

Rapport

SNAP i håndtering av lakselus

Utvikling av doserings- og distribusjonssystem for optimal eksponering av signalstoffet SNAP

Forfatter(e):

Robert Wolff, Ola Ween, Stine Steen, Ivar Gulla (Prophylaxia)

Rapportnummer:

2023:00662 - Åpen

Oppdragsgiver:

FHF – prosjektnummer 901509

Rapport

SNAP i håndtering av lakselus

Utvikling av doserings- og distribusjonssystem for optimal eksponering av signalstoffet SNAP

EMNEORD

SNAP, lakselus,
doseringssystem,
distribusjon,
strømningsforhold og
fettsyre

VERSJON

2

DATO

2023-08-10

FORFATTER(E)

Robert Wolff, Ola Ween, Stine Steen, Ivar Gulla (Prophylaxia)

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF – prosjektnummer 901509

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Roar Pedersen

PROSJEKTNUMMER

302004481

ANTALL SIDER

31

SAMMENDRAG

Prosjektets hovedmål var å utvikle og teste ut teknologi som doserer og distribuere signalstoffet SNAP slik at man oppnår optimal eksponering av biomassen. Dette skal bidra til forbedret effekt mot luseinfestasjon. Gjennom prosjektet ble det forsket frem en teknologi som tilførte SNAP automatisk til vannmassene. Tidligere ble SNAP tilført på en arbeidsintensiv og manuell måte, som utsatte driftsoperatørene for en viss risiko. SNAP er et signalstoff og er en forkortelse for Salmon Nest Appeasing Pheromone. Gjennom karforsøk med smolt er det dokumentert god effekt i å forebygge påslag av lakselus på fisken ved behandling med SNAP. I utprøving i sjøanlegg er det vist svært lovende observasjoner av at signalstoffet bidrar til å hindre påslag og etablering av lus på laksen. Teknologien tilfører SNAP når strømningsforholdene i merden er lavest mulig, noe som bidrar til optimal distribuering av SNAP på vannoverflaten. Systemet styres via et grafisk brukergrensesnitt via smarttelefon, og enkelt kan overvåkes av operatørene. Fullskallatester viser signifikant økt effekt knyttet til lavere antall bevegelige lus og voksne hunnlus ved bruk av ny teknologi sammenlignet med tidligere regimer for tilføring av SNAP.

UTARBEIDET AV

Robert Wolff

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Bendik Toldnes

SIGNATUR


Bendik Toldnes (Aug 16, 2023 15:26 GMT+2)

GODKJENT AV

Ana K. Carvajal

SIGNATUR


Ana Carvajal (Aug 23, 2023 11:35 GMT+2)

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2023-06-29	Første versjon til gjennomgang
2	2023-08-16	Kvalitetssikret

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG	5
1.1	Summary.....	5
2	INNLEDNING	7
2.1	Utfordringer knyttet til lakselus	7
2.2	SNAP – et naturlig virkestoff mot lakselus	8
2.3	Næringsnytte	8
2.4	Organisering	9
3	PROSJEKTMÅL	10
4	PROSJEKTGJENNOMFØRING	11
4.1	Vurdere analyser for verifikasjon av SNAP.....	11
4.1.1	Vurdering av kjemiske og fysikalske forhold	11
4.1.2	Verifikasjon av SNAP	11
4.1.3	Vurdering av hydrodynamiske forhold i merd	12
4.2	Utarbeidelse av kravspesifikasjon for teknologi	12
4.3	Bygging av pilot	12
4.4	Fullskala modellforsøk og uttesting av teknologi	12
4.5	Redesign og optimalisering	12
5	RESULTATER.....	13
5.1	Analyser for å verifisere virkning og effekt av SNAP	13
5.1.1	Kjemiske og fysikalske forhold	13
5.1.2	Karforsøk for å studere hvordan SNAP påvirker fisken	14
5.1.3	Hydrodynamiske forhold i merd	15
5.2	Kravspesifikasjon for teknologi.....	17
5.2.1.1	Forutsetninger og begrensninger	18
5.2.1.2	Teknisk kravspesifikasjon	18
5.2.2	Kartlegging og vurdering av tilgjengelig teknologi	18
5.2.3	Utarbeide P&ID – vurdering av HMS.....	19
5.2.4	Oppsummering og konklusjon.....	19
5.3	Bygging av pilot	19
5.3.1	Bygging av pilot.....	20
5.3.1.1	Automasjon og styring.....	20
5.3.2	Utprøving og funksjonstesting	20
5.3.3	Feilretting og redesign	21
5.3.4	Kostnader	21

5.4	Fullskalaforsøk.....	21
5.4.1	Uttesting av pilot i fullskala	22
5.4.2	Utprøving ved varierende skjerming.....	24
5.4.3	Fullskalatester – vurdering av distribusjonseffekt	24
5.4.3.1	Analyse av lusepåslag	24
5.4.4	Utprøving ved ulike strømningsforhold	25
5.5	Redesign og optimalisering.....	27
5.5.1	Utprøving av forbedrede teknologier	27
6	HOVEDFUNN	28
7	KONKLUSJON	29
8	LEVERANSER	30
9	REFERANSER	31

BILAG/VEDLEGG

1 SAMMENDRAG

Den franske forskningsinstitusjonen IRSEA har i nært samarbeid med Prophylaxia AS identifisert og isolert et naturlig feromon av marin opprinnelse, som de mener, både alene eller i kombinasjon med andre tiltak, kan bidra til å løse de store utfordringene som lakselus medfører for oppdrettsnæringen. Signalstoffet har fått betegnelsen **SNAP** og står for *Salmon Nest Appeasing Pheromone*. Virkestoffet i SNAP er den naturlige omega-7 fettsyren palmitolen (C16:1 n-7). Gjennom karforsøk med smolt er det dokumentert svært god effekt i å forebygge påslag av lakselus på fisken ved behandling med SNAP. I utprøving i sjøanlegg er det gjort svært lovende observasjoner av at signalstoffet bidrar til å hindre påslag og etablering av lus på laksen.

Hovedmålet i prosjektet har vært å utvikle og teste ut en ny doserings- og distribusjonsteknologi for gunstig tilførsel av signalstoffet SNAP. Den nye teknologien skal bidra til at SNAP tilføres vannmassene på en slik måte at biomassen eksponeres optimalt med signalstoff for å hindre påslag og etablering av lus på laks.

Tidligere teknologiløsning ga suboptimal eksponering av fisken og var svært arbeidsintensiv for operatørene. Den var lite fleksibel i og med at dosering måtte gjøres manuelt og når røkterne var fysisk til stede på merdkanten. SNAP kunne derfor bli tilført vannmassene på et tidspunkt der forholdene for spredning ikke var gunstige. SNAP er ikke blandbart med vann og har lavere tetthet enn vann. Dersom strømningsforholdene er ideelle, vil SNAP legge seg som en hinne på overflaten, og spre seg jevnt i hele merdens areal.

Den nye teknologiløsningen doserer SNAP når vannstrømmen i merdene er lavest mulig innenfor gitt tidsvindu. En strømningsensor ble koblet til styringsenheten for å gi signal om laveste hastighet i vannmassen. Dette ser ut til å sammenfalle ganske klart ved tidevannsvende, altså skiftet mellom flo og fjære. SNAP har best effekt når hver enkelt fisk blir eksponert for stoffet, noe den i større grad blir når den er i overflaten for å fylle svømmeblæren med luft og ved fôring. SNAP tilsettes derfor på dagtid når overflateaktiviteten er mest intens.

Selve styringen av det nyutviklede doserings- og distribusjonssystemet blir gjort via et grafisk brukergrensesnitt som er tilgjengeliggjort via smarttelefon. Dette gir viktig informasjon om flere parametere, blant annet strømningsforhold. Systemet kan varsle via appen om eventuelle feilmeldinger, operasjonssvikt på pumper og ventiler, mengde SNAP tilgjengelig i systemet, når dosering har funnet sted og hvor mye som er tilført.

Fullskalatesting hvor nytt doseringssystem ble sammenlignet med opprinnelig teknologi, gav signifikant lavere påslag av lus. I tillegg ble slimhelse på fisk analysert, og resultatene viser at laks som er eksponert for SNAP med ny teknologi hadde gunstigere slimhelse.

Prosjektet er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens Forskningsfinansiering (FHF, P.nr.: [901509](#)).

1.1 Summary

The French research institution IRSEA, in close collaboration with Prophylaxia AS, has identified and isolated a natural pheromone of marine origin, which they believe, either alone or in combination with other actions, can contribute to solving the major challenges that salmon sea lice bring to the farming industry. The semio-chemical has been given the abbreviation SNAP, which stands for Salmon Nest Appeasing Pheromone. The active ingredient in SNAP is the natural omega-7 fatty acid, palmitoleic acid (C16:1 n-7). Initial tests in smaller tubs with smolt have shown a very good effect in preventing the infestation of salmon lice on the fish when treated with SNAP. In trials performed in sea cage, very promising observations have been made in that the semio-chemical helps to prevent establishment of sea lice on salmon.

The main goal of the project has been to develop and test a new technology for the best possible dosage and distribution of the semio-chemical SNAP to prevent infestation and establishment of sea lice on salmon. The new technology will help to ensure that SNAP is supplied to the water bodies in such a way that the signal substance affects the biomass optimally to prevent infestation and establishment of sea lice on salmon.

The previous solution provided suboptimal exposure of the fish biomass and was labour intensive for the operators. It was inflexible in that dosing had to be done manually with the operators physically present at the sea cage. SNAP could therefore be added to the seawater at a time when the conditions for spreading were unfavourable. SNAP is immiscible with water and has a lower density compared to water. SNAP will therefore disperse on the surface, and under optimal conditions spread evenly over the entire area in the sea cage, if the flow conditions are ideal.

The new technology solution doses SNAP when the water flux through the cages is as low as possible within the predetermined time frame. A velocimeter was connected to the control unit to signal the lowest velocity in the seawater. This seems to coincide quite clearly with the turn of the tides, i.e., the transition between ebb and flow. SNAP is most effective when each fish is exposed to the substance, which happens to a greater extent when feeding is in progress and when the fish snaps for air on the surface. SNAP is therefore added during the day when surface activity is most intense.

The interaction with the newly developed dosing and distribution system is done via a graphical user interface (GUI) which is made available via smartphone. This provides important information on several parameters, including flow conditions. The system can notify via the app of any error messages, operational failure of pumps and valves, amount of SNAP available in the system, when dosing has taken place and how much SNAP has been added to the seawater.

Full-scale testing, where the new dosing system was compared with the original technology, produced significantly lower rates of sea lice infestation. In addition, the mucosal health of fish was analysed, and the results show that salmon exposed to SNAP with new technology had superior mucosal health.

This project is financed by Norwegian Seafood Research Fund (FHF, P.nr.: [901509](#)).

2 INNLEDNING

Prosjektet kom i stand som et svar på utlysningen fra FHF med tittelen *Testing og dokumentasjon av metoder og tiltak for forebygging av lakselus* som ble annonsert 12. februar 2018. SINTEF Ocean hadde på dette tidspunkt et pågående forprosjekt finansiert gjennom mobiliseringsmidler fra Møre og Romsdal Fylkeskommune, i samarbeid med Prophylaxia Holding AS. Partene benyttet da anledningen til å utarbeide et prosjektforslag som svar på utlysningen, og sendte inn prosjektskjema 16. mars i 2018. Prosjektets hovedmål ble utformet, og følgende ide ble utarbeidet:

Å utvikle og teste teknologi for optimal dosering og distribusjon av signalstoffet SNAP som skal hindre påslag og etablering av lus på laks i merd. Den innovative teknologien skal bidra til optimal dosering av SNAP og at stoffet tilføres og distribueres i vannmassene på en slik måte at signalstoffet påvirker fisken på en best mulig måte.

Prosjektet skulle frembringe en pilotteknologi for å distribuere SNAP i vannmassen på en måte som gav best mulig eksponering av biomasse i merden.

