

Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd

SLUTTRAPPORT FHF-PROSJEKT 900884

Av Frode Oppedal, Tim Dempster og Lars Helge Stien



Innhold

Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd	1
Sammendrag	3
Summary in English	4
Innledning - Hvorfor snorkelmerd?	5
Problemstillinger og formål.....	6
Prosjektgjennomføring.....	7
Oppnådde resultater og diskusjon	10
Snorkelmerd, forsøk 1, vårutsett 2012, liten fisk, kystlokalitet	10
Vekst i snorkelmerd, forsøk 2, 2012-2013, mellomstor fisk, lav tetthet, fjord.....	13
Kommersiell tetthet i snorkel, forsøk 3, stor fisk, høst 2013	15
Snorkeldyp, forsøk 4, november 2014- februar 2015.....	20
Kommersiell uttesting av snorkler hos Bremnes Seashore.....	24
Overordnet diskusjon, arbeid videre og konklusjon.	31
Når antar vi at snorkelprinsippet ikke virker?	32
Fremtidig fokus og videreutvikling	33
Konklusjon og utvidet bruk av prinsippet: "dypere svømming gir mindre lus"	34
Leveranser	35

Sammendrag

Snorkelmerd skaper avstand/ "mismatch" mellom lakselusens frittlevende, infesterende larver (køpepoditter) og laksen. Dermed blir lusepåslaget minimalisert. Snorkelmerden består av et tak av not for å holde fisken nede, men med en presenningskledd passasje til overflaten. Gjennom denne har laksen tilgang til luft og etterfylling av svømmeblæren, uten at fisken kommer i kontakt med overflatevannet hvor de infesterende luselarvene oppholder seg mest. Ideen ble initiert i et av Forskningsrådets sentre for forskningsdrevet innovasjon, CREATE, og videreutvikling av prinsippet er støttet av FHF siden 2013. Egersund Net har stått for design og produksjon av snorkler. Bremnes Seashore var først ute med å bruke kommersielle snorkler.

I innledende mellomskala forsøk ble lusepåslag redusert med 84 til 66 % gjennom sommeren på vårutsatt fisk, men tilvekst redusert som følge av underfôring. I oppfølgende studie med lav tetthet og mellomstor fisk, så vi minimale forskjeller i tilvekst, men noe økt snuteslitasje og ikke fullstendig svømmeblærefylling. Med brakkvannslag like dypt som snorkelen var det ingen reduserende effekt på lusepåslaget. Med slaktestørrelse fisk, kommersiell tetthet i mellomskala merder og 4 m dype snorkler ble det på kystlokalitet vist gjentagende reduksjon i lusepåslag i størrelsesorden 24-65 %. Samtidig var produksjonseffektivitet, normal atferd og velferd opprettholdt tilstrekkelig. "Proof of concept" var dermed bevist i mellomskala merder. Siste mellomskala forsøk viste at effekten av snorkelmerd øker med laksens påtvungne svømmedyp (snorkeldypet) og at påslag var tilnærmet null når laksen måtte svømme dypere enn 12 m om vinteren. Hos Bremnes Seashore var det 50 % lavere lusenivå enn ved sammenlignbart naboanlegg på H14 utsett. Ved V15-utsett var det 100-65 % mindre lus i to snorkelmerder sammenlignet med to normale kontrollmerder på samme anlegg. Snorkelanlegget med høstfisk klarte å unngå behandling mot amøbisk gjellesykdom ved å introdusere ferskvannslag i toppen av snorkelen. Det har vært en del utfordringer med utsetting, håndtering og opprettholdelse av et godt miljø i snorkelen. Fremdeles er det rom for optimalisering av design, bruk og ikke minst håndtering i stor skala. Det er likevel mulig å gjennomføre de fleste normale operasjoner i storskala snorkler (eksempelvis notskift, kjemisk lusebehandling, uttak). Bruk av kommersielle snorkler videreutvikles og dokumenteres de neste årene, og planer er lagt for vitenskapelig uttesting av ferskvannslag i overflaten mot AGD denne høsten.

Totalt sett er det gjentagende vist at laks som svømmer dypere blir mindre infestert av lakselus, *Lepeophtheirus salmonis*. Dette åpner også opp for bruk av en rekke andre metoder for redusert lusepåslag, eksempelvis nedsenkete merder med luftlomme, repetitivt nedsenkete merder, lys og fôringsstrategier som lokker laksen dypere. Samtidig verifiserer dataene at bruk av skjørt/duk rundt merdene vil ha en påslagshemmende effekt.

Oppsummert så kan dyp nok snorkelmerd ha potensial for at laksen i merdene kan få bortimot null lus og dagens krevende operasjoner med avlusing, generell negativ miljøpåvirkning og potensielt nedsatt fiskevelferd kan desimeres. Snorkelmetoden er innovativ, bærekraftig og miljøvennlig, samtidig som laksens behov og velferd er ivaretatt.

Summary in English

The snorkel cage creates a mismatch between the salmon lice infestative larvae stage and the salmon, thus minimizing infestations. The snorkel cages comprise a roof of net to keep the fish down, but with a tarpaulin dressed passage to the surface. Through this the salmon have access to surface air and can refill the swim bladder while still avoiding surface waters where lice larvae are most abundant. The idea was initiated in one of the Norwegian Research Council Centre's for Research-based Innovation, CREATE, and further development of the principle has been supported by The Norwegian Seafood Research Fund since 2013. Egersund Net AS has been responsible for the design and manufacture of snorkels. Bremnes Seashore AS was the first to use commercial snorkels.

In medium-scale experiments sea lice infestation was reduced by 84 to 66% through the summer in spring-transferred smolts, but growth was declined as a result of underfeeding. In a follow-up study with low stocking density and medium-sized fish, minimal growth differences were noted, but slightly increased snout wear and only partly swim bladder re-filling. With a brackish layer as deep as the snorkel depth there was no mitigating effects on infestations. Next trial on slaughter-sized fish, commercial stocking density, medium-scale cages and 4 m deep snorkels in coastal waters showed recurring reduction in sea lice infestation ranging 24-65%. Concurrently, production efficiency, behaviour and welfare were adequately maintained. "Proof of concept" was thus proven for medium-scale cages. The final trial displayed clearly that lice reduction increased with deeper swim depth of the fish (snorkel depth) and were virtually zero when the salmon had to swim deeper than 12 m in winter. At commercial scale, 50% lower lice levels were noted at a snorkel site compared to a neighbouring site during autumn 2014. In 2015, 100-65% less lice was counted in snorkel compared to normal cages within the same site. In snorkel cages, treatments against amoebic gill disease were avoided by introducing a fresh water layer in the top of the snorkel. There have been some challenges with deployment, management and maintenance of the water quality of the snorkels. There is still room for optimization of design, use, and handling at large scale. However, most normal operations in large-scale snorkels may be performed (e.g. net changing, chemical lice treatment, sampling). Use of commercial snorkels needs further developed and documented the next few years, and applications are submitted for scientific testing of using a surface freshwater layer against AGD this autumn.

Overall, the snorkel cage trials and commercial tests have repeatedly shown that salmon swimming deeper becomes less infested by the salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*. Such also opens up for the use of a variety of other methods to reduce sea lice infestation, for example submerged cages with air domes, repetitively submerged cages, lighting and feeding strategies that lure salmon deeper. The data also verifies that the present use of skirts around the cages is prone to have a lice inhibitory infestative effect.

In summary, deep enough snorkels have the potential for salmon in cages to be infested by close to zero lice. Such would lead to that today's demanding operations with de-licing, general negative environmental impact and potentially reduced fish welfare can be decimated. The snorkel method is innovative, sustainable and environmentally friendly while the farmed salmon needs and welfare is safeguarded.

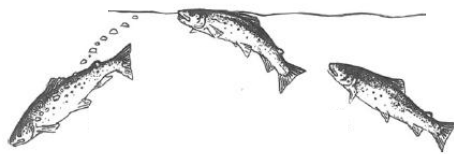
Innledning - Hvorfor snorkelmerd?

Lakseoppdrett i åpne merder er verdensomspennende, men delvis kontroversiell på grunn av dens negative miljøpåvirkning. Parasitten lakselus (*Lepeoptheirus salmonis*) infiserer laksens hud og kan føre til kostbare utbrudd i merdene. Oppdrettsanlegg kan fungere som reservoarer for lakselus og produsere store mengder larver som potensielt infiserer de ville bestandene. Dette kan medvirke til nedgang i de ville populasjonene både i Europa og Nord-Amerika. Således er det kritisk både for produksjon av laks og for de ville bestander at nivå av lakselus i oppdrettsanlegg kan kontrolleres.

Dagens metodikk for å fjerne lakselus i merdene innebærer bruk av avlusingsmiddel i fôr eller kjemiske bad. Disse er kun delvis effektive, slipper ut giftige stoff til det nærmeste miljø, influerer andre (non-target) organismer og påvirker ofte fiskens velferd i negativ retning.

Det infiserende larvestadiet av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis* L.) kalles kopepoditter, og litteraturen antyder at lakseluslarvene finnes mest nær overflaten. Luse-larver beveger seg mot overflatelaget og finnes derfor normalt i større konsentrasjon nær overflaten enn dypere nede. Dette gjenspeiles i at dyptsvømmende laks i merder typisk får mindre lusepåslag enn laks som svømmer nær overflaten.

Laksen kan tvinges bort fra overflatelaget ved å senke ned hele merden eller legge et tak i merden ved en bestemt dybde under vann. Laks har imidlertid en åpen svømmeblære og må ha tilgang til luft for å fylle svømmeblæren. Bildet i figur 1 illustrerer hvordan en laks i en merd med tak har gått seg fast i nottaket når den har prøvd å komme seg til overflaten for å fylle luft. Svømmeblærefylling skjer ved at laksen ruller (eller hopper) i overflaten, fyller munnhulen med luft og deretter overfører luft til svømmeblæren når den svømmer nedover (se illustrasjon i figur 1). På vei nedover ses ofte luftbobler som kommer ut gjennom gjelleåpningen.

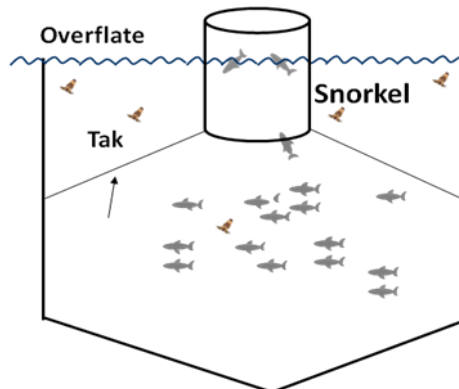


Figur 1. Bilde av laks som ville svømme gjennom nottaket for å etterfylle svømmeblæren. Høyre figur: Illustrasjon av laks som etterfyller svømmeblæren i overflaten, tegnet av Stein Mortensen.

I nedsenkete merder uten tilgang til overflate og luft tømmes svømmeblæren gradvis og er bortimot tom i løpet av to-tre uker. En tom svømmeblære gir laksen negativ oppdrift og den får problemer med å holde likevekten. Allerede på dag 1 etter nedsenking begynner den å kompensere ved å svømme fortere og på den måten generere oppdrift. På lengre sikt er det dokumentert at nedsenket laks uten tilgang til overflate får redusert appetitt etter 9-12 dager, nedsatt tilvekst målt etter 43 dager, delvis sammenpresset ryggrad, økt finne- og snuteslitasje og totalt sett en uholdbar velferd.

I en snorkelmerd har laksen tilgang til overflaten gjennom en åpen gang ("snorkel") til overflaten avskjermet fra det omkringliggende vannet (se figur 2 og senere bilder).

Prinsippskissen illustrerer hvordan laksen kan fylle svømmeblæren gjennom å gå opp gjennom snorkelen, mens luselarvene hovedsakelig driver forbi i overflaten uten å møte på og dermed feste seg på laksen.



Figur 2. Prinsippskisse av snorkel (rør til overflaten) og nottak som hindrer laksen å komme i kontakt med det infiserende larvestadiet av lakselus som hovedsakelig driver med strømmen nær overflaten.

Problemstillinger og formål

Basert på bakgrunnen og innledende studier var det ønskelig å teste om "snorkelprinsippet", hvor laksen har delvis tilgang på overflate, men ikke normalt overflatevann, repeterende og over tid ville redusere påslag av lus. Videre skulle prosjektet utvikle det biologiske grunnlaget for bruk av "snorkelprinsippet" og teste produksjonseffektiviteten, individuell mestring og dyrevelferd ved ulike konfigurasjoner.

Første året var det fokus på å vise "proof of concept" og egnethet for bruk (vekst, atferd) med oppbygging av detaljkunnskap i de påfølgende år. En rekke spesifikke problemstillinger ble satt opp ved initiering av prosjektet og utviklet gjennom de ulike forsøkene og en opplisting fra første utgave er gjengitt her:

- Er produksjonseffektivitet i snorkelmerder akseptabel eller bedre? Viktige faktorer som vurderes:
 - Appetitt, vekst, kondisjon, dødelighet
 - Individuell mestring. Individuell SGR og kondisjon.
 - Fysiologi (stress?, histologi, immunforsvar (snorkelfisk blir mindre syk?).
 - Svømmeblærefylling
 - Atferd (svømmehastighet), nattatferd (tiltet svømming?)
- Vil alle fisk lære å bruke snorkel? Læring?
 - Novel ("inexperienced"; uerfaren) fisk som allerede har vært i merd i en periode vil sannsynligvis benytte seg mindre av snorkel eller eventuelt bruke lengre tid på å lære å bruke snorkel. Eksempelvis vil muligens nyutsatt smolt begynne å bruke snorkel raskere enn fisk som har gått en stund i merdene.
- Atferd.
 - Normal atferd i snorkel?
- Spiseatferd, svømming, stimstruktur
 - Fylling av svømmeblæreatferd
- Interaksjon med andre forhold i merden:
 - Syk fisk (PD) vil muligens samles i snorkel. Denne kan da "enkelt" tas ut?
 - Vil syk fisk generelt ikke takle å bruke snorkel i like mye grad som normal fisk?
- Snorkeldesign
 - Dybde (balanse mellom effektivitet på lakselus, fiskens bruk av snorkel). Vil redusert bruk av snorkel gi lavere produksjonseffektivitet?

- Areal (balanse mellom bruk og areal). Hypotese: Fisken bruker snorkel mer hvis stort areal. Økt areal vil potensielt gi mer utskifting av vann som er positivt for vannmiljø så sant ikke overflatevann blandes inn (kan skje; eksempel fra permaskjørtprosjekt). Større krefter vil virke på innfesting med økt størrelse og snorkel vil potensielt bli mindre håndterlig. Snorkel bør være så liten som mulig, men likevel stor nok til at fisken bruker den.
 - ◆ Størrelse i volum (viktig for utskifting, kontrollerbar/ ukontrollerbar)
 - ◆ Form, materiale og farge (hovedsakelig knyttet til praktiske løsninger, men muligens vil lys farge gjør det enklere for fisken å bruke den...).
- Rigid vs. fleksibel. Lysgjennomtrenging. Begroing gjør den mørk etter hvert..
- Avrundet for minimal strømpåvirkning og optimal hoppeatferd.
 - Hoppeduk - 2 m snorkelkant over vann eller hoppenett over? Uansett, må være myk for å minimere skader på fisken
- Horisontal plassering. Mer sannsynlig at en snorkel nær kanten i en stormerd blir mer benyttet enn sentral. Ikke viktig i liten skala.
- Fôring
 - Overflatefôring vil være enklere logistisk sett med dagens utstyr, men kan fort bli problematisk med utvikling av dårlig vannmiljø (lavt oksygen, mye avfall, biofilm på overflate) i snorkel. Fôring i snorkel/ under vann minimerer fôrspredning, men det er usikkert hva det betyr for fisken.
 - ◆ Fôring i snorkel, potensiell tiltrekking av fisk, høyt oksygenforbruk, hypoksi, krav til utskifting.
 - ◆ Fôring gjennom taket – krever rene, store masker
 - ◆ Undervannsfôring, krever ”ny fôringsteknologi”
- Miljø
 - Oksygen (brukes opp av fisken) og forbruk krever utskifting av vann/ tilsette oksygen/ luft
 - Temperatur (preferanser/unnvikelse)
 - Saltholdighet (viktig for hvor luselarver generelt oppholder seg; ikke i fersk-/brakkevann)
 - Pyknoklin (utskifting, luselarvespredning, oksygen, hvor fisken står)
 - Biofilm på overflate (inneholder potensielt mye patogener, fett fra fôr)
 - Begroing (samme problem som med not, nottak) Profylaktisk: vaske
 - Pumpe vann. Kontinuerlig eller ved behov? Rask utskifting med lange pauser?. Påvirker oksygen, temperatur, overflatefilm
 - Tilsetting av oksygen? Økt overflatefilm?
- Rensefisk
 - Hvordan tilpasser rensefisken seg? Tiltrekking/ frastøting, hvile, skygge, lys, begroing som den kan spise. Mer effektiv tilgang til laksen? Eller svømmer laksen for fort i snorkel?
- Samlingspunkt for taperfisk? I så fall kan en benytte snorkel for å fjerne taperfisk.
- Fjord/ kyst/ eksponert, ulik effektivitet på lusereduksjon
 - Ses også i sammenheng med dyp

Prosjektgjennomføring

Ideen ble utviklet og innledende forsøk gjennomført innenfor CREATE, et senter for forskningsdrevet innovasjon innen havbruksteknologi finansiert av Norges forskningsråd og en rekke forsknings- og industripartnere. Ideen til merddesign kom fra Egersund Net, og prosjektet fikk gode bidrag fra Lerøy Seafood Group og Marine Harvest. Den videre vitenskapelige testing har vært finansiert gjennom FHF-prosjektet 900884 Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd, hvor denne sluttrapporten inngår.

