

Ingeborg Byberg
Ida Lise Hoem
Martha Austad Opsal

Konsekvensklassifisering og FMECA av fôrflåte

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør
Veileder: Bengt Finstad
Medveileder: Viggo G. B. Pedersen
November 2023

Ingeborg Byberg
Ida Lise Hoem
Martha Austad Opsal

Konsekvensklassifisering og FMECA av fôrflåte

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør
Veileder: Bengt Finstad
Medveileder: Viggo G. B. Pedersen
November 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for biologi



Kunnskap for en bedre verden

<p>Tittel (norsk og engelsk):</p> <p>Norsk: Konsekvensklassifisering og FMECA av fôrflåte</p> <p>Engelsk: Consequence classification and FMECA on feeding barge</p>	<p>Prosjektnr.</p>
<p>Forfattere:</p> <p>Ingeborg Byberg, Ida Lise Hoem og Martha Austad Opsal</p>	<p>Dato: 08.09.23</p>
	<p>Gradering: Åpen</p>
<p>Studium</p> <p>Bachelor i Havbruksingeniør</p>	
<p>Studieretning:</p> <p>Ikke relevant</p>	
<p>Veileder internt:</p> <p>Bengt Finstad og Viggo Pedersen (medveileder)</p>	
<p>Oppdragsgiver:</p> <p>MOWI</p>	
<p>Oppdragsgivers kontaktperson:</p> <p>Einar Roan og Arnt Erik Tronvold</p>	
<p>Sammendrag (norsk og engelsk):</p> <p>Beskrive systemene og systemgrensene. Deretter utføre en konsekvensklassifisering på fôrflåtens skrog og fôringssystem. Basert på konsekvensklassifiseringen utføre FMECA på kritiske enheter. Til slutt bestemme en beslutningslogikk for grenseverdi knyttet til identifiserte tilstandsparameter og tilstandskontrollmetode, og foreslå tiltak for å håndtere sviktmoder.</p> <p>Describe the systems and system boundaries. Perform a consequence classification on the feeding barge and feeding system of the fleet. Based on the consequence classification, conduct FMECA on critical components. Finally, establish decision logic for threshold values associated with identified state parameters and state control methods, and propose measures to address failure modes.</p>	
<p>Stikkord:</p> <p>Fôrflåte</p> <p>Fôringssystem</p> <p>Kamerasystem</p> <p>FMECA</p> <p>Konsekvensklassifisering</p>	<p>Keywords:</p> <p>Feeding barge</p> <p>Feeding system</p> <p>Camera system</p> <p>FMECA</p> <p>Consequence classification</p>

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Ingeborg Byberg, Ida Lise Hoem og Martha Austad Opsal som en avsluttende del av studiet Havbruksingeniør ved NTNU Trondheim, høsten 2023. Oppgaven er skrevet i samarbeid med oppdrettsselskapet Mowi.

Gjennom oppgaven har gruppen fått innblikk i samspillet mellom teknologi og biologi i bransjen, samt en bredere forståelse rundt fôringsprosessen og viktigheten av denne.

Vi ønsker å takke Einar Roan og Arnt Erik Tronvold fra Mowi for godt samarbeid og gjennomføring av oppgaven. Gruppen ønsker å takke Maintech for innhenting av oppgave og råd for gjennomføring. Vi vil også takke Spillfree for å komme med råd og kunnskap underveis.

Avslutningsvis ønsker vi å rette en stor takk til veilederne våre Bengt Finstad og Viggo G. B. Pedersen ved NTNU Trondheim for god veiledning, hjelp med planlegging og faglige innspill gjennom hele oppgaven.



Ingeborg Byberg



Ida Lise Hoem



Martha Austad Opsal

Trondheim, 23. november 2023

Sammendrag

Formålet med oppgaven var å identifisere sviktmoder på ett av Mowi sine anlegg, for videre å finne relevante tilstandsparametere. På bakgrunn av dette var det ønskelig at gruppen skulle komme med forslag til kriterier for vedlikehold, grenseverdier for disse og relevante vedlikeholdstiltak. Målet med vedlikeholdstiltakene skulle være å forlenge tiden mellom hvert slippopphold.

Konsekvensklassifisering viser effekten tap av funksjon har på HMS, produksjon og kostnader ved å identifisere kritisk utstyr. Ved å videre vurdere kritisk utstyr funnet i konsekvensklassifiseringen i en FMECA eller annen type analyse vil man kunne si noe om hvilken effekt de ulike sviktene har på systemet, hvordan de kan unngås, og hvordan konsekvensen kan reduseres.

Hensikten med vedlikeholdsstyring er å optimalisere vedlikeholdskostnader, forbedre levetid for utstyr og redusere uforutsett nedetid på utstyr. Å redusere uforutsett nedetid er ekstra viktig i oppdrettsnæringen. Selv om bransjen i utgangspunktet handler om produksjon, kan det ikke sammenlignes med annen industri, da man også må rette et stort fokus til fiskevelferd. Langvarig nedetid i fôringssystemet vil kunne medføre redusert velferd for millioner av fisk.

Fiskevelferd er essensielt i oppdrettsnæringen, og vurderes gjennom ulike velferdsindikatorer. Stress er en betydelig faktor som påvirker fiskevelferd negativt. I tillegg er det viktig å trekke inn viktigheten av fôrtilgjengelighet. Dersom tilgjengeligheten ikke er tilstrekkelig vil det medføre konsekvenser for tilvekst og overlevelse.

Gruppen har gjennom arbeidet med oppgaven trukket konklusjoner om at hensiktsmessig vedlikehold er viktig for å bedre fiskehelse og fiskevelferd. I tillegg må man som oppdretter selv trekke konklusjoner vedrørende hva man opplever som lønnsomt og ikke, og hvor man ønsker å legge fokuset sitt. Denne oppgaven legger vekt på rutiner rundt vedlikehold, og hvordan god rutiner rundt dette vil medføre økt lønnsomhet.

Resultatmål	Viktige funn
1. Beskrive systemene og systemgrensene	<ul style="list-style-type: none"> • Oppgaven begrenses til systemene skrog, føringsystem og generator • Det finnes ingen konkrete mål og strategier for vedlikehold i Mowi på fôrflåter • Fôrflåten ved Lønngrunnen er inne til slipp annenhver generasjon • Personell ved Lønngrunnen omtaler føringsystemet som det mest kritiske systemet på flåten • Det er ikke observert endring i adferd hos laksen ved tapt fôring
2. Utfør konsekvensklassifisering på skrog, føringsystem og generator	<ul style="list-style-type: none"> • Samtlige (fire) hovedfunksjoner endte opp med høy kritikalitet • Endte opp med 23 underfunksjoner, hvorav én med lav kritikalitet, to med middels kritikalitet og 20 med høy kritikalitet
3. Utfør ytterlig analyse på kritiske enheter - FMECA	<ul style="list-style-type: none"> • Totalt 24 sviktmoder analysert, hvorav én med lav kritikalitet, syv med middels kritikalitet og 16 med høy kritikalitet
4. Forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder	<ul style="list-style-type: none"> • Beslutningslogikk for grenseverdi er basert på observasjoner, tilstandsparameter og data • Innføre standardiserte vedlikeholdsrutiner ved anlegg og verft • Det anbefales å utføre mest mulig forebyggende vedlikehold på lokaliteten for å forlenge tiden mellom slipp • Kvalitetsjekk av vedlikeholdet som utføres på verftene

Tabell 0.1: Viktige funn knyttet til resultatmål i oppgaven

Abstract

The purpose of this assignment is to identify failure modes at one of Mowi's sites, in order to implement a risk assessment of these. Based on this, the group was expected to propose criteria for maintenance, set limits for these criteria, and suggest relevant maintenance measures. The goal of the maintenance measures was to extend the time between each dry-dock.

A consequence classification shows the effect lost function has on HSE, production and costs by identifying critical equipment. By further evaluating critical equipment found from the consequence classification using FMECA or another type of analysis, one can determine the impact of various failures on the system, how they can be avoided, and how the consequences can be reduced.

The purpose of maintenance management is to optimize maintenance costs, improve equipment lifespan, and reduce unplanned equipment downtime. Reducing unplanned downtime is especially crucial in the aquaculture industry. Although the industry primarily focuses on production, it cannot be compared to other industries as a significant emphasis must also be placed on fish welfare. Prolonged downtime in the feeding system can result in reduced welfare for millions of fish.

Through the task, the group has concluded that appropriate maintenance is crucial to improving fish health and welfare. Additionally, as a fish farmer, one must draw conclusions about what is perceived as profitable and where to focus efforts. This assignment emphasizes routines around maintenance, and how good routines in this regard will lead to increased profitability.

Performance goals	Important findings
1. Describe the systems and system boundaries	<ul style="list-style-type: none"> • The thesis is limited to the barge, feeding system, and generator systems • Mowi has no specific goals and strategies for maintenance on feeding barge • The barge at Lønngrunnen is sent to dry-dock every other generation • Operators at Lønngrunnen refer to the feeding system as the most critical system on the barge • No observed change in behavior of the fish in case of lost feeding
2. Perform consequence classification on barge, feeding system, and generators	<ul style="list-style-type: none"> • All (four) main functions with high criticality • 23 sub-functions, of which one has low criticality, two have medium criticality, and 20 have high criticality
3. Conduct further analysis on critical components - FMECA	<ul style="list-style-type: none"> • A total of 24 failure modes analyzed, of which one has low criticality, seven have medium criticality, and 16 have high criticality
4. Propose measures to address failure modes	<ul style="list-style-type: none"> • Decision logic is based on observations, condition parameters, and data • Standardized maintenance procedures at facilities and shipyards • It is recommended to perform as much maintenance as possible on-site to limit the time at dry-dock • Quality check of maintenance done at the shipyard

Tabell 0.2: Important findings related to the outcome measures in the thesis

Forkortelser og definisjoner

AI - Artificial intelligence

AO - Arbeidsordre

CMMS - Computerized Maintenance Management System (vedlikeholdsstyringssystem)

bFCR - Biologisk førfaktor

eFCR - Økonomisk førfaktor

FMECA - Failure mode, effects, and criticality analysis (Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse)

GMC - General Monitor and Control System

HF - Hovedfunksjon

HMS - Helse, miljø og sikkerhet

HPI-aksen - Hypothalami-Pituitary-Interrenal axis

IIoT - Industrial Internet of Things

IKT - Informasjons- og kommunikasjonsteknologier

KPI - Key Performance Indicator (nøkkeltall på ytelse)

Krevd funksjon - "Funksjon, kombinasjon av funksjoner eller en kombinasjon av alle enhetens funksjoner, som anses som nødvendig for å oppfylle et gitt krav" [1]

Metallisering - Metallisering er en overflatebehandling der man dekker et metall med et belegg av et annet metall [2]

MTBF - Mean Time Between Failure

MTTF - Mean Time To Failure

Pålitelighet - "Enhetens evne til å oppfylle krevd funksjon under gitte forhold innenfor et gitt tidsintervall" [1]

RCM - Reliability centered maintenance

RBI - Risk Based Inspection (Risikobasert Inspeksjon)

SAV - Salmonid alfavirus

Svikt - "Tap av en enhets mulighet til å oppfylle krevd funksjon" [1]

Sviktmode - "Måten en enhet mister evnen til å oppfylle krevd funksjon på" [1]

Sviktårsak - "Forhold knyttet til spesifikasjon, utforming, framstilling, installering, bruk eller vedlikehold, som fører til svikt" [1]

Sviktmechanisme - "Fysiske, kjemiske eller andre prosesser som kan føre til eller har ført til svikt" [1]

UF - Underfunksjon

VI - Velferdsindikatorer

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iv
Forkortelser og definisjoner	vi
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn for oppgaven	6
1.2 Oppgavebeskrivelse	6
1.3 Resultatmål og effektmål	7
1.4 Oppgavens begrensning	8
1.5 Leserveiledning	9
2 Teori	10
2.1 Vedlikehold	10
2.1.1 Vedlikeholdsstrategier	10
2.1.2 Industri 4.0, IIoT og Big Data	11
2.2 Vedlikeholdsstyring	11
2.2.1 Vedlikeholdsstyringssystem	13
2.2.1.1 Aquacom	14
2.3 Konsekvensklassifisering	15
2.3.1 Bruksområde	15
2.3.2 Fremgangsmåte konsekvensklassifisering	16
2.3.3 Dokumentasjon	17
2.4 FMECA	18
2.4.1 Fremgangsmåte for FMECA	18
2.4.1.1 Planlegging	20
2.4.1.2 Utførelse	21
2.4.1.3 Dokumentering	22
2.5 NYTEK-forskriften og standard NS9415:2021	23
2.5.1 NYTEK-forskriften	23
2.5.2 Standard NS9415:2021	23
2.6 Biologi	24
2.6.1 Fordøyelse	24
2.6.2 Energiforbruk	24
2.6.3 Appetitt	25
2.7 Tilvekst	25

2.7.1	Fôrets oppbygning	26
2.7.2	Fôrfaktor	27
2.8	Fiskevelferd	27
2.8.1	Velferdsindikatorer	28
2.8.1.1	Miljøbaserte velferdsindikatorer	28
2.8.1.2	Dyrebaserede velferdsindikatorer	29
2.8.2	Stress	29
2.8.3	Passiv fisk-teorien	30
3	Metode	31
3.1	Metode for å beskrive system og systemgrenser	31
3.2	Metode for konsekvensklassifisering	32
3.3	Metode for FMECA	32
3.4	Metode for å foreslå tiltak	33
3.5	Metode biologi	33
4	Beskrivelse av systemene og systemgrensene	34
4.1	Beskrivelse av forflåten	34
4.2	Beskrivelse av skrog	35
4.3	Beskrivelse av fôringssystem	36
4.4	Ståstedsanalyse	39
4.4.1	Vedlikehold i Mowi	39
4.4.1.1	Mål, strategier og vedlikeholdsplan	39
4.4.1.2	CMMS og rapportering	39
4.4.1.3	Generelt vedlikehold	41
4.4.2	Vedlikehold på skrog	41
4.4.3	Vedlikehold på fôringssystem	42
4.4.4	Biologisk konsekvens ved tapt fôring	42
5	Konsekvensklassifisering	44
5.1	Utvikling av matrise	44
5.2	Utvikling av analyse skjema	44
5.3	Gjennomføring av konsekvensklassifisering	45
6	FMECA	47
6.1	Forberedelser til FMECA	47
6.1.1	Utvikling av FMECA-skjema	47
6.2	Gjennomføring av FMECA	50
7	Tiltak	51
7.1	Håndtering av sviktmoder	51
7.2	Beslutningslogikk for grenseverdi	51

7.3	Tiltak knyttet til slippopphold	52
8	Resultat	54
8.1	Resultat fra konsekvensklassifisering	54
8.2	Resultat fra FMECA	55
9	Diskusjon	56
9.1	Tanker rundt vedlikehold	56
9.2	Drift og vedlikehold i oppdrett	57
9.2.1	Nedetid og bærekraft	57
9.2.2	Mål og krav til vedlikehold i oppdrettsbransjen	57
9.3	Diskusjon biologi	58
9.3.1	Diskusjon rundt fiskevelferd	58
9.3.2	Risiko ved tapt føring	59
9.3.3	Lønnsomhet	59
9.3.4	Biologisk risiko	60
9.3.5	Miljøutfordringer	60
9.4	Diskusjon rundt oppgavebeskrivelse	61
9.5	Diskusjon rundt systemene og systemgrensene	61
9.5.1	Systemene som inngår i analysen	61
9.5.2	Diskusjon ståstedsanalyse	62
9.6	Diskusjon rundt konsekvensklassifisering	63
9.6.1	Gjennomføringen av konsekvensklassifisering	63
9.6.2	Resultat av konsekvensklassifisering	64
9.7	Diskusjon rundt FMECA	65
9.7.1	FEMCA som metode	65
9.7.2	Gjennomføringen av FMECA	66
9.7.3	Resultat av FMECA	67
9.8	Diskusjon av tiltak	68
10	Konklusjon	70
11	Anbefalinger til videre arbeid	72
A	Vedlegg	I
A.1	Konsekvensklassifisering	I
A.2	FMECA	II

Figurer

2.1	Vedlikeholdsstyringsløyfa. Sløyfa viser hva en organisasjon må ha på plass for å ha vedlikeholdsstyring. Figuren er laget av gruppen, basert på Vedlikeholdsstyringsløyfa fra Basisstudie vedlikeholdsstyring av Oljedirektoratet [6]	12
2.2	Figuren viser Mowis tekniske hierarki i Aquacom for fôrflåten ved Lønngrunnen .	14
2.3	Illustrasjon av konsekvensklassifiseringsprosessen. Figuren er laget av gruppen, basert på illustrasjon fra standard NORSOK Z-008 [9].	15
2.4	Flytskjema av FMECA-prosessen. Figuren er laget av gruppen, basert på illustrasjon fra standard NEK EN IEC 60812:2018 [12].	19
2.5	Hierarkisk tre diagram. Figuren er laget av gruppen og er basert på figur hentet fra undervisningsmaterieell fra NTNU [10]	21
2.6	Blokkdiagram. Figuren er laget av gruppen og er basert på figur hentet fra undervisningsmaterieell fra NTNU [10]	22
2.7	Energiregnskap hos laksefisk. Figuren er hentet fra boka Fiskeernæring (2001) [17]	25
2.8	Sammenheng mellom tilvekst og fôrfaktor. Figuren er hentet fra kursmaterieell fra Spillfree [18]	26
2.9	Oversikt over ulike stresstorer og stressresponser hos laks. Figuren er laget av gruppen, basert på figur fra Barton [30]	30
4.1	Fôrflåten ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring	34
4.2	Én av to generatorskap og generatorer ved Lønngrunnen. Generatorskap vises t.v. og generator t.h. Bildene ble tatt av gruppen under befaring	35
4.3	Skrog ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring	36
4.4	Blåsere i blåser rom ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring	37
4.5	Fôrskrue og sluseventil ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring	37
4.6	Fordelingsventiler ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring .	38
4.7	Illustrasjon av fôrets vei fra silo og ut til merd. Illustrasjonen er laget av gruppen, basert på figur fra ScaleAQ [33]	39
4.8	Skjerm bilde fra Aquacom som viser utført daglig vedlikehold på flåten	40
4.9	Skjerm bilde fra Aquacom som viser utført ukentlig vedlikehold på fôringssystemet	40
5.1	Konsekvensklassifiseringsskjema utviklet av gruppen	45
6.1	FMECA-skjema del 1	47
6.2	FMECA-skjema del 2	48
6.3	FMECA-skjema del 3	48
7.1	Flytskjema - beslutningslogikk for vedlikehold på fôringssystem	52
8.1	Resultat fra konsekvensklassifisering - antall underfunksjoner med lav, middels og høy konsekvens	54
8.2	Resultat fra FMECA - antall sviktmoder med lav, middels og høy kritikalitet . .	55

Tabeller

0.1	Viktige funn knyttet til resultatmål i oppgaven	iii
0.2	Important findings related to the outcome measures in the thesis	v
1.1	Resultatmål	7
1.2	Effektmål	8
1.3	Oversikt over oppgavens kapittel og oppbygning	9
2.1	Forklaring av hvert element i vedlikeholdsstyringsløyfa	13
2.2	Forklaring av fremgangmåten i konsekvensklassifiseringsprosessen. Dette er basert på standard NORSOK Z-008 [9].	17
5.1	Konsekvensklassifiseringsmatrisen som ble brukt under analysen. Matrisen er utviklet av gruppen	44
6.1	Forklaring av kolonner i FMECA-skjema	50
10.1	Viktige funn knyttet til resultatmål i oppgaven	71

1 Innledning

I dette kapitlet presenteres bakgrunn for oppgaven, oppgavebeskrivelse, resultatmål, oppgavens begrensning og leserveiledning.

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Bachelorgruppen ønsket en oppgave med hovedtyngde på vedlikehold. På bakgrunn av dette ville gruppen kunne bidra til fremtidens vedlikehold i Mowi, samt se på viktigheten av vedlikehold knyttet opp mot biologi.

1.2 Oppgavebeskrivelse

Oppgavebeskrivelsen gruppen fikk utdelt fra Mowi var som følger:

Fôrflåter på oppdrettsanlegg tas rutinemessig inn til slipp for rengjøring og vedlikehold. Dette gjøres kalenderbasert, men uten standardiserte intervaller. Intervallene må likevel tilpasses produksjon/utsett av fisk. Flåtene produseres i ulike materialer, men i denne omgang fokuseres det på flåter av stål. Det er ønskelig å optimalisere vedlikeholdet ved å gjøre dette tilstandsbasert. For å oppnå dette er Mowi ute etter å få:

- Identifisere sviktmoder for utstyret
- Risikovurdering av de ulike sviktmodene
- Identifisere relevante tilstandsparametre. Hva er det man kan måle som vil være relevante triggere for vedlikehold?
- Forslag til kriterier for vedlikehold (triggere), grenseverdier for disse og relevante vedlikeholdstiltak
- Forslag til tiltak som kan forlenge tiden mellom hvert slippopphold

I samråd med Mowi besluttet gruppen å fokusere på skroget og fôringssystemet til fôrflåten, samt generator da den biologiske delen av oppgaven vil omhandle manglende fôring/tapt fôring grunnet strømbrudd.

1.3 Resultatmål og effektmål

Tabell 1.1 viser resultatmålene gruppen skal jobbe mot. Hensikten med resultatmålene er at studentene skal ha klare, tydelige mål å jobbe mot. Resultatmålene ble satt av gruppen, i samråd med veiledere.

Resultatmål	Delmål
1. Beskrive systemene og systemgrensene	1a. Innhent dokumentasjon over skrog, føringsystem og generator 1b. Basert på innhentet dokumentasjon finne ut av funksjoner og begrensninger til skrog, føringsystem og generator 1c. Utfør ståstedsanalyse gjennom befarings og intervju. Undersøke hvordan vedlikeholdet gjøres og hvordan den daglige driften er i dag 1d. Undersøke biologisk konsekvens ved tapt føring grunnet strømbrudd
2. Utfør konsekvensklassifisering på skrog, føringsystem og generator	2a. Gjennomfør konsekvensklassifisering på gitt skrog, føringsystem og generator – ved bruk av standard NORSOK Z-008:2017
3. Utfør ytterlig analyse på kritiske enheter - FMECA	3a. Basert på konsekvensklassifiseringen fra Resultatmål 2 - gjennomføre FMECA ved bruk av standard NEK IEC 60812:2018
4. Forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder	4a. Basert på Resultatmål 3 komme med forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder 4b. Foreslå en beslutningslogikk for grenseverdi knyttet til identifiserte tilstandsparameter og tilstandskontrollmetode basert på Resultatmål 4a. 4c. Foreslå tiltak som kan forlenge tiden mellom hvert slippopphold for førflåten

Tabell 1.1: Resultatmål

Tabell 1.2 viser effektmålene gruppen har satt seg. Disse personlige målene gjengir det gruppen ønsker å få ut av oppgaven.

