

Vilde Fagerholt
Ingrid Natvik Rong

Mulighetsstudie for renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget®

Bacheloroppgave i BIHAV - Bachelor i ingeniørfag, Havbruk
Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Medveileder: Andrea Christine Opshaug og Bengt Finstad
Mai 2024

Vilde Fagerholt
Ingrid Natvik Rong

Mulighetsstudie for renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget®

Bacheloroppgave i BIHAV - Bachelor i ingeniørfag, Havbruk
Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Medveileder: Andrea Christine Opshaug og Bengt Finstad
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for marin teknikk



Kunnskap for en bedre verden



Kunnskap for en bedre verden

INSITUTT FOR MARIN TEKNIKK

BMR3900 - BACHELOROPPGAVE HAVBRUKSINGENIØR

**Mulighetsstudie for renhold av det
flytende, lukkede oppdrettskonseptet
Egget[®]**

Forfattere:

Vilde Fagerholt
Ingrid Natvik Rong

Veiledere:

Bjørn Egil Asbjørnslett ved Institutt for Marin Teknikk
Bengt Finstad ved Institutt for Biologi

I samarbeid med

Ovum AS

21.05.2024

Bacheloroppgave – gruppe 2

Tittel: <i>Mulighetsstudie for renhold av det flytende lukkede oppdrettskonseptet Egget®</i>	Prosjektnummer: <i>Gruppe 2 – BMR3900</i>
Forfattere: Ingrid Natvik Rong Vilde Fagerholt	Dato: 15.02.24
	Gradering Åpen/Lukket: Delvis lukket
Studieprogram: Bachelor i Havbruksingeniør	
Studieretning: Drift og vedlikehold Konstruksjoner i sjø	
Veileder internt: Bjørn Egil Asbjørnslett Bengt Finstad	Veileder eksternt: Andrea Christine Opshaug Åsmund Hellesøy
Oppdragsgiver: Ovum AS	
Oppdragsgivers kontaktperson: Åsmund Hellesøy	
Sammendrag: Problemstillingen for Bachelor-oppgaven er å utføre en «Mulighetsstudie for renhold av det flytende lukkede oppdrettskonseptet Egget®». Ved å innledningsvis skaffe et innblikk i problematiske forhold ved konstruksjoner i sjø, skal oppgaven videre peke på mulige løsninger og viktige momenter ved renhold av Egget®. Målet er å belyse de særskilte behov en potensiell renholds-enhet har, med bakgrunn i den kunnskap studentene besitter – og tilegner seg underveis. Dette har som hensikt å utgjøre et nyttig verktøy for eksternt virksomhet i videre arbeid med renhold av det flytende lukkede oppdrettskonseptet Egget®. Summary: The topic for the Bachelor's thesis is to conduct an "Opportunity study for cleaning the floating, closed aquaculture concept Egget®." By initially gaining insight into problematic conditions related to constructions in the sea, the thesis will then highlight possible solutions and key aspects of cleaning Egget®. The goal is to shed light on the specific needs of a potential cleaning unit, based on the knowledge possessed by the students - and acquired along the way. This is intended to serve as a useful tool for Ovum AS in further work on cleaning the floating, closed aquaculture concept Egget®.	
Stikkord: Marin groe Akvakultur i sjø	Key contents: Marine biofouling Aquaculture in sea

Forord

Denne oppgaven er den avsluttende oppgaven ved Bachelor i Ingeniørfag, Havbruk (BIHAV). Studieprogrammet tilhører Institutt for Biologi og Fakultet for Naturvitenskap, ved NTNU Gløshaugen. Gruppen består av to studenter, Vilde Fagerholt og Ingrid Natvik Rong - som gjennom vinter og vår 2024 har ferdigstilt oppgaven. Tema og problemstilling for oppgaven ble bestemt av gruppas medlemmer sammen med ekstern virksomhet. Bakgrunnen for oppgaven er at Ovum AS ønsker å utbedre renholdsløsningen i Egget[®]. Formålet med oppgaven er å kartlegge muligheter og begrensninger ved renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget[®]. Dette med hensikt i å utvikle teknologi på biologiens premisser.

For å utføre mulighetsanalysen har det vært nyttig med bistand fra veiledere. Interne veiledere, både Bjørn Egil Asbjørnslett - Institutt for Marin Teknikk og Bengt Finstad - Institutt for Biologi har bidratt til god prosjektfremdrift. Særlig har veilederene fra NTNU bidratt med akademiske ferdigheter. Eksterne veiledere, Åsmund Hellesøy og Andrea Christine Opshaug har på vegne av Ovum AS bidratt til god informasjonsflyt og bistand i prosjektarbeidet. Alle veiledere har hatt en vesentlig rolle og vært hjelpelige ved behov - dette ønsker gruppa å takke for.

Arbeidsprosessen har vært spennende og lærerik. Gjennom fem måneder har gruppa opparbeidet ny og relevant kunnskap. En økt forståelse innenfor gitt tema vil gi gode forutsetninger videre innen utdanning og karriere. Gruppen håper at oppgaven vil fungere som et bidrag til videre arbeid og forskning innenfor forebygging og behandling av marin groe. Gruppearbeidet har vært preget av et godt samarbeid og jevn innsats hele veien. Avslutningsvis ønsker gruppa å takke Ovum AS for en givende oppgave og et godt samarbeid.

Sammendrag

Marin groe er et voksende problem i dagens havbruksnæring. Både mikro- og makroorganismer etablerer seg på konstruksjoner i sjø. Dette på bekostning av det nærliggende miljøet, og utgjør en trussel for artsmangfoldet. I Egget[®] er det ønskelig å hindre forekomst av groe for å ivareta fiskehelse- og velferd. Med bakgrunn i dette ønsket, er oppgavens formål å kartlegge muligheter og begrensninger ved renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget[®]. Dette med hensikt i å utvikle teknologi på biologiens premisser.

Oppgavens problemstilling er utarbeidet sammen med ekstern virksomhet, Ovum AS. Basert på oppgavens formål ble følgende problemstilling formulert: ”Å utføre en mulighetsstudie for renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget[®]”.

Fremgangsmåte og strategi for å besvare problemstillingen besto av å utføre et litteraturstudie hvor ulike oppdrettskonsepter i sjø introduseres. En innføring i laksens biologi og miljøbaserte velferdsindikatorer fremlegges før marin groe introduseres. Det redegjøres så for konsekvenser av groe, først med hensyn til fiskehelse og velferd, deretter med hensyn til bærekraft og økonomi. Litteraturstudiet avsluttes med en gjennomgang av metoder for å forhindre groe. Heretter utføres en systembeskrivelse av Egget[®] hvor konstruksjonens dimensjoner, materialer og rørsystem legges frem. Videre gjøres det rede for konsekvenser ved forekomst av groe i Egget[®], og særlige forhold ved renhold av Egget[®]. Her beskrives også dagens løsning for renhold av Egget[®].

Videre ble det utført et mulighetsstudie, her sammenfattes funn i litteraturstudiet med viktige begrensninger og egenskaper knyttet til renhold av Egget[®]. Studien av de ulike metodene, opp mot Egget[®] utføres med bakgrunn i et vurderingsgrunnlag utarbeidet av gruppa. Her vektlegges det blant annet hvorvidt metoden er kompatibel med Egget[®], hvilke konsekvenser metoden har for miljøet inne i - og rundt Egget[®].

I etterkant av mulighetsstudien ble det selektert ut fire renholdsmetoder som viste gode egenskaper for renhold av Egget[®]. Ingeniørfaglig systemtenkning utgjør den røde tråden gjennom oppgaven, hvor teknologi, biologi, økonomi og bærekraft danner grunnlaget for alle vurderinger. For Eggeskallet[®] viste AUV å ha gode renholdsegenskaper. For utløpet fra systemet ble impregnering ansett som en gunstig metode. UV-stråling ble foreslått som en gunstig metode i dødfisk- og slamrør, i kombinasjon med impregnering og desinfeksjon. Også for oksygeneringsrør ble UV-stråling og desinfeksjon foreslått. For innløpet til systemet ble UV-stråling ansett som den eneste gunstige løsningen.

Seleksjon og vurdering av metodene ble utført uten data fra Egget[®], og store deler av litteraturen fokuserer på groe i forbindelse med fartøy eller åpne merder. Mangel på forskning og personlig driftserfaring medfører at oppgaven delvis baseres på muntlig kommunikasjon. For videre arbeid foreslår gruppa et forskningsprosjekt eller liknende samarbeid med skipsindustrien eller landbaserte oppdrettsanlegg.

Summary

Marine biofouling is a growing problem in the aquaculture industry. Both micro- and macroorganisms settle on submerged surfaces, in the sea. The fouling organisms have harmful effects in the surrounding environment, as well as posing a threat to biodiversity. In Egget[®], Ovum AS are aiming to prevent the occurrence of biofouling to maintain fish health and welfare. Due to this, the aim of this thesis is to map the possibilities and limitations of cleaning the floating, closed aquaculture concept Egget[®].

The issue of the thesis has been developed in collaboration with Ovum AS. Based on the project's objectives, the following issue was formulated: To conduct a feasibility study for cleaning the floating, closed aquaculture system Egget[®]. This is to be done with the intention of developing technology on the terms of biology.

The approach and strategy to address the problem involved a literature review introducing various marine aquaculture concepts. Including an overview of salmon biology and environment-based welfare indicators, before introducing marine fouling. The consequences of fouling are then discussed, first in terms of fish health and welfare, then in terms of sustainability and economics. The literature review concludes with an examination of methods to prevent fouling.

Moreover, a system description of Egget[®] is provided, detailing the construction's dimensions, materials, and piping system. The consequences of fouling in Egget[®] and specific cleaning considerations are also discussed, including the current cleaning solutions used for Egget[®].

Furthermore, a feasibility study was conducted, summarizing findings from the literature review alongside key limitations and characteristics related to the cleaning of Egget[®]. This study evaluates various cleaning methods for Egget[®] based on criteria developed by the group. The evaluation considers the compatibility of each method with Egget[®] and its environmental impact inside and around Egget[®].

As a result of the feasibility study, four cleaning methods were selected for their suitability in maintaining Egget[®]. Engineering requires considerations related to both technology, biology, economics, and sustainability. Throughout the thesis, decisions are made on the basis of these considerations. For the shell of Egget[®], Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) showed effective cleaning capabilities. Impregnation was deemed a beneficial method for the system's outflow. UV radiation was suggested as an effective method for dead fish and sludge pipes, in combination with impregnation and disinfection. UV radiation and disinfection were also proposed for oxygenation pipes. For the system's inflow, UV radiation was considered the only viable solution.

The selection and evaluation of methods were carried out without specific data from Egget[®], and the majority of the literature focuses on fouling related to vessels or open pens. The lack of research and personal, operational experience means the project partially relies on personal communication. For future work, the group suggests a research project or similar collaboration with the shipping industry or land-based aquaculture facilities.

Innhold

Figurer	vii
Tabeller	ix
Definisjonsliste	ix
1 Introduksjon	1
2 Litteraturstudie	2
2.1 Fiskeoppdrett i sjø	2
2.2 Laksens biologi	7
2.3 Introduksjon til marin groe	10
2.4 Konsekvenser for fiskehelse og -velferd	15
2.5 Ytterligere konsekvenser	20
2.6 Måter å forhindre groe	22
3 Metode	31
3.1 Problembeskrivelse	31
3.2 Litteraturstudie	31
3.3 Kommunikasjon	32
3.4 Mulighetsstudie og forslag	33
3.5 Pålitelighet og svakheter	34
Referanser	36
Appendix	42
A Forprosjekt	42
B Standardavtale	42
C Gruppeavtale	42

Figurer

1	Ulike typer notdesign	3
2	Systembeskrivelse av Egget®	5
3	Laksens livssyklus	7
4	Utvikling av marin groe	10
5	Utvikling av bakteriell biofilm	11
6	Temperaturutvikling lang norskekysten	12
7	Konsekvenser av marin groe I	15
8	Fisk med AGD	17
9	Fiske med Tenacibaculose	18
10	Konsekvenser av marin groe II	20
11	Måter å forhindre groe	23
12	Aquarobotics og Remora Robotics	25
13	Desinfeksjon	27
14	Biomimikk	30

Tabeller

1	Miljøbaserte velferdsindikatorer	9
2	Relevante groearter	11
3	Problemer med dagens vaskeroboter	26
4	Arbeidsinndeling i litteraturstudiet	31
5	Første trinn av litteraturstudiet	31
6	Tredje trinn av litteraturstudiet	32
7	Program - Webinar : Ren not	33

Definisjonsliste

Absorpsjon av proteiner	En prosess hvor proteiner binder seg til og samler seg på en nedsenket overflate. Brukes her om utvikling av biofilm.
Adhesjon	Betyr å feste/hefte seg, og i denne oppgaven innebærer det feste mellom molekyler attraksjon som binder stoffer sammen.
Aeromonas Salmonicida	Bakterie som forårsaker sykdommen furunkulose hos laksefisk.
Antifouling	Engelsk ord for å forhindre groe.
Antifouling coatings	Impregneringsmetode for å forhindre marin groe.
CO₂	Karbondioksid, kjemisk forbindelse av karbon og oksygen.
Cu₂O	Kobber(I)oksid, kjemisk forbindelse som består av kobber og oksygen som er uløselig i vann og brukes i impregnering av konstruksjoner i sjø.
Cytoplasmamebran	Tynn hinne som omslutter alle celler. Skiller cellens innhold fra ytre miljø.
Denaturering av proteiner	Fullstendig eller delvis ødeleggelse av proteinets struktur. Denaturerte proteiner mister sin form og er dermed ikke biologisk aktive. Brukes her om hvordan desinfeksjon fungerer.
Destruere	Betyr å ødelegge/oppløse. Brukes her om å destruere biofilm.
Døgngrader	Gjennomsnittstemperatur (i vannet) ganger antall døgn.
EPS	Ekstracellulære polymere stoffer som lever i mikrokolonier.
Epoksy	Belegg av herdeplast. Massen stivner når den utsettes for varme. Brukes her i systembeskrivelsen til Egget [®]
Faeces	Avføring. Ufordøyd mat skilt ut fra fisken.
FLO	Flytende lukket oppdrettsanlegg.
Fotolitografi	Prosess som brukes ved produksjon av integrerte kretser. Lys brukes for å overføre et mønster til et underlag.
Fotoreparasjon	Prosess hvor bakterier reparerer seg selv, dette foregår ved riktig intensitet av blått lys.
Gjennomstrømningsanlegg	Begrep som brukes angående en type oppdrettssystem for fisk hvor det kontinuerlig renner vann gjennom karet uten rensing eller resirkulering av vannet.
Glykoproteiner	Proteiner der suktermolekyler er bundet til peptidkjede. Brukes her om utvikling av biofilm.
HRT	Hydraulic retention time, den gjennomsnittlige perioden et substrat oppholder seg i et volum.
Hydrolyse	Proessen hvor et molekyl tar opp et vannmolekyl og spaltes deretter i to molekyler
Hyllevare	Vare som er en del av fast sortiment eller som alltid kan fås på markedet.
ILA-virus	Infeksiøs lakseanemi. Virussykdom hos laksefisk.
IP-grad	Ingress Protection grad. Evnen til å tåle vann, støv og andre fremmedlegemer.
Kopepode	Hoppekreps, et stadiet i lakselusens livssyklus hvor den ikke har festet seg til verten.
Macrofoulers	Store groeorganismer, f.eks. blåskjell.
Makroalger	Utgjør en sammensatt gruppe organismer som er å finne i sjø eller brakkevann. På folkemunne kalles de gjerne ”tang og tare”.

Metabolitter	Små molekyler som er enneprodukt eller mellomprodukt i metabolske prosesser i levende organismer.
Microfoulers	Små groeorganismer, f.eks. mikroorganismer.
Mørkereparasjon	Prosess hvor bakterier og virus reparerer seg selv, dette foregår i fravær av lys.
Na-K-ATP'ase	Natrium-kalium-ATPase. Et viktig enzym for å opprettholde ionebalanse og osmose hos laks.
Nefrokalsinose	Kronisk betennelseslidelse som skyldes utfelling av kalkholdige forbindelser i nefroner og samlerør.
Omvendt osmose	Metode å rense vann, hvor ulike stoffer separeres ved diffusjon over en membran som er halvgjennomtrengelig.
Oppportunistisk amøbe	Amøber som fører til infeksjon når forholdene ligger til rette for det, gjerne i tilfeller ved nedsatt immunforsvar.
Osmoregulere	Prosess som regulerer opptak og utskilling av vann og salter.
Paramoeba Perurans	Amøben som forårsaker amøbegjellesykdom (AGD).
PDMS	Polydimethylsiloxane. Et polymer ofte brukt innenfor forskning.
Planktoniske celler	Encellede mikroorganismer som lever svevende i de frie vannmassene i hav eller ferskvann.
Polyelektrolytter	Kjemiske forbindelser der molekylene inneholder et stort antall ioniserbare grupper.
Polysakkarider	Karbohydrater som er bygd opp av et stort antall monosakkarid-molekyl. Brukes her om utvikling av biofilm.
RAS-anlegg	Resirkulerende akvakultur systemer er landbaserte oppdrettsanlegg som renser og gjenbraker vann.
Resipient	Område som tar i mot utslipp. Brukes her om miljøet utenfor Egget [®] .
Respirasjon	Prosess hvor det utveksles oksygen og karbondioksid mellom kroppen og omverden.
ROV	Fjernstyrt undervannsfartøy, også kjent som remotely operated vehicle.
Sample	Prosess hvor verdien til et kontinuerlig signal avleses på bestemte tidspunkt.
Sessile celler	Celler som sitter fast på en overflate og ikke har evnen til å bevege seg fritt. Sessile bakterier er festet til en overflate som en del av biofilmen.
Sporer	Hvilestadie som enkelte bakterier kan gå over i hvis forholdene blir ugunstige.
SSAS	Static submerged artificial surfaces.
TAN	Total ammonium nitrogen. Total mengde av nitrogen i formen ammoniakk (NH ₃) og ammonium (NH ₄ ⁺) i vannet.
TBT	Tributyltinn, toksiske og hormonforstyrrende forbindelser.
Terskelarter	Arter som står på terskelen til å invadere kysten vår.
TSS	Total suspended solids, brukes om mengden partikler i vannet som ikke er oppløst, men fordelt i vannvolumet.

1 Introduksjon

Åpne merder i sjø er den mest dominerende teknologien for lakseoppdrett i Norge (Finstad og Røttereng 2021). En åpen merd består i korte trekk av en notpose, en flytekrage som bærer noten og en bunnring som holder nota utspilt. Fordelen med slike anlegg er den naturlig vannutskiftningen som er kilde for tilførsel av oksygenet i vannet, samtidig som det frakter med seg med CO₂ og ammoniakk. Vannkvaliteten bestemmes av det omkringliggende miljøet, og kan ikke styres. Den åpne merden gjør også at fisken er mer utsatt for lakselus, sykdom, predatorer og groearter som alger og maneter.