Forskere ved Havforskningsinstituttet og Universitetet i Melbourne (inkl. delvis tilknyttete PhD-er) og ulike teknikere ved Havforskningsinstituttet skulle gjennomføre prosjektet. Instituttets fasiliteter i Matre og Austevoll skulle benyttes. Det ble lagt opp til et 4-årig prosjekt med opptil ti forsøk ved Havforskningsinstituttet, oppfølging av uttesting og bruk

hos oppdrettere og i samarbeid med andre prosjekt. Til sammen ble det gjennom tilsagn fra FHF-prosjektet utført tre hovedforsøk ved Havforskningsinstituttet samt en pilotstudie.

Det var fokus på snarlig å svare på de mest kritiske spørsmålene og se på detaljer etter hvert. Revisjoner ble basert på erfaring underveis og skisserte forsøk/problemstillinger endret tilsvarende med dialog mot styringsgruppe og FHF. Forskning og utvikling i andre prosjekt skulle inkluderes i prosjektets arbeid og synergieffekter tas ut.

Dersom snorkelprinsippet mot formodning ikke var akseptabelt, ville prosjektets størrelse reduseres og muligens termineres tidligere enn planlagt. Årlige justeringer av forsøksdesign og fokus ble gjort i samarbeid med styringsgruppe.

Organisering

Prosjektet har vært ledet av forsker Frode Oppedal ved Havforskningsinstituttet sammen med forsker Lars Helge Stien. Forsker Tim Dempster fra Universitetet i Melbourne har vært med i prosjektgruppen og deltatt i forsøksplanlegging, gjennomføring, analyser og publisering.

Studenter fra universitetet i Melbourne som har deltatt: Daniel William Wright, Samantha Bui, Michael Sievers og Francisca Samsing, fra universitetet i Hellas: Alexios Glaropoulos. Teknikere fra Havforskningsinstituttet inkluderer Tone Vågseth, Jan Erik Fosseidengen, Jan Olav Fosse, Kristian Dahle, Stian Morken, Gunnar Didriksen, Tord Harald Skår, Michal Rejmer, Ragnfrid Mangor-Jensen, Ann-Cathrin Jakobsen Kroken og Velimir Nola.

Styringsgruppen nedsatt av FHF besto av: Rune Engevik (Lerøy Seafood ASA), Robin Scotland (Marine Harvest Norway), Sigurd Kilane (Erfjord Stamfisk AS) og observatør Kjell Maroni fra FHF.

Egersund Net (kontaktperson Geirmund Vik, senere Geir Henning Risholm) utviklet og leverte snorkelmerkene til de ulike forsøkene. Monica Dybing var ansvarlig for endelig notdesign.

Link til prosjektet på FHF sine hjemmesider: <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900884>

Generelt oppsett

Prosjektet testet snorkelmerder med 3 eller 4 m dyp snorkel i tre ulike forsøk, det første innenfor senter for forskningsdrevet innovasjon CREATE. Preliminær test ble utført i en kvadratisk gjennomsiktig snorkel laget i plast med aluminium rammeverk (figur 3 og 4). I forsøk 1 og 2 ble det brukt en sylindrisk snorkel bestående av tre sammensveisete kar. Denne snorkelen stampet mye i vannet og det var tungvint å røkte. For forsøk 3 og 4 ble det utviklet en mer fleksibel rektangulær snorkel, bestående av et rammeverk tredd med presenning. Denne prototypen fungerte bedre, og særlig gangvegen rundt snorkelen gjorde det lettere å utføre røkteroperasjoner. I andre prosjekter, sammen med Bremnes Seashore og Egersund Net med delfinansiering gjennom VRI-midler og Innovasjon Norge, er det utført storskala uttesting av kommersielle snorkler. Deler av dette arbeidet er også presentert i denne rapporten.



Figur 3. Bilder av prototyper av snorkelmerd. Tidsmessig utvikling fra venstre mot høyre. Design: Egersund Net.



Figur 4. Bilder av prototyper av snorkelmerd. Tidsmessig utvikling fra venstre mot høyre. Design: Egersund Net.



Figur 5. Bilder fra prøvetaking.

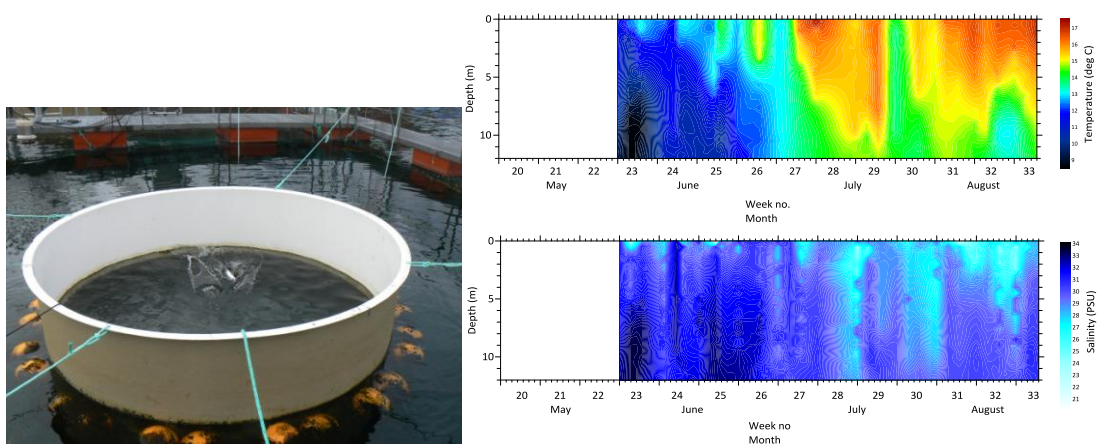
Oppnådde resultater og diskusjon

I de følgende avsnitt er rapportering delt inn i forhold til forsøkgjennomføring og følger en kronologisk rekkefølge.

Snorkelmerd, forsøk 1, vårutsett 2012, liten fisk, kystlokalitet

Forsøksoppsett

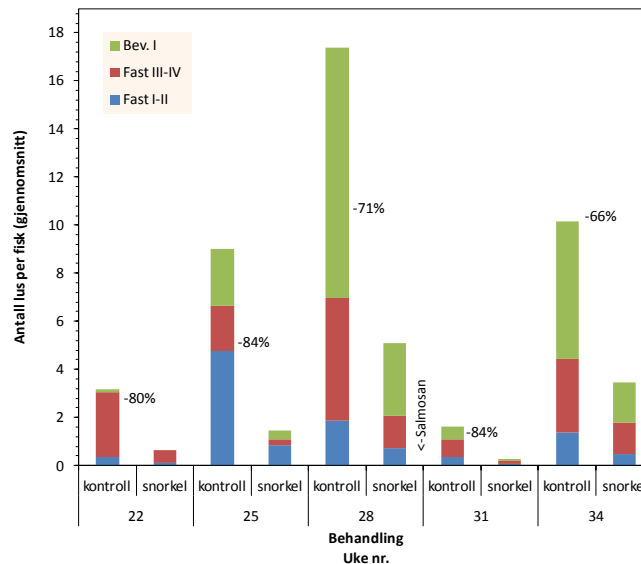
Ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon på Austevoll sammenlignet vi lusepåslag i tre vanlige merder med tilsvarende tre merder med tak på 3 m dyp og tilgang på overflate gjennom et sentralt rør (se figur 2-4). Overflatetilgang besto av et 4 m høyt rør ($\varnothing=3$ m) hvor en meter stakk over vann for å hindre fisken i å hoppe ut, dette fikk tilnavnet "snorkel". Merdene var 12 m \times 12 m brede, 12 m dype og inneholdt ca. 3000 fisk per merd. Telling av lakselus ble gjennomført hver 3. uke på et representativt uttak av 20 fisk per merd. Forsøket startet ved smoltutsett 3. mai med gjennomsnittstørrelse 91 g og varte til 20. august 2012, til sammen 5 perioder med lengde på 3 uker. Lakselus i stadiene Chalimus I-II, Chalimus III-IV og bevegelig I ble vurdert som nytt påslag siste 3 uker. I dagene etter 3. telling (9 uker) ble avlusing med Salmosan foretatt på alle merder. Fisken ble observert underveis for å undersøke om den hadde normal atferd og appetitt. Tilvekst ble sammenlignet ved et utvidet uttak med 100 fisk per merd ved avslutning av forsøk. Bilde i figur 6 illustrerer laks som er oppe i snorkelen for å etterfylle svømmeblæren. Temperaturen følger en normal sesongvariasjon, og saltholdigheten varierer med mengde ferskvannsavrenning og generell vind og strømretning (figur 6).



Figur 6. Bilde av en laks som hopper i snorkelmerkens åpning mot overflaten. Høyre figur: Temperatur og saltholdighetsprofil gjennom forsøk 1, V12, liten fisk, kystlokalitet.

Redusert lusepåslag

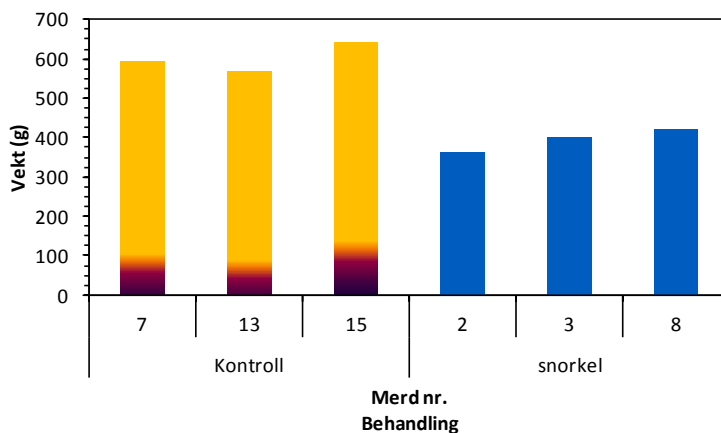
Oppsiktsvekkende så reduserte snorkelen lusepåslaget med 80, 84, 71, 84 og 66 % i 3-ukers perioder fra mai til september. Figur 7 viser gjennomsnittlig nivå av lusepåslag innen hver 3-ukers periode fordelt på de ulike lusestadiene. Lusenivået var på samme nivå mellom de tre merdene innen hver behandling. I dette forsøket var snorklene bare 3 m dyp av totalt 12 m merddybde. Det er sannsynlig at en dypere snorkel ville gitt enda lavere lusepåslag. Snorklene med tak viser med andre ord et enormt potensial for å kunne redusere påslag av lus ved å holde laksen unna vannet i overflatelaget.



Figur 7. Gjennomsnittlig antall lakselus per fisk av stadiene fastsittende chalimus (Fast. I-II, Fast. III-IV) og bevegelig "pre-adult" (Bev. I) hver 3. uke innen 3 merder med snorkel og tak, eller i 3 standard oppdrettsmerder (kontroll). Redusert påslag i snorkelmerd er angitt i -%.

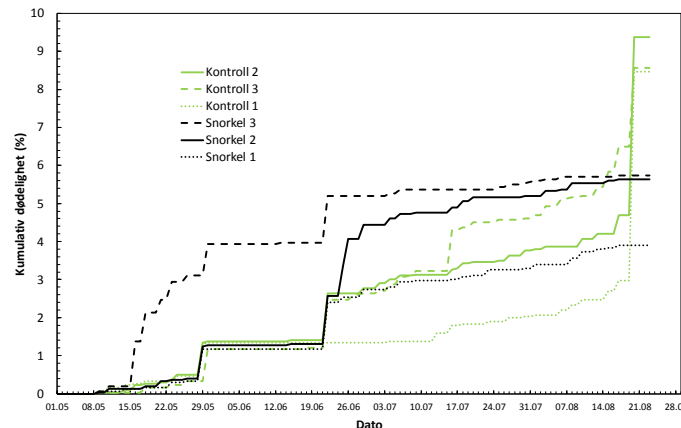
Tilvekst og dødelighet

Laksen i snorkelmerdene vokste imidlertid dårligere enn i kontrollmerdene og ved forsøksslutt var snorkelfisken ca. 33 % mindre i vekt enn kontrollfisken (figur 8). Det var lignende forskjeller i lengde og kondisjonsfaktor. Uten at vi har tall, var den mest sannsynlige årsaken underfôring, spesielt som følge av at en del fôr ikke sank gjennom nottaket etter hvert som begroing tiltok (se bilde som del av figur 8).



Figur 8. Laksens gjennomsnittsvikt per merd i kontroll- og snorkelmerder ved avslutning av forsøket 20. august 2012.

I forsøket ble det registrert lavere kumulativ dødelighet og færre tapere i merdene med snorkel (4,5 %) i forhold til kontroll (9,5 %), se figur 9. Kontrollmerdene hadde en skjevfordeling (skewness) av vekt på -0,60 i forholdet til en verdi på 0,26 i snorkelmerdene som indikerer at det i kontrollmerdene fantes flere taperfisk. Den lavere dødeligheten kan skyldes en rekke faktorer som for eksempel mindre kontakt med overflaterelaterte patogener, mindre tilgang på naturlig føde og dermed økt behov for å begynne å spise pellet.



Figur 9. Kumulativ dødelighet etter utsett av laksesmolt i kontroll og snorkelmerder.

Atferd

Den lille, nylig sjøoverførte laksen så ut til å ha en tilnærmet normal atferd for å være i merder og benyttet snorkelen relativt flittig. Generelt hadde laksen i snorkelmerdene en normal atferd på dagtid med svømmehastigheter tilsvarende kontrollmerdene. Overflateaktiviteten var lavere i snorkelmerdene enn kontroll, men innenfor det som normalt observeres på dagtid. Det ble ikke gjort intense atferdstudier eller benyttet ekkolodd i dette innledende forsøket.