2.1 Utfordringer knyttet til lakselus

Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) er den vanligste parasitten på laksefisk. Den er hovedårsaken til at vi de siste årene har hatt ingen eller moderat vekst i biomasse av oppdrettsfisk, og til hinder for den veksten som både næringen selv og regjeringen ønsker (Sommerset et al. 2022). Bekjemping av lakselus er fremdeles en stor utfordring som påfører havbruksnæringen rundt 6-10 milliarder norske kroner i årlige ekstrakostnader og utsetter oppdrettsfisken for store dyrevelferdsutfordringer med høy dødelighet. I 2021 er det anslått at mer enn 50 millioner fisk døde i merdene i norsk oppdrettsnæring, et tall som ikke har endret seg nevneverdig de siste fem årene (ibid. over). Ifølge Sommerset et al. tilskrives dødeligheten i økende grad rutinemessig håndtering av fisk i forbindelse med medikamentfri behandling. Ifølge Havforskningsinstituttets «Risikorapport for fiskeoppdrett 2022» er gjennomsnittlig dødelighet hele 19 % de siste månedene med produksjon i sjø og før utslakting. Det er rapportert at dødeligheten i Sør-Norge fra Hustadvika og sørover er på rundt 25 % (Grefsrud et al. 2022). Veterinærinstituttet rapporterer omtrent 20 % dødelighet i samme område for 2022 (Sommerset et al. 2023).

En lang rekke strategier benyttes i dag som forebyggende tiltak for påslag av lus på fisk. Eksempelvis kan dette dreie seg om bruk av fysiske barrierer (luseskjørt), manipulering av svømmedybde og flytting av merder geografisk, vaksiner, og bruk av funksjonelt fôr. Ved påslag benyttes mer akutte metoder avhengig av utviklingsstadiet til lakselusa. Dette dreier seg for eksempel om kjemisk, mekanisk, og termisk avlusing og bruk av rensefisk (Guragain et al. 2021; Barrett et al. 2020). Preventive og akutte tiltak må ofte benyttes i kombinasjon for best effekt. Felles for alle typer tiltak er at de er kostnadsdrivende, påfører stress, gir redusert dyrevelferd og betydelig svekket fisk med kvalitetsforringelse eller økt dødelighet som resultat (Walde et al. 2022). Enn så lenge er det fysiske barrierer som luseskjørt og «snorkel»-teknologi som ser ut til å være mest de mest effektive, preventive tiltakene hvor en kan oppnå reduksjon av påslag opp mot 75 % (Geitung et al. 2019). Uttesting av oppdrett i helt lukkede merder kan gi tilnærmet lusefri fisk (Barrett et al. 2020). Men bruk av lukket merd er foreløpig lite utbredt. Det jobbes med målrettet avl for å få mer motstandsdyktig fisk og relativt nylig har man identifisert genetiske regioner og spesifikke gener i laks assosiert med resistens mot lus (Cáceres et al. 2021). Kombinert med målrettede endringer av gener på RNA-nivå, kan man sannsynligvis få en raskere utvikling av slike egenskaper i nær fremtid (Okoli et al. 2022). Men forskning antyder at konsumenter i mindre grad aksepterer slik manipulering og foretrekker «naturlige» metoder i oppdrett av fisk (Zheng et al. 2023). Det er derfor viktig å utforske alternativer muligheter som i minst mulig grad påvirker fisken, miljøet og drift.

2.2 SNAP – et naturlig virkestoff mot lakselus

Den franske forskningsinstitusjonen IRSEA (Research Institute for Semiochemistry and Advanced Applied Ethology) har i nært samarbeid med Prophylaxia AS identifisert og isolert et naturlig feromon av marin opprinnelse, som de mener, både alene eller i kombinasjon med andre tiltak, kan bidra til å løse de store utfordringene som lakselus medfører for oppdrettsnæringen. Signalstoffet har fått betegnelsen **SNAP** og står for *Salmon Nest Appeasing Pheromone*. Virkestoffet i SNAP er en naturlig omega-7 fettsyre som laksen blir introdusert for i klekkegropa når den klekker fra øyerogn til plommeseckklarve (Mobley et al. 2021).

Signalstoff (feromoner) er en godt kjent kjemisk kommunikasjonsform i nesten alle arter, fra enkle livsformer som bakterier, celler og insekter, til høyerestående dyr og mennesker (Wyatt 2017). I akvatiske miljøer er feromoner påvist som en effektiv kommunikasjonsform mellom fisk for å koordinere formering, lokalisere mat, oppfatte fare, redusere stress og en rekke andre mekanismer (Kamio, Yambe, and Fusetani 2022).

Feromonet er en naturlig del av laksens utvikling. SNAP tas opp via lukteepitelet hos plommeseckklarven og gjør at den føler seg trygg og komfortabel i nærheten av klekkegropa. Her får den effektivt prioritert energien i plommesecken til å vokse og utvikle seg, samtidig som den unngår å eksponere seg for predatorer. Feromonet forbedrer laksens evne til å tilpasse seg miljøet og reduserer de negative konsekvensene av stress. Ved å utsette laks for SNAP i voksen alder blir fisken positivt påvirket ved at den samme tryggheten oppleves. I følge IRSEA fører bruk av SNAP til redusert stress og bedre slimehelse, noe som igjen fører til mindre luseinfestasjon på fisken, da den ikke lenger oppleves som en god vert for lusa.

Gjennom karforsøk med smolt er det dokumentert god effekt i å forebygge påslag av lakselus på fisken ved behandling med SNAP. I videre utprøving i sjøanlegg er det gjort lovende observasjoner i å hindre påslag og etablering av lus på laksen. Smittepresset var varierende i første testperiode og det ble knyttet en del usikkerhetsmomenter til doserings- og distribusjonssystemet. For å kunne kvalitetssikre SNAP som et lovende alternativ, ble det gjennomført en fullskalltest på en lokalitet eksponert for lus og med varierende strømningsforhold (retnings- og styrkeendringer).

Aktiv komponent i SNAP er den én-umettede omega-7 fettsyren palmitolen (C16:1 n-7) (patentert av IRSEA) (Pageat 2021). SNAP er en væske ved temperatur over 10 °C og har gode fysiske flyteegenskaper som gjør den enkel å pumpe. Ved lave lavere temperaturer vil viskositeten øke, og vil etter hvert krystallisere og utfelling til fast fase. Fettsyren som benyttes i SNAP har sin opprinnelse fra ekstraksjon av fett og olje fra marine arter. Det er også mulig å fraksjonere ut fettsyren fra vegetabiliske kilder. SNAP er biologisk nedbrytbar og doseres ved bruk i svært små volum. Som de aller fleste lipider, er også SNAP upolart og derfor ikke særlig blandbar i vann. Tettheten er noe lavere enn for sjøvann, noe som bidrar til at SNAP flyter lett opp i vannmassene og legger seg som en hinne eller tynt sjikt på vannoverflaten. For best mulig tilførsel og distribusjon av substansen inne i merdene, må det forskes på, utvikles og testes en egnet doserings- og distribusjonsteknologi. Innholdsstoffene er vurdert av Mattilsynet og det er ingen tilbakeholdelsestid for slakt som følge av bruken av SNAP.

2.3 Næringsnytte

Bekjempelse av lakselus påfører oppdrettsnæringen årlige ekstrakostnader på om lag 10 milliarder kroner (Ingun Sommerset et al. 2022). Bruk av dagens tilgjengelige avlusningsmetoder påfører fisken høyt stressnivå, bidrar til forhøyet risiko for død og store utfordringer knyttet til fiskevelferden på både oppdretts- og villaks. Dagens teknologier for bekjempelse av lakselus som innbefatter blant annet utstrakt bruk av kjemikalier, bidrar i tillegg til at vannmassene eksponeres for store mengder kjemikalier med uheldige effekter blant annet i form av forstyrret skallsifte på en rekke skall- og krepsdyr.

Utprøving i sjø har vist sterke indikasjoner på at SNAP kan være et lovende preparat for å forebygge at bevegelig lus utvikler seg til voksne lus på fisken, og at substratet har et stort potensial og dermed kan være et nyttig verktøy i kampen mot lakselus. Etter hvert kan dette bidra til å gi rom for en økning i den totale produksjonsmassen av laksefisk som produseres langs kysten. Alternativet fremstår som både mer miljøvennlig og mer positiv for fiskevelferden. Bruk av SNAP er ikke arbeidsintensiv, og prosjektet viser at det ikke nødvendigvis medfører store kostnader knyttet til investeringer i stort og plasskrevende utstyr.

Bruk av signalstoffet kan ha store samfunnsmessige ringvirkninger. Først og fremst kan alternativet gi rom for at produksjon av laksefisk i åpne merder forblir et komparativt fortrinn i fremtiden, fremfor kostnads-krevende, landbasert produksjon i nye regioner. Dette vil kunne sikre viktige arbeidsplasser og bosetning langs kysten. I tillegg har alternativet potensiale til en betydelig økning i produsert biomasse uten at dette medfører tilsvarende økning i lakselus. En økning i biomasseproduksjonen vil føre til tilsvarende økning i samfunnsmessig verdiskaping og sikre velferd for sjømatnasjonen Norge.

Andre ringvirkninger i denne innovasjonen, er kravet til stabil og regulær produksjon og leveranse av signalstoffet SNAP. Dette vil bidra til å trygge kompetanseintensive arbeidsplasser langs kysten. Hovedingrediensen i SNAP er som beskrevet over, av marin opprinnelse, og krever prosess- og kjemiteknisk kompetanse å fremstille. Det er allerede etablert en viss produksjon av SNAP hos tilgjengelige produsenter i Norge. I tillegg kommer maskinteknisk kompetanse for produksjon og leveranse av den utviklede distribusjonsteknologien, noe som sikrer arbeidsplasser i leverandørleddet.

2.4 Organisering

Prosjektet ble ledet av SINTEF Ocean. SINTEF har bidratt med forsøksplanlegging, dokumentasjon av produksjon, logistikk for utstyr og hydrolysat, samt kjemiske analyser.

Prosjektgruppen har bestått av:

Fra SINTEF Ocean AS:

Robert Wolff - prosjektleder

Senior prosjektleder Leif Grimsmo

Seniorforsker Pascal Klebert

Forsker Bendik Toldnes

Forsker Cecilie Salomonsen

Fra Prophylaxia AS:

Forskningssjef Ivar Gulla

Daglig leder Øyvind Våge

Styrets leder Bjørn-Vegar Løvik.

I tillegg har Seniorforsker Ola Ween, forsker Andreas Austnes og MSc Stine Steen fra SINTEF Ålesund bidratt i gjennomføringen av prosjektet.

Referansegruppen besto av:

Lars Magne Haram - Hofseth Aqua AS

Jenny-Lisa Reed - Åkerblå AS

Fra FHF har Roar Pedersen vært fagansvarlig, i tillegg har Kjell Maroni også bidratt fra FHF sin side.

På FHF sine hjemmesider er mer informasjon om prosjektet tilgjengeliggjort, og FHF-prosjektnummer er [901509](#).

3 PROSJEKTMÅL

I prosjektbeskrivelsen ble følgende hovedmålsetning formulert.

Prosjektets hovedmål er å utvikle og teste ut teknologi for dosering og optimal distribusjon av signalstoffet SNAP som skal hindre påslag og etablering av lakselus på laks i merd.

Dette ble gjennomført med følgende delmål:

1. Gjennomføre forsøk for å verifisere om genekspresjon kan benyttes som metode for å sikre at fisken blir eksponert for SNAP
2. Utarbeide kravspesifikasjon for distribusjonsteknologien
3. Bygge pilot – klargjøring, sammenstilling og funksjonstesting
4. Gjennomføre fullskala modellforsøk og uttesting – teknologivurdering
5. Redesign og optimalisering

4 PROSJEKTGJENNOMFØRING

Prosjektarbeidet er organisert og gjennomført i seks arbeidspakker (AP1-6), hvorav fem (AP1-5) svarer til delmålene som er angitt i prosjektmål i kapittel 3 ovenfor. Prosjektledelse, herunder formidling og kommunikasjon, legges i egen arbeidspakke (AP6). Arbeidspakkene er angitt i prosjektbeskrivelsen.

I det etterfølgende er hver enkelt av de planlagte aktivitetene som skulle gjennomføres i prosjektperioden kommentert og metodisk presentert. Delkapitlene under følger i store trekk inndelingen i arbeidspakkene og tilhørende aktiviteter i prosjektbeskrivelsen.

4.1 Vurdere analyser for verifikasjon av SNAP

4.1.1 Vurdering av kjemiske og fysiske forhold

Fett danner emulsjon med vann når forholdene legger til rette for dette. Det ble vurdert som mulig løsning at spredning av SNAP ville bli mer effektiv ved å danne emulsjon ved å blande sjøvann og SNAP under sterk omrøring via pumpesystemet i teknologien som skulle utvikles. Emulsjon av fett og vann vil derimot gi en sterk blakket løsning og vil kunne danne en godt synlig melkeaktig sky i vannmassene. Dette kan oppfattes som visuell forurensing, og det ble i prosjektets innledende fase vurdert som ikke ønskelig. Innblanding i vannmassene via nytt system ble derfor bestemt å gjennomføres tilnærmet slik det ble gjort i opprinnelig og manuelt distribusjonssystem. Dette ville i tillegg gjøre sammenligningen mellom gammelt og ny teknologi mer verdifull.

