



SINTEF

Faglig sluttrapport

Smittekontroll

Økt biosikkerhet gjennom bedre forståelse for smittestoff og desinfeksjonsmuligheter i RAS-anlegg og brønnbåt

Forfattere:

Kristine Størkersen, Deni Ribičić, Hans Tobias Slette, Andreas Misund, Eivind Lona, Guro Møen Tveit, Stine Dahle, Cecilie Salomonsen, Roman Netzer og Marianne Aas

Rapportnummer:

2024:01203 - Åpen

Oppdragsgiver:

Fiskeri- og havbruksnæringas forskningsfinansiering (FHF)



SINTEF

Sluttrapport

Smittekontroll

Økt biosikkerhet gjennom bedre forståelse for smittestoff og desinfeksjonsmuligheter i RAS-anlegg og brønnbåt

EMNEORD

Biosikkerhet
Brønnbåt
RAS
Smolt

VERSJON

1.0

DATO

2024-12-12

FORFATTERE

Kristine Størkensen, Deni Ribičić, Hans Tobias Slette, Andreas Misund, Eivind Lona, Guro Møen Tveit, Stine Dahle, Cecilie Salomonsen, Roman Netzer og Marianne Aas

Forsidebildefotograf:
Inger Lise Breivik

OPPDRAKSGIVER

Fiskeri- og havbruksnæringas forskningsfinansiering (FHF)

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

901734

PROSJEKTNUMMER

302006642

ANTALL SIDER

81

SAMMENDRAG

«Smittekontroll»-prosjektet har skaffet kunnskap om biosikkerhet gjennom økt forståelse av mikroflora, teknologiutforming og driftsrutiner i RAS-anlegg og brønnbåttransport.

SINTEF Ocean har ledet prosjektet. Samarbeidspartnere har vært BarentsWatch, Mowi, Bremnes Seashore, Frøygruppen, Cflow og Møre Maritime, i tillegg til andre eksperter. Alf Martin Sollund i BarentsWatch har også bidratt til denne rapporten.

Hovedfunn er at rutiner for renhold av RAS-anlegg og brønnbåt gir ønsket effekt der de utføres, men at utfordringen er å sørge for at renholdet kan gjøres – gjennom nok tid, oversikt og at overflatene er tilgjengelige. Se lengre sammendrag på neste side.

UTARBEIDET AV

Forfatterne

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Roman Netzer

SIGNATUR

Roman Netzer (Dec 20, 2024 13:52 GMT+1)**GODKJENT AV**

Merete Bjørgan Schrøder

SIGNATUR

Merete Bjørgan Schrøder (Dec 20, 2024 13:49 GMT+1)**RAPPORT NR.**

2024:01203

ISBN

978-82-14-07107-8

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Sammendrag

Hvis du ønsker å lese kun deler av rapporten, anbefales kapittel 1 for bakgrunn og kapittel 8 for overordna analyse og resultater.

Kapittel 1 og 2: Om prosjektet, organisering og måloppnåelse

«Smittekontroll»-prosjektet har skaffet kunnskap for å øke biosikkerheten ved hjelp av forutsigbar og effektiv vannbehandling og desinfeksjon i RAS-anlegg (resirkulerende akvakultursystem) og brønnbåttransport.

Kapittel 3: Prosjektgjennomføring og metodikk

SINTEF Ocean har ledet prosjektet, og samarbeidspartnere har vært BarentsWatch, Mowi, Bremnes Seashore, Frøygruppen, Cflow og Møre Maritime, i tillegg til andre eksperter. Vi har brukt forskjellige typer metodikk, som mikrobiologianalyser, litteraturstudier, feltarbeid og intervju.

Kapittel 4-7: Forskningsresultater

Prosjektets resultater omhandler risikoforhold på RAS-anlegg og brønnbåt; hvordan driftsrutiner fungerer; dokumentasjon av sammensetning av mikrobiota i RAS, ved overføring til brønnbåt og om bord i brønnbåt og på båtskrog og effekt av vask og desinfeksjon på overflater.

Kapitlene 4 og 5 gir en bred og systematisk innføring i risikoforhold og tiltak for utforming og drift av henholdsvis RAS-anlegg og brønnbåter. Innholdet er basert på litteratur, intervju og feltarbeid, og er delt opp i delkapitler om hvordan hindre smitteintroduksjon, spredning og oppvekst av patogener. Tabeller for ulike risikofaser oppsummerer forskningsfronten. Tabellene, og disse kapitlene generelt, kan fungere som oppslagsverk og introduksjon av biosikkerhetsteori.

Kapittel 6 gjengir informasjon fra feltarbeid og intervjuer om driftsrutiner. Til tross for at rutiner er bygget på biosikkerhetskunnskap, gjennomføres de ikke alltid, og man gjennomfører heller ikke biosikkerhetstiltak om f.eks. hygienisk design. Intervjuer av ulike aktører beskriver at dette er på grunn av mangel på tid eller andre ressurser – i siste instans dreier det seg om økonomisk prioritering.

Kapittel 7 beskriver mikrobiotasammensetningen på forskjellige steder og i forskjellige faser. Ved å følge fiskegrupper over tid er det påvist hvordan bakterie- og virussammensetningen endrer seg mellom enheter, før og etter renhold, samt ved behandling med UV og ozon. Biofilm gir et godt miljø for patogener. Det er vist at renholdsrutinene virker på de stedene man kommer til med vasking og desinfeksjon. Man kan se hvordan fiskens mikrobiota reagerer på flytting fra RAS-anlegget til brønnbåten av mange årsaker, og at det er behov for nye metoder for flytting av fisk. Et av casene viste at det ikke var ILA- eller HPRO-virus i settefiskfase eller på brønnbåttransport til lokalitet, men at fisken fikk ILA de første månedene i sjø. Gjennom særskilt prøvetaking og analyse av brønnbåtssystemer og skrog har vi også vurdert risiko for brønnbåter som benyttes til transport av både slaktefisk og smolt. Brønnbåtenes systemer om bord er generelt rene med få bakterier og viruspartikler, men det kan være opphopning av viruspartikler i skrogbegroing, så det finnes risiko for å spre smitte via fartøyenes utside.

Kapittel 8: Overordna diskusjon, hovedfunn og tiltak

Samlet gir dataanalysen disse hovedfunnene:

- Rutiner for vasking, desinfeksjon og tørking i RAS-anlegg og brønnbåt gir ønsket effekt *der de utføres*. Rutinene har også god effekt på risikoområder, som f.eks. der det er rust.
- Det er et problem at områder ikke er tilgjengelige for renhold og at driftsrutinene ikke alltid blir fulgt. Vi ser et gap mellom det som skal gjøres (ifølge biosikkerhetskunnskap og enhetens *biosikkerhetsplan*) og det som faktisk gjøres. Gapet kan tilskrives at *produksjonsplaner* ikke gir rom for biosikkerhetsrutinene.
 - RAS-anlegg har mange og store områder der man ikke kommer til, som resulterer i sjeldnere renhold og tørking, og oppbygging av biologisk materiale.
 - Det kan være risiko for spredning av virus på utsiden av skipsskrog, spesielt under vannlinjen. Spyling hjelper der man kommer til – ved vannoverflaten.
- Laksens slim-mikrobiom endres kraftig når den overføres fra settefiskanlegg til brønnbåt. Det kan bety at dagens overføringsrutiner og -teknologi kan øke sykdoms- og smittepotensialet.

Basert på funnene i «Smittekontroll» anbefales det å prioritere allerede kjente biosikkerhetstiltak:

- Ledelse må sørge for at andre operasjoner blir stoppet helt til renholdsrutinene er gjort. Dette kan også oppnås ved å ha forutsigbare rutiner og gode marginer i operasjons- og produksjonsplaner.
- Pålegge biosikkerhetskurs for ledelse og teknisk personell for å øke kunnskap om behov for biosikkerhetstiltak som; tid til renhold i produksjonsplan og hygienisk utforming av anlegg.
- Utstyr og anlegg må bygges med utgangspunkt i hygienisk design. Dette tilrettelegger for bedre og mer effektivt renhold, blant annet ved å bedre tilkomst
- Deling av data mellom oppdrettsselskaper og rederier for å bedre biosikkerhetsarbeidet, inkludert seilasplaner for brønnbåter

Arbeidet har også avdekket flere behov for videre studier, både relatert til hovedfunnene, prioriterte tiltak og andre resultater fra prosjektet:

- Nye og bedre metoder og utstyr for renhold, inspeksjon og måling av mikrobiota på vanskelig tilgjengelige områder.
- Mer skånsomme løsninger for overføring/pumping av fisk
- Mer kunnskap om ILA-virusets overlevelse på og smittsomhet via biofilm f.eks. på båtskrog
- Kvantifisere risikofaktorer og tiltak for biosikkerhet – og se dette i sammenheng med effekten det har for fiskehelse og økonomi for hele produksjonssyklusen. F.eks. følge patogenforekomst i fiskegrupper i hele verdikjeden slik at man kan korrelere dødelighet og redusert tilvekst i sjø med biosikkerhetstiltak i settefiskfasen.
- Beskrive smittepotensialet for spredning av smitte fra fartøystrafikk langs kysten, og utarbeide tiltak for å redusere dette
- Kunnskap om beslutningstaking i bedriftene og hvordan optimalisere biosikkerhet i produksjons- og operasjonsplaner

Executive summary

Those wanting to read only parts of the report, is recommended chapter 1 for background and chapter 8 for overall analysis and results.

Chapters 1 and 2: About the project, organization and aims

The results have provided insight into the fish's microbiota in and between RAS and wellboat systems, the ISAV dynamics on wellboat hulls, an overview of risks and measures for the design and operating routines of RAS and wellboats, and attention to conditions that prevent organizations from implementing biosafety measures.

Chapter 3: Project implementation and methodology

Partners have been SINTEF Ocean (project manager), BarentsWatch, Mowi, Bremnes Seashore, Frøygruppen, Cflow and Møre Maritime, in addition to other experts. Data was collected using microbiology analyses, literature studies, fieldwork and interviews.

Chapters 4-7: Research results

The project's results are about risk factors on RAS facilities and wellboats; how operating procedures work; and composition of microbiota in RAS, during transfer to wellboat and on board wellboat and on boat hull.

Chapters 4 and 5 provide a broad and systematic introduction to risk factors and measures for the design and operation of RAS facilities and wellboats. It is based on literature, interviews and fieldwork, and is divided into sub-chapters on how to prevent the introduction of infection, the spread and growth of pathogens. Tables for different risk phases summarize state-of-the-art. The tables, and these chapters in general, can serve as references and introduction to biosafety theory.

Chapter 6 presents information from fieldwork and interviews about operating routines. Routines are built on biosafety knowledge, but they are not always implemented. Nor are biosafety measures implemented, such as hygienic design. Interviews with various actors describe that this is due to a lack of time or other resources – all to maximize profit in the short term or near future.

Chapter 7 describes the microbiota composition at different units and in different phases. By following fish groups over time, it has been shown how the bacterial and viral composition changes between units, before and after cleaning, as well as during treatment with UV and ozone. Biofilm provides a good environment for pathogens. It has been shown that the cleaning routines are effective in the places you can reach with washing and disinfection. We show how the fish's microbiota reacts to moving from the RAS facility to the wellboat for many reasons, and that there is a need for new methods for moving fish. Through special sampling and analysis of wellboat systems and hulls, we have also assessed the risk for wellboats. The wellboats' systems on board are generally clean with few bacteria and virus particles, but there may be accumulation of virus particles in the hull fouling.

Chapter 8: Overall discussion, main findings and measures

The data analysis has led to the following main findings:

- Routines for washing, disinfection and drying in RAS facilities and wellboats provide the desired effect *where they are carried out*. The routines also have a good effect on risk areas, such as where there is rust.
- It is a problem that areas are not accessible for cleaning and that the operating routines are not always followed. There is a gap between what should be done (according to biosafety knowledge and the unit's *biosafety plan*) and what is actually done. The gap seems to exist because *production plans* may overrule biosafety routines.
 - RAS facilities have many and large inaccessible areas, which results in less frequent cleaning and drying, and accumulation of biological material.
 - There may be a risk of virus spreading on the outside of ship hulls, especially below the waterline.
- The salmon's mucus microbiome changes dramatically when it is transferred from hatcheries to wellboats. Current transmission routines and technology may increase the potential for disease.

Based on the findings it is recommended to prioritize already known biosafety measures:

- Management must ensure that other operations are stopped until the cleaning routines have been completed. Means to prevent a situation of stopping operations, are predictable routines and good margins in operation and production plans.
- New facilities must be built based on hygienic design. This results in improved and more efficient cleaning, by improving access etc.
- Biosafety training for management and technical personnel to increase knowledge about the need for biosecurity measures such as time for cleaning in the production plan and hygienic design of facilities.
- Sharing data between fish farming companies and shipping companies to improve biosecurity work, including voyage plans for wellboats.

The work has also revealed several needs for further studies, both related to the main findings, prioritized measures and other results from the project:

- New and improved methods and equipment for cleaning, inspection and measuring of microbiota in areas hard to reach.
- More gentle solutions for transferring/pumping fish.
- More knowledge about the survival and infectiousness of the ISA virus via biofilm, e.g. on boat hulls.
- Quantify risk factors and measures for biosecurity – and see this in the context of the effect it has on fish health and economics in the production cycle. For example, follow pathogen occurrence in fish groups throughout the value chain so that mortality and reduced growth in the sea can be correlated with biosafety measures in the hatchery phase.
- Demonstrate the infection potential from vessel traffic along the coast
- Knowledge about industry decision-making and how to optimize biosafety in production and operation plans

Innhold

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 3 |
| Executive summary | 5 |
| Innledning | 8 |
| 1.1 Bakgrunn | 8 |
| 1.2 Prosjektorganisering | 9 |
| 2 Formål | 10 |
| 2.1 Samfunnsnytte | 10 |
| 2.2 Resultatmål | 11 |
| 3 Prosjektgjennomføring | 12 |
| 3.1 Forskningsspørsmål og arbeidspakker | 12 |
| 3.2 Metodikk | 13 |
| 4 Risikofaktorer og tiltak for utforming og drift av RAS | 22 |
| 4.1 Introduksjon av patogen i RAS | 22 |
| 4.2 Spredning av patogener innad i et RAS-anlegg | 24 |
| 4.3 Oppvekst av patogener i RAS | 26 |
| 4.4 Annen biosikkerhetsrisiko i RAS | 28 |
| 5 Risikofaktorer og tiltak for utforming og drift av brønnbåt | 29 |
| 5.1 Introduksjon av patogene mikroorganismer fra inntaksvannet til brønnbåter | 29 |
| 5.2 Spredning av patogene mikroorganismer mellom fiskegrupper i brønnbåter | 29 |
| 5.3 Spredning av patogen fra brønnbåter til det omkringliggende miljø | 32 |
| 6 Gjennomføring av driftsrutiner og tiltak | 35 |
| 6.1 Formell struktur og regelverk | 36 |
| 6.2 Teknologiutforming | 38 |
| 6.3 Arbeidsprosesser | 40 |
| 6.4 Kultur og kompetanse | 42 |
| 6.5 Sosiale relasjoner | 44 |
| 6.6 Oppsummering om driftsrutiner | 46 |
| 7 Mikrobiell dynamikk i RAS- og brønnbåtsystemer | 48 |
| 7.1 Mikrobiell dynamikk i to enheter av RAS og brønnbåt | 48 |
| 7.2 Måltrettet bakteriell patogen- og virusbelastning i de to enhetene | 61 |
| 7.3 ILAV-dynamikk på brønnbåtoverflater | 63 |
| 7.4 Diskusjon av mikrobiologifunn | 67 |
| 7.5 Oppsummering av mikrobiologifunn | 71 |
| 8 Samlende analyse og konklusjoner | 73 |
| 8.1 Felles diskusjon av funnene | 73 |
| 8.2 Hovedfunn | 78 |
| 8.3 Anbefalinger | 78 |
| 8.4 Avslutning | 79 |
| 9 Publikasjoner fra «Smittekontroll» | 81 |
| Litteraturliste | 82 |
| Vedlegg 1: Tiltaksarbeid i «Smittekontroll» | 87 |

Innledning

Denne rapporten oppsummerer forskningsprosjektet *Økt biosikkerhet gjennom bedre forståelse for smittestoff og desinfeksjonsmuligheter i systemer for smolt («Smittekontroll»)*. Prosjektet ble etablert som et resultat av FHF's utlysning 21/00181 [«Tiltak for styrket biosikkerhet i laksenæringen»](#). Målsettingen med utlysningen var: «Forbedre biosikkerheten i norsk laksenæring ved etablering av risikoreduserende tiltak som er nødvendige for å sikre bærekraftig produksjon og realisering av fremtidig vekst. Prosjekter skal med utgangspunkt i anbefalingene fra sluttrapporten for prosjekt 901522 [Larsen et al, 2020], undersøke og dokumentere risikoreduserende effekter av konkrete, målbare tiltak som skal danne grunnlag for etablering av beste-praksis anbefalinger som næringen kan ta i bruk så raskt som mulig».

Etter de neste avsnittene om bakgrunnen og organiseringen til prosjektet, beskrives formål og måloppnåelse (kapittel 2), organisering og metodikk (kapittel 3). Deretter kommer fire kapitler om resultat, for risikofaktorer og tiltak for utforming og drift av henholdsvis RAS og brønnbåt (kapittel 4 og 5), gjennomføring av driftsrutiner (kapittel 6) og mikrobiologi (kapittel 7). Til slutt kommer en overordna analyse, hovedfunn og tiltak.

1.1 Bakgrunn

Frisk oppdrettsfisk har vært et mål siden kommersialiseringen av havbruksnæringa på 60-tallet, men sykdommer og smitte har vært et problem like lenge. Spredningen av smitte har økt til tross for utviklingen av vaksiner, desinfeksjonssystemer, hygienerutiner og områdesamarbeid (Scarfe & Palić, 2020; Sommerset et al., 2024).

Biosikkerhet kan defineres som et sett med tiltak, både fysiske og organisatoriske, for å redusere risikoen for introduksjon, spredning eller utslipp av patogene organismer (World Organisation for Animal Health, 2023). Tidligere har næringa og forvaltning basert sin smittesikring på forskning om fiskehelse og smittespredning, mens de teknologiske og organisatoriske grunnlagene for å hindre smittespredning har vært lite synlige i forskningen. Europeisk og norsk fiskehelselovgivning setter krav om biosikkerhetsplaner, risikohåndteringssystem og tiltak (Akvabiosikkerhetsforskriften, 2022).

«Resultatet som oppnås ved gjennomføringen av biosikkerhet i et akvakulturanlegg, er bedre helse og velferd for akvatiske dyr gjennom hele produksjonssyklusen. Fordelene kan inkludere forbedret markedsadgang, økt produktivitet (gjennom forbedret overlevelse, tilvekst og fôrutnyttelse) og en reduksjon i bruken av veterinærmedisinske preparater (inkludert antimikrobielle midler), noe som fører til en reduksjon i produksjonskostnader og utviklingen av antimikrobiell resistens.» Mattilsynets oversettelse av paragraf 4.13 i World Organisation for Animal Health sin biosikkerhetsmanual (Mattilsynet, 2023)

«Smittekontroll»-prosjektet har studert biosikkerheten i RAS-anlegg og brønnbåttransport. Dette er basert på kunnskapshull og tiltak identifisert i et tidligere stort prosjekt om biosikkerhet i norsk havbruk (Larsen et al., 2020). Settefiskanlegg og transport ble i dette arbeidet beskrevet som kritiske stadier av produksjonssyklusen, med store kunnskapshull. «Smittekontroll» bidrar til å svare på følgende forskningsspørsmål:

Hvor er det risiko for patogen mikroflora i RAS-anlegg og brønnbåt, og hvordan kan risikoreduserende tiltak innenfor mikrofloraprøver, teknologiutforming og driftsrutiner gjøre desinfeksjon forutsigbar og effektiv?

1.2 Prosjektorganisering

«Smittekontroll» har pågått i tidsrommet 1.2.2022 til 31.12.2024, med et budsjett på 11 967 000 kr bevilget fra FHF. Dette inkluderer midler som er tildelt underveis i perioden til to ekstra delstudier (se kapittel 2 om mål). I tillegg har alle partnerne bidratt med egeninnsats.

Prosjektet er ledet av SINTEF Ocean ved Kristine Størkersen. Merete Bjørgan Schrøder var prosjektleder frem til 1.6.2022 (se også tabell i vedlegg). Forskergruppen har hele perioden bestått av Hans Tobias Slette, Eivind Lona, Deni Ribičić, Marianne Aas, Stine Wiborg Dahle, Andreas Ugelvik Misund, Merete Bjørgan Schrøder, Cecilie Salomonsen og Guro Møen Tveit, alle fra SINTEF Ocean. Oliver Floerl, ved James Cook University, har også bidratt som en del av en samarbeidsavtale med SINTEF Ocean. Kvalitetssikrer er Roman Netzer ved SINTEF Ocean.

Samarbeidsbedriftene har dannet prosjektets utvidete prosjektgruppe: **Mowi** (Marianna Sebastianpillai, Kari Marie Bortveit og Trond Rosten); **Bremnes Seashore** (Inger Lise Breivik og Hege Skigelstrand); **Frøy** (Solveig Gåsø og Lisbeth Martinsen); **Møre Maritime** (Marte Kamphus, Stein Åge Gresset og Torkild Lekve); **Cflow fish handling** (Mats Heide); **BarentsWatch** (Alf Martin Sollund). En rekke andre eksperter og samarbeidsbedrifter har i tillegg bidratt i datainnsamling og analyse.

Referansegruppe:

- Karoline Skaar Amthor og Lone Flyvholm, Sjømat Norge
- Henrik Hareide, nå i BøeHareide
- Bård Skjelstad, nå i Mattilsynet
- Ragnar Sæternes, Sinkaberg
- Sven Martin Jørgensen, FHF

2 Formål

«Smittekontroll» har hatt som mål å øke biosikkerheten i laksenæringa ved hjelp av forutsigbar og effektiv vann- og biofilmbehandling i resirkuleringsanlegg (RAS) og brønnbåttransport, med vekt på forståelse av mikrobiologi, teknologiutforming og driftsrutiner. Prosjektet startet med fire delmål:

- I. Forståelse av mikrofloraen i systemer for yngel og smolt
- II. Forståelse av hvordan teknologiutforming kan hindre spredning av patogene mikroorganismer
- III. Forståelse av hvordan driftsrutiner kan hindre spredning av patogene mikroorganismer
- IV. Konkrete målbare tiltak med risikoreduserende effekt og økt biosikkerhet

To mål ble lagt til underveis:

- V. Evaluering av biosikkerhetsrisiko for brønnbåter som benyttes til transport av både slaktefisk og smolt
- VI. Å fastslå om det er vanlig med virus/patogene organismer i skrogbegroing

2.1 Samfunnsnytte

Resultatene fra «Smittekontroll» viser at renholdet i næringa fungerer – *der det gjennomføres*. Dette kan gi motivasjon til operativt personell som gjør det tunge og tidkrevende renholdet, og til ledelse som ønsker å prioritere biosikkerhet. Det gir en trygghet, og samtidig en påminning:

Bedriftene *må sørge* for tid nok til vask og desinfisering, og å ta i bruk utstyr og anlegg som lar seg rengjøre. Det er nødvendig å ta seg råd til hygienisk utforming og tid mellom fiskegrupper. Her kan tiltakene fra prosjektet bidra. Oppdrettere og rederi kan finne argumentasjon og kunnskapsstatus i denne rapporten og i prosjektets oversiktsartikkel om risikoforhold og tiltak for RAS-anlegg og brønnbåter (Slette, Salomonsen, et al., 2024).

Designere bruker ofte designstandarder som ikke er lagd for systemer med levende fisk. Gjennom «Smittekontroll» har det blitt etablert veilederforslag for hygienisk design og renhold for RAS og brønnbåt (Slette, Lona, et al., 2024b, 2024a). Prosjektet har også bidratt til mer forståelse av fiskens mikrobiota, som designere, sammen med fiskehelsepersonell og oppdrettere kan bruke til å utvikle stadig bedre systemer for fisk fremover.

Rederi, oppdrettere og forvaltning har fått mer kunnskap om brønnbåtens viktige rolle. Dagens vaskerutiner om bord og karantenekrav virker effektive for å fjerne partikler, men det kan være risiko for virusspredning via skrog underveis i oppdrag. Dette kan spille inn i diskusjoner om brønnbåtprosedyrer og karantenekrav, siden resultatene indikerer at renholdet fungerer. Vi har likevel ikke data som gir grunnlag for å endre Transportforskriften. Behovet for informasjonsdeling mellom kommersielle aktørene er også understreket med dette prosjektet. BarentsWatch-tjenester som forskjellige kartlag og «ruteplanlegger» er utviklet og tatt i bruk, og bidrar til å lette samarbeidet samt gjøre det enklere å velge og dele smittesikre ruter.

BarentsWatch beskriver at de gjennom prosjektet har lært mye av rederi og oppdrettere om behovene for datadeling. Noe av dette er allerede realisert, men mesteparten vil gi gevinster i form av forbedrede tjenester i tiden fremover.

2.2 Resultatmål

De seks delmålene (se forrige side) er studert fra ulike fagretninger. Delmålene om *mikrobiologi* (delmål I, V og VI) er tilnærmet med mikrobiologianalyser av fisk, vann og biofilm fra et utvalg RAS-anlegg og brønnbåter. Delmålene om utforming, rutiner og tiltak (II, III, IV) har fått informasjon gjennom dokumentanalyser, intervju og feltarbeid ved en rekke RAS-anlegg og brønnbåter.

Dette har gitt en forståelse av hvordan mikroflora, utforming og driftsrutiner hver for seg og samlet kan hindre smittespredning. Vi har beskrevet forskningsfronten for utforming og drift av RAS-anlegg og brønnbåter (kapittel 4 og 5), og samtidig vist hvordan anlegg bygges og drives på en suboptimal måte (kapittel 6). Det er forklart at renhold ikke utføres på grunn av mangel på tid og tilgjengelighet for det som skal gjøres rent, og at tiltak ikke gjennomføres av praktisk-økonomiske årsaker. Mikrobiologiresultatene beskriver bakterie- og virussammensetningen på forskjellige steder og i forskjellige faser (kapittel 7). Hovedresultatet er at rengjøringsrutinene virker *der de gjennomføres*, og dette bygger på alle formene for datamateriale i prosjektet, og har flere relaterte funn og tiltak (se kapittel 8). Dette viser hvordan tilnærmingene i fellesskap gir en økt forståelse som gir tiltak som kan føre til bedre vann- og biofilmbehandling i RAS- og brønnbåtvirksomhet.

3 Prosjektgjennomføring

3.1 Forskningsspørsmål og arbeidspakker

Prosjektets problemstilling har vært studert i fire arbeidspakker med hver sine forskningsspørsmål, se figur 1. Hvert av delmålene (beskrevet i kapittel 2) er besvart i hver sin arbeidspakke.

Hvor er det risiko for patogen mikroflora i RAS-anlegg og brønnbåt, og hvordan kan risikoreducerende tiltak innenfor mikrofloraprøver, teknologiutforming og driftsrutiner gjøre desinfeksjon forutsigbar og effektiv?

| Case: RAS-anlegg | Case: Brønnbåt |
|--|----------------|
| AP1 Mikroflora. AP-leder: Deni Ribicic Screening av vann, fisk og biofilm for virus og bakterier. Følge fiskegrupper og sammenligne før og etter vask/desinfeksjon. <ul style="list-style-type: none"> Hvordan er mikrofloraforekomsten i RAS-anlegg og brønnbåt før og etter desinfeksjon, og hvilke prøvesteder er mest effektive for påvisning av patogene mikroorganismer? | |
| AP2 Teknologiutforming. AP-leder: Eivind Lona og Hans Tobias Slette Erfaringer med eksisterende designløsninger for tanker, rørsystem og pumper muligheter for godt vaskbart design. Identifisere risikofaktorer ved ulike designløsninger og teknologi. <ul style="list-style-type: none"> Hvordan kan teknologiutforming bidra til forutsigbar og effektiv mikroflora i RAS-anlegg og brønnbåt? | |
| AP3 Driftsrutiner. AP-leder: Kristine Størkersen Intervju- og dokumentstudie av settefiskanlegg- og brønnbåtansattes rutiner og prosedyrer for vannbehandling og renhold. <ul style="list-style-type: none"> Hvordan kan driftsrutiner bidra til forutsigbar og effektiv mikroflora i RAS-anlegg og brønnbåt? | |
| AP4 Effektive tiltak for forutsigbar vannbehandling. AP-leder: Andreas Misund Vurdering av risikoreducerende effekt av konkrete målbare tiltak fra andre AP slik at det blir enklere for den enkelte aktør å sikre at vannbehandling dimensjoneres og utføres med tilstrekkelig funksjon og effekt <ul style="list-style-type: none"> Hvilke tiltak har god forutsetning for å bidra til forutsigbar og effektiv vannbehandling i RAS-anlegg og smolttransport? | |

Figur 1: Problemstillinger og beskrivelse av «Smittekontroll», fordelt på de originale arbeidspakkene.

Som en forlengelse av arbeidspakke 1 har vi underveis i prosjektet lagt til to arbeidspakker.

Arbeidspakke 1x: Risikovurdering av biosikkerhet knyttet til brønnbåt-transport av slaktefisk

Prøvetaking under to separate transporter til slakteri med laks som hadde påvist sykdom. Utbrudd av sykdom økte sannsynligheten for å kunne påvise tilsvarende biologiske agens. Prøver av biofilm og vann ble tatt og opparbeidet på lik måte som i AP1, med analyser av mikroflora.

- Arbeidspakken dekker delmål V: Evaluere biosikkerhetsrisiko for brønnbåter som benyttes til transport av både slaktefisk og smolt.
- AP-leder: Deni Ribičić

Arbeidspakke 1y: Risikovurdering av biofilm, tillegg for brønnbåtskrog

Forskningsresultatene fra AP1x indikerte at begroing av skrog innebærer en risiko. Derfor ble det gjort prøvetaking av biofilm fra fartøysskrog under ytterligere to transporthendelser av infisert fisk.

- Arbeidspakken dekker delmål VI: Å fastslå om virus/patogene organismer i skrogbegroing er et vanlig fenomen, og for å sikre at våre tidligere funn ikke var isolerte hendelser.
- AP-leder: Deni Ribičić

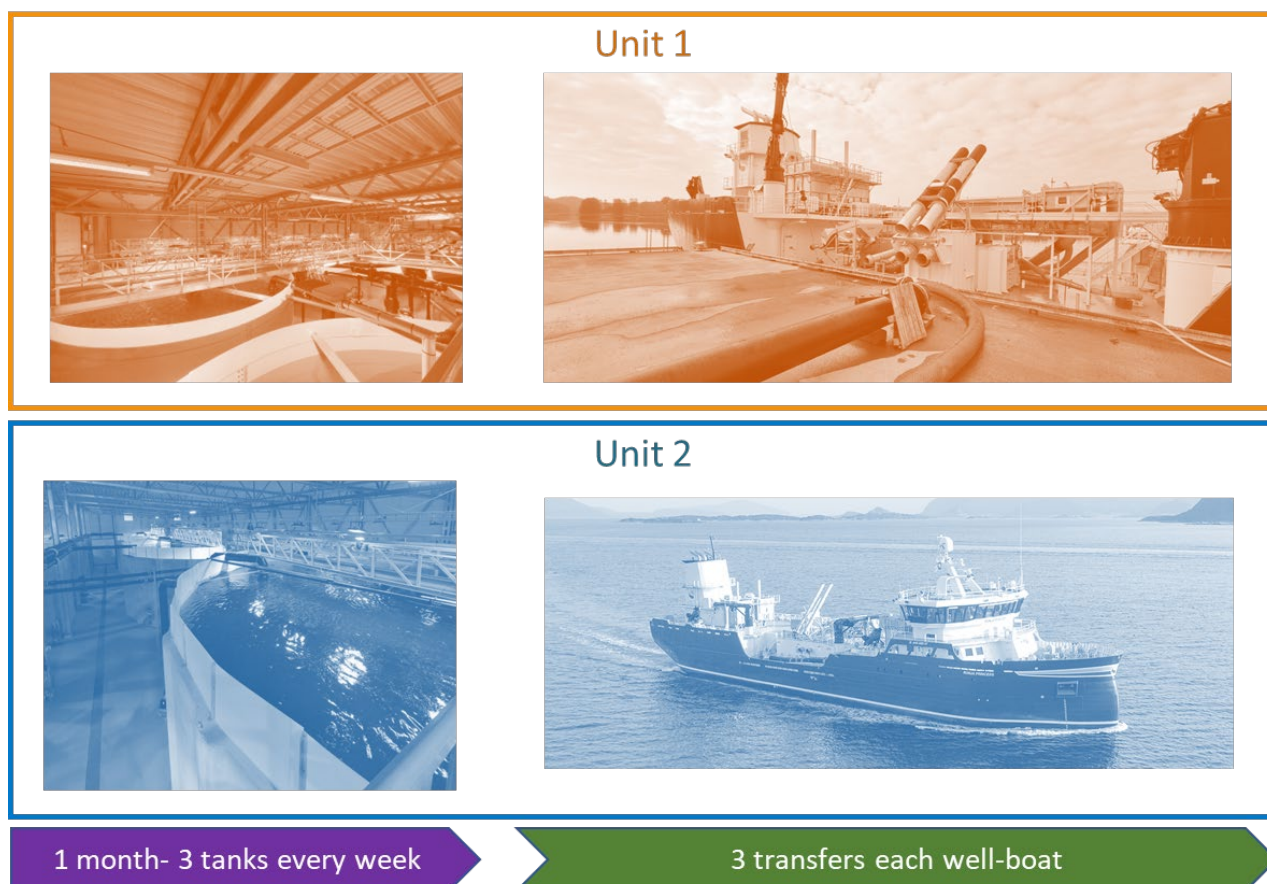
3.2 Metodikk

«Smittekontroll» har vært tverrfaglig, og inkludert fire metodiske tilnærminger.

1. Mikrobiologiske analyser. Mikrobielle samfunn ble analysert i vann-, fisk- og biofilm-prøver. I tillegg ble prøver kvantitativt analysert for utvalgte virus og bakterier. Fiskegrupper ble fulgt over tid og prøver fra settefiskanlegg og brønnbåt før og etter vask/desinfeksjon ble sammenlignet.
2. Dokumentanalyser av prosedyrer og rutiner fra oppdrett og brønnbåtselskaper, tidligere forskning på biosikkerhet, standarder og biosikkerhetsreguleringer.
3. Intervju med representanter på forskjellige nivå av oppdrettselskap, forvaltning, utstyrsleverandører, rederier, interesseorganisasjoner og forskningsinstitusjoner
4. Felt- og observasjonsstudier på brønnbåter og settefiskanlegg

3.2.1 Mikrobiologisk analyse

Vi har overvåket to produksjonsenheter, der hver enhet besto av et RAS-settefiskanlegg og en brønnbåt (heretter «enhet 1» og «enhet 2»). Figur 2 illustrerer disse.



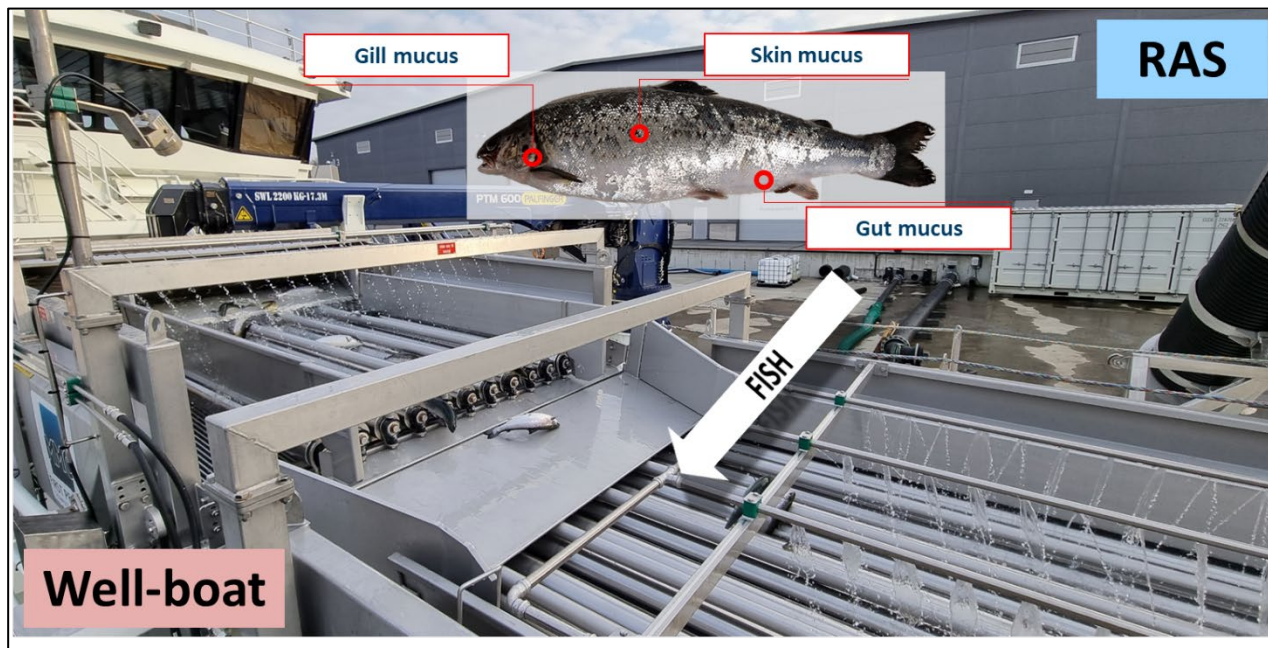
Figur 2: Mikrobiologiske prøver er tatt av enhet 1 og enhet 2 - hver enhet består av et RAS-anlegg og en brønnbåt.

I tillegg har vi undersøkt dynamikken til ILAV på brønnbåtoverflater under tre separate overføringer av infisert laks fra nord-, midt- og sørvest-Norge. Målet her var å undersøke om brønnbåtoverflater kan fungere

som en potensiell vektor for virusoverføring, og i hvilken grad operasjonelle prosedyrer er effektive for å dempe dette.

Mikrobiota i RAS og brønnbåter

RAS-enhetene ble overvåket over en periode på en måned før utsetting av fisk.



Figur 3: Illustrasjon av prøvetakingspunkter på fisk, som ble tatt prøver av både i RAS-anlegg og brønnbåt.

RAS-systemet i enhet 1 opererer med en teoretisk resirkuleringseffektivitet på 99 %, med en blanding av sjøvann og ferskvann med en saltholdighet på 12 ppt. Systemet har tankhydraulisk retensjonstid (HRT) på 25 minutter, temperatur 11,5 °C og et lysregime med 12 timer lys og 12 timer uten (12/12). Nøkkelfunksjoner i systemet inkluderer en bioreaktor med «moving bed», ultrafiolett (UV) desinfeksjon på inntaksvann og delvis ozonbehandling i sløyfen. Gjennomsnittlig smoltstørrelse ved levering var 470 g.

RAS-systemet i enhet 2 opererer også med en teoretisk resirkuleringseffektivitet på 99 %, med ferskvann kunstig saltet til 4 ppt. Systemet har kar-HRT på 45 minutter, temperatur 15 °C og et fullt lysregime (kontinuerlig lys). Bioreaktoren er av typen «fixed bed», med UV-desinfeksjon på inntak og delvis ozonbehandling i sløyfen. Gjennomsnittlig smoltstørrelse ved levering var 290 g.

Fra hvert RAS-anlegg ble tre forskjellige kar overvåket og prøver ble samlet inn ukentlig. Prøvene inkluderte inntaksvann før og etter UV, in-line vann før og etter ozon, karvann, biofilm fra karvegg før og etter vask, biofilm fra karbunn før og etter vask, biofilm fra rør før og etter vask (avløpsrør fra sidekasse i enhet 1, og innløpsrør til denitrifikasjon reaktor og hydrotech spylevann i enhet 2), biofilm fra sidekasse før og etter vask, biofilm fra biofilter, biofiltervann, biofilm fra plateseparator (bare enhet 2), fiskeskinn-, gjelle- og tarmslim. Se figur 3 for oversikt over prøvetakingssteder på fisk og figur 4 for oversikt over stedene det ble tatt prøver av.

Etter fiskeleveransen ble RAS fra enhet 1 vasket ved å skumlegge karet med såpe (Foam 226), deretter spyle med varmt vann og høytrykkspylers. For desinfisering ble det skumlagt med Perfectoxid med

skum, etterfulgt av en ny spyling. Spesiell vask av rør gjennomføres vanligvis ikke dersom det ikke er tegn til sykdom i RAS. RAS fra enhet 2 ble vasket med vann ved hjelp av høytrykkspyler, og deretter ble ozon kjørt gjennom systemet.