De siste årene har havbruksnæringen møtt mye kritikk knyttet til fiskehelse-, velferd og påvirkning på miljø (Finstad og Røttereng 2021). Åpne merder er sårbare ovenfor viktige utfordringer som lakselus og biosikkerhet. Dette har skapt en økende interesse om å utvikle nye, alternative oppdrettsmetoder, deriblant lukkede anlegg. Et lukket system danner en fysisk barriere mellom oppdrettsfisken og det ytre miljøet (Kraugerud 2024). Det gir mulighet til å styre vannparametere og innhold av partikler og organismer. Blant nye løsninger finner vi Ovum AS sitt konsept; Egget[®] - et flytende, lukket oppdrettskonsept. Med fokus på arealutnyttelse vil Egget[®] redusere problemene med lus og biosikkerhet (Finstad og Røttereng 2021). Inntaksvannet er plassert under lusebeltet og reduserer dermed risikoen for lakselus. Avgrensningen til det ytre miljøet isolerer fisken fra mulige predatorer og andre vannlevende organismer (Egget[®] 2024).

Forekomsten av marin groe er en utfordring langs hele norskekysten. Vannmassene har et naturlig innhold av næring til algeblomstring, men den største kilden til innholdet av løste næringssalter er fiskeoppdrett. (Boxaspen og Husa 2021). De viktigste konsekvensene av marin groe på åpne anlegg, er redusert vannutveksling og tilgjengelig oksygen i merden. Her brukes blant annet impregnering, spyling og Remotely Operated Vehicles (ROV) for å fjerne eller forhindre groe. Det er grunn til å tro at konsekvenser og håndtering av marin groe i et lukket system vil være annerledes. I dag er det begrenset forskning og kunnskap om rengjøring i lukkede anlegg. Det har derfor vært nødvendig å ta for seg håndtering av marin groe på skip, da dette vil ha flere fellestrekk med renhold av lukkede anlegg, enn det notvask har.

I dag bruker Ovum AS to ROV'er for å fjerne marin groe på innsiden av Egget[®]. Det er rapportert tekniske utfordringer knyttet til dem, derfor er det nødvendig å undersøke alternative løsninger for å håndtere groe. Dette er viktig for å opprettholde god fiskehelse- og velferd i systemet. Marin groe kan påvirke vannkvaliteten og gi gunstige miljøforhold for parasitter og patogener. Oppgaven er dermed avgrenset til å fokusere på innvendig groe i Egget[®], da det utgjør den største utfordringen for fiskehelsen.

For å kunne besvare oppgavens problemstilling gjøres det et dypdykk i relevant litteratur. Tema som anses å være viktig for oppgaven er hva som skiller åpen og lukket oppdrett i sjø, da det er et lukket system oppgaven tar for seg. Laksens biologi gjennomgås så i korte trekk for å gi grunnlag til å forstå problemer relatert til fiskehelse, som følge av groe. Videre er det sentralt å forstå hvordan groe oppstår. Deretter redegjøres det for ulike arter og deres utbredelse samt konsekvenser av marin groe, både med hensyn til fiskehelse og fiskevelferd. I tillegg til ulike metoder for å forhindre groe, vil konsekvenser ved håndtering av marin groe være sentralt.

2 Litteraturstudie

For å forstå hvilke utfordringer og begrensninger renhold av Egget[®] vil medføre, belyses det hvordan et slikt system skiller seg fra konvensjonell oppdrett i sjø. Innledningvis sammenliknes åpen og lukket oppdrett i sjø. Her med tyngde i problemer, likheter og ulikheter med hensyn til de to ulike systemene.

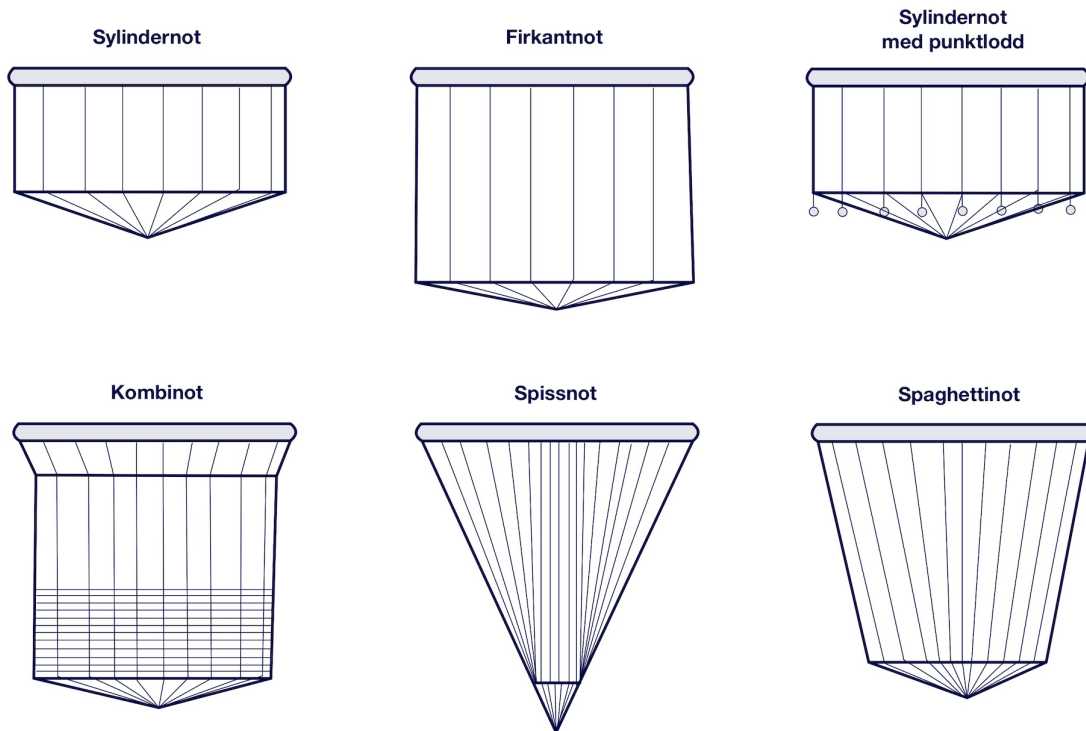
2.1 Fiskeoppdrett i sjø

Norge har en lang tradisjon som fiskerinasjon. Oppdrettsnæringen var i utgangspunktet en ekstra inntektskilde for bøndene som var bosatt langs kysten (Statistisk sentralbyrå 2024). Disse hadde fiskeoppdrett som en side-næring til landbruket, og startet i det små på 70-tallet. Som følge av dette var oppdrettsnæringen i mange år et ansvarsområde under Landbruksdepartementet. Først i 1981 tok Fiskeridepartementet over. Pionerene innen norsk oppdrettsnæring skulle etterhvert lykkes med å produsere laks og regnbueørret i sjø. Nærmere bestemt ble fisken holdt i en oppdrettsmerd (Statistisk sentralbyrå 2024), en konstruksjon bestående av en notpose og en flytekrage, se figur 1 (Kraugerud 2024). Norges lange fjorder og kystlinje la tilrette for gode oppdrettsmuligheter, i tillegg var det billigere og mer effektivt å drive oppdrett i sjø, enn på land. Produksjon av både ørret og laks ble en stor suksess i Norge (Noble mfl. 2018), hvor det i dag produseres omlag 1,3 millioner tonn årlig (Barentswatch 2024).

2.1.1 Konvensjonell merdoppdrett

Den tradisjonelle merdbaserte metoden å drive fiskeoppdrett, har utviklet seg mye. I dag er en norsk merd typisk 40 til 50 meter i diameter, med en dybde på mellom 10 og 50 meter. Dette tilsvarer et merdvolum på 16.000-130.000 m³ (Noble mfl. 2018). En merd er konstruert med en notpose som ved hjelp av en flytekrage, holdes oppe, se figur 1 (Kraugerud 2024). I bunnen av nota er det ofte installert en bunnring. Denne benyttes for å opprettholde merdvolumet ved kraftige strømforhold, og bidrar til å gjøre renhold lettere ved å strekke ut notveggen ((ScaleAQ 2024a),(ScaleAQ 2024b)).

Det finnes en rekke ulike utforminger av not, se figur 1. Notdesign- og valg er en prosess hvor oppdretter først stiller krav til størrelse og omfang for en bestemt lokalitet. Deretter utføres det analyser av strømforhold, bølger, vind og dybde for lokaliteten. Dette gjøres av et akkreditert sertifiseringsorgan, i henhold til gjeldende forskrifter (Nærings- og fiskeridepartementet 2022). På bakgrunn av disse resultatene kan det deretter foreslås et passende notdesign og en passende notlin ((ScaleAQ 2024c),(ScaleAQ 2024a)). Nøtene har blitt både større, tyngre og dypere, som fører til større krefter og belastninger enn tidligere. Parallelt har vedlikeholds- og servicekrav blitt stadig strengere (ScaleAQ 2024a).



Figur 1: Ulike typer notdesign, inspirert av (ScaleAQ 2024c)

Før fisken settes ut i sjø, holdes den i kar på land. Her vokser lakseyngel seg til smolt, ofte i gjennomstrømningsanlegg (Kraugerud 2024). Når smolten når en vekt på 80-100 gram, og viser evne til å osmoregulere i sjøvann, settes den ut i sjø, se smoltifisering under 2.2.1. På land opplever smolten ofte høyere fisketetthet enn i sjø, men her er vannmiljøet forholdsvis stabilt. I møte med sjø øker bevegelsesfriheten og havstrømmene sikrer at det tilføres oksygenrikt vann til merden kontinuerlig. Havstrømmene fører også til at partikler fra faeces og restfôr naturlig føres bort fra merdmiljøet (Noble mfl. 2018). Det marine miljøet byr likevel på en rekke utfordringer for smolten, som skal oppholde seg i merden til den blir 4-5 kilo og slakteklar (Kraugerud 2024).

I sjø har ikke oppdretteren lenger mulighet til å regulere vannkvaliteten, og vannmiljøet i merden vil variere (Noble mfl. 2018). Konvensjonell merdoppdrett kan i perioder få problemer med ustabil turbiditet og varierende oksygenmengde. Dette skyldes ofte plante- og dyreplankton, som på dagtid produserer oksygen - men er store forbrukere av oksygen om natten (Noble mfl. 2018). I tillegg til å redusere vannkvaliteten kan dyreplankton og alger gjøre skade direkte på gjellene til laksen. I merdmiljøet er det heller ingen barriere mellom fisken og avfallsstoffer eller patogener, fra det ytre miljøet (Kraugerud 2024). Problemer knyttet til dette er blant annet virussykdommer som Pankreassykdom (PD), Infeksiøs pankreasnekrose (IPN), Infeksiøs lakseanemi (ILA) og Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB). I tillegg til virussykdommer kan oppdrettslaksen rammes av bakteriesykdommer, som Bakteriell nyresyke (BKD), Flavobakteriose, Furunkulose, Yersiniose, Vintersår, Pateurellose og Mykobakteriose (Sommerset mfl. 2024).

Sykdommer kommer ikke nødvendigvis fra virus og bakterier. Et av de mest alvorlige problemene i norsk fiskeoppdrett er lakselusen, *Lepeophtheirus salmonis*. Lakselusen regnes som den største sykdoms- og parasittutfordringen hos norsk oppdrettsfisk. Parasitten er en trussel både for oppdrettsfisk og villfisk, og luselarvene kan overføres dem i mellom (Sommerset mfl. 2024). Lakselusa

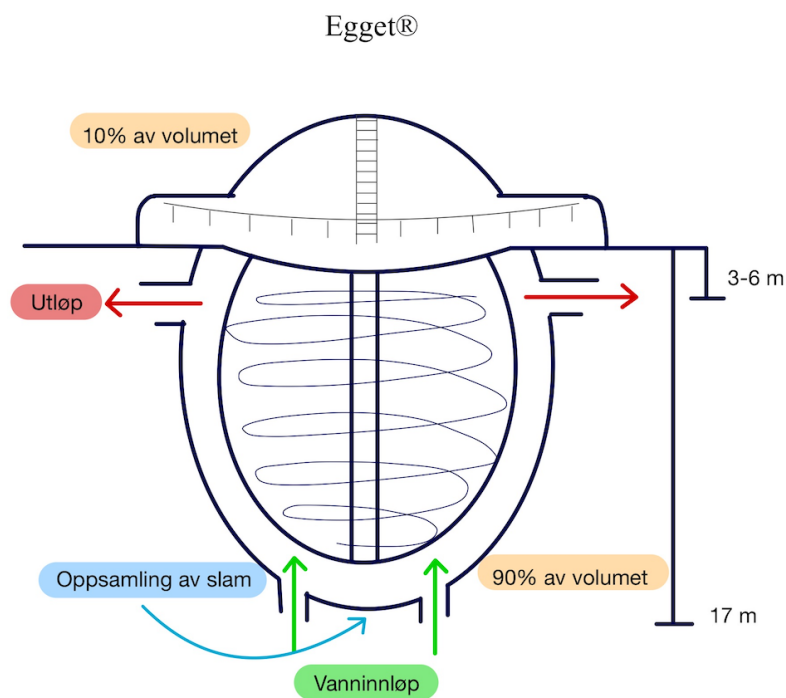
ernærer seg på slim, blod og hud, som kan gi både anemi og sår hos laksen. Sår kan redusere evnen til å osmoregulere, samtidig som at åpne sår gir rom for andre patogener til å ta seg inn i laksen. Dersom lusebelastningen er høy kan dette være dødelig. I tillegg til at lusen i seg selv utgjør skade på laksen, er behandlingskostnadene store både for oppdretteren og fisken. Det er risiko for både skade og død ved lusebehandling. Disse konsekvensene har drevet frem ny teknologi som skal tillate oppdrett av fisk i sjø og samtidig hindre lusepåslag og reproduksjon av lakselus (Tveterås mfl. 2021).

I konvensjonell oppdrett i sjø er også marin groe et problem og det er særlig tre kritiske konsekvenser. (1) Groe på not i sjø vil påvirke hydrodynamikken i vannet rundt noten. Dette kan ha negativ innvirkning på vannkvalitet, merdvolum og hvorvidt det er stabile forhold for fisken. (2) I tillegg øker risikoen for sykdom da groeorganismer kan operere som et reservoar for patogener, fremmedarter og skadelige organismer. (3) Groe vil trolig påvirke oppførselen til rensefisken (Bannister mfl. 2019). Rensefisken regnes som et miljøvennlig alternativ til kjemisk avlusning (Mikkelsen 2024). Dietten til rensefisk består naturlig av groeorganismer, dersom det oppstår mye groe på nota kan dette påvirke hvorvidt rensefisken bidrar til avlusning (Bannister mfl. 2019). For å unngå dette må nota rengjøres, det finnes flere måter å forhindre groe, se delkapittel 2.6. Det er vanlig å benytte impregnering, desinfeksjon og notvask for å hindre eller fjerne groe på not (ScaleAQ 2024a). Hvorpå utviklingen innen renhold av not, har ført til lokalitetsbasert valg av impregnering. Trenden viser at flere oppdrettere velger miljøcoating (biocidfri impregnering) og impregnering med ASC miljøsertifisering (ScaleAQ 2024a). Dette er et sertifiseringsprogram etablert av Aquaculture Stewardship Council, med formål om å redusere påvirkning på miljø og samfunn fra havbruk (Aquaculture Stewardship Council 2024), som er noe havbruksnæringen får mye kritikk for (Finstad og Røttereng 2021).

2.1.2 Lukket oppdrett i sjø

Lukket oppdrett i sjø er et eksempel på teknologi som skal hindre lusepåslag og reproduksjon av lakselus. Lukkede eller semi-lukkede anlegg i sjø, er anlegg som ikke er fullstendig lukket men som likevel danner en fysisk barriere mellom oppdrettsfisken og det ytre miljøet (Kraugerud 2024). Dette kalles ofte semi-lukket fordi systemene har et innløp og et utløp, og dermed fortsatt vil ha utslipp av avfallsstoffer (Taranger 2024). I dagligtale brukes lukkede og semi-lukkede anlegg om hverandre (Tveterås mfl. 2021). Fra et hydrodynamisk perspektiv er det argumentert for at semi-lukket og lukket anlegg kan skilles ved at førstnevnte har deler av volumet åpent mot det ytre miljøet. Et lukket anlegg vil derimot bare være åpent ved innløp og utløp (Tveterås mfl. 2021). I denne oppgaven vil derfor Egget[®] omtales som et flytende, lukket oppdrettsanlegg (FLO).

Både de lukkede og de semi-lukkede systemene er utviklet for å hindre lusepåslag ved å plassere inntaksvannet under lusens naturlige habitat, som sjeldent er dypere enn 20 meter under havoverflaten (Dalvin mfl. 2022). Lakselus er et av de viktigste og mest alvorlige problemene med konvensjonell fiskeoppdrett (Sommerset mfl. 2024). Lukket eller semi-lukket oppdrett har utviklet seg mye i løpet av de siste årene, men konseptet er fortsatt i en pilotfase hvor det er behov for videreutvikling (Kraugerud 2024). I dag brukes konseptet i all hovedsak til postsmolt (Kraugerud 2024), som får redusert tiden i åpen merd hvor smittepresset er større (Rosten 2024).



Figur 2: Systembeskrivelse av Egget®, med illustrasjon av hydrodynamiske forhold - inspirert av (Egget® 2024)

Det finnes en rekke ulike lukkede eller semi-lukkede flytende anlegg, Egget® er ett av disse, se figur 2. Felles for disse systemene er de tette veggene, enten stive vegger eller fleksible presenninger (Kraugerud 2024). Et annet fellestrekk er at vannet hentes inn fra 20 til 30 meters dyp, som er under "lusebeltet" (Dalvin mfl. 2022). Området i vannsøylen hvor hovedkonsentrasjonen av kopepoder befinner seg, ligger typisk på 0 til 5 meters vanddyb langs kysten. I fjordene finner vi lusen noe dypere på grunn av brakkevann, men kopepodene observeres svært sjeldent på vann dypere enn 20 meter (Dalvin mfl. 2022).

Fordelene med disse systemene er evnen det gir oppdretter til å separere fisken fra det ytre miljøet (Kraugerud 2024). Dette innebærer at fisken kan skjermes for patogener og parasitter, særlig dem som befinner seg i det øverste vannlaget (Kraugerud 2024). Ved å pumpe inn vann fra dypet oppnås det også en mer stabil vannkvalitet, og ved innløpet kan vannet behandles etter ønske fra oppdretter (Kraugerud 2024). En annen fordel er at disse systemene tilrettelegger for oppsamling av slam, som består av restfôr og faeces (Taranger 2024). Hvorvidt innløpsvannet behandles og - slam innsamles vil variere fra ett konsept til et annet (Kraugerud 2024). Et semi-lukket eller lukket system vil likevel ikke ha fullstendig kontroll på innslipp av parasitter og patogener (Dalvin mfl. 2022). Heller ikke utslipp av avfallsstoffer og patogener fra produksjonen vil unngås ved disse systemene (Dalvin mfl. 2022).