Kjemisk analyse av fett ble vurdert som metode for å identifisere distribusjon av SNAP. Siden fettsyren som SNAP er basert på er spesifikk og ikke forekommer naturlig i sjøvann, ble det vurdert å benytte metode for ekstraksjon av fett, med påfølgende identifisering av fettsyren ved hjelp av fettsyresammensetning. Prøver fra ulike steder på overflaten inne i merden ville kunne indikere gunstig spredning av SNAP. Dette ble derimot forkastet som metode, da dette ble vurdert som for arbeidsintensivt og ville kunne medføre at man ikke kunne få tatt ut representative vannprøver i hele merdens areal.

4.1.2 Verifikasjon av SNAP

Selve utarbeidelsen og utviklingen av signalsubstansen SNAP er gjort av det franske forskningsinstituttet IRSEA, i tett dialog og samarbeid med Prophylaxia. IRSEA har identifisert feromonet som er frigjort under klekking av lakseegg. Tidligere forsøk i laboratorieskala og i fullskala, har vist at laks eksponert for feromonet øker sekresjon av slim hos fisken, og er bekreftet gjennom histologiske analyser.

Det ble i prosjektperioden gjennomført laboratorieforsøk av virkning av SNAP ved å analysere slimprøver på laks. Dette ble gjort av IRSEA ved bruk av metoder knyttet til biokjemiske og proteinrelaterte analyser.

Alternativ metode for å verifisere effekt av distribusjonssystemet for SNAP ble gjort ved å vurdere slimhelse og lusepåslag gjennom det pålagte regimet for lusetelling, som likevel måtte gjennomføres ved røkting. Skinnprøver av laksen ble sendt inn for å se på skinnhelse, og det ble benyttet utviklede metoder fra selskapet [Quantidoc](https://www.quantidoc.no/solution) til dette arbeidet. Quantidoc har utviklet og registrert analysemetoden for skinnhelsekartlegging og har merkevareregistrert dette gjennom Veribarr™¹. Metoden



Figur 1 IRSEA gjennomfører forsøk hos Prophylaxia sine lokaler på Daugstad i Vestnes.

¹ <https://www.quantidoc.no/solution>

går i korte trekk ut på å analysere, kartlegge og overvåke laksens immunforsvar gjennom tilstanden til skinn- og slimhelsen, og som dermed sier noe om forsvarsevnen til laksen mot sykdommer.

4.1.3 Vurdering av hydrodynamiske forhold i merd

De hydrodynamiske forholdene, altså hvordan strømningsforholdene i vannmassene inne i merdene forholder seg, ble benyttet som verktøy og vurdering for å se på hvordan SNAP vil distribueres. SINTEF har tidligere studert slike strømningsforhold internt i merdene, blant annet for å se på hvordan alger spres i vannmassene.

4.2 Utarbeidelse av kravspesifikasjon for teknologi

Kartlegging av eksisterende teknologi med mulig overføringsverdi ble gjennomført, samtidig med utarbeidelse av design- og kravspesifikasjon av den nye teknologien. Kjent produktutviklingsmetodikk og -verktøy ble benyttet i kartlegging og identifisering av aktuell teknologi. Utarbeidelse av visuelle illustrasjoner og modeller ble benyttet for å vurdere plassering og antall nødvendige enheter av teknologien. (Se kapittel 5.2.)

Kjemiske karakteriseringer og betraktninger av signalstoffet SNAP ble gjennomgått for å sikre at materialer som benyttes i teknologien er kjemisk bestandige mot SNAP. Operasjonelle parametere ble hensyntatt. Kjemiske og fysiske parametere som blant annet polaritet, tetthet og smeltepunkt ble benyttet for å sikre god tilføring og distribusjon av SNAP til vannmassene.

Utarbeidelse av nødvendige tekniske rør- og instrumenteringsdiagrammer (P&ID-skjema) for trygg og sikker håndtering av tilførsel av SNAP i merd, samt kommunikasjon med mulige teknologileverandører, ble gjennomført. HAZOP-analyse ble gjennomført på endelig teknologi.

Under utarbeidelsen av dosering- og distribusjonsteknologien, er hensyn til helse, miljø og sikkerhet særlig vektlagt for å sikre trygghet for operatører. Dette gjaldt spesielt utforming og plassering av teknologien på merdkanten. Enheten skulle på ingen måte være til hinder for daglige driftsoperasjoner. Av samme grunn ble også kravet om at enheten skulle styres automatisk, samtidig som at styring og overvåking lett kunne betjenes desentralisert via grafisk brukergrensesnitt, tillagt stor vekt.

4.3 Bygging av pilot

Etter vurdering av teknologileverandører og foreslåtte løsninger, ble leverandører valgt og pilot produsert. Pilot ble testet over tid for å vurdere egnethet, ytelse og kapasitet. Plassering av enheten og tilpassing er svært viktig for å tilfredsstille nødvendige HMS-krav.

4.4 Fullskala modellforsøk og uttesting av teknologi

Fullskala forsøk av ny teknologi ble gjennomført. Forsøksdesign og oppsett ble utarbeidet. Uttestingen hensyntok parametere som operasjonell egnethet av teknologi for driftsoperatører (HMS-forhold), utprøving ved ulike strømningsforhold og varierende skjørtedybde. Tilbakemeldinger om egnethet ble innhentet ved samtale med operatører etter en tids drift. Tilbakemeldinger ble hensyntatt i utvikling av neste generasjon distribusjonssystem.

Under fullskalatesting ble effektiv distribusjon av SNAP vurdert ved å benytte lusetelling og analyse fra slimhinneprøver.

4.5 Redesign og optimalisering

Basert på vurdering etter fullskalaforsøk ble endringer vurdert og det ble gjennomført redesign av teknologi, for å optimalisere ytelse og håndtering av tilførsel av SNAP.

5 RESULTATER

I det etterfølgende er prosjekresultater presentert. De ulike resultatene som kommer frem, svarer i stor grad til de arbeidspakkene med tilhørende aktiviteter som ble planlagt og skissert i prosjektbeskrivelsen. Hvert delkapittel svarer derfor til respektive arbeidspakker. Delkapittel 5.1 omhandler av den grunn arbeidspakke 1, osv.

5.1 Analyser for å verifisere virkning og effekt av SNAP

Det ble tidlig klart at klassiske vannkjemiske analyser som å ta ut et gitt antall representative prøver fra vannmassene for å vurdere spredning av SNAP ikke var hensiktsmessig. Det er flere grunner til at metoden ble forkastet. Prøvetaking ville tatt svært mye tid, det ville vært vanskelig å sikre samtidighet under prøvetaking og dermed tilstrekkelig representative prøver i vannsøylen over hele merdens areal. I tillegg ville dette binde opp store ressurser og tid for flere operatører, unødige opphold i merd ved bruk av båt, og en større risiko knyttet til HMS.

Alternative metoder for å analysere effekt av SNAP ble derfor benyttet. Under uttesting i fullskala (se 5.4) ble det forskriftsmessige regimet for registrering av lus benyttet, og klassisk registrering av antall bevegelige og fastsittende lus ble telt for å bestemme effekt. Lusetelling følger forskriftsmessige krav om at minimum 20 fisk fra hver merd håndteres. I tillegg ble det tatt ut skinnprøver fra hver enkelt fisk og sjekket slimhelse. Hver fisk ble nummerert for å sikre at slimhelse kan knyttes til eventuelt lusepåslag på hver enkelt fisk. Dette er nærmere beskrevet i resultatdelen fra fullskalatestingen i kapittel 5.4.

Klassiske vannkjemianalyser ble vurdert som lite realiserbart og uegnet, og metoden ble derfor forkastet som uhensiktsmessig å gjennomføre. Derfor ble sekundære effekter av SNAP-spredningen som påslag av lus (lusetelling) og slimhelse (analyse av skinnprøver) benyttet.

5.1.1 Kjemiske og fysiske forhold

Signalsubstansen SNAP skal tilføres vannmassene på en mest mulig hensiktsmessig måte slik at substansen fordeles jevnt over hele vannspeilet inne i merdene. Dette vil bidra til at fisken, når den spiser eller på andre måter bryter vannspeilet (for å snappe luft), blir eksponert for SNAP, og at uansett hvor i merden dette finner sted så er sannsynligheten for maksimal eksponering stor.

Under arbeidet med prosjektutformingen ble det foreslått at en egnet strategi for å tilføre SNAP kunne være å etablere en emulsjon, en blanding av fett og vann. Dette skulle gjøres ved å pumpe SNAP direkte inn i sjøvannsstrømmen, deretter via en statisk mikser for å etablere emulsjonen og videre ut til vannmassene via en høytrykksdyse. Det ble tidlig avklart i prosjektets første fase at dette ikke er en egnet metode. Blant annet ble det gjort grundige vurderinger om bruk av spesielle dyser til formålet som en del av dette. Etter en del intern diskusjon i prosjektgruppen og i tett samarbeid med teknologileverandør, ble det funnet at dette ikke var hensiktsmessig. Valgt teknologileverandør har lang erfaring med utforming av dyser. Deres erfaring tilsa at tilføring av væske via dyse direkte i vannmassene hadde liten eller ingen effekt for spredning. Det ble derfor besluttet å benytte allerede velprøvd metode fra det etablerte manuelle doseringssystemet. Dette sikret også at man i større grad kunne sammenligne ny teknologi opp mot etablerte doseringssystem. Dersom man ville oppnå emulsjon mellom SNAP og sjøvann, ville dette medføre langt høyere trykkbelastning i rør- og slangesystemer, og større risiko for havari på utstyret. I tillegg ville dette også medføre en uklar, melkeaktig "sky" av emulsjon i merden, noe som kunne oppleves som forurensing for omgivelsene. Dette var ikke ønskelig. Valget av teknologi henger også sammen med denne vurderingen og er knyttet opp til teknologitvilling gjennomført i arbeidspakke 2.

Alternativ metode for effektiv spredning av SNAP ble fremsatt, under vurdering av hydrodynamiske forhold. Dette er nærmere beskrevet i 5.1.3.

Konklusjonen er, sett opp mot kravspesifikasjonen, at bruk av dyser for å tilføre SNAP som emulsjon i vannmassene ikke øker effekten og derfor ikke er ønskelig.

5.1.2 Karforsøk for å studere hvordan SNAP påvirker fisken

Det ble innledningsvis gjennomført enkle modellforsøk i kar med smolt for å vurdere effekt og påvirkning av SNAP på laksen. Høsten 2019 gjennomførte IRSEA test ved Prophylaxia sitt testanlegg på Daugstad. Tidligere forsøk har vist at doseringsvolum tilsvarende en konsentrasjon av SNAP på 0,6 ppm i vannmassene, er tilstrekkelig som engangseksponering for å trigge en umiddelbar respons. Doseringskonsentrasjon på 0,6 ppm er knyttet til laveste effektive dose fra karforsøk. Normalt vil man dosere for en konsentrasjon som ligger godt over denne doseringen. I merd doseres det ved å beregne en konsentrasjon tilsvarende 3 ppm for den øverste halvmeter av merden.

Denne delen av studiet er utarbeidet av IRSEA, og resultatene er inkludert i en egen internrapport: «SEA-43 Study of the mechanisms of action of SNAP (Salmon Nest Appeasing Pheromone) on the Atlantic salmon (*Salmo Salar*) in a controlled trial». Innholdet er konfidensielt og vil ikke publiseres i sin helhet her. En oppsummering er derimot gitt i det følgende.

Enkle karforsøk ble gjennomført over seks dager med to hovedgrupper av fisk; en kontrollgruppe uten tilsatt SNAP, og en gruppe fisk utsatt for SNAP. Begge gruppene bestod av 12 fisk. Det ble planlagt for prøveuttak til analyser av:

- 1) Biokjemiske parametere (slim og blodprøver).
- 2) Histologi (skinnprøver).
- 3) mRNA prøver til genekspresjonsanalyser (skinn, gjelle og svelg).

Histologianalyser og genekspresjonsanalyser basert på isolert mRNA ble ikke gjennomført som planlagt grunnet uforutsett høy prisforlangende hos underleverandøren til IRSEA.