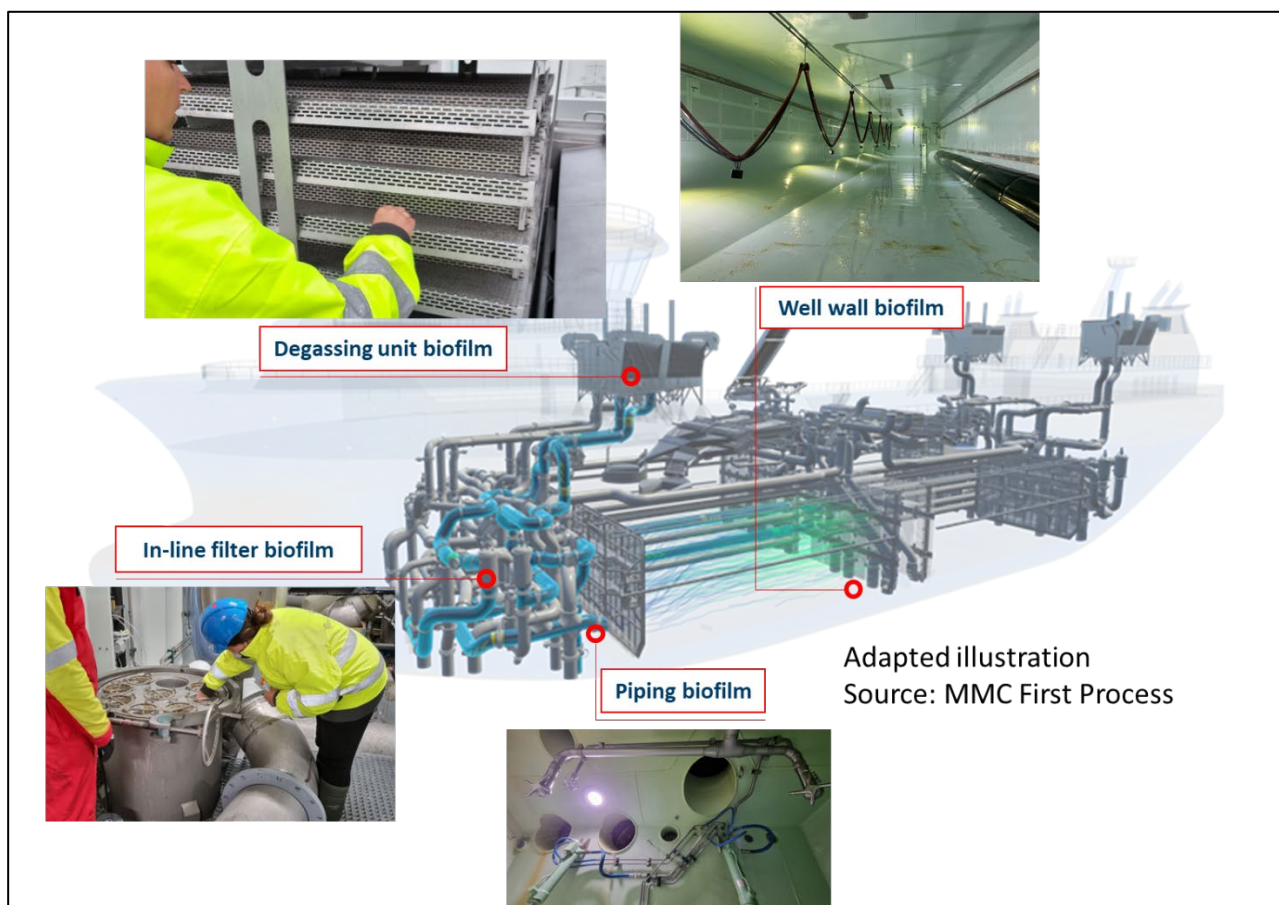


Figur 4: Oversikt over steder for prøvetaking i RAS-anlegget for å vurdere effekt av vaske- og desinfeksjonsrutiner.

For brønnbåtene ble det overvåket tre ulike transportere, i sammenheng med overføring av fisken fra de tre overvåkede karene ut i sjø. Brønnbåtene som ble brukt for enhet 1 og enhet 2 var relativt nye, produsert henholdsvis i 2020 og 2022. Fartøyene var like, og begge var også spesialiserte smoltbrønnbåter. Brønnbåten for enhet 1 var 70 meter lang, 18 meter bred, og 2 500 m³ lasteromskapasitet. Brønnbåten for enhet 2 var 77 meter lang, 18 meter bred, og 3 000 m³ lasteromskapasitet. Begge fartøyene var utstyrt med UV-desinfeksjon ved vanninntak, ozonbehandling i sirkulasjonssøyfen, inline vannfiltreringsenheter (MossHydro, Lierstranda, Norge) og lus filtre for å sikre biosikkerhet. Prøvene inkluderte inntaksvann før og etter UV, brønnvann, lusfilteravleiringer, inline-sirkulasjonsfilteravleiringer før og etter vask, brønnveggbiofilm før og etter vask, rørbiofilm før og etter vask, avgassingsenhetsbiofilm før og etter vask (se figur 5), fiskeskinn, gjelle- og tarmslim (se figur 3). Før brønnbåtene ankom settefiskanleggene gjorde de manuell vask, kjørte sine automatiske vaskesystem og sirkulerte ozon. Ozonering er ikke lovpålagt, men det kreves av mange oppdrettsselskap.

For enhet 1 og enhet 2 ble det totalt samlet inn 1100 prøver, noe som utgjorde 539 prøver fra enhet 1 og 561 prøver fra enhet 2. Av disse ble alle 539 prøver fra enhet 1 analysert (237 fra RAS og 302 fra brønnbåt), mens 84 utvalgte prøver fra enhet 2 ble analysert (59 fra RAS og 25 fra brønnbåt). På grunn av den store mengden analyserte prøver fra enhet 1, vil vi her fokusere på resultater fra enhet 1 og bruke resultatene fra enhet 2 for å supplere og gi ytterligere kontekst. Avvik i antall analyserte prøver mellom de

to enhetene skyldtes budsjettbegrensninger, og påfølgende vurdering av hvilke analyser som ville gi størst nytte.



Figur 5: Prøvetakingssteder i brønnebåtene.

Innsamling av biofilm og fiskeslimprøver ble utført ved hjelp av vattpinner (Zymo Research, USA). Fiskeslimprøver ble samlet inn ved sideveis svabring på hver side av fisken. Gjelleslimprøver ble samlet inn ved å svabre indre og ytre gjellebue på begge sider av fisken. Tarmslimprøver ble samlet inn enten ved å skjære opp ventral del av fisken og bakre tarm og svabre med vattpinne, eller ved å sondere gjennom endetarmsåpningen. Alle vattpinneprovne ble lagret i ekstraksjonsrør som inneholdt keramiske «beads» for mekanisk lysis og DNA/RNA-shield (Zymo Research, USA) for kjemisk lysis og konservering av nukleinsyrer. 180 ml vann ble filtrert på stedet gjennom en 0,22 µm Sterivex-membranfilter (Merck Millipore, Tyskland) etterfulgt av tilsetning av 1 mL DNA/RNA-shield (Zymo Research, USA) til membranen for stabiliserings- og konserveringsformål av nukleinsyrer i prøvemateriale. Både vattpinner- og filterprøver ble lagret ved -20 °C for videre prosessering. DNA og RNA ble ekstrahert samtidig ved hjelp av DNA/RNA miniprep-kit (Zymo Research, USA) i henhold til produsentens instruksjoner.

Tabell 1: Liste over primere og prober av utvalgte mål for qPCR.

| Art | Mål | Primer 1 | Primer 1-sekvens | Primer 2 | Primer 2-sekvens | Probe | Probe-sekvens | Referanse |
|--|----------|-------------|-----------------------------------|-------------|---------------------------------|----------------|---|------------------------------|
| Total bacteria | 16S rRNA | 1055f | 5'-ATGGCTGTC-GTCAGCT-3' | 1392r | 5'-ACGGCGGTG-TGTAC-3' | 16STaq1115-CY5 | CY5-5'-CAACGAG-CGCAACCC-BHQ2 | (Rothrock et al., 2013) |
| <i>L. monocytogenes</i> | hlyA | LM hlyA-N-F | 5'-TGCAAGTC-CTAAGACGCCA-3' | LM hlyA-N-R | 5'-CACTGCATCTC-CGTGGTATACTAA-3' | LM hlyA-N-HEX | HEX-5'-CGATTTTCATCCG-GTGTTCCTTTTCG-3'-BQH1 | (Paul et al., 2015) |
| <i>F. psychrophilum</i> | Sig | FP-Sig F | 5'-GGTAGCGG-AACCGAAATG-3 | FP-Sig R | 5'-TTTCTGCCA-CCTAGCGAATACC-3 | FP-Sig CY5 | CY5-5'-CGCTTCCT-GAGCCAGA-3BHQ_1 | (Chapela et al., 2018) |
| <i>M. viscosa</i> | tonB | MoVi-F | 5'-CGTTGCG-AATGCAGAGGT-3' | MoVi-R | 5'-AGGCATTGCTTG-CTGGTTA-3' | MoVi-PHEX | HEX-5'-TGCAGGCAAGCCA-ACTTCGACA-3'-NFQ | (Grove et al., 2008) |
| <i>Y. ruckeri</i> | glnA | YR glnA-F | 5'-TCCAGCACCAA-ATACGAAGG-3' | YR glnA R | 5'-ACATGGCAGA-ACGCAGATC-3' | YERU-HEX | HEX-5'-AAGGCGG-TTACTTCCCGTTCC-3'-3IABKFQ | (Chapela et al., 2018) |
| <i>T. maritimum</i> | 16S | MAR4-F | 5'-TGCCTTCT-ACAGAGGGATAGCC-3' | MAR4-R | 5'-CTATCGT-TGCCATGGTAA GCC-3' | MAR4-FAM | FAM-5'-CACTTTGGAAT-GGCATCG-3'-MGB | (Fringuelli et al., 2012) |
| <i>T. finnmarkense</i> | Tuf | FIN2-F | 5'-ATGGCTGCTGT-TGATGCTTG-3' | FIN2-R | 5'-TGTGGAGT-TACAGAACCTGGC-3' | FIN2-CY5 | CY5-5'-GGTCGTGGTACT-GTTGCAACTG | (Netzer, upublisert) |
| <i>Photobacterium damselae-piscicida</i> | bamB | Ph_Pisc-F | 5'-TGCTGGTG-GTGTATTCTGGG-3' | Ph_Pisc-R | 5'-GCGATTGCTTG-TTGCCATAAC-3' | Ph_Pisc-P-HEX | HEX-5'-CGGACGT-TTAGCTGGTCTCTGA-3'-NFQ | (Netzer, Upublisert) |
| SGPV | SGPV | SGPV_F | 5'-ATCCAA-AATACGGAACA TAAGCAAT-3' | SGPV_R | 5'-CAACGACA-AGGAGATCAA CGC-3' | SGPV-FAM | FAM-5'-CGATTTTCATCCG-CGTGTTTCTTTTCG-3'-MGBNFQ | (Gjessing et al., 2020) |
| SAV | QnsP1 | SAV-Uni-F | 5'-CCGGCCCT-GAA-CCAGTT-3' | SAV-Uni-R | 5'-CCGGCCCTG-AA-CCAGTT-3' | SAV-Uni-FAM | FAM-5'-CTGGCCA-CCACTTCGA-3'-MGB | (Hodneland & Endresen, 2006) |
| ILAV | ILAV | HPR0-F | 5'-CGAAAGC-CCTGGAAACTTTAGA-3' | HPR0-R | 5'-GATGCCG-GAAGT-CGATGAACT-3' | HPR0-HEX | HEX-5'-AAGGCCAT-CGTGCT-3'-NFQ | (Christiansen et al., 2011) |

Vannfiltratet fra Sterivex-filtrering ble bevart med det formål å målrette virusdeteksjon. Oppsamlet vann ble ultrafiltrert og oppkonsentrert ved hjelp av Amicon Ultra-15 sentrifugalfilter Ultracel-100K (Merck Millipore, Tyskland) og flere sentrifugrunder til nok konsentrat ble samlet opp. Dette ble fulgt av RNA-ekstraksjon ved hjelp av Quick RNA Miniprep-kit (Zymo Research, USA) etter produsentens protokoll.

For profilering av mikrobielle samfunn ble ekstrahert DNA sendt til en kommersiell sekvenseringsleverandør for bibliotekforberedelse ved bruk av 338F (5'-ACTCCTACGGGAGGCAGCAG-3') og 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3') primersett rettet mot V3-V4-regionen av 16S rRNA-genet, og sekvensering ved bruk av DNBSEQ-G400-plattformen (BGI, Kina).

I tillegg har vi utført målrettet påvisning av prioriterte bakterier og virus ved hjelp av kvantitativ PCR (qPCR) i alle behandlede prøver. For en liste over mål og tilsvarende primere og probes, se tabell 1. Standardkurver ble generert ved bruk av 5-gangers seriefortynninger (i triplikate) for hvert genetisk mål, hvor

kjente DNA-konsentrasjoner (i ng/ μ l) ble korrelert med tilsvarende Ct-verdier for å muliggjøre kvantifisering av målene.

Infeksiøs lakseanemi (ILAV) på brønnbåtoverflater

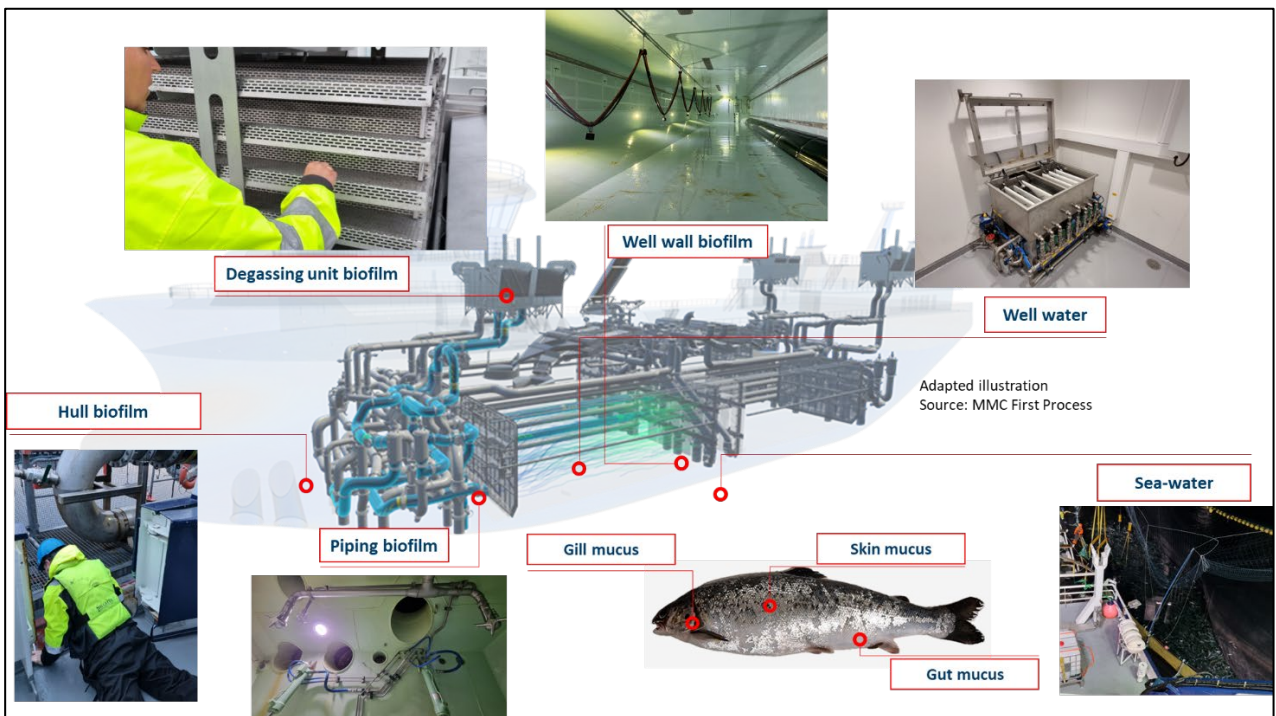
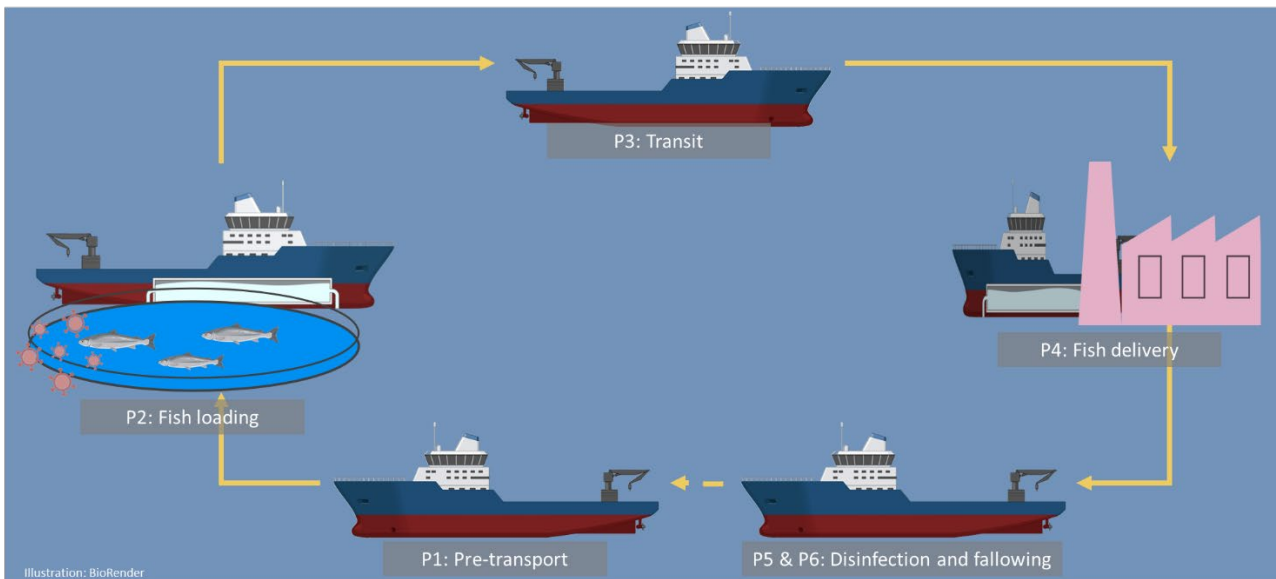
Etter bekreftelse fra Mattilsynet om et ILAV-utbrudd på et oppdrettsanlegg med den samme fisken som ble overvåket i vårt prosjekt i den landbaserte fasen (for enhet 1), ble biofilm- og vannprøver fra brønnbåten analysert med henblikk på tilstedeværelse av ILAV. Fokuset var på å overvåke både den første og den siste overføringen, der den første overføringen involverte merden med påvist ILAV (merden der den samme overvåkede fisken ble levert til), mens den endelige overføringen gjaldt merden som var lengst unna den opprinnelig diagnostiserte. Videre tillot overvåking av siste overføring vurdering av effekt av vasking, desinfeksjon og brakklegging etter avsluttet operasjon, noe som er obligatorisk ved transport av infisert fisk.

Seks ulike faser av en transport ble definert for prøvetaking (figur 6): (P1) før seilasen til lokaliteten som hadde påvist syk fisk, (P2) nær slutten, eller umiddelbart etter fullført fiskelasting, når brønnbåten fortsatt lå ved merd, (P3) under fiskeoverføringen i antatt virusfritt farvann (verken i nærheten av anlegg eller slakteri), (P4) etter fiskeoverføring, da båten lå til kais ved et slakteri, (P5) etter vask og desinfeksjon, og ved kai på et sted for karantenetid, og (P6) etter karantenep periode på 48 timer.

Vask og desinfeksjon etter slaktekjøring (P5) består av manuell spyling, såpelegging, full automatisk vask, desinfeksjon og ozonering, gjerne i flere omganger.

Totalt ble det samlet inn 144 prøver i denne aktiviteten, fra fiskeskinn, gjeller og tarmer, merdvann, båtbrønnvann, skrog, biofilm fra båtbrønnvegg, biofilm og biofilm fra avgassingsenhet. Prøver ble samlet inn og RNA isolert som beskrevet tidligere.

Alle prøvene ble først screenet med qPCR ved bruk av primersett og prober oppført i tabell 1. Prøver som ble gjort positive etter innledende screening ble videre vurdert ved bruk av digital (d)PCR ved en nylig utviklet analyse som har en evne til å skille ILAV HPR0 og ILAV HPR Δ (Rounsville et al., 2024). ISA8-analyse (404F_ISA8: 5'-TGGGCAATGGTATGGTATGA-3', 583R_ISA8: 5'-GAAGTCGATGAACTGCAGCGA-3', 491_ISA8_FAM: 5'-FAM-CAGGATGCAGATGTATGC-3'-MGBEQ) rettet mot segment 8 av ILAV oppdager begge ILAV-typene (ISAV_{TOT}), mens HPR0-analyse (HPR-F: 5'-AAACTTCAGAGGAACATCAGATGT-3', HPR-R: 5'-AACAGAGCAATCCCAAAACCTGC-3', HPR0-HE22-YAKYE: 5'-YAKYE-TTTGCTCTACTTGGTTTGAATG-3'-MGBEQ) er spesifikk for villtype og retter seg mot segment 6 som muterer til HPR Δ . Enkel subtraksjon av HPR0 fra ILAV_{TOT} gir overflod av mutert type (ILAV_{TOT} - ILAV HPR0 = ILAV HPR Δ).



Figur 6. Illustrasjon av A) prøvetakingsfaser og B) prøvetakingsteder for overvåking av ILAV-dynamikk på brønnbåtoverflater.

I tillegg ble to andre anlegg med ILAV tatt prøver av, med fokus på brønnbåtskrog. Dette ble gjort fordi den forrige screening viste at viruspartikler muligens kan bli fanget i begroingen på skroget og derfor potensielt bli transportert til andre produksjonssteder.

For dette formålet ble prøvetakingsprosedyren for biofilmen til brønnbåtskrogene endret. Initialt ble det tatt prøver to steder ved vannlinjen i duplikater, mens det her ble utført prøvetaking ved baug, midtseksjon og akterut ved vannlinjen og på ca. 3-4 m dyp i duplikater, noe som sørget for innsamling av prøver fra arealer som er permanent under vann og hvor det forventes å finne sterkere begroing.

Prøvelagring, ekstraksjon og analyse er utført som beskrevet tidligere. Ytterligere 174 prøver ble samlet inn og analysert.

3.2.2 Dokumentanalyser

Prosedyrer og tekniske dokumenter fra forskjellige brønnbåter og RAS-anlegg ble innhentet gjennom samarbeidspartnere og eksperter. Litteratursøk ble gjennomført med bruk av erfaring, kolleger og søkemotorer. Ved systematiske søk etter internasjonale vitenskapelige rapporter og artikler ble det brukt nøkkelord som «biosafety», «biosecurity», «RAS», «well-boats», «ozone», «UV», etc., i søkestrengen. Prosjektdatabasene til FHF og NFR ble bl.a. brukt for å innhente rapporter og artikler fra tidligere og pågående forskningsprosjekter. I tillegg har vi funnet offentlig regelverk og bransjestandarder fra bl.a. lovdata.no og Standard Norge.

3.2.3 Intervjustudie og arbeidsmøter

Vi hadde 37 forskningsintervju om biosikkerhet i RAS og brønnbåt i 2022 og 2023. Intervjuene ble gjennomført under besøk på arbeidsplassene eller over videomøter. Dette var i hovedsak semistrukturerte enkeltintervju, men vi hadde også noen gruppeintervju. Intervjuene tok opp tema basert på en intervjuguide. Tabell 2 oppsummerer antall personer som er intervjuet i prosjektet.

Tabell 2: Oversikt over de som er intervjuet.

| Kategori | Antall |
|---|-----------|
| Operativt personell fra RAS-anlegg, brønnbåter og oppdrettsanlegg | 18 |
| Ledelse og støttefunksjoner i selskaper | 6 |
| Utstyrs- og service leverandører | 6 |
| Forvaltning og kunnskapstjenester | 7 |
| Totalt | 37 |

I tillegg har vi hatt en rekke arbeidsmøter. For eksempel har BarentsWatch arrangert fire workshops med rederi, oppdrettere, fiskehelsetjeneste og andre interessenter. Temaet har vært behov i biosikkerhetsarbeidet, tiltak og særlig utvikling av BarentsWatch sin tjeneste.

Vi har også hatt flere tematiske arbeidsmøter om risikoaspekter og tiltak (se tabell 3). Deltakere har vært forskerne og samarbeidspartnerne i prosjektet, referansegruppa og andre eksperter. Arbeidsmøtene har hatt form av flere steg i en risikovurderingsprosess, med definering av ulike tema for tiltak, og videre tematiske prosesser med utprøving og vurdering av relevante tiltak.

Tabell 3: Diskusjonsmøter på Teams.

| Fagfelt | Selskaper | Møter |
|--|---------------------------|----------|
| Skipsdesign og rederi | 2 | 2 |
| Teknologidesign – RAS, brønnbåter | 3 | 3 |
| Overføring av patogener i og utenfor fiskesystemer | 2 (forskningsinstitutter) | 2 |
| <i>Totalt antall selskaper og møter</i> | <i>7</i> | <i>7</i> |

Prosjektet har fulgt forskningsetiske retningslinjer, og er meldt til personverntjenesten i Sikt. Personopplysninger er behandlet konfidensielt, og de som er intervjuet er sikret anonymitet.

3.2.4 Feltarbeid

For å forstå utforming og driftsrutiner har forskerne besøkt tre forskjellige RAS-anlegg og tre brønnbåter i flere anledninger (se tabell 3). Der har vi fått omvisning og snakket med folk, observert og prøvd utstyr og arbeidet. I tillegg har forskerne besøkt andre anlegg og brønnbåter for å ta mikrobiologiprøver, men dette er ikke tatt med i tabellen.

Tabell 4: Feltarbeid og besøk på brønnbåter og RAS-anlegg

| Enheter besøkt | Tidspunkt | Varighet |
|---------------------------|-------------|----------|
| RAS 1, besøk 1 | Mars 2022 | 2 dager |
| Brønnbåt 1, besøk 1 | Mars 2022 | 1 dag |
| RAS 1, besøk 2 | Mai 2022 | 1 dag |
| Brønnbåt 1, besøk 2 | Mai 2022 | 3 dager |
| RAS 2 | August 2022 | 2 dager |
| Brønnbåt 2 | August 2022 | 1 dag |
| RAS 3 | Januar 2023 | 1 dag |
| Brønnbåt 3, besøk 1 | Januar 2023 | 1 dag |
| Brønnbåt 3, besøk 2 | Januar 2023 | 3 dager |
| Total varighet feltarbeid | | 15 dager |

I de neste kapitlene beskrives resultatene fra «Smittekontroll». Rekkefølgen på resultatkapitlene er ulik rekkefølgen på delmål og metodebeskrivelse. Først presenteres risikoforhold og tiltak for henholdsvis RAS og brønnbåt (kapittel 4 og 5), deretter gjennomføring av driftsrutiner (kapittel 6), før mikrobiologiresultatene (kapittel 7). Til slutt kommer en overordna vurdering av resultatene, funn og tiltak.

4 Risikofaktorer og tiltak for utforming og drift av RAS

Basert på dokumentanalyser, feltarbeid, intervju og arbeidsmøter, har «Smittekontroll» kommet frem til risikoforhold og tiltak som angår utforming av og driftsrutiner for RAS. Vi har ikke rangert risikofaktorene etter alvorlighetsgrad, og risikoen er ikke kvantifisert. Dette delkapitlet er en norsk versjon av en del av den vitenskapelige artikkelen “Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats” publisert i *Reviews in Aquaculture* (Slette, Salomonsen, et al., 2024). Forholdene deles opp i risiko for introduksjon av smitte, spredning innad i RAS, oppvekst i RAS, og annen risiko. Tabellene viser om den enkelte risikofaktor er beskrevet i litteraturen, kommet frem under intervju, eller observert under feltarbeid.

4.1 Introduksjon av patogen i RAS

Datainnsamlingen har identifisert seks risikofaktorer som gjelder introduksjon av smitte til RAS-anlegg. Se også tabell 5.

Infisert rogn blir ofte vurdert som en betydelig risikofaktor som må håndteres med forhåndsregler. Rogn som leveres til settefiskanlegg blir derfor desinfisert før den legges inn på klekkeriet.

Inntaksvannet er en annen risikofaktor, hvor det er vanlig å ha tiltak for å hindre introduksjonen av smitte. Her bør filtrering og desinfeksjon av inntaksvannet foregå i flere steg. F.eks. først et grovfilter (f.eks. ~1 mm), så et finere filter (~50 µm) og deretter en desinfeksjonsmetode som f.eks. UV (25 mWs/cm²).

Fôr kan være en vektor for smitte. Håndtering og lagring av fôr må derfor planlegges nøye. Fortrinnsvis burde fôr lagres i et lukket rom.

Enkelte RAS-anlegg har fiskekar ute, uten heldekkende tak. Noen er bare dekket av et nett. Smitte fra fugler og andre predatorer kan dermed komme i fisken eller vannsystemet. Ekskrementer eller kontakt mellom dyr og fisk/vann kan potensielt føre til infeksjoner. Det er derfor anbefalt at systemet er utilgjengelig for andre arter. Vegger og dører må være stengt selv om det kan virke begrensende for drift.

Også mennesker kan bære patogen på klær eller utstyr. For eksempel dersom det mangler rutiner for «rene» og «skitne» soner eller klesskifte imellom sonene.

Noen patogen kan overleve i luft en viss periode slik at det finnes en liten risiko for smitte via luften. Dette kan være en risiko om RAS anlegget ligger nært sjøen (med potensial for sjøsprøyt) eller andre patogener kilder.

Tabell 5. Risikofaktorer for introduksjon av patogener til RAS-anlegget

| Risikofaktor | Tiltak | Referanser |
|---|---|--|
| Rogn og yngel kan bære patogener | Introduser rogn i stedet for yngel, siden egg kan overflate-desinfiseres Karantene for yngel (Ingen ytterligere tekniske tiltak) | (Fjellheim et al., 2016; Lillehaug et al., 2015; Sæther, 2021; Tørud et al., 2019) |
| Inntaksvann kan inneholde patogener | Valg av vannkilde av høy kvalitet med lavt infeksjonspotensial (inkl. plassering av vanninntak på anlegget) Unngå bruk av sjøvann og ferskvann fra kilder der det er anadrom fisk Reduser mengden råvann som tas inn Behandling av inntaksvann gjennom filtrering og desinfeksjon (flere hygieniske barrierer) Behandling av inntaksvann er basert på forhold og behov Dimensjonerende behandling for overkapasitet – sikrer god funksjon selv ved "avvik" Kvalitetssjekk av vann før det går i produksjon UV-stråling med kapasitet utover krav | (Fjellheim et al., 2016; Forskrift om desinfeksjon av vann, akvakultur, 1997; Transportforskriften, 2023; Larsen et al., 2020; Lillehaug et al., 2015; Veterinærinstituttet, 2021; World Organisation for Animal Health, 2023), interviews |
| Fôr kan bære patogener hvis det utsettes for dette for eksempel under transport og lagring | Fysisk lukket transport av fôr til anlegget Fysisk lukket lagring av fôr, innendørs eller i beholdere | (Fjellheim et al., 2016; Lillehaug et al., 2015; World Organisation for Animal Health, 2023) |
| Vektorer – dyr som gnagere, fugler eller andre levende organismer kan bære patogener inn i anlegg | Fysisk barriere mellom smoltproduksjon og ytre miljø, slik at dyr hindres i å få tilgang til fisken og vannet, eller på annen måte kan bringe patogener inn i RAS-systemet | (Lillehaug et al., 2015; Sæther, 2021; World Organisation for Animal Health, 2023) |
| Vektorer – mennesker og utstyr som brukes kan frakte patogener inn i anlegg | Begrenset tilgang til smoltproduksjon Tilgang kun gjennom sluser med en klar grense for skitten og ren sone | (Lillehaug et al., 2015; Sæther, 2021; World Organisation for Animal Health, 2023) |
| Patogener kan bevege seg gjennom luften i sprut, sjøsprøyt eller aerosoler | Komplette fysiske barrierer mellom smoltproduksjon og omgivelsene | (Fjellheim et al., 2016; Larsen et al., 2020; Lillehaug et al., 2015; Sæther, 2021) |

4.2 Spredning av patogener innad i et RAS-anlegg

Vi har identifisert sju risikofaktorer for smittespredning i RAS-anlegg. Noen risikofaktorer er de samme som beskrevet i forrige avsnitt, og blir dermed mindre beskrevet, men vi nevner tiltak for å hindre spredning innad i anlegget. Se også tabell 6.

Muligheten for vannsprut eller aerosoler som bærer patogen i luften mellom karene kan reduseres ved å bruke fysiske barrierer mellom karene, enten delvis eller fullstendig.

Risikoen for spredning gjennom vektorer (som utstyr eller personell) kan reduseres ved å ha utstyr som er enkelt å desinfisere og ved å praktisere gode desinfeksjonsrutiner mellom kar og avdelinger/enheter i anlegget. Ideelt bør hver avdeling ha sitt eget utstyr som kun brukes på denne avdelingen. Antallet kar koblet til det samme systemet bør reduseres til et minimum og bør være mulig å stenge av ved sykdomstilfeller. Gangbaner over kar bør ha heldekkende underlag for å minimere risikoen for at partikler og objekter faller ned i karene.

Patogener kan spres gjennom vann om karene er koblet til samme vannbehandlingssystem, uten fysiske barrierer som vannfall eller uten desinfeksjon i loopen. Det bør være automatisk vasking og desinfeksjon av vanskelig tilgjengelige rørsystemer. Hele systemet bør enkelt kunne resettes ved tilfeller av smitte.

Lekkasjer og/eller vanninntrenging er andre identifiserte risikofaktorer. Dette kan være fra vannmasser til det utenforliggende miljøet, eller mellom to vannmasser som er separert av karvegger, rør, vegger eller lignende. Den første situasjonen kan for eksempel være forårsaket av overløp i et rør.

Biologiske verter, som f.eks. fisk eller biofilm, kan være potente bærere av patogen, og bør ikke komme på avveie. Det er behov for netting/grovfilter i vannstrømmen som hindrer biologiske verter i å passere. Man må ikke glemme barrierer som hindrer fisk i å svømme til områder den ikke skal være (for eksempel i rør). I tillegg bør man innføre løsninger som fjerner biologiske verter på avveie.

At fisk smittes av annen fisk i samme kar er vanskelig å unngå, men det kan gjøres tiltak som reduserer risikoen. Dette inkluderer blant annet systemer som tidlig varsler om symptomer, og at infiserte individer fjernes kjapt fra karet.

Den siste risikofaktoren for spredning av patogen i et RAS-anlegg er felles bruk av «fast utstyr» og systemkomponenter som rør, pumper og vaksinasjons- og sorteringsmaskiner. Fast utstyr/komponenter er ofte delt mellom avdelinger og det er vanskelig å komme til for rengjøring. De to viktigste tiltakene for disse problemstillingene er hygienisk design av komponenter og system for tilstrekkelig vask og desinfeksjon, ved å f.eks. ha automatisk monitorering og automatiske desinfeksjonssystemer.

Tabell 6. Risikofaktorer og tiltak for spredning av patogen innad i RAS-anlegg, både når det gjelder i tid og rom.

| Risikofaktor | Tiltak | Referanser |
|---|---|--|
| Sprut og aerosoler kan bære patogener mellom kar i luft, for eksempel under spyling av kar eller prosesser i vannbehandling | Hold fiskegrupper fysisk atskilt i separate lukkede rom for å unngå delt luft | (Bakkeli & Skjelstad, 2001; Bregnballe, 2015; Larsen et al., 2020; Sæther, 2021) |
| | Fysisk separasjon mellom fiskekar enten med vegger eller tilstrekkelig avstand til å unngå overføring ved sprut | |
| | Få fiskekar i samme rom / økt antall adskilte avdelinger | |
| | Barrierer i vannbehandling som hindrer skum, sprut eller aerosoler i å gå utenfor den tiltenkte vannstrømningsretningen | |



| | | |
|---|---|--|
| Vektorer: Personer, filtre, utstyr etc. kan frakte patogener mellom kar, for eksempel på klær eller via delt utstyr som håv og sensorer | <p>Å ha utstyr som lett kan desinfiseres</p> <p>Gode løsninger for vask og desinfeksjon av utstyr som fraktes mellom kar og/eller avdelinger</p> <p>Tett gulv på gangbaner over kar</p> | (Bakkeli & Skjelstad, 2001; Larsen et al., 2020) |
| Patogener kan føres med vannstrømmen gjennom systemet og kan til og med spre seg mot strømmen | <p>Systemet må være enkelt å tilbake stille, inkludert fjerning og tilbake stilling av biofilteret (eller annen løsning for konvertering av totalt ammoniakknitrogen)</p> <p>Lavt antall kar som deler samme vannbehandlingssystem</p> <p>"Fossefall" i vannstrømmen for å skape en fysisk barriere som hindrer spredning av patogener mot strømmen</p> <p>Oversikt over smittestatus, inkludert fiskehelseovervåking</p> <p>Mulighet for å stenge av kar eller andre deler av systemet med smitte (karantene)</p> <p>Desinfeksjon, for eksempel UV eller ozon i sløyfen</p> <p>Automatisk vask og desinfeksjon av rørsystemer</p> <p>Unngå blanding mellom fiskegrupper i en avdeling – «all out» og «full washdown»</p> <p>Tøm regelmessig avdelinger helt for fisk slik at de kan vaskes, desinfiseres og tørkes</p> | (Bakkeli & Skjelstad, 2001; Good, 2022; Larsen et al., 2020; Sæther, 2021; Tørud et al., 2019; World Organisation for Animal Health, 2023) |
| Lekkasjer, flom, vanninntrengning. For eksempel rør i fiskepumpebrønner som er nedsenket i vann fra andre kar eller vann som trenger inn i kar fra delte rør, for eksempel under tømning av kar | <p>Fall i vannstrømmen</p> <p>Separate systemer (f.eks. unngå å ha rør som deles mellom kar)</p> <p>Store dimensjoner på avløpsrør og andre deler der overtrykk kan føre til lekkasjer eller overløp</p> | (Bakkeli & Skjelstad, 2001; Larsen et al., 2020) |
| Biologisk vert på avveie i systemet, enten fisk, begroing eller noe annet som har kommet inn i systemet | <p>Inndeling av systemet med gitter, fossefall etc. for å hindre videre spredning av verter i systemet</p> <p>Vegger eller lukkede systemer som forhindrer omgåelse av barrierer</p> <p>Design som gjør at verter kan ledes ut av vannstrømmen slik at den ikke hopper seg opp og er lett å fjerne</p> | (Larsen et al., 2020) |
| Spredning mellom fisk i samme kar eller vannsløyfe. Infisert fisk sprer patogener til friske individer | <p>Rask, automatisk fjerning av infisert/syk/svekket/død fisk (f.eks. ved å føre svak fisk ut av karet med sekundær vannstrøm)</p> <p>Automatisk overvåking av atferd og andre indikatorer for tidlig varsling av symptomer på infeksjon</p> | (Robertsen, 2011; Tørud et al., 2019; World Organisation for Animal Health, 2023) |
| Fast utstyr og komponenter som deles mellom kar og fiskegrupper kan spre smitte. For eksempel deles ofte rør, vaksinasjons- og sorteringsutstyr og pumper, og er også vanskelig tilgjengelig for rengjøring | <p>Utstyr må være utformet for god vaskbarhet</p> <p>Ha redundans i komponenter slik at noen kan stoppes for spyling mens systemet er i drift</p> <p>Mulighet for demontering av utstyr, både fra resten av systemet og i mindre deler for bedre tilgang for rengjøring</p> <p>Fall mot avløp eller åpning, og oppvarming og lufting som sikrer rask tørking av komponenter mens de ikke er i bruk (f.eks. transportrør)</p> <p>Automatisk vask og desinfeksjon (eventuelt inkludert automatisk overvåking av startkriterium)</p> | (Larsen et al., 2020; Skrudland, 2022) |

4.3 Oppvekst av patogener i RAS

Gunstige forhold for oppblomstring av patogener er en risikofaktor for videre spredning av smitte i systemet. Se også tabell 7.

En risikofaktor er utilstrekkelig vannkvalitet i hele eller deler av RAS-systemet. Alle delene av systemet burde ha ønsket vannkvalitet, men lav vannstrøm i visse områder kan gi lavere utskiftningsrater. Som et tiltak burde kar og rør designes for tilstrekkelig vanngjennomstrømming og kort holdetid. Dette inkluderer hvordan vannet føres inn i karene, med tanke på trykk, retning og dysedesign. Lange dødsoner og interne komponenter i systemet som forstyrrer vannstrømmen bør unngås.