Effektmål
Økt læring
Utvikling av ferdigheter
Få bruke tillært teori i praksis
Få erfaring på å utføre vedlikeholdsanalyser
Tilegne oss bredere forståelse for havbruksnæringen

Tabell 1.2: Effektmål

1.4 Oppgavens begrensning

Denne oppgaven fokuserer på skrog og fôringssystem. Fôringssystemet omhandler hele systemet, enheter på flåten og helt ut til merden. Kamerateamet er en viktig enhet når det kommer til fôring, derfor vil også dette bli omtalt og analysert. I tillegg vil generatorene bli analysert, da disse er relevante for den biologiske problemstillingen i oppgaven.

Gruppen ønsker å presisere at det under oppgaven kun er blitt tatt for seg ett anlegg i Mowi. Kapittel 4 er basert på denne aktuelle flåten og systemer ved dette anlegget. Det samme gjelder informasjon som er innhentet under intervju og befarings.

En videre begrensning vil være at det i oppgaven fokuseres på oppdrettslaks. Derfor vil ikke biologi og fysiologi hos villaks bli omtalt i denne oppgaven. For bedre flyt i oppgaven vil begrepene *fisken* og *laksen* brukes om hverandre.

Opgaven vil bruke vedlikeholdsterminologi hentet fra standard NS-EN-13306:2017. Ifølge denne standarden er det frarådd å bruke blant annet begrepet "*feilmodus*". Det rådes til å bruke begrepet "*sviktmodus*". Dette er fordi etter en svikt har enheten en feil, som kan være delvis eller fullstendig. Svikt er en hendelse, mens feil er en tilstand [1]. Derfor vil det gjennom oppgaven konsekvent brukes "*svikt*", og ikke "*feil*" når dette omtales. Begrepet "*enhet*" brukes om del, komponent, innretning, delsystem, funksjonell enhet, utstyr eller system som kan beskrives og vurderes individuelt - dette ihht. samme standard.

1.5 Leserveiledning

Tabell 1.3 gjengir hvordan oppgaven er strukturert.

Kapittel	Forklaring
2. Teori	Redegjør for relevant teori som er benyttet i oppgaven
3. Metode	Redegjør for metodene gruppen har brukt for å besvare oppgaven
4. Beskrivelse av systemene og systemgrensene	Redegjør for systemene og systemgrensene som er satt i oppgaven, og svar på Resultatmål 1
5. Konsekvensklassifisering	Redegjør for gjennomføringen av konsekvensklassifiseringen og svar på Resultatmål 2
6. FMECA	Redegjør for gjennomføringen av FMECA og svar på Resultatmål 3
7. Tiltak	Redegjør for tiltak for å håndtere sviktmoder og svar på Resultatmål 4
8. Resultat	Redegjør for resultater som fremkommer av oppgaven
9. Diskusjon	Redegjør for diskusjoner omkring oppgaven og oppgavens innhold
10. Konklusjon	Redegjør for konklusjoner i oppgaven
11. Anbefalinger til videre arbeid	Redegjør for hvordan Mowi videre kan bygge på denne oppgaven

Tabell 1.3: Oversikt over oppgavens kapittel og oppbygning

2 Teori

Dette kapitlet vil ta for seg grunnleggende teori omkring vedlikehold, vedlikeholdsstyring og de to analysene som vil bli benyttet i oppgaven, samt laksens biologi og fiskevelferd.

2.1 Vedlikehold

Standard NS-EN 13306:2017 definerer vedlikehold som “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” [1]. Det er tre grunnleggende tilnærminger til vedlikehold - disse er korrektivt-, preventivt (forebyggende)-, og prediktivt vedlikehold. Disse tilnærmingene, eller vedlikeholdsstrategiene blir klassifisert etter tidspunktet når en reparasjon utføres i forhold til forekomsten av svikt [3]. Vedlikehold har hatt en stor utvikling, der det har gått fra å utelukkende utføre korrektivt vedlikehold til å ved hjelp av digitalisering, har større fokus på prediktivt vedlikehold.

2.1.1 Vedlikeholdsstrategier

Korrektivt vedlikehold innebærer å handle etter at en svikt har oppstått. Denne tilnærmingen vil minimere kostnaden av vedlikeholdet av enheten, og forlenger dermed vedlikeholdsintervallet. Det skjer dog på bekostning av økt risiko for utilgjengelighet av enheten. Negative effekter av korrektivt vedlikehold kan være tapte inntekter ved uforutsett nedetid og økte kostnader for reparasjon av enheten [3].

Formålet med forebyggende vedlikehold er å unngå uforutsett nedetid gjennom å ha planlagte periodiske inspeksjoner og utskiftninger. Dette inkluderer eksempelvis smøring, justeringer og oljeskift. Vedlikeholdsintervallene kan bestemmes av blant annet leverandørens anbefalinger eller gjennom parametre som MTBF (Mean Time Between Failure) og MTTF (Mean Time To Failure). Forebyggende vedlikehold vil kunne sikre god tilstand på enheter og redusere risikoen for potensiell nedetid [3]. En negativ konsekvens av forebyggende vedlikehold kan imidlertid være at utskiftninger og reparasjoner kan bli foretatt lenge før en enhet faktisk er utslitt, noe som kan føre til høye vedlikeholdskostnader [4].

Ved prediktivt vedlikehold ønsker man å utføre vedlikehold når det er nødvendig - gjerne rett før det forventes svikt. Bakgrunnen for denne tilnærmingen er å forutsi en enhets tilstand basert på gjentatte analyser eller kjente egenskaper. Derfor er prediktivt vedlikehold en type tilstandsbasert vedlikehold hvor man forutser fremtidig ytelse basert på nåværende og historiske indikatorer. Bruken av denne teknikken vil føre til en reduksjon både i forutsett og uforutsett nedetid. Vanlige teknikker som brukes innen prediktivt vedlikehold er blant annet vibrasjonsovervåkning, termografi, oljeanalyse og visuell inspeksjon [3].

2.1.2 Industri 4.0, IIoT og Big Data

For å i det hele tatt kunne muliggjøre tilstandsbasert vedlikehold og prediktivt vedlikehold må man ha teknologi som kan legge til rette for det. Det er dette Industri 4.0 handler om. Industri 4.0 er et begrep som er knyttet til anvendelsen av moderne informasjons- og kommunikasjonsteknologier (IKT) i industri, som åpner opp nye muligheter for enheters interoperabilitet, kunstig intelligens (AI) og digitalisering. Hovedkonseptene som er sterkt knyttet til utviklingen av Industri 4.0 er Big Data, utvidet virkelighet (augmented reality), autonome roboter, 3D-printing, simulering, systemintegrasjon, skytjenester (cloud computing), (Industrial) Internet of Things (IIoT) og cybersikkerhet. De nevnte konseptene vil forbedre driftsevnen ved å kunne fjernstyre, fastslå enheters tilstand, forutsi svikt, implementere sanntidsapplikasjoner og drive proaktivt vedlikehold. På denne måten kan man få “smart” industri eller vedlikehold [3].

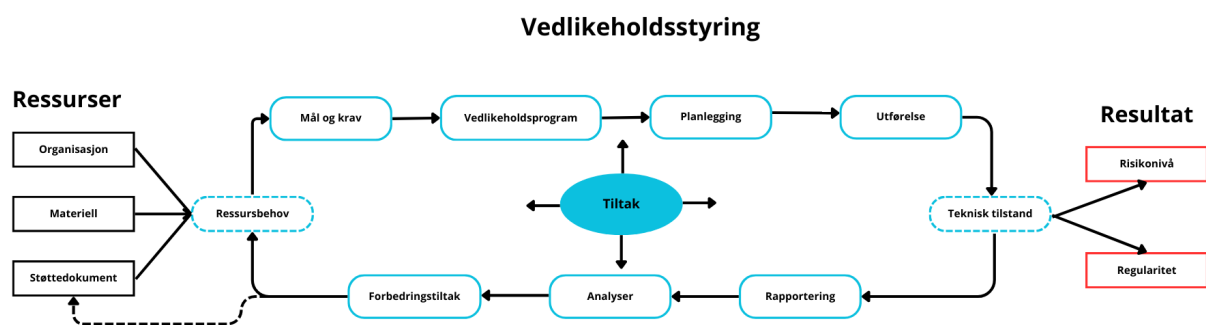
Kommunikasjonsteknologi, som er i stadig utvikling, tillater enklere tilgang, integrasjon og industriell dataanalyse. Denne utviklingen har en spesiell innvirkning på prediktivt vedlikehold da den tillater at data fra eksempelvis sensorer kan benyttes til mange flere oppgaver enn det som opprinnelig var tiltenkt. IIoT gir en bro mellom en fysisk fabrikk eller et anlegg (bestående av sensorer, målinger og hendelser) og en virtuell samling av modeller, maskinlæring og kunstig intelligens [3].

Big Data er generelt definert som data i store mengder og som krever spesiell teknologi for å håndtere dem. Å samle, lagre og analysere data i denne formen overstiger kapasiteten til tradisjonell teknologi. Ved hjelp av dataarkiver eller skyplattformer kan man samle, behandle, transformere og spørre (query) Big Data. Moderne systemer tillater ikke bare datalagring eller analyse av datastrømmer, men muliggjør også vurdering av datakvalitet og tilnærmet informasjon selv om deler av datasettet mangler [3].

2.2 Vedlikeholdsstyring

Nettsiden Facilio definerer vedlikeholdsstyring som “den systematiske prosessen med å planlegge, organisere og kontrollere vedlikeholdsrelaterte aktiviteter og vedlikehold av fysisk utstyr/eiendeler”. De tre primære målene ved vedlikeholdsstyring er å optimalisere vedlikeholdskostnader, forbedre levetid for utstyr og redusere uventede sammenbrudd av utstyr [5].

Høsten 1996 startet Oljedirektoratet et prosjekt hvor målet var å utvikle en metode for systematisk og helhetlig vurdering av selskapenes eget vedlikeholdsstyringssystem. Dette prosjektet fikk navnet “Basisstudie vedlikeholdsstyring”. Gjennom prosjektet ønsket Oljedirektoratet “å bidra til en generell heving av kvaliteten på operatørens system for styring av sikkerhetsrelatert vedlikehold og å gi operatørene bedre forutsigbarhet med hensyn til Oljedirektoratets forventninger og krav på dette området” [6]. Resultatet av prosjektet ble en modell for styring av vedlikehold - Vedlikeholdsstyringssløyfa. Denne vises nedenfor, i Figur 2.1.



Figur 2.1: Vedlikeholdsstyringsløyfa. Sløyfa viser hva en organisasjon må ha på plass for å ha vedlikeholdsstyring. Figuren er laget av gruppen, basert på Vedlikeholdsstyringsløyfa fra Basisstudie vedlikeholdsstyring av Oljedirektoratet [6]

Tabell 2.1 gir en kort forklaring av hvert element fra Vedlikeholdsstyringsløyfa i Figur 2.1.

Element i sløyfa	Forklaring
Mål og krav	Fokuserer på å omsette selskapets egne sikkerhetsmål og overordnede myndighetskrav til vedlikeholdsrelaterte mål og krav, samt på utvikling av tilhørende måle- og styringsparametre/indikatorer [6]
Vedlikeholdsprogram	Fokuserer på arbeidsprosesser for utvikling, oppdatering og forbedring av forebyggende vedlikeholdsprogram, inspeksjonsprogram, program for tilstandsmåling og testing o.l. [6]. Her kommer blant annet analyser som konsekvensklassifisering og FMECA inn
Planlegging	Fokuserer på planlegging av vedlikeholdsaktiviteter på lengre sikt og kort sikt, de enkelte arbeidsoppgaver, samt daglig koordinering [6]
Utførelse	Fokuserer på forberedelser, gjennomføring, kontroll og avslutning/etterarbeid av forebyggende og korrigerende vedlikehold. I dette inngår også registrering av data/utstyrshistorikk etter utført arbeid på systemer og utstyr [6]
Rapportering	Fokuserer på arbeidsprosesser for innsamling og kvalifisering av sikkerhetsrelaterte vedlikeholdsdata, utarbeiding og distribusjon av rapporter, statistikk o.l. til vedlikeholdsenheter og ledelse [6]

Analyser	Omhandler gjennomføring av analyser av vedlikeholdsrelaterte hendelser og erfaringsdata. Eksempelvis analyser av uønskede hendelser som har oppstått under vedlikeholdsarbeid, analyser med utgangspunkt i statistikk og trender for svikt på sikkerhetskritisk utstyr og sikkerhetssystemer, analyser av årsaksforhold ved økning i utestående korrigerende vedlikehold m.m. [6]
Forbedringstiltak	Fokuserer på arbeidsprosesser for initiering, gjennomføring og oppfølging av forbedringstiltak, på grunnlag av gjennomførte analyser, erfaringsoverføring/beste praksis m.m. [6]
Tilsyn	Fokuserer på arbeidsprosesser for planlegging og gjennomføring av tilsyn mot egen organisasjon og tilsyn mot entreprenører, borekontraktøre/eiere av flytende innretninger og leverandører. Eksempel på former for tilsyn: revisjoner, verifikasjoner, inspeksjoner, egenvurderinger m.m. [6]
Ressurser	<i>Organisasjon</i> fokuserer på krav og praksis i forbindelse med design av arbeidsprosesser, bemanning, kompetanse, opplæring o.l. <i>Materiell</i> fokuserer på arbeidsprosesser for innkjøp, mottak, lagring, preservering/vedlikehold, utsendelse, kontroll m.m. av reservedeler og materiell. <i>Støttedokumentasjon</i> på arbeidsprosesser som skal ivareta kvalitet, tilgjengelighet, oppdatering mv til ulike teknisk og administrativ støttedokumentasjon, i form av eksempelvis utstyrregister ved vedlikeholdshistorie, tegninger og vedlikeholdsprosedyrer [6]

Tabell 2.1: Forklaring av hvert element i vedlikeholdsstyringsløyfa

2.2.1 Vedlikeholdsstyringsystem

Økt kompleksitet innen produksjonsprosesser og strenge krav til en effektiv vedlikeholdsfunksjon medfører et økt behov for effektive styringsverktøy i vedlikeholdet. Vedlikeholdsstyringsystem (CMMS - Computerized Maintenance Management System) er en felles betegnelse på databaser-te programmer som er utviklet for å forbedre og effektivisere vedlikeholdet. Disse blir regnet som et av de viktigste verktøyene i moderne vedlikeholdsstyring. Systemene gjør det mulig å forenkle og rasjonalisere administrasjonen av informasjon og data knyttet til vedlikehold. Informasjonen blir tilgjengelig til enhver tid, og kan brukes aktivt under hele vedlikeholdsprosessen [4].

2.2.1.1 Aquacom

Vedlikeholdsstyringssystemet Mowi bruker er Aquacom. Aquacom er et produkt fra Mørenot Digital, hvor man har oversikt og kontroll på teknisk utstyr, drift og vedlikehold i maritime virksomheter. I Aquacom kan man holde kontroll på sertifiseringer, lovpålagte kontroller og dokumentasjon med skreddersydde moduler for sjøanlegg, landanlegg, flåter og båter. Man vil også få oversikt over alle typer enheter og utstyr på lokasjon og lager, samt registrering og sporing av aktiviteter, hendelser, avvik og ettersyn [7].

Aquacom kan tilpasses brukerens behov, da det finnes flere ulike moduler man kan ta i bruk. Disse modulene kan brukes uavhengig, men kan også brukes samlet for å få et helhetlig CMMS for hele verdikjeden. Modulene som tilbys i Aquacom er *onshore*, *offshore*, *barge*, *vessels*, *planner* og *quality*. De ulike modulene tilbyr ulike ting. Eksempelvis gir offshore-modulen daglig kontroll og overvåkning av tekniske enheter på sjøanlegg som er både over og under vann, mens planner-modulen er et planleggingsverktøy [8].

Hos Mowi foreligger systemene for flåten består av i et teknisk hierarki i Aquacom som vises i Figur 2.2.

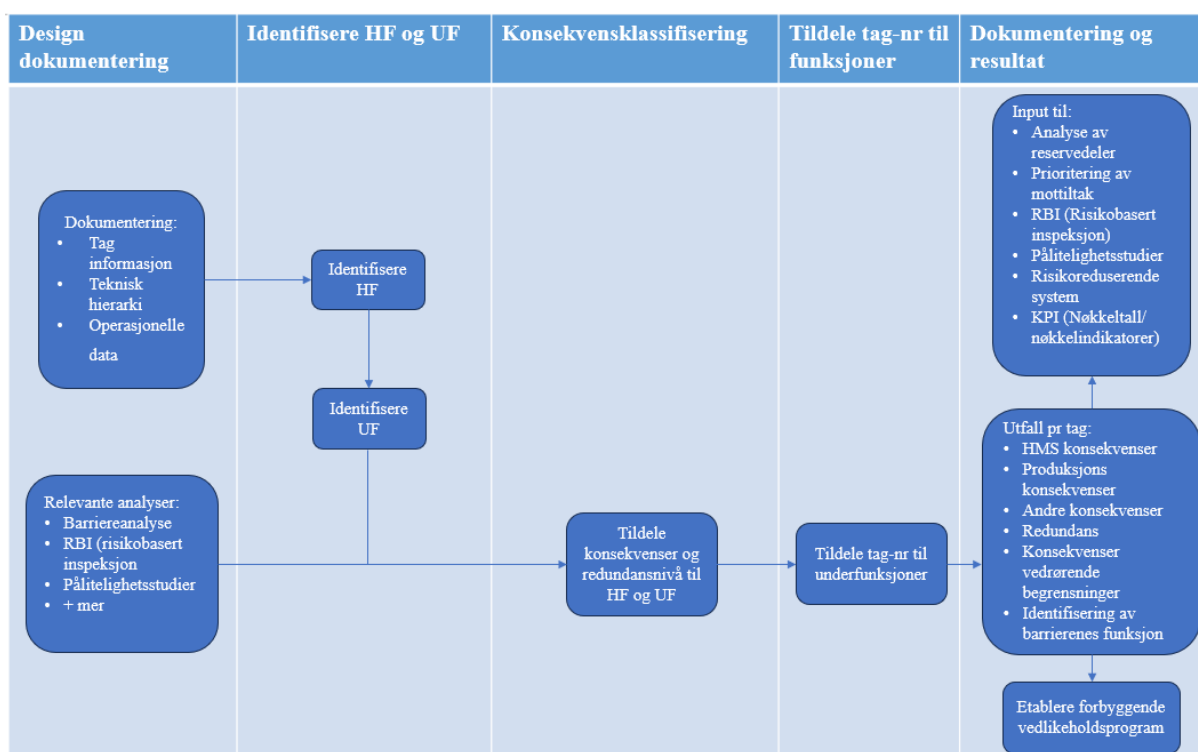
TYPE	KATEGORI
▶ 1 - Generelt	
▶ 2 - Skrog	
▶ 3 - Utstyr for last	
▶ 4 - Skipsutstyr	
▶ 5 - Utstyr for besetning	
▼ 6 - Maskineri	
▶ 651 - Strømaggregat	
▼ 680 - Foringsystem	
▶ 6801 - Linje 1	
▶ 6802 - Linje 2	
▶ 6803 - Linje 3	
▶ 6804 - Linje 4	
▶ 6805 - Linje 5	
▶ 6806 - Linje 6	
▶ 6807 - Linje 7	
▶ 6808 - Linje 8	
▶ 6809 - Linje 9	
▶ 6810 - Linje 10	
▶ 6811 - Linje 11	
▶ 6812 - Linje 12	
▶ 7 - System for maskineri	
▶ 8 - Felles system	

Figur 2.2: Figuren viser Mowis tekniske hierarki i Aquacom for flåten ved Lønngrunnen

2.3 Konsekvensklassifisering

Konsekvensklassifisering er en metode som identifiserer kritisk utstyr og viser effekten tap av funksjon kan ha på HMS, produksjon og kostnader. Konsekvensene identifiseres ved å kartlegge hovedfunksjoner (HF) og underfunksjoner (UF) for de ulike kritiske enhetene og oppgi tilhørende konsekvens av at disse funksjonene ikke opprettholdes. En konsekvensklassifisering vurderer kun funksjonen til en enhet og klassifiserer ikke sviktmøder eller sviktmekanismer. I tillegg er dette en metode som er forenklet i den forstand at den kun identifiserer kritisk utstyr, uten å ta hensyn til sannsynlighet for at svikt skal oppstå [9].

Figur 2.3 illustrerer klassifiseringsprosessen.



Figur 2.3: Illustrasjon av konsekvensklassifiseringsprosessen. Figuren er laget av gruppen, basert på illustrasjon fra standard NORSOK Z-008 [9].

2.3.1 Bruksområde

Ved å finne ut hvilket utstyr som er kritisk kan man spare tid og penger på å ikke analysere unødvendig mange enheter. Sammen med annen informasjon kan en konsekvensklassifisering være et nyttig verktøy i flere ulike prosesser og aktiviteter [9]:

- Valg av utstyr hvor det er anbefalt en detaljert FMECA/RCM/RBI analyse
- Etablering av periodebasert vedlikeholdsprogram
- Forberedelse og optimalisering av GMC's (General Monitor and Control System)
- Evaluering av design

- Prioritering av arbeidsordre (AO)
- Planlegging av reservedeler til lager

2.3.2 Fremgangsmåte konsekvensklassifisering

Konsekvensklassifiseringsprosessen beskrives steg for steg i Tabell 2.2, og tar utgangspunkt i standard NORSOK Z-008.

Steg	Fremgangsmåte
1. Teknisk informasjon	I første steg brukes innhentet teknisk informasjon og dokumentasjon om systemene og enhetene til å finne ut hva som skal være med i analysen. Her er det nyttig å benytte seg av teknisk hierarki for å få oversikt over det tekniske forholdet mellom de ulike enhetene [9].
2. Input fra andre analyser	I neste steg identifiseres barrierer ved en risikovurdering hvor ytelseskrav som pålitelighet og levetid defineres. Relevante enheter identifiseres i CMMS og kravene til enhetenes funksjoner skal legges inn i vedlikeholdsprogrammet for å sikre at disse opprettholdes [9].
3. Identifisere hovedfunksjoner	Hvert system deles inn i et antall hovedfunksjoner som dekker hele systemet. Hovedfunksjoner karakteriseres som hovedoppgaven i prosessen, som for eksempel varmeutveksling, pumping, generere strøm osv. Hver hovedfunksjon tildeles så et tagnummer og et navn som beskriver oppgaven og prosessen [9].
4. Identifisere underfunksjoner	Hovedfunksjonene deles inn i underfunksjoner. Listen over underfunksjoner skal dekke alle relevante underfunksjoner i sammenheng med systemet [9].
5. Tildel redundans til hovedsystemene	Redundans i hovedfunksjonene skal spesifiseres. Redundans skal ikke medregnes dersom det er snakk om sikkerhetssystem eller ved beskyttende funksjoner med redundans grunnet funksjonspålitelighet eller forskriftskrav [9].
6. Tildel konsekvenser til hovedfunksjoner	Konsekvensen av svikt i hovedsystemet tildeles med tanke på tilstanden hvor hovedfunksjonene ikke lengre kan oppfylle sine nødvendige funksjoner. Her går man ut ifra at andre funksjoner og annet utstyr opererer normalt. Eventuell redundans vurderes separat og skal derfor ikke tas hensyn til i dette steget. Formildende handlinger vurderes heller ikke på dette punktet (for eksempel reservedeler, bemanning og verktøy). Derimot skal de mest alvorlige, men realistiske konsekvensene av svikt identifiseres i henhold til satte risikokriterier [9].