Det ble gjennomført analyser i form av spesifikke, biokjemiske assays (se Tabell 1) og i form av hurtigtest, som tillater screening av et større utvalg av enzymer (se Tabell 2). Ved opplevd stress vil fiskens fysiologiske reaksjon typisk kunne måles som endringer i slimsammensetning. Effekt av SNAP på den overordnede helsen i laks ble derfor undersøkt ved å se på proteinmarkører i slimprøver. Endringer i proteininnhold (total protein) er en mye benyttet indikator på stressnivå (Salinas 2015). Videre er hormonet kortisol en mye benyttet proteinmarkør fordi det har en sentral rolle i organismers stressrespons (Fast et al. 2008). Utover dette kan forskjellige typer enzymaktivitet knyttet opp mot immunforsvar og stressrespons benyttes som proteinmarkører (Ross et al. 2000). Analyser av slike enzymer skiller imidlertid ikke mellom fiskens egne enzymer og enzymer produsert av naturlig tilstedeværende mikroorganismer.

Tabell 1. Effekt på utvalgte biokjemiske parametere etter behandling med SNAP i 0, 1, 3 og 6 timer.

Parameter	Effekt
Plasmakortisol	Ingen signifikant effekt
Slimhinne - totalt protein	Ingen signifikant effekt
Alkalisk fosfatase	Ingen signifikant effekt
Peroksidase	Ingen signifikant effekt
Beta-galaktosidase	Ingen signifikant effekt

Tabell 2. Enzymaktivitet undersøkt ved bruk av hurtigtest AP-ZYM gallery (Biomérieux).

Enzym	Effekt
Temoin	Ingen signifikant effekt
Alkalisk fosfatase	Ingen signifikant effekt
Esterase	Ingen signifikant effekt
Estérase Lipase	Ingen signifikant effekt
Lipase	Ingen signifikant effekt
Leucine arylamidase	Ingen signifikant effekt
Valine Arylamidase	Ingen signifikant effekt

Enzym	Effekt
Cystine Arylamidase	Ingen signifikant effekt
Trypsine	Ingen signifikant effekt
α -chymotrypsine	Ingen signifikant effekt
Phosphatase acide	Ingen signifikant effekt
Naphtol-AS-BI-phosphohydrolase	Ingen signifikant effekt
α -galactosidase	Ingen signifikant effekt
β -galactosidase	Ingen signifikant effekt
β -glucuronidase	Ingen signifikant effekt
α -glucosidase	Ingen signifikant effekt
β -glucosidase	Ingen signifikant effekt
N-acétyl- β -glucosaminidase	Ingen signifikant effekt
α -mannosidase	Ingen signifikant effekt
α -fucosidase	Ingen signifikant effekt

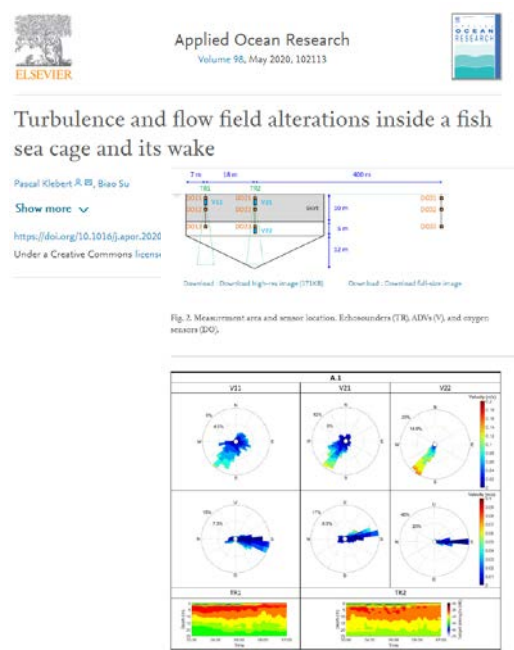
Genekspresjonsanalyser ville antakeligvis kunne gitt et svar på eventuell påvirkning av laksespesifikke gener assosiert med immunrespons før og etter behandling med SNAP.

Konklusjon etter statistisk evaluering av analysene viser at det ikke er signifikante forskjeller på markørene i behandlet og ubehandlet fisk. Dette kan tolkes positivt i form av at SNAP ikke påvirker stressmarkører i slim på fisken. Det er viktig å skjønne at det ikke skilles mellom fiskens egne enzym og enzymaktivitet fra tilstedeværende mikroorganismer i disse analysene.

5.1.3 Hydrodynamiske forhold i merd

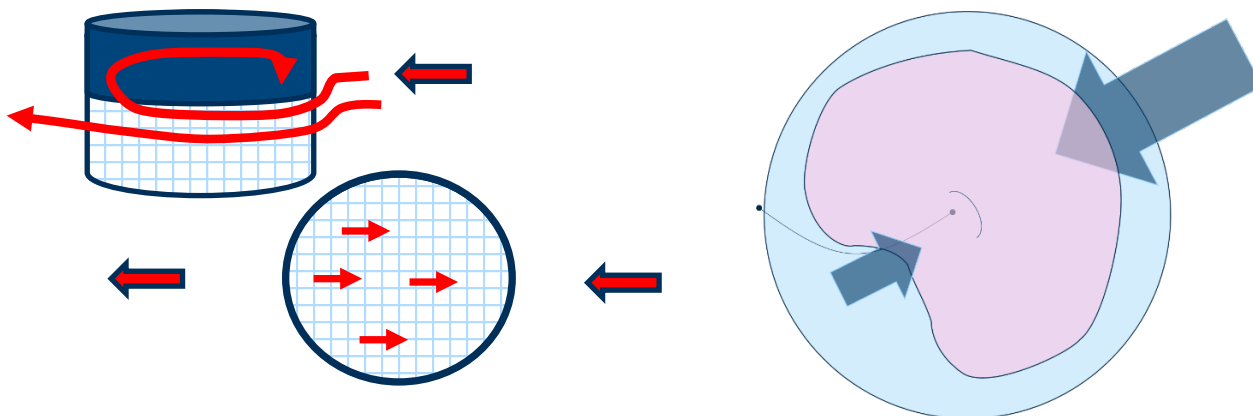
For å vurdere hvordan SNAP distribueres i vannmassene, skulle det gjennomføres enkle laboratorietester og etablerte strømningsmodeller for optimal tilførsel og distribusjon skulle studeres. Laboratorietester er i løpet av prosjektperioden vurdert, men ble tonet ned. Det ble i stedet benyttet eksisterende analyser av strømningsmodeller som SINTEF Ocean har studert gjennom sin forskning på dette området. Seniorforsker Pascal Klebert ved SINTEF Ocean har bidratt i dette arbeidet (Figur 2). Hans forskning omfatter blant annet studier på interaksjonene mellom miljøvariabler (strømmer, bølger og oksygen) og fiskevelferd i merder og kar, i ulike romlige skalaer. Han har studert de ulike turbulensskalaene som genereres av disse interaksjonene og hvordan det påvirker patogenfordelingen i fiskens miljø. Dette arbeidet omfatter in-situ studier (laboratorie-/feltmålinger) samt simuleringer. Denne kunnskapen har vært et viktig bidrag til gjennomføringen av prosjektet. I prosjektet har strømningsforhold blitt diskutert grundig. Dette var viktig grunnlag for å vurdere utviklingen av distribusjonssystemet og den endelige teknologiløsningen.

For optimal distribusjon er det ønskelig å tilføre SNAP i vannmassen når strømningsforholdene er mest mulig optimale, dvs. hvor strømningsvektoren er minst mulig og har en retning som ikke bidrar til avdrift av SNAP. Ved internt tilbakeslag av vannmassene (se illustrasjon i Figur 3) vil strømmen kunne føre til at vannmassene presses vertikalt nedover, og, i ytterste konsekvens, at den følger vannstrømmen ut av merden med SNAP.



Figur 2 Illustrasjon av arbeid om strømnings-forhold i merd som SINTEF har gjennomført.

Siden SNAP har lavere densitet enn sjøvann og i tillegg er upolart, vil det bare i svært liten grad blandes med vannmassene, men heller flyte mot overflaten, hvor det danner et tynt sjikt. Forskjellen i overflatespenning mellom fett og vann bidrar til at dette tynne sjiktet etableres og at SNAP spres over hele merdens tilgjengelige overflateareal. En slik spredning vil være væravhengig og effekten vil bli påvirket dersom strømningsforholdene er ugunstige; ved kraftig vind og høye bølger.



Figur 3 Illustrasjon av vannstrømmer utarbeidet for diskusjon og vurdering av doserings- og distribusjonssystemet. Ved bruk av skjørt viser målinger at man får intern "motstrøm" inne i merd.

Det er utarbeidet flere illustrasjoner og presentasjoner i prosjektperioden som har blitt benyttet i diskusjoner, som grunnlag for teknisk spesifikasjon og senere ved utarbeiding av egnet distribusjons- og doseringsteknologi. Dette er derimot utelatt i denne rapporten.

Som et tiltak for å redusere påslag av lus er det i dag utstrakt bruk av skjørt i oppdrettsnæringen. Dette er også tilfelle for Prophylaxia, men det benyttes en noe lavere skjørte høyde enn det som er normalt. I dette prosjektet er det blitt benyttet skjørt med 3,8 meters dybde. Bruk av skjørt vil bidra til endrede strømningsforhold i vannmassene i merdene. Tidligere studier som SINTEF har gjort (se Figur 2 over) viser at en kan få en form for tilbakeslag; at vannmassen vil gå i motsatt retning av vannstrømmen som kommer mot merden. Dette er enkelt illustrert i Figur 3 over. For eventuelt å motvirke dette strømningsforholdet, ble det vurdert om retningsbestemte dyser for dosering skulle benyttes. En intern undervanns "værhane" ble vurdert og skulle bidra til å snu doseringsdysen opp mot vannstrømmen. Den senere valgte teknologileverandøren er spesialist på dyser og mente konseptet måtte forkastes.

Flere faktorer påvirker strømningsforholdene. Tidevann er en faktor. Etter diskusjon og vurdering i prosjektgruppen ble ideen om å tilsette SNAP ved tidevannssvende, altså ved flo eller fjære, framsatt. Hypotesen er at strømmen i sjøen er lavest ved høy- eller lavvann, og det dermed mest gunstig å tilsette SNAP når dette inntreffer. Dette kunne styres på to måter:

- Ved å koble systemet opp mot tidevannstabell
- Måle strømningsforholdene ved hjelp av strømningsensor

Å koble opp mot tidevanntabell ansees som for usikkert, bl.a. siden andre faktorer også påvirker strømningsforholdene. Det ble derfor raskt forkastet som et alternativ. Det ble derfor besluttet innkjøpt en måler av type Vector 300 levert av Nortek (Se Figur 4). Dette er en mye benyttet sensor innen forskning, og sensoren kan måle strømnings-retninger både horisontalt og vertikalt i vannmassene.

Det ble på bakgrunn av dette fremsatt følgende hypotese:

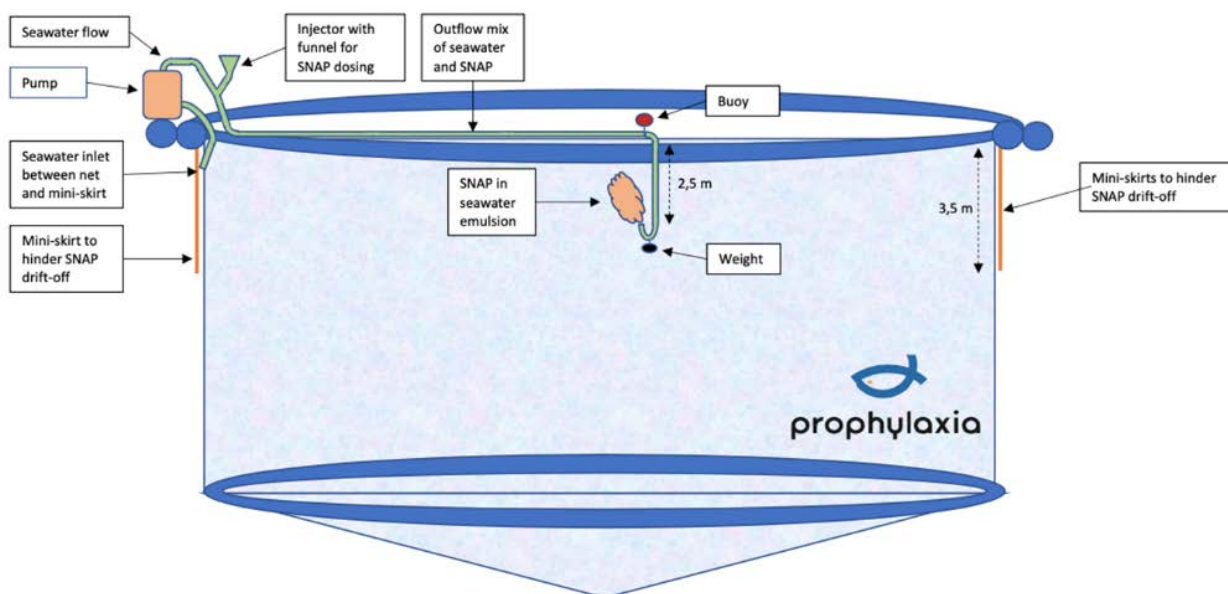
Høyeste aktivering av biomassen oppnås når SNAP tilsettes vann-massene når fluks er lav, ved flo eller fjære, altså når strømnings-hastigheten er tilnærmet lik 0.