Miljø i snorkel

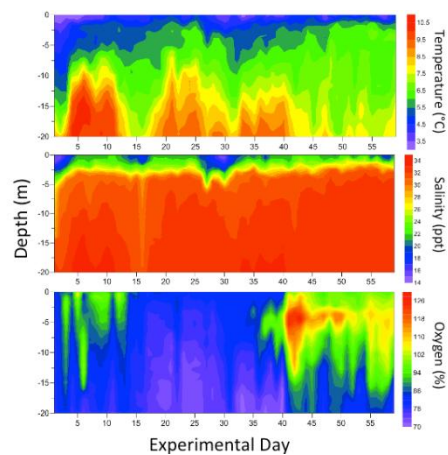
Laks svømmer på ulikt dyp gjennom døgnet som igjen varierer med årstid. Laksens valg av svømmedyp er hovedsakelig styrt av temperatur, lys og saltholdighet. Dette innebærer at laksen potensielt svømmer ved høy tetthet i snorkelen. Spesielt forventes det mye fisk i snorkel om natten og ved fôring i snorkelen når laksen er meget sulten. Oksygennivået i snorkelen ble målt periodevis, og viste tidvis lave verdier. Dette viste at det innimellom er behov for vannutskifting eller tilsetning av oksygen. En løsning ble å pumpe vann (ca. 120 l/min) opp i snorkelen fra et større dyp. Tilførselen av friskt dypvann var tilstrekkelig for å opprettholde oksygennivået, og hele snorkelens vannmiljø holdt samme temperatur og saltholdighet som ved innløpet til pumpen.

Vekst i snorkelmerd, forsøk 2, 2012-2013, mellomstor fisk, lav tetthet, fjord

I oppfølgingsforsøket var det viktig å undersøke veksten grundigere på individ- og gruppenivå ettersom forsøk 1 viste dårligere tilvekst på snorkelfisken. Det var også planlagt å beskrive grunnleggende atferd på dagtid ved bruk av "snorkelprinsippet".

Forsøksoppsett

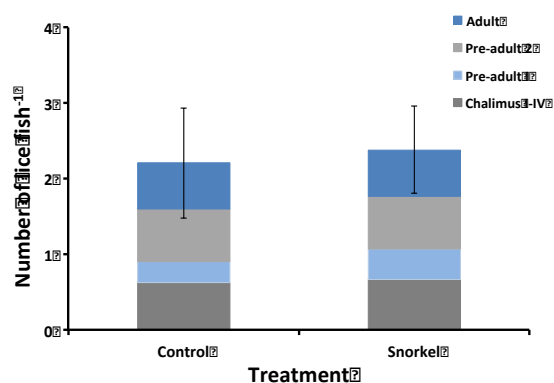
Forsøket ble gjennomført i et fjordmiljø (Forskningsstasjonen Matre i Masfjorden) med føring i overskudd gjennom snorkelen og mellomstor laks (1,4-2,2 kg (start-slutt)) i 55 dager. Merdstørrelse og snorkel var lik som i innledende forsøk, men antall fisk redusert til ca. 1300 per replikate merd, hvorav 100 laks ble merket for å følge individuell tilvekst. Den grunnleggende atferden på dagtid skulle beskrives med hensyn på svømmehastighet/ -struktur), svømmedyp og fyllingsgrad av svømmeblære (ekkolodd).



Figur 10. Bilde av snorkel benyttet i forsøket. Figur til høyre: Miljø (temperatur, saltholdighet og oksygen) gjennom forsøket.

Lusepåslag

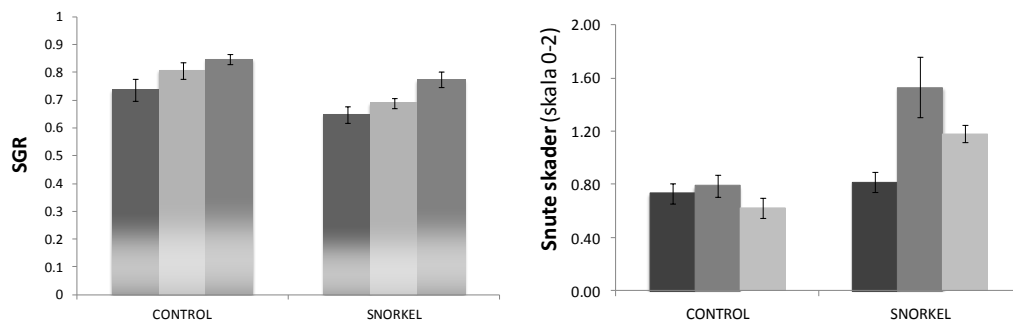
I forsøk ble det som forventet for en fjord med brakkevannslag ned til 3-4 m (figur 10) og tilsvarende snorkeldyp, likt lusepåslag i alle merder (gjennomsnitt 1-3,5 lus per fisk), figur 11. Selv om luselarver tiltrekkes av lyset i overflaten, unngår de likevel brakkevann/ferskvann som finnes i overflaten i de fleste større norske fjorder. Litteraturen antyder at kopepodittene unngår saltholdigheter under 28.



Figur 11. Gjennomsnittlig antall lus i 3 kontroll- og 3 snorkelmerder etter 8 uker.

Tilvekst

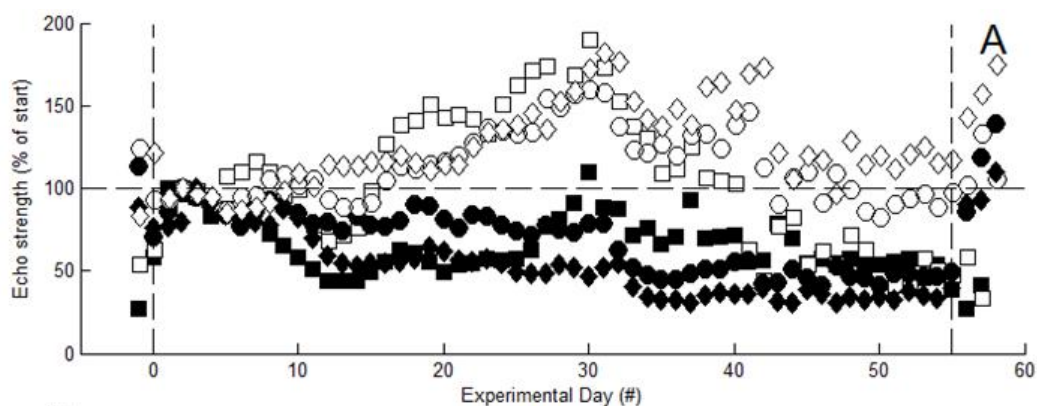
Veksten hos den mellomstore fisken var vitenskapelig sett ikke forskjellig, men med en tendens til bortimot 10 % dårligere tilvekst i snorkelmerdene sammenlignet med kontroll (figur 12). Et større problem var en økt andel snuteskader (figur 12) som må studeres mer nøye i forhold til årsaker og tiltak i senere forsøk. Lignende ble ikke observert hos den nyutsatte fisken i 2012 forsøket. Arbeidshypoteser var økt kontakt mellom fisk, not og andre strukturer i merden som følge av delvis negativ oppdrift hos laksen.



Figur 12. Gjennomsnittsvekt spesifikk vekstrate (SGR) og gjennomsnittlig score av snuteskader på 100 fisk fra hver merd etter 55 dager i forsøk 2 med mellomstorlaks i kontroll eller snorkelmerder.

Atferd

Den mellomstore laksen i forsøk 2 viste halvering av styrken på ekkoloddmålingene i løpet av 55 dager (figur 13), noe som indikerer en reduksjon av laksens svømmeblærevolum. Men en betraktelig fylling av svømmeblære må ha funnet sted, ettersom tidligere forsøk viser bortimot total tømning (inkludert lekkasje) i løpet av 3 uker dersom ingen tilgang til overflate finnes. Svømmehastighet og -struktur var tilnærmet lik i merdene, noe som ikke ses i nedsenkede merder uten snorkel. Overflateaktivitet var redusert i snorkelmerder på dagtid, men mulig fylling kan ha skjedd mer om natten. En hypotese for utilstrekkelig bruk av snorkelen var at det var få (lav tetthet) mette fisk i merden som svømte dypt på dagtid (pga. varmest ved merdbunn) og at enkeltindivers bruk av snorkelen dermed var mer utfordrende enn i de andre forsøk. Det ble ikke gjort observasjoner av atferd som kan knyttes til snuteskader, men ingen nattobservasjoner ble foretatt.



Figur 13. Total målstyrke i kontrollmerder (åpne symbol) sammenlignet med snorkelmerder (lukket symbol) gjennom forsøksperioden.

Oppsummering så langt

Basert på de to første arbeidene viser forsøkene at en 3 m dyp snorkel reduserer lusepåslaget ved en kystlokalitet, men at man sannsynligvis trenger en dypere snorkel som går et stykke under brakkvannslaget for å oppnå lignende effekt i fjorder.

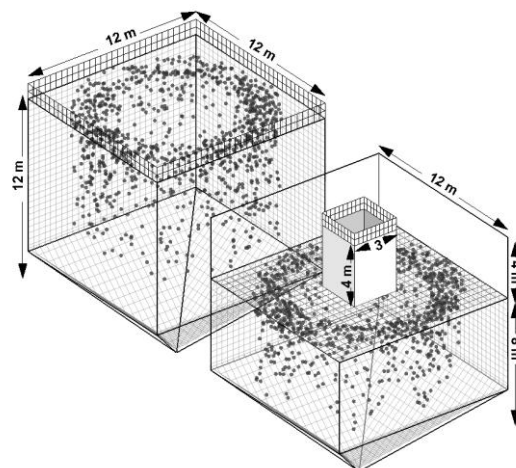
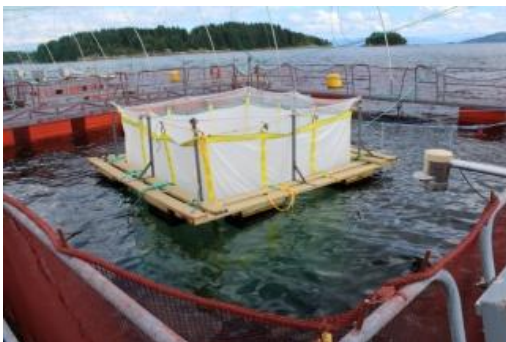
Når det føres i overskudd er tilveksten kun marginalt påvirket av snorkel, og atferden ble observert tilnærmet normal.

Økte snuteskader og halvert svømmeblære hos mellomstor fisk kan imidlertid indikere at denne trenger en større snorkel for å bruke og fylle svømmeblæren effektivt (i). Alternativt er det nødvendig med høyere tetthet, eller i hvert fall betydelig mer enn 1000 individer i en 2000 m³ merd for at populasjonen effektivt skal benytte snorkelen (ii). I forsøk 1 var det >3000 fisk per merd. Antallet kan muligens også ses i kombinasjon med det vinterbetonte miljøet med varmet vann på dypet, og preferanse for å svømme dypt i merden (iii). Eventuelt kan det være stor individuell variasjon som innebærer at kun en andel av fisken lærer seg å bruke snorkelen (iv).

Basert på resultater og diskusjon var det enighet om at neste forsøk skulle kjøres med stor fisk, kommersiell tetthet og fortrinnsvis om høsten, da lusepåslag er mest problematisk.

Kommersiell tetthet i snorkel, forsøk 3, stor fisk, høst 2013

I forsøket satte vi søkelys på å undersøke snorkelens funksjon med stor fisk på kommersiell tetthet. Blant annet skulle tilstrekkelig svømmeblærefylling og snute-/ finneskader undersøkes i detalj.



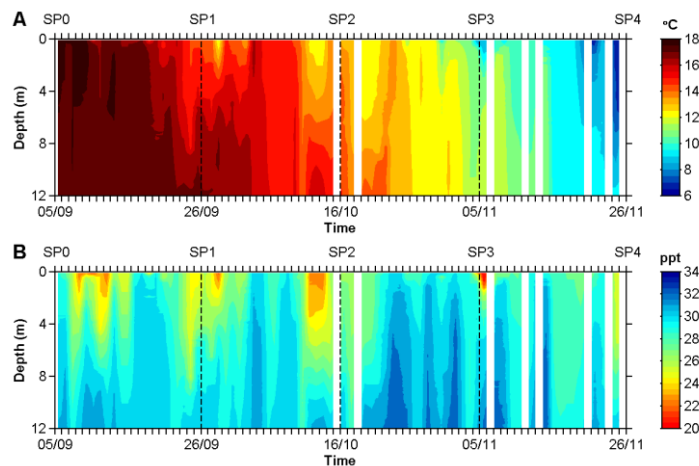
Figur 14. Bilde av snorkelmerdens åpning (3,2 m × 3,2 m) mot overflaten som gir laksen tilgang til å fylle luft, men holder den adskilt fra det mest lusebefengte overflatevannet. Høyre figur: Illustrasjonstegning av normal og snorkelmerd.

Forsøksoppsett

Forsøket ble gjennomført i et typisk kystmiljø (Forskningsstasjonen Austevoll, lokalitet Sauaneset) fra september til desember 2013 med stor fisk (2,3-4,6 kg) på kommersiell tetthet frem til slakt (figur 14). Dette er en kystlokalitet som normalt ikke har et vesentlig brakkvannslag og normalt har høyt smittepress av lus. Snorkelens størrelse var 3,2 m × 3,2 m i overflaten, 4 m dyp og hadde en sirkulær åpning i bunn med diameter 3 m.

Miljø:

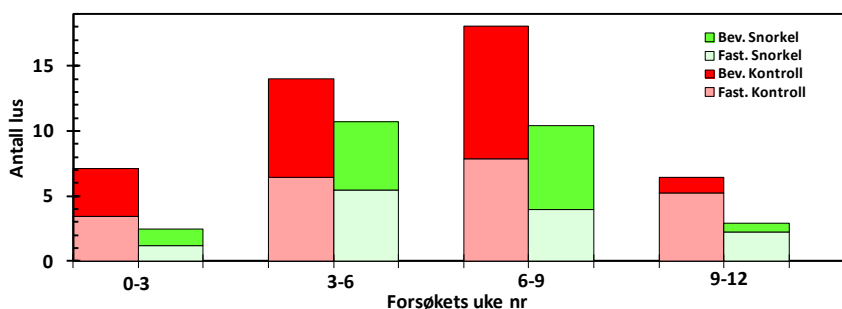
I løpet av forsøksperioden sank vanntemperaturen fra ~16 til ~9 °C (figur 15A). I starten var vannet nær overflaten varmere enn dypere vann, men endret seg til å bli varmest i dypet. Flere perioder var det også jevn temperatur fra overflaten og ned til merdbunnen. Saltholdigheten varierte med en klar gradient fra 33 i bunn 20-24 nær overflaten i perioder, og med bortimot ingen gradient og 33 i hele vannsøylen (figur 15B). Perioder med liten eller ingen temperaturgradient falt typisk sammen med en mangel på tydelig saltholdighetsgradient.



Figur 15. Miljøforholdene gjennom forsøksperioden fra 0 til 12 m dyp. A) Temperatur og B) saltholdighet. Datoene for prøvepunkter (SP) 1-4 er angitt med vertikale skraverte linjer.

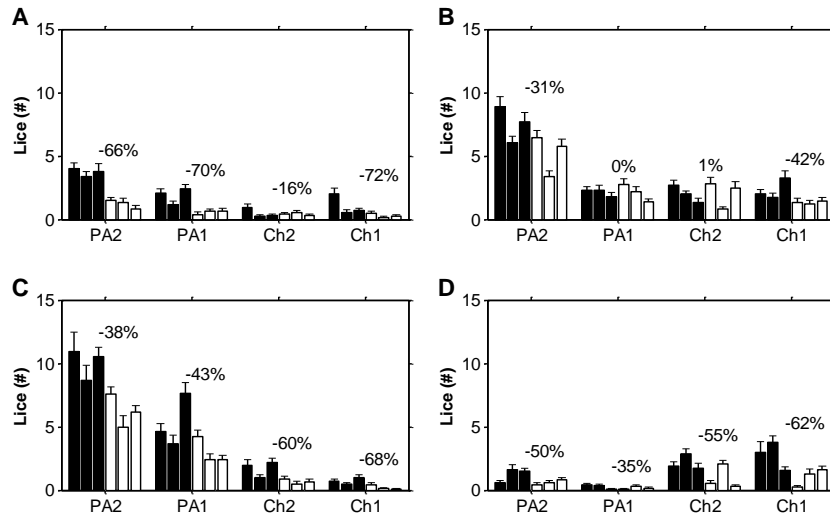
Færre lus

Det var igjen en betydelig reduksjon i lusepåslag for snorkelmerdene i den mest kritiske produksjonsperioden, høsten, og med kommersiell tetthet på fisk. Lusepåslaget var høyt, gjennomsnittlig infestasjon var opp til 18 lus per fisk i løpet av 3 ukers perioden mellom hvert uttak (figur 16). Første telling viste at snorkelen reduserte nivået med 65 %, og ved påfølgende tellinger hver tredje uke en var det reduksjoner på henholdsvis 24, 42 og 54 %. Totalt sett viser resultatene teknikkens potensial også i en årstid hvor det forventes at luselarvene er noe dypere i vannet enn om sommeren. I de kortere dagene utover høsten er luselarvene observert å synke passivt over lengre tid om natten og gå mer aktivt mot overflaten i den relativt kortere dagen. På tross av at ekkoloddobservasjoner (figur 17) viste at fisken i kontrollmerdene deler av tiden gikk på samme dyp som i snorkelmerdene, så vi redusert påslag.