7. Tildele redundans til underfunksjoner	Dersom det er redundans innenfor en underfunksjon skal antall parallelle enheter og kapasitet per enhet fastsettes [9].
8. Tildele konsekvenser til underfunksjoner	Konsekvensene av svikt i underfunksjoner til systemet adresseres med hensyn på HMS, produksjon og kostnader i henhold til de samme prinsippene som hovedfunksjonene [9].
9. Utstyret kartlegges med funksjon	Utstyret (identifisert med tag-nr), som utfører underfunksjonen, tildeles de respektive underfunksjonene. Alle enheter vil få samme beskrivelse, konsekvensklassifisering og redundans som underfunksjonen de er en del av. Dersom enheten utfører mer enn én underfunksjon vil den tildeles den mest kritiske underfunksjonen. Det vil si at dersom en enhet har en underfunksjon som klassifiseres med høy kritikalitet, vil hovedfunksjoner tildeles høy kritikalitet uavhengig om resten av underfunksjoner har lav kritikalitet [9].
10. Resultat for hver enhet	Konsekvensanalysen skal dokumenteres som beskrevet i Kapitel 2.3.3 og hoveddata skal være tilgjengelig i CMMS [9].

Tabell 2.2: Forklaring av fremgangsmåten i konsekvensklassifiseringsprosessen. Dette er basert på standard NORSOK Z-008 [9].

2.3.3 Dokumentasjon

Det vil med tiden dukke opp mer informasjon og tilbakemeldinger knyttet til drift og vedlikehold. Derfor bør evalueringen fra analysen være tilgjengelig for oppdateringer og forbedringer av resultatet. Som et minimum skal følgende dokumenteres [9]:

- Beslutningskriterier
- Definisjon av konsekvensklasser
- Beskrivelse av hovedfunksjoner
- Beskrivelse av underfunksjoner
- Utstyret skal tildeles nummer (tag-nr) til underfunksjoner
- Konsekvensene av tap av hovedfunksjoner og underfunksjoner for alle konsekvenskategorier skal dokumenteres. Inklusivt nødvendig begrunnelse for tildeling av konsekvensklasser
- Evaluering av redundans i hovedfunksjoner og underfunksjoner
- Alle avvik skal dokumenteres og forklares

2.4 FMECA

Failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA) er en metode som brukes til å identifisere og analysere alle potensielle sviktmoder tilhørende de ulike delene i et system. En FMECA vil også si noe om hvilken effekt de ulike sviktene har på systemet, hvordan de kan unngås og hvordan konsekvensene reduseres [10]. Denne metoden handler om å finne ut hvor kritisk svikteffekten for det tekniske systemet er på forhånd og bestemme alvorligheten av disse [11].

Tidligere ble FMECA kalt for FMEA (Failure modes and effects analysis). Det som skiller disse metodene er at i FMECA blir også kritikaliteten til konsekvensene av de ulike sviktene vurdert og rangert. Til tross for forskjellen blir disse begrepene i dag brukt litt om hverandre [10].

FMECA har flere bruksområder og anvendes ofte i tidlig utviklings- og designfase. Slik kan potensielle sviktmoder vurderes og tiltak iverksettes for å eliminere feil i en tidlig fase. Dette vil kunne være både tids- og kostnadsbesparende. Metoden brukes også for å forsikre at alle mulige sviktmoder og effekter av disse har blitt vurdert. I tillegg brukes metoden til å oppgi potensielle svikt med tilhørende alvorlighetsgrad. Dokumentasjon av funnene i analysen vil være svært nyttige som referanse for å finne ut om designet bør endres, eller som base for videre analyse. Omfanget av analysen gjør at FMECA kan gi et godt grunnlag for vedlikeholdsplanlegging i en bedrift [12].

Videre er en FMECA spesielt nyttig når den anvendes på system som mest sannsynlig vil svikte på grunn av svikt i enkeltkomponenter. Derfor er den mindre hensiktsmessig på system hvor enhetene i stor grad er avhengige av hverandre, system med fellesfeil og redundans [11].

Det er tre viktige hovedfaser i en FMECA [11]:

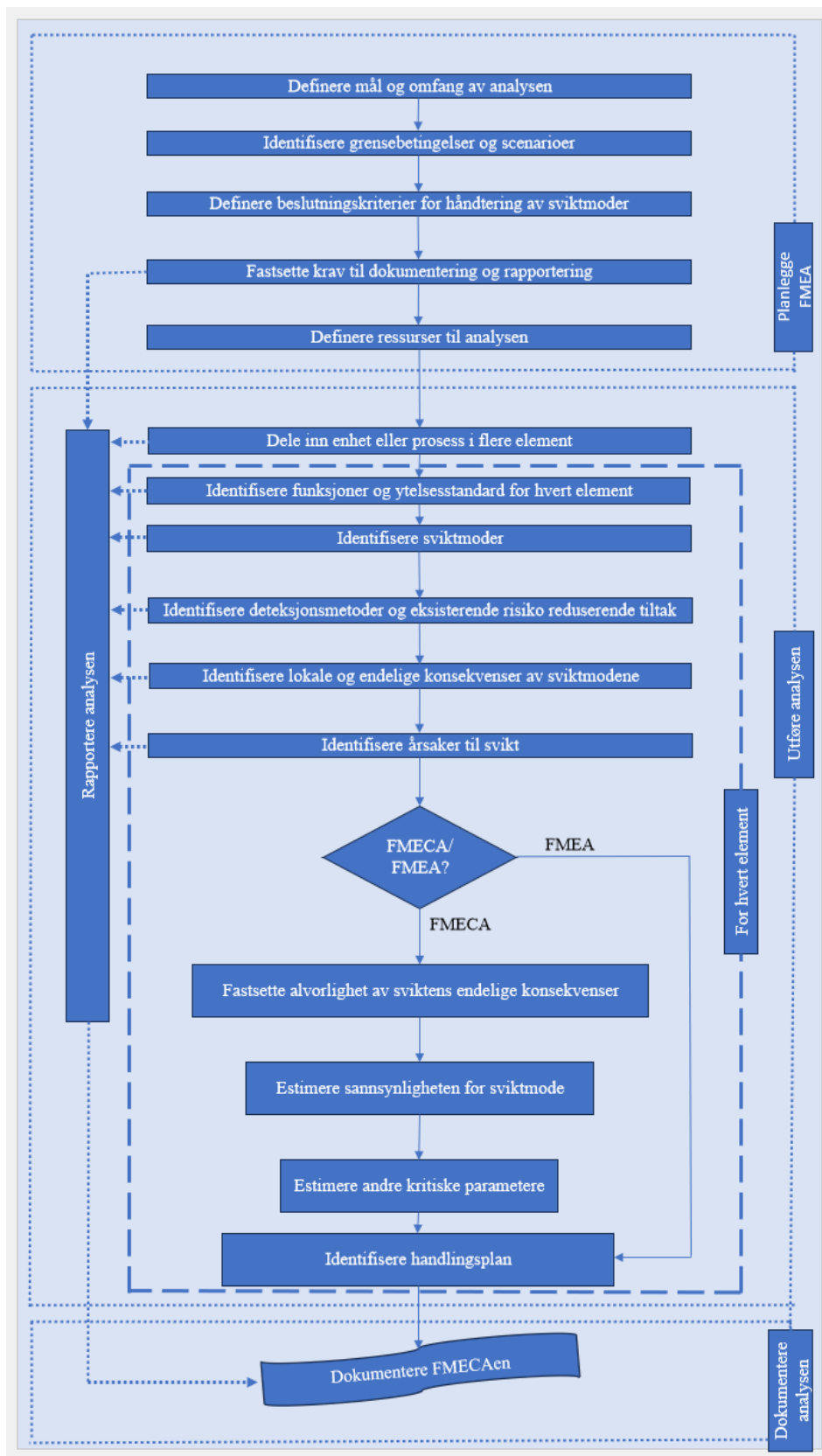
1. Avdekke
2. Analysere
3. Handle

I den første fasen finner man ut hva som kan gå galt, beskriver årsaker, sviktmoder og effekten av disse. Neste fase vil være å finne ut hvor sannsynlig svikten er og hva konsekvensene blir. Denne informasjonen brukes så til å sette opp sviktrater og risikoindeks for systemet. Til slutt vil man bestemme en handlingsplan basert på funnene i analysen. I den siste fasen vil man vurdere tiltak for å unngå svikt og tiltak som kan redusere konsekvensene av svikt [11].

2.4.1 Fremgangsmåte for FMECA

Figur 2.4 viser et flytskjema av FMECA-prosessen. Her deles fremgangsmåten inn i tre faser:

- Planlegging
- Utførelse
- Dokumentering



Figur 2.4: Flytskjema av FMECA-prosessen. Figuren er laget av gruppen, basert på illustrasjon fra standard NEK EN IEC 60812:2018 [12].

2.4.1.1 Planlegging

Dersom man bruker nok tid under planlegging av analysen og gjør gode forberedelser i forkant, vil en FMECA bli enklere å gjennomføre og resultatet bedre. Det vil også være både tids- og kostnadsbesparende å gjøre grundig arbeid i forkant [12]. Det er derfor flere ting som er viktige å tenke på under planleggingsfasen av en FMECA [4]:

- Målet med analysen
- Fastsette randbetingelser
- Innhenting av dokumentasjon og informasjon
- Definere kriteriene for bestemmelse av hvilke sviktmoder som må fikses og prioriteres for håndtering [12]
- Finne et egnet FMECA-skjema og bestemme hvilke kolonner som skal fylles ut

Før man går i gang med analysen bør målet for analysen være tydelig: *hva vil man oppnå med arbeidet og hvorfor gjør man det* [12].

Det må også fastsettes randbetingelser. Dette er viktig for å unngå at analysen blir altfor stor og detaljert, men også for å sikre seg det resultatet man ønsker. Det innebærer at man bestemmer følgende [4]:

- Hvilke deler av anlegget skal være med
- Hvilke operasjonelle tilstander for de ulike komponentene skal være med
- Hvor detaljert skal analysen være: hvor detaljert skal man være med tanke på årsaken til svikt

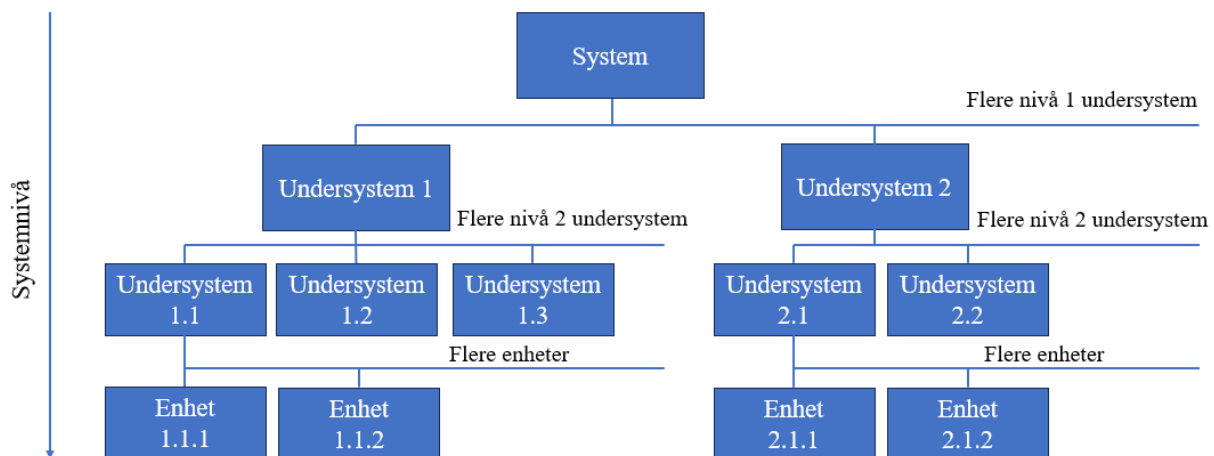
Tilgjengelig informasjon som beskriver systemene som skal analyseres og informasjon om liknende design og system innhentes i tidlig fase. Denne informasjonen kan være tegninger, spesifikasjoner, skjema, liste over enheter, brukergrensesnitt, funksjonelle beskrivelser o.l. [10].

Kriteriene for bestemmelse av hvilke sviktmoder som må bli tatt hånd om og prioriteres burde defineres i forkant av analysen [12]. Disse kriteriene burde være konsekvente og kunne forsvare valgene som blir gjort og i tillegg indikere når den anbefalte behandlingen vil være nok. I tillegg bør konsekvensene som er relevante for analysen defineres. Dette kan være om konsekvensene har økonomiske virkninger som kan føre til skade på mennesker eller skadet omdømme [12].

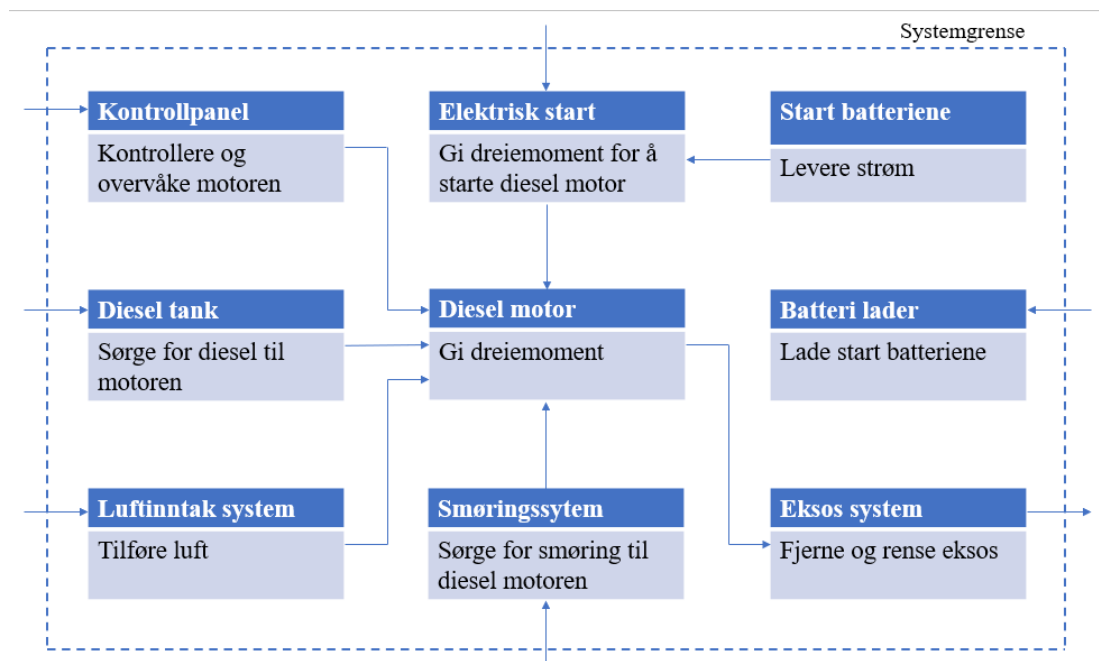
For å sikre en ryddig og systematisk prosess benyttes et FMECA-skjema. Her fylles inn informasjon om de ulike enhetene underveis. Det finnes flere varianter av dette skjemaet da det gjerne tilpasses bruksområde [12]. Figur 6.1, 6.2 og 6.3 i Kapittel 6.1.1 viser et eksempel på hvordan et slikt skjema kan se ut. Det er forøvrig dette skjemaet som vil bli benyttet i denne oppgaven.

2.4.1.2 Utførelse

- Systemet deles først inn undersystem. Hvor detaljert man går gjennom systemet kommer an på randbetingelsene for analysen. Strukturen illustreres ofte med et hierarkisk tre diagram (Figur 2.5) eller blokkdiagram (Figur 2.6).
- Analysen bør utføres på høyeste mulig nivå i det tekniske hierarki-systemet. Dersom uakseptable konsekvenser oppdages på dette nivået bør enheten(e) undersøkes grundigere for å finne sviktmoder på et lavere nivå [10].
- Alle operasjonelle tilstander tilhørende hver enkelt enhet må vurderes ut ifra om svikt kan føre til uakseptable konsekvenser. Dersom svaret på dette er nei er det ikke nødvendig med videre analyse på gjeldene enhet. Dersom svaret er ja må enheten undersøkes videre [10].
- Risikoen tilknyttet de ulike sviktmodene presenteres ofte med en risikomatrise.
- Når skjemaet er ferdig utfylt, studeres FMECA-skjemaet og risikomatrisen. Det blir så tatt en vurdering om systemet er akseptabelt og det innføres passende forbedringer for å redusere risikoen. Dette kan oppnås ved å redusere sannsynligheten for at svikt skal oppstå, redusere konsekvensene av svikt eller ved å øke sannsynligheten for at svikt oppdages før systemet når bruker. Dersom det bestemmes at forbedringer skal gjennomføres må FMECA-skjemaet revideres [10].
- Til slutt lager man en handlingsplan basert på analyseresultatene. Risikoreduserende tiltak kan være: design endringer, konstruerte sikkerhetsfunksjoner, sikkerhetsinnretninger, feilsøking, varslingsenheter, prosedyrer, opplæring m.m. [10].
- Helt til slutt rapporteres forslaget for de korrektive planene [10].



Figur 2.5: Hierarkisk tre diagram. Figuren er laget av gruppen og er basert på figur hentet fra undervisningsmaterieell fra NTNU [10]



Figur 2.6: Blokkdiagram. Figuren er laget av gruppen og er basert på figur hentet fra undervisningsmaterriell fra NTNU [10]

2.4.1.3 Dokumentering

Relevant informasjon man tilegner seg gjennom analyseprosessen burde dokumenteres på en logisk måte. I tillegg er det en fordel om man sørger for at konklusjon/anbefalinger hentet fra analysen er lett å forstå for den som skal lese. Dokumentasjon for analysen bør i henhold til standard IEC 60812:2018 inkludere følgende [12]:

- Beskrivelse av hvordan det er forventet at resultatet skal brukes videre
- Gi informasjon som kan underbygge bestemmelser som baserer seg på analysen
- Begrunnelse for hvordan man har valgt å utføre analysen, inkludert valg av metode for å rangere kritikalitet
- Liste over kildene som er benyttet til innhenting av informasjon i analysen
- Sørge for å oppfylle regulatoriske og kontraktmessige forpliktelser og vise at disse imøtekommes

Som for konsekvensklassifisering er det også viktig at dokumentasjonen fra en FMECA er tilgjengelig for oppdatering når ny informasjon blir tilgjengelig. Det er i tillegg mye man kan lære fra tidligere utførte analyser når man går i gang med nye prosjekter. Derfor bør resultatet fra analysen også være tilgjengelig for eventuelt fremtidig bruk [12].

2.5 NYTEK-forskriften og standard NS9415:2021

Oppdrettsnæringen har flere krav og forskrifter de må forholde seg til. To av disse er NYTEK-forskriften og standard NS9415:2021.

2.5.1 NYTEK-forskriften

Gjennom å sikre forsvarlig teknisk stand på anleggene har NYTEK-forskriften som mål å bidra til å forebygge rømming av fisk fra akvakulturanlegg i sjø, innsjø og vassdrag. Forskriften gjelder for alle som har eller plikter å ha akvakulturtillatelse for akvakultur av fisk [13].

Forskriften stiller flere krav. Disse inkluderer krav til lokalitetsundersøkelser, krav til utforming, laster og kapasitet, krav til brukerhåndbok, krav til spesifikke enheter, krav om akkreditering og produktsertifiseringsbevis. Det er også krav i forbindelse med bruk og vedlikehold [13].

Produsent og leverandør av produkter skal levere en brukerhåndbok med klare anvisninger for transport, lagring, montering, bruk og vedlikehold av produktet. Den skal inneholde en beskrivelse av enheten og dens bestanddeler, krav til bruk, krav til ettersyn og vedlikehold. Brukerhåndboken skal alltid være tilgjengelig på akvakulturanlegget der utstyret brukes eller på anleggets landbase [13].

2.5.2 Standard NS9415:2021

Standard NS9415:2021 “Flytende akvakulturanlegg - Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk” har som hensikt å forebygge rømming av fisk ved å gi krav til flytende akvakulturanlegg. Standarden gir krav til materialer, samvirke, fysisk miljø og lokalitetsundersøkelse, last, lastvirkning og påvisning av kapasitet, brukerhåndbok [14].

I likhet med NYTEK-forskriften, inneholder også NS9415 krav til brukerhåndbok. Alle hovedenheter og ekstrautstyr skal ha brukerhåndbok. Formålet med den er at den på en lettfattelig og enkel måte skal gi brukerne en veiledning for sikker installasjon og bruk av hovedenheter og ekstrautstyr for å hindre rømming av fisk. Brukerhåndboken skal gis som elektronisk versjon, og enhetenes oppbygning og bruk skal beskrives. Oppsettet til brukerhåndboken har en fast inndeling, og innebærer beskrivelse av enheten og dens bestanddeler, montering, installasjon, bruk og vedlikehold [14].

2.6 Biologi

Denne delen av teorien vil knyttes opp mot hvilke biologiske faktorer som vil kunne påvirke fisken ved nedetid på et anlegg.

2.6.1 Fordøyelse

Fordøyelsessystemet hos laksefisk kan deles opp i flere deler, hvor de mest sentrale er; munnen, spiserøret, magen, midttarmen, baktarmen og analkanalen [15].

Fordøyelsessystemet starter i munnhulen hvor fôret blir knust, før det beveger seg videre ned i spiserøret og ned til magesekken. Magesekken har to hovedfunksjoner; sørge for jevn tilførsel av næringsstoffer til tarmen, og bryte ned føden til mindre partikler, samtidig som større partikler holdes tilbake frem til de er tilstrekkelig redusert i størrelse. Fôret brytes ned ved hjelp av syre og enzymer. Videre går fôret til tynntarmen [16].

Tynntarmen består av små utposninger som kalles pylorusblindsekker. Disse inneholder flere fordøyelsesenzymer slik at næringsstoffene brytes ned enda mer. På grunn av disse utposningene får blindsekkene et stort overflateareal, og gjør at fordøyelsen vil være effektiv, selv om tarmen er nokså kort [15].