Figur 4 Strømningsensor type Vector 300 fra Nortek. Lenke [her](#).

5.2 Kravspesifikasjon for teknologi

Tilsettingsregime for SNAP, knyttet til doseringsmengde og -frekvens, har IRSEA og Prophylaxia tidligere studert. Selve doseringsprinsippet er at SNAP tilsettes som en blanding sammen med sjøvann. En dykkpumpe ble benyttet for å pumpe sjøvann gjennom et rør, hvor SNAP deretter ble tilført via en trakt og inn i røret for sjøvannsmassene gjennom et T-stykke. SNAP ble tilført på 2,5 meters dyp. Doseringvolum og -tid ble hensyntatt i utarbeidelsen av teknisk spesifikasjon. Prinsippskisse er angitt i Figur 5.



Figur 5 Illustrasjon av manuelt doserings- og distribusjonssystem som ble benyttet i en tidlig fase.

Doseringsutstyret som ble benyttet i en tidlig versjon, var på mange måter svært lite hensiktsmessig (Se Figur 6). Operasjonen var svært manuell, inneholdt flere arbeidsintensive arbeidsoperasjoner og medførte dermed økt risiko for røkter knyttet til arbeid på merd. I tillegg var dette begrensende i den forstand at SNAP måtte tilføres ved røkting, dvs. når ellers samtidige operasjoner ble utført i forbindelse med fôring. I dette regimet kunne ikke tilføring av SNAP hensynta ugunstige strømnings- eller værforhold. Dette kunne i perioder medføre økt forbruk av signalstoffet.



Figur 6 Bildet viser hvordan SNAP ble dosert i en tidlig manuell løsning.
Foto: Robert Wolff – SINTEF.

Det er i prosjektet gjennomført en kartlegging og vurdering av mulig tilgjengelige teknologier som kunne ha bruks- og overføringsverdi i utviklingen av den nye teknologien. Det ble konkludert at slik teknologi ikke finnes på markedet i dag. Teknologien er unik og har en kompleksitet som krever at den skreddersys og utvikles fra bunnen.

Under utforming og tilpasning av det nye doseringssystemet ble standarden NYTEK – NS9415:2009 hensyntatt.

Design- og teknisk kravspesifikasjon (TK) ble utarbeidet tidlig i prosjektet. Følgende kan stå som eksempel på det som ble drøftet i denne prosjektfasen:

Distribusjonssystemet bør være enklest mulig for prototypen. Prophylaxia ønsker kun et enkelt og driftssikkert system som skal sikre dosering f.eks. hver andre dag. Ønsker ikke å ta høyde for tidevann og endring av strømretning i første prototype, satser heller på kort doseringsintervall (f.eks. hver 2. dag). Ønsker i utgangspunktet å kjøre samme doseringsintervall hele året.

Som tidligere angitt og beskrevet i kapittel 5.1.3 ovenfor, ble nettopp strømningsforhold og tidevann likevel hensyntatt gitt nye vurderinger i løpet av prosjektperioden og utarbeidelsen av TK.

5.2.1.1 Forutsetninger og begrensninger

For videre utvikling av TK ble følgende forutsetninger og begrensninger lagt til grunn:

- Metode for effektmåling av SNAP og om fisken er tilstrekkelig eksponert er utviklet og implementert for å kunne vurdere ytelse av doseringsenheten.
- Lokale variasjoner og forhold må hensyntas. Forhold som strøm, vær- og vindforhold (eksponert, delvis eksponert eller beskyttet), temperatur, salinitet og normale sesongvariasjoner må vurderes ved doseringsfrekvens og -volum. Dette gjøres for hver enkelt lokalitet og er ikke innebygget automatisk i systemet.
- Type dosering: SNAP skal være i flytende form, og ingen bæresubstanser eller andre tilsetningsmidler er brukt.
- Materialer i merd, utstyr og båter, samt omgivelser, skal ikke reagere på SNAP (godkjent som næringsmiddel og naturlig opprinnelse)
- Strømtilkobling må være tilgjengelig på merdkant.

5.2.1.2 Teknisk kravspesifikasjon

Basert på kommunikasjon med Prophylaxia og funksjonsbeskrivelsen er det utarbeidet en teknisk kravspesifikasjon for systemet. Spesifikasjonen er listet opp punktvis, og gir beskrivelse av krav til systemet, entydige og målbare verdier (såfremt mulig) for oppfyllelse av det enkelte krav, samt vurdering av hvor viktig kravet er; altså hvorvidt dette er *skal*, *bør* eller *kan* (*kjekt å ha*) oppfylles.

Krav til systemet er inndelt slik:

- Overordnede krav
- Funksjonskrav
- Operasjonelle krav (drift, vedlikehold, pålitelighet og sikkerhet)
- Omgivelseskrav
- Brukerkrav/designkrav
- Kostnadskrav
- Dokumentasjonskrav

Tre teknologiselskaper ble kontaktet for å diskutere utforming og løsning basert på den teknologispesifikasjonen som ble utformet.

5.2.2 Kartlegging og vurdering av tilgjengelig teknologi

Det ble gjennomført en kartlegging av relevante teknologier for, om mulig, å få overføringsverdi. Det finnes ikke noe tilgjengelig på markedet i dag som tilfredsstiller kravene til systemet. Distribusjonsteknologien måtte derfor utarbeides fra bunnen av. Tre leverandører viste interesse for løsningen, og det ble gjennomført dialogmøter med alle de involverte. Diskusjoner og tilbakemeldinger i dialogen med teknologileverandører i denne fasen bidro til nye vurderinger, ytterligere forbedringer og utvikling av løsningen.

Basert på arbeidet knyttet til utvikling av teknisk kravspesifikasjon og diskusjoner med bruker og teknologi-leverandører, ble det konkludert med at den mest hensiktsmessige doserings- og distribusjonsteknologien er små og kompakte anlegg som knyttes til én enkelt merd. Det er også mulig å lage en større enhet som kan forsyne SNAP til hver enkelt merd. Teknologien er skalerbar. Dette må vurderes der dette er hensiktsmessig. En større enhet vil kunne få totale enhetskostnader ned, men vil også være mer komplisert med tanke på individuell tilpasning for dosering av SNAP til hver merd.

Etter en grundig vurdering ble HL.Skjong AS valgt som systemleverandør.

5.2.3 Utarbeide P&ID – vurdering av HMS

Ulike flytskjema ble utarbeidet, vurdert og drøftet i prosjektgruppen og senere med utvalgte teknologi-leverandører.

For å tilfredsstille de strenge HMS-kravene, blant annet knyttet til NYTEK-ordningen, var dette en viktig del av prosjektet. Viktige krav til teknologien var blant annet lett betjening, få manuelle operasjoner knyttet til driftsfasen, kompakt anlegg og fysisk størrelse som ikke kunne komme i konflikt med andre nødvendige installasjoner og driftsoperasjoner knyttet til røkting generelt.

5.2.4 Oppsummering og konklusjon

Det er utarbeidet eget prosjektnotat som omhandler utarbeiding av teknisk kravspesifikasjon mer i detalj. Dette er ikke presentert i denne sluttrapporten.

Doserings- og distribusjonssystemet ble konstruert og tilpasset for å dosere SNAP til en enkelt merd per enhet. Dette gjør anlegget kompakt, fleksibelt og lett å vedlikeholde. Prinsippet er likevel skalerbart, og det er mulig å lage ett stort anlegg som kan forsyne flere merder på samme tid.

5.3 Bygging av pilot

Som nevnt i 5.2.2 ble HL.Skjong AS valgt som systemleverandør. Det ble gjennomført en rekke møter og utviklingsarbeid i fasen frem til ferdigstilling av pilotenhet. TK utarbeidet i AP2 og beskrevet i kapittel 5.2.1.2 ovenfor, ble styrende i utviklingen.

Det er utarbeidet egen dokumentasjon av teknologien. Dette er ikke vedlagt i denne rapporten, men vil eventuelt kunne bli tilgjengeliggjort på forespørsel til HL. Skjong. I Figur 7 under er ferdig enhet vist.



Figur 7 Ferdigstilt distribusjonssystem. Alle ventiler, pumpesystemer og styring er innlemmet i en kompakt enhet. Foto: CCS AS/HL.Skjong AS.

5.3.1 Bygging av pilot

Utforming, sammenstilling og klargjøring av distribusjonsteknologi ble gjort ved HL.Skjong AS sitt verksted utenfor Ski i Viken.

5.3.1.1 Automasjon og styring

Som nevnt ble tilsetting og dosering av SNAP foreslått styrt og koblet opp mot måling av strømningshastighet i sjøen. Strømningssensor fra Nortek, Vector 300, ble benyttet til dette formålet (se Figur 8). Signaler ble overført og brukt i styringssystemet, og maksimal strømningshastighet for dosering i sjø ble bestemt til 2 m/s. I tillegg var det ønskelig å tilsette SNAP på dagtid, normalt knyttet til fôring. Fôring startet normalt tidlig om morgenen i tilknytning til røkting, og det ble derfor satt inn i automasjonssystemet at tilføring av SNAP normalt skulle gjennomføres i tidsrommet 0800 – 1600. Dersom strømningshastigheten i dette tidsrommet oversteg angitte maksimale hastighet, ble SMS sendt via system til røkter, som eventuelt kunne dosere manuelt. Alt ble styrt via en egen app som ble tilgjengeliggjort via smarttelefon. I prosjektet ble det utviklet et eget grafisk brukergrensesnitt (GUI), som gjør det mulig for brukeren å samhandle med teknologien via anordninger som tastatur, datamus, datapenn og lignende. Mer om dette i kapittel 5.4.3 nedenfor.



Figur 8 Strømningssensor fra Nortek Vector 300. Les mer [her](#).

Arbeidet med utvikling og tilpasning av automatisering er gjort av Clean Control Systems AS (CCS), som er et datterselskap av HL.Skjong AS. Resultater fra dette er vist i kapittel 5.4 nedenfor.

5.3.2 Utprøving og funksjonstesting

Uttesting av pilotenhet i aktuelt miljø for å teste og vurdere egnethet, ytelse og kapasitet ble gjennomført. Plassering av enheten og tilpassing vil være svært viktig for bruker. Dette ble derfor vurdert og HMS ble spesielt hensyntatt. Enheten ble utformet på en slik måte at tilkomst for eventuell inspeksjon, vedlikehold og etterfylling av SNAP var enkel. I tillegg ble enheten plassert slik at operatører ikke ble hindret i fri ferdsel på gangbanen langs merdkanten. I Figur 9 under vises den ferdige enheten plassert på merden. Enheten er her plassert i nærheten av en fôringsautomat, noe som gjør at eventuelle operasjoner som må utføres av driftsoperatører og -teknikere i tilknytning til tilsyn og vedlikehold, kan gjøres samtidig.



Figur 9 Plassering av pilot på merdkanten. Kompakt og lett tilgjengelig, uten store utfordringer knyttet til sikker ferdsel. Fôringsautomat skimtes til høyre i bildet. Foto: Robert Wolff – SINTEF.

Selve doseringen av SNAP skjer på 2,5 meters dyp (se illustrasjon i Figur 5). Dette er på samme dybde som strømningssensor Nortek Vector 300 er plassert.