Figur 16. Antall lakselus påslag per fisk hver 3. uke målt som Fast.=fastsittende og Bev.=bevegelig (ikke voksne) i vanlige oppdretts merder (Kontroll; røde kolonner) eller med innsydd tak på 3-4 m dyp og åpning til overflaten (Snorkel, grønn kolonne).

Hvert lusestadium representerer påslagsperioder på 4-7 dager, og vi ser stor variasjon mellom mengde påslag og snorkelens effektivitet (figur 17). Uten at vi har den fulle forståelsen ennå, kan vi indikere sammenhenger mellom lusepåslag, fiskens svømmedyp, perioder med brakkvann og sammensetning av vertikale gradienter i temperatur.

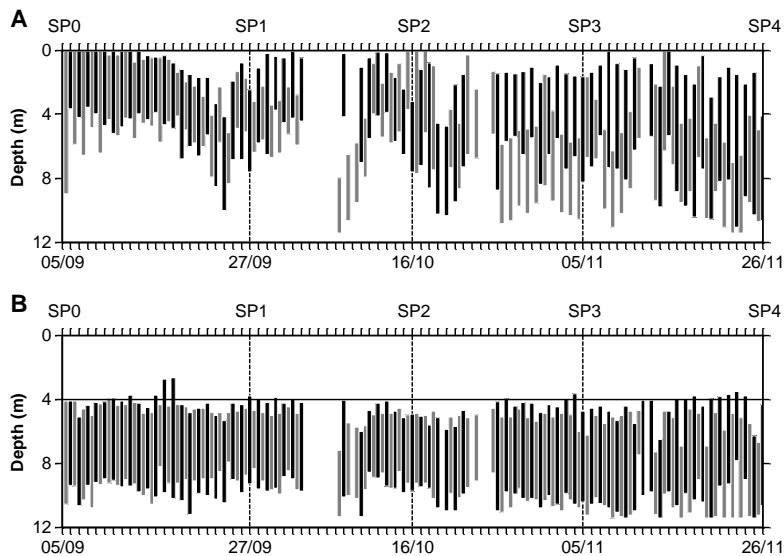


Figur 17 Gjennomsnittlig antall (\pm SE) av bevegelig 2 (PA2), bevegelig 1 (PA1), chalimus 2 (CH2) og chalimus 1 (Ch1) lusestadier per merd for hver prøvepunkt. Svart og hvite striper indikerer henholdsvis kontroll og snorkel merder. Prosentvise forskjeller mellom behandlingsgruppene er angitt over hvert stadium. A) uttak 1, B) uttak 2, C) uttak 3 og D) uttak 4.

Atferd og svømmeblærefylling

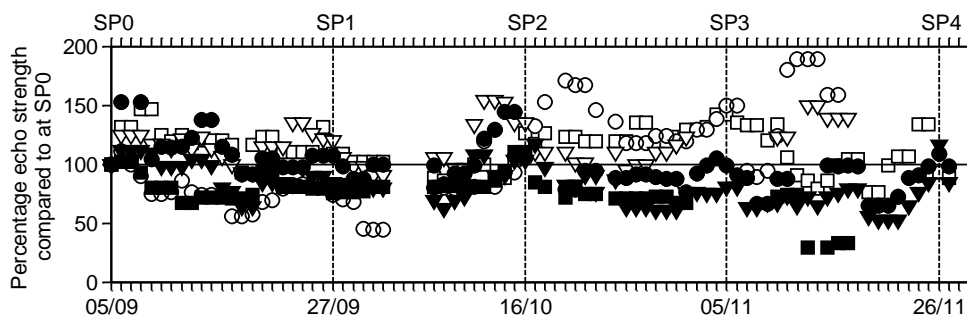
Svømmemønster, -hastigheter og stimatferd var på dagtid tilnærmet lik mellom kontroll- og snorkelmerder. Gjennomsnittlig svømmehastighet var 0,5 til 1,1 fiskelengder per sekund for fisk i kontrollmerdene og 0,5 til 1,0 fiskelengder per sekund i snorkelmerdene. Det var ingen konsistente forskjeller i svømmehastigheter mellom behandlingsgruppene i løpet av forsøksperioden. Overflateaktiviteten var generelt lavere i snorkelmerdene enn i kontrollgruppene, men innenfor normale frekvenser.

Fisk i kontrollmerdene svømte på ulike dybder gjennom hele forsøket (figur 18A). I de to første ukene okkupert de hovedsakelig de øverste 5 m, så ned til mellom 4 og 8 m, deretter mellom 1 og 6 m i dagene før prøvetakingspunkt 1. Etter prøvetakingspunkt 1, svømte laksen generelt under 4 m i løpet av dagen, mens spredde seg ut og benyttet også vannet over 4 m i løpet av natten. I snorkelmerdene ble fisken tvunget til å svømme under 4 m og benyttet stort sett dypet ned til 10 og delvis helt til bunn på 12 m. Likevel var det fortsatt variasjon i svømmedyp mellom dag og natt ved at laksen svømte grunnere om natten enn om dagen, og delvis også inn i snorkelen om natten (figur 18B).



Figur 18. Fiskens posisjon i løpet av dagen (grå søyler) og om natten (svarte søyler). A) Kontrollmerdene, B) Snorkelmerdene. Fiskens posisjon er definert av at minst 75 % av fisken i hver behandlingsgruppe er plassert i dyppet indikert ved søylen. Datoene for prøvepunkter (SP) 0-4 er angitt med vertikale stiplede linjer, og plasseringen av takene i snorkel merdene er angitt med en horisontal linje på 4 m.

Relativ total ekkostyrke overlappet mellom kontroll- og snorkelmerder i de første seks ukene av eksperimentet (figur 19). Da den relative ekkostyrke for fisk i kontrollmerder økte fra 100 til bortimot 200 % (i den ene merden), forble den relative ekkostyrke for snorkelmerd-fisken mellom 50-100 % av den opprinnelige ekkostyrken. Økningen i ekkostyrke kan skyldes økt fyllingsgrad av svømmeblære, at flere fisk svømmer innenfor ekkoloddets sentrale måleområde, annet valg av svømmedyp i forhold til tidligere tidsperiode eller endringen som ses i døgnlig vertikal migrasjon. Det var noe nedgang i ekkostyrke i snorkelmerdene over tid, spesielt i en replikat merd over ca. 5 dager (40-50 %). Men dagene før snorkler og tak ble fjernet, var ekkostyrken i alle snorkelmerdene tilbake på 100 % i forhold til opprinnelig nivå. Til sammenligning var også en av de replikate kontrollmerdene nede i ekkostyrkenivå <50 % i tre dager. Ekkostyrke er en grov måleparameter som vil variere med laksens valgte svømmedyp, variasjon i dette (for eksempel grad av døgnvariasjon) og delvis også hvor laksen er horisontalt i forhold til akustisk akse. Oppsummert kan en indikere at snorkelfisken tidvis har en noe lavere fyllingsgrad av svømmeblæren, men at den fullt ut klarer å etterfylle gjennom å svømme til overflaten via snorkelen.



Figur 19. Prosent av total ekkostyrke utover i forsøket i forhold til nivået ved start (prøvetidspunkt 0) for hver av de seks merkene. Kontrollmerkene har hvite symboler og snorkelmerkene har svarte symboler. De tre merkene i hver gruppe er angitt med firkantede, sirkel- eller trekantsymboler. Datoene for prøvepunkter (SP) 0-4 er representert med vertikale stiplede linjer, og den horisontale linjen er den prosentvise ekkostyrke fra den første dagen av forsøket, dvs. 100 %.

Tilvekst, kondisjon, dødelighet, finnescore

Den store laksen med appetittbasert undervannsfôring og kommersiell tetthet viste lik tilvekst i vekt og lengde som i kontrollmerkene. Dødeligheten var lav og uten forskjell mellom behandlinger. Laksen vokste fra 2,3 til 4,5 kg over de 12 ukene og med en lik utvikling i kondisjonsfaktor mellom gruppene.

Ved avsluttende uttak (SP4) var middelverdien for andel fisk med moderate snuteskader økt til 31 % i snorkelmerkene mot 21 % i kontrollmerkene, og var signifikant forskjellig. Årsaken er ikke klarlagt, men det kan skyldes den relativt store mengden med fysiske hindringer (not tak, snorkel) i forhold til fiskestørrelse og tilgjengelig volum å svømme på. Den relativt høye andelen med snuteskader i kontrollmerkene var ikke ventet, men kan skyldes bruk av en ny type antigroemiddel. I kommersiell skala vil uansett den relative andelen hindringer alltid være lavere.

Oppsummering så langt

Forsøk 3 viser et betydelig potensial for å forebygge nivå av lakselus ved hjelp av snorkelmerder på stor laks oppdrettet på kommersielle tettheter i løpet av høsten. Det var betydelig reduksjon i påslag og lite eller ingen skadelige effekter på fiskens vekst og velferd sammenlignet med kontrollmerder. Svømmeblærefylling så ut til å være tilstrekkelig. "Proof of concept" er et faktum.

Fremtidig forskning bør også vurdere om snorkler som har større dybde fører til ytterligere og mer konsistente reduksjoner i påslaget. Men dypere snorkel kan samtidig redusere laksens bruk av overflaten, og velferdsrisiko må revurderes.

Snorkeldyp, forsøk 4, november 2014-februar 2015

Det var ønskelig å oppnå ytterligere reduksjon i lusepåslag slik at annen behandling mot lakselus skal bli overflødig. I så fall vil snorkelen potensielt benyttes gjennom hele produksjonssyklusen som den viktigste metoden for å holde lusen unna.

Det er kjent at lusen er i de øvre vannlag, men vi hadde ikke dokumentasjon på hvor dypt laksen må svømme for å unngå lusearver fullstendig. Basert på anekdoter er det grunn til å anta at et slikt dyp finnes innenfor merdenes dybder.

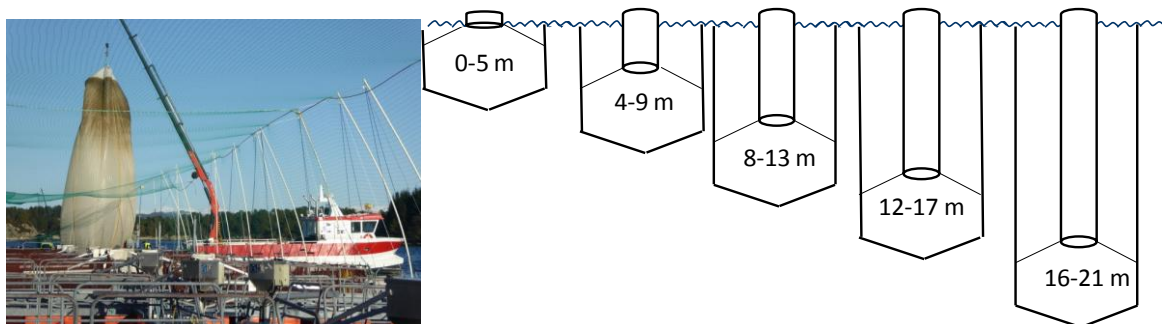
Med en dypere snorkel vil laksens aversjon mot snorkelen sannsynligvis også øke og muligens dens bruk av snorkelen avta. Potensielt vil dette gå ut over produksjonseffektiviteten og ikke minst laksens velferd.

Vi ville derfor gjennomføre et forsøk med snorkelmerder med tak på økende dyp for å se om laksen takler dette og om lusepåslaget reduseres ytterligere.

Forsøksoppsett

Et pilotforsøk med en merd og 16 m dyp snorkel ble gjennomført forsommeren 2014 for å få praktisk erfaring med å håndtere samt å sikre at fisken klarte å tilpasse seg teknologien. Resultatet var at laksen brukte snorkelen, hadde normal atferd for å være i merd og vokste tilsvarende som en gruppe fisk holdt i vanlig overflatemerd ved anlegget. Etter litt ombygging og erfaring klarte vi å håndtere den dype snorkelen, og lusepåslaget var redusert med >99 %.

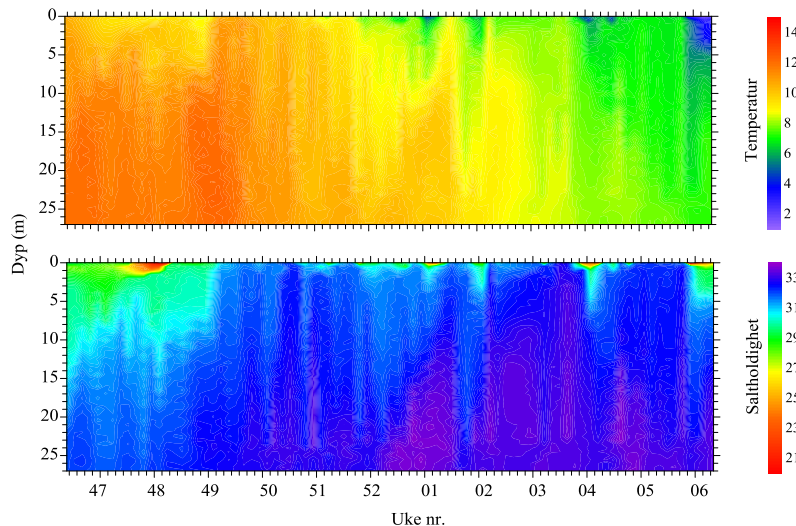
For å undersøke lusepåslag ved ulike snorkeldyp ble det satt opp en regresjon av 5 merder (12 m × 12 m). Disse hadde snorkel ned til 0, 4, 8, 12, eller 16 m dyp og nottak som var festet 2 m lenger nede i notveggen (figur 20). Sammen med at notbunnen skrånet omtrent slik som taket, var det tilgjengelig volum for laksen å svømme på under alle snorkelåpningene omtrent 720 m³ fordelt på 5 m dyp under snorkelen. 0 meter-gruppen innebar standard merd med like begrenset overflateareal som de andre snorkelene. Snorkelene var laget med et overflateareal på 3,2 m × 3,2 m og ringer nedover i dypet som ga sirkulær form og åpning mot merdvolumet i bunn.



Figur 20. Bilde av den 12 m dype snorkelen og oppsett av forsøk med ulike snorkeldyp.

Miljøet i anlegget ble registrert kontinuerlig på alle dyp. Temperaturen viste en nedgang fra 12 °C i oktober og ned til 4-6 °C i februar med tidvis stratifisering, hvor det varmeste vannet

var dypest (figur 21). Noe brakkvann ble observert i overflaten de første 2 uker, mens liten gradient i saltholdighet ble observert resten av forsøket. Oksygenmålinger inne i snorklene ble foretatt én gang per uke for å undersøke og sikre tilstrekkelig vannkvalitet. I den dypeste snorkelen måtte vannutskifting økes fra 80 til 180 l/ min (inntak under snorkelen), da en del fisk oppholdt seg så mye i snorkelen til tider av døgnet at oksygenivået var noe lavt.



Figur 21. Temperatur og saltholdighet på alle dyp i forsøksperioden fra slutten av november 2014 til begynnelsen av februar 2015.