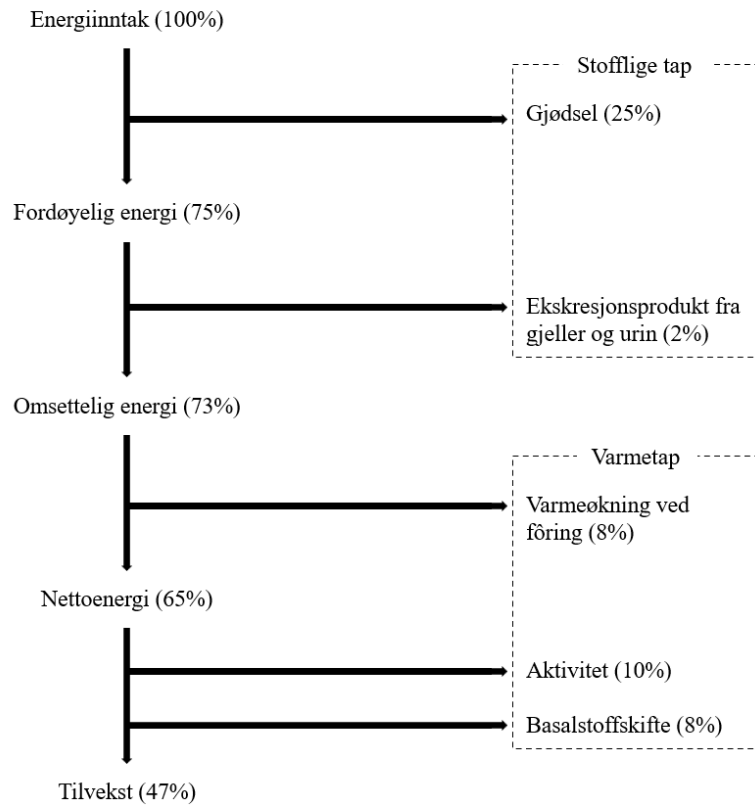
Fôret går deretter videre til midttarmen. Midttarmen er hovedstedet for næringsopptak. Her brytes fôret ned fullstendig og alle de nødvendige næringsstoffene blir tatt opp gjennom tarmveggen og inn i blodstrømmen. Videre går fôret til baktarmen hvor avføringen begynner å ta form [15].

Mindre fisk tømmer magen raskere enn større fisk. På bakgrunn av dette kan man forvente at man fører ut større mengder fôr (i prosent av kroppsvekt) på mindre fisk, og at denne vil gradvis bli mindre med økende størrelse på fisken [16].

Høye temperaturer vil øke metabolismen hos laksen, og dermed føre til at magetømmingen skjer fortere. Dette betyr at fisken har et større tilvekstpotensiale i måneder hvor temperaturen er høy, og jo viktigere vil det være å ta ut potensialet [17].

2.6.2 Energiforbruk

Ved å mette fisken 30% vil man kun fylle behovet fisken har for å vedlikeholde de biologiske prosessene, og dermed vil man ikke oppnå tilvekst. Laksen er bygd opp på en slik måte at den prioriterer andre biologiske prosesser før vekst dersom tilgjengeligheten av fôr ikke er tilstrekkelig [18]. Dette viser også Figur 2.7.



Figur 2.7: Energiregnskap hos laksefisk. Figuren er hentet fra boka *Fiskeernæring (2001)* [17]

2.6.3 Appetitt

Appetitten hos laksen vil kunne variere fra dag til dag. Det er derfor viktig å kjenne til adferden til fisken slik at man enkelt kan se forskjell på spiseadferd og fisk med eksempelvis høyt grunntempo [18].

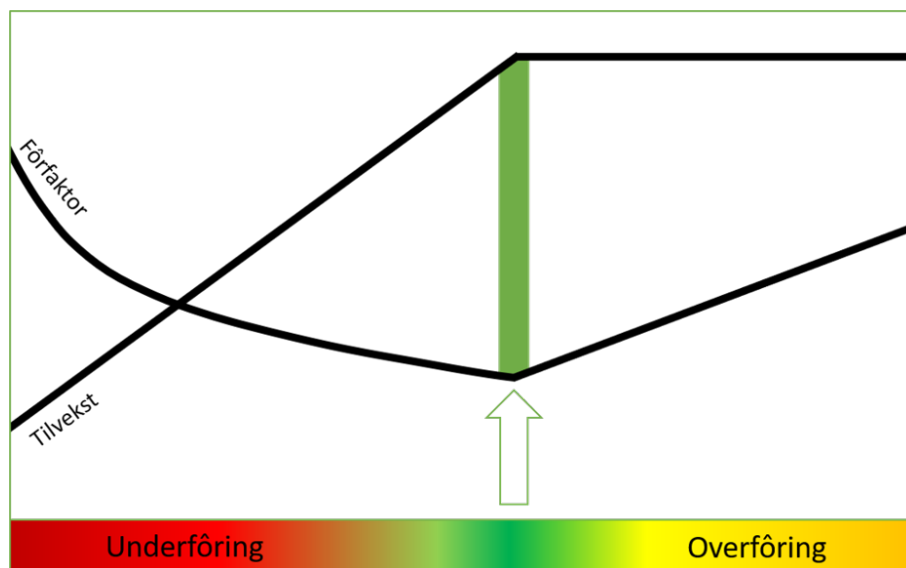
Appetitt og fôropptak henger sammen med naturlig lysforhold, riktig temperatur i sjøen og vannkvalitet. Appetitten henger også sammen med hvor tømt magen er [17]. Fisk som nylig har spist et stort måltid vil ha høy metthetsfølelse. Dette vil dermed føre til redusert appetitt i et potensielt måltid nummer to. Det vil likevel være hensiktsmessig å føre to måltider i løpet av en dag. Etttersom det er hierarki-dannelse i merden, er det den største fisken som kommer til i fôrsonen først. Mindre fisk kommer først til fôrsonen når den største fisken er mett, og har dermed ikke like stort utbytte av måltidet. Ved å ha to måltider metter man en større andel av fisken i merden [18].

2.7 Tilvekst

Tilvekst og fôrfaktor spiller en stor rolle når man i oppdrett skal forstå effektiviteten og lønnsomheten av produksjonen.

Figur 2.8 viser sammenhengen mellom tilvekst og fôrfaktor. For å på best mulig måte utnytte

potensialet i fisken er det ønskelig å til en hver tid befinne seg innenfor det grønne området som er vist på figuren. Det å alltid ligge i dette området vil medføre best mulig tilvekst, uten at det vil være en fôrfaktorknekker. Hvordan man regner ut fôrfaktor vil bli tatt opp i Kapittel 2.7.2.



Figur 2.8: Sammenheng mellom tilvekst og fôrfaktor. Figuren er hentet fra kursmateriell fra Spillfree [18]

For å sikre god fiskevelferd og fiskehelse er det viktig at fisken har god tilgang til fôret. Ikke bare fører dette til god tilvekst, men godt næringsopptak og tilgang til fôr vil også være med på å forebygge sykdom da sunn og mett fisk er mindre utsatt [18].

God utnyttelse av fôret er også en avgjørende faktor når det kommer til økonomi og lønnsomhet for hvert enkelt anlegg [17]. Lønnsomhet av fiskeoppdrett vil bli diskutert i Kapittel 9.3.3.

2.7.1 Fôrets oppbygning

Ved gode miljøbetingelser vil tilveksten hos fisken bestemmes av fôrinntaket og hvordan fôret er satt sammen [17]. Riktig sammensatt fôr med nødvendige næringsstoffer er viktig.

Fiskefôr er sammensatt av karbohydrater, fett, proteiner, vitaminer og mineraler. Laksens naturlige diett består ikke av karbohydrater, og den vil derfor ikke tåle for høye mengder av karbohydrater i kosten. Bakgrunnen for dette er i hovedsak laksens korte tarm, som reduserer effektiviteten av å kunne absorbere næringsstoffene fra karbohydratene. Fôr som produseres i dag består vanligvis av 10-15% karbohydrater og benyttes i hovedsak for å kunne bygge opp pelleten [19].

Proteinet spiller en sentral rolle i fiskens ernæring og er avgjørende for dens vekst. Mengden protein som lagres i fisken er den primære faktoren som påvirker veksten. Fôret må derfor oppfylle det nødvendige proteinbehovet for å sikre optimal tilvekst og effektiv utnyttelse av fôret. For å oppnå optimal vekst bør fôret inneholde mellom 35-55% protein. Denne prosentandelen varierer imidlertid med fiskens størrelse, da større fisk har lavere proteinbehov [19].

Protein spiller også en rolle i laksens energiproduksjon. Laksen er kaldblodig og trenger ikke bruke energi på å regulere kroppstemperaturen. Den har heller ikke behov for å bruke energi på å motvirke tyngdekraften, da den opplever vektløshet i vannet. Disse energibesparelsene gjør at laksen kan utnytte fôret mer effektivt, noe som resulterer i høyere tilvekst sammenlignet med andre dyr [20].

Fett utgjør utvilsomt den mest effektive energikilden i dagens fôr. Med sin høye energitetthet gir fett mye energi per gram fôr. En økning i fettandelen i fôret forbedrer utnyttelsen av både protein og selve fôret. Bakgrunnen for dette er at ved å ha fett som hovedkilde for energi, kan mer av det tilgjengelige proteinet brukes til vekst og muskelbygging. Fett utgjør vanligvis mellom 30-40% av fôret [21].

Fett har også flere viktige funksjoner utover å være en energikilde. Det bidrar til å sikre at fisken får i seg viktige fettløselige vitaminer som A, D, E og K. Fett inneholder også essensielle fettsyrer som omega-3-fettsyrer, som er kritiske for fiskens helse. Fisk kan nyttiggjøre seg alle typer fettsyrer som energikilde, men mangler de enzymsystemene som er nødvendig for å selv kunne produsere omega-3 og omega-6 fettsyrer [21].

2.7.2 Fôrfaktor

Fôrfaktor beskriver hvor godt fisken utnytter fôret. Fôrfaktor kan beregnes både biologisk og økonomisk. Biologisk fôrfaktor (bFCR) beskriver mengden fôr brukt per kilo produsert laks. Lav bFCR tilsier mindre bruk av fôr. Lav fôrfaktor er viktig både for miljøet og for den totale kostnaden [22].

$$bFCR = \frac{\text{Totalt fôr ut fôret}}{(\text{slaktetbiomasse} - \text{utsattbiomasse}) + \text{dødelighet}}$$

Økonomisk fôrfaktor (eFCR) beskriver mengden fôr brukt per kilo produsert laks uten å ta hensyn til dødelighet. Høyere dødelighet fører til lavere produksjon og en høyere eFCR [22].

$$eFCR = \frac{\text{Totalt fôr ut fôret}}{(\text{slaktetbiomasse} - \text{utsattbiomasse})}$$

2.8 Fiskevelferd

Fiskevelferd omhandler at oppdrettsfisk skal ha et levested, og skal håndteres på en slik måte at man sikrer god velferd gjennom hele livssyklusen [23]. Definisjonen på fiskevelferd er “livskvalitet som oppfattes av dyret selv”.

For å sikre god fiskevelferd er det satt opp fem punkter som skal oppfylles. Disse punktene er [24]:

- Frihet fra sult, tørst og feilernæring

- Frihet fra fysisk ubehag
- Frihet fra smerte, sykdom og skade
- Frihet til å utøve normal adferd
- Frihet fra frykt og stress

Det er likevel vanskelig å si om det er god fiskevelferd eller ikke. For å kunne forstå hvordan laksen har man det som kalles for velferdsindikatorer [24].

Velferdsindikatorer hos laksefisk er knyttet opp mot hvor mye av det naturlige grunnleggende behovet for levevilkår og vekst som er dekket. For å kunne sikre god fiskevelferd må man sikre en god fiskehelse. Fiskehelsen påvirkes blant annet av sykdom, miljø og ernæring. Stress, sykdommer og utfordringer i forbindelse med håndtering er de største utfordringene når det kommer til fiskehelse og velferd. Minst mulig stress og håndtering er avgjørende for kvalitet og fiskevelferd [25].

2.8.1 Velferdsindikatorer

Velferdsindikatorer (VI-er) er observasjoner og målinger som gir informasjon om dyr sine velferdsbehov. Slike indikatorer er enten direkte dyrebaserte eller indirekte ressurs- eller miljøbaserte. Det er to ulike grupper av velferdsindikatorer; miljøbaserte og dyrebaserte. De miljøbaserte handler om å gjøre målinger på miljøet hvor fisken oppholder seg. De dyrebaserte går på dødelighet, adferd, appetitt og eventuelle skader på fisken som skjelltap og finneskader [23].

2.8.1.1 Miljøbaserte velferdsindikatorer

God vannkvalitet er viktig når det kommer til laksens velferd. Villaks lever stort sett i vann med 100% oksygenmetning, og vil kunne velge hvor den oppholder seg etter faktorer som strømningshastighet, temperatur og salinitet [26]. Nede i merden er ikke dette mulig, og det kan derfor være store utfordringer når det kommer til miljøet i merden. Lokalitetene langs Norskekysten og i de ulike produksjonsområdene har alle ulike utfordringer når det kommer til miljøet i merden. Utfordringer knyttet til for høye temperaturer, for lite gjennomstrømming – og dermed lave oksygenverdier er faktorer som påvirker fiskens velferd direkte.

Målinger av temperatur og oksygenmetning i merden skal være innenfor visse grenseverdier for å kunne sikre at fisken får oppfylt behovene for termoregulering og respirasjon [27]. I følge Wedemeyer må oksygenmetningen for oppdrettsfisk være 71 - 81 % ved 5 – 15°C [28]. Miljøbaserte velferdsindikatorer er en indirekte velferdsindikator, da det beskriver miljøet rundt fisken og ikke fiskens tilstand. Likevel anser man at disse indikatorene er viktige, da man ser tydelig sammenheng mellom fiskehelse og miljø.

2.8.1.2 Dyrebaserte velferdsindikatorer

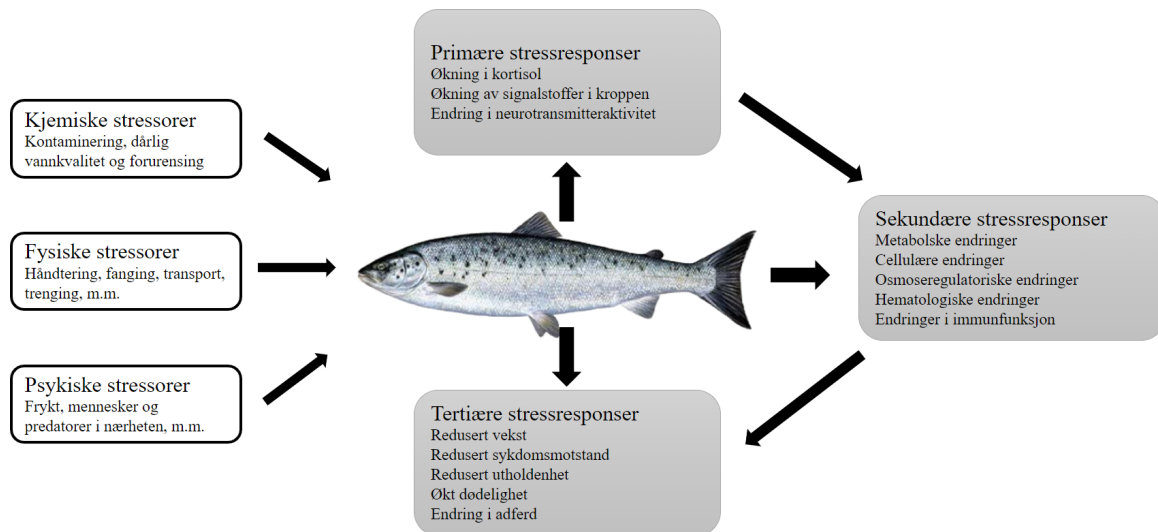
Dyrebaserte velferdsindikatorer er målinger som kan gjøres på fisken. Målinger som gjøres på fiskene deles gjerne inn i målinger gjort på gruppe- og individnivå. Under gruppemålingene kommer dødelighet, adferd, appetitt og sykdom. De individuelle målingene går mer på synlige skader, som lakselus, kjønnsmodning, deformiteter, finneskader og skjelltap [25].

Den viktigste indikatoren når det kommer til fiskevelferden er adferden. Ved å benytte undervannskamera i forbindelse med fôring vil man fort bli kjent med fiskens adferd, og vil dermed raskt observere adferdsendringer. Adferdsendringer kan være at fisken samler seg høyt oppe eller lavt nede i merden, uryddig svømmemønster og mer aggressiv adferd. Slike endringer er normalt sett et tegn på at det er noe som ikke stemmer. Det kan være tegn på at miljøet i merden ikke er optimalt, men kan også være tidlig tegn på sykdom [25].

2.8.2 Stress

Stress er noe som påvirker laksen av en ekstern eller intern stressor. Stress har en betydelig innvirkning på fiskevelferden. Det er en klar sammenheng mellom forhøyet stressnivå og stressfulle episoder i produksjonen. Stress reduserer fiskens evne til å bekjempe infeksjoner [29].

Stressrespons hos fisk deles inn primær, sekundær og tertiær respons. Akutt stress eller også kalt kortidsstress kan være positivt for laksen. Ved akutt stress utløstes “fight or flight” respons i fisken. Bakgrunnen for dette er at stressresponsen som kalles primærrespons aktiverer HPI-aksen som fører til økning av adrenalin og kortisol. Sekundærresponsen fører til endring i metabolisme og endringer i immunfunksjonen. Tertiærresponsen vil kunne føre til redusert vekst, svekkelse av immunforsvar, økning av aggressiv adferd og redusert svømmeevne. Dersom laksen over en lengre periode blir utsatt for denne tertiærresponsen vil dette redusere fiskehelsen vesentlig. Denne typen stress kalles kronisk stress, og det er det kroniske stresset som man ønsker å unngå. Figur 2.9 viser hvordan de ulike stressorene påvirker laksen biologisk.



Figur 2.9: Oversikt over ulike stressorer og stressresponser hos laks. Figuren er laget av gruppen, basert på figur fra Barton [30]

Faktorer som kan utløse stress hos fisken vil være håndtering, miljøforhold, sykdom eller fôring. Ved håndtering oppstår det ofte trenging når man pumper fisken opp og ut av merden, noe som vil øke stressnivået. Endring i miljøforhold i form av temperatur, oksygenmetning, vannkvalitet og lys vil være med på å påvirke fiskens trivsel, som videre vil kunne føre til stress [23].

Det er en tydelig sammenheng mellom stress, sykdom og håndtering. Da stress ofte fører til sykdom, som videre fører til behandling, som videre fører til stress.

2.8.3 Passiv fisk-teorien

Passiv fisk-teorien går ut på at fisk som ikke har tilstrekkelig tilgang på fôr vil kunne slutte å jakte pellets, og dermed omtales fisken som passiv. Det som skjer fysiologisk med fisken når den går inn i denne fasen er at den sparer på energien den normalt sett hadde brukt på jakting av pellets, og bruker heller denne energien på å overleve [18].

Ved å lese fiskens adferd er det vanskelig å skille mellom passiv fisk kontra mett fisk. Dette vil kunne medføre vanskeligheter når det kommer til fôring av fisken, da det ser ut som den er mett.

3 Metode

Dette kapitlet vil ta for seg metodene brukt for å beskrive systemet og systemgrensene, konsekvensklassifisering, FMECA, samt finne og foreslå tiltak for sviktmoder. Å etablere klare systemgrenser er en viktig del av analysearbeidet for å forstå systemene.

Metodene gruppen har valgt ble basert på oppgavebeskrivelsen fra Mowi, fra Kapittel 1.2. For å få mer innsikt i problemstillingen fra oppgavebeskrivelsen valgte gruppen å utføre en ståstedsanalyse, samt hente inn data og dokumentasjon. Dette skulle også bidra til økt kjennskap til systemene som inngår i oppgaven.

I oppgavebeskrivelsen kommer det frem at Mowi ønsker å identifisere sviktmoder for utstyret og risikovurdere disse. Valget falt da på å utføre en FMECA, der man analyserer sviktmoder og bestemmer kritikalitet på disse. I tillegg kan man få ut informasjon om hva slags vedlikehold som utføres for å unngå sviktmoden eller hva som kan gjøres for å forebygge sviktmoden. FMECA kan også bidra til å si noe om relevante tilstandsparametre, forslag til kriterier for vedlikehold og relevante vedlikeholdstiltak.

På bakgrunn av at FMECA er en omfattende analyse, ble det besluttet å utføre en konsekvensklassifisering i forkant. Denne ville gi gruppen en oversikt over hvilke enheter som er kritiske på systemene som inngår i oppgaven, og kun ta med disse videre inn i FMECA.

3.1 Metode for å beskrive system og systemgrenser

Ved gjennomføring av dette resultatmålet benyttet gruppen seg av kvalitative metoder. Dette inkluderte innsamling av dokumentasjon og data, befaring og intervju.

For å gjøre mest mulig nøyaktige analyser, og få satt riktig avgrensning på oppgaven, ønsket gruppen å forholde seg til ett spesifikt anlegg. Dette fordi det kan være store ulikheter fra anlegg til anlegg når det gjelder hvilke system som benyttes. Det vil si at systemene og systemgrensene i oppgaven er tatt fra det gitte anlegget. Det samme gjelder ståstedsanalysen.

For å beskrive systemet og systemgrensene fikk gruppen tilgang til Mowis CMMS, Aquacom. Her fikk gruppen muligheten til å hente ut brukerhåndbøker og dokumentasjon for systemene. I tillegg til dette ble det utført et intervju i forbindelse med befaring på Mowi sitt anlegg ved Lønngrunnen. Her ble det også foretatt en ståstedsanalyse. Under befaring fikk gruppen en omvisning på forflåten med gjennomgang av systemene som oppgaven omhandler.

I forkant av intervjuet ble intervjuobjektene tilsendt spørsmålene gruppen ønsket svar på under intervjuet. De som ble intervjuet hadde god teknisk innsikt og biologisk kompetanse. I tillegg hadde de også mye erfaring med og kjennskap til de tekniske enhetene og vedlikeholdet på forflåten. Under intervjuet ble det, med tillatelse fra intervjuobjektene, tatt lydopptak. På denne måten var det mulig for gruppen å gå tilbake i intervjuet dersom det skulle være noe som var uavklart, og man kunne i større grad sørge for at man ikke mistet viktig informasjon. Intervjuobjektene

var innforstått med at informasjon fra intervjuet ville bli anonymisert i oppgaven.

Spørsmålene baserte seg på hvordan det generelle vedlikeholdet, og vedlikeholdet på skroget og fôringssystemet utføres per i dag. Her ble også mål, strategier og rapportering flettet inn for å få et godt helhetlig bilde av vedlikeholdet. I tillegg ble både skroget og fôringssystemets ulike systemer beskrevet. Den siste delen av intervjuet omhandlet biologi og hvordan fôringen påvirkes ved strømbrydd. Her ble stress og adferd hos laksen diskutert, samt hvilke kostnader dette gir. Det ble også diskutert om strømbrydd var et utbredt problem ved anlegget.

I etterkant av intervjuet ble Kapittel 4, som inneholder informasjon fra intervjuet, sendt til godkjenning til intervjuobjektene. På denne måten fikk de mulighet til å kvalitetssikre innholdet og komme med tilbakemelding på eventuelle endringer.

3.2 Metode for konsekvensklassifisering

Standarden det ble tatt utgangspunkt i under konsekvensklassifiseringen er NORSOK Z-008 - *Risk based maintenance and consequence classification*. Valg av standard ble gjort ved å studere tidligere oppgaver som omhandler konsekvensklassifisering. Analyseskjemaet og matrisen ble utformet av gruppen, i samarbeid med Mowi.

For å sikre høy kvalitet på konsekvensklassifiseringen, ble det satt sammen en analysegruppe som besto av bachelorgruppen og personell fra Mowi med teknisk innsikt og relevant kompetanse.