Det er flere fordeler med dette konseptet, blant annet kan man oppnå en bedre trent post-smolt. Oppdretteren kan selv regulere strømningshastigheten i anlegget og dermed sørge for at fisken får kontinuerlig svømmetrening. Disse anleggene tilrettelegger også for mer gunstig og jevn vekst og kan bidra til bedre arealutnyttelse av kysten og fjordene. Samtidig kan en mer robust post-smolt føre til effektivisering av de konvensjonelle åpne oppdrettsanleggene. (Tveterås mfl. 2021)

Utfordringene med konseptet er at flere parametre må tas hensyn til ved plassering av anleggene. På grunn av kreftene fra vind, bølger og tidevann som vil påkjennes anlegget, bør de lukkede anleggene legges nære land (Braaten mfl. 2010). Reduserte strømkrefter medfører dårligere transport av utslipp til resipient (Noble mfl. 2018). Videre er sjøegenskapene veldig forskjellige fra en deformbar merd. Både bølger og strøm vil påvirke konstruksjonen på en helt annen måte (Tveterås mfl. 2021). Dette innebærer at det indre vannvolumet kan få en bølgeperiode som er forskjellig fra konstruksjonens egenperiode. Dette kalles "sloshing" og er et resonansfenomen som kan forårsake store bølger inne i konstruksjonen (P. Lader, personlig kommunikasjon, 12. september 2023). Fenomenet oppstår når vann, eller en annen væske, beveger seg i en beholder i bevegelse. Dette kan både påvirke fiskevelferd, miljøavtrykk og gi økt risiko for havari og rømningshendelser (Tveterås mfl. 2021). En negativ konsekvens av lukket oppdrett i sjø er utslippet av næringssalter, rester fra medisiner og kjemikalier (Braaten mfl. 2010), og hvorvidt disse sprer seg på lokaliteter med lite strøm. De lukkede anleggene vil også ha et større energiforbruk enn tradisjonell merdoppdrett, likevel er forbruket betydelig lavere enn for landbaserte post-smolt og matfiskanlegg (Tveterås mfl. 2021).

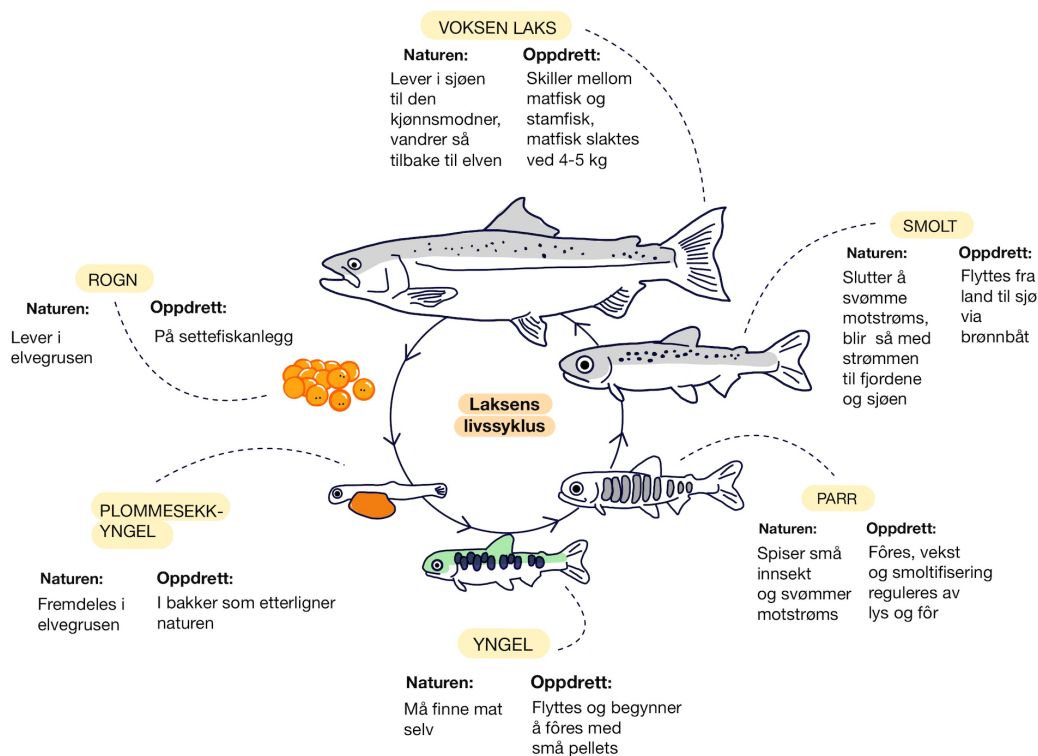
Det hevdes av flere at lukkede anlegg i sjø kan bidra til betydelig redusert rømningsfare ((Tveterås mfl. 2021),(Taranger 2024)). Argumentet har trolig hold i logikken om at "lukket" er tryggere enn "åpent" (P. Lader, personlig kommunikasjon, 12. september 2023). Behovet for pumper i forbindelse med inntak og utskiftning av vann ved lukket oppdrett i sjø har allerede vist å være en mulig rømningsvei. I tillegg har de lukkede merdene som nevnt en helt annen oppførsel i sjø enn de deformerbare, åpne merdene. Massen til et lukket anlegg i sjø er i størrelsesorden 1000 ganger massen til en åpen merd med tilsvarende volum. Dette medfører at konstruksjonen må tåle tilsvarende store krefter. Videre kan som nevnt sloshing oppstå i lukkede konstruksjoner, følgelig kan konstruksjonen bli påkjent store krefter. Et lukket anlegg vil heller ikke dempes på samme måte som en not, og bølger vil påvirke den lukkede konstruksjonen på en helt annen måte. Oppsummert vil bølger medføre langt større utfordringer for en lukket konstruksjon enn for en konvensjonell merd. På bakgrunn av dette argumenteres det for at lukkede merder ikke kan løse rømningsproblemet (P. Lader, personlig kommunikasjon, 12. september 2023).

2.2 Laksens biologi

For å forstå hvordan groe påvirker fiskehelse- og velferd er en gjennomgang av laksens biologi nødvendig. Innledningvis presenteres derfor laksens livssyklus, etterfulgt av gunstige vannparametre og velferdsindikatorer for oppdrett av laks i lukkede anlegg i sjø.

2.2.1 Laksens livssyklus

Atlantisk laks (*Salmo salar*) er en anadrom fiskeart og et virveldyr som tilbringer hele livet i vann (Nasjonalt Villakssenter 2024). At laksen er anadrom vil si at den starter livet sitt i elva, før den drar til havet for å vokse. Når laksen er stor nok, svømmer den tilbake til elva den selv er vokst opp i og gyter, se figur 3. Laksens livssyklus går fra rogn til smolt (Nasjonalt Villakssenter 2024). Klekkingen foregår vanligvis over 3-4 dager, og vil typisk skje mellom 480-520 døgngader (*Klekkerihåndbok for atlantisk laks. Fra rogn til startføring* udatert). Den nyklekte yngelen har en plommesekk på magen som de henter næring fra, og har dermed fått navnet plommesekknyngel. Når yngelen har tømt plommesekken begynner den å fange mat selv for å vokse seg større. Etterhvert utvikler den seg til parr, som er det neste stadiet i livssyklusen. Parren kjennetegnes ved tydelige mørke striper på sidene, som fungerer godt som kamuflasje i elva. Parren er territorial og kjemper derfor mot andre fisk om den beste plassen i elva (Nasjonalt Villakssenter 2024). Etter flere år i elva skjer det store forandringer med laksen. Den gjør seg klar til å tåle saltvann og gjennomgår en smoltifiseringsprosess. Under denne prosessen omdannes parren til smolt og blir en saltvannsfisk. Smolten har en sølvfarge som gir den bedre kamuflasje i sjøen (Hoff 2024). Til sammenligning med den territorielle parren, forlater smolten aldri elva alene og er nå en stimfisk (Nasjonalt Villakssenter 2024).



Figur 3: Laksens livssyklus i naturen og i oppdrett, inspirert av (Hansen 2019)

Under smoltifiseringen skjer det viktige fysiologiske endringer hos laksen (M. Iversen og Finstad 2021), se figur 3. I ferskvann er laksen hyperosmotisk til det ytre miljøet. Det vil si at den har høyere osmotisk konsentrasjon enn miljøet den lever i. Det osmotiske trykket fører til at mer vann blir tatt opp inn i kroppen, samtidig som laksen taper salter og ioner til vannet gjennom diffusjon over gjellene. Laksen kvitter seg med overflødig vann ved å skille ut urin, samtidig som den aktivt tar opp salter over gjellene. Når laksen forflytter seg til sjøvann blir den hypoosmotisk i forhold til det ytre miljøet - den får en lavere osmotisk konsentrasjon enn miljøet den lever i. Laksen må nå drikke sjøvann og redusere urinproduksjonen. Regulering av osmotisk balanse skjer ved Na-K-ATPase over gjellene (M. H. Iversen mfl. 2021). Na-K-ATPase innebærer aktiv transport av kloridioner (Cl^-) og passiv transport av natriumioner (Na^+). Ved hjelp av enzymet Na-K-ATPase skilles saltet ut over gjellene i sjøvann. Med overordnet kjennskap til laksens biologi fremgår viktigheten av ulike vannparametre. Gunstige vannparametre i lukkede anlegg i sjø, og andre miljøbaserte velferdsindikatorer redegjøres for under kapittel 2.2.2

Laksen respirerer ved hjelp av gjellene, hvor også CO_2 og ammoniakk skilles ut (Kryvi 2021). Skade på gjellene vil være kritisk for laksens respirasjonsevne. Laksens generelle sanser kan deles inn i oppfatning av: temperatur, smerte og berøring. Disse sansene er hos laksen knyttet til huden (Kryvi 2021). I tillegg til å være et viktig sanseorgan for fisken, danner huden den ytre barrieren til laksen, bestående av to eller tre lag. Disse lagene er inndelt i: epidermis, dermis og hypodermis. I epidermis finnes slimcellene som beskytter laksen mot infeksjoner. Under epidermis ligger dermis, her sitter fiskeskjellene. Innefor dermis er hypodermis, som består av fettceller og bindevev. Huden er en viktig del av immunforsvaret til laksen. Ved skade, sår eller infeksjoner i huden kan blødende sår oppstå (Poppe 2021). Dette danner en åpning for at patogene bakterier tar seg inn i blodet og kroppen. Sår er et stort velferdsproblem og smertefult for fisken.

2.2.2 Laks i lukkede anlegg i sjø

Kunnskap om operative velferdsindikatorer i lukkede anlegg er begrenset (Noble mfl. 2018). Det er utføres fortsatt testing av ulike systemer og prototyper, av ulike størrelser og tekniske spesifikasjoner. Resultatene kan være viktige for å avgjøre kritiske velferdsindikatorer for lukkede anlegg i sjø. Generelt vil vannkvaliteten i et lukket anlegg være avhengig av kvaliteten på inntaksvannet, vannutvekslingen, hydraulikken, biomassen og vannhastigheten inne i systemet. De miljøbaserte operative velferdsindikatorer presenteres i avsnittet under og verdiene fremstilles så i tabell 1.

Temperatur og salinitet vil være avhengig av hvilken dybde inntaksvannet hentes fra (Noble mfl. 2018). Her kan kunnskap om sesongendringer på vanntemperaturen være avgjørende for å kunne si noe om utviklingen av biomasse og vekst i anlegget. I tillegg vil det gi informasjon om eventuelle perioder hvor patogeninfeksjon har økt risiko. Oksygen blir tilsatt for å opprettholde optimal og konstant oksygenmetning i systemet. Det kan likevel forekomme variasjoner i oksygenmetningen som vil være med å påvirke fiskevelferden. Høye konsentrasjoner av karbondioksid kan forårsake nefrokalsinose. Hvis vannstrømningshastigheten i systemet ikke er tilstrekkelig kan det samle seg opp CO_2 i anlegget. Det kan også skje om den biologiske belastningen ikke samsvarer med design og dimensjonering. Ved å redusere pH vil det følge en økning i CO_2 . Dette vil forårsake endringer i appetitt og adferd hos fisken. Som et resultat av fiskens metabolisme kan Total Ammonium Nitrogen (TAN) akkumuleres over tid. Denne vannparameteren bør overvåkes jevnlig slik at det ikke akkumuleres en giftig konsentrasjon, se tabell 1. Turbiditet og Total Suspended Solids (TSS) kan være høyere inne i systemet i forhold til det omkringliggende miljøet. Dersom vannutvekslingen

ikke er tilstrekkelig, kan TSS akkumuleres over tid.

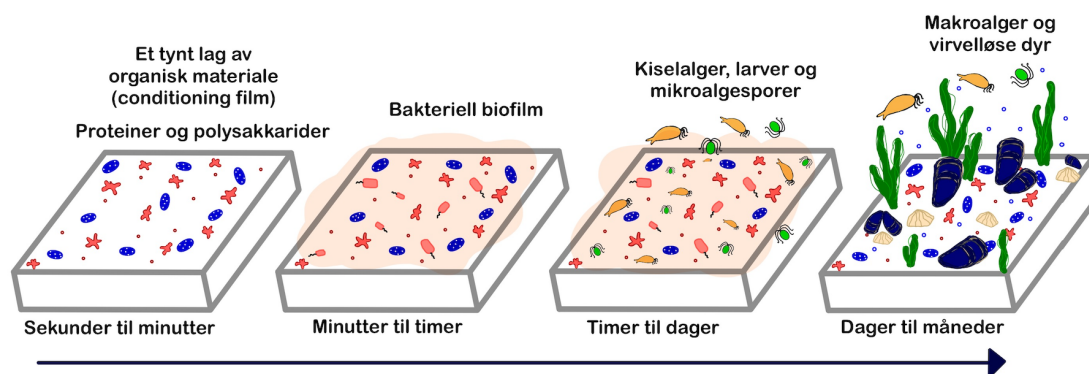
Videre vil vannhastigheten være et viktig aspekt i forhold til opptrening av post-smolt for å fremme muskelvekst, forbedre hjertehelsen og immunresponsen (Noble mfl. 2018). Vannutskiftningen i lukkede anlegg med gjennomstrømning bør være over ønsket grense (se tabell 1) for å unngå opphopning av CO₂. Vannhastigheten er også avgjørende for fjerning av partikler. Tettheten må være høyere enn tetthetsgrensen i sjø, (se tabell 1) for at teknologien skal være kostnadseffektiv. Belysning for maksimal vekst i semilukkede anlegg er ukjent. Fôrbelastningen vil være tett knyttet til vannkvaliteten. Den bør derfor overvåkes slik at den ikke bidrar til høyere produksjon av metabolitter, som videre vil påvirke vannkvaliteten og fiskevelferden. Verdier bør generelt ikke overstige eller ligge utenfor området angitt i tabell 1.

Tabell 1: Mijløbaserte velferdsindikatorer for fisk i semi-lukkede oppdrettsanlegg, inspirert av (Noble mfl. 2018)

Parameter	Verdi	Enhet
Temperatur	12 - 18	[°C]
Oksygennivå	≥80	[%]
Karbondioksid	8 - 10	[mg/L]
pH	7,2 - 7,4	-
TAN	1-2	[mg/L]
Salinitet	33	[‰]
Strømningshastighet	1,5	[kroppslengder/sekund]
Vannutskiftning	0,2 - 0,3	[L min/kg]
Tetthet	75	[kg/m ³]

2.3 Introduksjon til marin groe

En generell forståelse for opprinnelsen av marin groe kan deles inn i fire steg, se figur 4 (Xie mfl. 2019). (1) Et tynt lag av organisk materiale blir raskt formert på den nedsenkede overflaten grunnet absorpsjon av proteiner, glykoproteiner og polysakkarider. (2) Deretter fester bakterier seg på filmen og utvikler seg gradvis til en biofilm ved å skille ut ekstracellulære polymere stoffer (EPS). (3) Sporer av makroalger vil akkumulere på overflaten fordi biofilmen tilbyr dem næringsstoffer. (4) Til slutt vil larver av marine makroorganismer slå seg ned og vokse seg til macrofoulers, for eksempel blåskjell.



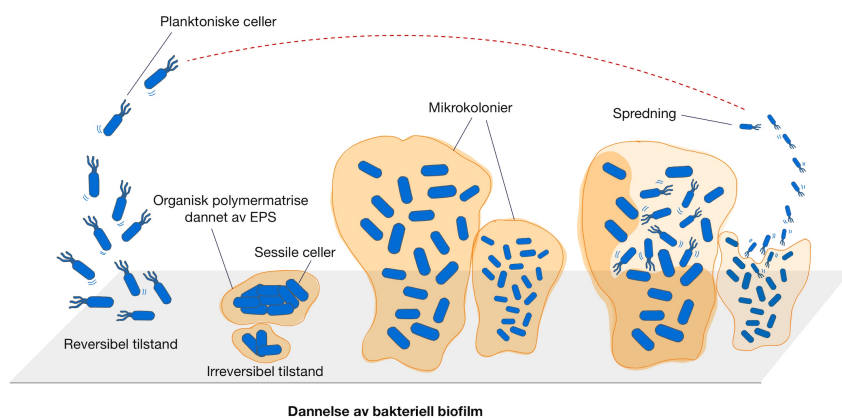
Figur 4: Illustrasjon av hvordan marin groe oppstår, inspirert av (Xie mfl. 2019)

Denne generelle modellen gjelder ikke for alle marine organismer, mange oppfører seg annerledes. Det finnes over 4000 groearter, og det marine miljøet varierer i forhold til temperatur, pH, salinitet osv. Dermed varierer det også hvilke groearter som er dominante (Xie mfl. 2019). Felles er at biofilmen er den viktigste utløseren for marin groe, og det er hovedsakelig den som tiltrekker seg de fleste groeartene (Li og Ning 2019). Kontroll på aktiviteten i biofilmen eller å forhindre utvikling av biofilm, er dermed viktig for bekjempelse av marin groe.

Prosessen i figur 4 beskriver forholdet mellom mikroorganismer og macrofoulers (Li og Ning 2019). Macrofoulers er større organismer og er det siste steget av formeringen av marin groe. Mikroorganismer er derimot selve opprinnelsen til groen. Groen oppstår under de riktige forholdene laget av mikroorganismene, og næringen de gir, som tiltrekker seg nye organismer. Aktiviteten til mikroorganismene kan være med å påvirke dannelsen av macrofoulers, mens akkumulasjonen av macrofoulers kan igjen gi beskyttelse til mikroorganismene og biofilmen. Biofilmen er altså den viktigste utløseren for marin groe, og det er den som tiltrekker seg de fleste organismene som vokser på overflaten.

Biofilmen er et samfunn av celler som er organisert i mikrokolonier, som lever i grensesnittet mellom en fast overflate og omkringliggende væske (Di Martino 2018). Mikroorganismene danner en organisk polymermatrise - en geleaktig substans som omringer organismene og gir de struktur å vokse i, se figur 5. Den viktigste komponenten til matrisen er EPS, organiske polymerer produsert av mikroorganismer og består hovedsakelig av polysakkarider, proteiner, ekstracellulært DNA (eDNA) og lipider. Stoffet er involvert i bakteriecellers interaksjon med nærmiljøet, og hjelper cellene å binde seg sammen, og til den overflaten de vokser på. Denne funksjonen er sentral for stabiliteten til

biofilmen (Di Martino 2018). EPS er byggesteinene i den ekstracellulære matrisen og gir grunnlaget for dannelse av biofilm, i tillegg til strukturell støtte til biofilmen. Det er dette som gjør det vanskelig å fjerne biofilmen, og som kan føre til store utfordringer når det gjelder kontrollering av marin groe (More mfl. 2014).