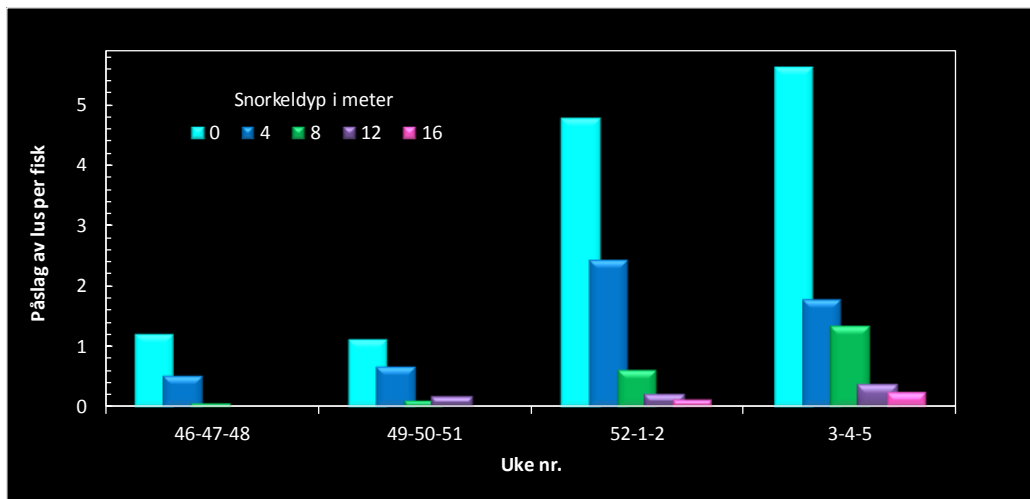
Prøvetaking var ytterligere forbedret fra tidligere studier, og representative uttak ble tatt med en stor håv (omkrets 3 m) som ble dratt raskt opp fra merdens bunn og opp gjennom snorkelen. Fôring ble benyttet for å lokke fisk opp i snorkelen, og håv ble dratt opp når det ble observert tilstrekkelig mengde fisk i snorkelen. Forsøket ble gjort på høstutsatt fisk fra oktober, og omtrent 3070 smolt på 53 g ble fordelt direkte ut i hver enkelt snorkelmerd fra transportbil. Lusetelling av alle stadier, gjellescore, vekt, lengde og en rekke velferdsmål (finneslitasje, deformasjoner, øyestatus, mv.) ble undersøkt hver 3. uke i 12 uker. Utfôring ble gitt i overskudd gjennom snorkelen. Atferd ble observert med kamera (appetitt, svømmehastighet og -struktur) og ekkolodd (dybdefordeling og svømmeblærefylling), samt direkte i overflate (rull og hopp per fisk). På forhånd ble 100 fisk i hver gruppe merket med utvendig floymerke-identifikasjon for å følge individuell utvikling i tilvekst.

Nesten null påslag av lus i de dypeste snorklene

Reduksjon i påslag av lakselus økte med snorkelens dybde og var til tider 100 % (figur 22). Sammenhengen var repetitiv og til stede ved hver telling foretatt med 3 ukers mellomrom fra november 2014 til februar 2015. Mengden lusepåslag varierte med sesong, hvor relativ få lus kom på fra utsett i oktober og frem til jul. Ved juletider økte påslaget og var høyest i januar. Således har det generelle lusepresset i området endret seg over tid. Lignende endring i lusepåslag ble observert lenger sør, i Rogaland, ved snorkelmerder som ble fulgt opp i kommersiell skala. I perioden med lave påslag var det 0 lus på 16 m og delvis 12 m og 8 m dyp snorkel, mens det var gjennomsnittlig påslag av 0,4 lus per fisk per uke i kontrollgruppen. I periodene med høyere lusepåslag, dvs. ca. 2 lus per fisk per uke i kontrollgruppe, var det noen få lus også på fisken i 12 og 16 m dyp snorkel og betydelig mer hos fisken i merden med 8 m dyp snorkel. Denne sammenhengen kan skyldes at det ved høyt lusepress er mer larver fordelt også nedover i vannsøylen. Alternativt kan det være

årstiden i seg selv som gjør at larvene synker passivt lenger ned på grunn av lange netter og korte dager ettersom luselarvene kun går mot overflaten på dagtid når det er lyst. Også saltholdigheten var noe mer homogen med dyp (figur 21) og kan sammen med dårlig vær ha gitt mer omvelting i vannmassene, som dermed har ført mer larver nedover i vannsøylen. Dette er kun spekulasjoner, og dynamikken mellom de ulike faktorene kan undersøkes nærmere i fremtiden.

Oppsummert viser resultatene klart at påslag av lus blir bortimot 0 dersom snorkelen er dyp nok, eller mer korrekt dersom fisken svømmer dypt nok.



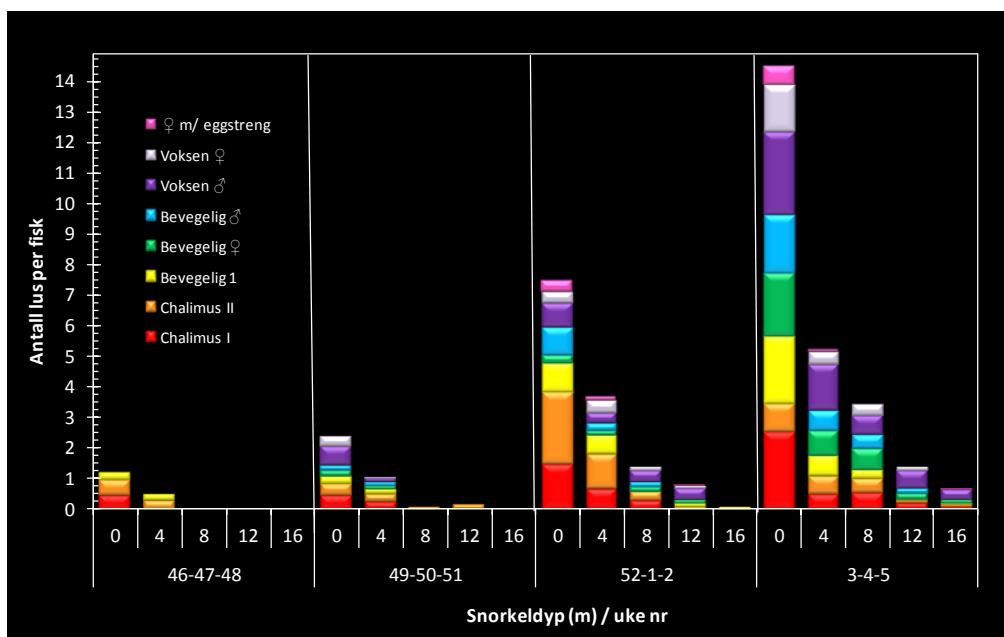
Figur 22. Lusepåslag (gjennomsnitt per fisk) gitt som totalt antall av lus som har kommet på i 3 ukers perioder mellom hver lusetelling basert på lusens utviklingsstadium ved telling og temperaturen i samme periode. Snorkelmerkene er 0, 4, 8, 12 eller 16 m dype og tvinger laksen til å svømme på dypene 0-5, 4-9, 8-13, 12-17, 16-22 m eller inne i den lusebeskyttende snorkelen hvor vannet skiftes ut med pumping fra snorkelåpningens dybde.

Totalt antall lus redusert med 99 % på 16 m dyp etter 12 uker.

Det totale antallet lus (figur 23) som gjennomsnittlig akkumuleres på hver fisk over tid stemmer godt overens med påslaget som var vist i figur 22. Luse" dødeligheten" etter påslag har dermed vært minimal over tid. De få voksne lus som ses ved avslutningen av forsøket i 16 m snorkel må ha kommet på i de første ukene hvor det ikke er registrert påslag. Dette kan skyldes at tellinger ikke alltid er representative, eller at lus har kommet fra andre fisk i anlegget, for eksempel etter avlusing i andre merder.

Vinteren er årstiden man forventer at effekten av at laksen svømmer dypt i forhold til når lusepåslag er minst. Dette som en følge av at luselarvene ventes å være mer nedover i vannmassene enn om sommeren når det er tilnærmet lyst hele døgnet og larvene sannsynligvis trekker konstant mot overflaten. Således er den reduserende effekten av snorklene i dette forsøket i underkant av hva som kan forventes på årsbasis og adskillig lavere enn på sommerhalvåret.

Basert på resultatene kan man anta at flere avlusinger ville vært unngått ved bruk av snorkelmerder. Ved å tvinge laksen til å svømme dypt nok, kan behov for annen metodikk for å ha kontroll på lusenivået unngås helt.



Figur 23. Totalt gjennomsnittlig antall lus per fisk for alle lusestadier ved telling hver 3. uke. Snorkelmerdene er 0, 4, 8, 12 eller 16 m dype og tvinger laksen til å svømme på dypene 0-5, 4-9, 8-13, 12-17, 16-22 m eller inne i den beskyttende snorkelen hvor vannet skiftes ut med pumping fra snorkelåpningens dybde.

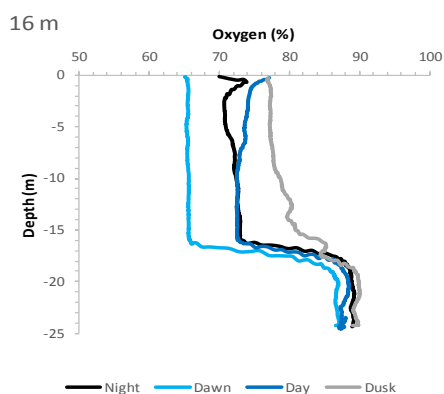
Tilvekst og atferd

Laksen vokste fra 53 til 158 g med en gjennomsnittlig spesifikk vekstrate på 1,2 over de 12 ukene forsøket varte. Det var ingen forskjeller i utvikling av vekt, lengde, kondisjon eller velferdsmål. Foreløpige data på mengde av andre parasitter viste ikke forskjell, men her skal det gjøres flere analyser, blant annet PCR for ulike arter.

Atferden til laksen var normal for en smoltgruppe etter utsett i sjø. Men tidsforløpet i utvikling av stimstruktur gikk raskere i de dypeste merdene i forhold til grunnere merder. Dette kan skyldes økt behov for å svømme, som normalt skaper stimstruktur i større merdgrupper av laks.

Miljø i snorkelen

I de dypeste snorkelene oppholdt en del av laksen seg tidvis så mye at det var behov for relativt høy vannutsifting i snorkelen. Dette er illustrert i figur 24 som viser oksygenivå i snorkelen ned mot 65 % i forhold til 90 % i vannmassene utenfor og under.



Figur 24. Oksygenivå (% metning) med dyp i den 16 m dype snorkelen til ulike tider av døgnet.

Oppsummering snorkeldyp og noen utfordringer

Forsøket viser krystallklart at det blir mindre påslag av lakselus desto dypere laksen svømmer og at det ligger et potensial for å få bortimot null påslag dersom laksen svømmer dypt nok. Det ble ikke observert at laksens aversjon mot snorkelen økte med dybden, ettersom svømmeblærefylling og normal svømming ble opprettholdt også i de dypeste snorklene. Produksjonseffektiviteten og laksens velferd ble opprettholdt også i de dypeste snorklene.

I fremtiden vil det være viktig å få laksen til å benytte snorkelen tilstrekkelig for å fylle luft til svømmeblæren, men ikke bruke den så mye at det blir utfordrende å opprettholde en akseptabel vannkvalitet. Ideelt sett burde det utvikles tiltak som både kan øke og redusere laksens bruk av snorkelen. Eksempler på slike tiltak er fôringsregime (mengde (appetitt/sult), intensitet, utfôringsdyp), kunstig lyssetting om natten på dypet hvor det er ønskelig at fisken skal svømme, endring av miljø i snorkel (temperatur kan endres ved å velge dyp hvor vannet tas fra) eller fysisk avgrense snorkelvolumet på lang eller kort sikt.

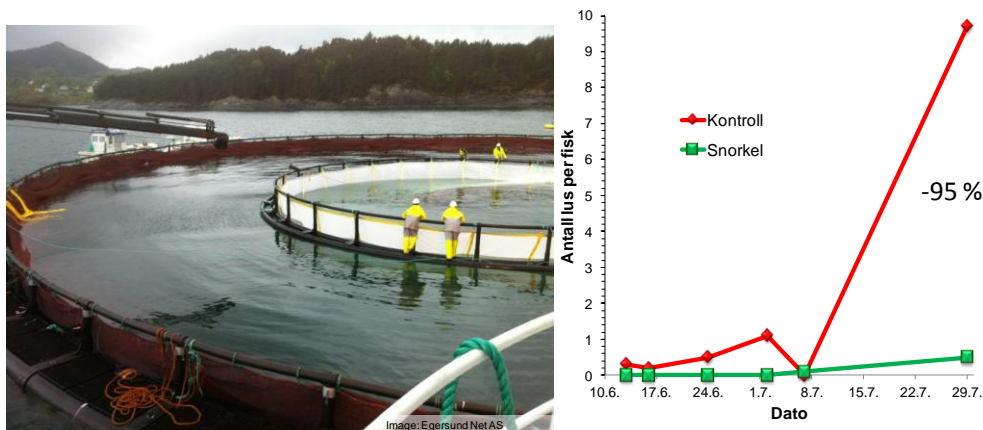
Kommersiell uttesting av snorkler hos Bremnes Seashore

Oppfølging har også vært gjort ved storskala utprøving og drift, utenfor FHF-prosjektet, men likevel delvis rapportert her.

Utprøving sommeren 2014

Ved tre lokaliteter ble det benyttet 1, 3 eller 4 snorkler per anlegg av totalt 4 merder gjennom sommeren 2014. Snorklenes omkrets var 60 eller 90 m og 10 m dype, og plassert i senter av 160 meters merder.

Ved den første lokaliteten (Tittelsnes) var det totale lusenivået null i snorkelmerden i juni og opp mot 0,5 per fisk i slutten av juli. I merdene uten snorkel var nivået på 0,2-1,1 i juni og nærmere 10 lus per fisk i slutten av juli (figur 25). Med andre ord var det betydelig mindre påslag i den kommersielle snorkelmerden sammenlignet med de normale merdene. Noen lakser (ca. 300) kom seg gjennom og oppholdt seg ovenfor taket etter den innledende lusebehandling. En måned senere ble disse laksene fisket opp og de var full av lus. Dette illustrerte hvor viktig laksens svømmedyp er for lusepåslag.



Figur 25. Bilde fra montering av den første kommersielle snorkelen. Figur til høyre: Lusenivå på lokalitet Tittelsnes med og uten snorkel og angitt prosentvis redusert lusenivå i slutten av juli.

Ved de to andre lokalitetene (Loddetå med 3 snorkelmerder og Svollandsnes med 4 snorkelmerder) var det store praktiske utfordringer i forhold til kapasitet og praktisk opparbeidet kunnskap. Noen spesifikke forhold kan nevnes her. Ved påsetting av snorkelen ble notveggene hevet og laksen tvunget mer opp i overflatelaget over noen dager. Dette medførte dessverre lusepåslag som igjen krevde avlusende behandling på senere tidspunkt. Avlusingen var meget utfordrende og førte til delvis nye påslag. På slutten av sommeren skapte stormen Lena omrøring i vannmassen, som igjen førte til nye påslag. Totalt sett ble det samlet mye erfaring med bruk av snorkelmerder som viktig kunnskap for eventuell videre bruk.