Analysen ble gjennomført systematisk, der skrog ble gjennomgått først, deretter fôringssystem og generator til slutt. Under analysen ble først de ulike HF adressert og klassifisert, deretter ble UF klassifisert og til slutt ble enheter koblet til underfunksjonene.

Etter analysen var gjennomført og finpusset, ble den sendt til Mowi for gjennomgang og kvalitetssikring av analysearbeidet.

Gjennomføringen av analysen beskrives nærmere i Kapittel 5.

3.3 Metode for FMECA

Standarden det ble tatt utgangspunkt i for gjennomføringen av FMECA er NEK EN IEC 60812:2018 - *Feil modus og effekt analyse (FMEA og FMECA)*. Valg av standard ble gjort med bakgrunn i at gruppen hadde kjennskap til denne fra før og den er også mye brukt i industrien. Etter å ha studert fremgangsmåten for utførelsen av selve analysen, ble gruppen enige om utformingen av FMECA-skjemaet. Skjemaet ble tilpasset oppgaven og ønsket resultat. Videre ble valget av skjemaets utforming diskutert med analysegruppen. Denne gruppen besto av bachelorgruppen og personell fra Mowi med teknisk innsikt og relevant kompetanse.

Gjennomføringen av analysen ble utført ved å evaluere system for system og enhet for enhet. Etter at skjemaet var fylt ut og finpusset, ble det sendt til Mowi for eventuelle tilbakemeldinger og kvalitetssikring.

Gjennomføringen av analysen beskrives nærmere i Kapittel 6.

3.4 Metode for å foreslå tiltak

Tiltakene tilknyttet Resultatmål 4a “Basert på Resultatmål 3 komme med forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder” tar utgangspunkt i, og besvares gjennom FMECA fra Vedlegg A.2. Da tiltakene kom frem under arbeidet med FMECA, beskrives denne fremgangsmåten under Kapittel 6.2.

For å foreslå beslutningslogikk for grenseverdier ble det søkt informasjon gjennom veileder. Denne informasjonen ble diskutert innad i gruppen, for så å komme frem til en beslutningslogikk.

For å kunne foreslå tiltak som kan forlenge tiden mellom hvert slippopphold for fôrflåten utførte gruppen et intervju med to representanter fra Mowi. Her ble mulige tiltak diskutert. Disse tiltakene ble videre vurdert i bachelorgruppen som til slutt endte opp med sine anbefalte tiltak.

3.5 Metode biologi

Hovedformålet til en fôrflåte er å føre laksen. Med dette som bakteppe er det derfor vesentlig å sette seg inn i biologien til laksen og hvordan man gjennom fôring kan påvirke fiskehelse.

Den biologiske delen av oppgaven ble gjennomført ved å utføre en litteraturstudie. Informasjon og data ble innhentet av ulike pålitelige kilder, og informasjon fått ved intervjuet beskrevet i Kapittel 3.2. Det ble benyttet ulike forskningsartikler og litteratur knyttet til fiskehelse og fiskevelferd. I tillegg ble timene for veiledning benyttet godt for å få svar på ulike usikkerheter. Alle kildene benyttet i oppgaven er kvalitetssikret.

Valget rundt å gjennomføre denne delen av oppgaven som en litteraturstudie er av hensyn til kunnskapsnivået gruppemedlemmene sitter med. Gjennom studietiden er det blitt gitt tilgang til store mengder litteratur knyttet til fiskehelse som er blitt benyttet.

4 Beskrivelse av systemene og systemgrensene

I dette kapitlet presenteres funn knyttet til Resultatmål 1: “Beskrive systemene og systemgrensene”. Hensikten med dette resultatmålet er å få teknisk innsikt i systemene som skal analyseres, samt få et overblikk over vedlikeholdet i dag.

Systemene som blir beskrevet er de systemene de har ved lokalitet Lønngrunnen (Mowi Midt). Informasjonen som er innhentet under ståstedsanalysen er også hentet fra den gitte lokaliteten.

4.1 Beskrivelse av fôrflåten

Fôrflåten som gruppen har tatt for seg, er av typen *Seafarm Feeder 500 Fram 76*. Leverandør er ScaleAQ. Flåten har en lengde på 37 m og er 11,2 m bred. Beregnet levetid er satt til 20 år [31]. I følge ScaleAQ er fôrflåten bygget med utgangspunkt i krav som er satt i standard NS9415:2009, og er godkjent i henhold til samme standard [32]. Figur 4.1 viser fôrflåten ved Lønngrunnen.



Figur 4.1: Fôrflåten ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befarings

Flåten er en stasjonær forstasjon for fôring av matfisk. Her lagres fôr i åtte separate siloer og lastes gjennom luker på silodekket. På flåten er det et kombinert oppholdsrom, kontrollrom, WC, lager/verkstedrom og kjemikalierom. Flåten kan ha enten egne dieselgeneratorer eller landtilkobling som tilfører flåten energi [32]. Ved Lønngrunnen er det to dieselgeneratorer.

Dieselgeneratorene genererer strøm til flåten og føringsanlegget. Disse er plassert i Maskinrom på bunndekket. Dieselmotoren er luftkjølt med radiator i forkant av motoren. Hovedtavlen for det elektriske anlegget er plassert i samme rom som generatorene. Tavlen er utstyrt med inngangskurs fra generator, samt utgangskurs til; kontrollskap for føringsanlegg i silorom, underfordeling, dødfisk skap m.m. [32]. Figur 4.2 viser generatorskap og generator ved Lønngrunnen.



Figur 4.2: Én av to generatorskap og generatorer ved Lønngrunnen. Generatorskap vises t.v. og generator t.h. Bildene ble tatt av gruppen under beforing

4.2 Beskrivelse av skrog

Skroget på förflåten består av stål og er behandlet med metallisering over vannlinjen som deretter er blitt påført maling. For å kunne begrense korrosjon er det festet sink offeranoder til skroget. Disse er skrudd fast til skroget med syrefaste muttere på bolter som er sveist i skroget. Anodene er jevnt fordelt rundt hele flåten [32]. Figur 4.2 viser skroget på förflåten ved Lønngrunnen.



Figur 4.3: Skrog ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring

4.3 Beskrivelse av fôringsystem

Selve fôringsystemet på flåten består av blåsere, luftkjølere, fôrskruer fra siloene, sluse med slusekasse, rensestasjoner, fordelingsventiler, samt programvare for styring av fôringsystemet og fjernkontroll [32]. Andre enheter knyttet til fôringsystemet er rørføringer, kjølesystem, fôrspreder og fôrslinger. I tillegg er kamerasystemet en viktig enhet knyttet til systemet.

Blåserne, som vises i Figur 4.4, produserer luft som benyttes til transport av fôr fra sluse. En fôrskrue som er plassert på undersiden av hver silo, doserer fôret ut til en sluse. Herfra blir fôret blåst ut til merdene gjennom fordelingsventiler. Blåserne er plassert i eget blåserrom under dekk, fôrskrue og sluseventil på bunndekk, mens fordelingsventilene er plassert på hoveddekk [32]. Figur 4.5 viser et bilde av fôrskrue og sluseventil, mens Figur 4.6 viser et bilde av fordelingsventiler.



Figur 4.4: Blåsere i blåserom ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring

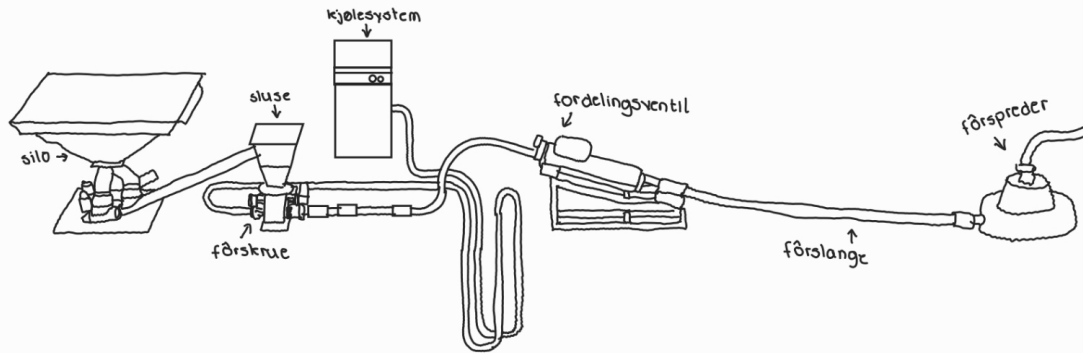


Figur 4.5: Fôrskruer og sluseventil ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring



Figur 4.6: Fordelingsventiler ved Lønngrunnen. Bildet ble tatt av gruppen under befaring

Figur 4.7 viser en illustrasjon av fôrets vei - fra silo og ut til merd. Illustrasjonen er laget av gruppen, og inkluderer de fleste av enhetene på fôringssystemet som ble analysert i FMECA. Enhetene som ikke er med i denne figuren, men som ble analysert er *blåser*, *rørføringer*, *kamerasystem* og *software/IT-system*.



Figur 4.7: Illustrasjon av fôrets vei fra silo og ut til merd. Illustrasjonen er laget av gruppen, basert på figur fra ScaleAQ [33]

4.4 Ståstedsanalyse

I dette delkapitlet fremgår informasjon som ble innhentet under befaring og intervju ved Lønngrunnen 19.09.2023.

4.4.1 Vedlikehold i Mowi

4.4.1.1 Mål, strategier og vedlikeholdsplan

Ved Lønngrunnen har de ingen kjennskap til at Mowi har konkrete mål og strategier knyttet til vedlikehold, men det er ønskelig med minst mulig/ingen nedetid. For å oppnå dette følges brukerhåndbøker med satt intervall for vedlikehold fra leverandørene av systemene. Vedlikeholdsplanen Mowi følger er altså laget av leverandørene av systemene.

Leverandør av systemene har ansvar for å følge NYTEK-forskriften og standard NS9415:2021 under produksjon av brukerhåndbøker og vedlikeholdsplan. Her er det også en tredjepart som må godkjenne brukerhåndbøker og dermed vedlikeholdsplan for å sørge for at disse forskriftene og standardene blir fulgt. Det er også enkelte krav til vedlikehold som Mowi er lovpålagt å følge - disse er som oftest innlemmet i brukerhåndbøkene.

I tillegg til brukerhåndbøkene benyttes det ved Lønngrunnen erfaringsbasert vedlikehold. De følger vedlikeholdsplanen fra leverandør, men unngår å gjøre ting som ikke er nødvendig. De har ingen tilstandsovervåking, men har sensorikk på fôringssystemet. Her følger de med på trykk og temperatur, dette er ikke noe som dokumenteres per i dag. Ved Lønngrunnen opplever de dagens vedlikeholdsplan som tilstrekkelig.

4.4.1.2 CMMS og rapportering

Som nevnt i Kapittel 2.2.1.1 bruker Mowi vedlikeholdsstyringssystemet Aquacom. Ved Lønngrunnen opplever de Aquacom som et brukervennlig system som alle ved lokaliteten er villig til å bruke.


Leverandør legger inn vedlikeholdsplanen i Aquacom og genererer arbeidsordre. Disse arbeidsordrene kan være daglige, ukentlige, månedlige vedlikeholdsaktiviteter som skal utføres. I Aquacom får de opp detaljerte sjekklister. Når vedlikeholdet er utført kvitterer de på at det er utført, og man kan skrive ned hva som er gjort eller skrive dersom det er noe utenfor normalen. Det er også mulig å lage flere arbeidsordre om dette er nødvendig eller ønskelig. I Aquacom får de også opp all dokumentasjon over systemene som befinner seg på lokaliteten. Det samme gjelder sertifikat.

Figur 4.8 og Figur 4.9 viser skjermbilder fra Aquacom der det er utført daglig vedlikehold på flåte og ukentlig vedlikehold på fôringssystemet. Av hensyn til personvern og anonymisering er underskriften i dokumentet sensurert.

F #651 - Aggregat - FPT-Iveco (Himoinsa) - 1 - daglig

PUNKT	NOTAT / KOMMENTAR	UTFØRT AV	STATUS
Sjekk av oljenivå motor			✓ OK
Sjekk av kjølevæskeniå			✓ OK
Visuell sjekk av motor, lekkasjesjekk			✓ OK
Sjekk forfilter for vann		03.10.2023 10:54	✓ OK
Sjekk dieselnivå			✓ OK

L #999 Daglig sjekkliste- flåte

PUNKT	NOTAT / KOMMENTAR	UTFØRT AV	STATUS
Sjekk biovac, mengde/lekkasje			✓ OK
CJC filter- byttes ved 1,8 bar		03.10.2023 10:54	✓ OK

Figur 4.8: Skjermbilde fra Aquacom som viser utført daglig vedlikehold på flåten

F #300-01 Foringsanlegg - ukentlig

PUNKT	NOTAT / KOMMENTAR	UTFØRT AV	STATUS
Blåser - Kontroller oljenivå			✓ OK
Sluse - Funksjonstest slusesensor			✓ OK
Kompressor - Rengjøres - se bruksanvisning			✓ OK
Sluse - Rengjøring			✓ OK
Fordelingsventil - Rengjøring			✓ OK
Fôrsprede - Rengjøres			✓ OK

Figur 4.9: Skjermbilde fra Aquacom som viser utført ukentlig vedlikehold på fôringssystemet

Dersom det er noe som er utenfor normalen med hensyn til vedlikehold, noteres dette som et

avvik. For andre typer avvik som skal behandles, bruker Mowi et eget kvalitets- og avvikssystem - TQM. Det er altså to ulike system for vedlikeholdsavvik og andre avvik. Ved Lønngrunnen mener de at dette fungerer fint, men at det ville vært optimalt dersom dette var samlet til ett system.

Når det gjelder HMS har de ingen oppførte avvik eller skader. Ettersom Lønngrunnen er en eksponert lokalitet mener mannskapet ombord på flåten at det kan være en fordel at de har en yngre stab ved lokaliteten.

4.4.1.3 Generelt vedlikehold

Ved opplæring av nyansatte har de en sjekkliste der de går gjennom alt utstyr som befinner seg på lokaliteten. Dette inkluderer også kran, redningsutstyr etc.

Ved Lønngrunnen utføres det mest forebyggende vedlikehold. Dersom det oppstår noe korrektivt vedlikehold trenger de ikke å leie inn servicebåt da en av de ansatte har høy kompetanse innenfor dette selv.

Utfordringen når det kommer til vedlikehold går hovedsakelig på manglende reservedelslager. På flåten er det ikke plass til å oppbevare mange reservedeler. De skulle gjerne hatt muligheten til å oppbevare mer, men som regel får de til å finne en løsning med det de har tilgjengelig. Vedlikeholdet utføres stort sett uansett vær og vind, men det kan ta lengre tid ved dårlig vær.

De største utgiftene knyttet til vedlikehold er ringene og nøtene på merdene. Vasking/spyling av nøter er en stor utgift. Per nå utføres dette omtrent hver fjortende dag. På vinteren gjøres det sjeldnere på bakgrunn av at det er større algeoppblomstring ved høyere temperaturer. Av og til må de leie inn dykkere, noe som også kan være en stor utgift. Dette skjer som oftest på grunn av at det mistes gjensander ned i merden.

4.4.2 Vedlikehold på skrog

Som nevnt i Kapittel 4.2 består flåten av et stålskrog. Dette skroget er tegnet og regnet på, slik at det skal tåle de lastene og miljøkreftene som det blir utsatt for ved Lønngrunnen. Ifølge personell ved Lønngrunnen er dette et typisk skrog som er mye brukt i Mowi.

Det er ingen spesifikke daglige vedlikeholdsrutiner når det gjelder vedlikehold på skroget. Mellom utsettene (annen hvert år) blir skroget spylt og rengjort på undersiden, sjekket for skader og man sjekker mengden sink som er igjen. Hvert femte år er flåten inne på slipp for å få en grundig sjekk. Under slipp blir skroget spylt rent og det blir byttet sink. Det blir også sikkerhetsmålt, der man skraper av malingen og måler tykkelsen på skroget. Etter at målingen er foretatt grunner man og maler over området det er tatt prøve fra.

Det er ingen enheter på skroget som byttes ut, utenom sink dersom det er behov for det. Standard levetid på et slikt skrog er oppgitt til å være 20 år, og tæring går på hvordan det behandles. Dersom sinken ikke fungerer vil levetiden minke. Flåten ligger i konstant klima, noe som er

positivt for skroget.

4.4.3 Vedlikehold på fôringssystem

Ifølge personell ved Lønngrunnen er fôringssystemet det mest kritiske systemet på flåten. Dersom det blir svikt i dette systemet vil det bli stopp i fôringen. Konsekvensen av dette er gjerne at de må stoppe ned en linje for å finne ut hva som er problemet. Det kan være et teknisk problem, men det kan også være kvaliteten på fôret som er problemet. Dersom problemet befinner seg i systemet inne på flåten bytter de linje, men dersom problemet er utendørs må man åpne opp sprederen for å se. De opplyser at de fleste som jobber på anlegget kan foreta feilsøking i slike situasjoner. Fôringssystemet har flere sensorer som overvåker trykket og hastigheten i slangen. Dataene fra disse kan ofte gi en god pekepinn på hva som er problemet, og dermed si noe om hvor problemet ligger.

Anlegget har noen reservedeler til fôringssystemet liggende, normalt sett er dette sensorer til sluser, reimer og olje til kompressorene. Det som byttes hyppigst er fôrslanger og sensorer. Fôret skader slangene, og det er stor forskjell på fôret som blir levert. De opplever mest svikt i systemet dersom det er dårlig kvalitet på fôret. Det er ikke ønskelig med for mye fett i fôret da det kan kjøre tett slanger i form av det som man kaller for fettslipp. Dersom fôret er for hardt kan det også slite raskere på slangene og føre til hull.

4.4.4 Biologisk konsekvens ved tapt fôring

Ved Lønngrunnen er det sjelden de sulter fisken over lengre tid. Dette er i så fall i forbindelse med slakt eller avlusning. Ved avlusning finnes det interne prosedyrer hos Mowi - disse er blant annet avhengig av temperaturen i sjøen. Etter en periode med sulting fôres det ut mer fôr enn til vanlig. De opererer med appetittstyrt fôring ved å benytte seg av kamera. På denne måten får fisken den mengden den vil ha - slik kan man få størst mulig tilvekst og lavest mulig fôrfaktor. De forteller at laksen har mulighet til å kompensere og kan ta igjen noe av den tapte veksten. Det anslås at dersom fisken sultes i 3-4 dager, vil fisken spise ekstra mye i like mange dager.

Under befaring i kontrollrommet fikk studentene se kameraovervåkning av fisken. Operatøren opplyste at de stort sett fôrer hele dagen når det er dagslys, og regulerer som tidligere nevnt mengden fôr etter fiskens atferd. Det ble sagt at når den er sulten, svømmer den aktivt høyt oppe i merden og spiser. Når den er mett, avtar denne aktiviteten og fisken trekker lenger ned mot bunnen. Det ble også sagt at laksen svømmer etter kameraet når den er sulten fordi den forbinder kameraet med nettopp tilgang til fôr. Det observeres ikke noe betydelig eller klar endring i fiskens atferd i forbindelse med redusert tilgang til fôr.

De aller fleste sviktene knyttet til fôringssystemet og kamera vil kunne fikses på relativt kort tid og de har ekstra linjer for fôr som kan flyttes/byttes om dersom det oppstår problemer. I tillegg har de 12 system og bare ni merder som er i drift på maks - dermed har de alltid noen system til gode.

Med tanke på problemstillingen “biologisk konsekvens ved tapt fôring grunnet strømbrudd”, er ikke dette en problemstilling de ved Lønngrunnen anser som eksisterende. Det er to dieselgeneratorer på flåten - skulle det bli svikt i den ene vil den andre generere nok strøm til å opprettholde funksjonen til alle systemene om bord. Generatorene kjøres i forhold til last, intervall og service. De varierer hvilken generator de kjører, ofte kjører de en i 3-4 dager, for så å kjøre den andre i 3-4 dager. Dersom det blir svikt i generatorene har de et back-up batteri slik at man ikke mister noe form for data. Derfor er det ingenting som må kalibreres på nytt etter nedetid.

5 Konsekvensklassifisering

I dette kapitlet vil gjennomføringen av konsekvensklassifisering og Resultatmål 2 “Utfør konsekvensklassifisering på skrog, fôringssystem og generator” presenteres. Konsekvensklassifiseringen gir utgangspunktet for hvilke enheter som skal vurderes og analyseres videre i FMECA.

Bakgrunnen for å velge en konsekvensklassifisering før gjennomføring av FMECA er at man ved konsekvensklassifisering finner de kritiske enhetene med en gang. Dermed sparer man seg for mye arbeid da man slipper å utføre FMECA på utstyr som ikke er kritisk.

5.1 Utvikling av matrise

Ved å ta utgangspunkt i standard NORSOK Z-008 ble rammene for analysen satt. De tre konsekvensklassene ble satt til C1 - Ubetydelig konsekvens, C2 - Moderat konsekvens og C3 - Stor konsekvens. C1 er altså minst mulig konsekvens og C3 er største mulig konsekvens. Videre i analysen ble det valgt å benytte trafikklys-systemet slik at C1 blir vurdert til grønt, C2 til gult og C3 til rødt. Kategoriene det ble valgt å vurdere ut ifra er personsikkerhet, rømningsfare, fiskevelferd, produksjon, vedlikeholdskostnad og omdømme. Kategoriene ble bestemt i samråd med Mowi.

Konsekvensklassifisering			
	C1	C2	C3
Personsikkerhet	Ingen skade	Lettere skade	Store skader/død
Rømningsfare	Liten rømningsfare	Rømningsfare	Stor rømningsfare
Fiskevelferd	God fiskevelferd	Fiskevelferd	Dårlig fiskevelferd
Produksjon	Ingen tapt fôring	Lettere skade	Tapt fôring
Vedlikeholdskostnad	<50.000kr	50.000-200.000kr	>200.000kr
Omdømme	Godt omdømme	Dårlig omdømme	Svært dårlig omdømme

Tabell 5.1: Konsekvensklassifiseringsmatrisen som ble brukt under analysen. Matrisen er utviklet av gruppen

5.2 Utvikling av analyseskjema

Ved utvikling av analyseskjema ble det valgt å benytte Excel, da dette er en tjeneste som alle har gratis tilgang til, og i tillegg kunnskaper om. Figur 5.1 viser oppsettet av skjemaet før det ble utfyllt. P, R, F, Pr, K og O står henholdsvis for personsikkerhet, rømningsfare, fiskevelferd, produksjon, vedlikeholdskostnad og omdømme. Grunnen til at disse kategoriene også inngår i analyseskjemaet er fordi gruppen ønsket å se hvilken kategori som har størst innvirkning på helhetsvurderingen.

For å kvalitetssikre analysen og arbeidet ble konsekvensklassifiseringen oversendt til Mowi for gjennomgang og eventuelle tilbakemeldinger.

Resultatet fra analysen blir presentert i Kapittel 8.1 og Vedlegg A.1.