Figur 5: Utviklingen av den bakterielle biofilmen, inspirert av (Sauer mfl. 2022)

2.3.1 Arter og utbredelse

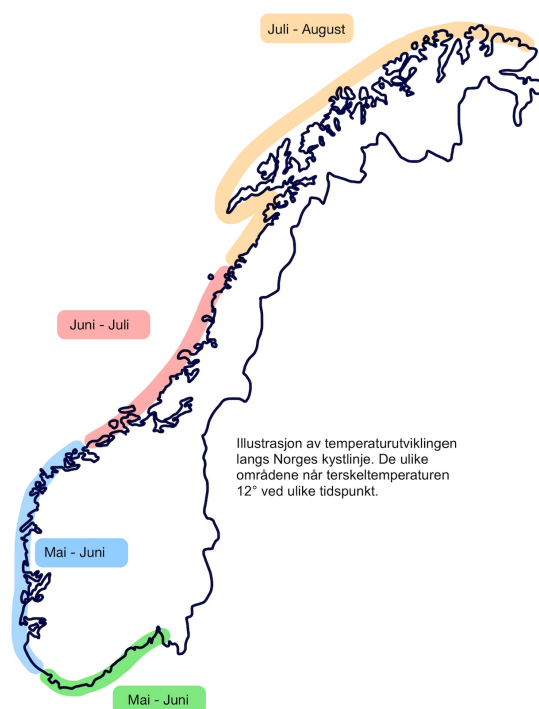
Norskekysten er lang og er godt egnet for oppdrett og havbruksdrift. Sjøtemperaturene endrer seg fra nord til sør i landet, i tillegg til at de påvirkes av årstid (Steen-Hansen 2015). Pilot-Egget[®], E2000, står i dag plassert i Romsdalsfjorden. Her er sjøtemperaturen sterkt påvirket av Golfstrømmen gjennom hele året. Den har en stor innvirkning på både temperatur og salinitet i området. Uten den varme havstrømmen hadde det vært helt andre klimaforhold langs norskekysten. Overgangene i saltinnhold og temperatur skaper begrensinger og muligheter for ulike groearter, avhengig av artens ideelle vekstvilkår. I Egget[®] er det hovedsakelig kalkrørsormer, alger, blåskjell og hydroider som har vært til stede (A. C. Opshaug, personlig kommunikasjon, 16.april 2024). Økende temperaturer vil åpne for at terskelarter kan etablere seg langs kysten. I tillegg vil det åpne nye deler av norskekysten for allerede etablerte arter (Steen-Hansen 2015). Det er lokalitetene med mest lys og høyest temperatur som er mest utsatt for groe (B. Østebovik, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). I tabell 2 presenteres de viktigste groeartene for oppgavens problemstilling. Felles for alle artene er at vasking, spyling, impregnering og tørking er effektive tiltak.

Tabell 2: Beskrivelse av relevante groearter, tabelldata er hentet fra (Steen-Hansen 2015)

Art	Område	Temperatur	Problemgrad	Forekomst
Blåskjell	Sør for Troms	10 grader	Stor	Stabil
Spøkelseskreps	Sør for Troms	4-16 grader	Middels-Stor	Økende
Hydroider	Sør for Troms	0-30 grader	Stor	Økende
Mosdyr	Hele Norskekysten	3-24 grader	Middels	Økende
Sjøpung	Hele Norskekysten	-1-25 grader	Middels-Stor	Stabil
Alger	Sør for Troms	12 grader	Stor	Økende

Algeblomstringen er intens om våren når sollyset oppnår en viss minimumsintensitet. Dette er ofte et signal for groeorganismene om å gyte. Både blåskjell, hydroider og mosdyr, som er noen av

de viktigste groeartene i Møre og Romsdal, bruker mikroalgene som næring (Steen-Hansen 2015). Mikroalgene får næring av løste næringssalter som fosfor og nitrogen, som finnes naturlig langs kysten. Fiskeoppdrett er den største kilden til næringssalter i sjøen fra Rogaland og nordover langs kysten. Som følge av at fisken spiser, vil den skille ut fosfor og nitrogen. Utslipp av næringssalter fra oppdrett vil dermed være med å bidra til økt algeoppblomstring (Boxaspen og Husa 2021). Algeblomstringen er starten på forplantningen og spredningen for mange groearter. 12 grader er en viktig temperatur for mange norske, men også for invaderende groearter. Denne sjøtemperaturen oppstår rundt juni-juli i Møre og Romsdal, se figur 6. Generelt kan alle groearter ha en negativ påvirkning på norsk havbruk. Både i åpne og lukkede anlegg bruker groeorganismene opp oksygenet, og skaper mindre optimale forhold for fisken. I åpne anlegg vil det hindre vannutskiftningen i merden (A. C. Opshaug, personlig kommunikasjon, 15. mai 2024). For lukkede anlegg påvirker også dette hydrodynamikken i systemet. Skal groe bekjempes eller reduseres, er det viktig at man har kunnskap om den gitte arten. I tillegg må man tenke på at forholdene kan endre seg fra år til år (Steen-Hansen 2015).



Figur 6: Illustrasjon av temperaturutvikling langs norskekysten, inspirert av (Steen-Hansen 2015)

2.3.2 Makroalger

Alger er et spesielt stort problem fordi påslag av alger kan stimulere vekst av andre groearter (Steen-Hansen 2015). Algeproblemet finnes langs hele kysten, ofte skjer blomstringen plutselig og uten forvarsel. Påslaget skjer mellom mai og oktober. Behandling som spyling er ofte nødvendig, men dessverre vil gjengroing etter behandling skje raskt. I Norge finnes det tre grupper med alger - brunalger (*Phaeophyceae*), rødalger (*Rhodophyta*) og grønnalger (*Chlorophyta*). Alle tre arter finnes langs store deler av kysten.

2.3.3 Blåskjell

Blåskjell (*Mytilus edulis*) forekommer i stor grad langs hele norskekysten (Steen-Hansen 2015). De trives bedre i fjordsystemer med en viss ferskvannspåvirkning enn ute i åpent farvann. Arten tåler et salinitetsnivå ned på 4-5 promille, men trives best over 15 promille. Den ideelle temperaturen er mellom 10 og 20 grader, men blåskjellene tåler alt fra minusgrader og opp til 30 grader. Det største påslaget skjer ved temperaturer over 10 grader. Dette skjer som regel på senvåren. Så lenge temperaturen tillater det, kan blåskjell gyte flere ganger i løpet av sommeren og en må derfor forvente flere påslag. Påslag kan skje på 2 meters dyp til 10-15 meters dyp. Blåskjell vokser veldig fort, så tiltak bør iverksettes raskt etter påslag. De ideelle vekstforholdene er ved 33 promille og 20 grader. I norske fjorder er det mest realistiske en promille på 30 og temperatur på 10 grader.

2.3.4 Spøkelseskreps

Spøkelseskreps (*Caprella mutica*) finnes opprinnelig i norske farvann, men det største problemet for havbruksnæringen er en invaderende art fra Stillehavet (Steen-Hansen 2015). De er mer problematiske enn lokale arter på grunn av størrelsen og de tette bestandene. I tillegg er adferden til krepsen en viktig faktor - de står oppreist og jakter på byttet sitt. Den liker seg godt mellom alger og fjærblomst, og tåler salinitet ned til 11 promille. Spøkelseskreps tåler tørke veldig dårlig og dør etter ca. en time ute av vannet. Den forplanter seg hele året, fra 4 grader og opp til optimal temperatur på 16 grader. Derfor er forekomsten størst på sommerhalvåret.

2.3.5 Nesledyr

Nesledyr (*Cnidaria*) omfatter sjøanemoner, maneter, koraller og hydroider (Nesledyr 2024). Nesledyr er utstyrt med nesleceller som inneholder gift. Ved mekanisk eller kjemisk stimuli, kan maneten injisere neslegift i byttet sitt. Hos fisk er det kjent at neslegiften kan forårsake vevskader i hud, gjeller og øyne (Hofossæter mfl. 2024). Nesleceller har også strukturer som bryter barrierer i fiske-skinnet, og dermed ødelegger immunforsvaret til fisken (U. Ulriksen, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). Hydroider, også kjent som fjærblomst, er som skapt for norskekysten. Den trives ved temperaturer fra 0-30 grader og ved salinitet ned til 18 promille. Den finnes fra 0-35 meters dyp. Arten gyter hele sommeren, påslag kan dermed forventes under hele gyteperioden. Fjærblomst er en av de mest utbredte artene og er vanskelig å bli kvitt etter den har etablert seg. Grunnen er at den har evne til å regenerere seg - stilk og hode vil gro tilbake om den blir kappet av, for eksempel ved høytrykksspyling. Spyling er dermed kun for vedlikehold, og ikke et forebyggende tiltak for denne arten (Steen-Hansen 2015).

Manet er et nesledyr som kan ha negativ innvirkning på driften av lukkede systemer. Noble mfl. gjør rede for et scenario fra et semi-lukket anlegg hvor nytt vann ikke ble pumpet inn i systemet. Dette med bakgrunn i at innløpet var helt tilstoppet av maneter. Dermed ble vannstrømmen og vannhastigheten i systemet svært lav, noe som ikke er optimalt for fisken (Noble mfl. 2018). En annen art som har hatt en økende forekomst de siste årene er perlesnormanet. Det har vært tilfeller hvor perlesnormaneten har ført til høy dødelighet på oppdrettsanlegg. Maneten kan forårsake skader på øyne og skinn, ved kontakt med gjellene vil fisken dø («Perlesnormanet» 2023).

2.3.6 Mosdyr

Mosdyr (*Crisia eburnea*) er utbredt langs hele norskekysten og mye tyder på at det har blitt et økende problem de siste årene (Steen-Hansen 2015). Den trives på en temperatur mellom 3 og 24 grader. Denne arten finner man ikke i områder med salinitet under 20-25 promille. Mosdyrets viktigste groeperiode er fra juli-september. Om denne groearten ikke blir tatt hånd om vil den skape store problemer ved å belaste not og øvrige strukturer med betydelig vekt. Fordelen er at spyling er veldig effektivt, og når den er fjernet vil den ikke vokse tilbake.

2.3.7 Sjøpung

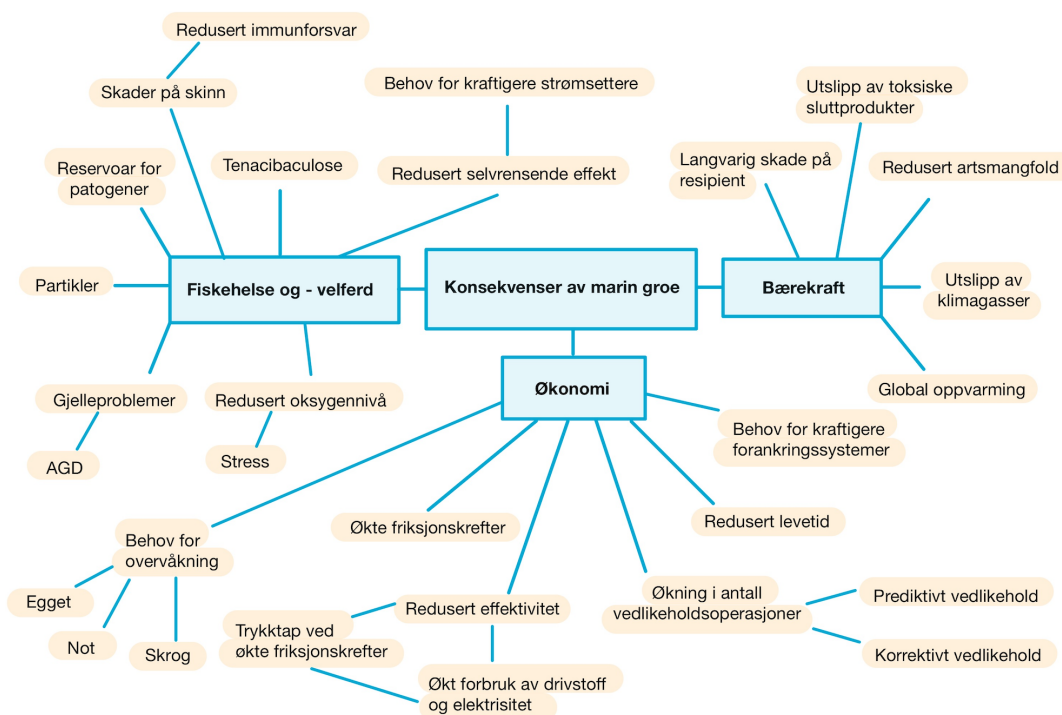
Gul sjøpung (*Ciona intestinalis*) er utbredt i områder med temperatur mellom -1 og 25 grader, og en salinitet mellom 12 og 30 promille. Det tyder på at forekomst av fjærblomst virker attraktivt på gul sjøpung. Gytingen foregår når temperaturen passerer 8 grader, fra juni-oktober. I områder med kjøligere temperatur, fra Nordland og oppover, foregår gytingen i to adskilte perioder. Ved høyere sjøtemperaturer vil gytingen foregå uten avbrudd. Hvis noten ikke blir spylt godt nok, vil det bidra til kraftigere påslag ved neste gyteperiode. Kalde sjøtemperaturer ser ut til å redusere påslaget påfølgende vår. De kalde temperaturene vil bidra til å hemme modning og øke dødeligheten hos den potensielle gytebestanden (Steen-Hansen 2015). Det finnes ulike typer sjøpung, blant disse har vi gul sjøpung, asiatisk sjøpung og havnespy. Sistnevnte er en av flere arter som stadig er på vei nordover (U. Ulriksen, personlig kommunikasjon, 17.april 2024).

2.3.8 Kalkrørsormer

Kalkrørsormer er et havlevende dyr som bygger rør av kalk hvor rørene fester seg til et hardt underlag. Dyret sitter gjemt i røret og bruker sin tentakkelkrone til å fange plankton i vannet. Røret sitter fast på underlaget langs hele rørlengden (Bakken og Sømme 2024a), og danner en overflate som kan gi skader på fiskens skinn ved kontakt (A. C. Opshaug, personlig kommunikasjon, 16.april 2024). De fleste artene er utbredt langs hele kysten. Trekantmark er en av de vanligste og mest utbredte artene. De lever på grunt vann på et hardt underlag (Bakken og Sømme 2024b). De trives best i områder med lite strøm og gyting foregår hovedsakelig om sommeren (Kroglund 2011).

2.4 Konsekvenser for fiskehelse og -velferd

En definisjon av dyrevelferd er den livskvaliteten dyret selv oppfatter (Noble mfl. 2018). Med dette menes det at fisken har en viss form for bevisst, kvalitativ opplevelse av livet. I fiskeoppdrett og matproduksjon generelt, er det mange fordeler med god dyrevelferd. Det er en felles forståelse for dette blant oppdrettere, og en optimalisering av driften hvor fiskens helse står i fokus, er dermed viktig for alle. Fordelen med et lukket anlegg som Egget[®], er blant annet at man unngår lakselusinfeksjon ved å pumpe vann fra dypet. Det finnes likevel velferdsutfordringer i et slikt anlegg. Et av fiskens viktigste velferdsbehov er god vannkvalitet og hygiene, se tabell 1. Inntaksvannet kan inneholde patogener på grunn av for eksempel algeoppblomstring, som vil være med å påvirke fiskehelse- og velferd. Andre groearter kan også forårsake problemer knyttet til fiskehelse, se figur 7.



Figur 7: Konsekvenser av marin groe

2.4.1 Partikler

For å opprettholde gode vannforhold og gi fisken optimal fiskehelse og vekst, er det mange parametre å ta hensyn til (Attramadal 2021). Å holde partikkelkonsentrasjonen og turbiditeten i vannet så lav som mulig er ideelt for fisken, se tabell 1. Dette innebærer at avfallsstoffer som ammoniakk og frigjorte partikler, transporteres bort fra fiskens nærmiljø. Uavhengig av om fisken er i et lukket system, eller i merd, hvor strømforholdene på lokaliteten blir avgjørende.

De store utfordringene og konsekvensene knyttet til marin groe i oppdrett, gjør at jevnlig rensing og rengjøring av anlegg er nødvendig (Floerl mfl. 2016). Rengjøringsrutinene vil skape nye utfordringer. I konvensjonell oppdrett er høytrykkspyling en metode som brukes hyppig. Alt materialet som fjernes i en slik operasjon vil frigjøres til det omkringliggende miljøet. Dette består ofte av groeorganismer, men kan også inneholde patogener og partikler fra impregnering. Frigjøring av

slikt materiale kan blant annet føre til helse- og sykdomsrisiko for fisk, samt forurensning.

En helse- og sykdomsrisiko for oppdrettsfisk er at partikler kan gi direkte skade på sensitivt vev, for eksempel ved kontakt med gjeller og skinn. Dette er spesielt et problem i groesamfunn som består av nesledyr, for eksempel hydroider (Floerl mfl. 2016). Bloecher mfl. gjennomførte en studie på hvordan rengjøringstiltak mot marin groe kan påvirke fisken og miljøet rundt. De fokuserte på påvirkning fra hydroider, og målte gjennomsnittskonsentrasjonen av groepartikler innenfor merden både før og etter rengjøring av not. Gjennomsnittskonsentrasjonen økte betydelig etter rengjøringen. Over halvparten av partiklene besto av hydroider eller fragmenter av hydroider. Det tilsvarte en mengde som var 41 ganger større enn før rengjøringen (Blöecher, Broch mfl. 2024). Disse resultatene understreker at det er et stort behov for rengjøringsmetoder som forhindrer frigjøring og spredning av avfall, og begrenser risiko knyttet til biosikkerhet. Særlig er det viktig med oppsamling av slikt avfall om samme metode skal brukes i et lukket system, som Egget[®] (A. C. Opshaug, personlig kommunikasjon, 16.april 2024). Dette med bakgrunn i at kontakttiden mellom fisken og partikler i vannet er betinget av systemet .

2.4.2 Groe som reservoar

Groeorganismer kan være verter for patogener (Floerl mfl. 2016). I et norsk prosjekt fra 2014 ble potensielle reservoar for *Paramoeba Perurans* undersøkt. Det er *Paramoeba perurans* som påvises ved amøbegjellesykdommen ”AGD”, hos laks i sjø (Sommerset mfl. 2024). Undersøkelsen identifiserte amøben i groeorganismer, blant annet blåskjell og hydroider, samlet fra merdnettene på et anlegg som hadde akutt AGD utbrudd (Hellebø mfl. 2014). Det tyder på at amøben er avhengig av adhesjon til et underlag for å vokse. I tillegg kan det se ut til at den er avhengig av organiske næringsstoffer og bakterier (Tan mfl. 2001). På bakgrunn av dette spekuleres det i om groe er et reservoar for AGD, mer om dette under kapittel 2.4.3.

Et forsøk fra 2001 utført av Colin mfl. viser at *Paramoeba P.* var til stede i en rekke miljøer med marin groe, som blåskjell, hydroider og sjøpølser (macrofoulers), biofilm og biofouling aggregater (microfouler samfunn). Dette forsøket tok sted på et oppdrettsanlegg i Tasmania. Det ble gjennomført i en tidsperiode fra mars til juni. Funnene er derfor påvirket av sesongvariasjon. Resultatene viser at parasitten er i stand til å etablere seg i forskjellige marine vertsorganismer og substrater. Studien understreker at marin groe bør vurderes som en risikofaktor for AGD. En målrettet håndtering av marin groe kan være en effektiv strategi for å kontrollere forekomst og spredning av AGD (Tan mfl. 2001). I tillegg er det verdt å bemerke seg at studien bekrefter at utstyr som brukes i oppdrettssammenheng også bør kontrolleres og rengjøres for marin groe. Dette gjelder spesielt på nett i konvensjonelle merder (Tan mfl. 2001).