Snorkelmerder på Høst-14-utsett, sammenligning mellom lokaliteter

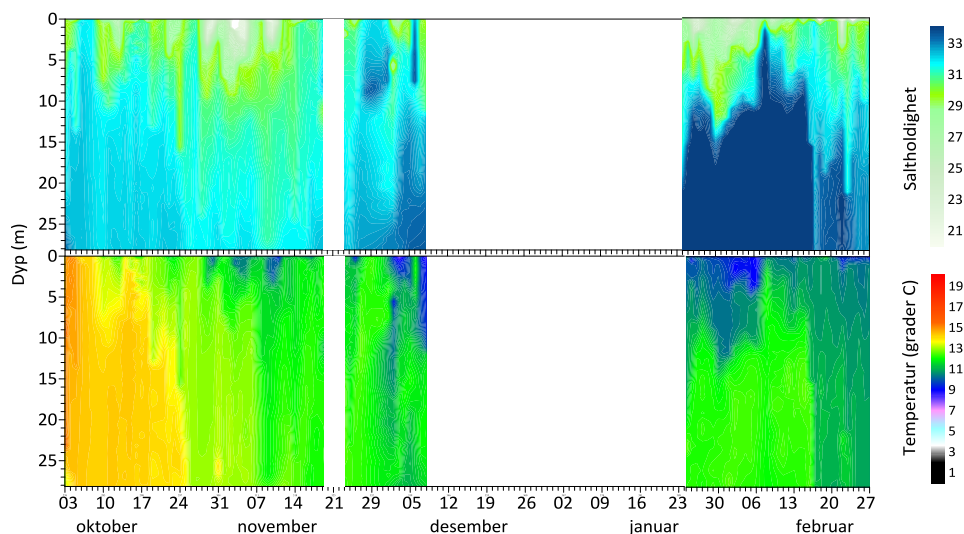
Ved tidlig høstutsett ble 4 av 4 merder (105 000-149 000 fisk per merd, satt i sjøen 9.-23. august på 55-84 g) ved lokalitet Låva nord for Ombo (bilde i figur 26) utstyrt med snorkler (90 m omkrets og 10 m dyp). Miljøet ble registrert daglig på alle dyp fra oktober. Lusedata fra et referanseanlegg (Kjehola, Marine Harvest) noen kilometer unna med samme type utsett og tilnærmet likt miljø, ble benyttet for sammenligning. Mammutpumpe-prinsippet ble anvendt for å opprettholde vannutskifting inne i snorklene. Dette består av injeksjon av komprimert luft i rør/slange som drar med seg vannet til overflaten hvor det distribueres utover. Vannet hentes fra vanddyp like under den nedre snorkelkanten.



Figur 26. Kommersielle snorkelmerder ved lokaliteten Låva, Ombo, Rogaland.

Temperatur og saltholdighet varierer med dyp og sesong

Temperatur og saltholdighet viser samsvarende gradienter med dyp (figur 27).

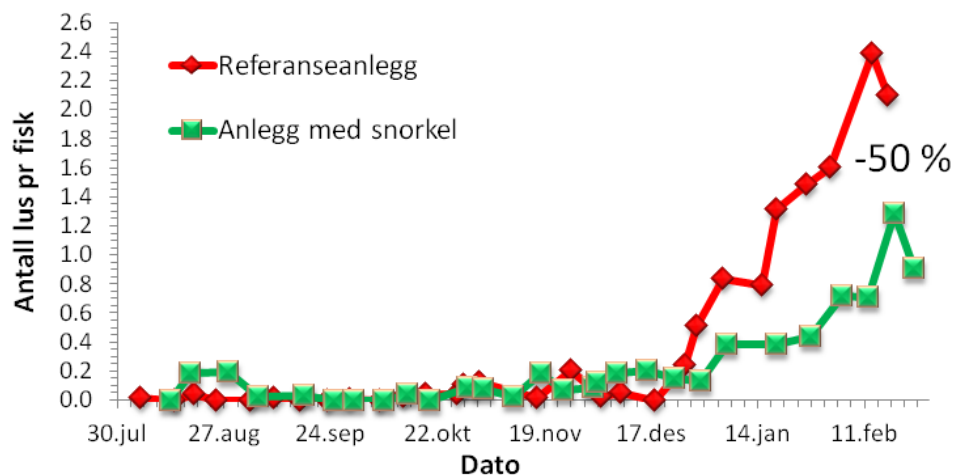


Figur 27. Saltholdighet og temperatur fra overflaten og ned til 30 m dyp fra oktober 2014 til mars 2015 basert på daglig miljøprofil målt med CTD (SD204, SAIV AS, Bergen) ved anlegget som har snorkler på alle 4 merder. Hvitt område indikerer manglende data.

Typisk vil det være liten utveksling av vann over sprangsjiktet som dannes mellom brakkvann og fullt sjøvann. Variabel dybde av brakkvann ble målt fra overflaten og ned til 10 (13) m dyp, hvor saltholdigheten tidvis var <25 i de øverste 5 meterne, men holder seg >25 ned til 10 m og er >30 dypere enn 10 m (figur 27). Temperaturen viser en sesongavhengig nedgang fra 15 °C i oktober og ned til 9-10 °C i februar (figur 27). Til tider er det homogen temperatur med dyp, men for det meste varmere under brakkvannslaget og nedover. Laksen velger normalt å stå i det varmeste vannet tilgjengelig så sant det ikke overstiger 16-17 °C. Vannkvaliteten inne i snorkelen, gitt som temperatur og saltholdighet, var homogen på alle dyp og av samme kvalitet som på det dypet hvor vannet ble hentet fra (data ikke inkludert).

Lusenivå

Nivået av lakselus var lavt fra utsett og utover høsten, men noen få lus ble talt i to av snorkelmerdene som fikk 3 uker forsinket montasje av snorkler (figur 28). Mer enn dobbelt så mye rensefisk ble benyttet på kontroll i forhold til snorkelanlegget. Et stort lusepåslag ble observert ved juletid og økende mengde lus talt utover i januar og februar. I perioden 26. desember til 19. februar var det gjennomsnittlige lusenivået 50 % lavere i snorkelmerdene sammenlignet med referanseanlegget.



Figur 28. Foreløpig data på total antall lus per fisk (gjennomsnitt av alle merder ved anlegget) i laksemerder på referanseanlegg (røde symbol) eller snorkelanlegg (grønne symbol) ved ukentlige tellinger fra smoltutsett i august til slutten av februar. Merdene er 160 m i omkrets og snorkelen 90 m i omkrets og 10 m dyp. Redusert mengde lus for perioden desember til februar er angitt i prosent.

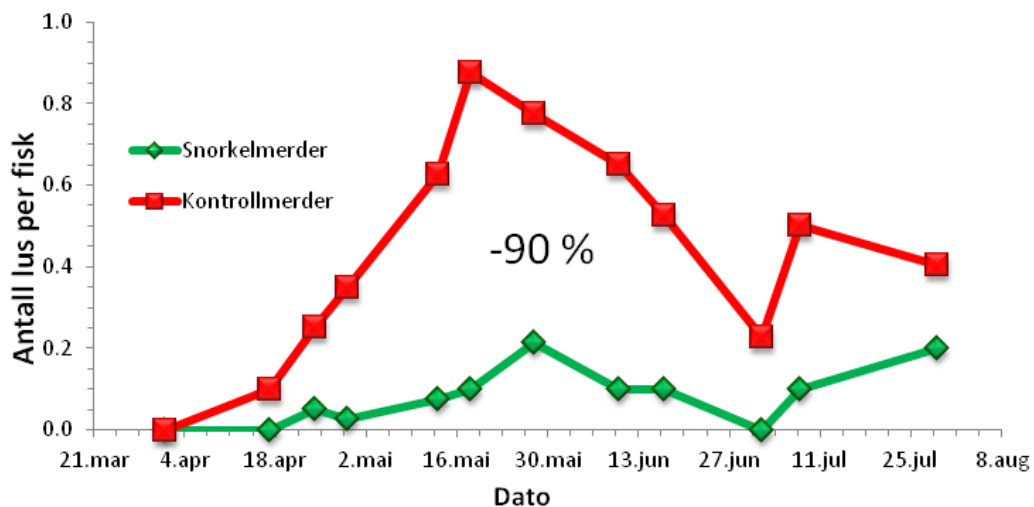
Brakkvannslaget kan ha ført til at luse-larver velger å oppholde seg dypere nede og muligens dypere enn snorkeldypet til tider. Det er ikke nøyaktig beskrevet hvilke saltholdigheter luse-larvene unngår. Litteraturen er mangelfull, men antyder unvikelse på saltholdigheter 20-28, at infeksjonssuksessen er bortimot halvert ved saltholdighet 26, og at alle larvene dør ved saltholdigheter lavere enn 10. Dessverre mangler vi profilmålinger for bortimot 40 dager rundt årsskiftet, av tekniske årsaker, men det er sannsynlig at det tidvis også her har vært brakkvannslag til stede. Den høyere saltholdighet som måles i dypet januar/februar er vanlig for årstiden, men også her er det muligens brakkvann nok til at lakseluslarver sprer seg nedover og potensielt under snorkeldypet.

Lakseluslarvene synker passivt om natten og svømmer mot lyset (overflaten) om dagen. Etersom dagens lengde er relativt kort om vinteren, vil de potensielt synke mer sammenlignet med om sommeren. Det kan spekuleres i om kombinasjonen av

brakkvannslag og korte dager kan være årsak til at en del luselarver har oppholdt seg under snorkeldypet gjennom vinteren og dermed ført til det noe uventet høye påslaget av lus fra november til februar. Det er således en plausibel hypotese at en dypere snorkel ville vært mer effektiv ved de gitte stratifiserte forholdene og lange nettene.

Snorkelmerder på Vår-15-utsett, sammenligning innen lokalitet

Ved lokalitet Jørstadskjera, nord for Ombo i Rogaland, ble det satt ut vårsnolt 2015 i 4 merder med omkrets 160 m. To merder ble utstyrt med snorkler (90 m omkrets, 10 m dype) og to merder fungerer som kontroll. I tillegg til normal ukentlig lusetelling blir det hver 3.-4. uke talt samtlige stadier av lus og gjort velferdsscore på 20 fisk per merd. Miljø måles kontinuerlig med profilerende logger ved flåten og oksygen måles i to dyp i hver merd og utenfor. Det ble satt ut likt antall rensefisk inn i alle merder.



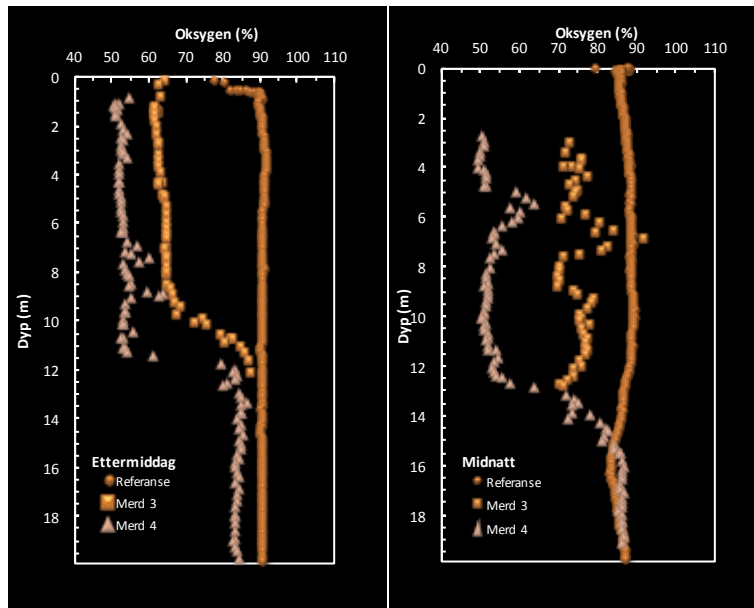
Figur 29. Gjennomsnittlig antall lus for to merder utstyrt med snorkel eller ikke (kontroll) hos vårsnolt fisk ved lokaliteten Jørstadskjera i Rogaland.

Lusenivå

Noen foreløpige data er gitt i figur 29 for totalt antall lus. Snorkelmerkene hadde minimalt med lus i forhold til kontrollmerkene og totalt sett en reduksjon på 90 %. Den reduserende effekten av snorkelen var i størrelsesorden 100 til 65 % og varierte fra uke til uke og mellom merder. I den ene snorkelmerden var en del mer lus enn i snorkelmerd nr. 2, noe som sannsynligvis skyldes at nedlodding og funksjonell dybde av snorkelduken over flere uker ikke var i orden. Foreløpig analyser av resultatene er meget lovende og merdgruppene vil bli fulgt opp frem til slakt i 2016.

Oksygenivå i snorklene

På snorkelmerkene med høstutsett ble oksygenmetning målt til 80-97 % metning utenfor merkene, noe som er normalt for årstiden (dataserie ikke inkludert). Nivået av oksygen med dyp var stort sett homogent, men med antydning til tidvis lavere verdier (65 %) i overflatelaget, muligens som følge av mye humus og oksygenkrevende organisk nedbryting utover høsten. Ved døgkontinuerlig måling inne i to av snorklene målte vi under 60 % og tidvis helt ned mot 50 % oksygenmetning på alle dyp. Til sammenlignet var det >90 % metning utenfor og dypere enn snorkelen (figur 30). De laveste verdiene ble målt ved midnatt, på morgenkvisten og under utføring.



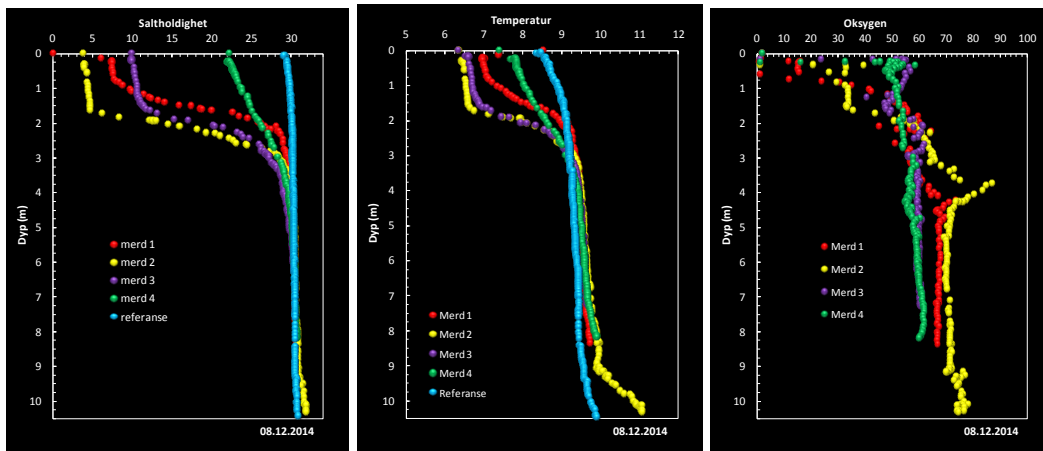
Figur 30. Oksygen gitt som % metning utenfor merdene (referanse) og inne i snorkelen i merd 3 og 4 på ettermiddagen og ved midnatt. Merdene er 160 m i omkrets og snorkelen 90 m i omkrets og 10 m dyp.

Oksygenverdiene viser klart en forringet vannkvalitet inne i snorkelen. De lave verdiene skyldes sannsynligvis en kombinasjon av at det ikke er god nok vannutskifting i forhold til mengde fisk som står i snorkelen. Det er typisk for laksen å trekke mot overflaten om natten og ved fôring (spesielt om den er sulten). Dersom fisken fôres i underskudd og den dermed ikke er tilstrekkelig mett, vil den også utenom måltidene stå nær overflaten som følge av høy fødemotivasjon. Figuren viser forskjeller i oksygennivå mellom merdene som kan skyldes kombinasjoner av ulikt oppsett for vannutskifting, oksygenmålerens plassering og ulik mengde fisk i snorkelen. Fremtidige tiltak kan spenne over: mer utskifting av vann, tilsetning av oksygen/luft eller påvirke slik at mindre fisk oppholder seg i snorkelen ved eksempelvis å lokke fisken ned med fôring dypere nede, holde fisken mett, benytte høy fôringsintensitet og bruke lys nede. Dersom en i fremtiden velger å bruke mindre snorkler (60 eller muligens 30-40 m i omkrets) vil det være enklere å opprettholde vannkvaliteten fordi 1) det er mindre volum å bytte ut, og 2) det er plass til færre fisk som kan bruke opp oksygenet. Det er også mulig at når oksygenivået blir lavt nok, vil laksen unngå å svømme i snorkelen, bortsett fra når den er oppe og fyller luft til svømmeblæren. Under fremtidig oppfølging vil det dokumenteres hvor mye fisk som står i snorkelen under ulike forhold og hvordan dette påvirker oksygenivået.