5.3.3 Feilretting og redesign

Vurdering av operasjonelle parametere som ytelse og egnethet ble gjennomført over tid. Det ble i oppstarten oppdaget en rekke utfordringer knyttet til operasjon av enheten. Spesielt ble pumpesystemet gjennomgått. Det ble også oppdaget noe lekkasje av SNAP gjennom systemet. Dette viste seg å være forårsaket av feil i pakningsmaterialet som ble benyttet. Det viste seg at pakningene brukt på rørene og i huset på tilbakeslagsventilen som ble benyttet ikke tilfredsstilte kravene til kjemisk påvirkning fra SNAP. SNAP er basert på såkalte etyliserte fettstoffer (kjemisk endring av naturlige fettsyrer), og det er kjent at dette kan påvirke ulike polymertyper. Noen andre endringer ble også implementert før enhet nummer to ble bestilt til uttesting av fullskala operasjon.

Det ble også lagt inn betydelige endringer i grafisk grensesnitt. Videre ble det gjort endringer i automasjonssystemet med parameterstyring for blant annet tidspunkt for tilføring av SNAP og oppløsning knyttet til målefrekvens fra strømningsfrekvenser.

Strømningsmåleren Nortek Vector 300 har i konfigurasjonen som ble benyttet i dette prosjektet bare mulighet for å sende signaler via kabel til én doseringsenhet. Det er mulighet for å overføre signaler til flere enheter, men dette krever et helt annet oppsett og at målinger sendes via telenettet.

5.3.4 Kostnader

Utviklingskostnader er høye når man utvikler ny teknologi helt fra bunnen av. Største enkeltkostnad for deler knyttet til teknologien ligger i strømningsensor. Denne beløper seg til nærmere NOK 100 000,-. Utvikling av automasjonssystem og tilpasninger er også store i denne første utgaven. Totalt anslår vi at kostnadene for denne piloten er ca. NOK 400 000,- bare i innkjøpte deler og sammenstilling. Kostnad knyttet til strømningsensor kan reduseres betydelig per doseringsenhet dersom målesignaler kan distribueres til flere enheter. Vi antar at man til et anlegg kan vurdere én strømningsensor. Vi foreslår da at det gjøres flere målinger på flere steder, i og rundt anlegget, for å finne om det er store lokale forskjeller i strømningsforholdene.

Kostnader for én enhet i den størrelsesorden som er utviklet i dette prosjektet, estimeres til mellom NOK 150 000 og 200 000,-. Det understrekes at dette er høyst usikre anslag, og fordrer serieproduksjon.

5.4 Fullskalaforsøk

Under gis en kort oppsummering med kommentarer av de planlagte aktivitetene opp mot gjennomføring av fullskalatesting av ny distribusjonsteknologi, sammenlignet med manuelt system som Prophylaxia allerede hadde etablert. Forsøkene er utført ved Prophylaxia sitt anlegg ved Gjermundnes i Vestnes.



Figur 10 Bildet er tatt en fin vinterdag rett etter at SNAP har blitt tilsatt til vannmassene inne i merd. Det kan skimtes en svak hinne av SNAP på overflaten av vannmassen. Foto: Robert Wolff – SINTEF.

5.4.1 Uttesting av pilot i fullskala

Teknologien som er utviklet ble testet ut med suksess. Enheten fjernstyres via grafisk brukergrensesnitt tilpasset smarttelefon. Brukergrensesnittet er illustrert i Figur 11 under. Teknologien doserer SNAP basert på måling av vannstrøm. Under utviklingen av teknologien ble det brukt mye tid til å spesifisere hvordan enheten kunne automatiseres. I henhold til kravspesifikasjonene skal SNAP tilføres i perioden fôring pågår. Normalt vil fisken søke overflaten mens fôring pågår og bli eksponert for SNAP i større grad. Strømningsmåler sender måleparametere til enheten, og ved strømhastighet under 2 m/s og i gitt tidsvindu (mellom 0800 og 1600) blir angitt doseringsvolum av SNAP pumpet ut i vannmassene. Strømningsmåler er installert sentralt i merd, på ca. 2,5 meters dyp, på samme nivå som dosering av SNAP skjer.

Dersom ikke gode nok strømningsforhold oppnås (<2 m/s) innenfor det gitte tidsvinduet (0800-1600), vil ikke SNAP doseres. Eventuell dosering ville da kunne overstyres av operatør via brukergrensesnittet. Feilvarsel blir sendt via e-post og SMS.



Figur 11 Illustrasjon av det grafiske brukergrensesnittet (GUI) som ble utviklet til det nye doserings- og distribusjonssystemet. Retning av strømningsforhold er angitt i klokken til høyre i billedkanten, sammen med faktisk strømningshastighet.

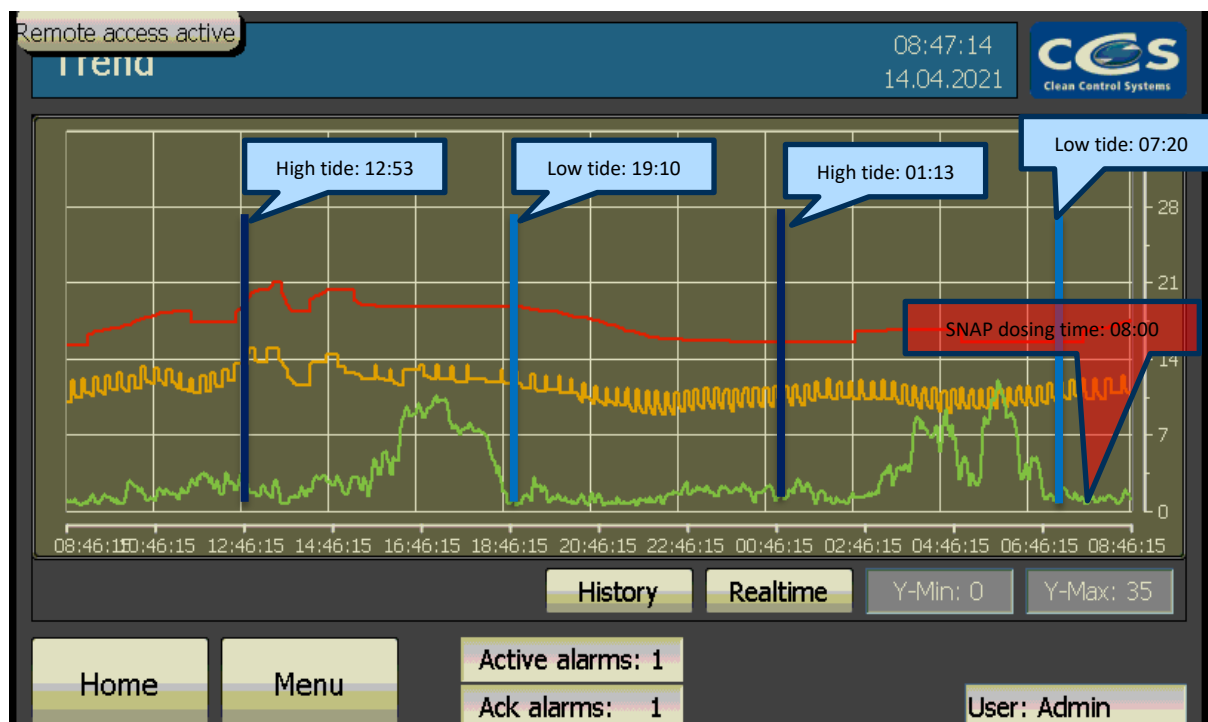
Figur 12 under viser et utsnitt av måleparametere fra brukergrensesnittet. Den grønne linjen viser strømningshastighet. I figuren er også vertikale blå striper satt inn for å indikere høy- og lavvann. Laveste strømningshastighet sammenfaller i dette tilfellet tydelig med skiftet mellom flo og fjære. Doseringen er her også gjort klokken 0800, i henhold til kriteriet satt i styringssystemet.

Strømningsforhold inne i merdene påvirkes ikke bare av tidevannsvende. Vind vil også bidra til strømningsforholdene. Det er derfor ikke nødvendigvis slik at laveste fluks oppstår kun ved tidevannsvende. I forsøkene i stor skala ble data fra strømningsforhold tatt ut og satt opp i graf, og lav- og høyvannsnivå ble sammenstilt med kjente data hentet fra Kystverket sine nettsider. I Figur 13 på neste side er dette illustrert. Her ser vi at lavvann 08:23 har målt strømning i vannmassene til omkring 7-8 m/s. SNAP er ikke dosert før klokken 08:49, når strømmen har minket under terskelverdien for dosering.

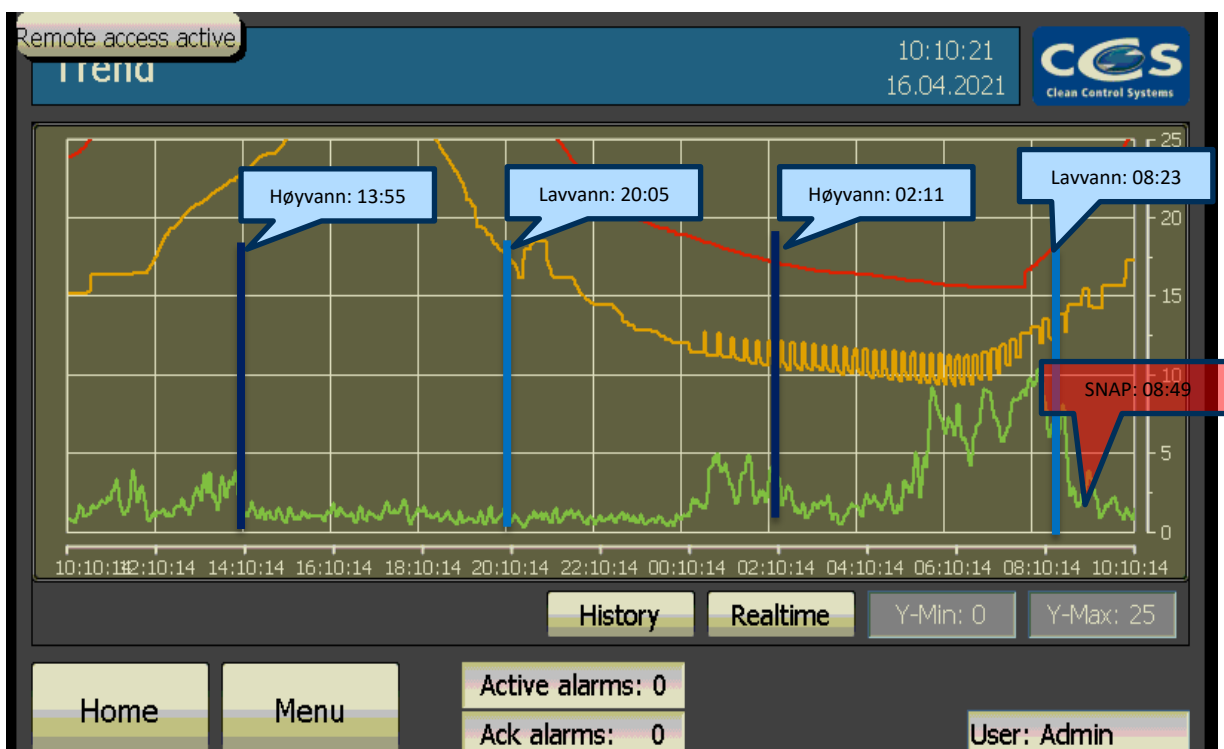
Tall fra analysene viser at den nye distribusjonsteknologien viste signifikant trend med redusert antall preadult lus og voksen hunnlus, og forbedret skinnhelse, i forhold til det gamle doseringssystemet.

Uttesting av enhet ble gjennomført over tid for å bli kjent med ytelse og danne erfaringsgrunnlag for re-design. Flere utfordringer ble avdekket i denne perioden. På grunn av feil materialvalg (se 5.3.3 ovenfor) i

første utgave, medførte dette at det i forsøksperioden ble store tap av SNAP på grunn av lekkasje. Teknisk spesifikasjon tilsier at pakningsmateriale som er bestandig mot denne type kjemikalier (Viton etc.) skulle benyttes. Dette ble i den første pilotutgaven av doseringsenheten ikke gjort.



Figur 12 Illustrasjon som viser ulike målte parametere som vises i brukergrensesnittet som operatører får tilgang til. Grønn linje er strømningsmålinger. Vertikale blå striper angir høy- og lavvann, hentet fra tidevannstabell fra Kartverket.no. Vi ser at SNAP er tilsatt 0800.



Figur 13 Det ikke nødvendigvis slik at laveste fluks sammenfaller med tidevannssvende. Her ser vi lavvann 08:23 er langt over terskelverdi. SNAP doseres da senere, etter at strømmen har roet seg noe.