2.4.3 Gjelleproblemer

Oppdrettslaks er utsatt for gjelleskader og gjellesykdom gjennom hele livsløpet, men spesielt i sjøfasen. Det er flere faktorer som spiller inn som årsak til skade på gjellene. Blant årsakene finner vi ugunstig vannmiljø, infeksiøse agens, alger og maneter. Den mest kjente amøben, *Paramoeba perurans* forårsaker AGD (se delkapittel 2.4.3) og har siden 2012 vært årsaken til store tap i norsk og internasjonal havbruksnæring (Haukaas 2024). Parasitten er en frittlevende og opportunistisk amøbeart som fester seg til gjellelamellene (Furtado mfl. 2022). Utfordringen med denne parasitten

er at den ikke er knyttet til et spesielt dyp (Sommerset mfl. 2024). Vanninntak under lusebeltet, som i Egget[®], har dermed ingen påvirkning på amøben. De viktigste risikofaktorene for utbrudd er høy salinitet og temperatur (Sommerset mfl. 2024), men i Norge forekommer det også utbrudd i temperaturer ned mot 5-6 grader (Haukaas 2024). Typiske sykdomstegn hos fisk med AGD er respirasjonsvansker, dårlig matlyst, redusert svømmeaktivitet og trege fluktreaksjoner (Haukaas 2024). I tillegg fører AGD til økt slimproduksjon og dannelse av hvite slimflekker på gjelleoverflaten, se figur 8 (Furtado mfl. 2022). Jevnlige prøveuttak av gjeller til histologisk undersøkelse og PCR er et viktig verktøy for å overvåke gjellehelse. Rutinemessig oppfølging bør spesielt forekomme i forkant av risikoperioder for å iverksette målrettede tiltak tidlig i sykdomsforløpet, slik at en unngår alvorlig gjellesykdom. AGD behandles med hydrogenperoksid (H₂O₂) eller ferskvann. Ingen av behandlingsalternativene er 100% effektive, men behandling med ferskvann er både den mest effektive og skånsomme formen (Sommerset mfl. 2024).



Figur 8: Fisk med AGD, hentet fra (Haukaas 2024). Foto: Jannicke Wiik-Nielsen

Det har som nevnt vært spekulasjoner rundt marin groe som reservoar for bakterier og patogener. I 2018 utførte Nina Blöcher mfl. ved SINTEF Ocean et forskningsprosjekt for å undersøke sammenhengen mellom AGD utbrudd og notspyling (Blöcher, Powell mfl. 2020). I sommerhalvåret er det tidvis nødvendig med ukentlig notspyling for å forhindre groe (Wiik-Nielsen 2017). En eventuell sammenheng mellom AGD utbrudd og notspyling vil dermed være kritisk. Forsøket gikk ut på å tilsette hydroider fra spyling av nøter, og deretter tilsette *Paramoeba perurans*. Resultatet viste en tydelig sammenheng mellom redusert gjelletilstand og frigjorte hydroider ((Blöcher, Powell mfl. 2020), (Wiik-Nielsen 2017)). Det fremgikk derimot ingen tydelig sammenheng mellom AGD-syke individer og frigjorte hydroider.

Forsøket pågikk over fem uker, som er betydelig kortere enn opdrettpfiskens tid i sjø (Hansen 2019). I tillegg var konsentrasjonene av frigjorte hydroider noe konservative, sammenlignet med det reelle merdmiljøet. De frigjorte hydroidene hadde likevel stor påvirkning på gjellevevet, som indikerer at høyere konsentrasjoner og lengre eksponeringstid bør undersøkes videre. Selv om det ikke var noen tydelig sammenheng mellom AGD-syke individer og frigjorte hydroider, burde interaksjoner med andre patogener på de svekkede gjellene undersøkes videre. I artikkelen påpekes det også at en reversert modell burde undersøkes, altså hvordan frigjorte hydroider og partikler vil påvirke

AGD-syke individer ((Blöecher, Powell mfl. 2020), (Wiik-Nielsen 2017)).

Hydroider og sjøanemoner er også viktige agens for gjelleproblemer hos oppdrettslaks (Floerl mfl. 2016). Kun kort kontakt med ”manettråder” har også vist å forårsake store skader og irritasjon på gjellene hos oppdrettslaks, se kapittel 2.3.5. Ved anlegg som har store problemer med hydroider, kan tråd-materiale bli frigjort under rengjøringsprosessen.

2.4.4 Tenacibaculose

Tenacibaculum er en bakterie som gir atypiske vintersår og utbrudd av sykdommen Tenacibaculose hos laks. Sårene er forskjellige fra de klassiske vintersårene som *Moritella Viscosa* forårsaker (Veterinærinstituttet 2024a). Tenacibaculose kjennetegnes ved sår i munn-/hoderegionen (se figur 9) og er assosiert med høy dødelighet hos nyutsatt smolt. Sykdommen er ofte forbundet med kalde vanntemperaturer (Veterinærinstituttet 2024b). Til tross for den negative innvirkningen bakterien har på havbruksnæringen, finnes det lite forskning om hvordan den overlever og sprer seg, for eksempel gjennom biofilmdannelse. Bakterier kan feste seg til forskjellige overflater gjennom biofilmen og dermed beskytte seg mot ytre påvirkning. Det man vet er at bakterien ofte infiserer gjennom fiskens hudoverflater, og at den kan finnes i sediment, på overflater i tanker og i vann som har vært i kontakt med syk fisk. Marine organismer, som maneter, kan fungere som leveområder for bakterien. Maneter kan også være kilden til infeksjon, spesielt gjennom skader forårsaket av nesleceller (Levipan mfl. 2019).



Figur 9: Fisk med tenecibaculose, hentet fra (*Tenecibaculose* 2024)

Ettersom *Tenacibaculum* befinner seg i slimlaget på fisken, tyder det på at bakterien kan være en naturlig del av bakteriefloraen på fiskehud (Levipan mfl. 2019). Bakterien kan dermed bruke fiskens slim som reservoar og derfor overleve lenge i vannmiljøet. Dette støtter hypotesen om at bakterien har evne til å produsere biofilm, som kan være knyttet til dens evne til å overføre sykdommen. Levipan mfl. utførte i 2019 en studie for å undersøke denne hypotesen ytterligere, og se om hvorvidt det er en sammenheng mellom bakterien og biofilmdannelse. Resultatene fra forsøket viser at alle stammene av bakterien hadde tendens til å utvikle næringsrike biofilmer over tid. Den raske overgangen fra planktoniske til sessile celler (se figur 13), førte til en dannelse av mikrokoloni-strukturer. Dette indikerer at biofilmen dannes raskt og kan fungere som reservoar for bakteriestammene, som videre kan føre til utbrudd av tenecibaculose, spesielt når bakterien løsner

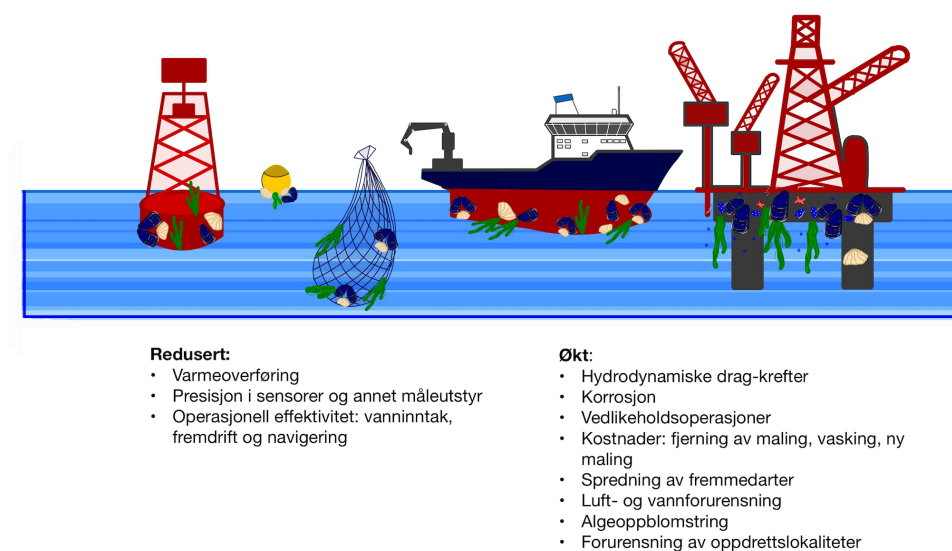
fra biofilmen. Videre forskning på dette området kan være viktig for kartlegging av spredning og forebygging av sykdommen. Ved å raskt identifisere og forstå hvordan bakterien oppfører seg og etablerer seg på overflater, kan en skape effektive strategier for å hindre biofilmdannelse og videre utbrudd av sykdommen.

2.5 Ytterligere konsekvenser

Det er mange konsekvenser knyttet til marin groe (Romeu og Mergulhão 2023). Både direkte knyttet til artene som gror, men også indirekte konsekvenser. Groe påvirker ikke bare det nærliggende økosystemet, men er også en indirekte årsak til utslipp av klimagasser, global oppvarming, redusert artsmangfold og økte kostnader i både skipsindustri og fiskeoppdrett.

Med hensyn til bærekraft er den største konsekvensen av marin groe at de nærliggende økosystemene forstyrres (Romeu og Mergulhão 2023). Både behandlingen av groe, og groe i seg selv, kan bidra til et redusert artsmangfold. For eksempel vil arter som gror på marine fartøy forflyttes langt og ofte være innom forskjellige geografiske områder. Begroing på skip bidrar dermed til spredning av arter. Fremmedarter som kommer inn i havneområdene kan gjøre de lokale artene mindre konkurransedyktige, og medføre at genetisk seleksjon forstyrres av mer tilpasningsdyktige fremmedarter. Dette kan resultere i utryddelse av de lokale artene. Utslipp fra håndtering av groe er også en trussel mot artsmangfoldet, se kapittel 2.6.

I tillegg til direkte konsekvenser knyttet til groe, er det en rekke indirekte konsekvenser. Når det gror på fartøy og konstruksjoner i sjø, som Egget[®], vil dragkreftene øke (Romeu og Mergulhão 2023). Som betyr at friksjonskreftene fra vannet på konstruksjonen øker. Økte krefter medfører redusert effektivitet, og skip trenger dermed mer drivstoff for å forflytte seg den samme avstanden. Økt forbruk av drivstoff gir også økte utslipp, dermed er global oppvarming og utslipp av klimagasser indirekte konsekvenser av marin groe. Kostnader allokert til økt forbruk av drivstoff innen skipstransport er estimert til 35-50% av de totale driftskostnadene. Det medfører også en kostnad når marine konstruksjoner skal behandles mot groe. Enten det er kostnader knyttet til hyppigere ordinært vedlikehold eller til selve groebehandlingen. Generelt kan groe redusere den operasjonelle effektiviteten i marine prosesser. Groe er problematisk både med hensyn til skipsfremdrift, varmeveksling, rør og vanninnløp, se figur 10. Groe kan også forårsake betydelig redusert nøyaktighet i måleinstrumenter.



Figur 10: Konsekvenser av marin groe, inspirert av (Romeu og Mergulhão 2023)

Andre konsekvenser av marin groe er knyttet til matproduksjon og menneskehelse. Enkelte groe-organismer skiller ut giftige stoffer, og kan forurense oppdrettslokaliteter. Dette kan skje både med konvensjonell fiskeoppdrett og med dyrking av skalldyr i sjø (Bannister mfl. 2019). Et annet velkjent problem er algeoppblomstring (Romeu og Mergulhão 2023) som er skadelig, om ikke dødelig for fisken, se kapittel 2.3.1 (Havforskningsinstituttet 2024). I havbruksnæringen er det estimert at 10% av produksjonskostnadene er knyttet til håndtering av groe (Bannister mfl. 2019). Det er gjort beregninger på totale håndteringkostnader knyttet til groe per produksjonssyklus, i norsk lakseoppdrett. På en typisk lokalitet med åtte merder, utgjør disse 420.000 - 493.000\$, i dagens kurs tilsvarer det nærmere 5,4 millioner norske kroner (Blöcher og Floerl 2020). Det utgjør en kostnad på nesten 700.000 kr per not.

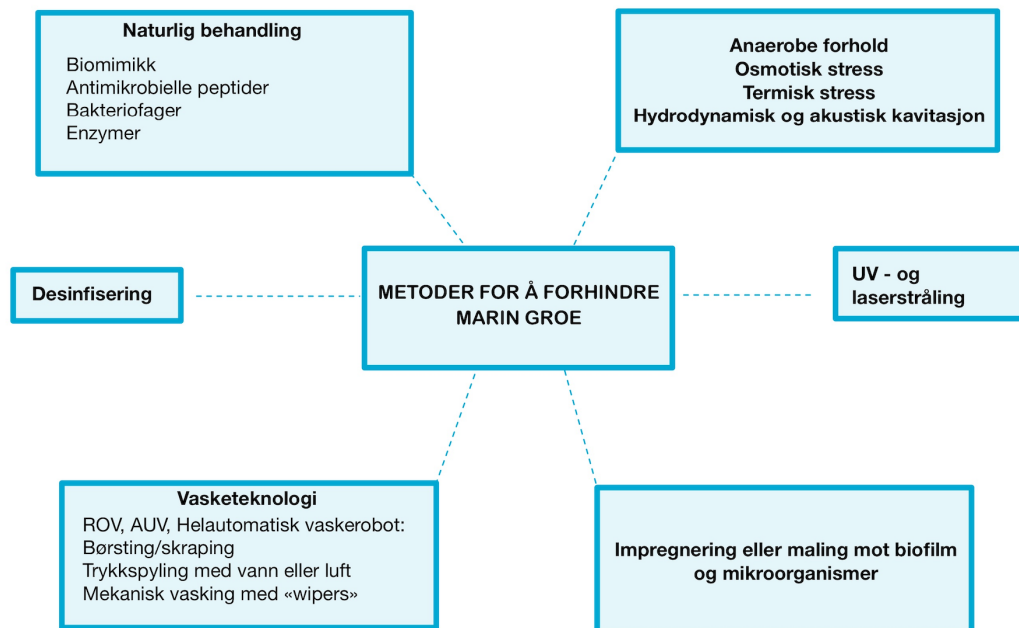
2.6 Måter å forhindre groe

Menneskeskapte, statiske konstruksjoner i sjø er utsatt for marin begroing, både med konsekvenser på kort- og lang sikt (Hopkins mfl. 2021). Koloniseringspresset er stort fra mikroorganismer, makroalger og bløtdyr. Potensialet for håndtering av groe er stort, både for å gjøre metodene mer miljøvennlige, kostnadseffektive, øke biosikkerheten og gjøre metodene mer effektive. Det er først i nyere tid man har oppdaget konsekvensene marin groe kan forårsake. Groe er for eksempel en stor trussel mot den primære flombarrieren til Venezia.

Frem til den første groeforhindrende malingen ble påvist å være giftig (Romeu og Mergulhão 2023), var dette den vanligste metoden å benytte for å forhindre groe. Denne malingen inneholdt blant annet arsenikk, sink, tinn og kvikksølv. Dette regnes også for å være den første strategien for å motvirke groe (Romeu og Mergulhão 2023) og (Romeu og Mergulhão 2023). Det som imidlertid regnes som den første kostnadseffektive måten, ble oppdaget på 60-tallet. Dette var de Tributyltinn (TBT) -baserte biocidene, med egenskaper som viste effektiv robusthet mot groe og samtidig hadde forholdsvis lave produksjonskostnader (Romeu og Mergulhão 2023). I likhet med eksisterende løsninger ble også denne metoden påvist å være giftig for miljøet. Som følge av miljøkonsekvenser ulovliggjorde flere myndigheter de TBT-baserte biocidene. I 2003 vedtok den internasjonale maritime organisasjonen (IMO) at disse biocidene ikke lenger skulle være lovlige å benytte, med ikrafttredelse i 2008 (Romeu og Mergulhão 2023).

Som følge av dette ble det nødvendig å finne nye måter å forhindre vekst av groe på marine konstruksjoner og fartøy. Metoder som osmotisk behandling, anaerobe forhold og termisk behandling ble etterhvert utprøvd. UV- og laserbehandling samt hydrodynamisk og akustisk kavitasjon ble også mulige alternativer. Blant mange utprøvd metoder, var det mekanisk behandling som vant frem. De vanligste metodene i dag er reaktiv mekanisk håndtering. Som betyr mekanisk håndtering av groe som har etablert seg. Bruk av høytrykksspyling og børsting er blant de vanligste mekaniske metodene. Ulempen med høytrykksspyling er at det er en reaktiv metode, og har som formål å begrense skadene fra groe som allerede har oppstått (Romeu og Mergulhão 2023). Børsting derimot er både en reaktiv og preventiv metode å forhindre groe (A. C. Opshaug, personlig kommunikasjon, 15.mai 2024).

Mekanisk behandling er bare en av flere strategier, i dag benyttes også kjemiske og biologiske metoder, se figur 11. Noen av de vanligste kjemiske metodene er impregnering og bunnsmøring (Hopkins mfl. 2021), som begge er preventive (Romeu og Mergulhão 2023). Andre metoder benytter biomimikk og nanoteknologi, peptider, bakteriofager eller spesifikke enzymer for den gjeldende overflaten (Hopkins mfl. 2021). Mange av disse metodene er for kostbare til å bli benyttet kontinuerlig, og er derfor kun reaktive tiltak. En annen tilnærming er de preventive tiltakene, som tar sikte på å forhindre eller forsinke vekst av groe. Det forskes enda på å finne gode, preventive metoder (Romeu og Mergulhão 2023) og ønsket er å endre strategien fra reaktive - til forebyggende metoder. Slik forhindres eller utsettes dannelse av biofilm, og dermed også groe (Hopkins mfl. 2021).



Figur 11: Metoder for å forhindre groe, inspirert av (Romeu og Mergulhão 2023)

I dag er det et globalt forskningsområde å finne gode løsninger for å motvirke groe på marine fartøy (Hopkins mfl. 2021). Det er klare incentiver for å finne gode måter å forhindre groe på, særlig i de stadig strengere regelverkene. Kostnads- og bærekraftsrelaterte incentiver er også sentrale, se kapittel (2.5). Ytterligere incentiver knyttet til utbedring av metodene, kommer av at mange av dagens løsninger har store skadevirkninger på organismer som ikke forårsaker groe. I tillegg har enkelte impregnerings - og smøremidler lang levetid og brytes ikke ned naturlig (Romeu og Mergulhão 2023).