En reduksjon i totalbakteriekonsentrasjonen etter desinfeksjonen i loopen kan forårsake oppvekst av opportunistiske bakterier. Derfor burde desinfeksjon være gjennomtenkt, spesielt om det finnes rikelig av næringsstoffer for opportunistisk oppvekst. Om desinfeksjon benyttes i loopen burde den plasseres slik at det er kontroll over gjenvekst og oppblomstring av opportunistiske bakterier. Holdetiden i karene bør være kort for å hindre betydelig vekst før vannet resirkuleres tilbake til desinfeksjonspunktet.

Biofilm og begroing i kar, rør og andre komponenter er veldokumenterte risikofaktorer. Lav konsentrasjon av ozon eller andre kjemiske substanser er forebyggende tiltak. I tillegg burde biofilm og begroing fjernes regelmessig. Dette krever et design som er tilpasset rengjøring og tillater nedvask av seksjoner selv under drift, og løsninger for inspeksjoner og rengjøring av de mest utfordrende områdene.

Tabell 7. Risikofaktorer og tiltak for oppvekst av patogener i RAS-anlegg.

| Risikofaktorer | Tiltak | Referanser |
|--|--|---|
| Områder med utilstrekkelig vannkvalitet, for eksempel på grunn av lokalt lavere erstatningsrater, kan gi gunstige forhold for patogener | Utforming av kar, innløp til kar, rørgrener, etc. for jevn vannføring og holdetid | (Hagland, 2014; Sæther, 2018) |
| | Posisjonen, utformingen, retningen og hastigheten på vannet som kommer inn i karet må tilpasses ønsket strømbilde | |
| | Unngå «blindveier», spesielt i rørseksjoner | |
| | Unngå forstyrrelser i vannstrømmen, for eksempel som følge av tilleggsutstyr og gjenstander i karet. | |
| En reduksjon i bakteriekonsentrasjonen ved desinfeksjon kan tillate vekst av opportunistiske bakterier | Unngå desinfeksjon av vann hvis det er et overskudd av næringsstoffer for vekst av opportunistiske bakterier i etterkant | (Dahle, 2022; Fjellheim et al., 2016) |
| | Ha desinfeksjon i sløyfen for å kontrollere bakterievekst (helst desinfiseres før bioreaktoren) | |
| | Lav holdetid i karet, og minimer tiden det tar for vannet å strømme fra tank til desinfeksjon slik at opportunister ikke rekker å øke til problematiske nivåer | |
| Biofilm og annen begroing i kar, rør og andre komponenter, for eksempel utstyr for oksygenering eller lufting, fungerer som vertsmiljøer for patogener | Kapasitet bør planlegges med parallelle systemer som gjør det mulig å desinfisere (vaske ned og desinfisere) enheter og filtre uten å ta hele anlegget ut av drift | (L.-C. Ervik et al., 2020; Fjellheim et al., 2016; Jensen, 2022; Mota et al., 2022; Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Å ha en lav konsentrasjon av ozon eller andre midler i vannet (såkalt driftsozon eller f.eks. pereddiksyre) | |
| | Automatisk overvåking av begroing og varsler på grensenivåer | |
| | Mulighet for høyhastighets gjennomspyling for vask | |
| Ustabil vannkvalitet og raske endringer gagnar opportunistiske patogener. For eksempel på grunn av raske endringer i trykk, pumpehastighet, fôring og biomasse | Overvåking og varsling når grenseverdier nås | (Attramadal et al., 2021; Dahle, Bakke, et al., 2020; Fjellheim et al., 2016) |
| | Automatisk styring av funksjoner som kan endre forhold som påvirker vannkvaliteten for å holde relevante målparametere stabile | |
| | Barrierer som forhindrer utilsiktede endringer eller uønskede konsekvenser (f.eks. tottrinnsverifisering for å implementere visse endringer i systeminnstillinger og informasjon om mulige konsekvenser av den foreslåtte endringen) | |
| Ansamlinger av stillestående vann eller fuktighet i rør og andre komponenter skaper vekstforhold for patogener | Fall, varme og lufting for å sikre rask drenering og tørking av komponenter som ikke er i bruk (f.eks. transportrør) | Intervjuer |
| | God vaskbarhet, hygienisk design | |
| 2.6 Stor tilgang på organisk materiale og andre næringsstoffer for patogener | Rask og skånsom oppsamling og fjerning av fôrrester og avføring | (Dahle, Netzer, et al., 2020; Fjellheim et al., 2016) |
| | Filtrering og ozonering i vannstrømmen for å senke næringsnivået | |
| | Unngå overføring (f.eks. med støtte fra teknisk system) | |

4.4 Annen biosikkerhetsrisiko i RAS

Operasjonelle og tekniske feil kan utgjøre en fare for biosikkerheten. Se tabell 8. RAS-anlegg er avhengig av forutsigbar og stabil vannkvalitet, og det er risiko assosiert med tekniske feil som resulterer i avbrudd og avvik. Overlappende barrierer (redundans) er et tiltak for å sikre forutsigbarhet.

Økt monitorering og automatisering av enkelte prosesser kan støtte og være nyttig for operatørene av RAS-anlegget. Anleggene burde ha redundans også i det tekniske systemet for å redusere risikoen for smitte.

Tabell 8. Risikofaktorer for feil og stopp i driften av RAS-anlegg.

| Risikofaktor | Tiltak | Referanser |
|---|--|--|
| Brukerfeil | <p>Overvåking og støttesystemer på viktige parametere som forhindrer feil og gir advarsler om konsekvenser av endringer</p> <p>Automatisk justering i henhold til forhold som sikrer stabilitet i vannkvaliteten (f.eks. justering av CO₂-luftersug, ozondosering eller UV-styrke for å oppnå ønsket resultat)</p> | Intervjuer og møter |
| 4.2 Avvik eller skade på grunn av endrede forhold (f.eks. ødelagte filtre eller endret inntaksvann-sammensetning) | <p>Redundans, overkapasitet (f.eks. i filtrering eller i barrierer for å forhindre at biologiske verter kommer på avveie)</p> <p>Advarsler om avvik og feil slik at de oppdages raskt etter at det oppstår</p> <p>Automatisk håndtering – f.eks. nedstegning av hele eller deler av systemet en periode</p> <p>Drenering, doble rør, etc. for å forhindre spredning av patogener i tilfelle lekkasjer</p> <p>Mulighet for rask utskifting av vannet i systemet</p> | (World Organisation for Animal Health, 2023) |

5 Risikofaktorer og tiltak for utforming og drift av brønnbåt

Datainnsamlingen i «Smittekontroll» har også gitt en oversikt over risikoforhold og tiltak for utforming av og driftsrutiner for *brønnbåter*, som også er beskrevet i den vitenskapelige artikkelen «Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats» i *Reviews in Aquaculture* (Slette, Salomonsen, et al., 2024). Hvor mye som skal til for at fisk blir smittet under transport er usikkert, siden transporten er en relativt kort tidsperiode. Risikofaktorene er ikke kvantifisert eller rangert etter alvorlighetsgrad. Kapitlet er inndelt i introduksjon inn i brønnbåter, spredning innad og spredning fra brønnbåter til det omkringliggende miljøet.

5.1 Introduksjon av patogene mikroorganismer fra inntaksvannet til brønnbåter

Brønnbåter er utstyrt med UV-systemer for desinfeksjon av inntaksvann, som kombineres med finmaskete filter. Se også tabell 9. En risikofaktor er om UV-systemet har begrenset kapasitet, slik at det ikke klarer å desinfisere vannet som passerer systemet. Ifølge Veterinærinstituttet (2021) er UV-dose-kravet i forskriftene ineffektivt for inaktivering av visse patogene: Minimumsdosen med UV er 25 mWs/cm^2 , og noen patogene har en høyere terskel. Det er i tillegg kunnskapshull og usikkerhet rundt ulike patogene sin respons på UV-stråling. Intervjuer og litteraturen viser også usikkerhet hvordan UV-systemer kan vedlikeholdes og drives for å redusere risikoen for feil eller nedetid av systemet under drift og operasjoner. Det er også mulighet for operasjonsfeil ved bruk av UV. En forutsetning for å opprettholde normalfunksjonen til UV-systemet innebærer jevnlig vedlikehold etter spesifikasjonene, og rengjøring før bruk.

Logging og overvåking av desinfeksjonsstatusen til inntaksvannet kan også være nyttig for å forbedre dokumentasjonen og gi operatører og fiskehelsepersonell oversikt.

Fine partikkelfiltre kan utgjøre operasjonelle utfordringer for mannskapet. Mest på grunn av at det kan være en arbeidskrevende og tidskrevende oppgave å holde disse rene, i tillegg til at filterne er plassert på steder som er vanskelig å komme til.

5.2 Spredning av patogene mikroorganismer mellom fiskegrupper i brønnbåter

På brønnbåter praktiseres «*alt inn, alt ut*», slik at overflater og utstyr blir desinfisert før en ny fiskegruppe lastes om bord. Tilgang til visse områder på fartøyet er ofte en utfordring. Utsatte områder inkluderer pumper og rør, som kan være vanskelig å nå og derfor vanskelig å rengjøre og desinfisere. Se også tabell 10.

For å hindre spredning av patogen mellom fiskegrupper bruker noen oppdrettselskaper dedikerte brønnbåter for å transportere smolt fra settefiskanlegget til merdene. Dette kan både hindre smitte mellom områder, og mellom generasjoner av fisk. Sent i produksjonssyklusen er det økt risiko for sykdom, slik at transport av slaktefisk har en økt risiko for smitte til neste fiskegruppe som fraktes av samme fartøy.

En risikofaktor er vekst av biofilm på grunn av fukt. Overflater som aldri tørker helt opp kan ha aktive patogene. Dette kan øke risikoen for smitte mellom fiskegrupper. Noen tiltak kan forhindre formasjon av biofilm. Et av tiltakene er ozonering, som har en oksiderende effekt på partikler og biofilm, og dermed kan rengjøre også vanskelig tilgjengelige steder. Ozonering av brønn, rør og annet utstyr har blitt vanlig på nyere brønnbåter. Det er imidlertid ikke alltid at ozonering kan hindre alle patogener på ru/ujevne overflater i rør, sammenføyninger, sveiser, eller rustne komponenter. Små hull og ujevnheter i rørsystemene kan derfor lede til akkumulering av patogen. Når overflatene er glatte og jevne er de enklere å rengjøre og desinfisere.

Tabell 9. Risikofaktorer og tiltak for smitte av fisk i brønnbåt gjennom inntaksvann

| Risikofaktor | Tiltak | Referanse |
|--|--|---|
| UV-anlegg med begrenset kapasitet – bare en del av vannstrømmen desinfiseres | UV-anlegg med kapasitet over behov – desinfiserer godt nok selv når organisk materiale samler seg | Intervju med industriaktører, (L.-C. Ervik et al., 2020; Larsen et al., 2020; Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Sørg for at UV-systemet er riktig dimensjonert for fartøyets operasjoner | |
| | Tilpasning av UV-anlegg til kapasiteten om bord | |
| | Ta UV-systemplanlegging inn i den tidlige skipsdesignfasen | |
| | Rutinemessig rengjøring og service | |
| Ikke alle fartøy logger vann inn/ut av brønnen og hvis det er desinfisert med UV | Installer loggingsverktøy for å dokumentere desinfeksjon av inntrengende/utgående vann | (Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Gode rutiner for drift og vedlikehold av UV-anlegg | |
| Utilstrekkelig vannkvalitet – vann kan tas inn/ut ved feil, bevisste handlinger, (f.eks. sikre dyrevelferd), feil på UV-system forårsaket av akutte situasjoner, utilsiktet åpning av ventiler, etc. | Gode rutiner for drift og vedlikehold av UV-systemer | (Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Grundig opplæring av mannskap – sikre optimale operasjoner og redusere sannsynligheten for menneskelig feil. | |
| Finmaskete filter skaper operasjonelle utfordringer (vanskelig å komme til) | Rutiner for rens og filter service | Intervju med industriaktører, (Larsen et al., 2020) |
| | Grundig opplæring av mannskap – sikre optimale operasjoner og redusere sannsynligheten for menneskelig feil. | |
| | Gode og tilstrekkelige alarmsystemer og kalibrering av sensorer | |
| Anbefalt UV-dose har utilstrekkelig effekt på flere kjente patogener | UV-systemer med kapasitet utover krav | Intervju med industriaktører, (Transportforskriften, 2023; Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Bedre kunnskap om hvilke UV-doser som inaktiverer ulike virus under reelle forhold. | |
| Manglende kunnskap/forskning | Mer forskning på effektive doser under ulike forhold, inkludert kontaktvarighet | (Veterinærinstituttet, 2021) |
| Redusert desinfeksjon | UV-systemer med kapasitet utover krav | Intervju med industriaktører, (Larsen et al., 2020) |
| | Tilpassing av UV-systemene til kapasiteten om bord | |
| | Ta inn planlegging av UV-systemer i tidlig fartøysdesign | |
| | Gode rutiner for drift og vedlikehold av UV-systemer | |
| | Grundig opplæring av mannskap – sikre optimale operasjoner og redusere sannsynligheten for menneskelig feil. | |

Tabell 10. Risikofaktorer for smitte mellom transporterte fiskegrupper i brønnbåt.

| Risikofaktorer | Tiltak | Referanser |
|--|---|--|
| Vanskeligheter knyttet til tilgang for rengjøring (pumper, rør, filtre, avlusingsutstyr, CO2-strippere, etc.) | <p>Hygienisk design og utforming av fartøy, rør og brønn</p> <p>Fokuser på å unngå skarpe bøyninger i rør - unngå biofilmdannelse i skarpe vinkler</p> <p>Unngå rør med blind-ender</p> <p>Lag skrånende rør slik at de er selvdrenerende og/eller har rørsystemer med dreneringspunkter</p> <p>Tilpasset rørvask, geometri og dyseplassering for hvert fartøy</p> <p>Full ozonering – Full sirkulering av vann og i alle rør- og brønnsystemer</p> <p>Gode rutiner for drift og vedlikehold</p> <p>Grundig opplæring av mannskap</p> <p>Løsninger for automatisk vasking av områder som er vanskelig å nå, som f.eks. trommelfilter, redusere manuell vask.</p> <p>Gode løsninger for manuell vask av dekk og åpent utstyr på dekk. Glatte overflater som er enkle å rengjøre. Unngå ru overflater, hull og kroker. Lukkede fundamentet.</p> <p>Fokusere på hygienisk design ved ettermontering av utstyr</p> <p>Dedikerte brønnbåter for smolttransport</p> | Intervju med næringsaktører, (Larsen et al., 2020) |
| Skarpe rørbend/rørbøyer | <p>Unngå skarpe bøyninger rør – unngå opphopingen av biofilm i skarpe vinkler</p> <p>Unngå “blindveier” i rør</p> <p>Ha fall i rør slik at de er selvdrenerende</p> <p>Tilpasset rørvask, geometri og dyseplassering for hvert fartøy</p> | Intervju med næringsaktører, (Larsen et al., 2020) |
| Mangelfullt renhold pga. tidspress | <p>Rengjør fartøyet etter UV-desinfeksjon</p> <p>Gode rutiner for drift og vedlikehold</p> <p>Grundig opplæring av mannskap</p> | (Larsen et al., 2020) |
| Mangelfullt vedlikehold av tanker, rørsystemer og utstyr og dermed vanskelig renhold pga. korrosjon og degradering av materialer, maling, coating, pakninger, etc. | <p>Sørge for at vaskemidler og materialer er kompatible og ikke medfører korrosjon eller degradering</p> <p>Etablere gode rutiner for drift, vedlikehold og inspeksjon av kontaktflater som sentrale punkter i biosikkerhetsplan</p> | Intervju med næringsaktører |
| Vanskeligheter knyttet til å «komme til» ved inspeksjon og prøvetakning om bord | <p>Hygienisk design og utforming av fartøy, rør, brønn og utstyr</p> <p>Utstyr (robot, kamera etc.) for inspeksjon og prøvetaking på vanskelige steder</p> | Intervju med næringsaktører |
| Utfordringer med lukket transport | <p>Lukket kjøring kan være mot sin hensikt dersom båten ikke er ren, eller inntaksvannet ikke er rent for smitte. Kan føre til smitteoppblomstring om bord.</p> <p>Benytte nyere fartøy - eldre fartøy har begrenset vannbehandlingskapasitet</p> | (Larsen et al., 2020), Intervju med næringsaktører |
| Andre horisontale smittebærere | Begrense adgang til fartøy fra anleggets mannskap og fra fartøy til anlegg, herunder utveksling av utstyr. | (World Organisation for Animal Health, 2023) |

5.3 Spredning av patogen fra brønnbåter til det omkringliggende miljø

Brønnbåtoperasjoner innebærer en risiko for spredning av patogen til det omkringliggende miljø. Basert på tidligere forskning, intervju og feltarbeid dekker dette delkapitlet risikofaktorer fra utslipp og skrog til farled.

5.3.1 Utslipp fra brønnbåters transportvann og vaskevann

Risikofaktorene og tiltakene her har likhet med det som er presentert tidligere. Se tabell 11. En av risikofaktorene er å spre patogen ut i havet eller oppdrettslokaliteter via vann fra brønnbåten. Transportvann er vann som har vært i brønnen og i kontakt med fisken under transport. Vaskevann er vann som har blitt brukt til rengjøring av fartøyet. UV og desinfeksjon av vaskevann og transportvann er avgjørende for å ikke slippe ut vann med patogene mikroorganismer.

Basert på prinsippet om at all fisk kan være bærere av smittestoffer, har f.eks. Larsen m.fl. (2020) foreslått tiltak som dedikerte smoltbåter, å ikke dele brønnbåter mellom områder eller å unngå trafikk i branngater mellom områder. Som tidligere nevnt har UV-dosen som nå er anbefalt utilstrekkelig effekt på noen smittestoffer. Det er ingen krav til desinfeksjon/behandling av vaskevann.

5.3.2 Utslipp av ballastvann

En av de mer kritiske risikofaktorene knyttet til større fartøy er ukontrollert flytting av ballastvann mellom områder, se tabell 12. Det eksisterer flere tiltak som kan redusere potensiell smitte fra ballastvann. Dette inkluderer bruk av vannrensingssystemer og ved å implementere og etterfølge krav for behandling av ballastvann. Risikovurderinger av lokasjoner og områder hvor ballastvann kan byttes foreslås som et avbøtende og risikoreduserende tiltak. Det er imidlertid begrenset kunnskap om potensialet for smittespredning fra ballastvann, og i hvilken grad det kan utgjøre en risiko for nærliggende oppdrettsanlegg. Innenfor krav og retningslinjer kan det legges vekt på forbedring av regulatoriske retningslinjer for behandling og utslipp av ballastvann. Per dags dato så er ikke ballastvann inkludert i en biosikkerhetsordning hos Mattilsynet. Foreslått tiltak involverer bruk av elektronisk overvåking og rapportering av ballastvann.

5.3.3 Spredning via skrog

Som vi skal se i kapittel 7 ble det påvist viruspartikler i biofilm på skrog, som kan medføre økt risiko for smitte til nye områder. Risikoen er ikke kvantifisert, og det finnes lite kunnskap om potensialet for smitte fra skrog til fisk. Funnene i kapittel 7 indikerer også at virus kan akkumuleres gjennom seilassen, ikke bare når båten ligger ved merd. Likevel, siden vi nå vet at slike partikler kan spres via begroing på skrog, kan det være fare for at også brønnbåter som går med lukka vannsystemer kan spre sykdommer til omgivelsene.

Flere risikoreduserende tiltak finnes, se tabell 13. Bunnstoff som kan forhindre begroing på fartøyets skrog er vanlig å bruke. Karantene/«brakklegging» mellom oppdrag er et eksisterende tiltak, og resultatene fra «Smittekontroll» viser at det kan være effektivt (se kapittel 4). Andre målbare risikoreduserende tiltak er å rengjøre skipsskrog oftere, eller å unngå trafikk i sykdomsområder. Dette har imidlertid mange praktiske utfordringer. Skrog er store overflater under vann som gjør tilgang til disse områdene vanskelig. Regelmessig vedlikehold og rengjøring er tidkrevende og kan kreve spesialtilpasset utstyr for å kunne nå enkelte områder. Rengjøring og desinfeksjon av biofilm kan også fjerne bunnstoff og være forurensende.

Tabell 11: Risikofaktorer og tiltak for smitte av fisk i sjø via utslipp av transportvann og vaskevann

| Risikofaktorer | Tiltak | Referanser |
|---|--|--|
| Fisken kan spre patogener til andre steder via transportvann | Dedikerte brønnbåter (områder, aktivitet) Tydeliggjøre krav til biosikkerhet i regelverket Etablere agentuavhengige barrierer over «branngater» i henhold til prinsippet om at all fisk i prinsippet kan bære ukjente patogener | (L.-C. Ervik et al., 2020; Larsen et al., 2020) |
| Dagens UV-doser har ikke tilstrekkelig effekt på flere kjente patogener | UV-anlegg med kapasitet utover krav Oppdatering av regelverk | (Transportforskriften, 2023; Veterinærinstituttet, 2021), intervju med industriaktører |
| Ingen krav og dermed manglende behandling av vaskevann (med desinfeksjonsmidler og kjemikalier) | Oppsamling av vaskevann med desinfeksjonsmidler og kjemikalier Utvikle systemer for oppsamling og behandling av vaskevann Utarbeide regelverk | Intervju med industriaktører |
| Transportvann som skiftes ut under transport kan medføre smittefare dersom desinfeksjon av utslippsvann ikke er tilstrekkelig for aktuelle patogener | UV-anlegg med kapasitet utover krav | (Veterinærinstituttet, 2021) |
| Mangel på kunnskap/forskning | Forskning på vannkvalitet/overføring i transportvann både etter lukket og delvis lukket transport | (Larsen et al., 2020) |
| Mangelfull desinfeksjon på grunn av begrenset kapasitet, svikt eller mangelfullt vedlikehold av UV, eller akutt behov for utskifting av transportvann for å opprettholde fiskevelferden | UV-anlegg med kapasitet utover krav Gode rutiner for drift og vedlikehold av UV-anlegg Grundig opplæring av mannskapet – sikrer optimal drift og reduserer muligheten for menneskelige feil Endrede desinfeksjonskrav i regelverket - alle agens vil ikke bli inaktivert i samme grad | (Veterinærinstituttet, 2021), intervju med industriaktører |
| Muligheter for brukerfeil på grunn av tilhørende feil i systemdesign | Standardisering og tydeligere forskrifter, for eksempel hvordan ventiler skal være lukket, gjør det umulig å slippe ut ubehandlet vann under lukket transport | Intervju med bransjeaktører |

Tabell 12: Risikofaktorer og tiltak for å unngå smittespredning fra ballastvann

| Risikofaktorer | Tiltak | Referanser |
|--|---|---|
| Ballastvann transporteres uten kontroll og dokumentasjon mellom lokaliteter og områder | Installere teknologi med mulighet for rensing av ballastvann | Intervju med industriaktører, (Larsen et al., 2020; Transportforskriften, 2023) |
| | Krav til ballastvannbehandling | |
| | Mindre utskifting av ballastvann | |
| | Lukket ballastvannsystem | |
| | Loggføre utskifting av ballastvann | |
| | Risikovurdere lokasjoner for utskifting av ballastvann | |
| Mangel på kunnskap og forskning, spesielt fra feltforhold | Mer forskning på desinfeksjon av ballastvann i felt og sannsynligheten for effektiv smitteoverføring til naive populasjoner i brønnbåt eller i sjøanlegg. | (Ribicic, 2023; Veterinærinstituttet, 2021), se også kapittel 7 |
| | God regulatorisk veiledning | |
| | Krav om behandling av ballastvann | |
| Ballastvann omfattes ikke av godkjenning fra Mattilsynet. | Krav om behandling av ballastvann | (Larsen et al., 2020) |
| | Elektronisk rapportering og overvåkning av ballastvann | |

Tabell 13. Risikofaktorer og tiltak for å unngå spredning av smitte fra skrog.

| Risikofaktorer | Tiltak | Referanser |
|--|---|---|
| Rengjøring av skrog er utfordrende | Rutinemessig vedlikehold og rengjøring | Intervju med industriaktører, (L.-C. Ervik et al., 2020; Larsen et al., 2020) |
| | Bunnstoff (antifouling) | |
| | Selvpolerende/selvrensende bunnstoff med antigroe (Self-polishing antifouling paint) | |
| | Karantene | |
| | Ozonering av skrog | |
| | Spyling/vask av skrog | |
| | Begrenset transport/seiling mellom forskjellige geografiske områder | |
| | Dedikerte brønnbåter som betjener bare visse områder og operasjoner/aktiviteter | |
| Manglende kunnskap/forskning om patogener fra skrog biofilm utgjør en reell risiko for smitte | Mer forskning – kvantifisere smitterisiko | (Larsen et al., 2020) |
| | Mer forskning– effekten av karantenevarighet («Smittekontroll»-resultat indikerer at dagens varighet fungerer.) | |
| Sjøkasser og andre komplekse områder på skroget utgjør potensiell risiko for spredning av patogener. | Inkludere dette i utvendig vaskesystem | Intervju med industriaktører, (Veterinærinstituttet, 2021) |
| | Rutiner for rengjøring av utenbordsutstyr når fartøyet er i dokk. | |
| | Design hele skroget med utgangspunkt i at det skal være tilgjengelig for enkel vask, spesielt rundt lensekjøl, propeller, ventiler og varmevekslere, etc. | |

6 Gjennomføring av driftsrutiner og tiltak

Oppdrettsselskap og rederier tar biosikkerhet seriøst, og har driftsrutiner for alle operasjoner. Kunnskapen om risikoforhold og tiltak (for eksempel fra kapittel 4-5) benyttes av bedriftene i driftsrutiner for å unngå smitte til og fra oppdrettsfisk. I «Smittekontroll» har vi skaffet forståelse for driftsrutinene på RAS-anlegg og brønnbåter gjennom intervjuer, feltarbeid og dokumenter (se kapittel 3). Begrepet biosikkerhet beskrives i intervjuene på flere måter:

«Biosikkerhet er å forhindre at noe kommer inn i anlegget, og å forhindre spredning mellom avdelinger. Både via vann eller folk eller andre verter. Så å ha en god biosikkerhet er å ha gode smittebarrierer.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

«Et sett av kjøreregler egentlig. Av hvordan man drifter, i en enkelt enhet, men også i et større område.» Myndighetsrepresentant

Resultatene er delvis beskrevet tidligere i Landbased AQ og en engelskspråklig vitenskapelig tekst (Størkersen et al., 2022, under arbeid).

Hvordan driftsrutiner blir forstått og gjennomført handler om arbeidsforhold og andre forhold rundt oss. Disse forholdene kan vi forstå bedre ved å benytte pentagonmodellen for organisatorisk analyse (Schiefløe, 2017). Å plassere informasjonen fra intervju, dokumenter og feltarbeid i pentagonmodellen for organisatorisk analyse kan hjelpe oss å identifisere risiko som det bør settes inn tiltak mot (se figur 7). Pentagonmodellen har tidligere vist seg nyttig for å vurdere arbeidet til fiskehelsepersonell og røktere/driftsoperatører i havbruk (Størkersen et al., 2021; Tørud & Størkersen, 2021).



Figur 7: Risikoforhold for personellet på RAS-anlegg og brønnbåt. Denne figuren ble publisert i Landbased AQ (Størkersen et al, 2022), og reflekteres til dels i beskrivelsene i de kommende delkapitlene.

6.1 Formell struktur og regelverk

Utviklingen av driftsrutinene til oppdrettsselskapene og rederiene blir gjort av ledelse og fiskehelsepersonell for å ivareta regelverk fra forvaltningen, og bransjens behov for trygghet. De vi har intervjuet forteller om dyrehelsereguleringen, Akvakulturloven, Transportforskriften, og tilhørende biosikkerhetsplaner, beredskapsplaner og internkontrollsystem – men mange forholder seg til driftsrutinene i eget selskap eller oppdragsgivere uten å tenke på lovgivingen bak.

«Vi gjør som vi får beskjed om. Vi har interne regler og prosedyrer, og kundens regler og prosedyrer, og Mattilsynet har oversikt over prosedyrer og regler, og til en viss grad er Fiskeridirektoratet også inne og forteller hvordan vi skal gjøre ting.» Offiser, brønnbåt

I tillegg legger mange vekt på at deres organisasjon sine driftsrutiner alene ikke gir biosikkerhet, de må støttes opp av felles grunnleggende rutiner for oppdrett langs kysten.

«Smittesikring generelt i næringa ligger mye lengre ned i kjeden. Hvordan vi organiserer sonene våre, epidemiologien, epidemiologisk risiko, brakklegging av soner. [...] Det er viktig å tenke generell biosikring. Når det er høgintensitet i oppdrettsnæringa må man ha flere sikkerhetsbelter på.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

6.1.1 Operasjons- og produksjonsplaner

I alle intervjuene blir det snakket om settefiskanleggenes produksjonsplaner eller brønnbåtenes operasjoner og seilingsplaner. Når man har en produksjons- eller seilingsplan å følge blir tiden en begrenset ressurs.

«Skulle ønske vi hadde bedre tid, men vi har en produksjonsplan vi skal følge, og den er ikke forandret, lik fra år til år, så hadde det vært opp til meg hadde det vært færre innlegg og bedre tid for å være helt sikker. [...] Alltid problem med gruppene bak. Det har blitt endret til et innlegg mindre i året, gir mer luft og forutsigbarhet. Det er viktig at vi på fiskehelse er strenge og tydelige der det gjelder. Og man produserer ikke mindre fisk av den grunn, men man tilpasser til hvert anlegg.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

Mange av driftsrutinene er fundert i *biosikkerhetsplanen* til anlegget eller båten. Det er ikke alltid at *produksjonsplanen*, under kalt driftsplanen, tar hensyn til disse driftsrutinene.

«Mye av den biosikkerhetsplanen vi har handler om optimalisering av drift. Om driftsplanen er tight så får du ikke tid til å gjennomføre det i biosikkerhetsplanene, det blir halvhjertet.» Leder, settefiskanlegg

Operasjonelt personell nevner særlig tidsaspektet i tilknytning til rengjøring mellom innsett på settefiskanlegg, eller mellom ulike oppdrag på brønnbåt. Mange har opplevd å ikke få gjort alt de ønsket mellom to fiskegrupper på grunn av stram produksjonsplan. Som de neste delkapitlene vil vise, så ønsker ikke personellet å slurve, men når de har dårlig tid rekker de ikke å gjøre alt etter boka. De er opptatte av at det er noen som venter på dem, enten det er brønnbåt som venter på settefiskanlegg, eller omvendt. Og sjølokaliteten har det også travelt med å få fisken.

«Vi sliter mye med logistikken, vi har ikke tid da. Det tar alltid tid å vaske i det hele tatt. Så nå holder de på produksjonsplanen her da.» Driftstekniker, RAS

På brønnbåtene ønsker de strengere generelle krav sånn at det blir enklere å følge regelverket. For eksempel kommer det frem at det er mange diskusjoner rundt om de har tid til å sirkulere ozon, siden det ikke alltid

er et krav. I strenge planer havner de ofte i diskusjoner hvor forskjellige aktører diskuterer hva som er lovkrav, og hva oppdretteren har i sine krav.

«Alle vet at ozonering er det beste såfremt du har fått bort all biofilm. Men tid er et krav i bransjen, og vi vasker etter alle krav. (...) Det er tettpakka logistikk på den båten. Vi vasker med standard vask, i henhold til krava, men ozonering er ikke standard. Og mange oppdrettere har sine særkrav.» Offiser, brønnbåt

6.1.2 Avvik fra planer

Brønnbåtene må forholde seg til seilingsplaner, rengjøringsrutiner og ulike kundekrav. I den daglige drifta på brønnbåter blir det beskrevet at de har ulike rutiner for hvert oppdrag. Rutinene kommer an på hva oppdraget er, om fisken er syk og på hvilken måte, om de skal gå gjennom sykdomssoner, hvor mange fisk det gjelder og hva som er neste oppdrag. Koordinatorene i oppdrettsselskapene har store skjema for hver sykdom og hver lokalitet, som brukes til å nøye beskrive eller forhandle om renholdsrutinene for det enkelte oppdraget. Skipsledelsen legger vekt på at man må være nøye på å følge rutinene, og gjøre det tydelig dersom de ikke kan følges:

«Om man skal følge alle reglene på likt kan vi ikke gå fra kai, det er så mye, og det er litt lokalt. [...] I det daglige går det greit, jobben er lik fra gang til gang. Utfordringene kommer når kunden vil ha jobber som er brudd på kundens prosedyrer. Det er det vanskeligste. De vet alltid hvor de skal snu seg om noe skjer, båten får telefonen først. Utfordringen er at det er så mye regler man må komme gjennom mellom hvert oppdrag.» Offiser, brønnbåt

Mange ytrer at dette trenger forenkling. Rederiansatte sier at de uansett driver med et føre-var-prinsipp, for å hindre å spre smitte som det ikke er kunnskap om i dag, slik at egentlig ikke trenger de detaljerte reglene til oppdrettsselskapene. Det enkleste og beste er å kjøre grundig vask og desinfeksjon hver gang. Da ville det ikke vært avgjørende med detaljer for å finne ut hvor enkle prosedyrene kan være.

«Min jobb er å få skriftlig klarsignal når prosedyrer skal brytes. Før lastinga her har jeg vært i kontakt med [oppdrettsselskap] og spurt hvorfor dere skriver 35 kubikk, når de skal laste 40. Da svarer de på mail, og da har jeg det skriftlig, da kan de ikke komme etterpå og spørre hvorfor tok du med for mye fisk?» Offiser, brønnbåt

Også på settefiskanlegg skjer planlagte avvik. Noen lurer på om de kanskje skulle satt ned foten av og til for å fortelle at det ikke blir bra nok. Mange snakker om tiltak som kan gjøres for å få mulighet til å følge rutinene som skal gi biosikkerhet. Det nevnes både mer tid mellom innsett eller å ha færre fisk i hvert innsett.

«Det handler om å legge til rette for å kunne gjøre de biosikkerhetstiltakene, om man ikke har tid eller kapasitet så blir det bare fine ord på et papir. At fiskevelferden blir god. Skjæringspunktet med vannkvalitet og føring. Når tettheten blir stor så får du problemer med ... Det skjer ting som forskyver ting.» Leder, settefiskanlegg

6.1.3 Årsaker til stramme planer

Enkelte forklarer hvorfor det er usannsynlig at man bygger inn tidsmarginer og fleksibel kapasitet i produksjonsplanene. Det gjelder logikken bak investeringene i båten eller anlegget.

«Business-case på et settefisk er en KPI på X antall kilo per kubikk, man skal levere så og så mange kilo per år. Så designer man anlegget i forhold til det. Da vil det være noen flaskehals der. Så lenge alt går fint klarer man KPI-en, men det er vanskelig å si at man

*skal lage et anlegg med halv kapasitet for å ivareta biosikkerheten i større grad.»
Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap*

Brønnbåtene driver en tjeneste som har krav om inntjening. En brønnbåtkaptein beskriver at biosikkerhet kan være viktig for de fleste i rederiet, men at det likevel ender med at båtens kapasitet må utnyttes.

«De vil jo ha båten [hos en oppdragsgiver et annet sted] i høst da. Før jul. Men da vil ikke [enhet i rederiet] sette opp. Da var det for mye smitte da. At da valgte de heller å la den ligge ikke sant. Men da kommer jo økonomidirektøren i firmaet og banker på døren ikke sant. «Hvorfor? Ja, nå må du få lastet båten».» Offiser, brønnbåt

6.2 Teknologiforming

Selv om nye RAS-anlegg og nye brønnbåter er lagd etter alle kunstens regler, er det ikke alltid mulighet for enkelt renhold. Hygienisk design er en av mange mål i byggefasen, noe som påvirker hvordan biosikkerheten kan ivaretas i driftsfasen.

6.2.1 Nye og gamle settefiskanlegg

Det er bygd mange RAS-anlegg de siste åra.

«Problemene på de nye anleggene er mindre. Det er sluser, adskilte avdelinger, det er gjennomtenkt, og man har UV på inntak. "Best practice" har bare blitt strengere og strengere, og det er positivt. Vi har likevel problem der. Det er ikke alltid at RAS kan vaskes ned med en gang noe skjer. Det er lettere å vaske et lite gjennomstrømningsanlegg enn et stort RAS-anlegg som ikke er designet for å brakkes helt.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

Flere av RAS-anleggene er gamle, og har blitt påbygd og ombygd i nyere tid. Dette kan komplisere renholdsrutinene, og gir mange "krinkelkroker" som er vanskelige å nå. Noe av utstyret vurderes av de som arbeider på anleggene som gammelt og utdatert. Renovering og oppdatering av avdelinger på anleggene er et sterkt ønske flere steder.

«Vi har gamle anlegg der det ikke var fokus på biosikkerhet tidligere, ikke tenkt på det da anleggene ble bygd. Det er flere som sliter med å få inn partikler som tetter filter. At man ikke har god nok filtrering av vannet. Da er det vanskelig for UV å ta unna.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

I noen tilfeller er avdelingene driftet med ulike teknologier, og med ulik moderniseringsgrad. Deler av anleggene er også utformet med tanke på bruk av andre teknologiske løsninger.

«De er utviklet stykkevis og henger ikke helt sammen. Klassisk, vi har noen gamle, gamle RAS-anlegg som er bygd på og modernisert ei avdeling, men den avdelinga før er helt annerledes og driftes på en helt annen måte. Inntaket var kanskje laget for et gjennomstrømningsanlegg som det var i starten, men som nå er RAS.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

6.2.2 Nytt, men vanskelig å komme til på brønnbåt

Brønnbåtene i dagens flåte er stort sett nye, og brønnene har glatte flater som er lette å rengjøre. Likevel har de ikke bare økt biosikkerheten: De nyeste fartøyene har brukt plassen på mye utstyr som ikke er designet for enkelt renhold, og lange rørsystemer som vanskeliggjør renholdet.

«I rørene, pumpene, det er jo ikke mulig [å komme til med vasking]. Men jeg er ikke bekymret for det, fordi det er store mengder vann og med tre timer med ozonvann burde det ikke være mye igjen. Men vi vet om plasser det er vanskelig å få det reint, og derfor manuell vask. I skyveskott, heve- og senkeskott og de har børster på seg, og børstene er flere rader med tråder som stikker ut, og inni der er det ikke lett å få det helt reint. Der må vi ha såpe, så ozon og desinfeksjon. Men der er vi og tester. Lett å teste, vanskelig å vaske. Vi mener selv vi har funnet en god måte å gjøre det på.» Offiser, brønnbåt

Det blir sagt at å bygge en båt er et stort kompromiss.

«Bedre innsalgsargument er å kunne gjøre mye. Bedre biosikkerhetsargument å ha færre ting, kunne arrangere ting skikkelig. Det blir mindre kompromiss. Kan gjøre det bedre, ha bedre plass. Men da blir vel bare båtene mindre igjen.» Designer

Brønnbåtene er designet for å være multifunksjonelle og kunne benyttes i mange forskjellige operasjoner. I et intervju sa en av de som arbeider med planlegging og design:

«Mer og mer skal inn, med mindre og mindre plass til å lage fornuftige og gode løsninger. Det er mange kompromisser for å lage fornuftige løsninger. [...] Vi leverer design, og så er det reder som bestemmer hvilket utstyr som skal om bord. Rederen og hans kontakt med kunden hans. Og så må vi integrere det i båtene. Vi jobber for å prøve å få inn minst mulig. Jo færre ting jo bedre, men det er jo ikke vi som skal bruke båten.» Designer

6.2.3 Utstyret i bruk

Selv om mye av utstyret i brønnbåtene er nytt og av beste kvalitet, så er det mye som gjenstår å tenke ut for at utformingen skal støtte opp under driftsrutinene.

«I forrige uke [...] så manglet jeg utkikk her i tre timer og førti minutter, så jeg satt alene her og det er lovpålagt at det skal være utkikk. Personen skifter på filter og vasker filter. Det er et litt for gammeldags system.» Offiser, brønnbåt

Både på RAS og brønnbåt krever utstyret mye og tidkrevende renhold. En matros på brønnbåt fortalte i intervju at noe utstyr kan de demontere for å komme til maks en gang i uka. De renser og rengjør slik de har mulighet for, selv om det kan være usikkerhet rundt hva som virker (f.eks. effekten av UV) og selv om de kan ha dårlig tid.

«Du klarer ikke med alle krinker og kroker. [...] Og hvis det skal bli så detaljert at du skal demontere børster og i brønner og demontere ting for å komme til, da klarer vi kanskje ei last i uken.» Mannskap, brønnbåt

Det samme budskapet gjelder for settefiskanlegg:

«Man får ikke vekk alt. [...] Du kommer ikke oppå karet og vasker inn i bjelka. Det er helt sikkert bakterier der. Helt sikkert. Så ... Man gjør så godt man kan, men man får det ikke helt rent.» Driftsoperatør, RAS

«Vi er ikke helt trygge på at alt er reint når et RAS-anlegg er vasket ned. Det er mange områder det er greit for biofilm kan overleve. Vi ser et større fokus blant leverandørene, at designet er slik at det skal kunne vaskes ned. Og at de legger ved en vaskeplan. Det er veldig positivt å se.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

6.2.4 Grep som kan tas

Mange diskuterte i intervju hva som skal til å prioritere hygienisk design så høyt som det kreves for å oppnå god biosikkerhet. Man har kunnskapen, men ombyggingene gjøres ikke og tiltakene innføres ikke.