Ulike pumpesystemer ble også vurdert for å teste blanding av SNAP i sjøvann. Systemet virker på den måten at sjøvann pumpes inn i eget blandekammer tilknyttet teknologien, for deretter å tilføres SNAP og føres inn i merden. Dosering av SNAP stopper deretter opp, og sjøvann pumpes deretter gjennom systemet for å skylle ut rester.

Anlegget fungerer nå etter planen.

5.4.2 Utprøving ved varierende skjerming

Prophylaxia har valgt å benytte såkalte mini-skjørt; et skjørt som ikke står like dypt ned i vannsøylen som det som normalt benyttes i næringen. Dybden på disse skjørtene er i underkant av fire (4) meter. Det ble ikke gjennomført tester med ulike skjørtedybder. Tidligere testing uten skjørt hadde vist utilstrekkelig effekt forbundet med avdrift av signalsubstansen, mens testing med fullskjørt på denne lokaliteten hadde gitt økt gjelleproblematikk. Disse alternativene ble derfor forkastet i videre uttesting.

5.4.3 Fullskalatester – vurdering av distribusjonseffekt

Forsøkene ble gjennomført i løpet av 2020 og 2021. I de neste delkapitlene er det angitt resultater fra fullskalaforsøkene basert på analyser som er gjennomført.

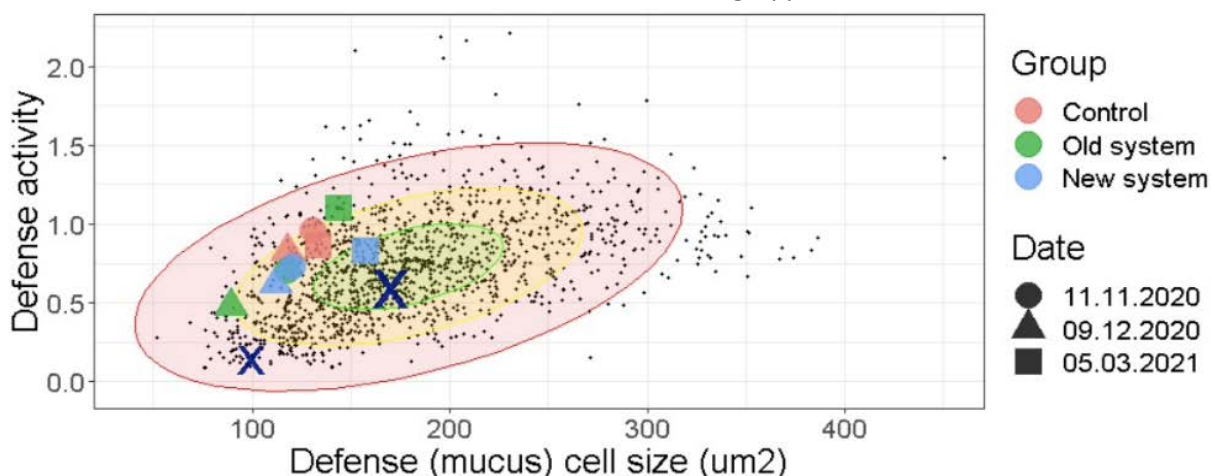
Forsøkene viser at dosering og distribusjon av SNAP ved å benytte den nye teknologien ved lavest mulig havstrøm, gir en signifikant trend med betydelig redusert antall preadult lus og voksen hunnlus i forhold til det gamle doseringssystemet.

Undersøkelse av slimhinne bekreftet at gruppen laks behandlet med ny teknologi og ved tidevannsvending hadde meget gode slimhinneparametere, mens de to kontrollgruppene behandlet uten hensyn til tidevannsvending ikke hadde like gode hudparametere.

5.4.3.1 Analyse av lusepåslag

Effekten av distribusjonssystemet ble undersøkt ved ukentlige lusetelling utført av Prophylaxia. I tillegg ble skinnprøver for å studere skinnhelse, ved bruk av analysemetode VERIBARR™ Grid, utført hos [Quantidoc](#). Se for øvrig også kapittel 5.1 for mer. Resultater av disse analysene viser bedre skinnhelse hos fisk som var behandlet med SNAP ved bruk av det nyutviklede distribusjonssystemet sammenlignet med manuelt tilsatt SNAP. Resultatene er oppsummert i Figur 14 under, og viser trafikklysmode for Prophylaxia: SNAP-eksponering med bruk av ny teknologi (n = 108) i relasjon til atlantisk villaks i sjøvann (Quantidocs database n = 1403).

“Mucosal mapping” indikerer ved bruk av VERIBARR™ Grid at gruppen med laks behandlet med SNAP ved tidevannsvende har bedret skinnhelse, mens de to kontrollgruppene som ble behandlet uten hensyn til



Figur 14 Resultat av skinnprøver analysert av Prophylaxia ved bruk av VERIBARR™ Grid (Quantidoc). Quantidoc angir følgende for deres Grønn sone = normal, gul sone = potensielt sårbar eller i helning, rød sone = overgang til svært sårbar. Grønn sone er 30 % av verdiene i databasen. Fargene indikerer behandlingsgrupper, mens form indikerer gruppe, gjennomsnitt for hver prøvetaking. X = villaks smolt (n = 27) og x = vill voksen atlantisk laks (n = 7).

tidevannsvende hadde mindre gunstige skinnparametere. Planlagt forsøk med kryssover kunne ikke gjennomføres da det etter flere behandlingsforsøk ikke lot seg gjøre å nullstille fisken for lus.

5.4.4 Utprøving ved ulike strømningsforhold

Uttesting av teknologi ved varierende strømningsforhold, ble utført ved å sammenligne de to doserings- og distribusjonsteknologiene; en manuell teknologi og fullautomatisk anlegg. Strømmåleren som ble tilkoblet den utviklede teknologien er vektorbasert og målte strømningsretning i tre dimensjoner. Effekt ble evaluert ved telling av lakselus og analyser av skinnhelse.

En longitudinell studie ble satt opp for å vare i 8 uker, med videreføring inntil tilstrekkelig forskjell mellom gruppene observeres eller behov for behandling mot lakselus. En gruppe hvor den nye teknologien ble brukt (merd GJ14) og en gruppe med distribusjon med manuell pumpe fra Prophylaxia (merd GJ15). Disse to gruppene bestod av like fiskegrupper satt ut samtidig. Doseringsintervall i begge grupper med dosering hver 3. dag ved forsøksstart og justering til annen hver dag og deretter daglig etter behov ved økt lusesmitte. I tillegg er en gruppe (merd GJ24) med distribusjon med manuell pumpe fra Prophylaxia satt ut en måned tidligere. Denne gruppen har doseringsintervall hver annen dag for hele perioden.

Lokalitet: 13852 Gjermundnes (GJ)

Merder: GJ14, GJ15 and GJ24

Smoltutsett: GJ14: Oktober 2020 GJ15: Oktober 2020 GJ24: September 2020

Start forsøk IA: Uke 1 2021

Slutt forsøk IA: Uke 13 2021

Tabell 3 og Tabell 4 gir en oversikt over utsett av laks i de tre merdene, tidsbruk og doseringsintervall for SNAP. Alle merder fikk 2,5 liter 70 % SNAP distribuert med pumpe på 2,5 m dyp, sentralt i merd. Alle merder hadde korte skjørt som var 3,8 m dype.

Tabell 3 Biomasse start forsøk IA

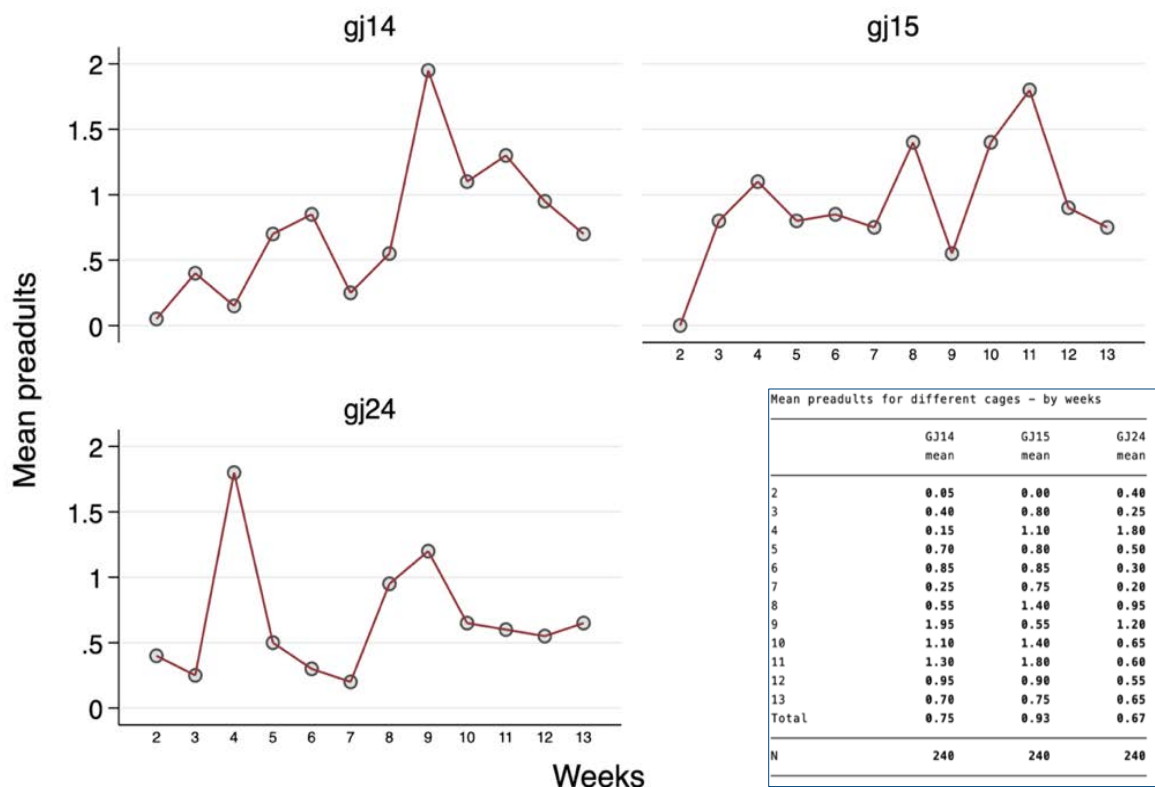
Merdd	Laks (antall)	Gj.vekt (kg)	Biomasse (kg)
GJ14 (SINTEF)	96 095	0.220	21 141
GJ15 (Behandling kontroll I)	90 098	0.236	21 263
GJ24 (Behandling kontroll II)	195 799	0.418	81 844

Tabell 4 Oversikt over doseringsintervall

Merdd	Doseringsintervall		
	Uke 1-2	Uke 3-7	Uke 8-13
GJ14 (SINTEF)	hver 3. dag	hver 2. dag	daglig
GJ15 (Behandling kontroll I)	hver 3. dag	hver 2. dag	daglig
GJ24 (Behandling kontroll II)	hver 2. dag	hver 2. dag	hver 2. dag

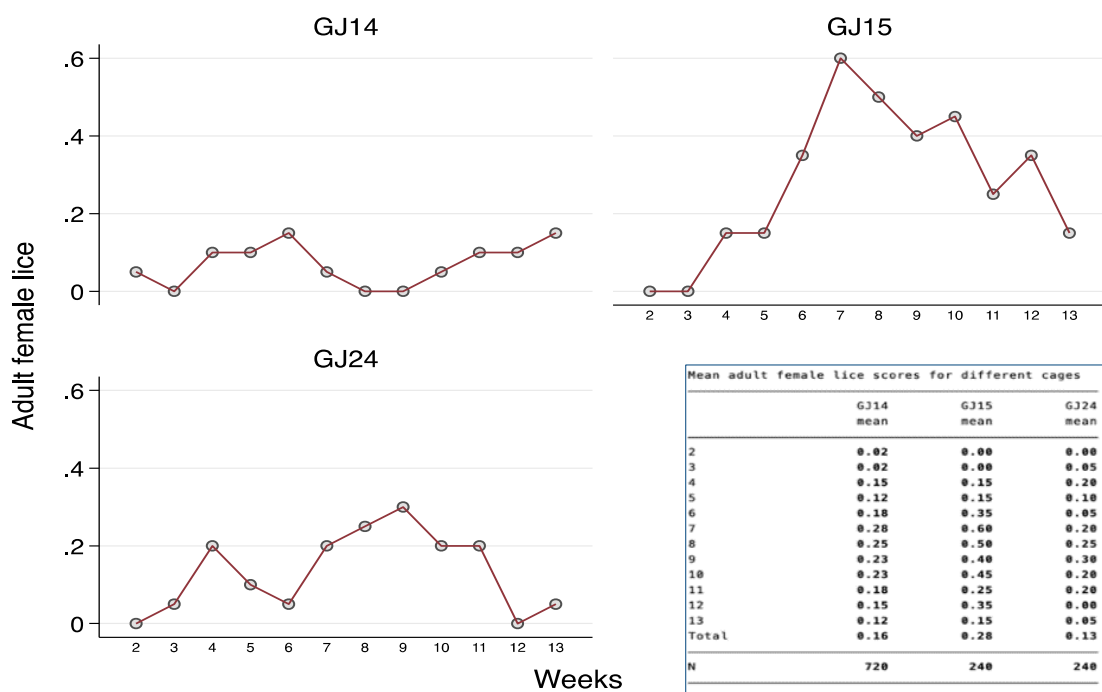
Effekt av de ulike behandlingene ble evaluert ved å sammenligne forekomst av preadulte lus (bevegelige) med forekomst av voksne hunnlus. Telling av lakselus ble gjennomført i henhold til gjeldende anbefalinger for ukentlig lusetelling med 20 fisk per uttak. Resultater er oppsummert i Figur 15 og Figur 16 under.