2.6.1 Impregnering

Kobber benyttes som et antibegroingsmiddel ved å påføre det som impregnering på nøtene. Dette hindrer marin groe, som blåskjell og alger, å vokse på merdene (E.F. Grefsrud mfl. 2023). Kobber som impregnering har effekt mot groe, når kobberet finnes på ioneform. Kobber(I)oksid (Cu_2O) blir stort sett brukt fordi forbindelsen er lite løselig i vann. Det gjør at den slipper ut kobberioner (Cu^{2+}) langsomt og kontrollert over tid (Netkem AS 2024). 2021 er det siste året med data på forbruk av kobber. Her ble det registrert 1097 tonn kobber til bruk som groehemmende middel. Dette tilsvarer en nedgang på 35% fra 2019. Samtidig var det en økning i forbruk av tralopyril og sinkpyrithion, som var erstatning for kobberforbruket (E.F. Grefsrud mfl. 2023). Bruken av disse to biocidene har økt kraftig siden 2017 (Grøsvik mfl. 2023).

Kobber kan være giftig for ulike vannlevende organismer og føre til redusert artsmangfold ved konsentrasjoner høyere enn artens tålegrense (E.F. Grefsrud mfl. 2023). Ved impregnering av nøter vil det lekke kobber ut i vannet som enten spres eller synker ned i nærmiljøet rundt anlegget. Sjøbunnen under og rundt anlegget kan inneholde høye konsentrasjoner fordi kobberet kan akkumulere over tid. Spyling av kobberimpregnerte nøter vil føre til en økning i utslipp av kobberpartikler i nærmiljøet. Det er antatt at 80% av kobberet brukt som groehemmende middel i EU, blir sluppet ut i miljøet. I 2021 tilsvarer dette et utslipp av 877 tonn kobber.

Kobber kan tas opp av marine organismer. Studier av akkumulerte stoffer i biologiske organismer viser at opptak av kobber til marine organismer hovedsakelig skjer som kobberion (Cu^{2+}), som er den giftigste formen (E.S. Grefsrud mfl. 2022). Marine virvelløse dyr er mest sårbare for kobbereksponering i tidlig stadie, og blir mer robust i voksne stadier. Kombinasjonen av kobberimpregnering og spyling fører til et høyt utslipp av partikler som sedimenterer (Grøsvik mfl. 2023).

Leverandører av kobberbasert impregnering påstår at kobber er svært lite giftig for fisken (Netkem AS 2024). Det har likevel vært mange tilfeller av dødelighet trolig knyttet til bruk av kobberør i settefiskanlegg (Rosseland og Kristensen 2021). Årsaken er at kobberioner, enten Cu_2^+ eller Cu^+ forstyrrer ioneopptak over gjellene til fisken. Kobber konkurrerer både med NH_4^+ og Na, og kan forstyrre den essensielle NA-K-ATPasen. Frem til startføring er kobber mindre giftig for fisken. Når yngelen ernærer seg på proteinrikt fôr, reduseres toleransen for kobber. I tilfeller hvor dødeligheten er antatt å skyldes ammoniakk eller ammoniumforgiftning, er det like sannsynlig at forgiftningen skyldes kobberkonsentrasjonen. Særlig er det forekomst av Cu^+ fra impregnering av not eller bunnsmøring av båter, som er årsaken til kobberforgiftning i sjøvann.

Et alternativ til kobber, Tralopyril, ble godkjent til bruk i 2014 og er mye av grunnen til den store nedgangen i bruk av kobber (Grøsvik mfl. 2023). Det er et lett nedbrytbart stoff og har en halveringstid på 9 timer i sjø, avhengig av temperatur og lys (Hoddevik 2024). Det fungerer som et antibegoringsmiddel fordi stoffet hemmer oksygenopptaket og metabolismen til groeorganismene (Hoddevik 2024). Det er imidlertid ikke utført nok forskning på hvilken effekt tralopyril, og nedbrytningsproduktene det blir omdannet til, vil ha på miljøet. Unntaket er endeproduktet trifluoracetat som ikke blir brutt ned, og er giftig for marint liv (Hoddevik 2024). Man ønsker ikke at dette stoffet skal bygge seg opp i miljøet. Tralopyril blir ofte brukt sammen med sinkpyrithion eller kobberpyrithion. Det er heller ikke kunnskap om hvordan dette påvirker økosystemet (Hoddevik 2024). Det er dermed vanskelig å si noe om hvorvidt tralopyril er bedre for miljøet enn kobber. Risikorapporten utarbeides årlig av Havforskningsinstituttet, og vil i 2024 ta for seg effekten av disse to erstatningsstoffene (E.F. Grefsrud mfl. 2023).

2.6.2 Vaskeroboter

Det er i dag utarbeidet flere ulike løsninger innen vasketeknologi i akvakultur. Blant disse finnes både ROV'er, AUV'er og helautomatiske løsninger. En AUV er et autonomt undervannsfartøy, til forskjell fra ROV som er et fjernstyrt undervannsfartøy. ROV'er har de siste årene tilrettelagt for praktiske og økonomiske løsninger i den marine industrien. Ikke bare innen akvakultur, men også i andre næringer som olje og gass, shipping og forskning, er dette populært. De første ROV'ene ble utviklet for militære formål på midten av 1900-tallet. En ROV kan ha ulike egenskaper, men er som regel bygget opp av en undervannsrobot med tilkobling til land, hvor den styres av en bruker. ROV'er som opererer høyt oppe i vannsøylen kommuniserer ofte med brukeren gjennom en tynn kabel, skal den dypere i vannsøylen kreves det derimot kraftigere kabler (Thompson 2024).

Det er viktig å merke seg forskjellen på fjernstyrte, autonome og helautomatiske roboter. For å beskrive hva som skiller ulike vaskeroboter fra hverandre er maskinvare og programvare viktige begreper (GFC Global 2024). I forbindelse med vaskeroboter brukes maskinvare om de fysiske komponentene roboten består av, for eksempel thrustere og børster. Programvare brukes her som instruksjonene roboten arbeider ut ifra, for eksempel vil en ROV kreve en bruker på land, som styrer roboten. Dette gjøres ved hjelp av et brukergrensesnitt, som fjernkontroll, dataprogram

eller app (Thompson 2024). En AUV har mer kompleks programvare og vil ikke kreve en bruker (Thompson 2024). Den er derimot fullstendig autonom og tar alle valg selv (K. Nærheim, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). Mellom disse to finner vi også et produkt som går under kategorien helautomatisk. En helautomatisk robot er programmert til å ta valgene selv, men stanser dersom den ikke forstår hva den skal gjøre. Her kommer brukeren inn i bildet og overstyrer dataprogrammet der det ikke strekker til (K. Nærheim, personlig kommunikasjon, 17.april 2024).

I oppdrett, shipping eller olje og gass er inspeksjoner helt nødvendig, dette kan være både tidkrevende og kostbart. I shipping industrien er groe på skrog et velkjent problem. Dette kan som nevnt resultere i redusert operasjonell effektivitet, økt forbruk av drivstoff og redusert hastighet (Thompson 2024). Det er dermed viktig å overvåke utviklingen av groe. Her kan undervannsroboter være et alternativ til menneskelige dykkere, som gir redusert risiko (Thompson 2024). Utviklingen viser at AUV'er i økende grad brukes for å utføre undervannsoperasjoner, blant annet for å overvåke havstrøm, saltholdighet, kartlegge bunnforhold eller utføre rørledningsinspeksjon (Forskningsrådet 2024). Dagens AUV'er klarer ikke å samarbeide, som medfører at roboten operer som at den er alene. Dersom flere AUV'er benyttes i samme system, må disse ha ulike ruter for å unngå overlapp. Dette skyldes at AUV'ene ikke er i stand til å planlegge ruten sin på nytt, basert på arbeid som allerede er utført. Trådløs kommunikasjon er også vanskeligere i vann enn i luft, som skyldes tregere signalgang og dårligere datakapasitet (Graven 2024). I dag benyttes tungt og stort, kablet utstyr til datainnsamling i vann. Ved kortere avstander benyttes droner eller ROV'er, dette medfører ofte begrensninger og dårligere kartlegging.

Noen av produsentene av dagens robot løsninger er Aquarobotics og Remora Robotics. Disse produserer blant annet ROV'er, AUV'er og helautomatiske vaskeroboter. Flere av disse er designet for notvask i konvensjonell oppdrett. Robotene som brukes i konvensjonell merdoppdrett har ulike utforminger, et eksempel på dette er Halo fra Aquarobotics, se figur 12 (K. Nærheim, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). Denne roboten installeres på merdringen og går kontinuerlig gjennom hele døgnet og produksjonssyklusen. Roboten er helautomatisk og oppdretterens eneste ansvar er å holde noten stram nok til at roboten kan operere langs notveggen, samtidig må noten holdes fri for hinder som roboten potensielt kan sette seg fast i. Denne roboten har kun børsting og ingen spyling, med hensikt å ivareta fiskehelsen. I følge CEO i Aquarobotics er målet for veien videre: ”å øke rengjøringseffekten av roboten, samtidig som å se på kombinasjoner av ulike renholdsløsninger”.



Figur 12: Bilde fra leverandør av Halo fra Aquarobotics og Autonom Vaskerobot fra Remora Robotics, hentet fra henholdsvis (Aquarobotics 2024) og (Remora Robotics 2024).

Et alternativ til Halo fra Aquarobotics, er Remora Robotics sine roboter, se figur 12. Disse er

autonome og har aktive børster, her mottar brukeren sanntidsdata fra roboten. Målet med denne er å gi kunden tilgang til informasjon som skal utbedre beslutningsgrunnlaget med hensyn til fiskehelse. I tillegg til å håndtere groe, ønsket Remora å bevisstgjøre oppdretter på situasjoner i noten til enhver tid. Roboten kan bidra til å detektere hull, ferskvannslag, rømming og andre hendelser som for eksempel forekomst av perlesnormanet. Ved å bytte ut tradisjonelle spylebåter med robot, spares inntil 60 tonn CO₂-utslipp per lokalitet (S. E. Gregersen, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). I tillegg til å redusere utslippene vil roboten øke biosikkerheten. Dette ved å redusere fartøytrafikk mellom ulike lokaliteter, som medfører risiko for smittespredning (S. E. Gregersen, personlig kommunikasjon, 17.april 2024).

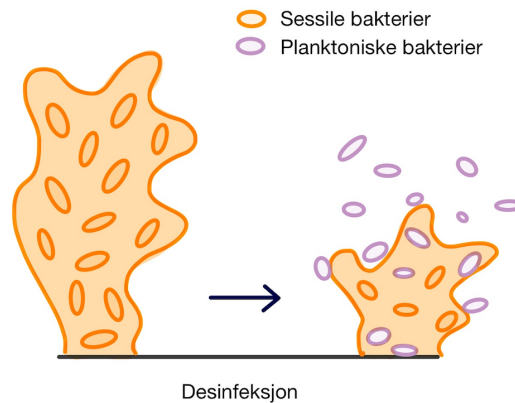
Flere merdoppdrettere benytter seg i dag av ROV, for eksempel har Mowi autonome vaskesystemer på 10 av 28 anlegg (B. Østebovik, personlig kommunikasjon, 17.april 2024). Det rapporteres et gjentakende problem knyttet til mye nedetid, uavhengig av leverandør. Flere problemer med dagens vaskeroboter er også rapportert av Mowi, se tabell 3. Dette har resultert i en økning fra én til to enheter per merd, som medfører større investeringskostnader. Mowi oppfordrer produsentene til å øke renholdseffekten til robotene og sørge for bedre oppetid. Samtidig påpekes det at selskapet vil øke ordrevolumet betydelig når driftssikkerheten er utbedret. Mowi påpeker også et ønske om å gå helt bort fra impregnering og dykkere. Spyling er heller ikke ønsket. Fremtidsplanen er å gå over til kun autonome vaskesystemer med børsting, med hensyn til gjellehelse og redusert behov for infrastruktur (B. Østebovik, personlig kommunikasjon, 17.april 2024).

Tabell 3: Problemer med dagens vaskeroboter, rapportert av Mowi (B. Østebovik, personlig kommunikasjon, 17.april 2024)

Problemer med dagens vaskeroboter
For lav oppetid
Bekymring for groesesongen's topp
Driftsmodellen er for svak
Det kreves gjensidig tilpasning fra både oppdretter og leverandør
For svak økonomisk driftsmodell

2.6.3 Desinfeksjon

Desinfeksjon er en prosess hvor man utsletter de fleste eller alle mikroorganismer. Her er det viktig å skille desinfeksjon fra sterilisering. Til forskjell fra desinfeksjon, inaktiverer sterilisering også bakteriesporer. Til desinfeksjon brukes varmebehandling eller kjemiske metoder (Myrvang 2024). Kjemisk bakteriedrepende midler har en giftig effekt som vil drepe marine organismer. Bakteriedrepende midler brukes for å spre eller ødelegge biofilmen ved å omgjøre sessile bakterier om til planktoniske bakterier, se figur 13. Når mikroorganismer lever fritt i vannmassene, har det kjemiske midlet bedre effekt og det er lettere å drepe bakteriene. Ulempen ved et stort forbruk av bakteriedrepende midler er negative påvirkninger på miljøet og som vil bidra til forurensning. I tillegg vil et langsiktig forbruk føre til at mikroorganismene blir resistente mot kjemikaliene (Li og Ning 2019).



Figur 13: Illustrasjon av planktoniske og sessile bakterier, inspirert av (Li og Ning 2019)

Under kjemisk desinfeksjon er det mulig å bruke flere kjemiske midler, deriblant hydrogenperoksid (H_2O_2) (Myrvang 2024). Hydrogenperoksid blir blant annet brukt som avlusningsmiddel (Hoddevik 2018). Som desinfeksjon finnes det hydrogenperoksidbaserte middelet Freebac 35. Oppbygningen av Freebac 35 er unikt da det er et miljøvennlig desinfeksjonsmiddel. Det brytes naturlig ned til oksygen og vann, og har dermed ingen negativ påvirkning på miljøet. Desinfeksjonsmiddelet pakkes inn i en gel som kun aktiveres ved kontakt med spesifikke biologiske markører. Dette gjør at hydrogenperoksid kun slippes ut når det er nødvendig. Freebac kan dermed brukes i store mengder for å fjerne hele biofilmen. Det skiller seg fra andre kjemiske desinfeksjonsmidler ved at det angriper patogener som befinner seg i biofilmen. De fleste desinfeksjonsmidler tar kun patogener som befinner seg i vannmassene. Det er heller ikke mulig for bakterier, virus og andre patogener å utvikle resistens (Plastron AS 2024). Freebac 35 kan enten påføres en overflate ved spray, eller doseres inn med vannet. Produktet er allerede brukt mot biofilm i drikkevannsystemer, i enkelte kommuner («Desinfeksjonsmiddel godkjent for akva-bruk» 2022).

Et bredt spekter av desinfeksjonsmidler for vannbehandling har vist effektiv kontrollering av marin groe (Romeu og Mergulhão 2023). Metoden brukes ofte for rengjøring av marint utstyr og enheter. Desinfeksjonsmidlene er tilgjengelig i både pulver- og tablettform, utstyret kan enten bades i midlet eller påføres det ved å sprøyte det på. TermoRens[®] Liquid 104 cleansing fluid (bestående av blant annet sitronsyre og fosforsyre) brukes ofte til å fjerne blåskjell, rur og andre marine organismer, og ses på som et miljøvennlig middel. Det samme gjelder Barnacle Buster[®] (i hovedsak bestående av fosforsyre), som skal være et ikke-giftig og biologisk nedbrytbart middel. Effekten av desinfeksjonsmidlet avhenger av groearten, men generelt vil det føre til skade og tap på celleveggen og cytoplasmamembranen, celledød, hemming av cellulær replikasjon og denaturering av proteiner i bakteriene.

2.6.4 UV-stråling

Elektromagnetisk stråling med bølglengder mellom 100 og 400 nm, altså kortere bølglengder enn synlig lys, kalles ultrafiolett belysning (Fjellheim mfl. 2016). Ultrafiolett belysning, også kjent som UV, deles inn i UV-A, UV-B og UV-C med henholdsvis 320-400 nm, 280-320 nm og 100-280 nm (Fjellheim mfl. 2016). Metoden er en fysisk desinfeksjonsmetode, som anses å være et grønnere alternativ til andre eksisterende metoder for å forhindre akkumulering av biofilm. Dette

skyldes at det ikke dannes en avfallstrøm i etterkant av behandlingen (Kviatkovskii mfl. 2018). Det har tidligere blitt vist at UV-stråling kan inaktivere planktonceller fra arter som *Pseudomonas aeruginosa* - en klassisk vannbakterie, effektivt. Inaktivering av bakterier kan redusere tilvekst av biofilm (Kviatkovskii mfl. 2018).

UV er en velkjent strategi for å kontrollere formering av bakterier i vann, og kombineres ofte med andre rensemetoder (Kviatkovskii mfl. 2018). I dag benyttes UV i de aller fleste RAS-anlegg (M. Ramstad, personlig kommunikasjon, 11.mai 2024). Metoden benyttes alltid sammen med et filter, som regel omvendt osmose. Dette skyldes at omvendt osmose ikke fjerner bakterier og virus. UV på den andre siden, fjerner ikke partikler. I henhold til ”Forskrift om desinfeksjon av inntaksvann til - og avløpsvann fra akvakulturrelatert virksomhet”, skal inntaksvann desinfiseres med en metode som gir min. 99,9% inaktivering av ILA-virus og *Aeromonas salmonicida*. I tillegg skal inntaksvann filtreres med $\leq 300 \mu\text{m}$. Veterinærinstituttet har godkjent UV-stråling med UV-dose $\geq 25 \text{ mWs/cm}^2$, som metode for desinfeksjon av inntaksvann til settefiskanlegg. UV-behandling må kombineres med filtrering for å oppnå tilstrekkelig renseseffekt for inntaksvann på settefiskanlegg (Seglem 2024).

Bølgelengder på 254-250-270 nm har vist best effekt på biofilm, mens bølgelengder på 239 og 280 nm er langt mindre effektive. Resultatene er fremstilt i et forsøk på lab hvor biofilmen besto av én enkelt art. Dette i motsetning til naturen hvor biofilmen ofte er kompleks og består av flere arter. Resultatene viste ikke en direkte korrelasjon mellom inaktivering av biofilm i det naturlige miljøet, men at UV evner å bryte ned ulike arter som inngår i utviklingen av biofilm. Det ble påvist en direkte korrelasjon mellom dannelsen av biofilm og grad av inaktiverede celler, forårsaket av UV-behandlingen (Kviatkovskii mfl. 2018). Også NIVA har vist at en bølgelengde på 254 nm (UV-C) er mest dødelig for bakterier og virus. Årsaken til at denne bølgelengden viser størst effektivitet er at DNA absorberer denne bølgelengden mest effektivt. UV-strålene skader organismenes DNA, dermed forhindres videre replikasjon. Dette er den primære årsaken til at UV dreper virus og bakterier. Dersom UV-strålingen ikke er kraftig nok kan bakterier og virus etablere seg på nytt, enten ved fotoreparasjon eller mørkereparasjon. Ved riktig intensitet av blått lys, kan bakterier gjenoppstå ved fotoreparasjon. Tilsvarende kan fravær av lys forårsake mørkereparasjon. Virus kan som regel ikke benytte fotoreparasjon (Fjellheim mfl. 2016).