Kolonne	Forklaring
Enhetsnummer og enhetsnavn	Enhetsnummer og enhetsnavn beskriver hvilken enhet som analyseres. Enhetsnummer er hentet fra teknisk hierarki i Aquacom, ref. Figur 2.2. Ikke alle analyserte enheter har et enhetsnummer i Aquacom, og derfor er ikke alle enhetene ført opp med dette i analysen. Noen av enhetsnavnene er heller ikke opplistet i Aquacom, men er enheter Mowi mente burde være med i analysen.
Funksjon	Gjengir enhetens funksjon og det Mowi krever av enheten.
Funksjonssvikt	Beskriver en tilstand hvor utstyret ikke er i stand til å oppfylle sin funksjon [34]. Etter ønske fra Mowi blir kun total bortfall av funksjon tatt med i denne oppgaven. Eksempelvis vil det under analyse av føringssystem ikke bli tatt med om det leverer ut før, men i uønsket mengde. Kun total bortfall av funksjon gjelder, altså at det ikke blir levert ut før i det hele tatt.
Sviktmode	Gjengir en enkelthendelse som forårsaker funksjonssvikt [34].
Sviktårsak	“Forhold knyttet til spesifikasjon, utforming, framstilling, installering, bruk eller vedlikehold, som fører til svikt” [1].
Sviktmechanisme	“Fysiske, kjemiske eller andre prosesser som kan føre til eller har ført til svikt” [1].
Effektbeskrivelse	Gjengir hva som skjer og skjer videre når sviktmoden inntrer. Her skal det tenkes “i verste fall, men realistisk” [34].
Skjult/synlig	Gjengir om hvorvidt svikten er skjult eller synlig. Her vil det vurderes om effekten av sviktmoden blir tydelig for operasjonspersonalet under normale omstendigheter dersom sviktmoden oppstår alene [34].
Konsekvenser	De samme kategoriene som ble brukt under konsekvensklassifiseringen, Tabell 5.1, ble også brukt under FMECA. Under analysen ble det ført inn en tallverdi fra 1-3, der 1 tilsvarer C1 i konsekvensmatrisen, 2 tilsvarer C2 og 3 C3. Dette tilsvarer henholdsvis lav, middels og høy konsekvens.
Kritikalitet	Gjengir om hvorvidt en enhet og sviktmode er kritisk eller ikke. Kritikalitet ble satt ut ifra høyeste konsekvens fra konsekvens-kolonnen, sett i sammenheng med sannsynlighet for at sviktmoden oppstår.
Forutse eller oppdage svikt	Gjengir hva som gjøres i dag eller som kan gjøres for å forutse eller oppdage svikt.

Forebygge svikt	Gjengir hva som kan gjøres for å forebygge svikt.
Kommentar	Kolonne for eventuelle kommentarer til avgjørelser tatt under analysen eller annet.

Tabell 6.1: Forklaring av kolonner i FMECA-skjema

6.2 Gjennomføring av FMECA

På forhånd hadde bachelorgruppen delt inn ulike roller og arbeidsoppgaver til gjennomføringen - dette var de samme rollene som gruppemedlemmene hadde under gjennomføringen av konsekvensklassifisering.

Gjennomføringen av FMECA ble utført digitalt over Teams. Før selve analysen startet ble skjemaet gjennomgått, og hver enkelt kolonne ble forklart. Her ble også de ulike enhetene som var tenkt analysert diskutert og noen ble justert. Batteri var ikke inkludert i gruppens opprinnelige skjema, men ble med i analysen etter ønske fra Mowi. Det samme med innvendige dører (skott). Ikke alle enhetene som kom ut som kritisk i konsekvensklassifiseringen ble analysert i FMECA. Dette gjelder blant annet utvendige dører, luker og vinduer - dette også etter ønske fra Mowi.

Det første systemet som ble analysert var skroget. Her ble det forsøkt å i størst mulig grad gå systematisk til verks, ved å fokusere på en og en enhet, og gå fra kolonne til kolonne. Deretter ble det samme gjort for føringsystemet og generator. I etterkant av møtet gikk bachelorgruppen gjennom analysen og finpusset på den. Deretter ble analysen sendt til Mowi for eventuelle tilbakemeldinger og for kvalitetssikring.

Resultatet fra analysen blir presentert i Kapittel 8.2 og i Vedlegg A.2.

7 Tiltak

I dette kapitlet presenteres funn knyttet til Resultatmål 4: “Forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder”.

7.1 Håndtering av sviktmoder

Resultatmål 4a “Komme med forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder” dekkes i FMECA, kolonne 6 og 7. Se Vedlegg A.2. Identifiserte sviktmoder blir også presentert i vedlegget.

7.2 Beslutningslogikk for grenseverdi

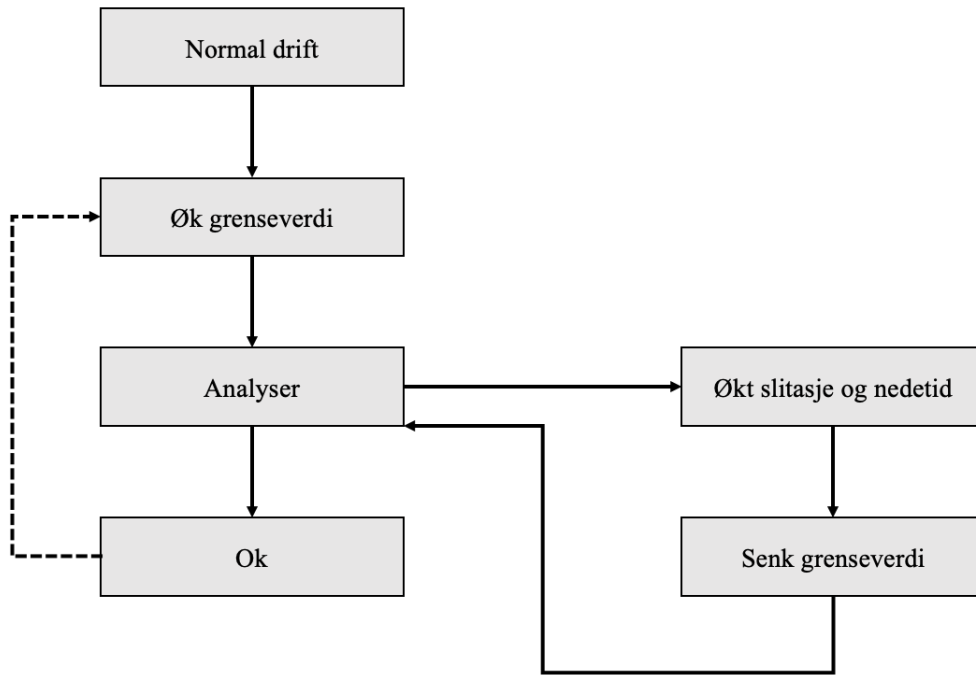
Her vil Resultatmål 4b “Foreslå en beslutningslogikk for grenseverdi knyttet til identifiserte tilstandsparameter og tilstandskontrollmetode basert på Resultatmål 4a” presenteres.

Gruppen har ingen forutsetning for å sette grenseverdier tilknyttet tilstandsparametre på bakgrunn av lite data. Dersom man hadde hatt tilgang til mer data kunne disse blitt analysert i forhold til tilfredsstillende funksjon og krevd ytelse. Ved å sammenligne data kan man enklere se når ytelsen ikke lenger er tilstrekkelig.

Når det kommer til grenseverdier for skrog må man ta utgangspunkt i lovverk og gitte brukerhåndbøker. Det finnes gitte grenseverdier for hva som er godkjent når det gjelder tykkelsesmåling på skrog. Disse verdiene har ikke gruppen fått oppgitt. På bakgrunn av disse grenseverdiene fra produsent er dette avgjørende for om det fortsatt er forsvarlig å ha en flåte i drift. Det anses derfor ikke som hensiktsmessig å finne nye grenseverdier når det kommer til skrog.

For å etablere grenseverdier for fôringssystemet er det avgjørende å definere klare kriterier. I denne oppgaven vil dette omfatte slitasje og nedetid på systemet. Dette vil i hovedsak kunne gjennomføres ved å benytte sensorikk og overvåkning av drift. Relevante tilstandsparametre kan eksempelvis være måling av ytelse til kompressor, om slusen doserer ut ønsket mengde fôr, temperatur- og trykkovervåkning. Gjennom å overvåke disse tilstandsparameterne kan man observere eventuell økt slitasje. Dette anses som relevante triggere for vedlikehold. Ved økt nedetid vil dette også være relevant trigger for vedlikehold.

Gruppens forslag til fremgangsmåte for å utfordre og sette grenseverdier for vedlikehold på fôringssystemet blir vist i Figur 7.1. Ved å følge denne fremgangsmåten vil man til slutt kunne sette en grenseverdi for vedlikehold på systemet.



Figur 7.1: Flytskjema - beslutningslogikk for vedlikehold på fôringssystem

Flytskjemaet illustrerer hvordan grenseverdiene kontinuerlig kan utfordres. I figuren fremgår dette i form av den stiplede linjen fra “ok” til “øk grenseverdi”. Man kan velge om man ønsker å fortsette å øke grenseverdien.

På denne måten kan man fortsette å utfordre tilstandsparameterne og ta en beslutning basert på teknisk tilstand og den biologiske tilstanden til fisken.

Det er viktig å presisere at beslutningen om anleggets tilstand også må inkludere fiskehelse og fiskevelferd. Tilstanden til laksen må overvåkes nøye underveis, særlig dersom det foretas endringer som kan påvirke dens tilværelse. Laksen er tilpasningsdyktig, men påvirkes negativt når den opplever store endringer i miljøet. Derfor er det viktig at eventuelle endringer skjer gradvis og over tid.

7.3 Tiltak knyttet til slippopphold

Her vil Resultatmål 4c “Foreslå tiltak som kan forlenge tiden mellom hvert slippopphold for fôrflåten” presenteres.

Gruppen har kommet frem til noen tiltak som kan bidra til å forlenge tiden mellom hvert slippopphold. Ett viktig tiltak kan være standardisering av vedlikeholdsrutinene som omfatter skroget til flåtene og utarbeide spesifikke krav til vedlikeholdet som skal utføres på verftene. Dette inkluderer også standardisert overflatebehandling på skroget. Dette kan potensielt bidra til å gi

en mer forutsigbar levetid, i form av at Mowi har kvalitetssikret behandlingen som benyttes. I tillegg får man større sammenligningsgrunnlag da flere flåter benytter samme behandling.

Et annet tiltak vil være å utføre mest mulig forebyggende vedlikehold på lokaliteten mens flåten er i sjøen. Dykkere kan inspisere skroget, og i tillegg er det mulig å utføre tykkelsesmålinger i sjø. Det vil også være viktig med skånsom behandling når det kommer til fjerning av groe. Metodene som benyttes bør også være minst mulig skadelig for miljøet. Det er derimot enkelte ting som ikke kan gjøres i sjøen. Det er eksempelvis vanskelig å komme til under dekkene som er festet utenpå flåten - disse må tas av på land under slipp.

Kvalitetssjekk av vedlikeholdet som er blitt utført på verftet vil også være et tiltak. Her må Mowi sette tydelige krav til vedlikeholdet som blir gjort. En ressurs fra Mowi kan dra til verftet for å ettergå arbeidet som er utført. For å sikre at arbeidet innehar ønsket standard kan ressursen ha en sjekkliste med krav som Mowi har utarbeidet. Dersom det utførte arbeidet ikke når opp til standarden, anbefales det å sette inn disse kravene i en kontrakt, dersom dette ikke allerede er praksis.

Et mindre sannsynlig, men alternativt tiltak vil være å ha en upartisk tredjepart som vurderer tilstanden til skroget mens flåten befinner seg i sjøen. Denne parten kan gjøre en vurdering på om flåten må inn på slipp eller ikke. På denne måten kan Mowi unngå å sende flåter på slipp når det ikke er nødvendig, og samtidig fange opp når flåtene har behov for vedlikehold.

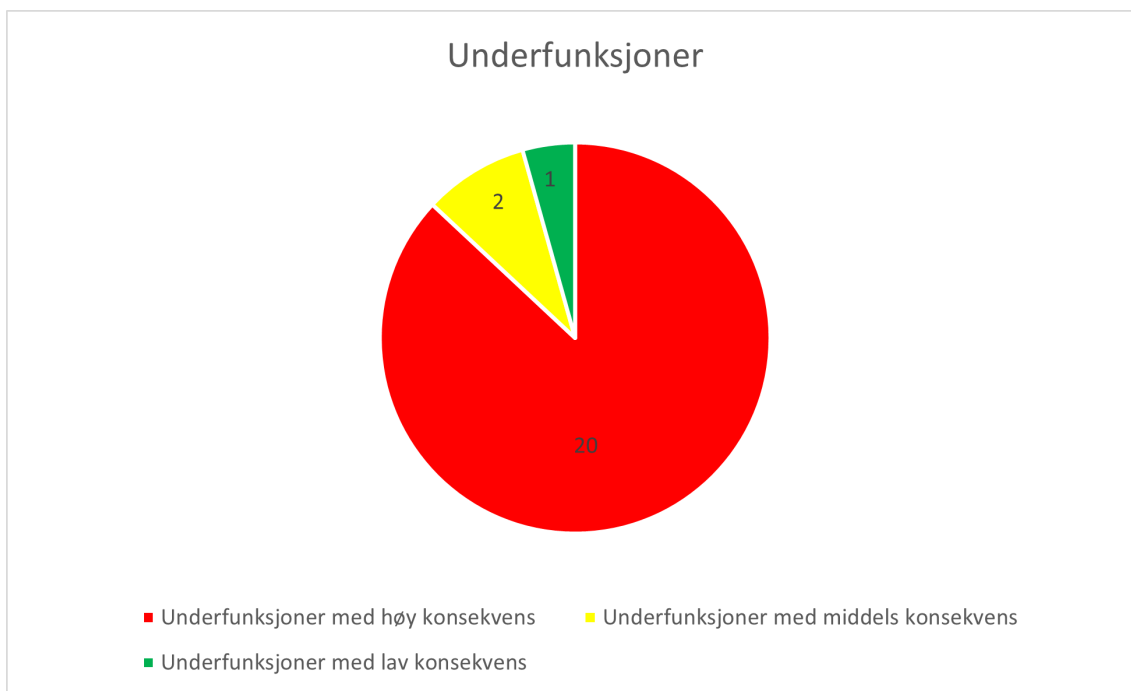
8 Resultat

I dette kapitlet vil resultat fra konsekvensklassifisering og FMECA presenteres.

8.1 Resultat fra konsekvensklassifisering

Totalt ble fire HF analysert. Det var to HF for skrog, én på fôringssystem og én på generator. Alle disse fire HF endte opp med høy konsekvens.

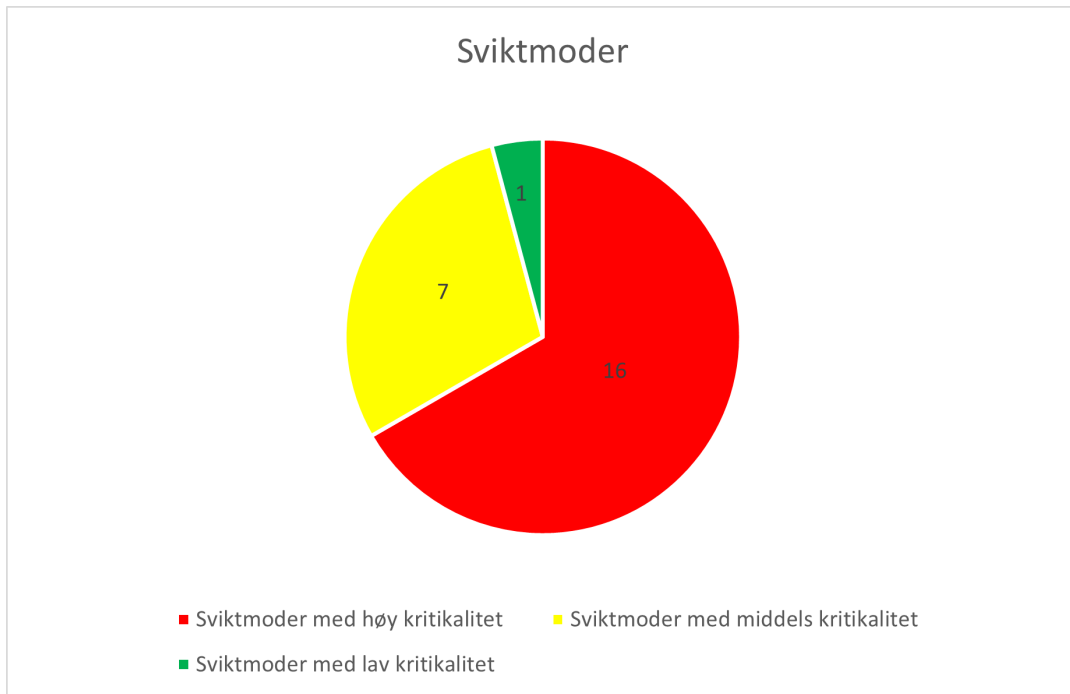
Totalt ble 23 UF analysert. Av disse tilhørte 11 skroget, ti fôringssystemet og to generator. Totalt fikk én UF lav konsekvens, to UF middels konsekvens og 20 UF høy konsekvens. Dette illustreres i Figur 8.1.



Figur 8.1: Resultat fra konsekvensklassifisering - antall underfunksjoner med lav, middels og høy konsekvens

8.2 Resultat fra FMECA

Totalt ble 24 sviktmoder analysert. Syv av disse tilhører skroget, 12 f oringssystemet og to generatoren. Totalt endte én sviktmode opp med lav kritikalitet, syv middels kritikalitet og 16 sviktmoder fikk tildelt høy kritikalitet. Dette illustreres i Figur 8.2.



Figur 8.2: Resultat fra FMECA - antall sviktmoder med lav, middels og høy kritikalitet

9 Diskusjon

I dette kapitlet vil gruppen diskutere omkring oppgaven og resultatmålene.

9.1 Tanker rundt vedlikehold

Det å skille mellom nødvendig og overflødig/unødvendig vedlikehold kan være utfordrende. På en side vil man unngå nedetid på systemene og eventuelle store kostnader tilknyttet svikt og havari. På den andre siden kan det være kostbart og tidkrevende dersom man utfører vedlikehold når det ikke er nødvendig eller bytter ut enheter som har gjenstående levetid. Det kan også tenkes at vedlikehold i seg selv kan være en direkte årsak til at svikt oppstår. Dette kan være ved å bytte ut originale deler eller gjennom tilførsel av smuss. På bakgrunn av dette vil det ikke nødvendigvis være fornuftig å utføre mest mulig vedlikehold, men heller å kunne gjøre en vurdering av hva som er nødvendig og tilfredstillende arbeid.

Det er viktig at det er rom og mulighet for å forbedre og oppdatere vedlikeholdsplanen da det er umulig å kunne forutsi helt sikkert hva som vil skje i fremtiden. På denne måten kan man kontinuerlig forbedre og tilpasse planene etter hvert og optimalisere driften på best mulig måte med den kunnskapen man har på det tidspunktet. Derfor må dataevalueringen fra analysene som utføres være tilgjengelig for oppdateringer og forbedringer av resultatet.

Her kommer også viktigheten av et brukervennlig vedlikeholdsstyringssystem inn. Det hjelper lite å investere penger i et system som skal være et hjelpemiddel for bedriften hvis de som skal bruke det ikke kan, eller er motivert for å bruke det. God opplæring og brukervennlighet er derfor viktig når et slikt system skal implementeres. Selvom de som var på Lønngrunnen opplyste at de var veldig fornøyd med Aquacom og brukte det aktivt, fikk gruppen inntrykk av at motivasjonen til å bruke det varierte veldig mellom de ulike lokalitetene. Når ikke vedlikeholdet logges risikerer man for eksempel at planlagt og nødvendig arbeid uteblir helt eller at samme oppgave gjøres flere ganger.

Det er mange viktige rutiner og oppgaver som skal utføres på en lokalitet ikke bare for driften, men også for å forhindre uønskede konsekvenser for fiskevelferd, miljø og personsikkerhet. Lønngrunnen gir inntrykk av at de har gode rutiner som logges og følges opp, i tillegg til at det sjelden oppstår kritiske hendelser som ikke kan løses relativt ukomplisert. Dette er et veldig godt utgangspunkt for en trygg og lønnsom drift. Uten tilstrekkelig data vil det derimot være svært vanskelig å optimalisere vedlikeholdsplanleggingen, og det vil derfor være en stor fordel om alle i bedriften bruker Aquacom aktivt.

9.2 Drift og vedlikehold i oppdrett

9.2.1 Nedetid og bærekraft

Hensikten med vedlikeholdsstyring er som nevnt i Kapittel 2.2 å optimalisere vedlikeholdskostnader, forbedre levetid for utstyr og redusere uforutsett nedetid på utstyr. Det kan argumenteres for at spesielt det siste punktet er ekstra viktig i oppdrettsbransjen, ved blant annet sjøanlegg og settefiskanlegg. Selv om oppdrett til syvende og sist handler om produksjon, kan det ikke sammenliknes med hvilken som helst annen type industri. Dersom man ved et sjøanlegg får langvarig nedetid og svikt i fôringssystemet, vil resultatet av dette være redusert velferd for millioner av fisk, og dårlig velferd kan i verste fall føre til økt dødelighet.

På tross av store økonomiske tap og tapt omdømme bør den største pådriveren for å utføre hensiktsmessig vedlikehold likevel være å sikre fiskevelferd og å beskytte det ytre miljøet. Basert på dette vil det være feil å likestille oppdrettsnæringen med annen type produksjon når det gjelder drift og vedlikehold.

På bakgrunn av dette kan det hevdes at drift og vedlikehold vil være ekstra viktig i oppdrettsbransjen, da man som oppdretter i tillegg til ønske om å optimalisere vedlikeholdskostnadene også har et stort moralsk og etisk ansvar.

Det kan også argumenteres for at man ved å utføre vedlikehold når det trengs - verken før eller etter, vil bidra til økt bærekraft. Dersom man skifter ut enheter akkurat når det er behov for det, vil man kunne utnytte enhetens levetid best mulig og i mindre grad ta del i bruk-og-kast-samfunnet.

9.2.2 Mål og krav til vedlikehold i oppdrettsbransjen

Oppdrettsbransjen har som nevnt i Kapittel 2.5 flere krav og forskrifter man må forholde seg til. Både NYTEK-forskriften og standard NS9415:2009 stiller krav til at produsent og leverandør leverer brukerhåndbøker for enheter og hva disse skal inneholde. I brukerhåndbøkene benyttet i denne oppgaven, oppgis det at enhetene er konstruert og godkjent i henhold til NS9415. Det oppgis ikke hvilke vurderinger som er tatt i forbindelse med utvikling av vedlikeholdsprogram, og heller ikke hvilke metoder som er benyttet for å komme frem til det satte vedlikeholdsprogrammet. Ettersom Mowi følger leverandøranbefalinger når det kommer til vedlikehold, er det vanskelig å vite om det utføres for mye eller for lite vedlikehold enn det som faktisk er nødvendig for å opprettholde trygg og pålitelig drift.