Konklusjon er at det ble observert økt forekomst både av preadulte og voksen hunnlus i merd GJ15 i forhold til merd GJ14 med den nye teknologien. Merd GJ24 viste mindre lus enn GJ14, men forskjellen var ikke statistisk signifikant. Det var signifikant høyere gjennomsnitt for antall voksen hunnlus for merd GJ15 og GJ24 sammenlignet med GJ14. Disse resultatene viser at det nyutviklede, automatiserte doserings-systemet førte til lavere forekomst av lus enn det gamle, manuelle systemet.



Figur 15 Oppsummering av registrert forekomst av bevegelige lus fra uke 1 til uke 13 i 3 ulike merder.

En rekke ulike faktorer som strømningsforhold, naturlig variasjon av lus, vanntemperatur, vind etc. vil kunne påvirke resultatet av en slik lusetelling. Det ble dessverre ikke anledning til å teste ut effekt av teknologien i flere uavhengige forsøk og det er behov for fremtidige oppfølgingsforsøk som kan bekrefte relevans i funnene.



Figur 16 Oppsummering av registrert forekomst av voksen hunn lus for uke 1 til 13.

Konklusjon: Forsøket som sammenlignet SNAP distribusjon med og uten hensyn til tidevannsvende viste at det var fordelaktig å distribuere SNAP når sjøstrømmen var på det laveste ved tidevannsvende. Det var en signifikant reduksjon i antall bevegelig lus og voksen hunn lus over den 12 uker lange observasjonsperioden for laksegruppen med distribusjon ved tidevannsvende.

Doseringsintervallet for GJ14 (ny teknologi) og GJ15 (behandling kontroll I) startet med dosering hver 3. dag og ble endret samtidig i begge merder avhengig av luseinfestasjonstrykket til hver andre dag i uke 3 og daglig fra uke 8 av. Merd GJ24 (behandling kontroll II) ble behandlet hver andre dag for hele observasjonsperioden. Det var signifikant høyere antall bevegelig lus for GJ15 enn GJ14 ($p=0.032$), mens GJ24 har et lavere antall bevegelige, men ikke statistisk signifikant ($p>0.05$). For voksen hunn lus var det et høyere gjennomsnitt hos GJ15 ($p<0.001$) og GJ24 ($p=0.035$) enn GJ 14.

Siden systemet er testet ut i lite strømningseksponerte omgivelser, fjordsystemet Romsdalsfjorden, er det ikke tilgjengeliggjort data som sier noe om effekten av SNAP i bruk i sterkt eksponerte områder. Sannsynligvis vil avdrift være en større utfordring i slike omgivelser, med påfølgende lavere effekt. Dette er ikke noen sikker konklusjon, og eventuelle videre forsøk må gjennomføres ved slike eksponerte anlegg.

5.5 Redesign og optimalisering

Det er gjennomført vurdering av teknologien og re-design er gjennomført før ny distribusjonsenhet ble produsert.

5.5.1 Utprøving av forbedrede teknologier

Etter en del innkjøringsproblemer ved første pilot, ble det besluttet å lage en ny og forbedret enhet. Re-design ble gjennomført som planlagt i prosjektet. Det ble deretter testet ut to enheter etter re-design med ny teknologi siden en ekstra enhet ble tilgjengeliggjort. Pilotanlegget av det nye doserings- og distribusjonssystemet ser nå ut til å fungere som forventet og etter de kravene som ble fremsatt under utarbeidelsen av kravspesifikasjonene.

6 HOVEDFUNN

- Det er utviklet en automatisk doserings- og distribusjonsteknologi som gir redusert arbeids-belastning for driftsoperatører, bidrar til lavere HMS-risiko, potensielt lavere forbruk og dermed lavere kostnader knyttet til SNAP. Systemet styres via et grafisk brukergrensesnitt tilgjengeliggjort via smarttelefon.
- Automatisk dosering av SNAP basert på strømningsmåling gir forbedret skinnhelse og signifikant lavere forekomst av bevegelig lus og voksen hunnlus, sammenlignet med dosering av SNAP med gammel, manuell teknologi.
- Det nye doserings- og distribusjonsanlegget ser ut til å fungere etter planen sammenstilt mot de tekniske kravspesifikasjonene som ble utarbeidet i prosjektet

7 KONKLUSJON

Prosjektet har vist at SNAP kan være en godt egnet substans som kan bidra til å forebygge lusepåslag hos laksefisk. Dette kan være et godt alternativ som kan benyttes i tillegg til eksisterende teknologier. I dette prosjektet er SNAP benyttet sammen med luseskjørt med dybde på 3,8 meter.

Den nyutviklede doserings- og distribusjonsteknologien fungerer etter hensikten og har vist seg å imøtekomme de egenskapene som var ønsket og beskrevet i de tekniske kravspesifikasjonene som ble utarbeidet. Dette ga også en optimalisert eksponering av biomassen i merden med signifikant forbedret slimbeskyttelse samt reduksjon i luseinfestasjon, sammenlignet med bruk av det gamle distribusjons-systemet.

Det ble utviklet en doseringsenhet som var egnet for å tilkobles rett på merden med enkel tilkomst både for tilsyn og for nødvendig vedlikehold. Dette gir tryggere arbeidsforhold for operatørene sammenlignet med opprinnelig manuelt system.

8 LEVERANSER

1. Prosjektnotat med resultater fra teknologidesign og kravspesifikasjon
2. Referat fra første møte i referansegruppen, nr.1
3. Prosjektnotat med vurdering av egnede analysemetoder for gjennom-føring under fullskalaforsk.
4. Referat fra andre møte i referansegruppen, nr.2
5. Faktaark
6. Prosjektnotat etter gjennomført fullskalaforsk
7. Referat fra sluttmøte med FHF og Prophylaxia (inkl. referansegruppen)
8. Faglig sluttrapport i tråd med FHF's retningslinjer
9. Administrativ sluttrapport
10. Film og bildepresentasjon – formidling og kommunikasjon

9 REFERANSER

- Barrett, Luke T., Frode Oppedal, Nick Robinson, and Tim Dempster. 2020. "Prevention Not Cure: A Review of Methods to Avoid Sea Lice Infestations in Salmon Aquaculture." *Reviews in Aquaculture* 12 (4): 2527–43. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>.
- Cáceres, Pablo, Agustín Barria, Kris A. Christensen, Liane N. Bassini, Katharina Correa, Baltasar Garcia, Jean P. Lhorente, and José M. Yáñez. 2021. "Genome-Scale Comparative Analysis for Host Resistance against Sea Lice between Atlantic Salmon and Rainbow Trout." *Scientific Reports* 11 (1): 13231. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92425-3>.
- Fast, Mark D., Sho Hosoya, Stewart C. Johnson, and Luis O. B. Afonso. 2008. "Cortisol Response and Immune-Related Effects of Atlantic Salmon (*Salmo Salar* Linnaeus) Subjected to Short- and Long-Term Stress." *Fish & Shellfish Immunology* 24 (2): 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2007.10.009>.
- Geitung, Lena, Frode Oppedal, Lars Helge Stien, Tim Dempster, Egil Karlsbakk, Velimir Nola, and Daniel W. Wright. 2019. "Snorkel Sea-Cage Technology Decreases Salmon Louse Infestation by 75% in a Full-Cycle Commercial Test." *International Journal for Parasitology* 49 (11): 843–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.06.003>.
- Grefsrud, Ellen Sofie, Lasse Berg Andersen, Bjørn Pål Arne, Bjørn Einar Grøsvik, Pia Kupka Hansen, Vivian Husa, Ørjan Karlsen, et al. 2022. "Risikorapport Norsk Fiskeoppdrett 2022 - Risikovurdering-Effekter På Miljø Og Dyrevelferd i Norsk Fiskeoppdrett." Rapportserie: Rapport fra havforskningen 2022-12 12–22. Rapport Fra Havforskningen 2022-12.
- Guragain, Prashanna, Max Tkachov, Anna Solvang Båtnes, Yngvar Olsen, Per Winge, and Atle M. Bones. 2021. "Principles and Methods of Counteracting Harmful Salmon–Arthropod Interactions in Salmon Farming: Addressing Possibilities, Limitations, and Future Options." *Frontiers in Marine Science* 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.701793>.
- Kamio, Michiya, Hidenobu Yambe, and Nobuhiro Fusetani. 2022. "Chemical Cues for Intraspecific Chemical Communication and Interspecific Interactions in Aquatic Environments: Applications for Fisheries and Aquaculture." *Fisheries Science* 88 (2): 203–39. <https://doi.org/10.1007/s12562-021-01563-0>.
- Mobley, Kenyon B., Tutku Aykanat, Yann Czorlich, Andrew House, Johanna Kurko, Antti Miettinen, Jacqueline Moustakas-Verho, et al. 2021. "Maturation in Atlantic Salmon (*Salmo Salar*, Salmonidae): A Synthesis of Ecological, Genetic, and Molecular Processes." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 31 (3): 523–71. <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09656-w>.
- Okoli, Arinze S., Torill Blix, Anne I. Myhr, Wenteng Xu, and Xiaodong Xu. 2022. "Sustainable Use of CRISPR/Cas in Fish Aquaculture: The Biosafety Perspective." *Transgenic Research* 31 (1): 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11248-021-00274-7>.
- Ross, Nw, Kj Firth, A Wang, Jf Burka, and Sc Johnson. 2000. "Changes in Hydrolytic Enzyme Activities of Naïve Atlantic Salmon *Salmo Salar* Skin Mucus Due to Infection with the Salmon Louse *Lepeophtheirus Salmonis* and Cortisol Implantation." *Diseases of Aquatic Organisms* 41: 43–51. <https://doi.org/10.3354/dao041043>.
- Salinas, Irene. 2015. "The Mucosal Immune System of Teleost Fish." *Biology* 4 (3): 525–39. <https://doi.org/10.3390/biology4030525>.
- Sommerset, Ingun, Cecilie Walde, Britt Bang Jensen, Jannicke Wiik-Nielsen, Geir Bornø, Victor Henrique Silva de Oliveira, Asle Haukaas, and Edgar Brun. 2022. "Fiskehelserapporten 2021. Veterinærinstituttets Årlige Oversikt over Fiskehelsen i Norge." Veterinærinstituttets rapportserie nr. 2a/2022nr 2a/2022.
- Sommerset I, Wiik-Nielsen J, Oliveira VHS, Moldal T, Bornø G, Haukaas A og Brun E. Fiskehelserapporten 2022, Veterinærinstituttets rapportserie nr. 5a/2023, utgitt av Veterinærinstituttet 2023
- Walde, Cecilie Sviland, Marit Stormoen, Jostein Mulder Pettersen, David Persson, Magnus Vikan Røsæg, and Britt Bang Jensen. 2022. "How Delousing Affects the Short-Term Growth of Atlantic Salmon (*Salmo Salar*)." *Aquaculture* 561 (December): 738720. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738720>.
- Wyatt, Tristram. 2017. "How Animals Communicate Via Pheromones." *American Scientist*. February 6, 2017. <https://www.americanscientist.org/article/how-animals-communicate-via-pheromones>.
- Zheng, Qiujie, Rodolfo M. Nayga, Wei Yang, and Kanae Tokunaga. 2023. "Do U.S. Consumers Value Genetically Modified Farmed Salmon?" *Food Quality and Preference* 107 (April): 104841. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104841>.