Den naturlige biofilmen er langt mer kompleks enn biofilmen fra forsøket utført av Kviatkovskii mfl. Et annet aspekt ved naturlige biofilmer, er samspeillet mellom artene. Både mellomartsamspill, metabolske prosesser og motstandsdyktighet er unikt for den naturlige biofilmen (Kviatkovskii mfl. 2018). Det er ikke dermed sagt at UV-stråling ikke kan motvirke naturlig biofilm. I dagens lukkede systemer, særlig i RAS-anlegg, er UV en anerkjent desinfiseringsmetode som kan anvendes både i ferskvann og saltvann (Attramadal 2021). En fordel med denne metoden er at det ikke er dokumenterte konsekvenser for hverken fiskehelse eller vannkvalitet. Det er derimot vist at høy turbiditet eller for lav intensitet på UV-belysningen kan hemme effekten av UV på bakterier og virus (Fjellheim mfl. 2016). UV er en attraktiv løsning fordi den har et lavt strømforbruk, er forholdsvis enkel og har moderate om ikke lave driftskostnader. UV-lampene, særlig UV-C, blir stadig mer tilgjengelige og det er nærliggende å tro at metoden både blir rimeligere og mer pålitelig. En kombinasjon av impregnering og UV kan på sikt bli like god som, eller bedre enn, de mekaniske metodene. Dette vil kreve en satsning på forskning og samarbeid i industrien (Delgado mfl. 2021).

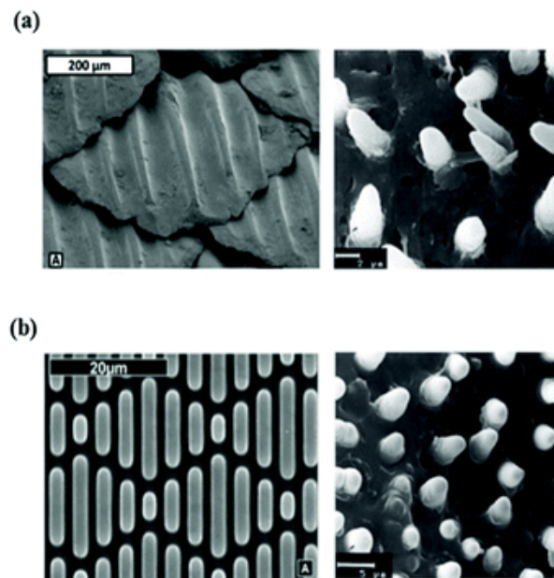
Bruk av UV for å hindre groe på sensorer har også gitt gode resultater. Den ikke-toksiske og biocid-frie behandlingsmetoden har i en tidligere studie redusert antallet vedlikeholdsoperasjoner

med 50%. I tillegg til å øke nøyaktigheten på sensorene, ga metoden en forlenget levetid på 6 måneder, og ved kontinuerlig bruk av UV-C ble marin groe på sensorer effektivt forhindret (Olsen 2024). I tillegg til å være biocid-fri og gi god forebygging mot groe, er metoden berøringsfri. Kontinuerlig UV-stråling har begrenset groe til $\leq 5\%$ tildekking av biofilm. I samme forsøk ble det vist at økt avstand mellom lampe og overflate reduserer mengden bløte groeorganismer. Parallelt ga økt avstand en større mengde harde groeorganismer. I dette forsøket var bølgelengden 254 nm. Den kontinuerlige strålingen som ga gode resultater ble gjort ved ulike avstander (25 mm til 275 mm) mellom UV-lampen og underlaget (Braga mfl. 2020).

Metoden kan også benyttes på ulike overflater og dermed bidra til forlenget levetid på flere instrumenter. Mekaniske vedlikeholdsoperasjoner i både oppdrettsnæringen og off-shore, kan være kostbare og tidkrevende. En økonomisk fordel ved denne metoden er å redusere antallet vedlikeholdsoperasjoner, som på sikt vil gi avkastning på investeringen (Olsen 2024).

2.6.5 Biomimikk

Under naturlige behandlinger finnes blant annet biomimikk. De siste årene har forskere brukt naturen som inspirasjon for å utvikle materialer som motstår marin groe, en prosess kjent som biomimikk (Xie mfl. 2019). Flere marine arter som hai, hval, delfin og krabbe, har skinn eller skall som naturlig motstår oppbygning av marin groe. Dette skyldes deres spesielle strukturer. Disse strukturene reduserer antall mulige steder hvor mikroorganismer kan feste seg. Forskere har forsøkt å kopiere eller etterligne denne effekten, se figur 14. Det er utviklet flere metoder for å gjenskape disse strukturene, blant annet fotolitografi, i tillegg til kjemiske metoder for å skape overflater med lignende egenskaper (Carman mfl. 2006). Et eksempel på dette er utført av Carman mfl., som benytter det gummilignende materialet PDMS. Gjennom en fotolitografisk behandling ble det konstruert en hauskinnlignende overflate på materialet. Denne strukturen har vist å effektivt kunne redusere vekst av grønnalgen "Ulva" (Carman mfl. 2006). Dette indikerer at bioinspirerte materialer kan bidra til å forbygge marin groe. Cao mfl. har utviklet en teknikk hvor spray-coating av polyelektrolytter brukes for å etterligne strukturene av hvalskinn for å gi overflaten lignende egenskaper. Det er imidlertid begrenset informasjon om hvordan disse materialene oppfører seg over lengre tid og i naturlig sjøvann. I tillegg kan effekten mot groe reduseres over tid på grunn av slitasje eller skader i strukturen (Cao mfl. 2010).



Figur 14: a) Overflatestrukturen til haiskinn og krabbeskjell, b) Etterligning av overflatestrukturen til haiskinn og krabbeskjell. Hentet fra (Xie mfl. 2019)

Utvikling og godkjenning av naturlige metoder, krever en lang og omfattende evalueringsprosess (Xie mfl. 2019). Dette inkluderer vurdering av deres funksjon, langtidseffekter og økologiske påvirkninger. I henhold til EU-regelverket må disse stoffene registreres før de kan brukes, på samme måte som tradisjonelle groeforhindrende stoffer. Biomimikk ser ut til å være lovende og miljøvennlig alternativ for å hindre marin groe. Det er likevel usannsynlig at etterligning av en enkelt biologisk egenskap hos dyr eller planter kan skape et materiale som hindrer forekomst av et bredt spekter groearter, og samtidig har langvarig effekt. En løsning kan være å kombinere flere av de naturlige mekanismene. Det gjenstår fortsatt mye forskning på dette området.

3 Metode

3.1 Problembeskrivelse

Problemstillingen for denne oppgaven er ”Å utføre en mulighetsstudie for renhold av det flytende, lukkede oppdrettskonseptet Egget[®]”. Oppgaven skrives i samarbeid med Ovum AS, og bakgrunnen for oppgaven er bedriftens ønske om å utbedre den eksisterende renholdsløsningen i Egget[®]. Målet med oppgaven er å foreslå en egnet løsning for renhold av Egget[®]. Dette ved å opparbeide kunnskap rundt groe, og parallelt få en forståelse for begrensningene ved renhold av Egget[®].

3.2 Litteraturstudie

Ved å utføre et litteraturstudie har gruppa samlet relevant informasjon fra forskning og studier. Her ble grunnleggende teori hovedsakelig gjennomgått i fellesskap. Deler av litteraturstudiet ble delt i et biologisk og teknologisk hovedfokus.

Innledningsvis ble de fundamentale forskjellene på åpen og lukket oppdrett i sjø gjennomgått. Dette ble gjort for å gi innblikk i nye problemstillinger som oppstår ved flytende, lukket oppdrett i sjø. Videre ble en gjennomgang av laksens biologi etterfulgt av miljøbaserte velferdsindikatorer i lukkede anlegg. Heretter delte gruppa fokuset opp i en biologisk og en teknologisk del, se tabell 4. Laksens biologi ble ansett å være av betydning for oppgavens helhet. Dette med bakgrunn i kommende teori rundt konsekvenser av marin groe for fiskehelse og - velferd, som krever en generell forståelse av laksens biologi.

Tabell 4: Arbeidsinndeling i litteraturstudiet

Biologisk	Teknologisk
Laksens biologi	Oppdrett i sjø - lukket vs. åpen

Når den grunnleggende teorien rundt laksens biologi og ulike typer oppdrett var gjennomgått, ble fokuset rettet mot generell groeteori. Dette for å sikre at gruppa fikk den samme, gode forståelsen av fundamentet til oppgavens problemstilling. Tema som ble gjennomgått i fellesskap presenteres i tabell 5.

Tabell 5: Fremgangsmåte gjennom første trinn av litteraturstudiet

Fremgang
Hva er marin groe?
Hvordan oppstår marin groe?
Ulike arter og utbredelse
Konsekvenser for bærekraft

For å effektivisere arbeidet og gi rom for dypere forståelse, valgte gruppa å fordele ulike grener av teorien. Her i en teknisk og en biologisk hovedretning. Denne inndelingen ga mulighet for å gjøre et grundigere litteratursøk innenfor det respektive temaet. Tema som ble gjennomgått av gruppe medlemmene separat presenteres i tabell 6.

Tabell 6: Fremgangsmåte gjennom tredje trinn av litteraturstudiet

Biologisk	Teknologisk
Konsekvenser for fiskehelse	Oppdrettstekniske konsekvenser
Konsekvenser for fiskevelferd	Konsekvenser for annen industri
Kjemisk behandling av groe	Mekanisk behandling av groe
Biologisk behandling av groe	Ny groeforhindrende teknologi

Litteraturstudiet ble utført ved bruk av kvalitativ metode, en forskningsmetode som brukes ved innsamling og analyse av kvalitative data. Dette er data som vanligvis foreligger i form av tekst (Grønmo 2024). Metoden innbefatter ulike datainnsamlingsmetoder, blant annet internettstudier (Fangen 2024), som er brukt i denne oppgaven. Hensikten med kvalitative studier er å oppnå dybdekunnskap og en helhetlig forståelse av spesifikke kontekster (Grønmo 2024).

3.3 Kommunikasjon

For å sikre tilfredsstillende prosjektfremdrift har gruppa kontinuerlig vært i dialog med interne veiledere, Bjørn Egil Asbjørnslett og Bengt Finstad. Faste møter med to ukers intervall har skapt god flyt i arbeidet og bidratt til gjensidig forventningsavklaring. Tilbakemeldinger fra veiledere har bidratt til å kartlegge mulige innfallsvinkler. Samtidig har tilbakemeldinger påpekt uklarheter og svakheter, som dannet grunnlag for revidering. Dette har utgjort en viktig del av sluttproduktet og utbedret kvaliteten av oppgaven.

En annen viktig del av oppgaven er å forstå kompleksiteten til, og begrensninger ved systemet i Egget[®]. Å bli kjent med Egget[®] som system og konstruksjon har påvirket vurderinger i mulighetsstudiet. Dette er en prosess som har pågått kontinuerlig gjennom hele prosjektet. Både før oppgaveprosjektet startet og underveis har gruppa kontinuerlig hatt skriftlig dialog med eksternt virksomhet; Ovum AS. I tillegg til oppfølging fra eksterne veiledere Andrea Opshaug og Åsmund Hellesøy, som har besvart spørsmål underveis - har førstnevntes Masteroppgave, i samarbeid med Ovum AS, vært et godt verktøy. Muntlig dialog via Teams har også vært en sentral del av oppfølgingen. Det har underveis i hele arbeidsprosessen blitt avtalt møter etter behov for å gjøre avklaringer rundt oppgavens struktur og omfang.

Videre har ekstern virksomhet bidratt med å dele relevant litteratur og informasjon. Ovum AS inviterte gruppa til å delta på Webinar'et Ren Notsom tok sted 17.april 2024. Tabell 7 presenterer foredragene som ble avholdt på Webinaret.

Tabell 7: Program under Webinar'et Ren not Stiim Aqua Cluster

Tema	Foredragsholder
AquaRobotics vaskerobot-teknologi	CEO Kjetil Njærheim, AquaRobotics
Remora Robotics vaskerobot-teknologi	CEO Svein Erik Gregersen, Remora Robotics
Robotteknologi for ren not	produksjonssjef Bernhard Østebøvik, Mowi
Ulike impregneringsløsninger : kobberbaserte-, kobberfrie - og biocidfrie produkter	CEO Ulrik Ulriksen, Steen-Hansen AS
Miljøeffekter av kobber, tralopyril og veien mot biocidfrie løsninger	Forsker Bjørn Einar Grøsvik, Havforskningsinstituttet

3.4 Mulighetsstudie og forslag

Avslutningsvis kombineres teorien fra litteraturstudiet med Egget[®] sine begrensninger og egenskaper, i en mulighetsstudie. I det norske akademis ordbok heter det at en mulighetsstudie er en "utredning eller studie som undersøker muligheter". I tillegg til at den "klarlegger forutsetninger, finner fordeler og ulemper ved alternativer osv. for et foretagende prosjekt" (Det norske akademis ordbok 2024).

For å utføre en mulighetsstudie kreves det et faglig grunnlag og en generell forståelse av både groe og av Egget[®] som konstruksjon. Gjennom litteraturstudiet har gruppa opparbeidet et godt utgangspunkt til å kunne vurdere hvilke metoder som er egnet for Egget[®]. Vurderinger i mulighetsstudiet og det påfølgende forslaget underbygges med teori fra litteraturstudiet.

Vurderinger og valg som tas i mulighetsstudiet tar særlig hensyn til metodenes kompatibilitet med Egget[®]. Videre vektlegges blant annet både bærekraft og økonomi. Samtidig tas sikkerhet og vedlikeholdskostnader i betrakning. Det ble utført en felles gjennomgang av alle metodene som er redegjort for i litteraturstudiet, og vurdert hvorvidt dette vil være en egnet løsning for Egget[®]. Basert på en felles gjennomgang blir muligheten for anvendelse av hver enkelt metode undersøkt i mulighetsstudiet. Det redegjøres også for muligheten til å kombinere ulike metoder, både i mulighetsstudiet og i forslaget.

Forslaget tar utgangspunkt i vurderinger fra mulighetsstudiet. Her presenteres de ulike sonene i Egget[®] trinnvis, sammen med respektive foreslåtte metoder. Det ble utarbeidet illustrasjoner underveis for å visualisere gruppas forslag.

3.5 Pålitelighet og svakheter

3.5.1 Mangel på forskning

I litteraturstudiet beskrives sammensetning av groe, ulike måter å forhindre groe og ulike konsekvenser av groe (se kapittel 2). I store deler av litteraturen det refereres til, er hovedfokuset konvensjonell oppdrett i sjø. Mange av artiklene fokuserer også på skipsindustrien. Som nevnt deler renhold av skip og lukkede konstruksjoner noen egenskaper. Denne litteraturen er ikke direkte overførbart til oppgavens problemstilling, men danner likevel et godt grunnlag for forståelse.

Det pågår fortsatt forskning og testing av vannkvalitet og vannparametere innenfor et lukket system. Kunnskapen om egnede velferdsindikatorer er derfor begrenset. Testingen av ulike prototyper og design kan være avgjørende for disse verdiene. Gjennom oppgaven har gruppa derfor vært nødt til å bruke eksisterende forskning og selv trekke paralleller til hva som er relevant for et lukket anlegg.

På lik linje med litteraturen omhandlet Webinaret "Ren Not", som gruppa deltok på, også renhold ved konvensjonell merdoppdrett. Dette er heller ikke direkte overførbart til renhold av Egget[®]. Webinaret ga likevel et godt innblikk i markedets ståsted, teknologi og metoder for renhold. En annen svakhet er at det finnes få publiserte artikler om hvorvidt ROV'er og impregnering som brukes i dagens oppdrettsnæring fungerer. Dette medfører at gruppa har benyttet muntlige kilder, blant annet fra Ren Not - Webinar'et. Mye av informasjonen om renholdsutfordringer i Egget[®] kommer fra personlig kommunikasjon med ekstern virksomhet. Muntlige kilder og personlig kommunikasjon gir større rom for misforståelser, og mindre rom for detaljerte beskrivelser. Dette er en gjennomgående svakhet for oppgaven.

3.5.2 Kompetanse og erfaring

Opgavens pålitelighet er preget av at flytende, lukket oppdrett er et nytt konsept. Lite publisert forskning medfører mangel på gode kilder, og oppgaven bygger i hovedsak på litteratur som omhandler renhold av not, skip eller SSAS. Dette resulterer i at mulighetsstudien i stor grad bygger på personlig kommunikasjon og gruppas oppfatning av ulike renholdsmetoder's kompatibilitet med Egget[®]. For gruppa, bestående av to bachelorstudenter, er omfattende litteraturstudier med påfølgende mulighetsstudie en ny måte å arbeide på. Resultater og funn som er fremstilt under litteraturstudiet, og videre drøftet i mulighetsstudiet, kan bære preg av at gruppa ikke har god nok erfaring eller kompetanse. Ved å lese omfattende forskningsbasert litteratur, ofte på engelsk, kan det oppstå feiltolkninger underveis. I tillegg er det verdt å nevne at oppgaven ikke har tatt for seg alt som er av relevans for temaet. Avgrensinger skyles naturlig omfang av en Bacheloroppgave. Det er trolig flere synspunkter og forskning som ville vært relevant for oppgavens problemstilling og for forslag til løsning. Gruppa har konsekvent prøvd å fokusere på temaer som synes å ha stor betydning for oppgavens problemstilling.

3.5.3 Mangel på data

I mulighetsstudien gjøres det vurderinger av ulike renholdsmetoder opp mot Egget[®]. Etersom at renhold av flytende, lukkede oppdrettsanlegg er en forholdsvis ny problemstilling, er ikke mulighetsstudien basert på å sammenlikne hyllevarer. Det utgjør en stor forskjell i oppgavens pålitelighet at mulighetsstudien ikke er en seleksjon basert på produktdatablad og produktspesifikasjoner. Derimot er mulighetsstudiet en vurdering av ulike renholdsmetoder's kompatibilitet som resulterer i et forslag til produktutvikling.

En annen svakhet ved oppgaven er mangel på data. Oppgaven tar for seg både groe og renhold veldig generelt. Innledningsvis tar oppgaven for seg ulike groearter, dette for å gi kjennskap til de ulike artenes egenskaper. Her hadde prøver eller data om forekomst av ulike arter i ulike soner vært fordelaktig. Dette på lik linje med bilder eller resultater fra Egget[®]. Ulike renholdsmetoder kunne dermed blitt vurdert ifra artenes egenskap og forekomst i ulike soner. Videre kunne slik informasjon bidratt til å underbygge mulighetsstudiet og resulterende forslag.

Gjennom kommunikasjon med Ovum AS har gruppa fått informasjon om hvilke arter som har vært til stede i Egget[®]. Det har ikke blitt tildelt prøver eller data som viser dette, ei heller hvor i systemet det har vært problemer. Det har heller ikke blitt gitt noen indikasjon på hvordan groen har påvirket fisken og driften av Egget[®]. Gruppa drøfter derfor de ulike sonene basert på forskning og litteratur. Videre hadde det vært gunstig for oppgaven med tilgang på systemtegninger tidligere for å se på renhold av de ulike seksjonene.