Ferskvannslag i snorkelen mot amøbisk gjellesykdom (AGD)

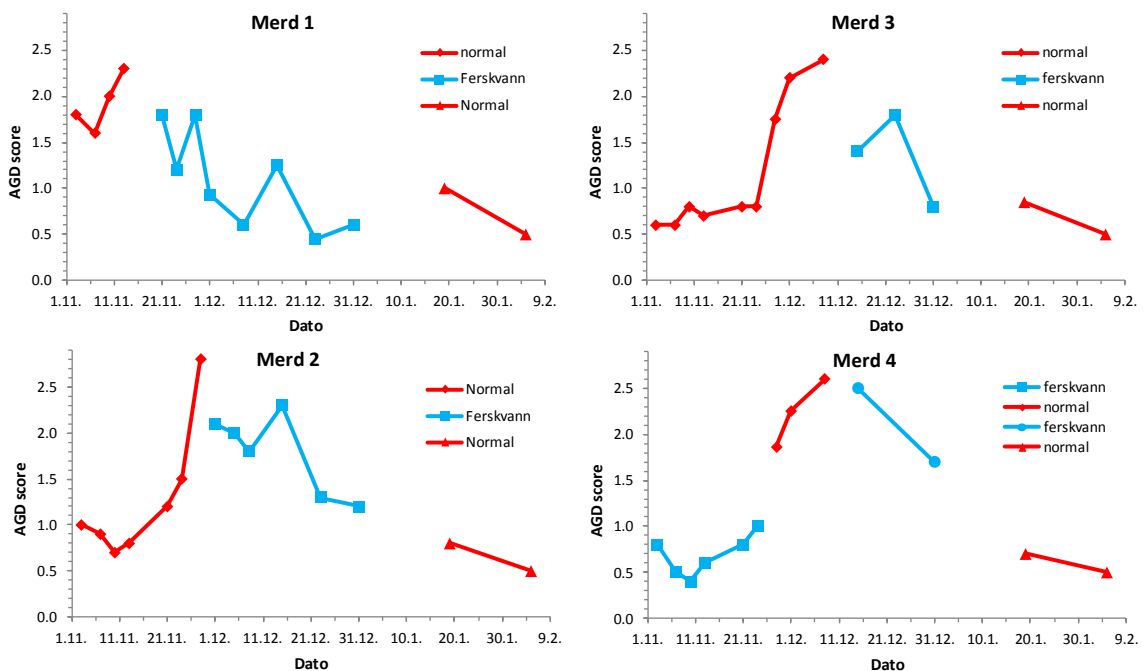
Fra november 2014 og frem til 10. januar 2015 (stormen Nina) ble det brukt ferskvann i overflaten av snorklene for å teste om utvikling av amøbisk gjellesykdom kunne stagneres eller unngås. En tett presenning med 3 m dybde ble hengt mellom not og den semipermeable snorkelen, og ferskvann ble tilført kontinuerlig med 6-700 m³ per døgn. Etter noen dager ble det etablert et brakkvannslag med saltholdighet ned mot 0 i overflaten og ned til 2 m dyp (eksempel er gitt i figur 31). Temperaturen er lavere i brakkvannet sammenlignet med sjøvannet dypere nede. Oksygenivået i det relativt stillestående vannet var meget lavt og til tider langt under 50 % metning (eksempel i figur 31). Laksen var i denne perioden sjelden i de øvre vannlag (oppdretters direkte observasjon og via kamera), men brøt fremdeles overflaten for å fylle luft. Muligens unngår laksen unødig bruk av overflaten

på grunn av de lave oksygenverdiene. Sammenhengene mellom hvor laksen svømmer og hvilket miljø som er tilgjengelig trengs å undersøkes i detalj for å sikre riktig bruk av snorkelmerder i forhold til produksjonseffektivitet og dyrevelferd.



Figur 31. Eksempel på nivå av saltholdighet, temperatur og oksygen i snorkelmerkene med etablert ferskvannslag i de øverste meterne målt den 8. desember. Merd 3 og 4 er nylig satt på ferskvanntilførsel. Utskifting av vann i snorkelen ved hjelp av mammutpumpe er slått av.

Bruk av ferskvann i overflaten av snorklene indikerte at man kunne stoppe opp og delvis redusere utviklingen av AGD i merkene, vist som nedgang i AGD-score når det var etablert ferskvannslag (figur 32). Den blå grafen viser når tilførsel av ferskvann og etablering av brakkevannslag i snorkelen fant sted i de ulike merkene. Hele anlegget unngikk å bli behandlet for AGD på annen måte. Resultatene fra disse begrensede testene er så interessante at man vil gå videre med uttesting i vitenskapelige forsøk og videre kommersiell uttesting.



Figur 32. Aktiv score for amøbisk gjellesykdom (AGD score) over tid med ferskvannslag etablert øverst i snorkelen indikert med blå symboler og linje. Røde punkt og linje indikerer standard snorkelmerd med kontinuerlig utskifting av vann hentet fra under snorkelens dyp.

Praktiske utfordringer

Utsetting av snorkler, nedlodding, innfesting, håndtering, fôring, fôr- og appetittkontroll, samling av død fisk, plassering av skjul for renseskjøl, utskifting av vann og opprettholdelse av et godt miljø i snorkelen lar seg gjøre. Daglige gjøremål er litt mer utfordrende ved at driftspersonell må inn på innerste ring/gangbane. Vask må utføres med ROV. Fremdeles er det rom for ytterligere effektivisering av bruk og optimalisert design på mange småting. Den siste versjonen av snorkelmerden er betydelig bedre enn den første, men det trengs fremdeles fokus på videreutvikling og standardisering av selve snorkelen og dens enkeltelementer. Det er mulig å gjennomføre de fleste normale operasjoner i storskala snorkler (eksempelvis notskift, kjemisk lusebehandling), men ytterligere optimalisering i de neste kommersielle versjoner vil forenkle arbeidet betydelig.

Totalt sett vil det være mer jobb med driftsrutiner på en snorkelmerd, men den gir mer kontroll med lakselusen og mindre jobb med avlusinger og dens tilhørende utfordringer.

Bremnes Seashore har uttalt seg om sin erfaring med kommersielle snorkelnøter (EN Tubenot) og sier blant annet:

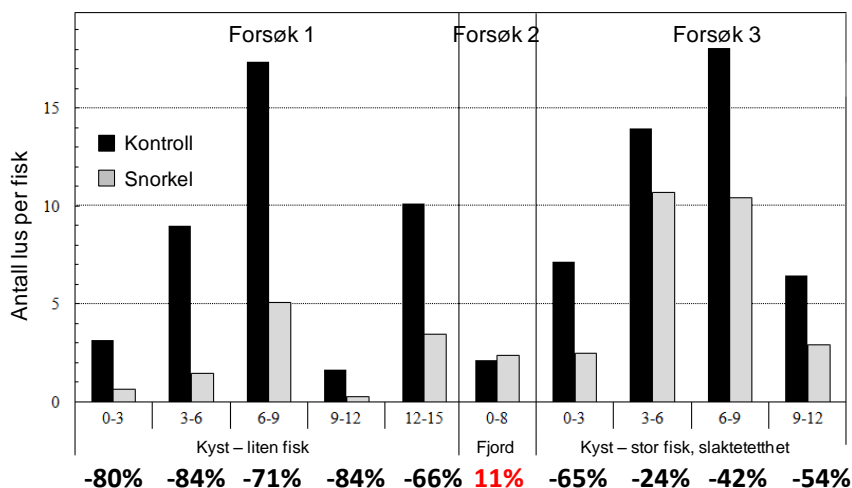
EN Tubenot fungerer med en motivert gjeng på merdkanten. Vi har funnet løysningar på praktiske utfordringar med tubenøter. Etter orkanen Nina fekk vi påslag av lus og då gjennomførte vi avlusing med presenning med tubenøtene montert. Vi har også funnet metodar for å gjennomføre alle daglige arbeidsoppgåver. På lokaliteten Låva har vi pr. 30.11.2015 kr 1,50 til kr 2,- (pr. kg Laks) lågare kostnader til lusebehandling i forhold til dei andre lokalitetane med same generasjon fisk (H-14). – Da må ein presisere at vi har måtta gjennomføre avlusing på lokaliteten Låva etter lusepåslag etter orkanen Nina. Vi trur at vi, basert på dei erfaringane vi har så langt, skal kunne unngå avlusing gjennom hele produksjonssyklus dersom vi nyttar tubenøter.



Figur 33. Bilde av driftsoperasjoner på en kommersiell snorkelmerd

Overordnet diskusjon, arbeid videre og konklusjon

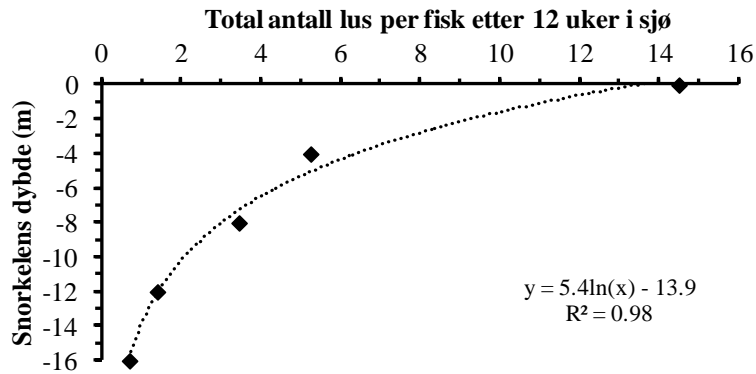
En rekke av problemstillingene som var opplistet ved prosjektets oppstart er undersøkt og dokumentert. Totalt sett viser forsøkene at en 3-4 m dyp snorkel reduserer lusepåslaget ved en kystlokalisitet, men at man sannsynligvis trenger en dypere snorkel som går et stykke under brakkvannslaget for å oppnå lignende effekt i fjorder (figur 34).



Figur 34. Totalt antall påslag av lakselus per fisk i vanlige oppdretts merder (kontroll; svarte kolonner) eller med innsydd tak på 3-4 m dyp og åpning til overflaten (Snorkel, grå kolonne). Forsøk 1 og 3 ble gjennomført i et typisk kystmiljø fra mai til august med 90-600 g fisk og fra september til desember med 2,3-4,6 kg fisk. Forsøk 2 ble gjennomført i fjordmiljø med brakkvannslag ned til 3-4 m dyp, fra februar til april og 1,4-2,2 kg fisk. Gjennomsnittlig mengde lus er beregnet basert på 3 merder per behandling, telling av nye lusepåslag hver tredje uke i forsøk 1 og 3 og totalt antall lus i forsøk 2.

Når det føres i overskudd er tilveksten kun marginalt påvirket av snorkel, og atferden ble observert tilnærmet normal. Tidvis økte snuteskader og delvis halvert svømmeblære kan imidlertid indikere at mellomstor og stor laks trenger en større snorkel for å bruke den og fylle svømmeblæren tilstrekkelig effektivt. Eventuelt kan det være stor individuell variasjon som innebærer at kun en andel av fisken lærer seg å bruke snorkelen. Et viktig fremtidig spørsmål blir derfor om laksen kan kondisjoneres/læres til å benytte snorkel mer, og om det finnes en nedre grense for snorkelens areal som avhenger av fiskestørrelse. Nyutsatt smolt hadde lavere dødelighet i snorkelmerder (4,5 %) i forhold til kontroll (9,5 %), samt færre taperfisk. Denne positive effekten kan skyldes en rekke faktorer som for eksempel mindre kontakt med sykdomsfremkallende bakterier og virus som det er mer av i overflaten. I de to andre forsøkene var dødeligheten lav, og ingen forskjell mellom gruppene.

Den klare sammenhengen mellom snorkelens dybde og mengde påslag av lus som ble vist repetitivt over tid i det fjerde mellomskalaforsøket, fremhever potensialet som ligger i å tvinge fisken til å svømme dypere (figur 35). Prinsippet med å skille det infesterende stadiet av lakselusen med verten fra hverandre, er vist en gang for alle.



Figur 35. Totalt lusepåslag fra november til februar i mellomskala forsøk hvor laksen svømte på 0-5, 4-9, 8-13, 12-17 eller 16-21 m dyp gitt ulike snorkeldyp. Punktene er øvre oppholdsdyb og representerer totalt lusepåslag i løpet av 12 uker i sjøen. En logaritmisk trendlinje er lagt på med r^2 -verdi på 0,98.

Etter 12 uker var det henholdsvis 14,5, 5,3, 3,5, 1,4 og 0,7 lus per fisk gitt at laksen ble tvunget til å svømme på 0-5, 4-9, 8-13, 12-17 eller 16-21 m dyp eller inne i den relativt lille snorkelen (diameter = 3 m). Forsøket ble gjennomført om vinteren hvor lakseluslarvene opplever lange perioder med mørke og ikke aktivt går mot overflatelyst. Om sommeren var det observert enda større reduksjon i lusepåslag, selv med grunne snorkler. Variabel effekt av snorkler med årstid er sannsynligvis en konsekvens av at luselarvene søker aktivt mot overflaten i flere timer om sommeren enn vinteren. Nyttepotensialet med teknikken er at det kan bli bortimot 0 lus dersom snorkelen er dyp nok, eller mer korrekt dersom fisken svømmer dypt nok.

I kommersiell skala fungerer snorkelprinsippet ved at det reduserer påslag av lakselus og laksen opprettholder normal tilvekst, atferd og produksjonseffektivitet. Det ser lovende ut med ferskvannsløkk mot AGD, men dette må undersøkes nærmere i detalj, fortrinnsvis også i mellomskala forsøk. Oppmerksomheten må rettes mot vannmiljøet i snorkelen. Dagens kommersielle snorkelmerder begynner å bli standardiserte. Snorkelmerd fører til økt mengde arbeid med utsetning, oppfølging og vedlikehold. Totalt sett vil det være mer jobb med driftsrutiner i en snorkelmerd, men mer kontroll med lakselus og mindre jobb med avlusinger og dens tilhørende utfordringer.

I et forvaltnings- og rådgivingsperspektiv kan snorkelprinsippet benyttes som tiltak i luseutsatte områder eller hvor det er spesielt viktig med kontroll av lusenivå. Snorkelmerd kan også være en teknologi som kan benyttes i grønne konsesjoner. Spesifikke effekter av snorkelmerder lokalt og regionalt kan undersøkes gjennom dagens modellsimulering for hvordan lakselus spres.

Når antar vi at snorkelprinsippet ikke virker?

Ved noen oppdrettslokaliteter er det tidvis nedadgående eller oppadgående vannstrømmer, for eksempel som følge av kraftig pålands- eller fralandsvind. Dersom overflatelaget med luselarver blandes nedover i vannmassene, vil effekten av snorkel være mer begrenset enn ved lokaliteter som har mer stabile vannmasser. Hvis vannmassene ikke er stratifisert, men homogene nedover i dypet, oppstår slike nedadgående strømmer lettere. Samtidig må lokaliteter med et dypt brakvannslag ha dypere snorkel for å oppnå ønsket effekt.

Fremtidig fokus og videreutvikling

Det er nå viktig å videreutvikle snorkelen under kommersielle forhold, blant annet gjennom å repetitivt verifisere den reduserende effekten av lusepåslag ved ulike lokaliteter og tilhørende sesongvariasjon, finne optimalt snorkeldyp i forhold til lokalitet, forstå hvordan laksen takler og tilpasser seg, sikre tilstrekkelig vannkvalitet i forhold til hvor lenge laksen oppholder seg i snorkelen og opprettholdelse av normal produksjonseffektivitet og fiskevelferd. Endret forekomst av andre parasitter kan forekomme og bør dokumenteres, og eventuelle tiltak bør utvikles. For eksempel kan det bli mer AGD-utbrudd ettersom laksen kontinuerlig er eksponert for høyere saltholdighet ved noen lokaliteter. Et tiltak vil være bruk av ferskvann i snorkelen. Det kan tenkes at mengde skottelus øker, slik som observert i noen tilfeller ved bruk av skjørt. Mengde bendelmark vil potensielt gå ned, ettersom laksen vil ha begrenset tilgang til mellomverten raudåte. Teknologien må videreutvikles: snorkelens struktur/materiale, størrelse og dybde kan optimaliseres.

