual For Scania DI13 73M*. Norge: Fosen Yard AS, B-403.
- Teledyne Flir. (2023). *Flir Si2-Pro*. Hentet fra Flir : <https://www.flir.eu/products/si2-pro/?vertical=condition%20monitoring&segment=solutions>
- Tidemann, A., & Elster, A. C. (2023, Juli 26). *maskinlæring*. Hentet fra Store norske leksikon:  
<https://snl.no/maskinl%C3%A6ring>
- Total Energies. (2024). *What is engine oil used for and what are its benefits*. Hentet fra Total Energies USA: <https://services.us.totalenergies.com/uses-and-benefits-of-engine-oil>
- Turbo Dynamics. (u.d.). *Turbo Dynamics*. Hentet fra How does a turbo work?:  
<https://www.turbodynamics.co.uk/how-does-a-turbocharger-work>
- Wikipedia. (2024, Mai 17). *Datakvalitet*. Hentet fra Wikpeida:  
<https://no.wikipedia.org/wiki/Datakvalitet>
- Wikipedia. (2024, 05 18). *Gateway (telecommunications)*. Hentet fra Wikipedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway\\_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_(telecommunications))
- Wu, T., You, D., Gao, H., Lian, P., Ma, W., Zhou, X., . . . Haibo Zhang, H. T. (2023, September 28). *Structure of Piezoelectric Accelerometers*. Hentet fra Scholarly Community Encyclopedia:  
<https://encyclopedia.pub/entry/49752>
- Øverby, H. (2021, Oktober 19). *tingenes internett*. Hentet fra Store norske leksikon:  
[https://snl.no/tingenes\\_internett](https://snl.no/tingenes_internett)
- Sesseng & Sæten. (2021). Bachelor Akustisk Kamera: Beamforming [Bacheloroppgave]. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
- Hagerup, Haugen, Hansen, Madsen, Ness (2022). Driftssikkerhet ved CONBAR [Semesteroppgave]. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

Engineering Explained. (2024). *Does Engine Idling Waste Fuel? (Start-Stop Technology)*. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=2YCGnshLluY>

Matsuura, M., Korematsu, K., Tanaka, J. (2006) *Fuel Consumption Improvement of Vehicles by Idling*

*Stop* (2004-01-1896). SAE International. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2004-01-1896/>



## Vedlegg

1. Ståstedsanalyse
2. FMECA-fil
3. Python-skript
4. Intervjuspørsmål fra befarings
5. Intervjuspørsmål fra møte med Mowi
6. Intervjuspørsmål fra møte med Seacloud
7. GANTT