Referanser

- Aquaculture Stewardship Council (2024). *About ASC*. URL: <https://asc-aqua.org/about-asc/> (sjekket 10. mai 2024).
- Aquarobotics (2024). *Teknologi*. URL: <https://aquarobotics.no/teknologi/> (sjekket 15. mai 2024).
- Attramadal K. J. K. og Føre, M. (2021). «Fiskens fysiologi i samspill med miljø og teknologi». I: *Beta* Kapittel 22, s. 563–591. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi.Kapittel_22_3001.pdf?sequence=26&isAllowed=y (sjekket 3. mai 2024).
- Bakken, T. og L.S. Sømme (2024a). *Kalkrørsormer*. URL: <https://snl.no/kalkr%C3%B8rsormer> (sjekket 18. apr. 2024).
- (2024b). *Trekantmark*. URL: <https://snl.no/kalkr%C3%B8rsormer> (sjekket 18. apr. 2024).
- Bannister, J. mfl. (2019). «Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments». I: *Biofouling* 35, s. 631–648. DOI: <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1640214>. (Sjekket 14. apr. 2024).
- Barentswatch (2024). *Om norsk havbruksnæring*. URL: <https://www.barentswatch.no/havbruk/havbruksnaring> (sjekket 3. mai 2024).
- Blöecher, N., O.J. Broch mfl. (2024). «Catch my drift? Between-farm dispersal of biofouling waste from salmon pen net cleaning: Potential risks for fish health». I: *Science of The Total Environment* 928. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172464> (sjekket 18. apr. 2024).
- Blöecher, N. og O. Floerl (2020). «Towards cost-effective biofouling management in salmon aquaculture: a strategic outlook». I: *Reviews in Aquaculture* 13, s. 783–795. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12498>. (Sjekket 16. apr. 2024).
- Blöecher, N., M. Powell mfl. (2020). «Effects of cnidarian biofouling on salmon gill health and development of amoebic gill disease». I: *PLOS ONE* 13. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199842> (sjekket 19. apr. 2024).
- Boxaspen, K.K. og V. Husa (2021). «Hvor mye løste næringssalter fra oppdrett tåler kysten?» I: *Havforskningsinstituttet*. URL: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2019/juni/hvor-mye-losteneringssalter-fra-oppdrett-taler-kysten> (sjekket 14. mai 2024).
- Braga, C. mfl. (2020). «A novel design to investigate the impacts of UV exposure on marine biofouling». I: *Applied Ocean Research* 101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102226> (sjekket 27. apr. 2024).
- Braaten, B., G. Lange og A. Bergheim (2010). «Vurdering av nye tekniske løsninger for å redusere utslippene fra fiskeoppdrett i sjø». I: *Klima - og forurensningsdirektoratet*. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2749/ta2749.pdf> (sjekket 6. mai 2024).
- Cao, X. mfl. (2010). «Interaction of Zoospores of the Green Alga *Ulva* with Bioinspired Micro- and Nanostructured Surfaces Prepared by Polyelectrolyte Layer-by-Layer Self-Assembly». I:

-
- Advanced Functional Materials* 20, s. 1859–2020. URL: <https://doi.org/10.1002/adfm.201000242> (sjekket 6. mai 2024).
- Carman, M.L. mfl. (2006). «Engineered antifouling microtopographies – correlating wettability with cell attachment». I: *Biofouling* 2006, s. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1080/08927010500484854> (sjekket 6. mai 2024).
- Dalvin, S. mfl. (2022). «Høring «Etablering av en ny ordning for tildeling av miljøteknologitillatelser»». I: *Havforskningsinstituttet*. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-forslag-om-etablering-av-en-ny-ordning-for-tildeling-av-tillatelser-til-miljoteknologiformal/id2875765/Download/?vedleggId=bbe7d975-f6f3-43fe-81cc-26d1e70bbf32> (sjekket 6. mai 2024).
- Delgado, A., C. Briciu-Burghina og F. Regan (2021). «Antifouling Strategies for Sensors Used in Water Monitoring: Review and Future Perspectives». I: *Sensors* 21, s. 389. URL: <https://doi.org/10.3390/s21020389> (sjekket 30. apr. 2024).
- «Desinfeksjonsmiddel godkjent for akva-bruk» (2022). I: *Kyst.no*. URL: <https://www.kyst.no/desinfeksjon-hydrogenperoksid-oxyl-clean/desinfeksjonsmiddel-godkjent-for-akva-bruk/337545> (sjekket 9. mai 2024).
- Det norske akademis ordbok (2024). *Mulighetsstudie*. URL: <https://naob.no/ordbok/mulighetsstudie> (sjekket 1. mai 2024).
- Di Martino, P. (2018). «Extracellular polymeric substances, a key element in understanding biofilm phenotype». I: *Microbiology* 4, s. 274–288. URL: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.2.274> (sjekket 16. apr. 2024).
- Egget*[®] (2024). URL: <https://haugeaqua.com/technology/egget> (sjekket 22. apr. 2024).
- Fangen, K. (2024). *Kvalitativ metode*. URL: <https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvalitativ-metode/> (sjekket 29. apr. 2024).
- Finstad, B. og P.J. Røttereng (2021). «Oppdrettsfiskenes biologi, teknologi, lakselustiltak og miljøfokuseret forvaltning». I: *Beta* Kapittel 21, s. 515–561. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_21_3001.pdf?sequence=25&isAllowed=y (sjekket 29. apr. 2024).
- Fjellheim, A. J. mfl. (2016). «Resirkulering av vann i settefiskproduksjon». I: *Bakgrunnshäfte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjon* 2, s. 1–23. URL: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf (sjekket 28. apr. 2024).
- Floerl, O., L.M. Sunde og N. Blöecher (2016). «Potential environmental risks associated with biofouling management in salmon aquaculture». I: *Aquaculture Environmental Interactions* 8, s. 407–417. URL: <https://doi.org/10.3354/aei00187> (sjekket 18. apr. 2024).
- Forskningsrådet (2024). *Autonome undervannsflyter: fra AUV til AUF gjennom adaptive kommunikasjons- og samarbeidsstrategier*. URL: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/302435> (sjekket 19. mai 2024).
- Furtado, F. mfl. (2022). «Regulation of the molecular repertoires of oxidative stress response in the gills and olfactory organ of Atlantic salmon following infection and treatment of the
-

-
- parasite *Neoparamoeba perurans*». I: *Fish and Shellfish Immunology* 130, s. 612–623. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1050464822006064?via%3Dihub> (sjekket 15. apr. 2024).
- GFC Global (2024). *Hva er en datamaskin?* URL: https://edu.gcfglobal.org/en/tr_no-computer-basics/hva-er-en-datamaskin/1/# (sjekket 14. mai 2024).
- Graven, A. R. (2024). *Våt drøm om smart, trådløst nettverk under vann blir virkelighet*. URL: <https://www.norceresearch.no/aktuelt/smart-ocean-tradlost-nettverk-under-vann-blir-virkelighet> (sjekket 19. mai 2024).
- Grefsrud, E.F. mfl. (2023). «Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2023 - Produksjonsdødelighet hos oppdrettsfisk og miljøeffekter av norsk fiskeoppdrett». I: *Rapport fra havforskningen* 6. URL: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2023-6#sec-2-7> (sjekket 18. apr. 2024).
- Grefsrud, E.S. mfl. (2022). «Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022 - Effekter på miljø og dyrevelferd i norsk fiskeoppdrett». I: *Rapport fra havforskningen* 13. URL: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-13#sec-6> (sjekket 19. apr. 2024).
- Grønmo, S. (2024). *Kvalitativ metode*. URL: https://snl.no/kvalitativ_metode (sjekket 29. apr. 2024).
- Grøsvik, B.E. mfl. (2023). «Kunnsakpsstøtte om miljøeffekter av kobber. Delrapport 1». I: *Rapport fra havforskningen*. URL: <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/3057241> (sjekket 25. apr. 2024).
- Hansen, T. (2019). «Tema: Laks i oppdrett». I: *Havforskningsinstituttet*. URL: <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/laks/laks-i-oppdrett> (sjekket 19. apr. 2024).
- Haukaas, A. (2024). *Amøbegjellesykdom*. URL: <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/amobegjellesykdom> (sjekket 15. apr. 2024).
- Havforskningsinstituttet (2024). *Derfor dør oppdrettslaksen av algene*. URL: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2019/mai/slik-pavirker-algeoppblomstring-dyrevelferd> (sjekket 14. apr. 2024).
- Hellebø, A., A. Stene og V. Aspehaug (2014). «Potensielle reservoarer for SAV og PMCV på marine akvakulturanlegg». I: *Møreforskning*. URL: <https://shorturl.at/iJP17> (sjekket 18. apr. 2024).
- Hoddevik, B. (2018). «Hva vet vi om hydrogenperoksid». I: *Havforskningsinstituttet*. URL: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2018/september/hva-vet-vi-om-hydrogenperoksid> (sjekket 9. mai 2024).
- (2024). *Åtvarar om nytt impregneringsstoff*. URL: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2024/februar/atvarar-om-nytt-impregneringsstoff> (sjekket 25. apr. 2024).
- Hoff, M. (2024). *Laksens livssyklus*. URL: <https://ndla.no/nb/subject:169ba831-b3cd-4207-b9b8-7d06bf03328b/topic:0f9ad778-a98b-4324-b99a-bfa23fd25221/topic:f9bce6fe-3af8-47f8-99fc-940ce34f04f8/resource:4178c977-7df2-4000-9f82-9bbac3773a5a> (sjekket 3. mai 2024).
- Hofossæter, M., M. Alarcon og H. Wisløff (2024). «Perlesnormaneten forårsaker alvorlige vevsskader hos oppdrettsfisk». I: *Norsk veterinær tidsskrift* 2. URL: https://nvt.vetnett.no/journal/2024/2/m-493/Perlesnormaneten_for%C3%A5rsaker_alvorlige_vevsskader_hos_oppdrettsfisk (sjekket 19. apr. 2024).
-

-
- Hopkins, G. mfl. (2021). «Managing Biofouling on Submerged Static Artificial Structures in the Marine Environment – Assessment of Current and Emerging Approaches». I: *Frontiers in Marine Science* 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.759194>. (Sjekk 2. apr. 2024).
- Iversen, M. H. mfl. (2021). «Ione- og osmoregulering». I: *Beta* Kapittel 9, s. 246–272. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_09_3001.pdf?sequence=13&isAllowed=y (sjekk 19. mai 2024).
- Iversen, M.H. og B. Finstad (2021). «Smoltifisering hos atlantisk laks». I: *Beta* Kapittel 10, s. 275–283. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_10_3001.pdf?sequence=14&isAllowed=y (sjekk 3. mai 2024).
- Klekkerihåndbok for atlantisk laks. Fra rogn til startfôring* (udatert). Benchmark Genetics.
- Kraugerud, R. L. (2024). *Ulike typer oppdrettsanlegg*. URL: <https://nofima.no/fakta/ulike-typer-oppdrettsanlegg/> (sjekk 4. mai 2024).
- Kroglund, T. (2011). «Forprosjekt. Tiltak for å hindre begroing i inntaksledningen til Xstrata Nikkelverk». I: *Niva*. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/215577/6212-2011.72dpi.pdf?sequence=1> (sjekk 18. apr. 2024).
- Kryvi, H. (2021). «Fiskenes anatomi». I: *Beta* Kapittel 2, s. 38–61. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_02_3001.pdf?sequence=6&isAllowed=y (sjekk 19. mai 2024).
- Kviatkovskii, I. mfl. (2018). «Resistance of a multiple-isolate marine culture to ultraviolet C irradiation: inactivation vs biofilm formation». I: *Letters in Applied Microbiology* 67, s. 278–284. URL: <https://doi.org/10.1111/lam.13032> (sjekk 26. apr. 2024).
- Levipan, H.A. mfl. (2019). «Biofilm development and cell viability: An undervalued mechanism in the persistence of the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*». I: *Aquaculture* 511. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734267> (sjekk 26. apr. 2024).
- Li, Y. og C. Ning (2019). «Latest research progress of marine microbiological corrosion and biofouling, and new approaches of marine anti-corrosion and anti-fouling». I: *Bioactive Materials* 4, s. 189–195. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.04.003> (sjekk 2. apr. 2024).
- Mikkelsen, E. (2024). *Rensefisk*. URL: <https://www.barentswatch.no/havbruk/rensefisk> (sjekk 15. apr. 2024).
- More, T.T. mfl. (2014). «Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications». I: *Environmental Management* 144, s. 1–25. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.010> (sjekk 16. apr. 2024).
- Myrvang, B. (2024). *Desinfeksjon*. URL: <https://sml.snl.no/desinfeksjon> (sjekk 9. mai 2024).
- Nasjonalt Villakssenter (2024). *Laksens livssyklus*. URL: <https://www.villakssenter.no/laksens-livssyklus> (sjekk 3. mai 2024).
- Nesledyr* (2024). URL: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/n/nesledyr.html> (sjekk 19. apr. 2024).
- Netkem AS (2024). *Spørsmål og svar om kobber og Biocider*. URL: <https://netkem.no/faq-kobber> (sjekk 9. mai 2024).
-

-
- Noble, C. mfl. (2018). «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd». I: URL: <https://nofima.no/wp-content/uploads/2016/06/Velferdsindikatorer-for-oppdrettslaks-2018.pdf> (sjekket 16. apr. 2024).
- Nærings- og fiskeridepartementet (2022). «Forskrift om krav til teknisk standard for akvakulturanlegg for fisk i sjø, innsjø og vassdrag (NYTEK23)». I: FOR-2022-08-22-1484. URL: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-08-22-1484/KAPITTEL_5_#%C2%A722 (sjekket 6. mai 2024).
- Olsen, M. (2024). *UV light provides non-toxic biofouling control for marine instrumentation*. URL: https://www.aims.gov.au/sites/default/files/Impact%20Story_Biofouling_Sep19_LR.pdf (sjekket 27. apr. 2024).
- «Perlesnormanet» (2023). I: *Havforskningsinstituttet*. URL: <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/perlesnormanet> (sjekket 14. mai 2024).
- Plastron AS (2024). *Freebac 35*. URL: <https://plastron.no/vannrensing/freebac-35/> (sjekket 9. mai 2024).
- Poppe, T. (2021). «Sykdommer». I: *Beta* Kapittel 16, s. 384–427. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_16_3001.pdf?sequence=20&isAllowed=y (sjekket 19. mai 2024).
- Remora Robotics (2024). *Autonomous Cleaning Robot*. URL: <https://remorarobotics.no/autonomous-cleaning-robot/> (sjekket 15. mai 2024).
- Romeu, M. J. og F. Mergulhão (2023). «Development of Antifouling Strategies for Marine Applications». I: *Microorganisms* 11, s. 1568. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061568>. (Sjekket 2. apr. 2024).
- Rosseland, B. O. og T. Kristensen (2021). «Utfordringer med å leve i vann». I: *Beta* Kapittel 1, s. 7–37. URL: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3113208/Fiskefysiologi_Kapittel_01_3001.pdf?sequence=5&isAllowed=y (sjekket 3. mai 2024).
- Rosten, T. W. (2024). «Oppdrett av laksefisk i lukkede systemer». I: (). URL: <https://shorturl.at/mnNO4> (sjekket 6. mai 2024).
- Sauer, K. mfl. (2022). «The biofilm life cycle: expanding the conceptual model of biofilm formation». I: *Nature Reviews Microbiology* 20, s. 608–620. URL: <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00767-0> (sjekket 1. mai 2024).
- ScaleAQ (2024a). «Not». I: URL: <https://scaleaq.no/wp-content/uploads/2024/04/ScaleAQ-Not-NO.pdf> (sjekket 4. mai 2024).
- (2024b). *Bunnring*. URL: <https://scaleaq.no/produkt/bunnring/> (sjekket 4. mai 2024).
- (2024c). *Notdesign*. URL: <https://scaleaq.no/produkt/notdesign/> (sjekket 4. mai 2024).
- Seglem, K. N. (2024). *Er membranfiltrering av inntaksvannet nødvendig for å sikre seg mot sykdom?* URL: <https://tekset.no/wp-content/uploads/2020/02/2.3-Er-membranfiltrering-av-inntaksvannet-n%C3%B8dvendig-for-%C3%A5-sikre-seg-mot-sykdom-Karen-Nessler-Seglem-AkvaFresh-AS.pdf> (sjekket 12. mai 2024).
-

-
- Sommerset, I. mfl. (2024). «Fiskehelse rapporten 2023». I: *Veterinærinstituttets rapportserie nr. 8a/2024*. URL: https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2024/fiskehelse rapporten-2023/_/attachment/download/1f94e174-ab61-4e71-8bf4-d58e57108321:1b571157652605962504f16f451a5b7041495517 Fiskehelse rapporten.pdf (sjekket 15. apr. 2024).
- Statistisk sentralbyrå (2024). *Frå attåttnæring til milliardindustri*. URL: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/fra-attatnaering-til-milliardindustri> (sjekket 3. mai 2024).
- Steen-Hansen (2015). *Den lille groeboken*. URL: <https://online.pubhtml5.com/gtkpk/zcdd/#p=1>.
- Tan, C.K.F, B.F Nowak og S.L Hodson (2001). «Biofouling as a reservoir of *Neoparamoeba* *permaquidensis* (Page, 1970), the causative agent of amoebic gill disease in Atlantic salmon». I: *Aquaculture* 210, s. 49–58. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848601008584> (sjekket 18. apr. 2024).
- Taranger, G. L. (2024). *Tema: Landbaserte oppdrettsanlegg/lukkede anlegg*. URL: <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/landbaserte-oppdrettsanlegg-lukkede-anlegg#:~:text=Lukkede%20anlegg%20i%20sj%C3%B8%20ogs%C3%A5,der%20det%20ikke%20finnes%20lakselus> (sjekket 6. mai 2024).
- Tenacibaculose* (2024). URL: <https://biosikkerhet.no/fiskesykdommer/infeksjonssykdommer/tenacibaculose> (sjekket 14. mai 2024).
- Thompson, S. M. (2024). *Hva er ROV-er?* URL: <https://www.blueye.no/blog/hva-er-rov-er> (sjekket 25. apr. 2024).
- Tveterås, R. mfl. (2021). «Bærekraftig vekst med lukkede anlegg i sjø». I: URL: <https://stiimaquacluster.no/wp-content/uploads/2021/04/Stiim-Rapport-Flytende-Lukket-Oppdrett-i-sjo.pdf> (sjekket 6. mai 2024).
- Veterinærinstituttet (2024a). *Klassiske vintersår*. URL: <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/klassiske-vintersar> (sjekket 9. mai 2024).
- (2024b). *Tenacibaculose*. URL: <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/tenacibaculose> (sjekket 26. apr. 2024).
- Wiik-Nielsen, J. (2017). «Notspyling skader laksegjeller». I: *Veterinærinstituttet*. URL: <https://www.vetinst.no/nyheter/notspyling-skader-laksegjeller#:~:text=Spyling%20av%20n%C3%B8ter%20f%C3%B8rer%20til,derfor%20skader%20gjellene%20hos%20laksen>. (sjekket 19. apr. 2024).
- Xie, Q. mfl. (2019). «Dynamic surface antifouling: mechanism and systems». I: *Soft Matter* 15, s. 1087–1107. URL: <https://doi.org/10.1039/c8sm01853g> (sjekket 4. apr. 2024).
-

Appendix

- A Forprosjekt
- B Standardavtale
- C Gruppeavtale