Brukerhåndbøkene oppgir samtidig at vedlikeholdsplanen kun er veiledende, da miljøbelastning kan variere mellom ulike lokaliteter og hvor de er plassert langs Norskekysten. I teorien betyr dette at Mowi kan utfordre vedlikeholdsprogrammet som er satt av leverandør. Her vil det dog kunne være vanskelig å si når man holder seg innenfor regelverket og ikke.

Man kan diskutere hvorvidt det å ikke ha konkrete vedlikeholdsmål er pålitelig. Det å basere vedlikeholdet sitt på "minst mulig/ingen nedetid" er et ganske bredt aspekt. Det settes ingen

grenser for hva “minst mulig” innebærer.

9.3 Diskusjon biologi

9.3.1 Diskusjon rundt fiskevelferd

Et av punktene under konsekvensmatrisen er fiskevelferd. Under gjennomføringen av både konsekvensklassifiseringen og FMECA ble det stilt spørsmål til hvordan fokuset på fiskevelferd ble tatt i betraktning under analysene.

Dersom man studerer HF og UF i konsekvensklassifiseringen kan man se på punktet for fiskevelferd at fiskevelferden stort sett er satt til “god fiskevelferd”. Likevel blir kritikaliteten i FMECA satt til høy på bakgrunn av at fisken ikke får fôr. Dette er basert på **produksjon** og ikke fiskevelferd.

Definisjonen på fiskevelferd er såpass bred at det er vanskelig å definere, og man kan derfor stille spørsmålstegn ved fokuset på dette i analysen. Dette har gjort det vanskelig å forholde seg til den faktiske utfordringen når det kommer til fiskevelferd, da en stor del av oppgaven også omhandler dette.

Da laksen er et vanedyr vil dens naturlige instinkt være å spise til samme tid hver dag, og det er derfor viktig å starte fôringen til omtrent samme tid hver dag. Tapte fôring knyttet til svikt i fôringssystemet vil derfor føre til nedsatt fiskevelferd. Selv om dette ikke er tatt høyde for i analysen, vil det i realiteten være utfordrene for fisken.

I tillegg til dette er appetitten hos laksen størst når det er lyst. Dersom man får problemer med fôringssystemet i de mørkeste månedene kan man potensielt miste en hel dag med fôring. Dette vil altså kunne medføre unødvendig sult.

I FMECA kommer det frem fiskevelferd tilhørende sviktmode “Tank lekker ensilasje” for enhet *800 - ensilasjetank* er satt til middels. Bakgrunnen for dette er at dersom lensepumpen og ensilasjesystemet er ødelagt så vil dette kunne medføre at man ikke får pumpet dødfisk. Dersom dødfisk blir liggende lenge i bunnen av merden vil dette være med på å påvirke miljøet i merden negativt. Dersom fisken i tillegg har dødd av sykdom, ønsker man ikke at frisk fisk som er i merden spiser av dødfisken.

Suboptimalt miljø vil kunne medføre sykdomsutvikling i merden. Dette kommer av at endring i miljøet i merden kan stresse fisken slik at den vil være mer utsatt for sykdom. Dette kan være dårlig vannkvalitet, høy fisketetthet, dårlige værforhold eller håndtering.

I tillegg til suboptimalt miljø i merden vil mye dødfisk i bunnen av merden kunne tiltrekke seg predatorer som oppholder seg i havet. Predatorer som makrellstørje og pigghå vil kunne trenge seg inn i merden og dermed lage hull i nota. Hull i nota med predator inne i merd har to store utfordringer. Den ene er at predatoren spiser fisken som oppholder seg inne i merden, og fører dermed til tapte lønnsomhet. Fisken i merden vil bli veldig stresset, og dersom man får ut

predatoren vil det ha stor innvirkning på fiskevelferden og i tillegg tilveksten.

Den andre store utfordringen ved hull i nota er rømming. Rømming har store konsekvenser når det kommer til miljøet i havet. Oppdrettslaks kan infiltrere seg sammen villaksen, og påvirke genetikken hos villaksen. Oppdrettslaksen er i utgangspunktet avlet frem på villaksen, men over så mange generasjoner at det er store forskjeller mellom oppdrettslaksen og villaksen.

9.3.2 Risiko ved tapt fôring

Den største risikoen knyttet til tapt fôring er veksthastighet og tilvekst hos laksen. Laksefisk som over en lengre periode har vært uten fôr vil ved fôring basert på appetitt kunne fylle det behovet den har for mat. Etter en lengre sulteperiode vil man kunne forvente at fisken spiser mer enn den vanligvis ville gjort, før det etter en periode vil stabilisere seg. Risikoen ved å ikke fôre fisken tilstrekkelig etter perioder med sult vil kunne føre til passiv fisk, se Kapittel 2.8.3.

Det tyder på at appetitten hos noen fiskeslag vender raskest tilbake når 60-90% av tarmen er tømt [16]. På bakgrunn av dette kan det være nødvendig å fôre flere måltid i løpet av en dag, eksempelvis ett morgenmåltid og ett kveldsmåltid, slik at man så godt som mulig utnytter seg av appetitten hos fisken.

Tapt tilvekst vil igjen føre til høyere fôrkostnader, se Kapittel 2.7.2. Dette kommer av at fisk som ikke får tilstrekkelig med fôr vil kreve lengre tid i sjø, og dermed økt fôrkostnad. I tillegg til dette vil tapt fôring over en lengre periode føre til dårlig kvalitet på kjøttet, som igjen gir dårligere pris på markedet.

Dersom man skulle være så uheldig at fisken utvikler sykdommer på bakgrunn av tapt fôring, vil dette også kunne føre til omdømmeskader.

9.3.3 Lønnsomhet

Lønnsomhet er knyttet opp mot fôrkostnad, investeringer, lønn, behandlinger og ulike biologiske faktorer. De store biologiske faktorene er dødelighet, sykdom og lus. Disse faktorene påvirker resultatene både i form av volumet slaktet fisk og kostnadene [35]. God fiskevelferd vil bety lav produksjonskostnad.

Fisk som står i åpne merder er direkte eksponert for ulike sykdommer, samt lakslus. Sykdomsutbrudd og lus vil være en kostnad i form av dødelighet, tapt tilvekst og dårligere kvalitet på slaktet fisk. I tillegg er det knyttet store kostnader opp mot vaksinerings av ulike sykdommer, samt lusebehandling.

Ved å til en hver tid utnytte tilvekstpotensialet hos fisken ved å opprettholde god tilgjengelighet vil man kunne redusere produksjonstiden i form av tidligere slakteklar fisk. Dette er noe som er lønnsomt både for oppdretter og miljøet. Redusert periode i sjøen minsker biologisk risiko, mindre sykdomspress og færre behandlinger. Ved en lengre brakkleggingsperiode vil havbunnen

ha tid til å bygge seg opp til sitt utgangspunkt igjen. Mer om hvordan havbunnen påvirkes av oppdrettsbransjen vil bli diskutert i Kapittel 9.3.5.

Fôrkostnadene i 2022 var omtrent 45% av kostnadene hos Mowi. Fôrfaktoren ligger normalt et sted mellom 1,1 og 1,2 kg fôr per kg produsert fisk. Dette er viktige tall for å holde lønnsomheten så god som mulig. Det rapporterte driftsresultatet for Mowi i den norske regionen for 2022 var 806.1 EUR million, sammenlignet med 389.4 EUR million for 2021. Slaktet volum av laks var henholdsvis 293 720 tonn i 2022, og 273 204 tonn i 2021. For hele selskapet ligger fôrkostnaden på 2,15 EUR per kg fisk for 2022 og 1,77 EUR per kg fisk for 2021 [35]. Mye av bakgrunnen for den økte kostnaden i 2022 er inflasjonen som har vært størst på fôr.

9.3.4 Biologisk risiko

Biologisk risiko omhandler sykdom, stress, redusert tilvekst og dødelighet [22]. Det er spesielt lakselus og sykdom som er de største faktorene i biologisk risiko. Effekten av disse kan forhøyes ved suboptimal drift, samt behandling. Biologisk risiko er den en av de største bidragsyterne når det kommer til forskjeller i produksjonskostnader. Med andre ord, biologisk risiko er tett knyttet opp mot lønnsomhet.

Man kan også trekke inn hierarkidannelse. Det finnes flere grunner til dette, men man kan i hovedsak knytte det opp mot fôring. For stor eller liten størrelse på pellets og suboptimal tilgang på fôr i merden vil medføre ulik individuell fôrtilgang [25]. Dette vil kunne medføre uønsket hierarkisk adferd og dannelse av tapere.

Utvikling av sykdommer som eksempelvis SAV (Salmonid alfavirus) er knyttet opp mot stress som resultat av behandling, håndtering, miljø og andre sykdommer [25]. Stress som resultat av håndtering kommer ikke alltid av trenging, men kan også forekomme på grunn av skader på fisken. Kronisk stress vil som nevnt i Kapittel 2.8.2 medføre redusert immunforsvar.

9.3.5 Miljøutfordringer

Alle oppdrettsanlegg må jevnlig dokumentere miljøtilstanden rundt lokaliteten i henhold til standard NS 9410:2016 [36]. Standarden foretar seg undersøkelser av bløtbunn og organismene som lever på havbunnen er påvirket. Den største miljøutfordringen knyttet til fôring er nemlig hvordan fôrspill vil påvirke havbunnen. Det som påvirker havbunnen er knyttet opp mot organisk materiale og næringsalter. Utslipp til havbunn er avhengig av flere ulike faktorer som fôrfaktor, fiskens fysiologiske tilstand, feces og fôrsammensetning [37].

Store mengder organisk materiale vil på sikt være negativt for det marine miljøet. Dersom utslippene overstiger miljøets grense omtaler man utslippene som forurensing. Det totale utslippet pr. tonn tilvekst ved en fôrfaktor på 0,8 er 36,2 kg nitrogen og 5,7 kg fosfor. Dersom man øker fôrfaktoren til 1,4 vil utslippene øke til 83,1 kg nitrogen og 13,0 kg fosfor [37].

Utvikling av nye sykdommer og parasitter fra merdene og ut i sjøen er også en utfordring når

det kommer til påvirkning av miljøet.

For å etablere bærekraftig vekst i industrien benytter man seg av trafikklys-systemet. Systemet deler de ulike delene av Norskekysten inn i produksjonsområder. Hvert andre år får hvert av produksjonsområdene en farge gitt av trafikklys-systemet på bakgrunn av hvor mye lakselus som finnes i det gitte området. Dette er med på å sikre miljøet i disse områdene for mer spredning av lus. Høye lusetall gir området en rød score, som resulterer i at oppdretterne må redusere produsert biomasse det kommende året. Dersom man befinner seg innenfor området for lusegrensa får man oransje score, og kan fortsette produksjonen i samme grad som tidligere. Lusetall som ligger godt under grensa vil kunne få en grønn score. Dette medfører at oppdretterne har mulighet til å utvide produksjonen sin [38].

Som nevnt i Kapittel 9.3.1 har rømming også store konsekvenser for miljøet på bakgrunn av konkurranse med villaksen.

9.4 Diskusjon rundt oppgavebeskrivelse

I Kapittel 3.1 er det beskrevet at gruppen ønsket å forholde seg til ett anlegg. Under intervju og befaring ved dette anlegget kom det frem at deler av problemstillingen - tapt føring grunnet strømbrudd, ikke var noe de nødvendigvis trengte å ta stilling til. Dette fordi det gitte anlegget benytter to dieselgeneratorer som begge er i jevnlig drift. Det har heller aldri vært noe problem med strømbrudd tidligere. Dersom én av generatorene svikter eller trenger vedlikehold, kan de kjøre den andre. På bakgrunn av dette kan det argumenteres for at det hadde vært mer behov for denne delen av oppgaven dersom oppgaven hadde omhandlet et annet anlegg som har hatt historikk med dette.

I etterkant av utdeling av oppgaven har Mowi uttrykt at dette problemet er større på anlegg hvor det benyttes landstrøm. For at Mowi skulle hatt fullt utbytte av denne delen av oppgaven ville det vært vesentlig å gjøre analysene på et anlegg hvor det blir benyttet landstrøm.

9.5 Diskusjon rundt systemene og systemgrensene

9.5.1 Systemene som inngår i analysen

En förflåte består av flere ulike systemer og å analysere alle disse hadde vært for omfattende for en bacheloroppgave. Gruppen diskuterte derfor hvilke system som skulle inngå i oppgaven og analysene med utgangspunkt i den gitte oppgavebeskrivelsen.

I samråd med Mowi ble det bestemt hvilke enheter oppgaven skulle omhandle. Skroget skulle inkludere innvendige dører/skott, ensilasjetank, fueltank, fortøyningssystem og skroggjennomføringer.

Ettersom føringssystemet er essensielt for å opprettholde hovedfunksjonen til förflåten ble det bestemt at det skulle tas med i sin helhet. Dette til tross for at deler av systemet befinner seg i sjøen, og ikke bare på selve flåten. Kamerateamet ble også inkludert på bakgrunn av at det er

en vesentlig enhet for fôringen. Dersom operatørene ikke ser fisken, fôrer de i blinde og kan ikke regulere mengden fôr etter fiskens appetitt. Fôr er kostbart, og det er ønskelig for Mowi å ha så lite kostnader knyttet til fôring som mulig. I tillegg ønsker man minst mulig fôr ut til miljøet rundt merdene i form av overføringer. Dette ble også diskutert i Kapittel 9.3.5.

Generatoren er analysert i sammenheng med den biologiske delen av oppgaven som omhandler tapt fôring grunnet strømbrudd.

9.5.2 Diskusjon ståstedsanalyse

Innledningsvis i oppgaven ble det nevnt at også ståstedsanalyse kun er gjennomført ved ett anlegg. Resultatet fra ståstedsanalysen baserer seg på informasjon som ble innhentet under intervju og befaring ved det aktuelle anlegget. Dette kan anses som en ulempe, da det kan være vesentlige ulikheter mellom anleggene, og hvor god kjennskap de har til mål og strategier knyttet til vedlikehold.

Det kan også være store forskjeller når det gjelder hvordan mannskapet opplever Aquacom, rapportering og hvordan det generelle vedlikeholdsarbeidet gjennomføres. Dette er subjektive tolkninger, og det hadde derfor vært givende å besøke flere anlegg for å utføre intervju, men på grunn av begrensninger i oppgavens omfang var dette derimot ikke mulig. Ståstedsanalysen ble gjennomført med kvalifisert personell med høy kompetanse, og gruppen anser innhentet informasjon som valid. Dette kompenserer for at det ikke er blitt foretatt flere intervju.

Personalet ombord på flåten har ulik ansiennitet. Fordelen med lang ansiennitet er at man har mye kunnskap og erfaring om arbeidet som utføres. En med kortere ansiennitet kan dog komme inn i bedriften med nyttige tilbakemeldinger og friske øyne, og kan se utfordringer knyttet til driften. Samtidig kan nyansatte potensielt redegjøre bedre for hvordan opplæring foregår og om den er tilstrekkelig.

Ved Lønngrunnen opplyses det om gode vedlikeholdsrutiner og de har personell med høy teknisk kompetanse. Ved lokaliteter uten slikt personell kan det argumenteres for at utgifter knyttet til reparasjoner vil kunne bli høyere. Det er fordi det kan være kostbart å leie inn personell eller servicefirma for å utføre reparasjoner. I tillegg vil den tekniske kompetansen potensielt føre til mer kunnskap og erfaring som kan brukes forebyggende for å unngå slitasje eller nedetid i produksjon.

I forkant av intervju og befaring sendte gruppen over spørsmålene som ville bli stilt under intervjuet. Dette var åpne spørsmål der hensikten var å få dem til å snakke mest mulig fritt. Det ble også laget hjelpespørsmål under hvert av hovedspørsmålene. Disse ble brukt for å gjøre det tydelig hva gruppen ønsket svar på og for å holde god flyt i intervjuet. Hjelpespørsmålene ble ikke sendt over i forkant, da gruppen kom frem til at det var lite hensiktsmessig og kunne virke overveldende med så mange spørsmål.

Under intervjuet ble det tydelig at spørsmålene muligens var i overkant åpne, og det ble usikker-

het rundt hva gruppen ønsket ut av hvert spørsmål. Dette var en problemstilling bachelorgruppen hadde tatt stilling til på forhånd, og hadde med dokumentet som inkluderte hjelpespørsmålene. Etter at disse ble utdelt ble det enklere å få svar på det gruppen lurte på. Dette tyder på at åpne spørsmål kan være positivt med tanke på at intervjuet flyter mer fritt, men det kan også være utfordrende dersom de blir for åpne.

Tapt fôring knyttet til strømbrudd er ikke noe operatørene på Lønngrunnen har opplevd. Derfor er det utfordrende å vurdere hvordan denne problemstillingen påvirker fisken. De kunne derimot fortelle sine observasjoner av fiskens atferd ved planlagt sulting. Vanligvis sultes fisken i tre dager før behandling, og operatørene opplever at fisken kommer raskt tilbake i fôrsonen. Dette er veldig positivt, og tyder på god fiskevelferd ved anlegget. Siden gruppen har fokusert på ett anlegg, og det er vanskelig å si om dette er noe som er en gjenganger for flere oppdrettere.

På bakgrunn av dette kunne gruppen notere forskjeller mellom teori og praksis. I teorien vil fisk som har gått lenge uten fôr kunne utvikle aggressiv adferd. I følge operatørene ved Lønngrunnen er ikke dette fremtrendene ved korte perioder med sulting. Likevel vil dette kunne opptre ved lengre perioder uten fôr, men gruppen kan ikke si noe med sikkerhet da det ikke er innhentet nok data angående temaet.

9.6 Diskusjon rundt konsekvensklassifisering

9.6.1 Gjennomføringen av konsekvensklassifisering

Hensikten med å utføre en konsekvensklassifisering under arbeidet med oppgaven var å identifisere kritiske enheter, for deretter å utføre FMECA på disse. FMECA-en ville blitt en mer omfattende analyse dersom det ikke hadde blitt utført en konsekvensklassifisering i forkant. I tillegg ville det gått unødvendig mye tid til overflødig arbeid med å analysere enheter som ikke er kritiske for driften og opprettholdelse av viktige funksjoner.

Konsekvensklassifiseringen ble gjennomført av bachelorgruppen og én person fra Mowi. Dette var personell med god teknisk innsikt og høy kompetanse. Det kan argumenteres for at det burde vært med flere representanter fra Mowi under analysen. Bachelorgruppen, som ikke nødvendigvis innehar bred nok kompetanse, kunne bidra med forslag til funksjoner på de ulike systemene, men for å øke validitet på analysen ville det vært positivt med flere deltagere fra Mowi. Dette kunne også bidratt til flere gode diskusjoner og avveininger, og potensielt enda flere hovedfunksjoner og underfunksjoner.

Selv om det ville vært positivt for validiteten at det hadde vært med flere relevant personell fra Mowi under analysen, har som tidligere nevnt, vedkommende som var med i analysegruppen tilstrekkelig kompetanse til å kunne sikre validiteten til analysen. I etterkant av analysen og etterarbeid, ble analysen sendt til flere i Mowi for kvalitetssikring og godkjenning.

Ved utvikling av konsekvensklassifiseringsmatrisen fra Tabell 5.1, opplevde gruppen utfordringer rundt å bestemme hva som skulle stå i matrisen, spesielt under vedlikeholdskostnader. For

gruppen er det vanskelig å anslå hva Mowi mener er ubetydelig eller stor konsekvens når det gjelder kostnader. Da matrisen ble gjennomgått under gjennomføringen virket Mowi noe tvilende til kostnadene som var oppført, men i mangel på annet forslag ble det avgjort at det skulle stå slik det opprinnelig var oppsatt. Dersom det hadde vært en større analysegruppe under gjennomføringen kunne potensielt den kategorien sett noe annerledes ut. Dette er noe som Mowi selv kan endre på i etterkant dersom de ønsker det, og vil bli satt som anbefalt videre arbeid. Det er derimot ikke sikkert at dette ville endret utfallet av hvilke funksjoner og enheter som ble satt til å være kritiske.

I det opprinnelige oppsettet av matrisen var kategoriene *fiskevelferd* og *produksjon* samme kategori. Dette var fordi gruppen opprinnelig tenkte at dersom man sikrer god fiskevelferd kan man også sikre produksjon, og at dette til syvende og sist var to sider av samme sak. Etter ønske fra Mowi ble disse kategoriene delt inn i to separate kategorier. Dette medførte at det ble flere kategorier å vurdere, og dermed noe mer tidkrevende. Derimot kan det argumenteres for at det ble en grundigere analyse.

Det er også tydelig fra selve analysen, se Vedlegg A.1, at gruppens antagelse om at fiskevelferd og produksjon var to sider av samme sak var feil. Som man kan se har fiskevelferd og produksjon lik konsekvens på kun tre av 23 underfunksjoner. Dette tyder på at det var riktig vurdering av Mowi å ønske å ha disse som to separate kategorier.

Under analyse av generator oppsto det diskusjon rundt hva som vil være hovedfunksjon og underfunksjon til systemet. Det ble enighet om at generatoren har én hovedfunksjon - å forsyne flåten med strøm. Det ble deretter en utfordring å bestemme underfunksjoner til generatoren, da det kan argumenteres for at generatoren kun har én funksjon, nemlig det som var satt som hovedfunksjon.

Til tross for dette ble det forsøkt å liste opp underfunksjoner. Det ble i utgangspunktet diskutert at alle systemene som generatoren forsyner med strøm kunne være underfunksjoner. Dette ble derimot gruppen enig om at ble for omfattende, da det er flere av disse systemene som ikke omfattes av denne oppgaven. Gruppen endte derfor med inndelingene *strøm til produksjon* og *strøm til ensilasjeproduksjon*. Begge disse underfunksjonene har *generator* som enhet, og det kan derfor diskuteres om det i det hele tatt var nødvendig å skille på disse, og heller ha underfunksjon *strøm til produksjon*.

9.6.2 Resultat av konsekvensklassifisering

Skroget, som er en sentral del av fôrflåten, har fått høy konsekvens på begge HF og alle utenom tre UF. Basert på skrogets hovedfunksjoner vil dette være et fornuftig resultat.

Enheterne *last* og *silo* fikk konsekvens lav og middels. *Last* vil nok i utgangspunktet i seg selv ikke kunne karakteriseres som en enhet, men vil være med å påvirke stabiliteten til fôrflåten, og ble derfor oppsatt som enhet under analysen. *Last* er derimot ikke noe som vil ha stor konsekvens

på de satte kategoriene, og derfor kan det gi mening at den er satt til lav konsekvens.

Ved nærmere ettersyn ser gruppen at konsekvensnivå for enheten *silo* burde blitt diskutert mer under gjennomføringen av analysen. Her ble det gitt lav konsekvens på fiskevelferd under UF “å tappe fôr”. Det kan argumenteres for at den burde vært økt til middels konsekvens, da gruppen mener det kan være konsekvenser for fiskevelferd dersom fisken ikke får fôr. Dette ble tidligere diskutert i Kapittel 9.3.1. Dette ville derimot ikke endret resultatet.