«Vi har gamle betongkar, ubehandlet betong i RAS-reaktoren, den er ikke lett å rengjøre. Bare overflaten er særdeles vanskelig å rengjøre. Det er endel opplagte smågrep med overflatebehandling som vil gjøre renhold enklere. Så er det større ting med separate RAS-er eller kultur som følger fisker. Det er sikkert mange muligheter dersom problemet er stort nok, men vi har kanskje ikke ... Dersom det var ILA på 50 % av settefiskanleggene og vi sporet det tilbake til smitte i anlegget, da kom teknologien! Eller om smitten kom eksternt i større grad enn i dag. [...] Så lenge det går okei så lever man med det.»
Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

6.3 Arbeidsprosesser

Datainnsamlingen viser også hvordan driftsrutinene utføres i praksis på RAS-anlegg og brønnbåter.

6.3.1 Rengjøring og verifikasjon

De viktigste driftsrutinene for biosikkerhet handler om renhold og å være sikker på at det har blitt rent. Kontroll med vannkvalitet er en naturlig og viktig del av arbeidet på settefiskanlegg og brønnbåt. En del av dette er rengjøring, som er en tidkrevende jobb som preger hverdagen.

«Det går jo mye tid da, det er tungt arbeid. I natt fikk vi oppleve det selv på kaia og holde på med disse filtrene og sånne system vi har her for eksempel. Det er mye drit i vannet og vi må vaske filter og vi må skifte filter. Så akkurat dét systemet er litt for dårlig.» Matros, brønnbåt

«Vi skrubber jo en del og bruker kost. Skrubber kasser der det legger seg. Sånn daglig, ikke bare når det skal spyles ned, men daglig for å unngå sånt. Der er jo krinkelkroker så ja. Man bruker en del tid på det.» Driftstekniker, RAS

På et RAS-anlegg kom det i et intervju opp flere meninger om å vaske karene etter at fisken er overført til neste fase. Dialogen forløp slik mellom kollegene:

«Når jeg må hoppe opp i et kar og det er grav-skittent så er det ganske motiverende å spyle det rent.» Person 1, RAS

«En liten stund i hvertfall. [...] Når du står dag inn og dag ut, blir du lei. Vi har vært flinke å rullere da.» Person 2, RAS

«Ja, men så er det de gangene du vil stå litt ekstra, så kan du stå ettermiddager eller helger. [...] det er bare å koble av, sette musikk på øret og stå over egentlig.» Person 1, RAS

Inspeksjon av renholdet kan gjøres av medarbeidere, interne fiskehelsepersonell, eller andre veterinærer. Hvorvidt det er rent nok kan det noen ganger være uenighet rundt. Flere ønsker seg bedre målemetoder eller mer standardisert inspeksjon, slik som personer i to ulike stillinger beskriver i sitatene under.

«Man gjør en inspeksjon og ser på de overflatene man kommer til og godkjenner eller underkjenner båten, men det er noen båter som har et bedre hygienisk design og bedre

rutiner, bedre kultur for vask og desinfeksjon, og risikoen ved å ta inn båt A eller båt B har ikke helt kontroll på. Vi klarer å avdekke hvis det er noe som er visuelt tilgjengelig, men å være helt sikker på at båten ikke representere en risiko når den kommer fra slaktekjøring, det er vanskelig. Det er mange utilgjengelige områder i en brønnbåt. Rutinene er karantene i 48 timer, eller slippsetting, og attest.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

«Alle veterinærene i Norge er forskjellige. Noen er opptatt av dekkststyr, noen av lasterommet, andre mer om man generelt framstår som rene. Fellesnevneren er at alle tar ATP-prøver.» Offiser, brønnbåt

6.3.2 Manøvrering i driftsrutiner

Gjennomføringen av driftsrutinene kan også være utfordrende fordi det ikke alltid er klart hva som er gjeldende driftsrutine. Det kan være uklart hva som skal gjøres, hvordan, hvor lenge og i hvilken rekkefølge det skal gjøres. Usikkerheten gjelder for personell på alle nivå og med alle oppgaver, og kanskje aller mest på brønnbåt, ettersom man må utforme prosedyrene basert på fisken og ruten i hver eneste seilas (som beskrevet i kapittel 6.1.2). Alle selskapene har imidlertid også driftsrutiner som er generelle over tid, i tillegg til spesielle prosedyrer som settes inn ved behov:

«Vi har standardprosedyrer på vask og desinfeksjon mellom innlegg på RAS og gjennomstrømningsanlegg. Og det har utviklet seg lokale prosedyrer siden anleggene er så forskjellige. Noen anlegg har problem med startfôringsavdeling. Da vil den bli vasket over lengre tid, eller lengre tid på uttørking, og det er vi på fiskehelse med på å lage, eller råddgi. Vi må tilpasse det litt.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

Driftsrutinene skal gjenspeile biosikkerhetsplaner, fiskevelferdsplaner, beredskapsplaner, sikkerhetsstyringssystem, kvalitetssystem for fisken, og prosedyrer for enheten, bedriften og området.

På settefiskanlegg beskrives det at ikke alle driftsrutinene skal gjennomføres mellom forskjellige fiskeflyttinger. Når man ikke har tid til alt, må man velge bort noe. Det er ulike synspunkt på om arbeidet i praksis ender opp med å reflektere regelverket og kunnskapen godt. I alle tilfeller har dokumentasjonskravene økt for å tilfredstille internkontroll av planer og systemer, noe som det er forskjellige meninger om.

«Før så sa vi når vi flytter ned fisken da var det bare å flytte den. Da skrev vi ikke noe. Nå er det skjema, og tjas og alt mulig sånne konsekvensvurdering og risikovurdering og alt sånn. Og fyller på en masse skjema. Hva vi gjør og hva vi har gjort og hva vi skal gjøre. [...] Og det er mer og mer og mer. Og krav fra veterinær og alt dette her.» Driftstekniker, RAS

Brønnbåtpersonell forteller om ulike regler for hver oppdragsgiver, og nye prosedyrer for hvert oppdrag. Brønnbåtledelsen bruker mye tid på administrasjon og forståelse av ulike regler for enkelte selskap, soner, områder og sykdommer. For hvert oppdrag, må planleggerne hos oppdretter og rederi, finne ut hvilke rutiner som skal gjennomføres. I tillegg til planene for selve fisken, må det avklares hvorvidt/hvor båten skal gå lukka, hvor brønnvannet skal hentes og slippes ut, og hvor ofte og når renholdsrutiner skal utføres. Alternativene for renhold handler om spyling, såpevask, og desinfeksjon, deriblant hvorvidt og hvor lenge man skal ozonere. Selskapene har matriser for rutiner basert på fiskens sykdom, områder man skal gå gjennom o.l. For å være sikker på at man er innenfor regelverket, avklares ofte prosedyrene for hvert enkelt oppdrag i samråd med fiskehelsetjeneste og Mattilsynet i løpet av døgnet før seilasen. Brønnbåtbesetningen bruker i tillegg gjerne ofte sju-åtte timer med vasking og desinfeksjon før de kommer til en ny lokalitet. En

navigatør sa i intervju at personer fra oppdrettsselskap kan ringe og si at båten burde ha kommet, selv om de har ønsket ekstra rengjøring før ankomst. Her forteller han om samtalen:

«Vi skulle ha dobbel ozonering. "Ja, men du er sen". Ja, men du skal ha dobbel ozonering, sant. Da tar det dobbel tid.» Offiser, brønnbåt

Tid versus grundighet

De som arbeider på anleggene og båtene beskriver altså at det kan være vanskelig å følge rutiner fordi det er satt av for lite tid eller for få personer. Mye utstyr er ikke enkelt å rengjøre, som vi skal se mer om i delkapitlet om teknologiutforming, og det er sjelden satt av tid til å rengjøre grundig. Rengjøring kan være tungt og møysommelig, og må gjøres i tillegg til andre driftstekniske oppgaver. Som det ble snakket om i et intervju på en brønnbåt:

«Skal du demontere børsten og alt mulig så er det ... [...]» Person 1, brønnbåt

«Da rekker du ikke annet egentlig.» Person 2, brønnbåt

«Nei. Da tror jeg du ikke får ført mange laster. Og ja.. Men ellers, føler jeg at de som har jobben som er å vaske og gjøre rent, de gjør så godt som de klarer. Mer kan vi ikke forlange av folk. De har ikke gått til klage, og de står på. Og det er jo en tung jobb.» Person 1, brønnbåt

Tidspress og mange oppgaver beskrives fra alle hold. Det kan gå utover nøyaktigheten i rengjøringa. Tidvis er det kun de mest nødvendige oppgavene som kan utføres, og ikke det som egentlig trengs for å ha et grundig renhold. Ofte må man velge hvilke driftsrutiner som skal gjennomføres, og valget tas noen ganger av ledelse og andre ganger av driftspersonellet selv.

«Vi føler i perioder at vi ligger litt på hælene både med renhold og med ja, det daglige. Vi gjør det som er høyst nødvendig, så blir noe litt utsatt kanskje. Ikke at vi føler at vi ikke har kontroll, men – ja. Burde hatt litt flere timer i døgnet.» Driftsoperatør, RAS

Når det gjelder arbeidsprosesser beskriver altså de ansatte hvordan de gjør det beste ut av tida, rutinene og utstyret de har å forholde seg til. I intervjuene blir også tillit til kunnskapen som driftsrutinene bygger på, trukket frem som forhold som påvirker gjennomføringen av driftsrutinene. Det samsvarer med beskrivelsene i tidligere forskning (Tørud & Størkersen, 2021). Mer om dette i de neste delkapitlene.

6.4 Kultur og kompetanse

De som jobber på anleggene og båtene opplever at de har en svært viktig jobb. De ønsker å hindre smitte og sykdom hos fisken. De har mye kunnskap, både praktisk og teoretisk. På settefiskanleggene kommer det frem et nært forhold til fisken og oppgavene, og en sterk følelse av ansvar. Dette ble sagt av kolleger på et settefiskanlegg i et intervju:

«Vi har flinke folk i alle avdelinger, og alle bryr seg om jobben. Jeg føler alle [...] tenker på jobb hele tiden. Plutselig får du mail eller melding om ett eller annet på jobb, og du tenker på det konstant egentlig.» Person X, RAS-anlegg

«Vet ikke hvor sunt det er.» (Latter) Person Y, RAS-anlegg

«Nei, tror ikke det er sunt, men det er på en måte barna våre. Jeg føler enkelte får en slags farsrolle her.» Person X, RAS-anlegg

6.4.1 Kunnskap bak rutinene

Gode driftsrutiner kan bidra til at man gjør en god jobb. Som vi så i forrige delkapittel ønsker personellet at det skal ligge sikker kunnskap bak rutinene og arbeidet de gjør. Av og til opplever de i stedet usikkerhet. I intervjuene har noen nevnt inspeksjoner som ikke har tydelig resultat, vasking uten sikker grunn og at det dukker opp sykdom selv om alt var helt rent.

«Det er om å gjøre å vaske så rent at vi senker smittetrykket, smittepresset. Og da kan det være sunn fornuft. Full vask, men ikke slik at det er ... [altfor mye]. Folk begynner å grue seg til å gå på jobb fordi de vet at de skal holde på å vaske hele tiden.» Driftstekniker, RAS

Mange forteller om situasjoner der *noe annet enn rutinene* virket avgjørende.

«Man gjør de riktige tingene, og så forestiller man seg at det fungerer. Og så viser det seg at det bare var tilfeldigheter, det fungerte ikke. Vi fikk igjen det samme [viruset] to-tre innlegg senere.» Driftstekniker, RAS

«Vi har gamle gjennomstrømningsanlegg som fungerer veldig fint, uten at det er noe nytt der. Og det er helt nye RAS-anlegg som har sine utfordringer.» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

Om bord på brønnbåtene stiller mange spørsmål om rutinene for lukket transport og utslipp av vann.

«Vann inn er jeg ikke redd for, der har vi det utstyret de sier vi skal ha. Min jobb er å holde regelverket og ikke yte langt over. Det har jeg ikke midler til. Det vannet vi slipper ut av og til, slik som ved lasting. Jeg har ingen garanti at den fisken jeg får ombord har med seg ... Men vannet havner ved anlegget, så har det noe å si? [...] man går til losseplassen, tar inn UV-behandlet vann, og slipper ut litt vann ved RAS-anlegg, men fisken ligger i vann fra anlegget, hvorfor er det så viktig å hente vann fra losseplass?» Offiser, brønnbåt

Dilemmaet med lukket transport diskuteres også fordi å kjøre lukket krever en særlig god kompetanse og oppmerksomhet på fisk og vannkvalitet om bord.

6.4.2 Beholde en sunn flora

På flere områder er det lite kunnskap. Det kommer frem at desinfeksjons- og rengjøringsmiddelprodusenter sjelden verifiserer sine produkter gjennom forskning og rutinene utvikles underveis, slik at anleggenes desinfeksjonsprotokoller ikke nødvendigvis er effektive. Det blir sagt at mange leverandører, de som produserer utstyr, og oppdrettere har for lite kompetanse innenfor biosikkerhet, og utstyrsdesignere har vanligvis ingeniørutdanning uten helsefag. Noen RAS-anlegg har eksperimentert litt i praksis, og sett at de ikke får kar og annet rent uansett hvor mange ganger de vasker. De lurar på hvordan rutinene henger sammen med at man faktisk ikke ønsker et helt sterilt miljø for laksen. Målet er egentlig å fjerne smittestoffer, og ikke alle bakterier.

«Du kan drepe de viktige bakteriene også. Det er bakterier vi trenger. Biofilteret trenger vel bakterier. Og hva er balansen der? Hva vi trenger og ikke trenger ikke sant.» Driftstekniker, RAS

«Så det, vi vet ikke nok om det. Vi famler, gjør noe vi ikke har noen anelse om. Så det er nå bare sånn, ja.» Driftstekniker, RAS



«Det er en del upløyd mark, og uenigheter for å kunne nullstille, så er det en pågående prosess. Har ikke, det er ingen som designer anlegg der man har all in, all out-prinsipp. Som et minstekrav må man kunne nullstille på en effektiv og god måte og være trygg på at man i ettertid har tatt ut agens. Man må ha muligheten selv om man ikke gjør det på rutinemessig basis.» Utstyrproduzent

6.4.3 Prioriteringer

På andre områder finnes det kunnskap som ikke blir omgjort til tiltak og driftsrutiner. Ekspertene kan være enige, men bedriftene innfører ikke tiltak, for eksempel på grunn av tid og ressurser, slik det beskrives om produksjonsplaner og utforming av anlegg over. Flere personer gir lignende beskrivelser som at «det er ikke det at vi ikke har kunnskapen, men at vi ikke bruker den», og oppgir flere grunner til det. Noen av de vi har intervjuet er usikre, får motstridende informasjon, eller er uenige med sjefen eller medarbeiderne sine. Dette gjelder også ekspertene på biosikkerhet og mikrobiologi. For eksempel er det ikke entydig hvorvidt man bør ta ned et biofilter.

«Spesialiteten i et RAS-anlegg, så har man tatt en liten brøkdel av vannet som er kontakt med foregående fisken. Man kan lure da på hvor viktig det er å desinfisere kar godt når man har en biofilm i reaktoren som lever i beste velgående. Men så lenge alt er i skjønneste orden, at fisken er frisk og alt sånn, det vi egentlig hadde trengt er en diagnostikk på vannet som sier noe om risiko for overføring fra en generasjon til neste. Som sier at biofilmen er trygg og man kan sette inn neste. Vi har noen kjente sykdommer, men vet at det kommer nye. De er der, men har ikke fått navn enda. Jeg er fortsatt på det gamle sporet med alt inn, alt ut, slik som med kylling. Etterpå er det reine og jomfruelige områder man kommer inn på. Det er i mange miljø en del motstand mot det, forståelig nok, fordi om du har en god, stabil biofilm på RAS-en din, det er en god kultur man ønsker å ta vare på, og det forstår jeg veldig godt. Men da må man være trygg på at det ikke ligger patogener der og som har fantastiske forhold der. Og med kubikk med fisk, da er det fyrstikk på låven, én gnist og man har full fyr.» Fiskehelsepersonell, oppdretter

Intervjuene viser at så lenge alt går greit, uten spesielt store problemer, så sørger bedriftene for å gjøre det de skal og ikke noe annet. Hvis de skal gjøre endringer på eget initiativ, og ikke fordi de må, så må de være svært overbevist om at endringene vil føre til det bedre. Man gjør ikke tiltak basert på sprikende forskningsresultater. Man gjør i det hele tatt få endringer hvis det ikke er lovregulert. Her er et eksempel størrelsen på innsettene i settefiskanlegg. Studier har vist at sannsynligheten for stress og sykdom øker i enheter med mange fisk, men hva som er for høy tetthet varierer. Siden Akvakulturdriftsforskriften gir et tak for tetthet, er det da vanlig å følge kravene i forskriften. Et annet eksempel er usikkerhet om hvordan fartøy fører med seg smitte. Erfaring og forskning, inkludert i Smittekontroll, gir indikasjoner på at fartøy potensielt kan føre med seg utenbords smitte. Tiltak kunne vært at hvert fartøy kun opererer i små områder, og at de rengjør eller tørrlegger hele skroget mellom hvert oppdrag. Dette ville påvirket driften betraktelig, og kunne også hatt uheldige konsekvenser, som å slite og spre partikler fra bunnstoff ved rengjøring. Ledelses- og fiskehelserepresentanter forteller at de derfor heller konsentrerer seg om å prøve å gjøre nøyaktig det som står i Transportforskriften og etablert områdesamarbeid.

6.5 Sosiale relasjoner

I intervjuene og feltarbeidet kommer det frem at utfordringene som er beskrevet ovenfor går bra når man har godt samarbeid og gode kolleger.

6.5.1 Samarbeid og læring i bedriften

Både brønnbåtene og settefiskanleggene vi har besøkt i «Smittekontroll» legger opp til at de ansatte skal lære av hverandre. Samarbeidet om bord på brønnbåter er tett. Også på settefiskanleggene er det felles lunsj, morgenmøter og ukentlige møter, og sosiale aktiviteter på fritiden, selv om alt dette ikke hadde kommet helt opp etter korona-perioden da intervjuene ble gjort. I et intervju fortalte noen på det ene RAS-anlegget at de istedenfor har lært seg å kommunisere gjennom digitale kanaler – også når de er hjemme.

«Vi har messengergrupper, mailer, og telefonsamtaler, og.» Person A, RAS

«Vet ikke hvor mange messengergrupper det er, men det kryr, plinger i ett. Det var derfor jeg kjøpte meg klokke, så jeg slipper å dra opp telefonen hele tiden.» Person B, RAS

På brønnbåtene og på RAS-anleggene understreker de at de får gjort jobben godt så lenge de har et arbeidslag med god og ulik kompetanse, praktisk erfaring og som kan snakke med hverandre. Særlig på settefiskanleggene er det stabile arbeidsgrupper, der folk har jobba i årtier. Det gis både sosiale og faglige grunner til at folk fortsetter å jobbe på samme sted lenge.

«Vi prater godt sammen og vi er en fin gjeng og.. Vi går to og to på vakt.» Driftstekniker, RAS

De som jobber på settefiskanlegg ønsker også mer kontakt med personellet på sjølokaliteter, for å få vite «hvordan det går med babyene», altså fiskene som har kommet ut i sjøen. Selv i store selskap blir det beskrevet at de ikke har rutiner og datadeling som gjør det enkelt å følge hvordan det går med fisken i sjøen.

«Vi skulle egentlig hatt en plattform for det hvor det var lett å dele. (...) Det er langt unna, i mil og tid, kanskje andre driftsledere da, og spesielt vi på settefisk, (...), der burde vi være flinkere til å dele, det burde være enklere. Men innad i region er vi flinke til å dele. Og vi på fiskehelse er vi også flinke til å dele, ringe rundt og høre ...» Fiskehelsepersonell, oppdrettsselskap

6.5.2 Avgjørelser sammen

Særlig operative ledere beskriver at de er glade for at de har rutiner om å være flere sammen om store avgjørelser. Samholdet er også viktig for den operative ledelsen. De driftslederne og skipsoffiserne vi har snakket med og som har gode team rundt seg er veldig fornøyde. De gir støtte til personellet sitt, og får støtte tilbake.

«Ingen anlegg er likens. Du kan måle oksygen daglig, men å vite hva man skal bruke det til Oppfølging av personell er viktig for å sikre at du har gode driftsrutiner. Hvordan skal vi gjøre det på den beste måten? Den forståelsen er ikke ... Vannkvalitet er skummelt for folk. Nitritt over til nitrat. Så det å jobbe med god drift handler om å jobbe med folk.» Leder, RAS

Mange avgjørelser som handler om biosikkerhet trenger kunnskap fra mange fagfelt, så samarbeid mellom flere grupper anses som nyttig. Et eksempel som kom opp i intervju er samarbeid med lab for å finne ut hvordan man kan fjerne smittestoffer og ikke alle bakterier. Da er det viktig at driftsteknikerne har samarbeid med de som jobber på laboratoriene som har oversikt over vannverdiene, og med fiskehelsepersonellet.

«Det er en balansegang å holde det rent og. Det kan jo bli for rent plutselig, og skal nyttig biofilm gjøre noe positivt burde man ikke vaske vekk hele tiden. Men vi prøver å ha samspill med dem på lab, med biologisk ansvar, om å gjøre sånne ting.» Driftstekniker, RAS

6.5.3 Samarbeid mellom organisasjoner

Noen selskap deler kunnskap og erfaringer med hverandre. Kravene til brønnbåtene fra oppdrettere og forvaltning har vi berørt i andre delkapitler. Dette samarbeidet er best når begge parter opplever at den andre har kompetanse og erfaring, og bygger sine krav på kunnskap.

«Det er myndighetskrav, også er det kunden sitt krav. Ja. Selv så har vi ikke noe spesielle krav. Det skal på en måte være etter kundens krav, og til hver tid se fint og rent ut, ikke sant. Så det er nok kunden og myndighetene som står for de fleste kravene. Enkelte kunder vil jo enda mer at.. Også har jeg et inntrykk over at noen kunder er imot deg når de nesten skal ha mest vasking. Den ene skal igjennom, og sier ja da må vi gjøre sånn, sant. De har ikke formening om hvordan den jobben er egentlig, ikke sant. De bare sier at "sånn skal det være". Det er jo nesten renere i en sånn enn på et sykehus.» Offiser, brønnbåt

Når mange ser behov for at driftsrutiner blir bygget på kunnskap og informasjonsdeling, er det positivt med samarbeid mellom næringsaktørene, forskning og forvaltning.

«Det er god dialog mellom forskere, Mattilsynet, og næringa. Du vet. Når de lager alle disse forskriftene er det egentlig basert på forskning, det er ikke bare noe noen fra Mattilsynet mener at «dette er den riktige måten å gjøre det på». Selv om det fra et vitenskapelig perspektiv kanskje ikke er den beste måten å gjøre ting på. Jeg tror en god dialog mellom disse tre partene vil gjøre noe av regelverket i Norge bedre, og mer proaktivt. Og gunstig for mange.» Forsker

6.6 Oppsummering om driftsrutiner

- Personell på både RAS-anlegg og brønnbåter ønske å gjøre driftsrutinene på en grundig måte. Likevel har de ikke alltid tid, og det er tidkrevende og noen ganger umulig å få rengjort alle flater.
- Både gamle og nye anlegg og fartøy har sine utfordringer fordi biosikkerhet ikke var hovedprioritet under byggingen.
- Driftsrutiner beskrevet i enhetens *biosikkerhetsplan* – slik som grundig vask eller desinfeksjon – må noen ganger vike grunnet tidspress forårsaket av oppdretters/RAS-anleggets *produksjonsplan*.
- På brønnbåt er det som skaper mest hodebry en usikkerhet rundt hvilke rutiner som gjelder for hvert oppdrag. Det er ulike prosedyrer per område, oppdragsgiver og sykdom, og samtidig en forventning om å komme jobbe raskest mulig.
- Det er behov for bedre forklaringer av hva som må gjøres og hvorfor, og hvordan det kan gjøres på en hensiktsmessig måte. Datadeling og samarbeid mellom enheter og bedrifter kan øke forståelsen og optimere driftsrutinene.
- Ledere, eksperter og personell med ulik fagbakgrunn forklarer at anlegg, båter og arealer skal utnyttes mest mulig effektivt, slik at produksjonsplaner, seilingsplaner og utforming ikke kan ha biosikkerhet som førsteprioritet.

- Biosikkerheten blir håndtert seriøst av selskapene innenfor begrensingene som kommer når enhetene skal utnyttes effektivt og være mest mulig lønnsomme.

Se nærmere diskusjon om gjennomføring av driftsrutiner og tiltak i kapittel 8.

7 Mikrobiell dynamikk i RAS- og brønnbåtsystemer

Dette kapitlet beskriver resultater av en casestudie med RAS-anlegg og brønnbåter. Prøvetakingsmetodikk, enheter og prøvetakingssteder er beskrevet og illustrert i kapittel 3.2.

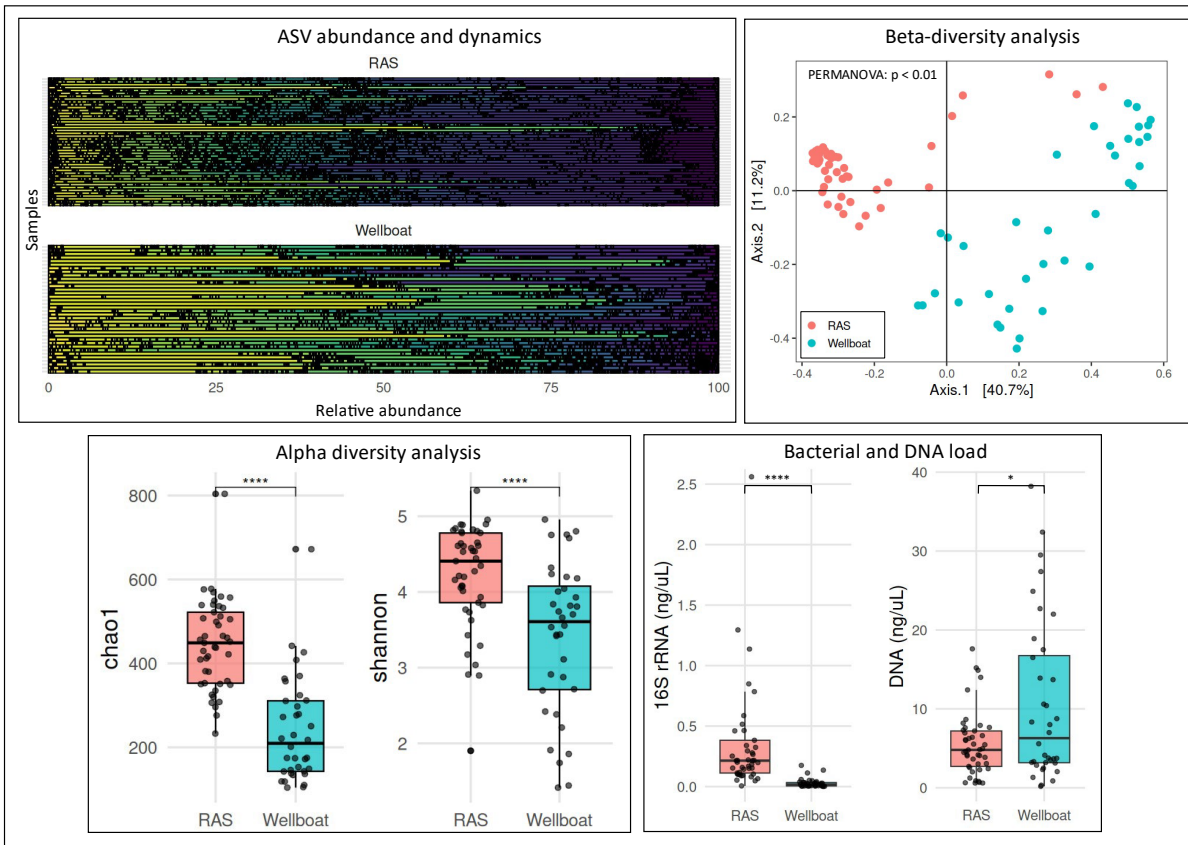
7.1 Mikrobiell dynamikk i to enheter av RAS og brønnbåt

I denne resultatdelen presenterer vi dynamikken i mikrobielle samfunn under rutinemessig håndtering av fisk fra RAS til brønnbåter, med påfølgende vask og desinfeksjon av overflater og effekt av dette på mikrobiota.

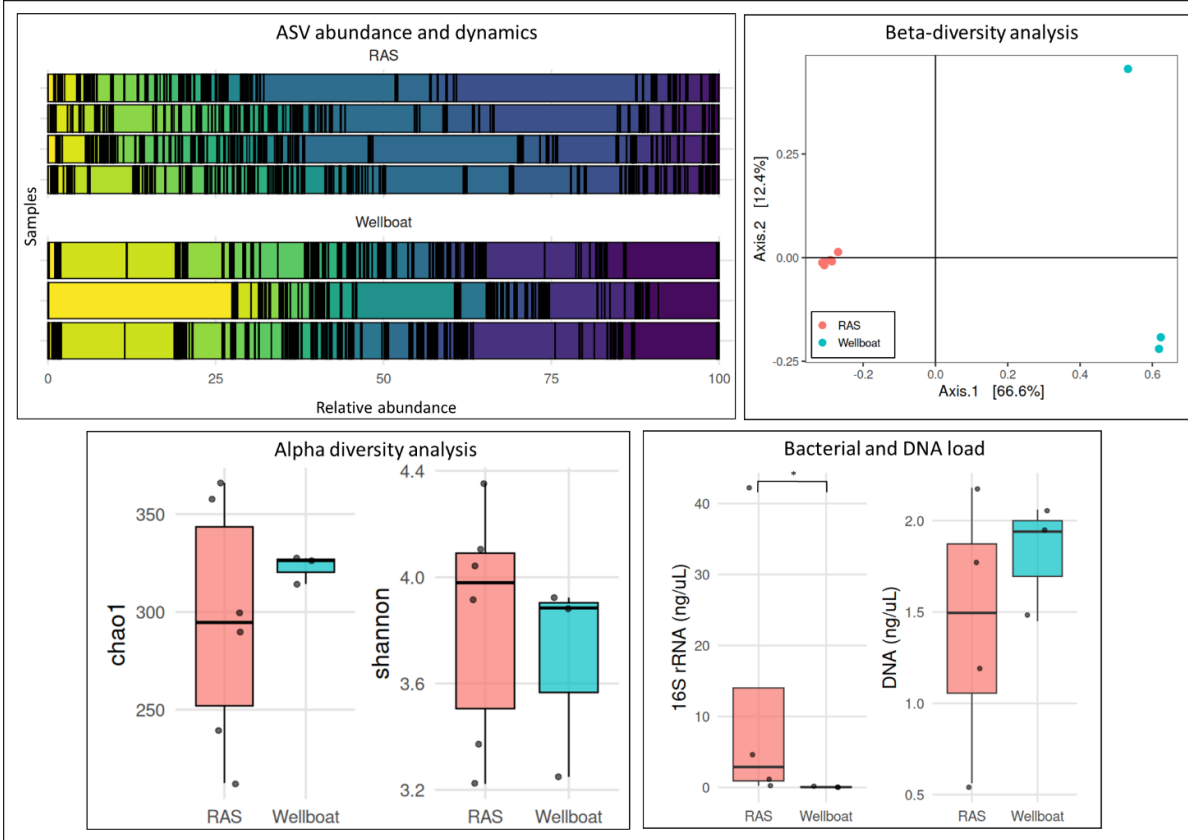
7.1.1 Fiskens slimhinneoverflater

I dette delkapitlet tolkes figurene som følger: Diagrammet øverst til venstre presenterer et stablet søylediagram med relativ forekomst av «amplicon sequence variants» (ASV)-, med prøver på y-aksen og forekomst på x-aksen. Diagrammet øverst til høyre viser beta-diversitet via et PCoA-plott, med prøver farget av RAS eller brønnbåt som vist i forklaringen. PCoA-plot er en grafisk fremstilling av mikrobiota sammensetning. Denne metoden visualiserer likheter og ulikheter mellom data. Hvert punkt i grafen representerer en mikrobiotaprofil som dannes fra mikrobiota sammensetningen for hver prøve. Når to punkter overlapper hverandre indikerer det at de har en identisk sammensetning av mikrobiota, er de langt fra hverandre indikerer det at de har forskjellig sammensetning. Diagrammet nederst til venstre illustrerer alfa-diversitet (*Chao1*- og *Shannon*-indekser). Alfa-diversitet er et mål på forekomst av bakteriearter som er til stede i et samfunn og kan analyseres med to ulike metoder, hvor *Chao1* enkelt forklart viser antall ulike arter og *Shannon* inkluderer både antall ulike arter og hvor like disse arter er fordelt. Y-aksen viser diversitetsverdier og x-aksen som indikerer RAS eller brønnbåt. Diagrammet nederst til høyre viser total bakteriebelastning (16S rRNA, ng/μL) og DNA-konsentrasjon (ng/μL), med x-aksen som representerer RAS eller brønnbåt.

Figur 8 og 9 viser dynamikken til mikrobielle samfunn på fiskeskinn under overføring fra RAS til brønnbåter. ASV-dynamikk og beta-diversitetsanalyser viser betydelige endringer i hudslimmikrobiotaen under fiskehåndtering og overføring til en brønnbåt. Alfa-diversitet avtar også, noe som indikerer mindre diversitet i mikrobiota etter overføring for begge indeksene. Dette viser en sterk påvirkning på fiskens slim. Kvantifiseringen av total bakteriell belastning via 16S rRNA-gener viser et signifikant fall etter overføring, mens totale isolerte DNA-konsentrasjoner øker.



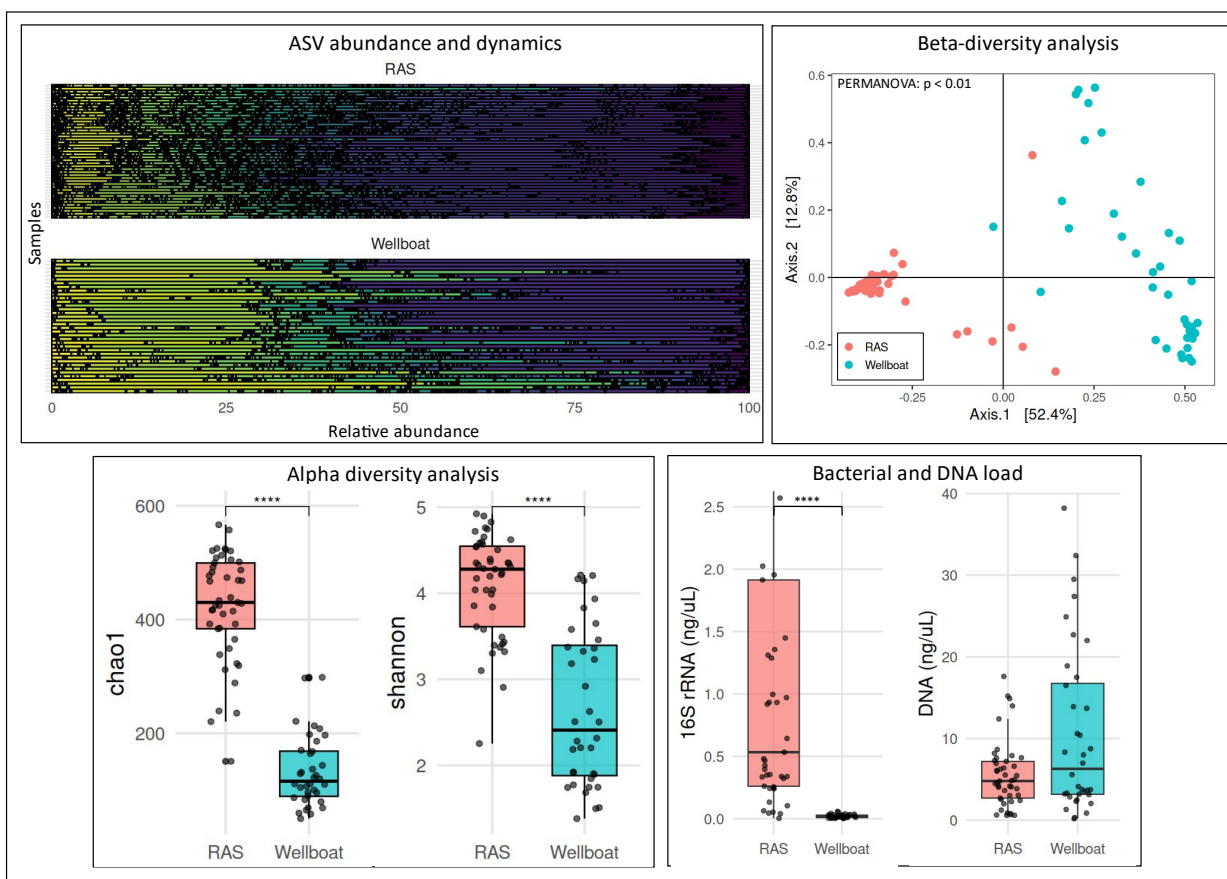
Figur 8. Mikrobiell dynamikk i fiskeskinnslimhinneflater på ASV-nivå under håndtering fra RAS til brønnbåt enhet 1.



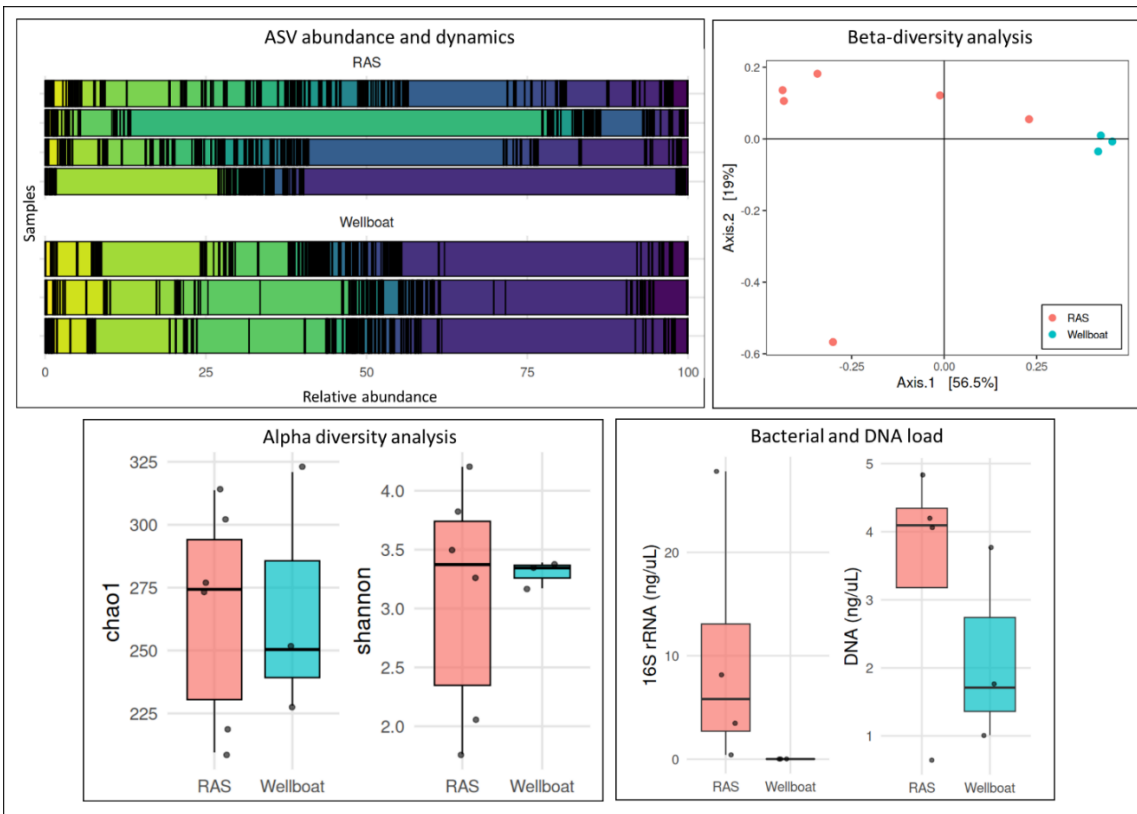
Figur 9. Mikrobiell dynamikk i fiskeskinnslimhinneflater på ASV-nivå under håndtering fra RAS til brønnbåt enhet 2.