For laksen sin del er en snorkel med 90 m i omkrets i en merd med omkrets 160 meter (snorkel dekker ca. 32 % av areal) mye større enn det som er nødvendig for å kunne etterfylle luft i svømmeblæren. I mellomskalaforsøkene i 12 m × 12 m merder var snorkel på 3 m i diameter tilstrekkelig og utgjorde kun 5 % av merdarealet. Det ble også observert at laks i snorkler på 60 meter i diameter benyttet denne flittig (åpningen mot overflaten var da 14 % av arealet). Dersom laksen benytter snorkelen mye vil det være mer krevende med høy vannutskifting for opprettholdelse av godt miljø sammenlignet med lite (men tilstrekkelig) bruk. Ved eventuelt ferskvannslag på toppen vil dette ha et omfattende volum for tilførsel og vedlikehold av vannkvaliteten i en stor snorkel i forhold til en liten. Men på den annen side gjør en stor snorkel driftsrutinene enklere. En optimalisering av snorkelens volum i forhold til laksens behov, reduksjon av lusepåslag, teknologisk utforming, kraftpåvirkning og driftsrutiner er nødvendig.

Det vil være en balanse mellom hvor mye laksen bruker snorkelen, vannutskifting og vannkvalitet. Det vil sannsynligvis være mulig å tiltrekke laksen til økt bruk av snorkelen ved å endre på utfôringsregime. Fôring i snorkelen vil trekke fisken dit, og sulten fisk vil gå der mer enn mett fisk. På samme måte vil fôring dypere enn snorkelen og det å sørge for at laksen ikke er spesielt sulten, sannsynligvis holde laksen under snorkelen. Ved lyssetting inne i snorkelen vil dette virke tiltrekkende på laksen, samtidig som lysbruk utelukkende dypere enn snorkelen vil tiltrekke fisken vekk fra snorkelen. Ved å optimalisere temperaturen gjennom å velge ulike dybder for innløpet til vannutskifting, kan laksen både tiltrekkes og frastøtes fra snorkelen. Muligens vil også nedsatt oksygennivå og ellers redusert vannkvalitet frastøte fisken fra å bruke snorkelen, men samtidig vil laksen likevel gå opp når det er høyst nødvendig å etterfylle luft. Disse forhold kan utvikles i fremtiden slik at oppdretter gjennom sine drifrutiner til en viss grad kan styre hvor mye laksen skal benytte snorkelen. Dersom snorkelen åpenbart brukes for lite, kan laksen lokkes dit og motsatt.

Dersom det blir lusepåslag kan disse fjernes i kombinasjon med annen teknologi som bruk av laser, rensefisk uten å ta fisken ut av merden. Virkningsgraden av slike tiltak bør dokumenteres for å sikre deres funksjon og muligens tilpasset snorkelens design og hvor laksen svømmer.

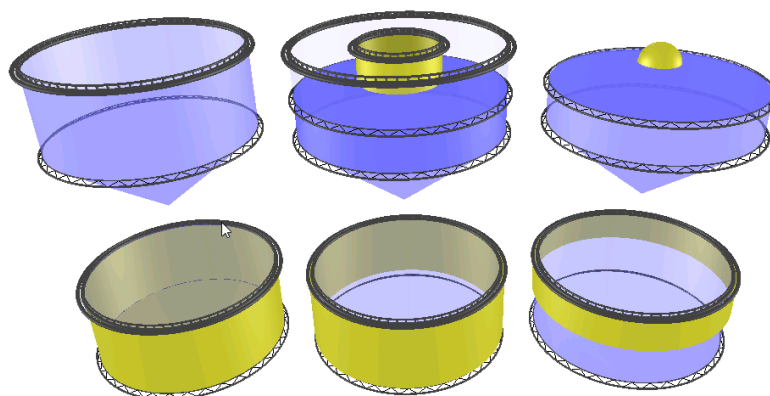
Spesifikke fremtidige problemstillinger inkluderer: Hvor mye reduserer snorkelen lusepåslag gitt samme lokalitet og variasjon i det årstidsvarierende miljø og daglengde? Vil dypere snorkel gi bedre reduserende effekt på lusepåslag ved samme lokalitet? Vil en relativt grunn snorkel være tilstrekkelig til å unngå påslag på noen lokaliteter og årstid? Hvor svømmer fisken? Hvordan varierer vannmiljø i snorkelen? Hvilke tiltak kan benyttes for å sikre akseptabelt miljø? Vil utfôringsdyp påvirke fiskens svømmedyp, snorkelvannets kvalitet, laksen tilvekst og atferd? Kan snorkeldypet justeres etter en spesifikk saltholdighetsgrense for optimal beskyttelse mot lus? Trenger laksen tid til å lære seg å bruke snorkelen? Vil en stor laks, som ikke er smolt og dermed nylig vant til å svømme i kar (= snorkellignende) begynne å overforbruke snorkel som monteres i merder? Vil alle laksene i merden benytte snorkelen? Vil all laks lære av noen få? Er det forskjell i snorkelbruk mellom liten og stor fisk? Hvor stor og hvor dyp må snorkelen være? Hvor effektivt er ferskvann mot AGD i snorkelen og hva er virkningsmekanismen?

Fremtidige mål for planlagt oppfølging er å dokumentere og verifisere at snorkelmerder kan benyttes i kommersiell skala uten negative konsekvenser for fisken. Samtidig kan det føre til betydelig redusert lusepåslag og kan muligens benyttes i kombinasjon med ferskvann for å kontrollere amøbejellesykdom.

Konklusjon og utvidet bruk av prinsippet: ”dypere svømming gir mindre lus”

Totalt sett er det gjentagende vist at laks som svømmer dypere får mindre påslag av lakselus, *Lepeophtheirus salmonis*. Dersom snorkelen driftes på en optimal måte, opprettholdes normal produksjonseffektivitet, atferd og velferd. Men det er fortsatt rom for ytterligere forbedringer av prinsippet, design, og dokumentert bruk i stor skala.

Prosjektet dokumenterer at prinsippet med å skape en avstand/”mismatch” mellom laksen som vert, og lakselusen som parasitt, virker. Dette åpner opp for utvikling og bruk av en rekke andre metoder hvor redusert lusepåslag vil finne sted, eksempelvis nedsenkete merder med luftlomme, repetitivt nedsenkete merder (se figur 36), lys og fôringsstrategier som lokker laksen dypere. Dataene er også med på å underbygge at eksisterende bruk av skjørt/duk rundt merdene vil ha en påslagshemmende effekt.



Figur 36. Eksempler på dagens og fremtidens mulige løsninger som kan utnytte prinsippet med å skape en "mismatch" mellom laksen som vert og lakselusen som parasitt. I rekkefølge fra øverst til venstre: Vanlig merd, snorkelmerd, tak og luftkuppel, lukket merd, skjørt med ulik dybde.

Bruk av snorkelmerd-metoden vil kunne redusere oppdretters kostnader til lusekontroll, lusens negative virkning på ville bestander, utslipp av miljøgifter og potensielt øke fisken velferd i merdene. Den relativt ukompliserte teknologien vil enkelt kunne tilpasses dagens ulike merdsystemer.

Leveranser

Vitenskapelige artikler

- Wright, D.W., Nowak, B., Oppedal, F., Bridle, A., Dempster, T., 2015. Depth distribution of the amoebic gill disease agent, *Neoparamoeba perurans*, in salmon sea-cages. *Aquaculture Environment Interactions* 7, 67-74.
- Stien, L.H., Dempster, T., Bui, S., Glaropoulos, A., Fosseidengen, J.E., Wright, D., Oppedal, F., 2016. 'Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. Revised version accepted for publication in *Aquaculture* 10.02.2016
- Wright, D.W., Oppedal, F., Dempster, T., 2016. Succinctus: 'Early-stage sea lice recruits on Atlantic salmon are freshwater-sensitive. Accepted for publication in *International Journal for Parasitology* 20.11.2015.
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Stien, L.H., 2016. Mismatching host and parasite environments reduces encounter rates and prevents infestation of farmed salmon by sea lice. Revised version submitted to *Aquaculture Environment Interactions* 23.01.16
- Dempster, T., Bui, S., Stien, L.H., Oppedal, F., 2016. Effects of the cage-based 'snorkel' sea lice barrier technology on Atlantic salmon (*Salmo salar*) growth, condition and behaviour. Submitted for publication in *PlosOne*, in revision.
- Oppedal, F., Stien, L.H., Samsing, F., Wright, D.W., Bui, S., Dempster, T., 2016. The mismatch between Atlantic salmon hosts and salmon lice parasites increase with depth: Snorkel cage principle provides a future farming solution. Manuscript in prep for *International Journal for Parasitology*.
- Karlsbakk, E., Oppedal, F., Stien, L.H., 2016. 'Snorkel cage' trials: Effect of snorkel on infections with some gill disease (GD) associated agents. In prep.
- Wright, D.W., Dempster, T., Stien, L.H., Vågseth, T., Nola, V., Fosseidengen, J.E., Oppedal, F., 2016. Snorkel cage effects on salmon lice and AGD in commercial scale salmon farming. In prep.
- Bui, S., Oppedal, F., Stien, L.H., Dempster, T., 2016. A behavioural response to ectoparasitic infestation in farmed Atlantic salmon. Revised version submitted to *International Journal for Parasitology* 08.06.15
- Samsing, F., Dempster, T., Oppedal, F., Stien, L.H., Ådlandsvik, B., Sandvik, A.D., Asplin, L., Johnsen I. A., 2016. Validation of lice dispersal model using salmon kept at separate depth layers. Submitted

Oppslag og populærvitenskapelige artikler

- Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Stien, L.H., 2015b. Kommerielle snorkelmerder 2014-2015. Norsk Fiskeoppdrett 8, 68-74
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H., 2015a. Dyp nok snorkel kan gi bortimot null lus. Norsk Fiskeoppdrett 6, 44-49
- Røen, Ø.S., 2015. Snorkelmerden nærmer seg lansering. Kyst.no, 17.03.2015.
- Nodland, E., 2015. Rett dyp på snorkelen gir null lus. iLaks. 03.03.2015
- NN. Storskalaforsøk kan løse lakselusproblem. iLaks. 22.10.2014.
- Dodd, Q., 2014. Snorkels for salmon. 27.06.2014.
- Ramsden, N., 2014, "Snorkel cage" trials nearing zero lice per salmon. Undercurrentnews. 26.06.2014.
- Aadland, C., 2014. Denne snorkelen skal gjøre laksen lusefri. Sysla 28.05.2014.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L., 2015. Dyp snorkel kan gi bortimot null lus. Oppslag på Lusedata.no 7.5.2015. <http://lusedata.no/fou/dyp-snorkel-kan-gi-bortimot-null-lus/>
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Stien, L.H., 2014. Snorkel gir mindre lakselus. Norsk Fiskeoppdrett NF Xpert Teknologi, mai, 59-61.
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Stien, L., 2014. Snorkelmerd gir mindre lakselus. Havforskningsrapporten 2014, Fisken og Havet særnr. 1, 35-36.
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Stien, L., 2014. Snorkelmerd gir reduksjon i påslag av lakselus og normal tilvekst hos stor laks. Oppslag på Lusedata.no 31.1.2014. <http://lusedata.no/fou/snorkelmerd-gir-reduksjon-i-paslag-av-lakselus-og-normal-tilvekst-hos-stor-laks/>
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Stien, L.H., 2013. Lakseluspåslag ble redusert med 50-80 prosent ved bruk av tak og snorkel på merden. Norsk Fiskeoppdrett nr 8, 75-81.
- Pettersen, B.M., 2013. Denne skal stoppe lakslusa. NRK Nordland, 24.06.2013.
- Hauge, M, 2013. Snorkel gir laksen pusterom fra lusa. forskning.no 18 juni
- NN, 2013. Snorkel gir laksen pusterom. Vesterålen 21 juni, s 24
- NN, 2013. Snorkel mot Lakselus. Fjordingen 14 juni, s 15.
- NN, 2013. Snorkel mot Lakselus. Nationen 14 juni, s 9.
- NN, 2013. Bruk av snorkel gir mindre lus. Kyst.no, 14 juni.
- NN, 2013. Snorkel mot lakselus. Fjordingen, 14 juni, s 15.
- Oppedal, F., Stien, L. 2013. Færre lus med snorkelmerd. Lusedata.no 13.6.2013. <http://lusedata.no/fou/faerre-lus-med-snorkelmerd/>
- Berglihn, H., 2013. Snorkel kan bekjempe lakselusproblem. Artikkelintevju, Dagens Næringsliv 13 juni, s 28-29

Presentasjoner

- Stien L.H., Dempster, T., Oppedal, F., 2016. Snorkelmerd status forskning. Seminar om ikke-medikamentelle metoder for forebygging og kontroll av lakselus. FHF, Gardemoen, 12. januar 2016. http://www.fhf.no/media/127294/15_-_snorkelmerd_-_status_forskning_-_stien_-_hi.pdf
- Risholm, G.H., 2016. Lusetuben status. Seminar om ikke-medikamentelle metoder for forebygging og kontroll av lakselus. FHF, Gardemoen, 12. januar 2016. http://www.fhf.no/media/127297/16_-_tubenot_-_status_-_risholm_-_egersund_net.pdf
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H., 2016. Snorkelmerder mot påslag av lakselus. HI dagene 2016, Scandic Bergen City Hotell, 4. januar 2016.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H., Nowak, B., Wright, D.W., 2015. Depth distribution of amoeba within cage and effects of freshwater treatments. 3rd Gill Health Initiative meeting, Galway 16-17 April 2015
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Wright, D.W., Vågseth, T., Fosseidengen, J.E., Stien, L.H., 2014. Snorkel merd reduserer lusepåslag i små og store merder. Frisk Fisk 2015, Tromsø, 3. mars 2015
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Wright, D.W., Fosseidengen, J.E., Stien, L.H., 2014. Snorkel Sea cages - host-parasite mismatch reduces sea lice infestation in farmed salmon through snorkel cage designs. SeaLICE 2014, Portland, Maine, U.S., 31 Aug - 15 Sep 2014.
- Oppedal, F., Stien, L.H., Korsøen, Ø., Bui, S., Dempster, T 2013. Reduced lice infestation in salmon held in modified cages: The use of 'snorkels' to manipulate swimming depth. Aquaculture Europe 13, August 10, Trondheim, Session: Cage Farming - Technologies and Management.
- Oppedal, F., Stien, L.H., Dempster, T., Hevrøy, E.M., Vik, G., 2012. Snorkelforsøk, lusepåslag ble redusert med 66-85%. Strategisk forum Fiskehelse 26 september 2012, Thon Hotel Bergen Airport på Kokstad
- Oppedal, F., 2015. Dyptsvømmende laks får mindre lus. Muligheter for og utfordringer med å holde laksen dypt. Erfaringer med snorkelmerd. Fagmøte Ikke-medikamentelle metoder, Sistranda, Frøya, 26.2.15
- Stien, L.H., Dempster, T., Oppedal, F., 2015. Tubenot/ snorkelmerd. Miniseminar AquaNor 2015, Norges Forskningsråd.
- Oppedal, F., Dempster, T., Bui, S., Wright, D.W., Fosseidengen, J.E., Stien, L.H., 2014. Snorkel mot lus. AqKva Havbrukskonferanse, Stord hotell, 23. januar 2014.
- Stien, L.H., Oppedal, F., Dempster, T., Hevrøy, E.M., Vik, G., 2013. Snorkel project. 4th sea lice multinational workshop 12 November, Stjørdal.
- Oppedal, F., Dempster, T., Hevrøy, E.M., Vik, G., Stien, L.H., 2013. Snorkel – forsøk 1. Lusemøte FHF, FHL, NSL, Stjørdal, 4 mars 2013.
- Oppedal, F., Stien, L.H., Dempster, T., Hevrøy, E.M., Vik, G., 2012. 50-85% reduced lice infestation. Skretting workshop, 9-11 October 2012, Vancouver and Port Campbell, BC, Canada.
- Stien, L.H., Oppedal, F., Dempster, T., Hevrøy, E.M., Vik, G., 2012. Snorkelforsøk, lusepåslag ble redusert med 66-85%. Fagdag Marine Harvest, 21 september Stord hotell.