Alle oppsatte funksjoner til fôringssystemet fikk høy konsekvens, da samtlige av disse fikk høy konsekvens for kategorien *produksjon*. I tillegg fikk enkelte enheter høy konsekvens for kategorien *vedlikeholdskostnader*.

Også her kan det argumenteres for at konsekvensen for fiskevelferd burde blitt gitt en høyere konsekvens, da fisken ikke får fôr dersom det blir svikt i fôringssystemet. Som man kan se er det kun UF “overvåke fiskeadferd” som ikke har fått lav konsekvens under denne kategorien. Denne har fått middels. Basert på at denne funksjonen er viktig for å kunne undersøke/overvåke dødelighet, velferd og appetitt vil det gi mening at denne har høyere konsekvens enn de andre funksjonene, men den kunne nok også fått høy konsekvens. Dette ville heller ikke endret resultatet, men kan være en viktig faktor å ta i betraktning.

Svikt/havari på generatoren vil medføre at det blir mørkt på hele flåten og at ingen av systemene vil fungere. Dette innebærer at fisken ikke vil få mat eller kan overvåkes, og derfor vil tilgang til strøm være svært kritisk. Derfor gir det mening at HF og samtlige UF på generator ble satt til høy konsekvens.

9.7 Diskusjon rundt FMECA

9.7.1 FEMCA som metode

Når man utfører en FMECA handler det om å forholde seg til påliteligheten til systemene man analyserer og å finne de ulike sviktmodene. En slik innsikt vil være en fordel, fordi dersom man lykkes i å forutse hvilke svikter som kan oppstå hos kritiske enheter har man plutselig muligheten til å gjøre noe med det. Det kan være å sette inn tiltak for å unngå at svikten overhode oppstår eller følge med og være klar med tiltak dersom noe skulle skje. Mye uforutsett *kan* skje og vi kan ikke beskytte oss mot alt. Det vil heller ikke være særlig effektivt. Derfor må konsekvenser og sannsynlighet vurderes opp mot hverandre når man skal bestemme tiltak. Det er ikke sikkert det er nødvendig å bruke mye ressurser på å forhindre noe som det er veldig liten sannsynlighet for skal skje.

FMECA er en strukturert og pålitelig metode for å evaluere maskinvare og komplekse systemer. I tillegg er det en enkel metode å sette seg inn i, selv for nybegynnere. Når det er sagt er det svært viktig med gode forberedelser i forkant og at målet med analysen er klart før man starter. Hvis ikke randbetingelsene er satt og man er tydelig på hva man ønsker å finne ut, er det lett å spore av og bruke mye ekstra tid og penger uten at det leder frem til det resultatet man ønsker

seg. I randbetingelsene bestemmer man hvilken del av anlegget som skal undersøkes og hvor detaljert man undersøker en enhet for å finne feilårsak [11].

En utfordring med FMECA kan være at enkeltheter studeres hver for seg. Denne typen analyse er svært nyttig å anvende på systemer som mest sannsynlig vil svikte på bakgrunn av disse. Den vil derimot ikke være særlig hensiktsmessig for systemer hvor de ulike delene i systemet er avhengig av hverandre for å fungere, systemer som baserer seg i stor grad av redundans eller system med felles feil [11]. En annen svakhet ved metoden er at den ikke i stor nok grad tar hensyn til menneskelige feil, men i hovedsak fokuserer på rent tekniske feil [10].

Det er i tillegg en fordel å være oppmerksom på at man ikke begynner for lavt i det tekniske hierarkiet, men i stedet begynner høyt og jobber nedover dersom det blir nødvendig. Det kan være med på å forhindre en i overkant detaljert analyse.

9.7.2 Gjennomføringen av FMECA

Analysegruppen, under gjennomføringen av FMECA, besto av de samme personene som under konsekvensklassifiseringen i tillegg til én ekstra representant fra Mowi. Etersom FMECA er en mer omfattende og tidkrevende analyse enn konsekvensklassifisering opplevdes det positivt at det var en større analysegruppe. Ved å ha to med høy kompetanse innenfor dette i analysegruppen kan man i større grad kvalitetssikre arbeidet og sikre validitet. Også her ble analysen ettersendt til Mowi for kvalitetssikring og eventuelle tilbakemeldinger.

Før selve gjennomføringen av FMECA ble oppsettet og enhetene som skulle analyseres gjennomgått i samråd med Mowi. Det ble utført FMECA på enhetene som ble tildelt høy konsekvens under konsekvensklassifiseringen. Under diskusjon før oppstart av analysen kom det frem at Mowi ønsket noen justeringer. Eksempelvis har (utvendige) *dører*, *luker* og *vinduer* fått høy konsekvens i konsekvensklassifiseringen. Mowi mente at dette ikke var like relevant å analysere, og dette ble dermed endret til *innvendige dører (skott)*. I tillegg ble enheten *fortøyingssystem* lagt til i FMECA, selv om dette ikke er analysert eller nevnt i konsekvensklassifiseringen. Under føringssystemet ble *software/IT-system* slått sammen og analysert som én enhet. Sensorer, som fikk høy konsekvens under konsekvensklassifiseringen ble ikke analysert. Det er fordi det er enkelt og billig å bytte ut disse når de er defekte.

Oppsettet av FMECA-skjemaet ble gjennomgått før analysegruppen startet på selve analysen. Det ble tydelig under gjennomføringen at dette kunne blitt gjort mer grundig og at gruppen kunne sørget for at alle medlemmene i analysegruppen forsto hver enkelt kolonne. Under gjennomføringen ble det blant annet flere ganger svart på *effektbeskrivelse* når spørsmålet egentlig omhandlet *funksjonssvikt*. *Sviktårsak* og *sviktmekanisme* var også noe som med fordel kunne blitt forklart bedre.

Manglende forklaring i forkant av analysen kan ha vært en ulempe, og kan ha ført til at analysen tok lengre tid enn nødvendig. I tillegg ble det vanskelig å notere på riktig sted i skjemaet, og

gruppen kan dermed ikke være helt sikre på at alt som ble nevnt faktisk er tatt med i analysen. Dette ga også mer etterarbeid for gruppen, og det ble desto viktigere å sende inn analysen til kvalitetssikring hos Mowi.

Under analysen oppsto det også diskusjoner om sviktmodene var skjult eller synlig. Det ble brukt tid på å diskutere og komme til enighet om hva som er skjult og synlig svikt i de ulike tilfellene. Diskusjonen gikk ut på om svikten er skjult dersom konsekvensene av svikten er synlig. Blant annet er deler av skroget skjult under vann, noe som gjør en eventuell skade på dette området vanskelig å se over vann. Likevel ble analysegruppen enige om at svikt i skrogets funksjon er en synlig svikt fordi sviktmoden “skroget tar inn vann” vil oppdages umiddelbart dersom sviktmoden skulle inntreffe. Denne måten å definere skjult eller synlig svikt samsvarer med litteraturen. Bachelorgruppen burde ha undersøkt dette i forkant av analysen. Under etterarbeidet ble skjult/synlig-kolonnen gjennomgått ekstra grundig for å sørge for at det var satt riktig.

9.7.3 Resultat av FMECA

Under FMECA for skrog kan man se at enheten *fuel tank* endte med to sviktmoder, der én endte med kritikalitet lav og den andre middels. Dette vil kunne være noe i strid med konsekvensklassifiseringen, da enheten her kom ut som kritisk. Et forventet resultat ville vært at i alle fall én av sviktmodene ville fått høy kritikalitet. Årsaken til at sviktmodene for *fuel tank* er satt til henholdsvis lav og middels kritikalitet er fordi det anses som noe usannsynlig at disse sviktmodene oppstår. På bakgrunn av dette vil det derimot gi mening at sviktmodene har fått den kritikaliteten som er satt.

For fôringssystemet ser man at sviktmodene for *silo*, *fordelingsventil* og *fôrslanger* har fått middels kritikalitet i FMECA, mens de i konsekvensklassifiseringen har kommet ut som kritiske enheter. Forventet resultat ville derfor vært at sviktmodene hadde fått høy kritikalitet. For *fôrslanger* og *fordelingsventil* kan samtidig middels kritikalitet gi mening, da disse sviktmodene kan rettes opp relativt raskt og ikke vil påvirke produksjonen i nevneverdig grad.

For *silo* og sviktmode “Silo opprettholder ikke god kvalitet på fôret” derimot, antar gruppen at det tar lengre tid å rette opp i sviktmoden og den kunne blitt satt til høy kritikalitet. Dette basert på at siloen må tømmes for fôr av dårlig kvalitet, vedlikehold må utføres på silo og det må fraktes nytt fôr til lokaliteten. Samtidig finnes det åtte siloer ombord på fôrflåten, og dersom det blir svikt i én av disse kan man ta i bruk de andre siloene. Basert på dette vil middels kritikalitet for disse sviktmodene være fornuftig.

Også under gjennomføringen av FMECA dukket problemstillingen omkring fiskevelferd opp. Samtlige sviktmoder under fôringssystemet har fått konsekvens lav. Dette stiller bachelorgruppen seg kritiske til.

Basert på diskusjon i Kapittel 9.7.2 kan man stille seg kritisk til validiteten av resultatene fra

analysen. Den største feilkilden vil være om gruppen har fått notert ned alt som ble nevnt under gjennomføringen. For å unngå denne problemstillingen kunne det blitt tatt opptak av gjennomføringen for å ettergå det som ble sagt og bestemt. Samtidig har gruppen sendt analysen til Mowi for kvalitetssikring og tilbakemelding. I tillegg ble det delt skjerm under gjennomføringen og Mowi hadde derfor mulighet til å si ifra dersom noe ikke ble notert. Gruppen mener at dette er med på å styrke validiteten til analysen.

9.8 Diskusjon av tiltak

Dersom Mowi ønsker å gå over til mer tilstandsbasert vedlikehold, og på sikt potensielt prediktivt vedlikehold, kreves det bruk av teknologi. I Kapittel 7.2 anbefaler gruppen å benytte sensorikk og driftsovervåkning for å følge med på slitasje og deretter justere grenseverdier for vedlikehold. Økt bruk av sensorikk vil medføre store mengder data som må analyseres. Dersom Mowi anser dette som en hensiktsmessig fremgangsmåte for å justere grenseverdier, trengs det ressurser med spesiell kompetanse. Det vil være liten hensikt å installere flere sensorer dersom man ikke benytter seg av dataene som kommer ut. Det må med andre ord legges til rette for et skifte i retning Industri 4.0 og økt bruk av teknologi i vedlikeholdet.

I oppgavebeskrivelsen, Kapittel 1.2, kommer det frem at fôrflåtene i Mowi ikke har et standardisert intervall i forbindelse med slippopphold, men at intervallene likevel må tilpasses produksjonen/utsett av fisk.

For å optimalisere vedlikeholdet og forlenge intervallet mellom hvert slippopphold, vil en mer samlet og standardisert vedlikeholdsplan være et sentralt hjelpemiddel. Mye ansvar vedrørende vedlikehold på anleggene ligger per i dag på driftsleder, i tillegg til de ulike verftene som utfører vedlikehold i forbindelse med slipp. Dersom verftene utfører identisk behandling av fôrflåtene og det er like vedlikeholdsrutiner på de ulike lokalitetene vil det være lettere å legge en god vedlikeholdsplan, for å videre kunne optimalisere den. Når ikke flåtene har samme utgangspunkt/tilstand vil det derimot være utfordrende.

Når det er sagt kan en utfordring ved å standardisere vedlikeholdet være at miljøet flåtene befinner seg i variere fra lokasjon til lokasjon - noe som vesentlig kan påvirke levetiden til utstyret. Variasjoner vil være knyttet til mengde og type vedlikehold det er behov for på de ulike flåtene. Derfor kan det tenkes at vedlikeholdsplanleggingen bør ta hensyn til akkurat dette. En flåte som ligger eksponert til vil potensielt trenge en annen type overflatebehandling enn en flåte som ligger lite eksponert til. Her vil det også være store forskjeller når det kommer til gjennomstrømning og oppsamling av partikler i sjøen, i tillegg til temperaturforskjeller mellom nord og sør.

Kvalitetssjekk av vedlikeholdet som utføres på verftene kan være med på å sikre at flåtene holder standarden Mowi ønsker og forventer etter slipp. På en annen side krever det ressurser å gå over arbeidet som bli gjort på alle flåtene. Det kan likevel vurderes om tiltaket kan være verdt kostnadene knyttet til dette.

I Kapittel 7 nevnes det at vedlikeholdet som utføres på skroget må være så skånsomt som mulig. Eksempelvis under fjerning av groe vil det potensielt kunne oppstå skader/slitasje på skroget. Dette er vedlikehold som i utgangspunktet utføres for å hindre at groe skal føre til korrosjon på skroget. Dersom det utføres for ofte vil det kunne redusere skrogets levetid og være en direkte årsak til at det må utføres ytterligere korrigerende vedlikehold.

10 Konklusjon

I dette kapitlet skal gruppen komme med konklusjoner knyttet til oppgaven og oppgavebeskrivelsen.

Hensikten med denne oppgaven er å identifisere sviktmoder på skrog, fôringssystem og generator, samt komme med forslag for å håndtere disse. I tillegg skulle gruppen komme med forslag til kriterier for vedlikehold og relevante vedlikeholdstiltak. I Tabell ?? presenteres de viktigste funnene.

Resultatmål	Viktige funn
1. Beskrive systemene og systemgrensene	<ul style="list-style-type: none"> • Oppgaven begrenses til systemene skrog, fôringssystem og generator • Det finnes ingen konkrete mål og strategier for vedlikehold i Mowi på fôrflåter • Fôrflåten ved Lønngrunnen er inne til slipp annenhver generasjon • Personell ved Lønngrunnen omtaler fôringssystemet som det mest kritiske systemet på flåten • Det er ikke observert endring i adferd hos laksen ved tapt fôring
2. Utfør konsekvensklassifisering på skrog, fôringssystem og generator	<ul style="list-style-type: none"> • Samtlige (fire) hovedfunksjoner endte opp med høy kritikalitet • Endte opp med 23 underfunksjoner, hvorav én med lav kritikalitet, to med middels kritikalitet og 20 med høy kritikalitet
3. Utfør ytterlig analyse på kritiske enheter - FMECA	<ul style="list-style-type: none"> • Totalt 24 sviktmoder analysert, hvorav én med lav kritikalitet, syv med middels kritikalitet og 16 med høy kritikalitet

<p>4. Forslag til tiltak for å håndtere sviktmoder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Beslutningslogikk for grenseverdi er basert på observasjoner, tilstandsparameter og data • Innføre standardiserte vedlikeholdsrutiner ved anlegg og verft • Det anbefales å utføre mest mulig forebyggende vedlikehold på lokaliteten for å forlenge tiden mellom slipp • Kvalitetsjekk av vedlikeholdet som utføres på verftene
--	---

Tabell 10.1: Viktige funn knyttet til resultatmål i oppgaven

Ut ifra resultatene som har kommet frem i oppgaven ser man at hovedvekten av enhetene som ble analysert kommer ut som kritiske. Dette er fordi store deler av de analyserte enhetene er kritiske for produksjonen.

Hensiktsmessig vedlikehold er viktig for å redusere fare for tapt fôring og rømming, samt bedre fiskehelse og fiskevelferd. Videre vil dette føre til godt omdømme i bransjen. Man har gjennom tidene sett hvor viktig det er med et godt omdømme i oppdrettsbransjen.

Fôrkostnadene i 2022 var omtrent 45% av kostnadene hos Mowi. Fôrfaktoren ligger normalt et sted mellom 1,1 og 1,2 kg fôr per kg produsert fisk. Dette er viktige tall for å holde lønnsomheten god.

Basert på funnene i oppgaven anser gruppen oppgavebeskrivelsen som besvart og hensikten med oppgaven oppnådd.

11 Anbefalinger til videre arbeid

I dette kapitlet presenteres anbefalinger til videre arbeid for Mowi.

Denne oppgaven omfatter som tidligere nevnt forflåte med strømtilførsel fra generator. En utfordring Mowi har er knyttet til strømbrudd. Disse strømbruddene er knyttet opp mot flåter som benytter seg av landstrøm. Oppgaven gir derfor ikke noe svar på tiltak som bør iverksettes ved disse anleggene. Dersom Mowi ønsker å komme til bunns i dette, kan det tas utgangspunkt i FMECA som er benyttet i denne oppgaven.

Videre anbefales det å sette konkrete mål og krav vedrørende vedlikehold, som er godt forankret i hele bedriften. Dette kan for eksempel være KPI-er på nedetid, oppetid, antall arbeidsordre utført, korrektivt vedlikehold basert på uforutsette hendelser/skader, HMS, m.m. Dette kan for eksempel være å standardisere en vedlikeholdsplan for hele Mowi sjø. Mowi kan også undersøke om det er mulig å se på tiltak som sørger for at alle lokalitetene aktivt tar i bruk Aquacom.

Som nevnt i Kapittel 9.6.1 var det usikkerhet rundt vedlikeholdskostnadene i konsekvensklassifiseringsmatrisen. For riktig gjennomføring ved senere arbeid bør Mowi sette egne grenser vedrørende dette.

Referanser

- [1] Norsk Standard. *NS-EN 13306 Vedlikehold, Vedlikeholdsterminologi*. 2019.
- [2] WestCoat AS. *Metallisering*. URL: <https://www.westcoat.no/metallisering> (sjekket 23.11.2023).
- [3] Marek Moleda mfl. *From Corrective to Predictive Maintenance — A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry*. 2023. URL: <https://doi.org/10.3390/s23135970>.
- [4] Per I. Bye. *Kompendium i drift og vedlikehold*. 2009.
- [5] Manaswini Rao. *Everything You Need to Know About Maintenance Management*. 2022. URL: <https://facilio.com/blog/maintenance-management/> (sjekket 21.10.2023).
- [6] Oljedirektoratet. *Basisstudie vedlikeholdsstyring*. 1998. URL: <https://www.ptil.no/contentassets/9fdd4648b19747aca09c0abd82830c8b/basisvedlikehold.pdf> (sjekket 06.10.2023).
- [7] Aquacom. *Produktet*. 2023. URL: <https://www.aquacom.no/Home/#produktet> (sjekket 21.10.2023).
- [8] Aquacom. *Aquacom Moduler*. URL: <https://www.aquacom.no/Home/#moduler> (sjekket 13.11.2023).
- [9] The Norwegian petroleum industry. *NORSOK Z-008 Risk based maintenance and consequence classification*. 2017.
- [10] Marvin Rausand. *Chapter 3 FMECA*. URL: <https://www.ntnu.edu/documents/624876/1277590549/chapt03-fmeca.pdf/ecf0c289-bc19-492f-88ef-6a197ad4a9f1> (sjekket 21.09.2023).
- [11] Viggo Pedersen. «Vedlikehold og driftsikkerhet, FMEA/FMECA». Undervisningsmateriale.
- [12] Norsk elektroteknisk komite. *NEK EN IEC 60812:2018 - Feil modus og effekt analyse (FMEA og FMECA)*. 2018.
- [13] Nærings- og fiskeridepartementet. *Forskrift om krav til teknisk standard for akvakulturanlegg for fisk i sjø, innsjø og vassdrag (NYTEK23)*. 2023. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-08-22-1484> (sjekket 25.09.2023).
- [14] Norsk Standard. *NS 9415 Flytende akvakulturanlegg — Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk*. 2021.
- [15] Malene Fosse Nordvi mfl. *Labkompendium BI1008 - Laksens biologi i oppdrett og interaksjon med havmiljøet*. 2022/23.
- [16] John Grieg forlag. *Fiskens fysiologi*. 1992.
- [17] Rune Waagbø mfl. *Fiskeernæring*. Kystnæringen, 2001.
- [18] Spillfree Analytics AS. «Kurs 4 - Tilgjengelighet». Kursmateriale.
- [19] Havforskningsinstituttet. *Fiskefôr*. 2011. URL: <https://www.matportalen.no/temaoversikt/fiskefr> (sjekket 23.10.2023).
- [20] Anders Jakobsen. *Fire ting laksen bør spise og tre ting den bør styre unna*. Havforskningsinstituttet. 2018.

- [21] Kyst.no. *Vegetabiliske oljer i laksefôr*. 2018. URL: <https://www.kyst.no/arkiv/vegetabilske-oljer-i-laksefr/719355> (sjekket 24.10.2023).
- [22] Bård Misund. *Kostnadsutvikling i oppdrett av laks og ørret: Hva koster biologisk risiko?* 2022.
- [23] Veterinærinstituttet. «Fiskehelse rapporten 2021». I: *Rapport 2a/2022* (2021).
- [24] Annalin Fasting. *Fiskevelferd - hva er det?* URL: <https://www.cflow.com/fiskeglimt/fiskevelferd-hva-er-det#references> (sjekket 25.10.2023).
- [25] Ellen Sofie Grefsrud mfl. *Risikoreport norsk fikseoppdrett 2022*. 2022. URL: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-12#sec-12> (sjekket 25.09.2023).
- [26] Dyrevernalliansen. *Fakta om fiskeoppdrett og oppdrettsfisk*. 2023. URL: https://dyrevern.no/content/uploads/2023/02/fisk-faktaark.pdf?fbclid=IwAR2DQA-Umz1o04s1bNqbx58xYR-q_2s5gZYPrIMwT03wKxij3AzzGkVvS_Y (sjekket 21.09.2023).
- [27] Nofima. *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks*. 2018.
- [28] Asbjørn Bergheim. *Effektiv tilsetning og kontroll av oksygen i lukkede flytseystemer*. 2020. URL: https://www.biomarine.no/wp-content/uploads/2020/08/NF_2020_N8_p60-63-OksygenV2.pdf (sjekket 22.11.2023).
- [29] Laksefakta. *Hvor frisk er oppdrettslaksen?* 2023. URL: <https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/hvor-frisk-er-oppdrettslaksen/> (sjekket 21.09.2023).
- [30] Bruce Barton. *Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids*. 2002.
- [31] ScaleAQ. *Teknisk spesifikasjon*. 2020.
- [32] ScaleAQ. *Brukerhåndbok Forflåte Fram 76*. 2020.
- [33] ScaleAQ. *feedstation*. URL: <https://scaleaq.no/wp-content/uploads/2019/12/feedstation.jpg> (sjekket 09.11.2023).
- [34] Maintech AS. «RCM Metodebeskrivelse». Kursmateriale. 2021.
- [35] Mowi. *Integrated Annual Report*. 2022.
- [36] Laksefakta.no. *Utslipp fra oppdrettsanlegg*. 2023. URL: <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/utslipp-fra-oppdrettsanlegg/> (sjekket 23.10.2023).
- [37] Sigurd Olav Stefansson, Jens Chr. Holm og Geri Lasse Taranger. *Oppdrett av laks og aure i Norge*. 2016.
- [38] Fiskreidirektoratet. 2022. URL: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kapasitetsjustering-trafikklyssystemet> (sjekket 26.10.2023).

A Vedlegg

A.1 Konsekvensklassifisering

Vedlegg A.1 ligger i ZIP-fil som xlsx.fil.

A.2 FMECA

Vedlegg A.2 ligger i ZIP-fil som xlsx.fil.