Figur 10 og 11 (neste side) viser mikrobielle samfunn på gjeller under overføring fra RAS til brønnbåter. Den mikrobielle dynamikken til fiskegjelleslim viser også betydelige endringer etter overføring til brønnbåter. Gjelleslimmikrobiotaen endres betydelig, samt at alfadiversiteten og bakteriell belastning 16S rRNA-gen reduseres. Bakteriell belastning har en betydelig reduksjon, men den totale DNA-konsentrasjonen forblir derimot uendret.

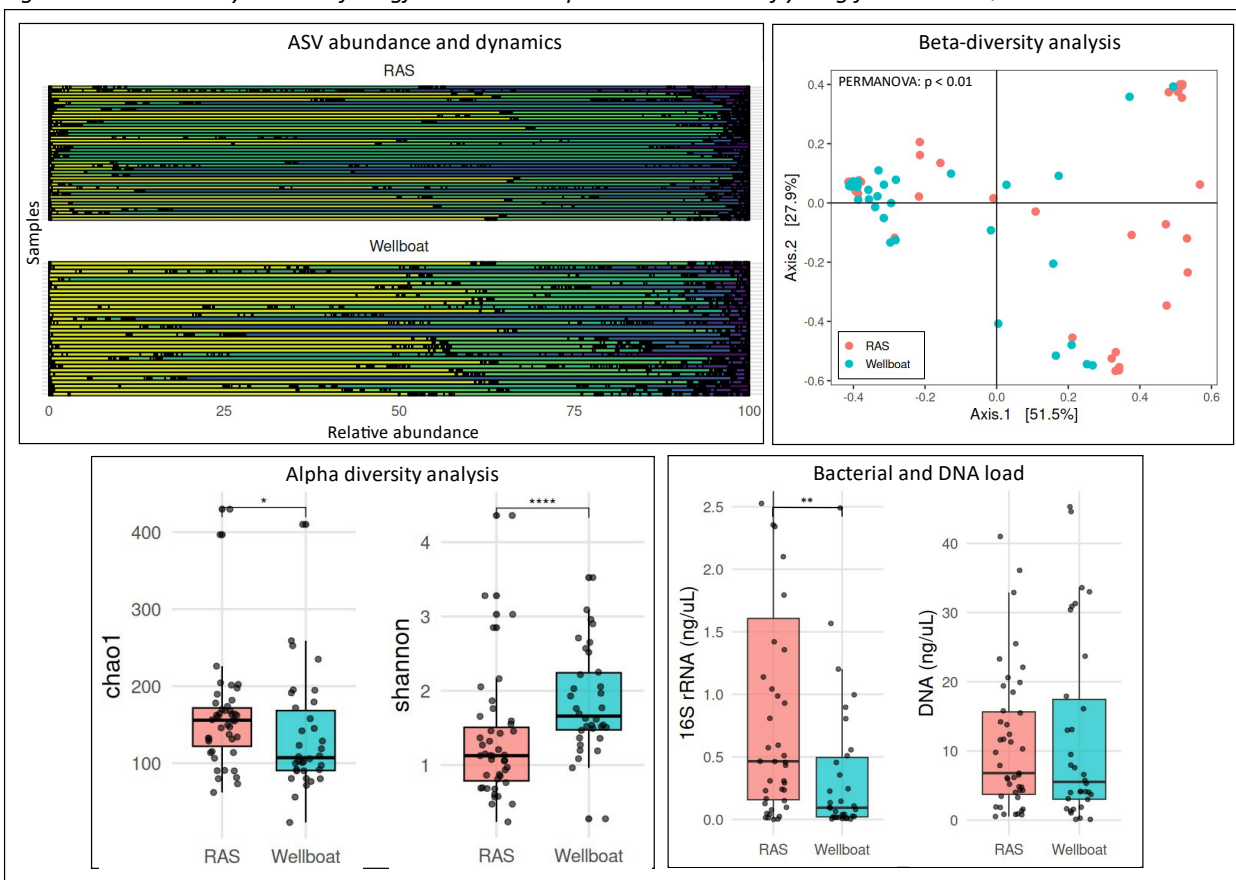
Figur 12 og 13 viser dynamikken i mikrobielle samfunn i fisketarmen under overføring fra RAS til brønnbåter. Det mikrobielle samfunnet i fisketarmene viser et betydelig skifte i sammensetning og dynamikk etter overføring til brønnbåter. I motsetning til hud- og gjelleslimet, har tarmslim en reduksjon i ASV-mangfold (*Chao1*), men en økning i jevnhet (*Shannon*). Dette antyder at tarmmikrobielle samfunn blir mindre dominert av noen få ASV-er, noe som gjenspeiler en mer balansert fordeling blant gjenværende ASV-er sammenlignet med den opprinnelige tilstanden.



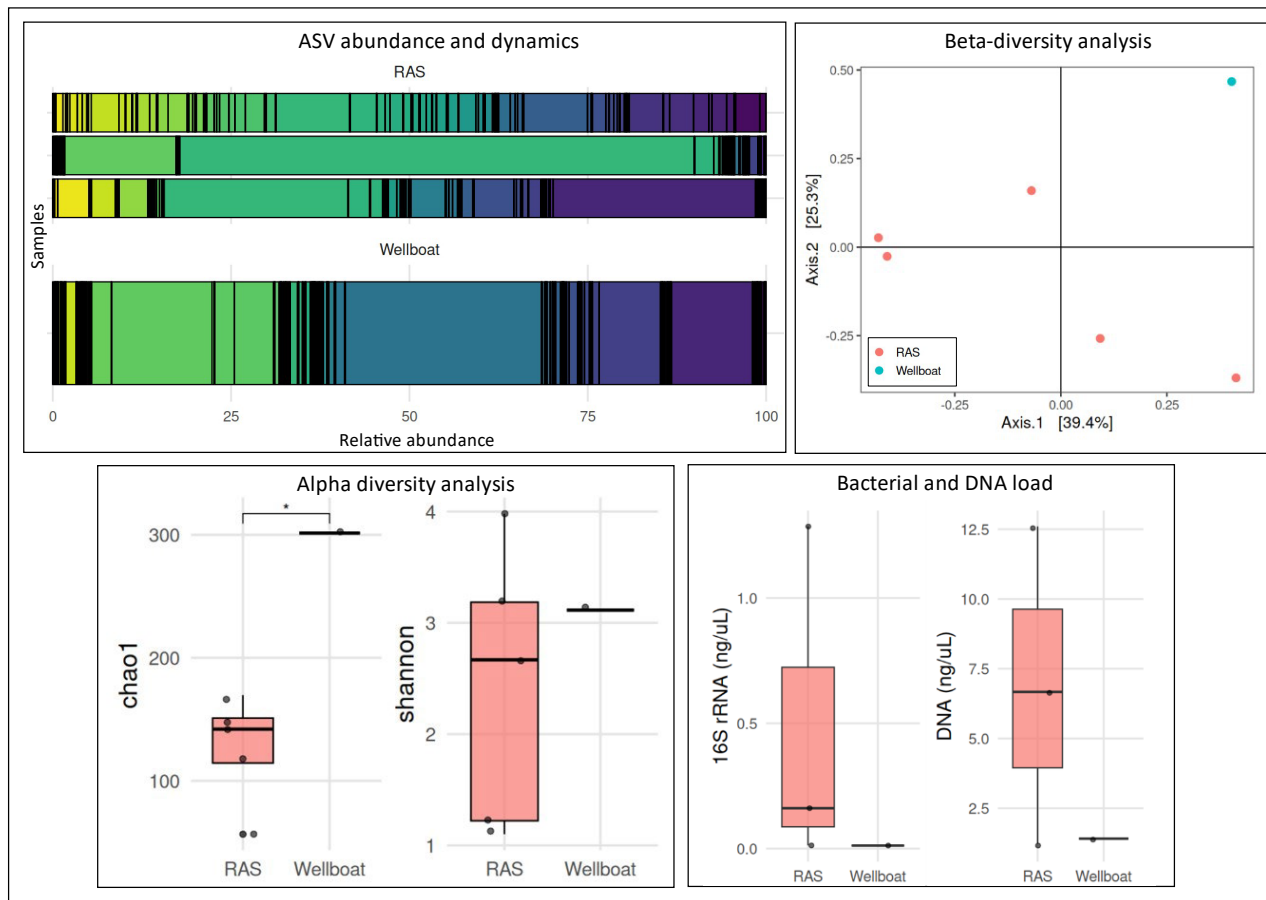
Figur 10. Mikrobiell dynamikk i fiskegjelleslimhinner på ASV-nivå under flytting fra RAS til brønnbåt enhet 1.



Figur 11. Mikrobiell dynamikk i fiskegjelleslimhinner på ASV-nivå under flytting fra RAS til brønnbåt enhet 2.



Figur 12: Mikrobiell dynamikk på fiskens tarmslimhinneflater på ASV-nivå under flytting fra RAS til brønnbåt enhet 1.

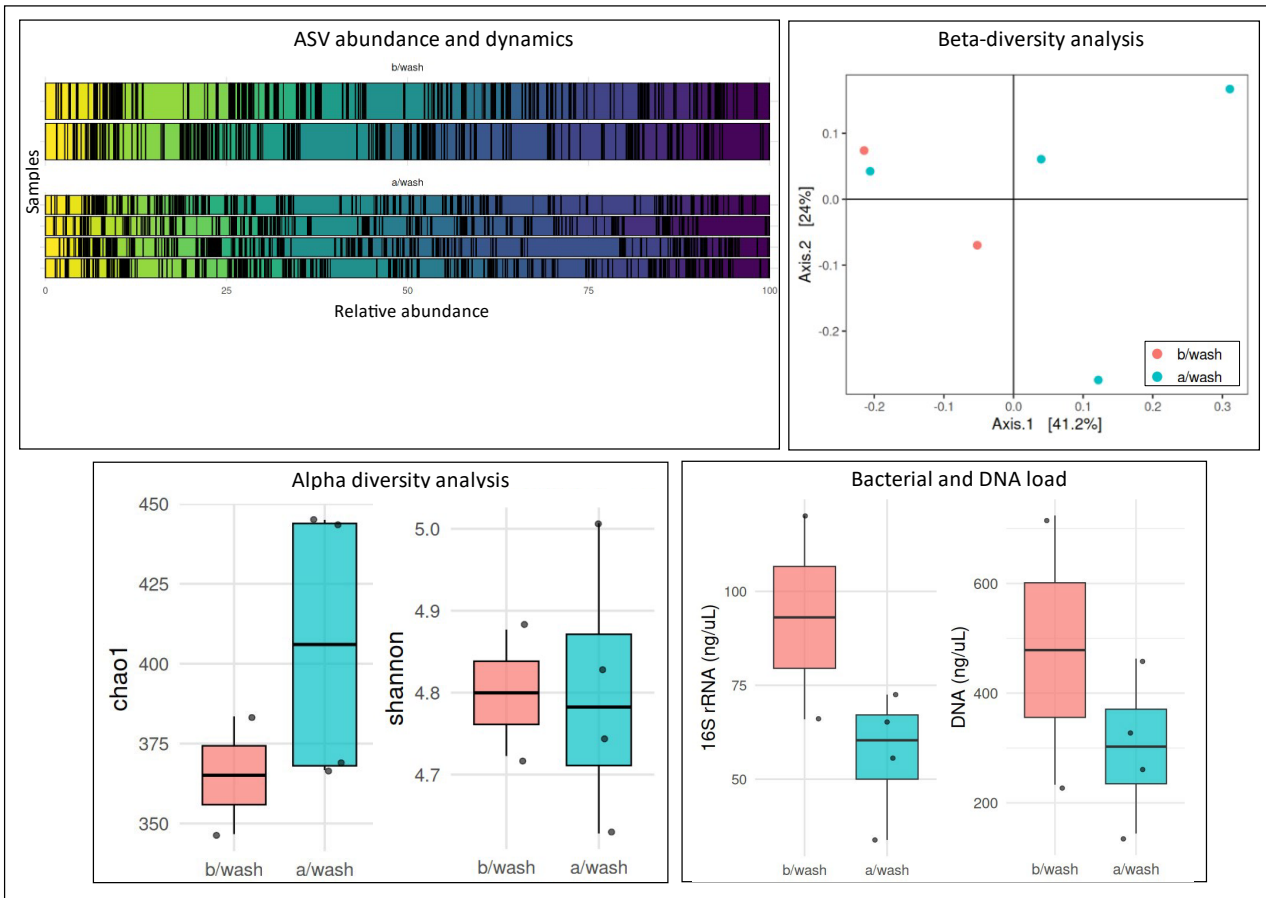


Figur 13: Mikrobiell dynamikk på fiskens tarmslimhinneoverflater på ASV-nivå ved flytting fra RAS til brønnbåt enhet 2

7.1.2 Vask og desinfeksjon av RAS-overflater

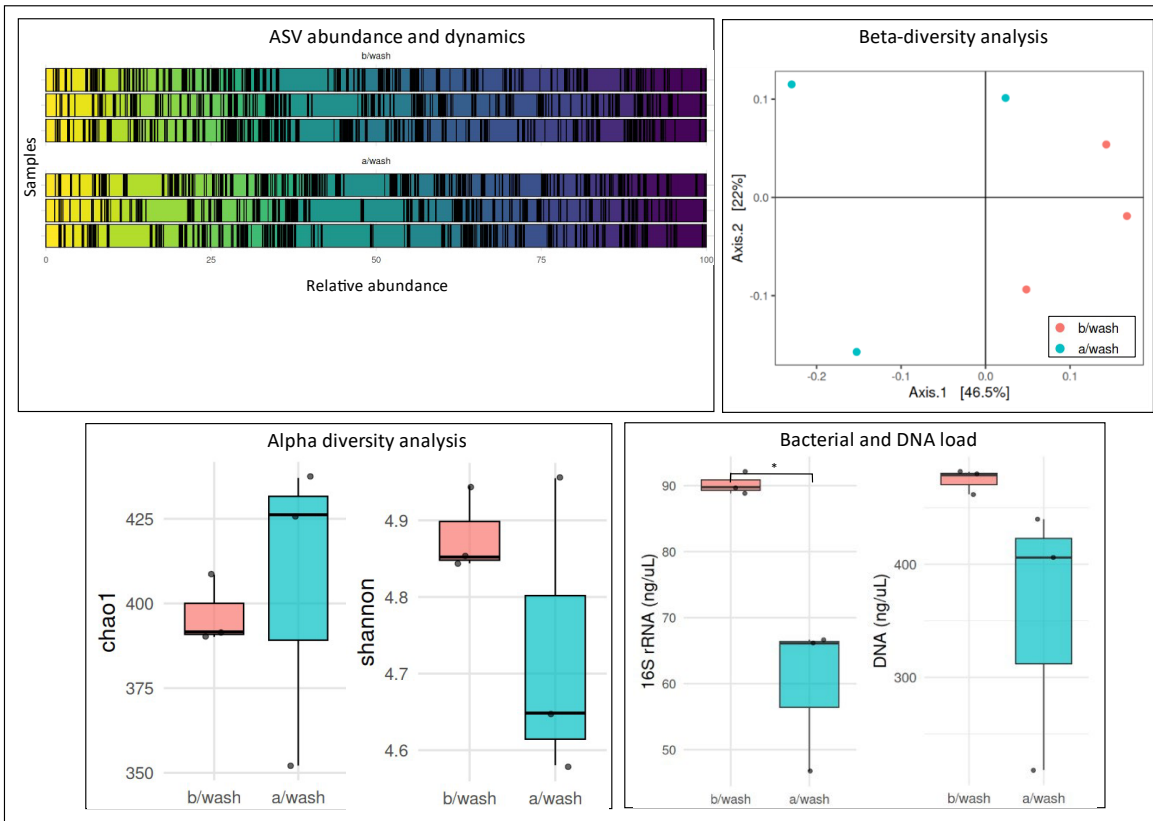
I dette delkapitlet tolkes figurene som følger: Diagrammet øverst til venstre presenterer et stablet søylediagram over relativ forekomst av ASV, med prøvene på y-aksen og forekomst på x-aksen. Diagrammet øverst til høyre viser beta-diversitet via et PCoA-plott, hvor prøvene er farget basert på før- eller etter-vask-perioden (b/wash – before wash eller a/wash – after wash), som vist i forklaringen. Diagrammet nederst til venstre illustrerer alfa-diversitet (*Chao1*- og *Shannon*-indekser), med diversitetsverdier på y-aksen og x-aksen som indikerer før- eller etter-vask-perioden (b/wash eller a/wash). Diagrammet nederst til høyre viser total bakteriebelastning (16S rRNA, ng/μL) og DNA-konsentrasjon (ng/μL), med x-aksen som indikerer før- og etter-vask-perioden (b/wash eller a/wash).

Figur 14 viser dynamikken i mikrobielle samfunn av biofilm i sidekasse før og etter vask og desinfeksjon. På grunn av begrenset antall prøver er det ikke mulig å utføre en presis statistisk analyse. Likevel kan noen endringer i mikrobiell dynamikk på ASV-nivå observeres som vist ved beta-diversitetsanalyse. Ifølge alfa-diversitetsanalyse, var det ingen endring i jevnheten til ASV-ene (*Shannon*), men en moderat økning i antall observerte ASV-er kunne sees etter vaskeprosedyren. Det ble observert forskjeller for bakteriell og DNA-belastning, der begge indikerer en reduksjon etter vask og desinfeksjon. Reduksjonen var imidlertid ikke signifikant da bakteriebelastningen gikk fra en median på 85 ng/μL til 60 ng/μL, mens DNA-belastning gikk fra 500 ng/μL til 300 ng/μL.

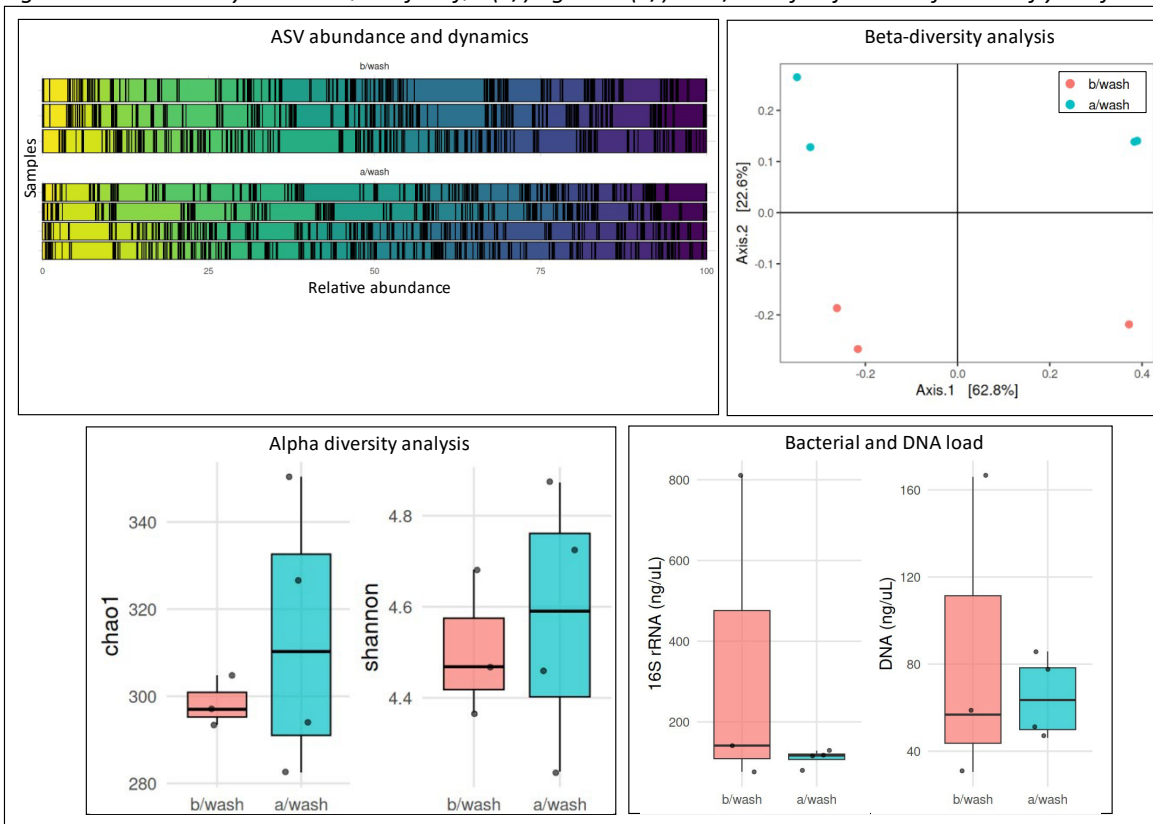


Figur 14: Mikrobiell dynamikk av biofilm fra sidekasse før (b/wash) og etter (a/wash) vaske- og desinfeksjonsprosedyre etter flytting av fisken fra RAS på enhet 1.

Figur 15 og 16 viser dynamikken til mikrobielle samfunn av rørbiofilm i RAS fra enhet 1 og 2. På samme måte som biofilm fra sidekassa, kan noe av dynamikken i mikrobielt samfunn observeres i rørbiofilm hos enhet 1, spesielt etter beta-diversitetsanalyse. Det er noen svingninger i ASV-forekomst og jevnhet, men ingenting vesentlig. Det er en signifikant reduksjon i bakteriell belastning ($p < 0,05$) fra 90 ng/ μ L til 67 ng/ μ L, men ingen signifikant reduksjon av DNA-belastning (fra 500 ng/ μ L til 400 ng/ μ L). Dette er igjen en indikasjon på mangelfull fjerning av biofilm. Rørbiofilmen hos RAS-anlegget i enhet 2 viser lignende dynamikk som hos enhet 1. Noe dynamikk er tydelig (beta-diversitet). Det er imidlertid ingen signifikante svingninger i jevnhetsrikdom. Bakterie- og DNA-belastning viser ikke forskjeller før og etter vaskeprosedyrer.

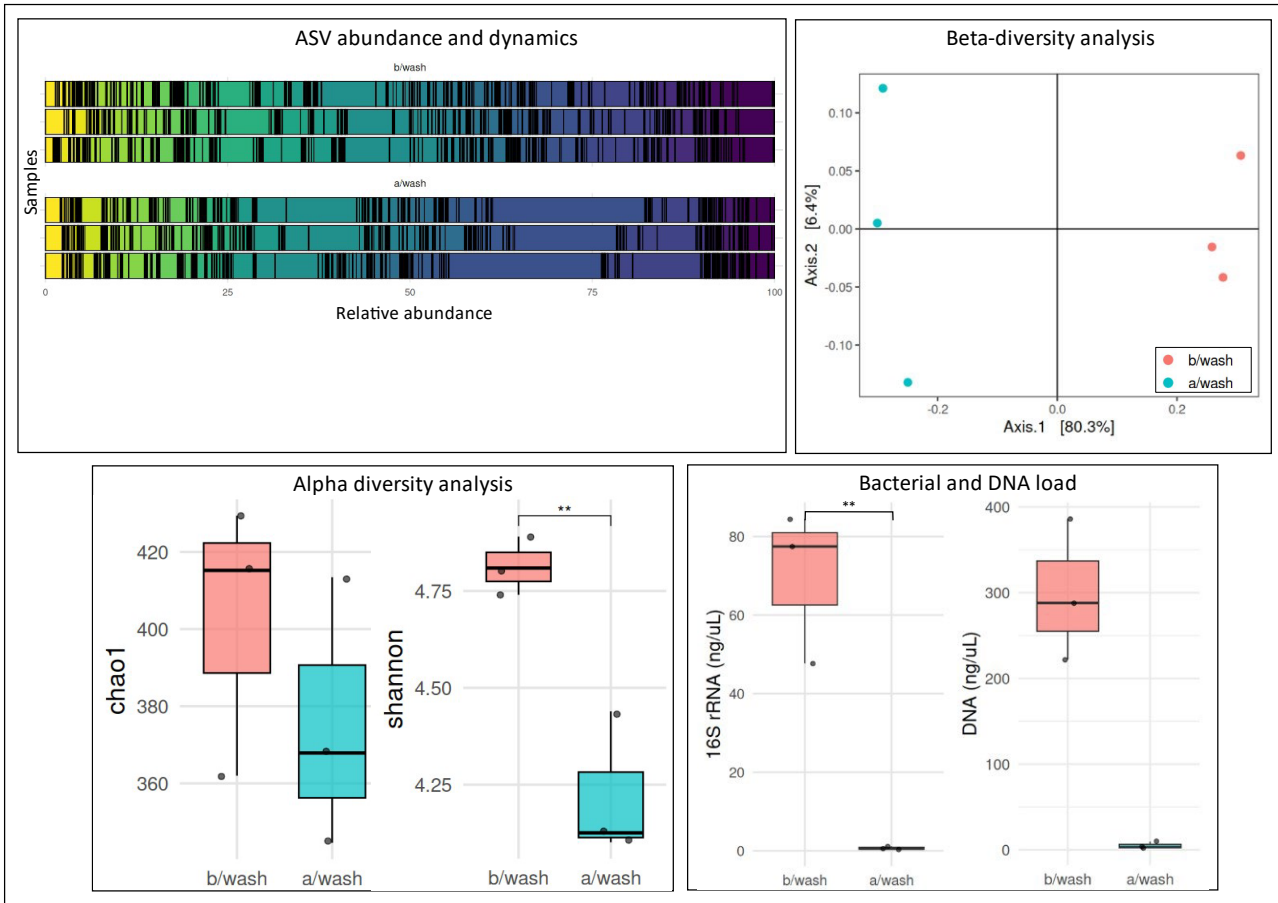


Figur 15: Mikrobiell dynamikk i rørbiofilm før (b/) og etter (a/) vask/desinfeksjon etter fisken er flyttet fra RAS enhet 1.

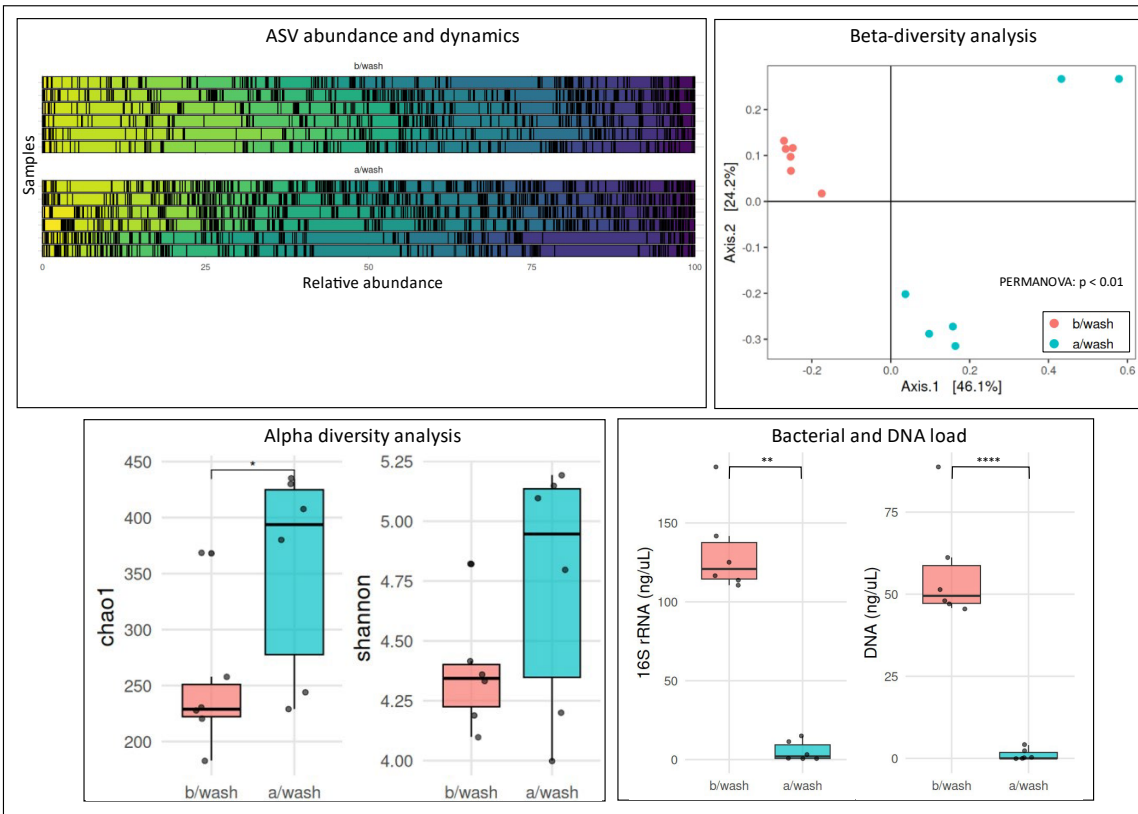


Figur 16: Mikrobiell dynamikk av rørbiofilm før (b/) og etter (a/) vask/desinfeksjon etter fisk er flyttet fra RAS enhet 2.

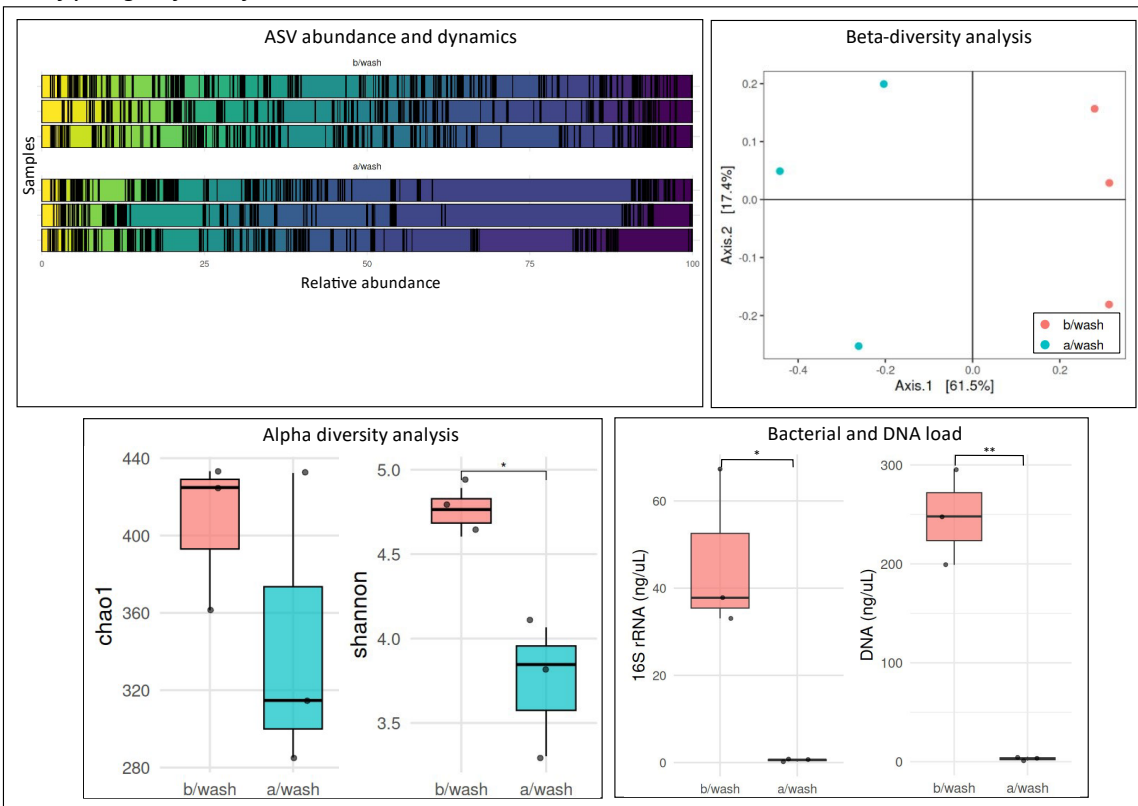
Figur 17-19 viser effekten av vask og desinfeksjon på mikrobielle samfunn av karvegg og bunnbiofilm. I alle tilfeller kan en forskjell i mikrobiell dynamikk observeres etter prosedyrene. Det viktigste er at reduksjonen i bakterie- og DNA-belastning er nesten total – det viser at vask og desinfeksjon har svært god effekt hvis det gjennomføres effektivt, i motsetning til observasjonene for biofilm fra sidekasse og rør.



Figur 17: Mikrobiell dynamikk i biofilm av **karvegg** før (b/wash) og etter (a/wash) vask- og desinfeksjonsprosedyre etter flytting av fisken fra RAS i enhet 1.



Figur 18: Mikrobiell dynamikk i biofilm på karvegg før (b/wash) og etter (a/wash) vaske- og desinfeksjonsprosedyre etter flytting av fisken fra RAS enhet 2.



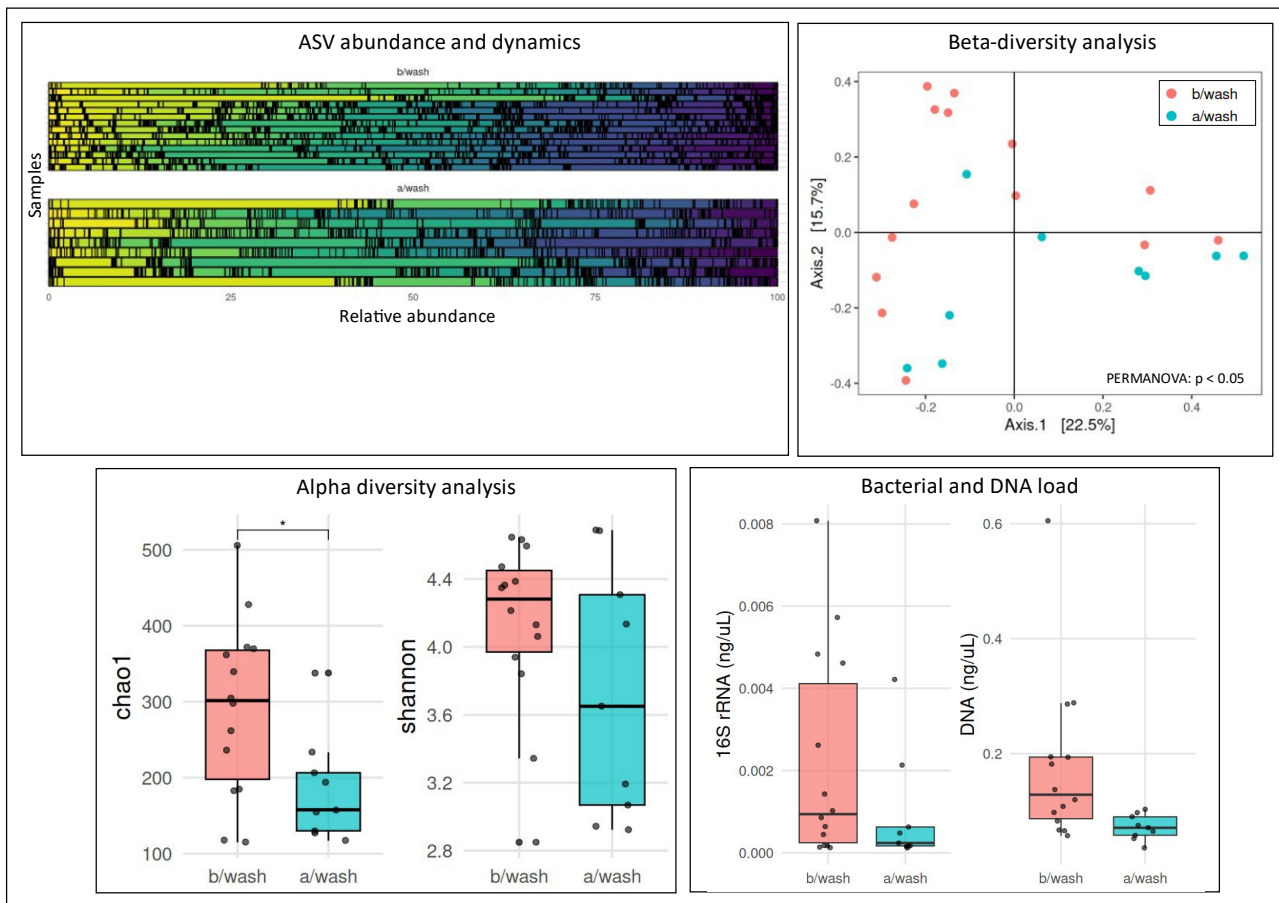
Figur 19: Mikrobiell dynamikk i biofilm fra karbunn før (b/wash) og etter (a/wash) vaske- og desinfeksjonsprosedyre etter flytting av fisken fra RAS enhet 1.

7.1.3 Vask og desinfeksjon av brønnbåtoverflater

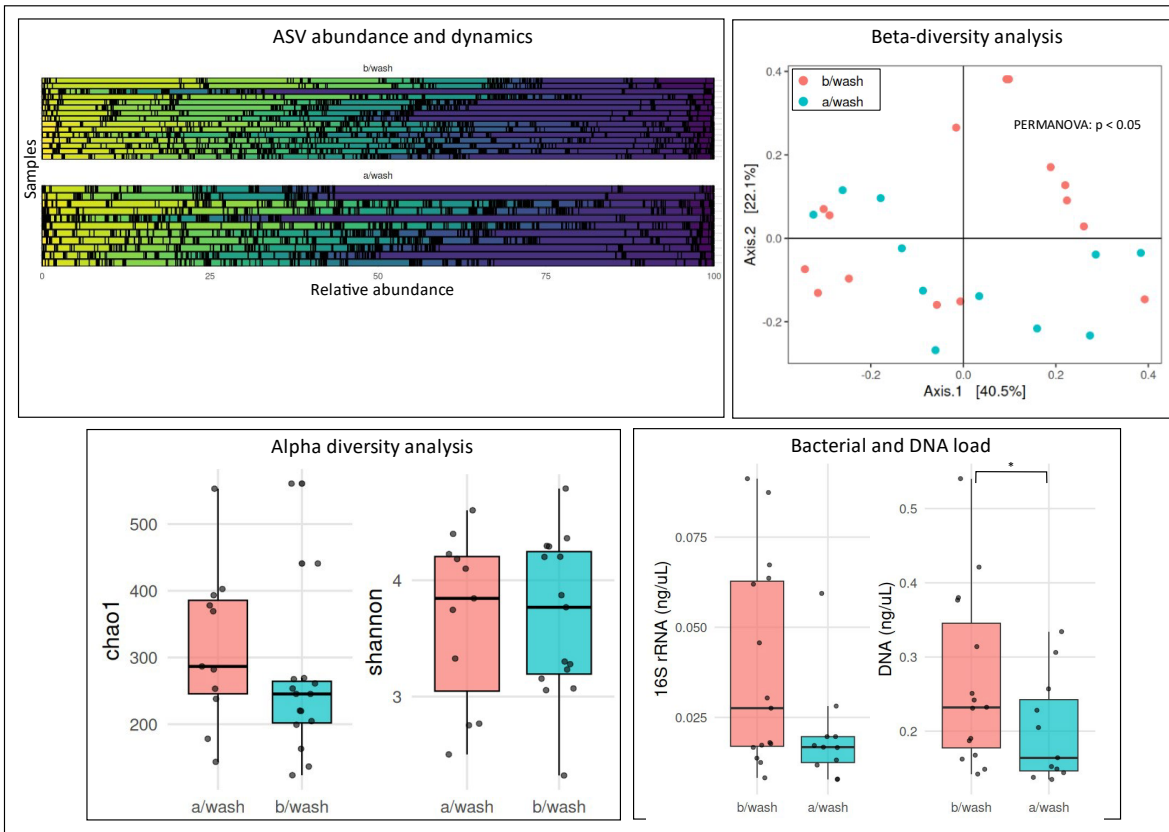
I dette avsnittet tolkes figurene som følger: Diagrammet øverst til venstre presenterer et stablet søylediagram over relativ forekomst av ASV, med prøvene på y-aksen og forekomst på x-aksen. Diagrammet øverst til høyre viser beta-diversitet via et PCoA-plott, hvor prøvene er farget basert på før- eller etter-vask-perioden (b/wash eller a/wash), som vist i forklaringen. Diagrammet nederst til venstre illustrerer alfa-diversitet (*Chao1*- og *Shannon*-indekser), med diversitetsverdier på y-aksen og x-aksen som indikerer før- eller etter-vask-perioden (b/wash eller a/wash). Diagrammet nederst til høyre viser total bakteriebelastning (16S rRNA, ng/μL) og DNA-konsentrasjon (ng/μL), med x-aksen som indikerer før- eller etter-vask-perioden (b/wash eller a/wash).

Figurene 20-26 viser vask- og desinfeksjonseffekt på mikrobielle samfunn på ulike brønnbåtoverflater.

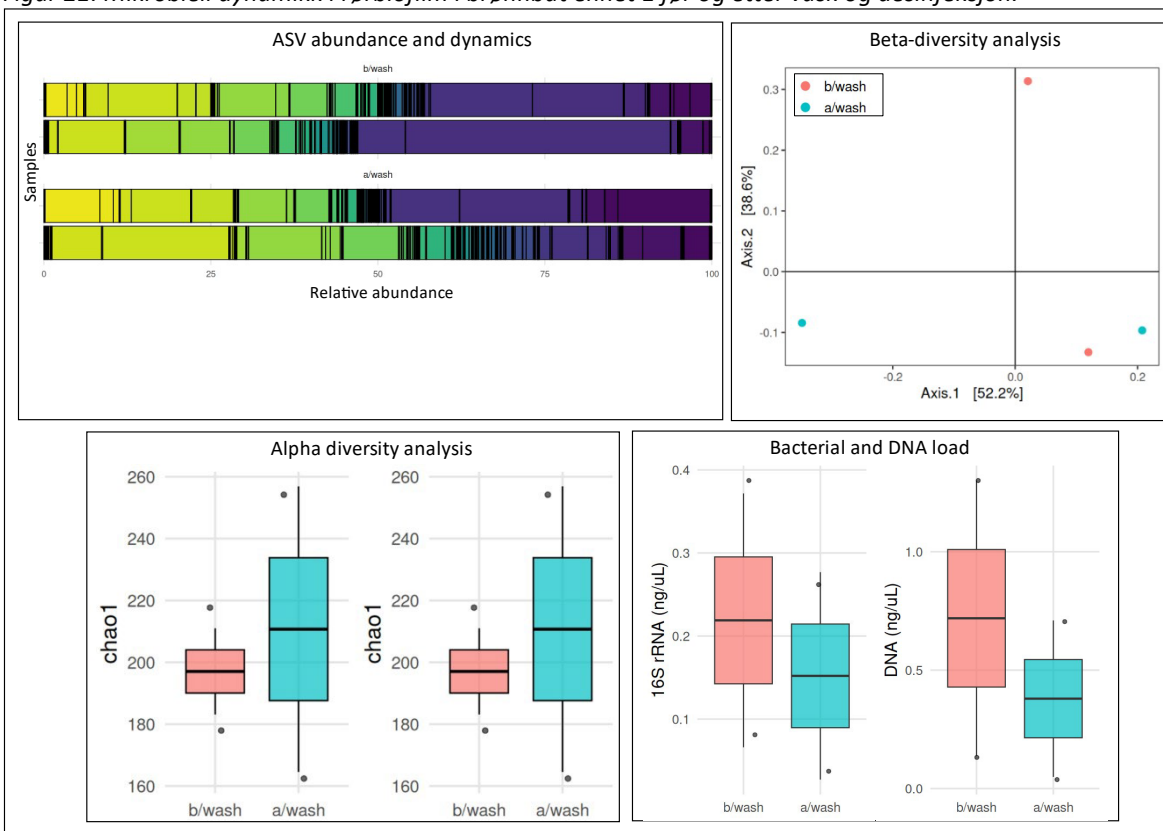
Sammenlignet med forskjellige RAS-overflater er bakterie- og DNA-konsentrasjoner lav, og i de fleste tilfeller kan en reduksjon i belastningen observeres etter prosedyrer.



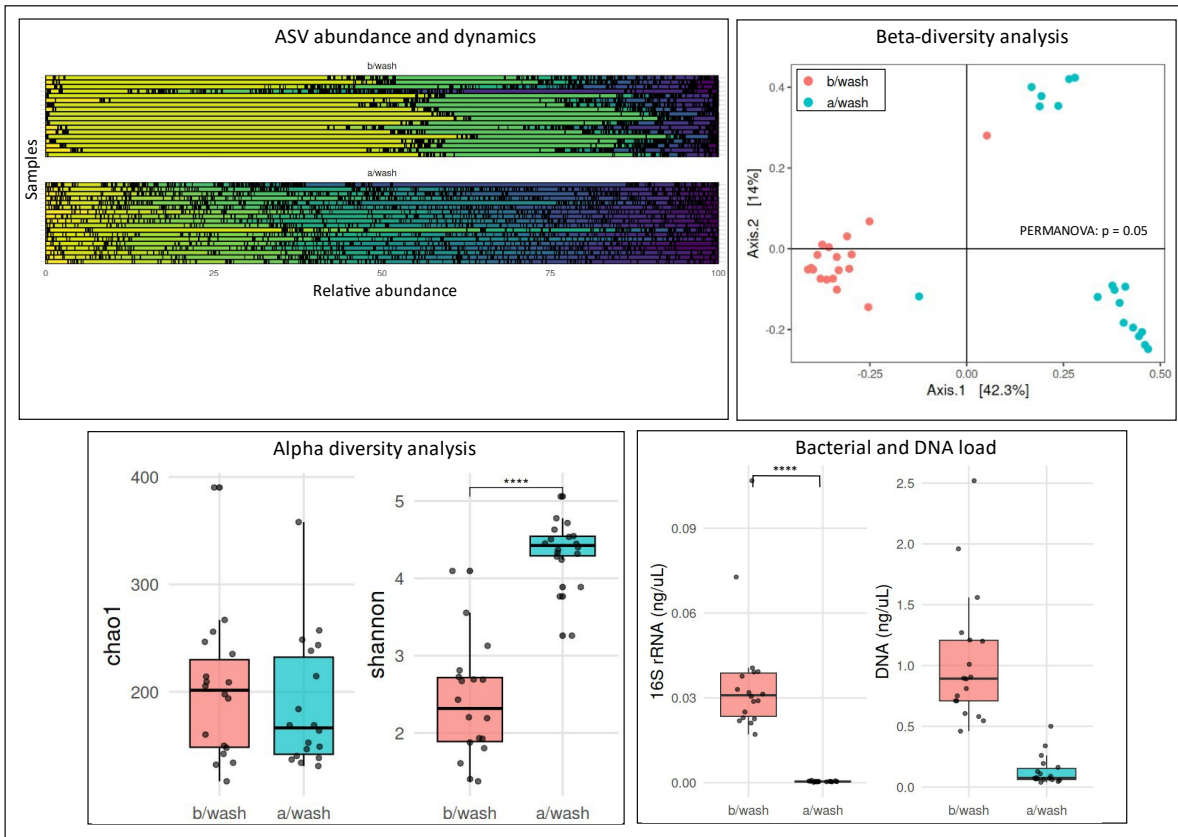
Figur 20: Mikrobiell dynamikk i in-loop filtreringsenhet i brønnbåt enhet 1 før og etter vask og desinfeksjon.



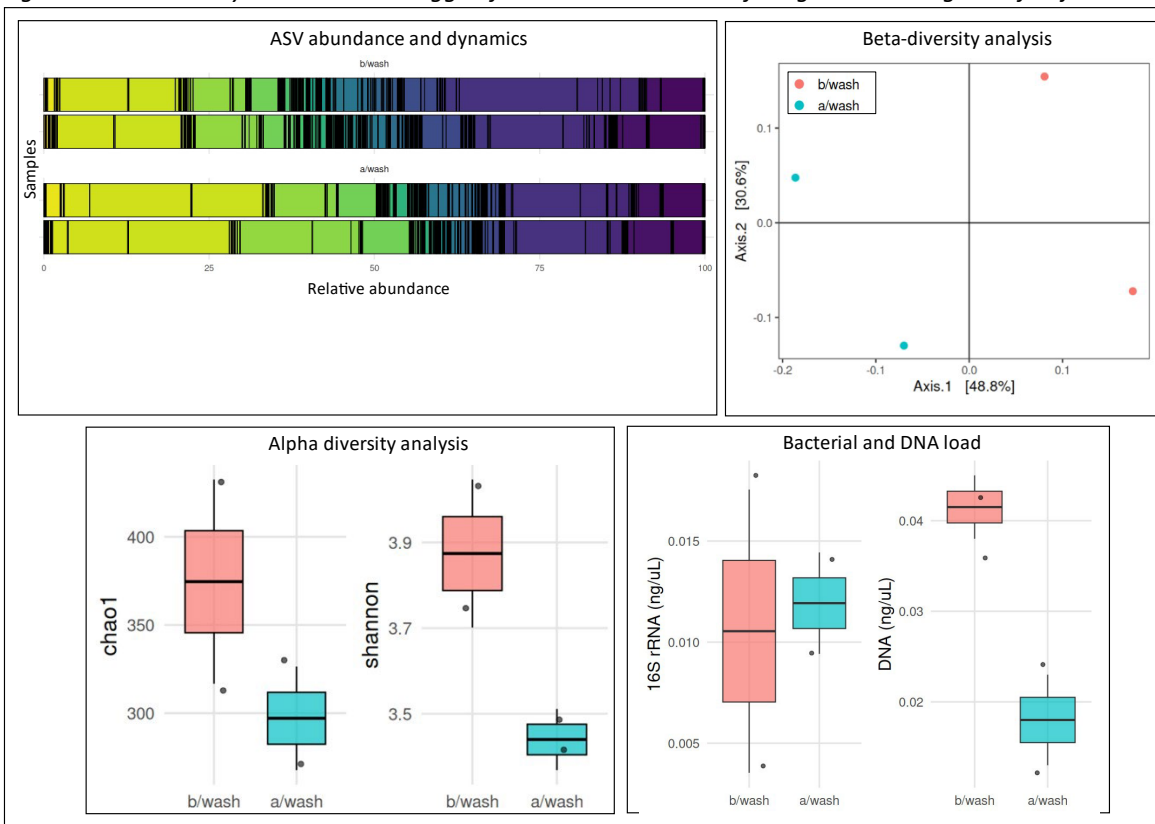
Figur 21: Mikrobiell dynamikk i rørbiofilm i brønnbåt enhet 1 før og etter vask og desinfeksjon.



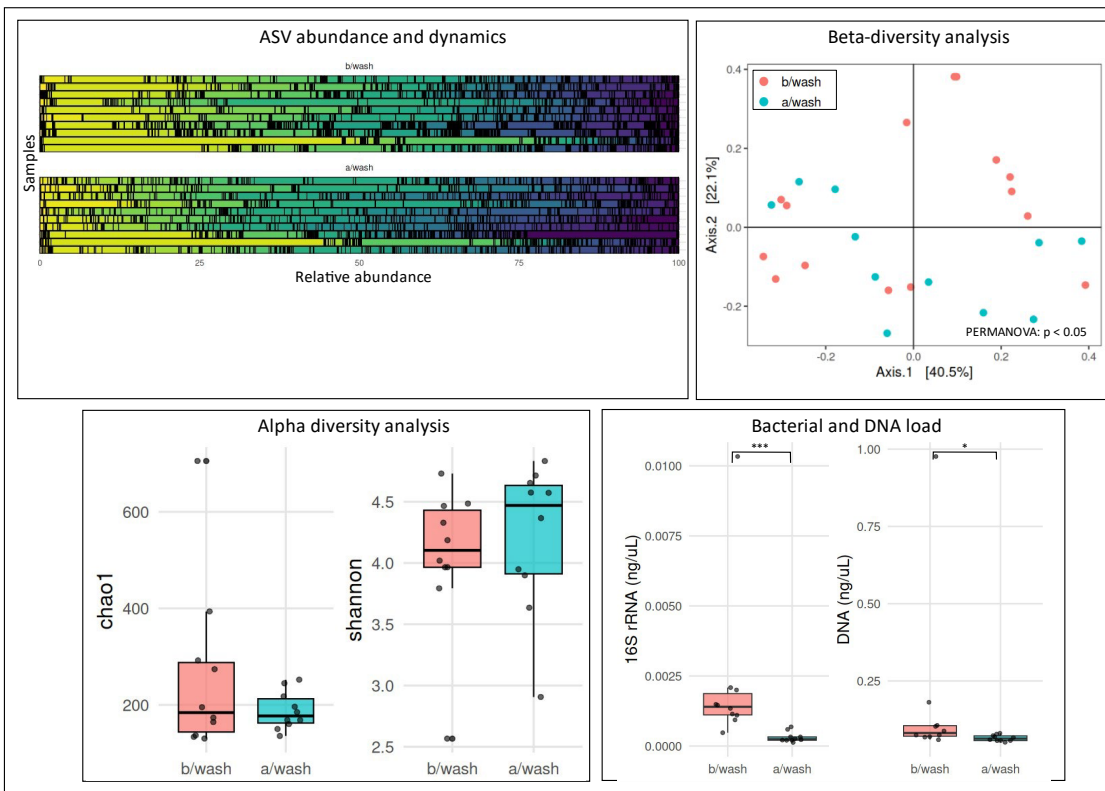
Figur 22: Mikrobiell dynamikk i rørbiofilm i brønnbåt enhet 2 før og etter vask og desinfeksjon.



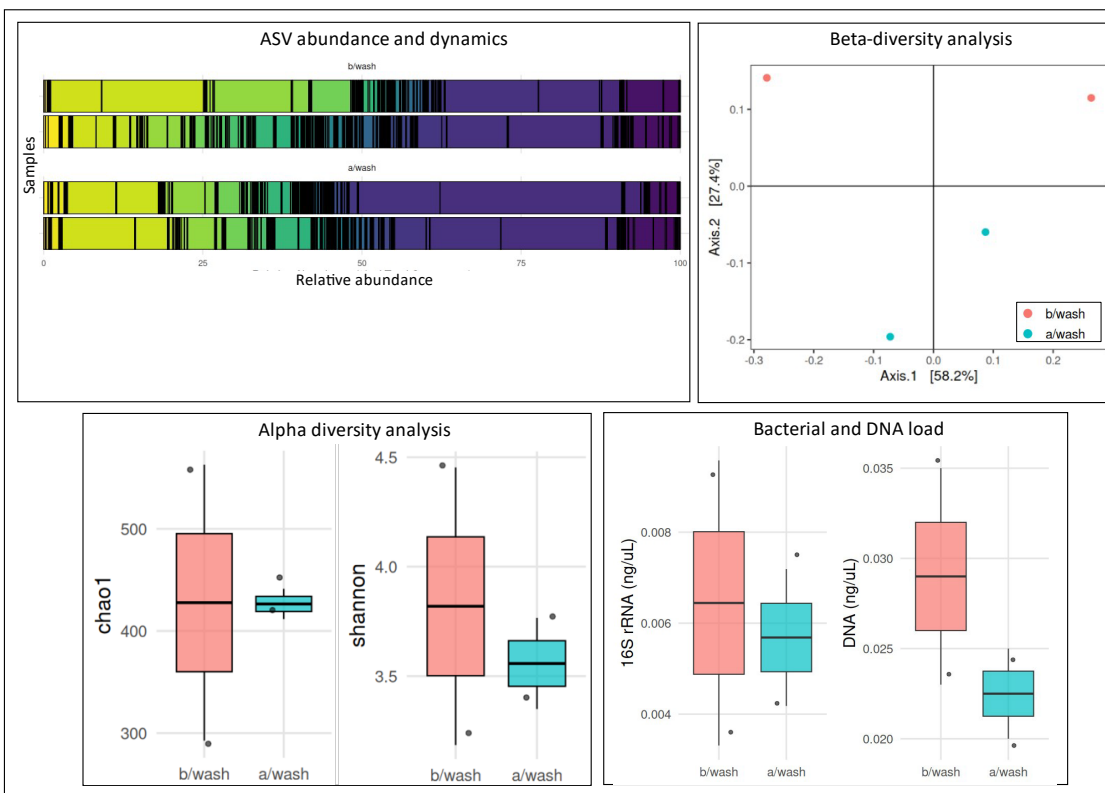
Figur 23: Mikrobiell dynamikk i brønnveggbiofilm i brønnbåt enhet 1 før og etter vask og desinfeksjon.



Figur 24: Mikrobiell dynamikk i brønnveggbiofilm i brønnbåt enhet 2 før og etter vask og desinfeksjon.



Figur 25: Mikrobiell dynamikk i avgassingenhetens biofilm i brønnbåt enhet 1 før og etter vask og desinfeksjon.



Figur 26: Mikrobiell dynamikk i avgassingsenhetens biofilm i brønnbåt enhet 2 før og etter vask og desinfeksjon.

7.2 Målrettet bakteriell patogen- og virusbelastning i de to enhetene

Denne seksjonen presenterer påvisning av målrettede bakterielle patogener og virus under vanlig drift av RAS-anlegg og brønnbåter i begge enhetene.

Figurene skal tolkes som følger: Hvert diagram tilsvarer et spesifikt bakterielt patogen eller virus, som angitt i tittelen. Y-aksen representerer Ct-verdi, mens x-aksen indikerer plasseringen innenfor RAS eller brønnbåt. Enkelt forklart sier Ct-verdien hvor mange sykluser man kjører før man får et positivt PCR signal. Hvert datapunkt er plottet som et mørkegrått punkt, med en rød linje som representerer gjennomsnittsverdien for hver spesifikk plassering. Den grå stiplede linjen representerer en Ct-terskelverdi på 40.

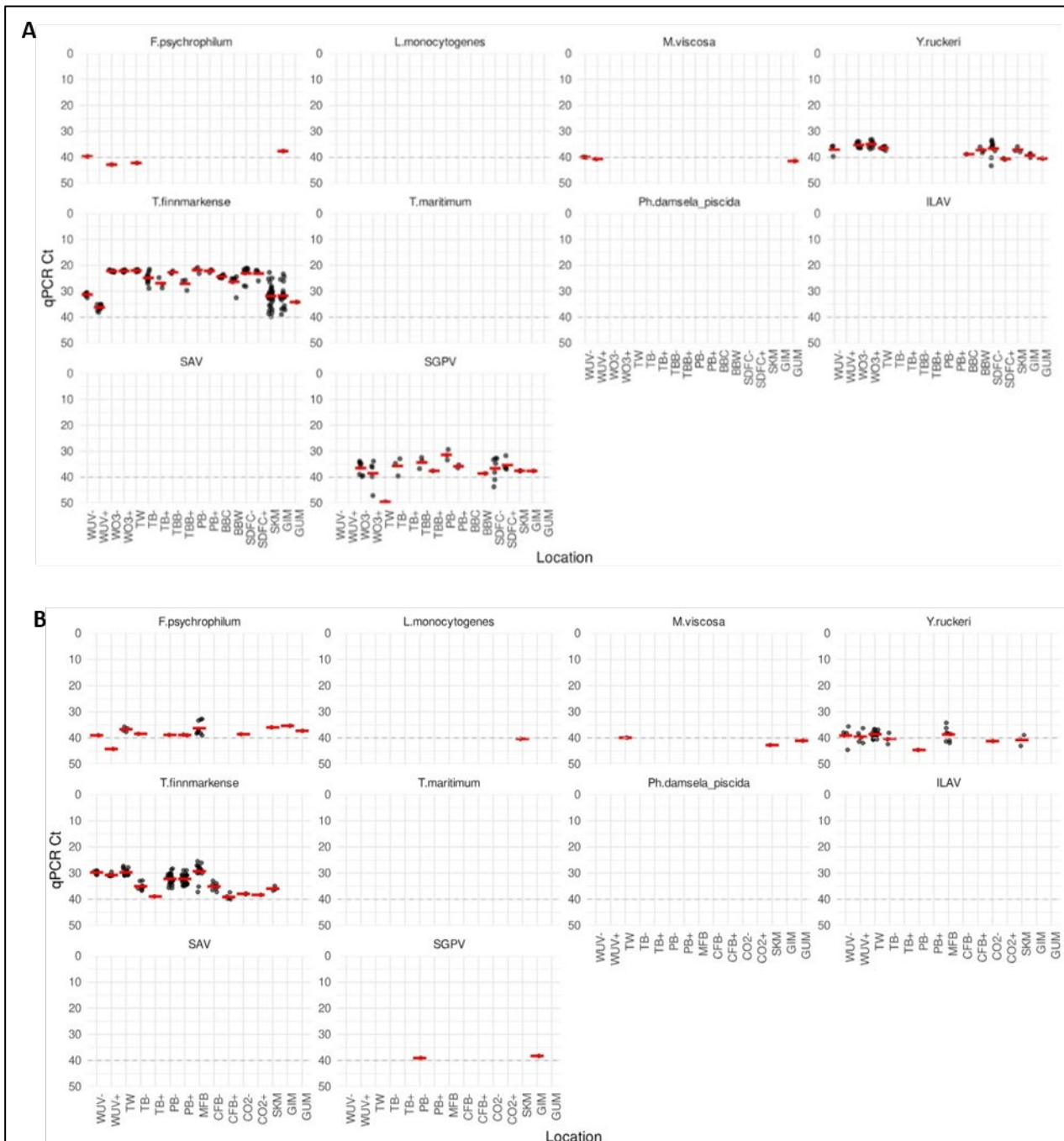
Forkortelsene for plasseringene er som følger:

- **WUV** – Inngående vann ved UV-enhet
- **WO3** – Vann i sløyfen ved ozonenhet
- **TW** – Tankvann
- **TB** – Tankvegg biofilm
- **TBB** – Tankbunn biofilm
- **PB** – Rør biofilm
- **BBC** – Bioreaktor biofilm
- **BBW** – Bioreaktor vann
- **SDFC** – Biofilm fra sidekasse
- **CDF** – Syklon dødfisk-enhet
- **PSS** – Slamplate-separator
- **MFB** – Mosfiltreringsenhet
- **CFB** – Filtreringsenhet i brønnbåt sløyfen
- **CO2** – Biofilm fra lufting enhet
- **SKM** – Fiskens skinn-/hudslimhinne
- **GIM** – Fiskens gjelleslimhinne
- **GUM** – Fiskens tarmslimhinne

Prøver med suffikset **minus (-)** betyr at de ble tatt før desinfeksjons-/rengjøringsstadiet, mens de med suffikset **pluss (+)** ble tatt etter desinfeksjons-/rengjøringsstadiet.

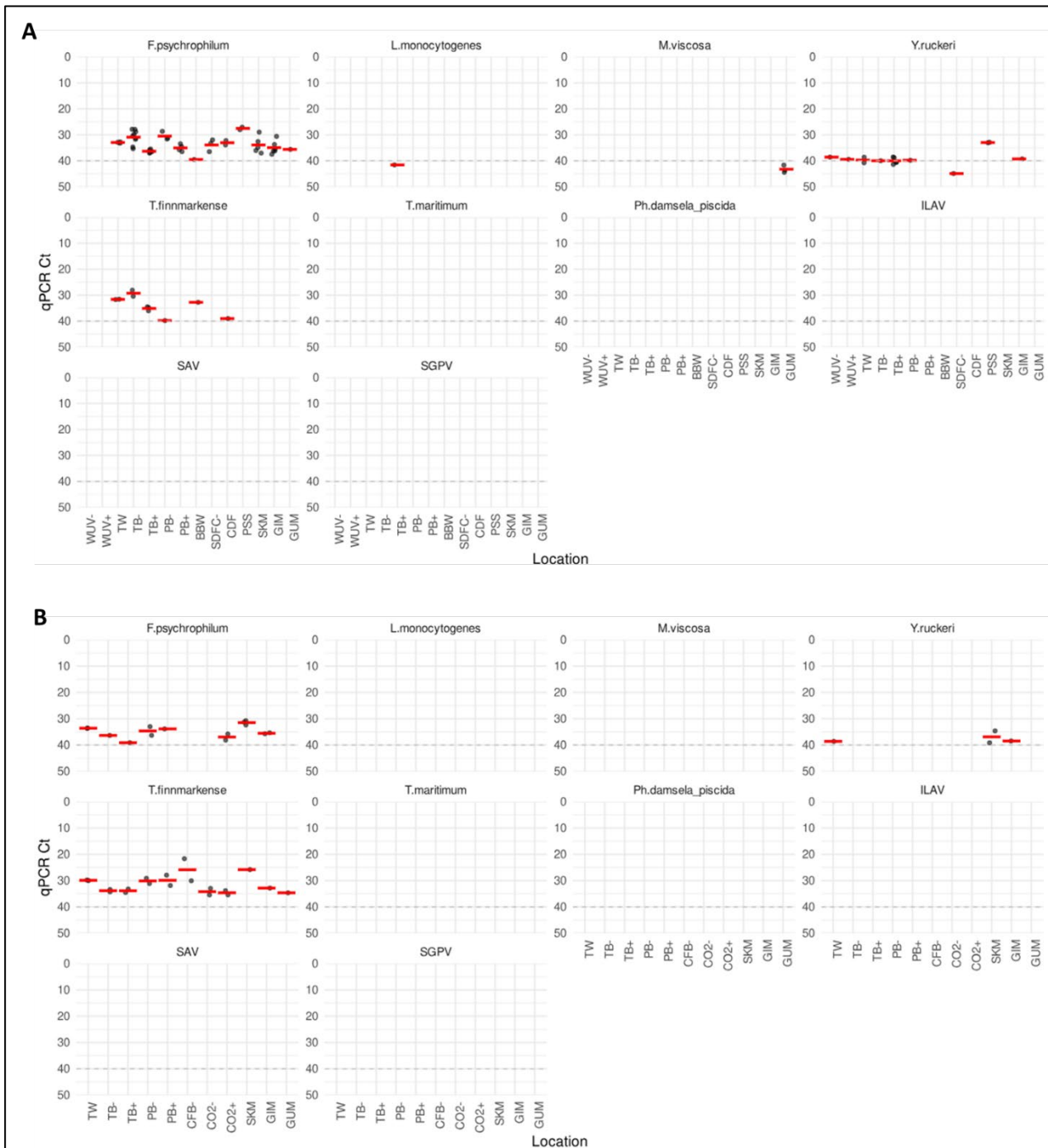
Overvåking av enhet 1 viste en vedvarende tilstedeværelse av det bakterielle patogenet *Tenacibaculum finnmarkense* i RAS-systemet, påvist både på fisk RAS-overflater og RAS-vann (Figur 27 A). *Yersinia ruckeri* ble også identifisert i vann, fiskens slimhinner, biofilter og biofilm fra sidekasse, men var fraværende i biofilmprøver fra tankvegger og rør, med Ct-verdier nær terskelen. I tillegg ble det observert en jevn tilstedeværelse av laksepoxsvirus (SGPV) gjennom hele RAS, bortsett fra i inntaksvannet.

Tilsvarende observasjoner ble gjort etter at fisken ble overført til brønnbåten (Figur 27 B). Både *T. finnmarkense* og *Y. ruckeri* var påvisbare, med generelt høyere Ct-verdier sammenlignet med RAS, dvs at konsentrasjoner var lavere. Imidlertid var SGPV-belastningen nesten ikke-eksisterende. Det var spesielt bemerkelsesverdig at *Flavobacterium psychrophilum* ble funnet i de fleste prøver fra brønnbåten og fisken, til tross for at det knapt ble oppdaget under RAS-fasen.



Figur 27: Overvåking av målrettede bakterielle patogener og virus i A) RAS og B) brønnbåt i enhet 1.

Overvåkning av enhet 2 viste en vedvarende tilstedeværelse av *F. psychrophilum* i RAS-systemet, men ikke i inntaksvannet (Figur 28). *T. finnmarkense* og *Y. ruckeri* ble også påvist, men med lavere frekvens eller mengde sammenlignet med *F. psychrophilum*. Etter overføring av fisk til brønnbåtene økte belastningen av *T. finnmarkense* og ble påvist i alle prøvene (Figur 28B). *F. psychrophilum* var fortsatt til stede, mens *Y. ruckeri* kun ble funnet i noen få prøver.



Figur 28: Overvåking av målrettede bakterielle patogener og virus i A) RAS og B) brønnbåt i enhet 2.

7.3 ILAV-dynamikk på brønnbåtoverflater

Resultatene fra tre ulike tilfeller av transport av ILAV-infisert fisk er presentert i dette avsnittet. Se kapittel 3.2 og figur 6 for beskrivelse av prøvetakingen.

Alle figurene tolkes som følger (figur 29-31): Y-aksen viser ILAV-overflod som antall kopier per μL isolert RNA målet med digital PCR (dPCR) og representert med «Lollipop» figurer. X-aksen representerer ulike prøver, gruppert etter prøvetype (toppblokker). «Lollipop»-diagrammet for overflod har to farger: rød og hvit, basert i tillegg på oppnådde Ct-verdier fra rt-qPCR. Prøver med Ct < 40 er farget rød, mens de med

Ct \geq 40 er farget hvit. P1-P6 viser prøvetakingstidspunkt, som beskrevet i metodekapittel (3.2): (P1) før seiling til lokalitet, (P2) ved avslutning eller umiddelbart etter fullført lasting mens brønnbåten lå ved merd, (P3) under fiskeoverføringen i antatt virusfritt farvann (verken i nærheten av anlegg eller slakteri), (P4) etter fiskeoverføring, da båten lå til kais ved et slakteri, (P5) etter vask og desinfeksjon, og ved kai på et sted for karantenetid, og (P6) etter karanteneperiode på 48 timer.

Case #1

Før ankomst til merd og lasting av fisk, viste alle overflater som ble testet, negative resultater for ILAV (P1). Under den første overføringen testet flertallet av fiskeprøvene (biologiske replikater av hud, gjeller og tarm), vann fra merd under trenging, brønnbåtens brønnvann og biofilmooverflater i brønnbåten (brønnvegger, rør, avgassingsenhet) positivt for ILAV på tidspunktet for lasting og lossing av fisken (figur 29 A). Også prøver tatt langs vannlinjen på brønnbåtskroget testet positivt. Derimot, under siste overføring (figur 29 B), var det bare fiskeprøver som testet positivt ved lasting, og verken vann fra merder eller skrogbiofilm testet positivt, for P2. Ved lossing og deretter testet imidlertid biofilmooverflater inne i fartøyet og på skroget positivt. Etter desinfeksjon og brakklegging var ingen av overflatene positive for ILAV.

Interessant nok tilhørte alt detektert ILAV den patogene HPR Δ varianten. Belastningen av ILAV HPR Δ i fiskeprøver under den første transporten var i størrelsesordener høyere enn i miljøprøvene, opp til 30 000 cp/ μ L RNA sammenlignet med noen hundre i miljøprøvene. Ved levering av den første transporten (P4) var prøver fra båtens skrog målt til rundt 1200 cp/ μ L RNA av HPR Δ , hvilket var høyere enn de andre miljøprøvene.

Under den siste transporten (Figur 31) var virusbelastningen på fiskens slimhinner betydelig lavere sammenlignet med den første transporten, og tilsvarte nivåene i de andre prøvene. Skrogprøver testet igjen positivt etter transport til slakteriet.

Til slutt, etter vask, desinfeksjon og karantene, ble ingen virale partikler påvist (P5 og P6).

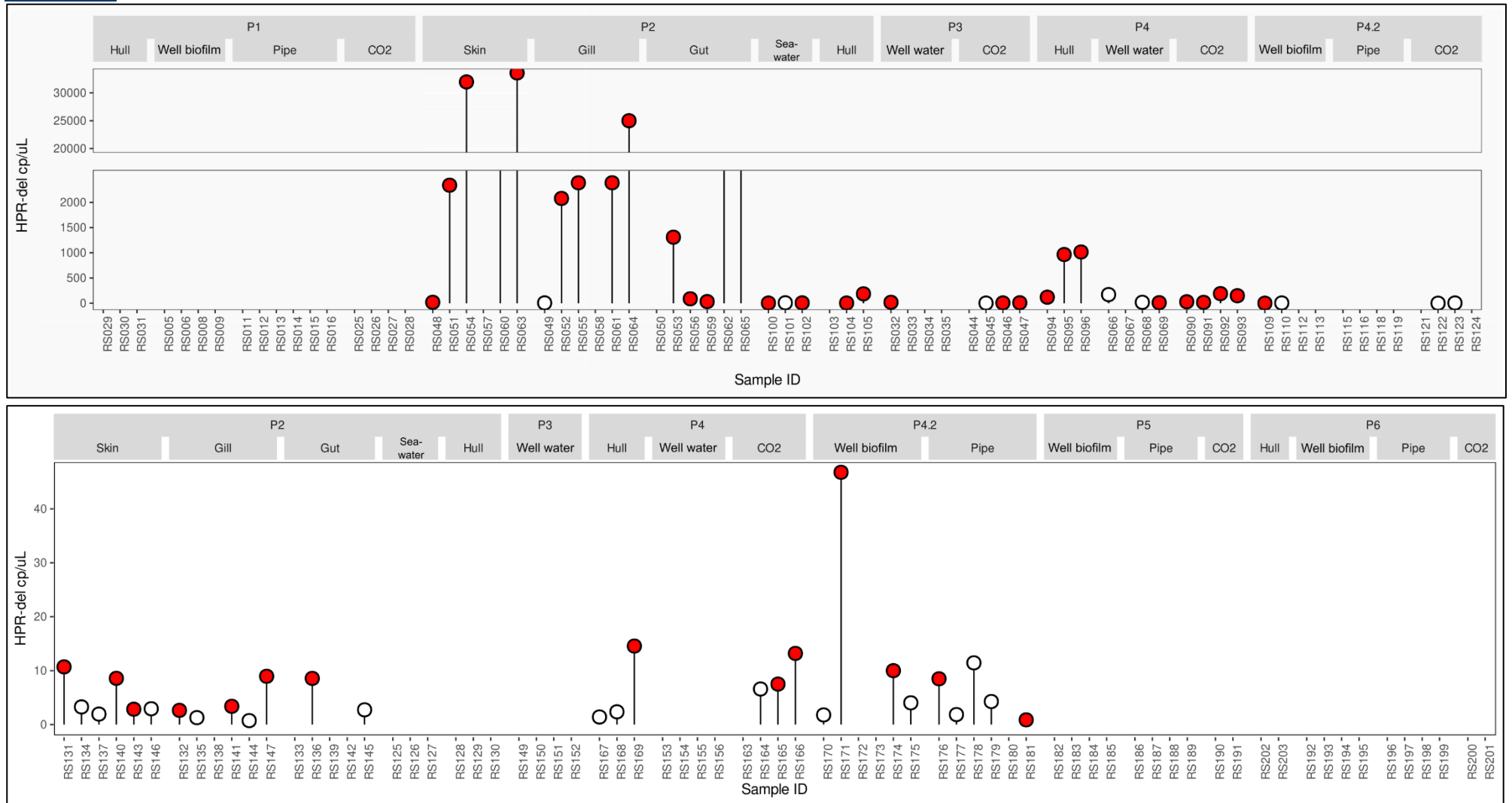
Case #2

I dette tilfellet viste den første fiskelastingen lave mengder av ILAV HPR Δ på fisken (opptil 100 cp/ μ L RNA). Kun to replikater på skroget var positive (Figur 30).

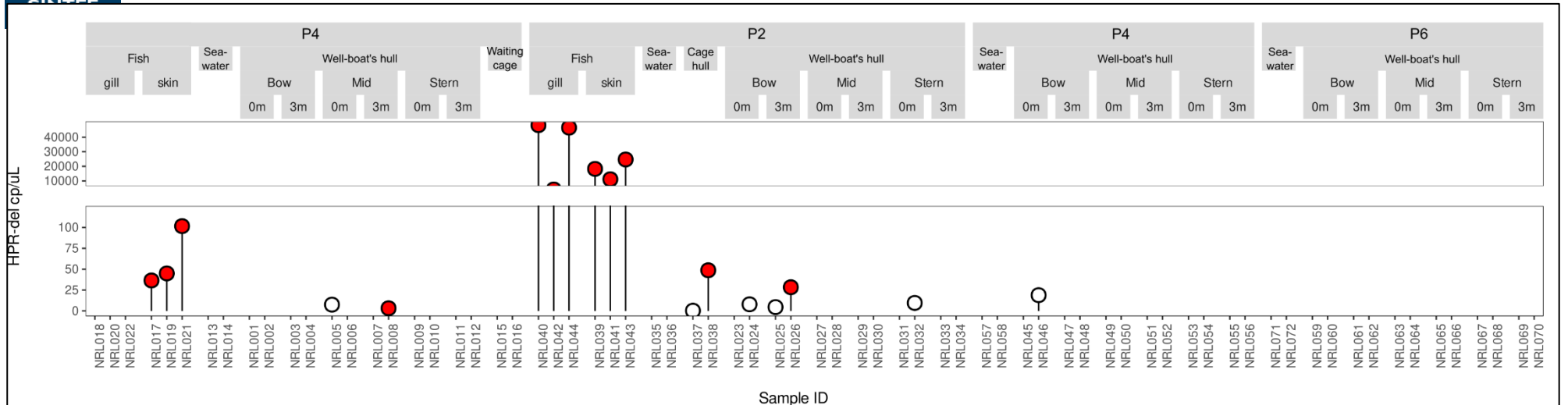
Den andre transporten derimot, viste økt mengde av ILAV-partikler på fisken (opptil 40 000 cp/ μ L RNA). Likevel var konsentrasjonen på skroget ved innlasting lav (opptil 25 cp/ μ L RNA), og etter transport til slakteriet var det bare ett positivt skrogreplikat.

Case #3

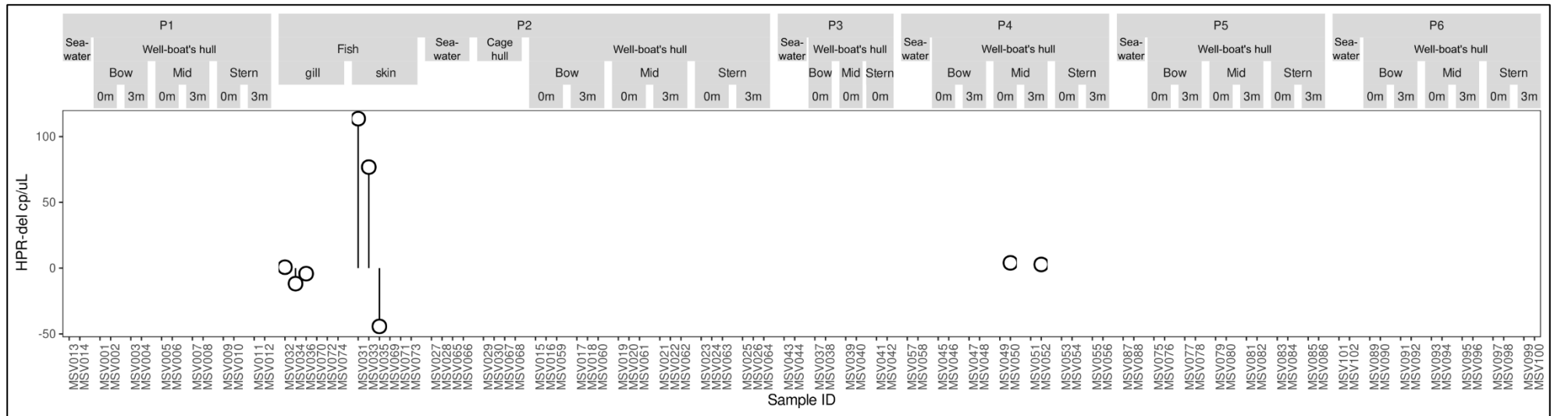
Bare noen få fiskeprøver i dette tilfellet viste seg å være ILAV-positive, med svært lav mengde (opptil 110 cp/ μ L RNA). Det ble ikke påvist ILAV på skroget under innlasting. Etter transport var to av replikatene positive, men med svært lave konsentrasjoner (1–5 cp/ μ L RNA). Interessant nok, som vist i figur 31, viste enkelte prøver av gjelle- og hudslim negative verdier, noe som antyder tilstedeværelsen av begge ILAV-varianter (HPR0 og HPR Δ).



Figur 29: ILAV-forekomst målt ved dPCR og qPCR i «case #1». A) Første last fra lokaliteten. B) Andre last. Se nærmere forklaring av figurens oppbygging i starten av kapittel 7.3. P4.2 er etter lossing da det ble kjørt innvendig vask før henting av neste fiskeparti fra samme lokalitet.



Figur 30: ILAV-forekomst målt ved dPCR og qPCR i «case #2». Se nærmere forklaring av figurens oppbygging i starten av kapittel 7.3.



Figur 31: ILAV-forekomst målt ved dPCR og qPCR i «case #3». Se nærmere forklaring av figurens oppbygging i starten av kapittel 7.3.

7.4 Diskusjon av mikrobiologifunn

7.4.1 Mikrobiell dynamikk på fisk

De observerte endringene i mikrobiomet til fiskeslimhinneoverflater etter overgangen fra resirkulerende akvakultursystemer (RAS) til brønnbåter gir innsikt i dynamikken i mikrobielle samfunn under håndtering og transport. Betydelig reduksjon i mikrobielt mangfold og belastning sammen med betydelige endringer i samfunnssammensetning, tyder på store forstyrrelser i mikrobiotaen innenfor en bemerkelsesverdig kort tidsramme (~4 timer). I tillegg, selv om en reduksjon i antall 16S rRNA-genkopier ble notert på tvers av alle prøveflater, forble DNA-konsentrasjonen konstant eller økt etter transport, noe som reiser spørsmål om de underliggende mekanismene for disse endringene, og hvilken betydning det har for fisken.

Fiskeskinn- og gjellemikrobiota

Den betydelige reduksjonen i mangfold observert i skinn- og gjellemikrobiotaen stemmer overens med tidligere studier som fremhever sårbarheten til slimhinnemikrobiomer for eksterne mekaniske og miljømessige stressfaktorer (Minniti et al., 2017). Det er sannsynlig at stressinduserte endringer i slimproduksjonen, spesielt en økning i slimsekresjon, kan føre til at en høyere konsentrasjon av bakterier løsner fra skinnen og gjellene og går over i vannet (Llewellyn et al., 2014; Minniti et al., 2017). Ytterligere mekanisk slitasje av den fysiske friksjonen ved fisk-til-fisk-kontakt og kontakt med rør og tank/brønnoverflater fører sannsynligvis til slimfjerning og mekanisk forstyrrelse, som antydnet av den økte DNA-konsentrasjonen og reduserte 16S rRNA-genkopier. Disse funnene støtter tidligere observasjoner av at håndtering og miljøoverganger kan forstyrre skinnets mikrobiota, og potensielt avsløre underliggende epitellag og skiftende mikrobiell sammensetning (Minniti et al., 2017). Denne mekaniske forstyrrelsen kan forbigående favorisere mer motstandsdyktige eller opportunistiske mikrobielle taxa, og endre samfunnsstrukturen i løpet av timer, som også foreslått av de samme forfatterne. I tillegg introduserer skiftet fra RAS med lavere saltholdighet (14 ppt-enhet 1 og 4 ppt-enhet 2) til fullstendig marint brønnbåtvann (34 ppt) forskjellige mikrobielle samfunn, noe som forverrer endringene i allerede kompromitterte slimhinneoverflater.

Tarm-mikrobiota

Endringer i tarmmikrobiotaen, spesielt reduksjonen i *Chao1* og økningen i *Shannon*-mangfoldet, presenterer et mer intrikat scenario. Økningen i *Shannon*-mangfoldet peker på en reduksjon i samfunnsdominans, sannsynligvis drevet av tap av de rikeligste taxa og deres erstatning og balansering av mindre dominerende bakterier. Det er imidlertid fortsatt uklart hvordan fiskehåndtering kan forstyrre mekanisk tarmslimlaget og direkte påvirke tarmmikrobielle samfunn i løpet av en så kort tidsramme.

Fysiologiske responser på stress, som endringer i slimsammensetning eller endringer i gastrointestinal motilitet, kan indirekte påvirke tarmmiljøet og føre til endringer i mikrobielt mangfold (Llewellyn et al., 2014; Suhr et al., 2023). Imidlertid krever disse prosessene vanligvis lengre tid for å manifestere seg i mikrobiomsammensetning på grunn av bakteriegenerasjonstider som overstiger flere timer. Den korte tiden i vår studie antyder at alternative mekanismer er med på å drive de observerte raske endringene.

En sannsynlig forklaring er inntak av vann som en stressrespons under håndtering. Slikt inntak kan introdusere miljømikrober i mage-tarmkanalen, noe som fører til brå endringer i mikrobiell samfunnsstruktur i dette ellers relativt beskyttede miljøet. Denne hypotesen stemmer overens med tidligere funn om at det omkringliggende miljøet former tarmmikrobiota (Minich et al., 2020).

I denne sammenhengen kan det bety at fisken endrer tarmmikrobiell sammensetning fordi flere endringer opptrer på samme tid: Flytting fra kar til brønnbåt gjør at fisken blir stresset og inntar vann, samtidig som vannets mikrobielle sammensetning endres fra RAS- til brønnbåtvann. Stressreaksjonen og mekanisk friksjon gir i tillegg fisken intens utskillelse fra skinn- og gjelleslimhinneoverflater. Disse sammenhengene er spekulative, men funnene understreker behovet for videre forskning for å utforske samspillet mellom fiskens atferd, stress og mikrobiodynamikk under transport og håndtering.

7.4.2 Effekt av rengjøring og desinfeksjon på RAS- og brønnbåt-overflater

Effektiviteten av rengjøring og desinfisering av industrielle overflater avhenger sterkt av tilgjengeligheten til overflater (Liu et al., 2014). Produksjonsflater i akvakultursystemer som RAS og brønnbåter er intet unntak (se kapittel 4 og 5). Vår studie viser at overflater som tankvegger, som er lett tilgjengelige, kan gjennomgå effektiv mekanisk rengjøring (CIP) for å fjerne biofilm, noe som fører til betydelig redusert mikrobiell og DNA-belastning. Spesielt bruker vi total DNA-belastning som en indikator for absolutt mekanisk rengjøringseffektivitet. I motsetning til dette beholder områder med begrenset tilgang, for eksempel biofilm i rørsystemer eller andre vanskelig tilgjengelige overflater, ofte de høyere mikrobielle og totale DNA-belastningene etter rengjøringsrutinene fordi det er vanskelig å oppnå effektiv mekanisk fjerning.

Våre resultater er i samsvar med funn i vandistribusjon og industrielle systemer, der utilgjengelige deler av rørledninger ofte inneholder tykk biofilm som er motstandsdyktig mot rengjøring og utgjør en risiko for mikrobiell gjenvekst eller forurensningshendelser (Liu et al., 2014; Trusz et al., 2024).

En kartlegging av desinfeksjonsstrategier i norske og nordamerikanske RAS-anlegg synliggjør utfordringen med biofilm (Lazado & Good, 2021). Biofilm beskytter mikroorganismer mot desinfeksjonsmidler gjennom deres ekstracellulære polymere substans (EPS)-matrise. Denne matrisen beskytter ikke bare mikroorganismer mot kjemiske midler, men forbedrer også deres motstandskraft mot miljøpåkjenninger, og understreker behovet for desinfeksjonsprotokoller som kan trenge gjennom og forstyrre biofilmstrukturer. Til tross for standardiserte protokoller mangler man eksperimentell validering i praksis, noe som har gitt usikkerhet rundt desinfeksjonsstrategienes effektivitet mot biofilm.

I vår studie var brønnbåtenes bakterie- og DNA-belastninger betydelig lavere enn i RAS-systemene. Dette kan bety at rengjøringssystemene og driftsrutinene fungerer. De studerte brønnbåtene er imidlertid nye, og deres komplekse rørnettverk kan likevel gi biofilmutfordringer på sikt. Selv om det ikke er dokumentert i denne studien, kan biofilmdannelse i rørene føre til gradvis akkumulering på grunn av begrenset renseseffekt, likt observasjonene i vandistribusjonssystemer der biofilm på rørvegger motstår rutinemessig desinfisering og bidrar til langsiktig kontamineringsrisiko, spesielt i eldre brønnbåter, hvor rustende overflater kan gjøre at biofilmen sitter bedre fast, som også indikert i studien av Lazado og Good (2021). Effektive biofilmkontrollstrategier for disse stedene krever målrettede rengjøringsprotokoller, med avanserte mekaniske eller kjemiske metoder skreddersydd for vanskelig tilgjengelige områder.

7.4.3 Patogen bakteriell og virusbelastning i de to enhetene

På tvers av de overvåkende enhetene ble det funnet en betydelig mengde *Tenacibaculum finnmarkense* og bakgrunnsbelastninger av *Flavobacterium psychrophilum*, *Yersinia ruckeri* og laksegjellekoppevirus (SGPV).

Persistensen av *T. finnmarkense* i enhet 1, inkludert påvisning på fisk og RAS-overflater i betydelige konsentrasjoner, understreker dens tilpasningsevne til brakkvannsforhold (14 ppt). Dens fortsatte tilstedeværelse i brønnbåten (34 ppt) gjenspeiler dens økologiske nisje i sjøvann. Denne bakterien er assosiert med *tenacibaculosis*, og forårsaker ulcerøse hudlesjoner og andre symptomer, spesielt hos oppdrettslaks kort tid etter sjøvannsoverføring (Spilsberg et al., 2022). Bakterien trives i marine miljøer og har vært knyttet til biofilmutvikling på akvakulturutstyr, noe som ytterligere kompliserer forvaltningen (Levipan et al., 2019). Biosikkerhet i brakkvann og marine RAS og brønnbåter kan få betydelige utfordringer av *Tenacibaculum*-arter, kjent for sine gode biofilm egenskaper. Dette er spesielt problematisk for overflater som er vanskelige å rengjøre mekanisk, for eksempel interne systemkomponenter, som observert i vår studie. Disse biofilmene kan fungere som reservoarer for patogener, øke risikoen for infeksjoner og komplisere desinfeksjonsprotokoller.

Y. ruckeri er årsaken til enterisk rødmunnsykdom (ERM) eller yersiniose, som først og fremst rammer laksefisk (Ormsby et al., 2016). Den sporadiske påvisningen av *Y. ruckeri* i begge RAS og nesten fravær i brønnbåtene antyder en preferanse for miljøer med lavere saltholdighet, i samsvar med ferskvannøkologien (Thorsen et al., 1992). At den er sporadisk påvist i RAS kan tilskrives restbiofilm eller latente reservoarer. I likhet med *Tenacibaculum*-arter viser *Y. ruckeri* en evne til å danne og integreres i biofilm, noe som beskytter mot miljøbelastninger og desinfisering, og kompliserer fjerning (Coquet et al., 2002). De biofilmassosierte reservoarene kan forklare den sporadiske deteksjonen og marginale tilstedeværelsen av *Y. ruckeri* i RAS, og understreker behovet for målrettede biofilmhåndteringsstrategier i akvakultursystemer.

I enhet 2 sitt ferskvannssystem (4 ppt) ser vi dominans av *F. psychrophilum*, noe som viser dens preferanse for forhold med lav saltholdighet. Den økte prevalensen i brønnbåten til enhet 2 indikerer stressindusert følsomhet eller miljøforurensning under overføring. *F. psychrophilum* er et betydelig bakterielt patogen assosiert med BCWD (bacterial cold water disease). Bakterien er spesielt kjent for sin utholdenhet i ferskvannsmiljøer, hvor den kan overleve i lengre perioder i vann, sediment og biofilm, noe som bidrar til overføring gjennom både horisontale og vertikale ruter. For eksempel kan den overføres via infisert fisk, forurenset vann eller til og med på fiskeegg til tross for standard desinfeksjonsbehandlinger som povidon-jod (Barnes & Brown, 2011; Kumagai & Nawata, 2010). Overgangen av fisk fra ferskvann- til sjøvannssystemer kan komplisere sykdomshåndtering, ettersom bakteriens overlevelsesevne og overføringsmekanismer i brakkvann eller marine miljøer fortsatt er mindre forstått. Noen studier har oppdaget dens tilstedeværelse i elvemunningsforhold, noe som tyder på potensiell tilpasningsevne, men sannsynligvis ved redusert prevalens sammenlignet med ferskvannsmiljøer (Madetoja et al., 2003).

Laksepoxvirus (laksegjellekoppevirus/SGPV) er et betydelig patogen som påvises i alle livsstadier av atlantisk laks. Mens SGPV-infeksjon kan være asymptomatisk, kan den også manifestere seg som laksegjellekoppevirus-sykdom (SGPVD), en akutt luftveissykdom som kan forårsake høy dødelighet (Tartor et al., 2022). SGPV-utbrudd i klekkerier oppstår vanligvis i løpet av få uker etter stressende hendelser, som håndtering eller støyforstyrrelser (Tartor et al., 2022). SGPV ble påvist i de fleste RAS- og fiskeprøver av enhet

1, men ikke i inntaksvann, noe som kunne tyde på en asymptomatisk forbigående sirkulerende infeksjon. Den reduserte påvisningen av SGPV i brønnbåtprøver er bemerkelsesverdig, noe som muligens gjenspeiler viral ustabilitet i marin saltholdighet eller fortynningseffekter i åpne systemer.

Tilstedeværelsen av flere patogener i begge enhetene og under overføring fremhever kompleksiteten ved å håndtere mikrobiell og viral dynamikk i ulike akvakultursaltholdigheter, og understreker behovet for skreddersydde målrettede biosikkerhetstiltak.

7.4.4 ILAV-dynamikk på brønnbåtoverflater

Resultatene av denne studien gir verdifull innsikt i dynamikken til infeksjøs lakseanemi (ISAV) på brønnbåtoverflater under fiskeoverføring, spesielt rollen til biofilm og begroing i potensiell patogenoverføring.

Den signifikant høyere ISAV HPRΔ-belastningen i fiskeslim sammenlignet med miljøprøver stemmer overens med den vertsavhengige naturen til ISAV-replikasjon. Infisert fisk fungerer som den primære kilden til ISAV-partikler, og viruset kan skilles ut i omgivelsene gjennom slim og direkte kontakt, som nevnt i tidligere studier (Jones & Groman, 2001). Blant tilfellene som ble undersøkt, høye virusbelastninger på fiskens slimhinneoverflater under visse transporter (f.eks. Tilfelle #2, Transport 2) korrelerte variabelt med ISAV-tilstedeværelse i begroing av skrog. Dette antyder at viral overføring til begroingsoverflater kan påvirkes ikke bare av utslippshastigheten, men også av vannstrømmer, biofilmegenskaper og eksponeringstid. Lavere virusbelastning i fisk under andre transporter falt sammen med tilsvarende lave nivåer av ISAV i skrogbiofilmer, noe som ytterligere støtter en sammenheng mellom fiskeinfeksjonsstatus og miljøforurensning.

Påvisningen av ISAV-RNA, spesielt HPRΔ-varianten, i både interne brønnbåtbiofilmer og ekstern skrogbiobegroing er i tråd med tidligere forskning, for eksempel funn fra ILA-SAFE-prosjektet, der ISAV HPR0 vedvarte i RAS-overflater og biofiltre (Sindre et al., 2024). Dette understreker potensialet i biofilm til å fungere som midlertidig reservoar for virale partikler, noe som kan gjøre at infeksjoner kan videreføres. Selv om det ikke finnes noe definitivt bevis for begroing av skrog som en overføringsvektor for ISAV, tyder eksempler i akvakultur på en plausibel risiko. For eksempel har spredningen av Ostreid herpesvirus mikrovariant 1 (OsHV-1) og infeksjøs bukspyttkjertelnekrosevirus (IPNV) vært knyttet til begroing på akvakulturinfrastruktur (Georgiades et al., 2021). Spesielt har IPNV – et laksefiskpatogen – blitt oppdaget i bløtdyr nært lakseoppdrettsanlegg, hvor det kan overføres fra muslinger til fisk. Overføringene i begge eksemplene ble imidlertid forklart av spesifikke bløtdyrverter funnet i selve begroingen. Selv om ISAV regnes som et fiskespesifikt patogen, akkumuleres den i biofilm, som observert med nanopartikler i vannmiljøer (Devlin et al., 2020), og gir mulighet for mekanisk retensjon og omfordeling under fartøysoperasjoner.

Et spennende funn fra denne studien er konsentrasjonen av ISAV-RNA i begroingsprøver under transport 1 av tilfelle #1, hvor biofilmprøver viste størrelsesordener høyere virusbelastning sammenlignet med vannprøver, til tross for at vannprøver ble konsentrert under testing. Dette antyder at biofilm kan fungere som effektive feller for virale partikler som fjernes av fisk, og understreker deres potensielle rolle i viruspersistens og spredning (Devlin et al., 2020). Tidligere epidemiologiske studier i Skottland (1998–1999) rapporterte en sammenheng mellom brønnbåtaktivitet og ISAV-utbrudd (Murray et al., 2002). Mens disse studiene tilskrev virusspredning til ballastvann eller gjenværende forurensning i brønnbåtbrønner og utstyr, ble muligheten for begroing som vektor ikke vektlagt.

For alle enhetene som er tatt prøver av i denne studien ble det påvist at grundig rengjøring, desinfisering og brakklegging var effektivt for å fjerne ISAV-RNA fra brønnbåtoverflater, inkludert begroing under vannlinjen. Brakkleggings-/karanteneperioden (48 timer) var spesielt effektiv for å eliminere gjenværende viralt RNA. Sammenhengen mellom strengere hygieneprotokoller som ble innført i Norge tidlig på 1990-tallet og reduserte ISAV-utbrudd har viser også viktigheten av omfattende biosikkerhetsprotokoller og sanitærtiltak, spesielt ved flytting mellom lokalitet og slakteri (Jarp, 1999).

Videre forskning er nødvendig for å belyse overlevelsesmekanismene og virulensen til ISAV i biofilm, inkludert hvordan viruset oppfører seg på begroingsoverflater og potensialet for langdistanseoverføring. Disse funnene understreker behovet for målrettede avbøtende tiltak, for eksempel bedre fjerning av begroing og desinfeksjonsprotokoller for skrogene på fartøy som opererer i høyrisikosoner.

7.5 Oppsummering av mikrobiologifunn

Konklusjonene fra mikrobiologistudien er basert på analyser fra de overvåkede to enhetene og de infiserte fisketransportene, og kan kun si noe om akkurat dette materialet. Likevel viser resultatene trender som kan være vanlige i denne typen operasjoner. Følgende oppsummering er en refleksjon av dette:

- Overvåkning av mikrobiell dynamikk hos fisk under overgangen fra RAS til brønnbåt viste betydelige endringer i slim-mikrobiomet. Spesielt hadde fiskens skinn- og gjelleslim en markant reduksjon i diversitet og total bakteriebelastning etter overføring. Tarmmikrobiomet viste en nedgang i antall arter, men økt jevnhet, sammen med en generell reduksjon i bakteriebelastning. Disse raske mikrobielle endringene i løpet av få timer tyder på at fisken opplever betydelig stress i denne fasen, noe som potensielt kan svekke deres helse og velferd og redusere slimets forsvarsevne.
- En tilstedeværelse av spesifikke bakterielle patogener ble påvist i begge enhetene, med en merkbar trend der patogener ble overført til brønnbåter sammen med fisken. For eksempel viste *F. psychrophilum* en høyere belastning på fisk fra enhet 1 etter flytting enn i RAS, mens *T. finnmarkense* hadde økte nivåer på fisk i enhet 2 etter flytting. Disse observasjonene samsvarer med endringer i mikrobiell dynamikk etter flytting av fisk fra RAS til brønnbåter, hvor sekvensdata indikerte en økning i visse grupper assosiert med patogene slekter, sammen med en nedgang i total diversitet. Dette mønsteret ble imidlertid ikke observert for det påviste viruset (SGPV) i enhet 1.
- Vask og desinfeksjon av RAS-overflater ble funnet å være effektiv på tilgjengelige områder som karvegger, der mekanisk fjerning av biofilm resulterte i lav mikrobiell belastning og DNA-belastning. Derimot hadde områder med begrenset tilgang, som sidekasse og rør, mindre effektiv rengjøring, med minimal reduksjon i mikrobiell belastning og DNA-belastning.
- På overflater i brønnbåter var den bakterielle belastningen og DNA-belastningen generelt lavere sammenlignet med RAS, med observerbar reduksjon etter desinfeksjonsprosedyrer. Imidlertid øker kompleksiteten i brønnbåtenes rørsystemer muligheten for at utilgjengelige områder kan samle tykkere biofilm.
- Analyser av ILAV-dynamikk på brønnbåter viste tilstedeværelse av virus RNA på innenbords overflater etter transport av infisert fisk, i tillegg til på skroget. I noen tilfeller var ILAV-RNA konsentrasjonen på skroget høyere enn i andre miljøprøver, som vann fra merder under trenging eller innenbords biofilm. Likevel var virus RNA belastningen betydelig lavere enn den som ble funnet direkte på fisk.



- Desinfeksjonsprotokoller på brønnbåter viste seg å være effektive, ettersom ingen viruspartikler ble påvist etter behandling. En karanteneperiode på 48 timer var også effektiv, da ILAV ikke ble påvist på skrog etter denne perioden.
- Tilstedeværelsen av ILA-viruspartikler på skrog etter transport understreker en mulig risiko for viral spredning på tvers av områder. Dette er imidlertid kun en påvisning uten bevis for virusets «levedyktighet» eller smitteevne. Ytterligere forskning er nødvendig for å vurdere overlevelse og potensiell overføring av ILA-viruspartikler via skrog.

8 Samlende analyse og konklusjoner

I dette kapitlet gjøres en samlende analyse av resultatene fra de ulike datainnsamlingsmetodene, som gir en bred forståelse av biosikkerhetsarbeidet i næringa, hva som fungerer og mulige forbedringer. Deretter listes hovedfunnene, tiltak og en kort avslutning.

8.1 Felles diskusjon av funnene

Kapittel 4-7 viser resultatene om utforming av RAS og brønnbåt, driftsrutiner og mikrobiologi hver for seg. Dette har gitt både enhetsspesifikk og generell kunnskap om hvordan mikrobiologi, teknologiutforming og driftsrutiner påvirker vannbehandling og biosikkerhet. Prosjektet har bestått delvis av litteraturstudier som har gitt informasjon om generelle risikoforhold, og delvis av casestudier. Casestudier innebærer at spesifikke situasjoner eller enheter har blitt studert, for eksempel etnografisk (kapittel 6) og mikrobiologisk (kapittel 7). Både litteratur- og i casestudiene viser trender som kan brukes på andre steder og i andre sammenhenger. Mange av resultatene i «Smittekontroll» kan dermed ha en viss allmenngyldig betydning som kan danne grunnlag for tiltak for biosikkerhet i akvakultur, i forskjellige produksjonsformer og deler av næringa. Funnene må imidlertid tolkes med en viss forsiktighet.

Til sammen forteller datainnsamlingen at renholdet på brønnbåter og RAS-anlegg fungerer, såfremt de ansatte kan følge driftsrutinene og at utformingen gjør det mulig å renholde. Biosikkerhetsarbeidet i norsk oppdrett er altså på riktig spor, men hemmes av ledelsesprioriteringer.

8.1.1 Effekt av renholdsrutiner

Tidligere har det vært usikkerhet rundt effektiviteten av tidkrevende driftsrutiner slik som renhold. «Smittekontroll» gir ny kunnskap om renholdseffekten fordi vi har kombinert metoder som gir informasjon om mikroflora, utforming av og driftsrutiner i RAS- og brønnbåtssystemer.

Prosjektet har vist hvor viktige rutinene er og at det er riktig å være nøye med vask og desinfisering. Mikrobiotasammensetningen i de studerte enhetene viser at det blir rent med de eksisterende rutinene for vask og desinfeksjon der man kommer til med rengjøringen. Biofilm beskytter mikroorganismer mot miljøpåkjenninger slik som tørking og desinfeksjonsmidler (Lazado & Good, 2021). Mikrobiologiundersøkelsene våre beskriver hva biofilmen i RAS- og brønnbåtssystemene inneholder og at den blir fjernet etter standard renhold. Renholdet fungerer også der det er rust. Selv rørmunninger med rust og ru overflater er påvist rene. Godt renhold kan altså fungere selv på utslitte overflater. Til daglig virker det dermed å være nok å følge etablerte rutiner: Tørking og hyppig renhold. Det ser ikke ut til å være behov for f.eks. sterkere kjemikalier. De studerte båtene hadde «dobbel ozonering» før noen av prøvene, men vi har ikke sammenlignet forskjell i effekt på ulik lengde ozonering. Prosjektet har heller ikke brukt metoder som kan vurdere effektiviteten av UV, siden partikler vil være igjen etter UV, og prosjektets metoder ikke kan skille mellom smittsomme og ikke smittsomme partikler. På RAS-anleggene ser det imidlertid ut til at inntaks-sandfilter virker effektivt.

Rengjøring bør også gjøres på utilgjengelige områder, f.eks. rør, filter og sidekasser. På RAS-anlegg blir det opphopning av mikroflora i biofilm, siden systemet står med vann og fisk og ikke blir vasket i lange perioder. Studien viser tilstedeværelse av patogener i RAS, f.eks. *Yersinia ruckeri*, som kan komme fra biofilm som ikke blir nådd av vaskingen. Dette understreker behovet for å hindre biofilm i akvakultursystemene.

Funnene indikerer at rengjøringsrutinene *om bord* i brønnbåter fungerer spesielt godt, og at de vaskes og desinfiseres hyppig og grundig. De brønnbåtene vi har studert har stort sett ikke noen opphopning av mikroflora der det er mulig å ta prøver i systemet for fisk. Prøvetakingen er imidlertid gjort på nye båter med gode vaskesystem og grundige driftsrutiner. På de brønnbåtene det ble tatt prøver av, satte rederi og oppdretter av tid til å gjennomføre vask og desinfisering før operasjonene der prøvetakingen fant sted. I noen av tilfellene ble det gjort dobbel ozonering i forkant. Brønnbåtene kan likevel ha biofilm på områder vi ikke har kommet til for å ta prøver. Det hadde vært nyttig å inspisere hele rørsystemet for å kunne kontrollere og hindre akkumulering av biofilm.

På brønnbåt-skrog ble det funnet viruspartikler både ved lokalitet og etter ankomst til slakteri. Dette styrker funn fra andre prøver om at virale partikler kan eksistere i biofilm, og utgjøre en risiko for videreføring av infeksjoner. Det er imidlertid usikkert om partikler som løsner fra skrog under seilas eller vasking kan være smittsomme i det nye området, så dette temaet må forskes videre på.

Også på skrog fungerte rutinene og renhold der man kom til. Ingen ILA-viruspartikler ble funnet etter spyling eller etter 48 timers karantene. Skrogvask er vanligvis ikke en del av selskapers daglige driftsrutiner for biosikkerhet, men spyling rundt vannlinja gjøres regelmessig. Prøvene i denne studien viste at spyling var effektivt for å fjerne ILA-viruspartikler mellom oppdrag. Det kan finnes andre patogener som ikke fjernes like lett; for eksempel er IPN-viruset ansett som mer robust. Karantene var også effektivt. Driftsrutinene har i de studerte tilfellene hindret potensiell ILA-smitte til neste oppdrag. Vi har ikke tilstrekkelig data til å kunne vurdere regelen om 48 timers karantene mellom brønnbåttoppdrag (Transportforskriften, 2023), men funnene belyser temaet på to måter: Resultatene tyder på at dagens renholdsrutiner er effektive på ILA-virus (der man vasker) også før karanteneperioden, og at gjenværende viruspartikler på skrog var borte etter karanteneperioden.

8.1.2 Behovet for renhold mellom fiskegrupper versus mens fisken er i systemet

«Smittekontroll» viser altså at man kan unngå smitte mellom fiskegrupper (som er innom enheten til ulike tider) ved å ha tilgang på alle steder i RAS- og brønnbåtssystemet og passe på at renholdsrutiner følges. Hygienisk design og prioritering av tid til renhold er avgjørende for å unngå horisontal smitte. Funnene viser at vi ikke nødvendigvis trenger nye vaskemidler eller metoder.

Det påviste gode renholdet i RAS- og brønnbåtssystemene utføres imidlertid kun mellom fiskegruppene. Om det kommer patogener inn i systemet (gjennom vanninntak, vektorer) mens fisken er der eller at fisken var syk fra tidligere, kan det likevel utvikles sykdom og smitte. Derfor er det fortsatt nødvendig å bruke kunnskapen som finnes (f.eks. kapittel 4 og 5) for å lage systemer som ikke får inn smitte.

Uansett er funnene om hvordan hindre smitte mellom fiskegrupper viktig. Det er avgjørende å rengjøre grundig mellom fiskegrupper fordi smitte gjennom biofilm er sannsynlig og dermed også en stor risikofaktor. For eksempel er det vanlig at settefiskanlegg har «husstammer» som smitter mellom fiskegrupper dersom ikke all biofilm eller organisk materiale er fjernet. Dette fenomenet ønsker man å bli kvitt, og heller ikke å spre videre gjennom brønnbåter. Erfaring har også vist at selv om det ikke var sykdomsproblemer i forrige fiskegruppe, kan patogener oppsamles i biofilm og gunstige miljøer, og gi sykdom for neste fiskegruppe.

8.1.3 Teknologi og drift på fiskens premisser

Kunnskapsstatus om vannbehandling og hygienisk teknologiutforming er styrket med prosjektfunnene, og dette er nyttig for videre utforming av teknologi og driftsrutiner. Alle RAS- og brønnbåtsystemer har i dag lange rørsystem og mye utstyr, med områder der man ikke kommer til for å gjøre rent eller inspisere. På områder som ikke blir vasket, er det risiko for opphopning av biofilm og potensiell smitte, slik mikrobiologieresultatene understreker og som har vært kjent innenfor fagretninger som biosikkerhet og hygienisk design.

Prosjektet har også gitt et eksempel på at fiskene under overflytting fra RAS-anlegg til brønnbåt kan være særlig sårbare for smitte. Fisken har behov for en mest mulig komfortabel ferd mellom settefiskanlegg og brønnbåt, men istedenfor blir den utsatt for stress, gnissing og endring i miljø. Vi har vist hvordan fiskens mikrobiota reagerer på flyttingen av mange årsaker (diskutert i kapittel 7.4), og at det er behov for en ny måte å flytte fisken, med mindre stress og mekanisk skade. Større rør og fall er blant alternativene som i fremtiden kan vurderes.

De fleste leverandører og oppdrettere som bestiller og designer systemene har bred kompetanse, men ikke nødvendigvis innen fiskehelse eller akvatisk biosikkerhet. Standarder for hygienisk design (slik som EHEDG Guidelines) tar ikke hensyn til systemer for levende fisk. Biosikkerhetsvurderinger som gjøres under utforming av utstyr og anlegg er vanligvis skilt fra oppdretters biosikkerhetsplaner og driftsrutiner. Veilederdokumentene utviklet i «Smittekontroll» beskriver derfor hvordan man kan øke muligheten for renhold og inspeksjon i design og bruk (Slette, Lona, et al., 2024b, 2024a). Kunnskapssamlingen om risikoforhold og tiltak for å biosikkerhet i RAS og brønnbåtsystem (også engelskspråklig artikkel av Slette et al (2024)) kan i tillegg brukes i utvikling av driftsrutiner.

8.1.4 Manglende gjennomføring av driftsrutiner

Over lang tid har det vært gjengs viten at noen driftsrutiner ikke gjennomføres. Intervjuene viser at det særlig er renhold som ikke utføres tilstrekkelig. I organisasjonsforskning er det kjent at driftsrutiner kan være vanskelige å gjennomføre, ofte fordi er skrevet av noen som ikke kjenner de praktiske kravene i arbeidssituasjonen. Man snakker om 'work as imagined' (nedskrevne rutiner) vs 'work as done' (utførelsen) (Hollnagel, 2017). De som skal gjøre arbeidet opplever ofte målkonflikt, og må selv prioritere mellom *sikkerhet* og *økonomi* (Reason, 1997), også kalt *grundighet* og *effektivitet* (Hollnagel, 2009).

På RAS-anlegg og brønnbåter ytrer personellet et ønske om å gjennomføre rutinene, men de har ikke tid. Det er ikke bare fordi selve renholdet tar tid og at det er vanskelig å få gjort overflatene rene, men også beslutningen om hvilke rutiner som skal gjelde.

På RAS-anlegg kan det handle om hva man skal gjøre mellom flytting av fiskegrupper og hvor mye man rekker før neste gruppe skal inn: Driftsrutiner beskrevet i biosikkerhetsplan må noen ganger vike for produksjonsplanen. Dette er også funnet i tidligere forskning av operasjonene på settefiskanlegg (Tørud & Størkersen, 2021). RAS-anlegg har også mange områder man ikke får rengjort, fordi det er umulig å vaske, tørke eller desinfisere.

På brønnbåt beskrives problemer med å rengjøre enkelte steder, men her er det verste en usikkerhet rundt hvilke rutiner som gjelder for hvert oppdrag grunnet ulike prosedyrer per område, oppdretter og sykdom – og stress fordi man skal nå neste oppdrag. Ledere, fiskehelsepersonell, planleggere og forvaltningen bruker mye tid på å sortere i regelverk og retningslinjer for alle oppdrag som involverer syk

fisk. Driftspersonellet beskriver motstridende beskjeder og uklar kunnskap, og et behov for mer informasjon og samarbeid.

Vi ser at det er systematiske årsaker til at driftsrutinene ikke følges. Det handler ikke om at driftsrutinene ikke er riktige – for det er de ofte. De er omfattende, men påkrevde ifølge biosikkerhetsplanen. I stedet for utkonkurreres de av produksjonsplanen. Produksjonsplanen står for effektivitet og økonomi, og biosikkerhetsplanen for grundighet/sikkerhet, med ordene til Reason (1997) og Hollnagel (2009). Det er i praksis liten valgmulighet for personellet til å vurdere om de vil prioritere sikkerhet/grundighet eller økonomi/effektivitet. Driftsrutinene som er en del av biosikkerhetsplanene, kan av og til ikke gjøres fordi det ikke er rom i produksjonsplanene. Sånn blir biosikkerhetsplanen ‘work as imagined’ og produksjonsplanen ‘work as done’. Også Havbruksutvalget tok opp problematikken med ulike planer, og anbefalte at driftsplan, biosikkerhetsplaner og andre planer samordnes, og at biosikkerhetsplanen får en tydelig rolle (NOU, 2023).

Bedriftene er ikke ukjente med behovet for å endre produksjonsplaner og gjøre anleggene enklere å holde rene. Når vi spør hvorfor det likevel ikke gjøres, er svaret praktiske årsaker som til syvende og sist handler om økonomi. Lønnsomhet på kort sikt fører til mekanismer som hindrer prioritering av biosikkerhet.

8.1.5 Sørge for at driftsrutiner og tiltak gjennomføres

Funnene viser altså at driftsrutiner er effektive, men at de av og til ikke utføres. Manglende utføring av driftsrutiner er dermed en alvorlig svakhet i biosikkerhetsarbeidet. Biosikkerhetsplaner er et nytt krav, mens intensive produksjonsplaner har lang tradisjon, og det kan være at bedrifter er fornøyde med å *forsøke* å følge begge deler. Likevel er det en fallitterklæring når bedrifter lar produksjonsplaner «trumfe» biosikkerhetsplaner.

Å sørge for at rengjøringsrutiner gjennomføres, istedenfor at de droppes av mangel på tid, er i teorien enkelt. Selv om det ikke er enkelt i praksis er det *mulig* for oppdrettsselskapene. Bedriftsledelsen kan sørge for nok tid og plass til at driftsrutiner gjennomføres. Produksjonsplanen kan ha færre innlegg, færre fisk e.l. og brønnbåtrederi kan gis tilstrekkelig tid. Å sørge for at planene har nok marginer krever kunnskap om biosikkerhet og operasjonene hos bedriftsledelsen.

Et tiltak kan også være å lette samarbeidet mellom oppdretter og rederi for brønnbåtoperasjoner gjennom mer informasjon. For å støtte samhandlingen mellom oppdretter og brønnbåt, har BarentsWatch som en del av «Smittekontroll» videreutviklet tjenesten *Fiskehelse* for informasjonsdeling mellom oppdrettere og brønnbåter om sykdom og risikoreduksjon (se mer i vedlegg). Også Havbruksutvalget beskrev at man har lite oversikt over sykdom blant oppdrettsfisker, og at «næringen, men også samfunnet som helhet, vil kunne være tjent med at informasjon om smitte i anleggene i større grad gjøres tilgjengelig» (NOU, 2023, s. 82). I «Smittekontroll» ble det utviklet en testtjeneste med bedriftenes sykdomsinformasjon på BarentsWatch, men dette ble ikke godkjent av eierne av BarentsWatch (myndighetene).

Samarbeidet kan også bedres ved å forenkle driftsrutinene for brønnbåter. Nødvendigheten med å håndtere kompleksitet, i bedrift, mellom bedrifter, og på et mer overordnet nivå har blitt fremhevet. Dette omfatter behovet for samarbeid og informasjon på tvers av nivå, bedrifter og områder. Felles rutiner i et område, for en sykdom e.l., er ikke studert i «Smittekontroll». Annen forskning har imidlertid vist at det finnes lite kunnskap om spredning av enkelte patogen, slik at det ikke er grunnlag for å ha nøyaktige regler per lokalitet eller sykdom (Størkersen et al., 2024). På den ene siden ønsker man mer kunnskap, som kan bidra til kvantifisering av risiko, og brukes som argument for å prioritere biosikkerhetstiltak. På den andre

siden har «Smittekontroll» vist at grundig vask og desinfisering er effektiv i brønnbåter – og dette gir nok kunnskap til å prioritere biosikkerhet. Ved å innføre rutiner med et føre-var-prinsipp og full vask/desinfisering som standard – istedenfor vurdering av rutiner for hvert oppdrag – kan lista legges like høyt hver gang: Dette kan friggi store ressurser i næring og forvaltning, og skape mer forutsigbarhet. Funnene tyder på at grundig vask, desinfisering og karantene hjelper. Det kan gjøres hver gang, og dermed forenkle organiseringa.

8.1.6 Barrierer for innføring av tiltak

Tiltakene fra «Smittekontroll» kan innføres i de organisasjonene som har vilje til å beslutte det. Tiltakene er ikke banebrytende, men å gjennomføre dem vil være det. Resultatene fra prosjektet viser at det er essensielt å sørge for at biosikkerhetstiltak faktisk tas i bruk. Studien bidrar også til å forstå barrierer for innføring av tiltak. Kostnader, praktikaliteter, regelverk og usikkerhet rundt effekter kan gjøre at tiltak ikke tas i bruk (Larsen et al., 2020; NOU, 2023). Resultatene fra «Smittekontroll» utdypet hvordan økonomisk ulempe er et overordna tema som påvirker andre barrierer, slik man kan se under.

Tidligere har «manglende **kunnskap**» vært barriere nummer én. Mange tiltak har strandet fordi de ikke er bygget på sterke nok kunnskapsgrunnlag. På den ene siden er det i dag teknisk mulig å innføre nok tiltak til å ha kontroll på alt som går inn og ut fra et RAS-anlegg eller en brønnbåt (Slette, Lona, et al., 2024b, 2024a). På den andre siden har vi fortsatt ikke fullstendig oversikt. Risikofaktorer og tiltak varierer mellom forskjellige anlegg og fartøy, og alle trenger spesifikke og uavhengige risikovurderinger. Biosikkerhetsbegrepet understreker betydningen av organisatoriske og teknologiske dimensjoner for å hindre smitte. Resultatene fra «Smittekontroll» belyser den brede kompetansen som kreves ikke bare for å utvikle, men for å gjennomføre driftsrutiner og tiltak. Tiltak må baseres på kunnskap om fiskehelse, epidemiologi og hydrodynamikk, men vel så viktig er det å forstå rutiner, designutfordringer og prioriteringer i organisasjonene og forvaltningen (Størkersen et al., 2022). Noen tiltak kan også ha ikke-ønskede konsekvenser, for eksempel at feil renholdsrutiner kan gi for sterile forhold, eller spre smitte til omkringliggende miljø. Vår intervjustudie har vist at når «alt henger sammen med alt» kan beslutningstaking gå over i handlingslammelse (Størkersen et al., under arbeid).

En annen tydelig barriere handler om hvor **mange organisasjoner som må være enige** for å innføre tiltak. For en bedrift er det særlig utfordrende å innføre ressurskrevende endringer hvis man ser at det ikke hjelper med bare bedriftsinterne endringer, eller om endringene gir egen bedrift ulemper i forhold til konkurrentene. Dette gjelder de fleste tiltak for fartøy og sjølokaliteter. Mange endringsforslag om transport og områdeplanlegging vil i tillegg påvirke bedriftene ulikt. «Smittekontroll» (kapittel 8.3) fokuserer derfor på tiltak som kan gjøres av enkeltorganisasjoner, for å vise at den enkelte bedrift kan gjøre en forskjell, og ikke er avhengig av «alle de andre».

En type barriere kan likevel være **ressurstilgang**. Innføring av de foreslåtte tiltakene krever mye ressurser – f.eks. energi og utstyr til filtrering og desinfeksjon, mer overvåking og datainnsikt, mindre enheter, og ikke minst prioritering av f.eks. hygienisk design og grundig rengjøring. For eksempel kan fullstendig vask av biofilter medføre lang nedetid på anlegget mens biofilteret modnes igjen (Dahle, 2022). Å ha flere biofilter vil også ta mer plass og koste mer. Å innføre enkelte tiltak kan virke urealistisk, selv om man har kunnskapen og mye ressurser.

En viktig, men sjeldnere beskrevet barriere kommer av **maktforholdet mellom næring og myndigheter**. Tradisjonen med detaljert regulering har ført til handlingsmønstre der næringsaktørene gjør bare «akkurat det de blir bedt om». Denne mekanismen fungerer som en begrensning for å innføre tiltak. Næringsaktørene forventer at sikker kunnskap tas inn i lovverket, og at dette skal følges opp med juridisk detaljfokus (fra både næring og forvaltning). Bedriftsledere beskriver at det må et sterkt og entydig kunnskapsgrunnlag til for å innføre tiltak som ikke er lovregulert, i alle fall om det krever samarbeid mellom bedrifter eller kan påvirke konkurransesituasjonen. Et skifte i forvaltningen kan dermed være avgjørende for at bedriftene skal ta ansvar for å innføre tiltak som man allerede har indikasjoner på at det er behov for.

Likevel er også **frivillighet** en barriere slik status er i dag. Behovet for overordna krav kommer frem i «Smittekontroll»-resultatene og det er også tydeliggjort av f.eks. Verdens dyrehelseorganisasjon (Mattilsynet, 2023, paragraf 4.1.6). Å lage gode tiltak krever engasjement fra næringa, slik man har gjennom næringas biosikkerhetsforum (tidligere Sjømat Norges topplederforum). Implementering av tiltakene kan imidlertid bli vanskelig om det skal være frivillig. Også Havbruksutvalget (NOU, 2023) har anbefalt myndighetsregulert samordning i produksjonsområdene. For å få tiltak ut i praksis kan det hjelpe at samordningen er påkrevd, og i tillegg at *tiltakene* er obligatoriske. Det kan også være nyttig om bedrifter som blir særlig skadelidende blir kompensert. Fundamentet for biosikkerhet i havbruk er at alle virksomheter gjennomfører en rekke tiltak (Larsen et al., 2020). Da kan det ikke være frivillig eller tilfeldig å ta i bruk tiltak som er nødvendig for biosikkerheten. Derfor kan kloke myndigheter innføre endringene som kan gjøre at viktige rutiner gjennomføres langs hele kysten.

8.2 Hovedfunn

Prosjektets resultater beskriver risikoforhold-/tiltak på RAS-anlegg og brønnbåt; hvordan driftsrutiner fungerer; og mikrobiota i RAS, om bord i brønnbåt og på båtskrog, inkludert fiskens mikroflora mellom RAS og brønnbåt. Samlet gir det prosjektet disse hovedfunnene:

- Rutiner for vasking, desinfeksjon og tørking i RAS-anlegg og brønnbåt gir ønsket effekt *der de utføres*. Rutinene har også god effekt på risikoområder, som f.eks. der det er rust.
- Det er et problem at områder ikke er tilgjengelige for renhold og at driftsrutinene ikke alltid blir fulgt. Vi ser et gap mellom det som skal gjøres (ifølge biosikkerhetskunnskap og enhetens *biosikkerhetsplan*) og det som faktisk gjøres. Gapet kan tilskrives at *produksjonsplaner* ikke gir rom for biosikkerhetsrutinene.
 - RAS-anlegg har mange og store områder der man ikke kommer til, som resulterer i sjeldnere renhold og tørking, og oppbygging av biologisk materiale.
 - Det kan være risiko for spredning av virus på utsiden av skipsskrog, spesielt under vannlinjen. Spyling hjelper der man kommer til – ved vannoverflaten.
- Laksens slim-mikrobiom endres kraftig når den overføres fra settefiskanlegg til brønnbåt. Det kan bety at dagens overføringsrutiner og -teknologi kan øke sykdoms- og smittepotensialet.

8.3 Anbefalinger

Diskusjonen av de målbare resultatene og den økte forståelsen av utforming, driftsrutiner og praktisk gjennomføring, peker mot noen anbefalte risikoreducerende tiltak. Under lister vi opp anbefalinger fordelt

på hva som kan gjøres i dag og på lengre sikt. Tiltakene er ikke nye på den måten at man ikke har hørt dem før, men datamaterialet i «Smittekontroll» har understreket at det er avgjørende å ta disse i bruk.

Biosikkerhetstiltak som må prioriteres av bedriftene – de to første kan gjennomføres i dag:

- Ledelse må sørge for at andre operasjoner blir stoppet helt til renholdsrutinene er gjort. Dette kan også oppnås ved å ha forutsigbare rutiner og gode marginer i operasjons- og produksjonsplaner.
- Pålegge biosikkerhetskurs for ledelse og teknisk personell for å øke kunnskap om behov for biosikkerhetstiltak som; tid til renhold i produksjonsplan og hygienisk utforming av anlegg.
- Utstyr og anlegg må bygges med utgangspunkt i hygienisk design. Dette tilrettelegger for bedre og mer effektivt renhold, blant annet ved å bedre tilkomst
- Deling av data mellom oppdrettselskaper og rederier for å bedre biosikkerhetsarbeidet, inkludert seilasplaner for brønnbåter

Arbeidet har også avdekket flere behov for videre studier, både relatert til hovedfunnene, prioriterte tiltak og andre resultater fra prosjektet:

- Nye og bedre metoder og utstyr for renhold, inspeksjon og måling av mikrobiota på vanskelig tilgjengelige områder.
- Mer skånsomme løsninger for overføring/pumping av fisk
- Mer kunnskap om ILA-virusets overlevelse på og smittsomhet via biofilm f.eks. på båtskrog
- Kvantifisere risikofaktorer og tiltak for biosikkerhet – og se dette i sammenheng med effekten det har for fiskehelse og økonomi for hele produksjonssyklusen. F.eks. følge patogenforekomst i fiskegrupper i hele verdikjeden slik at man kan korrelere dødelighet og redusert tilvekst i sjø med biosikkerhetstiltak i settefiskfasen.
- Beskrive potensialet for spredning av smitte fra fartøystrafikk langs kysten, og tiltak for å redusere dette
- Kunnskap om beslutningstaking i bedriftene og hvordan optimalisere biosikkerhet i produksjons- og operasjonsplaner

8.4 Avslutning

«Smittekontroll»-prosjektet har studert mikrobiota, teknologiutforming og driftsrutiner med mål om å øke biosikkerheten i norsk laksenæring.

Funnene forklarer hvordan dagens rutiner og anlegg hindrer og øker smitte. Mikrobiologisvar viser for eksempel at renholdsrutiner fungerer der man kommer til for renhold. RAS-anleggene har mange områder med oppvekst av biofilm grunnet utilgjengelighet for renhold, som man visste fra før, men også her ser renholdsrutinene ut til å fungere der de blir gjort. Brønnbåtsystemene har generelt få patogener og driftsrutinene fjerner viruspartikler i systemene om bord – rutinene gjør båtene rene. Likevel fører produksjonsplaner, dårlig tid og utilgjengelige rørsystem til at renholdet kan få lavere kvalitet enn planlagt, både på land og om bord i båtene. I tillegg har prosjektet vist at viruspartikler kan sitte på brønnbåters skuteside fra en lokalitet og gjennom en hel seilas, men også her fungerer dagens rutiner: Viruspartiklene fjernes av noe spyling og 48 timers karantene. Dette understreker at næringa fremover må iverksette tiltak

for å alltid benytte de renholdsrutinene som eksisterer, og å sørge for at anlegg og utstyr har hygienisk design. Det er fortsatt et stort behov for mer tid i planene, forutsigbare rutiner, samarbeid og deling av informasjon.

De anbefalte tiltakene fra prosjektet er ikke banebrytende, men å gjennomføre dem vil være det. At biosikkerhetsplanene svekkes av produksjonsplanene er en alvorlig svakhet i det nåværende biosikkerhetsarbeidet, som det er mulig for bedriftene å gjøre noe med.

9 Publikasjoner fra «Smittekontroll»

- «Infectious Salmon Anemia Virus (ISAV) dynamics in biofouling on well-boat hulls». Manus til *Aquaculture reports*. Ribičić, Aas, Netzer, Dahle.
- «Satisficing biosafety in fish farming. Analyzing decision-making constrains to improve operational routines». Manus til tidsskriftet *Aquaculture*. Størkersen, Misund, Salomonsen, Thorvaldsen.
- «Biosikkerhet på RAS og brønnbåter: Risikofaktorer og tiltak som virker». Artikkel i Landbased AQ nr 4-2024, av Slette, Størkersen, Ribičić, Dahle, Salomonsen, Tveit og Lona
- [Biosafety in Norwegian Aquaculture—Risks and Measures in RAS Facilities and Well-Boats](#). I *Reviews in Aquaculture*, Volume 17, Issue 1, 2025 (publisert på internett oktober 2024). Slette, Salomonsen, Størkersen, Tveit, Misund og Lona
- [Innspill til veileder for hygienisk design og renhold for RAS-anlegg - Struktur og innhold slik en veileder kan være](#). SINTEF-rapport 2024. Hans Tobias Slette, Eivind, Lona og Stine Wiborg Dahle
- [Innspill til veileder for hygienisk design og renhold for brønnbåt - Struktur og innhold slik en veileder kan være](#) SINTEF-rapport 2024. Hans Tobias Slette og Eivind Lona
- [Biosikkerhet i driftssituasjonen](#) Artikkel i LandbasedAQ nr 4-2022, s. 48-51. Av Størkersen, Misund, Salomonsen, Thorvaldsen, Lona, Ribičić og Slette.

Litteraturliste

- Akvabiosikkerhetsforskriften, FOR-2022-04-05-624 (2022).
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-04-05-624>
- Akvaveterinærenes forening, & Tekna. (2024). *Retningslinjer for hygienekontroll av fartøy innen akvakultur*. [https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/miljo-og-biovitenskap/tekna-havbruk/retningslinjer-for-hygienekontroll-av-fartoy-innen-akvakultur/](https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/miljo-og-biovitenskap/tekna-havbruk/retningslinjer-for-hygienekontroll-av-fartoy-innen-akvakultur/https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/miljo-og-biovitenskap/tekna-havbruk/retningslinjer-for-hygienekontroll-av-fartoy-innen-akvakultur/)
- Attramadal, K. J. K., Øien, J. V., Kristensen, E., Evjemo, J. O., Kjørsvik, E., Vadstein, O., & Bakke, I. (2021). UV treatment in RAS influences the rearing water microbiota and reduces the survival of European lobster larvae (*Homarus gammarus*). *Aquacultural Engineering*, *94*, 102176.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102176>
- Bakkeli, G., & Skjelstad, B. (2001, august 23). *Smitteoverføring via avløp? Kan det skje?* Kyst.No.
<https://www.kyst.no/arkiv/smitteoverforing-via-avlop-kan-det-skje/635506>
- Barnes, M. E., & Brown, M. L. (2011). A review of *Flavobacterium psychrophilum* biology, clinical signs, and bacterial cold water disease prevention and treatment. *Open Fish Science Journal*, *4*, 40.
- Bregnballe, J. (2015). *A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Eurofish. <https://www.fao.org/3/i4626e/i4626e.pdf>
- Chapela, M.-J., Ferreira, M., Varela, C., Arregui, L., & Garrido-Maestu, A. (2018). Development of a multiplex real-time PCR method for early diagnosis of three bacterial diseases in fish: A real-case study in trout aquaculture. *Aquaculture*, *496*, 255–261.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.003>
- Christiansen, D. H., Ostergaard, P. S., Snow, M., Dale, O. B., & Falk, K. (2011). A low-pathogenic variant of infectious salmon anemia virus (ISAV-HPR0) is highly prevalent and causes a non-clinical transient infection in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the Faroe Islands. *Journal of General Virology*, *92*(4), 909–918. <https://doi.org/10.1099/vir.0.027094-0>
- Coquet, L., Cosette, P., Junter, G.-A., Beucher, E., Saiter, J.-M., & Jouenne, T. (2002). Adhesion of *Yersinia ruckeri* to fish farm materials: Influence of cell and material surface properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *26*(4), 373–378. [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(02\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(02)00023-1)
- Dahle, S. W. (2022). *Microbial community dynamics in water and biofilm of recirculating aquaculture systems (RAS)*. NTNU. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3039515>
- Dahle, S. W., Bakke, I., Birkeland, M., Nordøy, K., Dalum, A. S., & Attramadal, K. J. (2020). Production of lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) in RAS with distinct water treatments: Effects on fish survival, growth, gill health and microbial communities in rearing water and biofilm. *Aquaculture*, *522*, 735097.
- Dahle, S. W., Netzer, R., Lewin, A., Hageskal, G., Haugen, T., & Ribicic, D. (2020). *Sluttrapport MonMic (FHF 901392): Overvåking av bakteriesamfunn i settefiskproduksjon. En studie av fem RAS-anlegg (2020:00470)*. SINTEF Ocean AS.
- Devlin, H., Hiebner, D., Barros, C., Fulaz, S., Quinn, L., Vitale, S., & Casey, E. (2020). A high throughput method to investigate nanoparticle entrapment efficiencies in biofilms. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *193*, 111123. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111123>
- Ervik, A. L.-C., Larsen, J. S., Klakegg, B., Sandberg, M. G., & Johansen, E. (2020). *Delrapport 1 – Risikofaktorer og beste praksis for biosikkerhet* (s. 65).
- Ervik, L.-C., Larsen, J. S., Klakegg, B., Sandberg, M. G., Johansen, E., & Holmøy, R. (2020). *Delrapport 1 – Risikofaktorer og beste praksis for biosikkerhet*.
<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901522/?fileurl=https://fhfno.sharepoint.com/sites>

/pdb/Publisertedokumenter/3238122020%2011%2003%20Delrapport%201%20E2%80%93%20Risikofaktorer%20og%20beste%20praksis%20for%20biosikkerhet.pdf.PDF&filename=delrapport%20smittesikring%20og%20biosikkerhet%20i%20norsk%20lakseproduksjon%20%20risikofaktorer%20og%20beste%20praksis%20for%20biosikkerhet

- Fjellheim, A. J., Hess-Erga, O.-K., Attramadal, K., & Vadstein, O. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon* (LNR: 7127-2017). NIVA.
- Forskrift om desinfeksjon av vann, akvakultur, Pub. L. No. FOR-1997-02-20-192 (1997).
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1997-02-20-192>
- Fringuelli, E., Savage, P. D., Gordon, A., Baxter, E. J., Rodger, H. D., & Graham, D. A. (2012). Development of a quantitative real-time PCR for the detection of *Tenacibaculum maritimum* and its application to field samples. *Journal of Fish Diseases*, *35*(8), 579–590. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2012.01377.x>
- Georgiades, E., Scianni, C., Davidson, I., Tamburri, M. N., First, M. R., Ruiz, G., Ellard, K., Deveney, M., & Kluz, D. (2021). The Role of Vessel Biofouling in the Translocation of Marine Pathogens: Management Considerations and Challenges. *Frontiers in Marine Science*, *8*, 660125. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.660125>
- Gjessing, M. C., Krasnov, A., Timmerhaus, G., Brun, S., Afanasyev, S., Dale, O. B., & Dahle, M. K. (2020). The Atlantic Salmon Gill Transcriptome Response in a Natural Outbreak of Salmon Gill Pox Virus Infection Reveals New Biomarkers of Gill Pathology and Suppression of Mucosal Defense. *Frontiers in Immunology*, *11*, 2154. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.02154>
- Good, C. (2022, oktober 27). *Optimale Desinfiseringsprotokoller—Sammenligning Mellom USA Og Norge*. Fremtidens Smoltproduksjon, Sunndalsøra.
- Grove, S., Reitan, L., Lunder, T., & Colquhoun, D. (2008). Real-time PCR detection of *Moritella viscosa*, the likely causal agent of winter-ulcer in Atlantic salmon *Salmo salar* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of Aquatic Organisms*, *82*, 105–109. <https://doi.org/10.3354/dao01972>
- Hagland, T. J. (2014). *Nasjonalt tilsynsprosjekt 2012-2014—Vannkvalitet og vannbehandling i settefiskanlegg*. Mattilsynet.
- Hodneland, K., & Endresen, C. (2006). Sensitive and specific detection of Salmonid alphavirus using real-time PCR (TaqMan®). *Journal of Virological Methods*, *131*(2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.08.012>
- Hollnagel, E. (2009). *The ETTO principle: Efficiency-thoroughness trade-off: Why things that go right sometimes go wrong*. Ashgate.
- Hollnagel, E. (2017). Why is work-as-imagined different from work-as-done? I *Resilient Health Care, Volume 2* (s. 279–294). CRC Press.
- Jensen, P. M. (2022, januar 6). *Har funnet laksens tålegrense for viktig desinfeksjonsmiddel i settefiskanlegg*. LandbasedAQ.no.
- Jones, S. R. M., & Groman, D. B. (2001). Cohabitation Transmission of Infectious Salmon Anemia Virus among Freshwater-Reared Atlantic Salmon. *Journal of Aquatic Animal Health*, *13*(4), 340–346. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(2001\)013<0340:CTOISA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(2001)013<0340:CTOISA>2.0.CO;2)
- Kumagai, A., & Nawata, A. (2010). Mode of the intra-ovum infection of *Flavobacterium psychrophilum* in salmonid eggs. *Fish Pathology*, *45*(1), 31–36.
- Larsen, J. S., Ervik, L.-C., Klakegg, B., Sandberg, M. G., Johansen, E., & Holmøy, R. (2020). *Smittesikring og biosikkerhet i norsk lakseproduksjon. Sluttrapport—Mål og tiltak for styrket biosikkerhet*. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901522/>
- Lazado, C. C., & Good, C. (2021). Survey findings of disinfection strategies at selected Norwegian and North American land-based RAS facilities: A comparative insight. *Aquaculture*, *532*, 736038. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736038>



- Levipan, H. A., Irgang, R., Tapia-Cammas, D., & Avendaño-Herrera, R. (2019). A high-throughput analysis of biofilm formation by the fish pathogen *Tenacibaculum dicentrarchi*. *J. Fish Dis*, *42*, 617–621.
- Lillehaug, A., Santi, N., & Østvik, A. (2015). Practical Biosecurity in Atlantic Salmon Production. *Journal of Applied Aquaculture*, *27*(3), 249–262. <https://doi.org/10.1080/10454438.2015.1066174>
- Liu, X., Tang, B., Gu, Q., & Yu, X. (2014). Elimination of the formation of biofilm in industrial pipes using enzyme cleaning technique. *MethodsX*, *1*, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2014.08.008>
- Llewellyn, M. S., Boutin, S., Hoseinifar, S. H., & Derome, N. (2014). Teleost microbiomes: The state of the art in their characterization, manipulation and importance in aquaculture and fisheries. *Frontiers in Microbiology*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00207>
- Madetoja, J., Nystedt, S., & Wiklund, T. (2003). Survival and virulence of *Flavobacterium psychrophilum* in water microcosms. *FEMS Microbiology Ecology*, *43*(2), 217–223. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2003.tb01061.x>
- Mattilsynet. (2023). *WOAHs manual om biosikkerhet for akvakulturanlegg*. <https://www.mattilsynet.no/fisk-og-akvakultur/oppdrettsanlegg/whoa-sin-manual-om-biosikkerhet-for-akvakulturanlegg>
- Minich, J. J., Poore, G. D., Jantawongsri, K., Johnston, C., Bowie, K., Bowman, J., Knight, R., Nowak, B., & Allen, E. E. (2020). Microbial Ecology of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Hatcheries: Impacts of the Built Environment on Fish Mucosal Microbiota. *Applied and Environmental Microbiology*, *86*(12), e00411-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.00411-20>
- Minniti, G., Hagen, L. H., Porcellato, D., Jørgensen, S. M., Pope, P. B., & Vaaje-Kolstad, G. (2017). The Skin-Mucus Microbial Community of Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Frontiers in Microbiology*, *8*, 2043. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02043>
- Mota, V. C., Eggen, M. L., & Lazado, C. C. (2022). Acute dose-response exposure of a peracetic acid-based disinfectant to Atlantic salmon parr reared in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, *554*, 738142. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738142>
- Murray, A. G., Smith, R. J., & Stagg, R. M. (2002). Shipping and the spread of infectious salmon anemia in Scottish aquaculture. *Emerging Infectious Diseases*, *8*(1), 1.
- NOU. (2023). *Helhetlig forvaltning av akvakultur for bærekraftig verdiskaping. Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 8. Oktober 2021. Avgitt til Nærings- og fiskeridepartementet 28. September 2023.* (White paper NOU 2023:23). Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon. Teknisk redaksjon. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-23/id2995224/>
- Ormsby, M. J., Caws, T., Burchmore, R., Wallis, T., Verner-Jeffreys, D. W., & Davies, R. L. (2016). *Yersinia ruckeri* Isolates Recovered from Diseased Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Scotland Are More Diverse than Those from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Represent Distinct Subpopulations. *Applied and Environmental Microbiology*, *82*(19), 5785–5794. <https://doi.org/10.1128/AEM.01173-16>
- Paul, M., Baranzoni, G. M., Albonetti, S., & Brewster, J. D. (2015). Direct, quantitative detection of *Listeria monocytogenes* in fresh raw whole milk by qPCR. *International Dairy Journal*, *41*, 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.09.008>
- Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing Limited.
- Ribicic, D. (2023, desember 13). *Exploring Microbial Community and Viral Dynamics: Mitigating Risks in Production*. «Smittekontroll» workshop. https://tekmar.no/wp-content/uploads/2023/12/9_Kartlegging_av_mikrobesamfunn_Deni.pdf
- Robertsen, B. (2011). Can we get the upper hand on viral diseases in aquaculture of Atlantic salmon? *Aquaculture Research*, *42*(s1), 125–131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02671.x>

- Rothrock, M. J., Hiatt, K. L., Kiepper, B. H., Ingram, K., & Hinton, A. (2013). Quantification of Zoonotic Bacterial Pathogens within Commercial Poultry Processing Water Samples Using Droplet Digital PCR. *Advances in Microbiology*, 03(05), 403–411. <https://doi.org/10.4236/aim.2013.35055>
- Rounsville, T. F., Polinski, M. P., Marini, A. G., Turner, S. M., Vendramin, N., Cuenca, A., Pietrak, M. R., Peterson, B. C., & Bouchard, D. A. (2024). Rapid differentiation of infectious salmon anemia virus avirulent (HPR0) from virulent (HPRΔ) variants using multiplex RT-qPCR. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 36(3), 329–337. <https://doi.org/10.1177/10406387231223290>
- Scarfe, A. D., & Palić, D. (2020). Aquaculture biosecurity: Practical approach to prevent, control, and eradicate diseases. I F. S. B. Kibenge & M. D. Powell (Red.), *Aquaculture Health Management* (s. 75–116). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813359-0.00003-8>
- Sindre, H., Moldal, T., Fosse, J. H., Weli, S., Peñaranda, Ma. M., & Skafteensmo, K. O. (2024). *Biosikkerhetstiltak mot ILA i settefisk (ILA-SAFE)* (Rapport 47-2024; VI-rapport).
- Skrudland, A. (2022, oktober 26). *Brakklegging av biofilter—Regelverkskrav, risiko og praktiske utfordringer*. Fremtidens Smoltproduksjon, Sunndalsøra.
- Slette, H. T., Lona, E., & Dahle, S. W. (2024a). *Innspill til veileder for hygienisk design og renhold for brønnbåt—Struktur og innhold slik en veileder kan være* (SINTEF-rapport 2024:00742; SINTEF-rapport). SINTEF. <https://hdl.handle.net/11250/3145512>
- Slette, H. T., Lona, E., & Dahle, S. W. (2024b). *Innspill til veileder for hygienisk design og renhold for RAS-anlegg—Struktur og innhold slik en veileder kan være* (SINTEF-rapport 2024:00750; SINTEF-rapport). SINTEF. <https://hdl.handle.net/11250/3145508>
- Slette, H. T., Salomonsen, C., Størkersen, K. V., Tveit, G. M., Misund, A. U., & Lona, E. (2024). Biosafety in Norwegian aquaculture—Risks and measures in RAS facilities and well-boats. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12979>
- Sommerset, I., Wiik-Nielsen, J., Moldal, T., de Oliveia, V. H. S., Svendsen, J. C., Haukaas, A., & Brun, E. (2024). *Fiskehelse rapporten 2023* (Veterinærinstituttets rapportserie nr.8a/2024). Veterinærinstituttet.
- Spilsberg, B., Nilsen, H. K., Tavoranpanich, S., Gulla, S., Jansen, M. D., Lagesen, K., Colquhoun, D. J., & Olsen, A. (2022). Tenacibaculosis in Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*) cage-farmed in cold sea water is primarily associated with *Tenacibaculum finnmarkense* genomovar *finnmarkense*. *Journal of Fish Diseases*, 45(4), 523–534. <https://doi.org/10.1111/jfd.13577>
- Størkersen, K. V., Misund, A., Salomonsen, C., & Thorvaldsen, T. (under arbeid). Muddling through biosafety in fish farming. Analyzing decision-making constrains to improve operational routines. *Aquaculture Economics & Management*.
- Størkersen, K. V., Misund, A. U., Salomonsen, C., Thorvaldsen, T., Lona, E., Ribičić, D., & Slette, H. T. (2022). Biosikkerhet i driftssituasjonen. *Landbased AQ*, 4(4), 46–49.
- Størkersen, K. V., Osmundsen, T. C., Stien, L. H., Medaas, C., Lien, M. E., Tørud, B., Kristiansen, T. S., & Gismervik, K. (2021). Fish protection during fish production. Organizational conditions for fish welfare. *Marine Policy*, 129, 104530.
- Størkersen, K. V., Sommerset, I., Ellul, R., Nilsen, K., & Frøysa, H. (2024). *Foreløpige funn fra intervju i OptiLok*. Internt notat.
- Suhr, M., Fichtner-Grabowski, F.-T., Seibel, H., Bang, C., Franke, A., Schulz, C., & Hornburg, S. C. (2023). The microbiota knows: Handling-stress and diet transform the microbial landscape in the gut content of rainbow trout in RAS. *Animal Microbiome*, 5(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s42523-023-00253-9>
- Sæther, P. A. (2018). *MarinHelse—Fisken i Fokus*. TEKSET, Trondheim.
- Sæther, P. A. (2021). *Smedvågen Biosikkerhetsplan*. MarinHelse. https://www.averoy.kommune.no/_f/p1/id268f003-ad32-49e0-ba26-de453a64f745/smedvagen-2021-vedlegg-10-biosikkerhetsplan-med-vedlegg-298247_1_1.PDF

- Tartor, H., Dahle, M. K., Gulla, S., Weli, S. C., & Gjessing, M. C. (2022). Emergence of Salmon Gill Poxvirus. *Viruses*, 14(12), 2701. <https://doi.org/10.3390/v14122701>
- Thorsen, B. K., Enger, O., Norland, S., & Hoff, K. A. (1992). Long-term starvation survival of *Yersinia ruckeri* at different salinities studied by microscopical and flow cytometric methods. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(5), 1624–1628. <https://doi.org/10.1128/aem.58.5.1624-1628.1992>
- Transportforskriften, Pub. L. No. FOR-2008-06-17-820 (2023). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-820>
- Trusz, A., Gorlach, J., Gazda, D., & Piekarska, K. (2024). Biofilm formation in the drinking water distribution system, on selected pipe materials in flow reactors – preliminary investigations. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 24(3), 535–542. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.06.001>
- Tørud, B., Jensen, B. B., Gåsnes, S., Grønbech, S., & Gismervik, K. (2019). *Dyrevelferd i settefiskproduksjonen—Småfiskvel* (Rapport 14-2019). Veterinærinstituttet.
- Tørud, B., & Størkersen, K. V. (2021). *Arbeid med fiskevelferd på settefiskanlegg*. Veterinærinstituttet. https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2021/arbeid-med-fiskevelferd-pa-settefiskanlegg/_attachment/download/7b72848f-35f7-4e1e-8b9d-42cf22a178b1:c81e4347972dadcd20879c665659ba95ead863b8/2021_1a_Arbeid%20med%20fiskevelferd%20p%C3%A5%20settefiskanlegg.pdf
- Veterinærinstituttet. (2021). *Svar på bestilling av kunnskapsstøtte når det gjelder endringer i risiko for smittespredning som følge av nye krav til behandling av transportvann fra brønnbåter*. https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/faglige-vurderinger-og-horingssvar/_attachment/download/a1bd0162-17dc-44cc-8a7a-0b7e5e84e35f:0ead553266f9493f51ec5b8e878bbee0e7664209/Svarbrev%20Vis%20sak%2020-16953%20Karantene%20br%C3%B8nnb%C3%A5ter%20og%20serviceb%C3%A5ter.pdf
- World Organisation for Animal Health. (2023). *Aquatic Animal Health Code*. World Organisation for Animal Health. Glossary. <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access>

Vedlegg 1: Tiltaksarbeid i «Smittekontroll»

«Smittekontroll»-prosjektet arbeidet også med operasjonalisering av tiltak underveis i prosjektperioden. Operasjonalisering vil si å ha en prosess for å finne ut hvordan man kan tilnærme seg et problem, og utvikle en løsning som kan være gjennomførbar. I arbeidsmøter (se kapittel 3.3) ble tema med særlige tiltaksbehov identifisert, forskjellige tiltak ble vurdert, og konkrete tiltak gjennomført (som veilederinnspill og kartlag i Barentswatch).

Riktig renhold og påfølgende verifisering

Metoder og teknologier for test og verifisering av vask og desinfisering ble trukket frem i datamaterialet og arbeidsgrupper. Selv om det f.eks. gjennomføres ATP-målinger så ble det påpekt at det ofte var utilstrekkelig og at det kunne være upresist. Basert på ønsker fra datainnsamling og partnerne har det blitt utarbeidet innspill til veiledere for hygienisk design og renhold for både RAS og brønnbåt (Slette, Lona, et al., 2024b, 2024a). I tillegg har veterinærenes fagforeninger utviklet retningslinjer for hygienekontroll av fartøy innen akvakultur (Akvaveterinærenes forening & Tekna, 2024).

Fremtidens RAS

Hvordan et RAS-anlegg burde bygges og tilrettelegges med tanke på hygienisk design og renhold har vært et gjennomgående tema i prosjektet. Måten fremtidige RAS-anlegg kan utformes for å ivareta biosikkerhet er utviklet i prosjektet, og er summert opp i *Innspill til veileder for hygienisk design og renhold for RAS-anlegg* (Slette, Lona, et al., 2024b). Et av de mest sentrale tiltakene er adskilte enheter og systemer. Dette inkluderer blant annet fysiske smitteskiller mellom alle kar på anleggene, plassering av utstyr, sluser mellom avdelinger, tilrettelegging for isolering av kjemisirkulasjon og vaskesekvenser. Andre sentrale tiltak er vaskbarhet, tilgjengelighet, drenering, geometri og overflater og overflatebehandling.

Hygienisk design

I prosjektet så har det vært samarbeid med partnerne om biosikkerhet ved teknisk design, vannbehandling og drift. I innspill til *Veileder til hygienisk design og renhold – brønnbåt-del* (Slette, Lona, et al., 2024a) har det blitt listet opp en rekke anbefalinger for utformingen og design av brønnbåter med tanke på biosikkerhet. Anbefalingene er inndelt i tre områder; 1) dekk og utstyr, 2) brønn, pumper og rørsystemer og 3) skrog. For RAS-anlegg så er anbefalingene delt opp i to temaer; 1) hygienisk design delvis inspirert av European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG), mens 2) renhold tok for seg sentrale typer vask: daglig, vask mellom innsett og saneringsvask (Slette, Lona, et al., 2024b).

Kompetanse og risikohåndtering

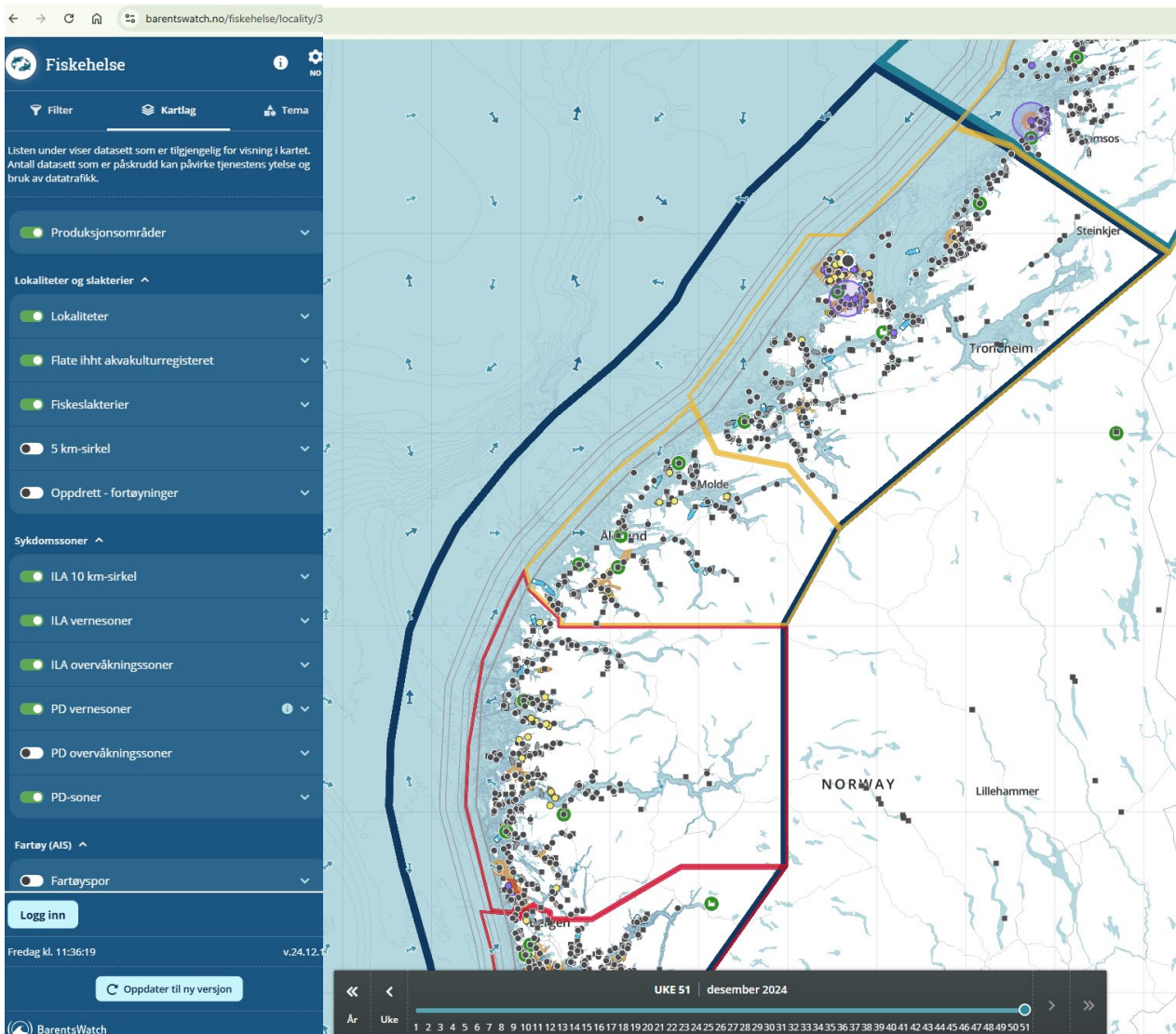
Nødvendigheten med å håndtere kompleksitet, i bedrift, mellom bedrifter, og på et mer overordnet nivå har blitt fremhevet ved flere anledninger. Dette omfatter behovet for samarbeid og informasjon på tvers av nivå og bedrifter og områder. Økt kompetanse på biosikkerhet kan også bidra til mindre utrygghet, og er noe som kan oppnås gjennom opplæring og hjelpemidler. Opplæring og kompetanse har jevnlig blitt trukket frem som viktige tiltak relatert til biosikkerhet. Kompetanse og opplæring står sentralt når man må vite hva man skal gjøre når uhellet er ute. I konteksten risikohåndtering ble det også fremmet et ønske om å bruke

systemer og data som finnes og å se sammenhenger på tvers. Dette handler om å bruke data og nyttiggjøre seg av det som finnes for både læring og å skape forutsigbarhet i arbeidet med biosikkerhet.

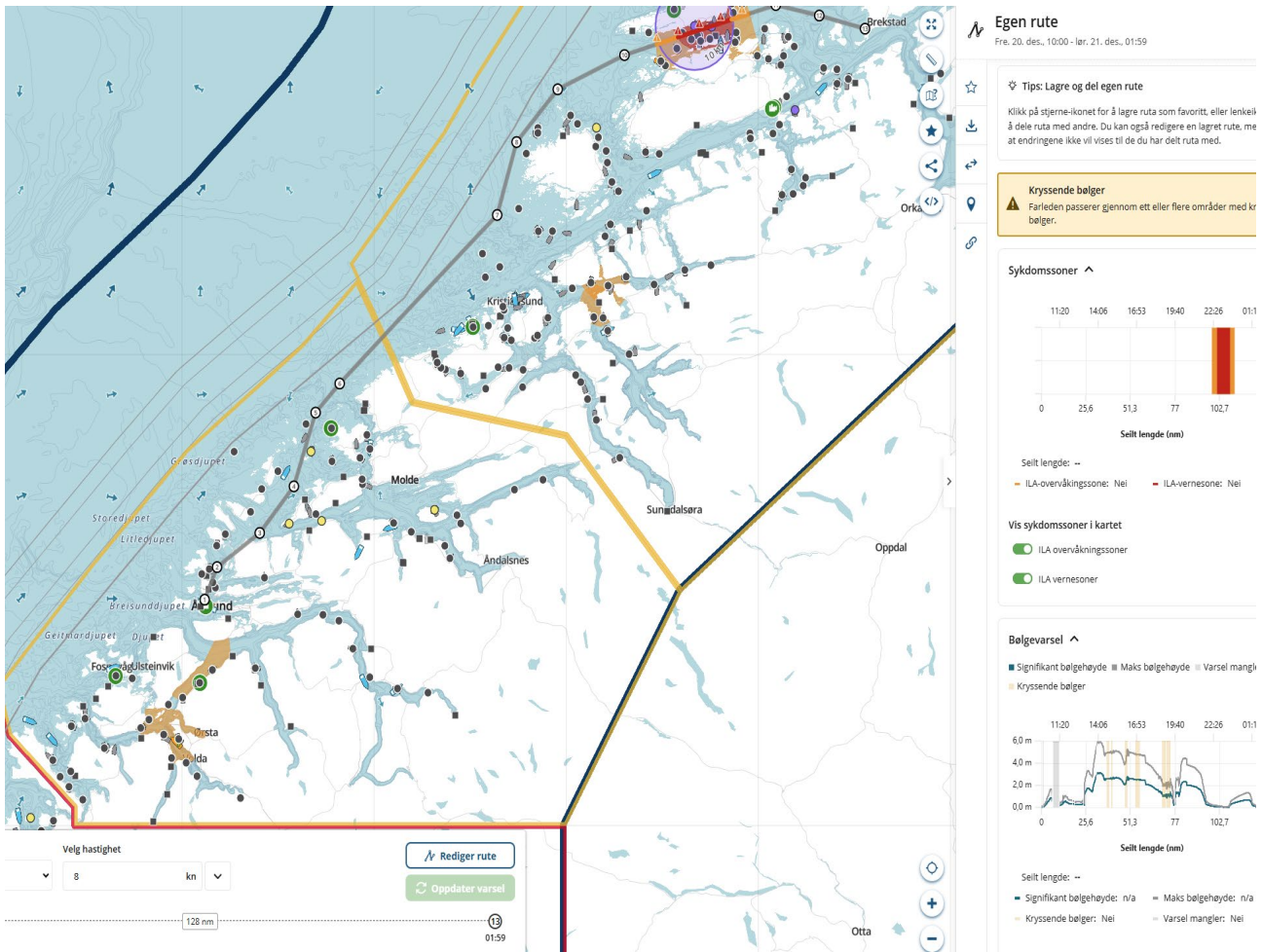
- Integrere biosikkerhetsplan med sikkerhetsstyringssystem, lakselusplan, beredskapsplan og – på et annet nivå – produksjonsplan/driftsplan. Mattilsynet har lagd veileder for biosikkerhetsplan, beredskapsplan o.a., men ikke integreringen. «Smittekontroll»-partnerne har skrevet innspill til Mattilsynet, jobbet i og med oppdrettsnæringas topplederforum for biosikkerhet og aktører som gir biosikkerhetsopplæring. Et konkret mål er å tilby kurs også til teknisk personell og ledelse kan gi mer forståelse for behov for tid i produksjons- og ruteplaner.

Støtte i samhandling mellom settefiskanlegg/oppdretter og brønnbåt. Datainnsamlingen og arbeidsmøtene viser behov for en felles forståelse av fiskens helsestatus, deling mellom settefiskanlegg og brønnbåt. Det var også ønsker om fiskehelsestøtte til personell på settefiskanlegg og brønnbåt. Særlig kom det frem behov for økt kompetanse og støtte for brønnbåttransport. Sammen med «Smittekontroll»-partnerne og fiskehelsetjenester utviklet BarentsWatch en testtjeneste for deling av bedriftenes sykdomsinformasjon, men den ble ikke godkjent av eierne av BarentsWatch (myndighetene). Gjennom «Smittekontroll» har imidlertid BarentsWatch videreutviklet tjenesten Fiskehelse for informasjonsdeling mellom oppdrettere og brønnbåter. Det er gjennomført en rekke forbedringer, slik som:

- Nedlasting av ILA 10 km-sirkel til Olex og Geojson (se figur 32)
- Forbedret visning av visning produksjonsområdene og PD-soner (se figur 32)
- Forbedret informasjon om at AIS-sporing kun gjelder fartøy som har vært på besøk hos en lokalitet
- Vise 5 km-sirkel rundt lokaliteter med status «Trolig uten fisk»
- «Egen rute» ruteplanlegger (se figur 33)
- Oppdatert «Egen Rute» med sykdomssoner og hjelp til bruker



Figur 32: Illustrasjon basert på skjermbilder av tjenesten Fiskehelse på BarentsWatch, med kartlag som er hjelpemiddel for biosikkerhet, slik som ILA- og PD-soner.



Figur 33: Skjerm dump fra tjenesten Fiskehelse hos BarentsWatch, og bruk av ruteplanleggeren «Egen rute».