



Sluttrapport Prosjekt FHF 901456:

Ledelys for styring av laksens adferd som forebygging mot lakselus – demoforsøk i tradisjonell åpen merd

1. april 2019



Innovasjon & utvikling - vannbehandling, akvakultur, miljøteknologi

Kontaktinformasjon:

OXYVISION AS

Tel.: (+ 47) 48204041

E-post: martin@oxyvision.com/torek@hi.no

Internett: www.oxyvision.com

Rapport:

Dokumenttittel:	Ledelys for styring av laksens adferd som forebygging mot lakselus – demoforsøk i tradisjonell åpen merd
Prosjekt:	FHF 901456 Strategi Lakselus 2017: Ledelys som forebygging mot lakselus - demonstrasjonsforsøk
Ref.	
Tilgjengelighet:	Åpen
Forfatter(e):	Martin Gausen (OxyVision) og Tore Kristiansen (HI)
Sideantall:	
Dokumentstatus:	Endelig versjon
Siste revidering:	28.03.2019
Oppdragsgiver(e):	Oxyvision as
Godkjent av:	

Sammendrag

Hovedmålet med prosjektet var å dokumentere og optimalisere effekt av «ledelys» i laksemerder for å redusere påslag av lakselus. Tidligere observasjoner i hadde vist at laksen i de observerte merdene trakk seg unna en type blått LED undervannslys. Hvis dette kunne reproduseres kunne denne typen lys brukes til å lede fisken bort fra vannlaget med høyest risiko for påslag av lakselus. De gjennomførte testene ble utført ved Nordfjord forskningsstasjon våren 2018 og vinteren 2019, der effekter av varierende lysforhold, som antall lyskilder, dybde lys, lysspekter (420 og 560 nm), lysintensitet og vinkel til lyskilde, på fiskens dybdefordeling og adferd i merdene ble testet. I disse forsøkene viste dessverre at disse lyskombinasjonene hadde ubetydelige effekter på laksens fordeling i forsøksmerdene sammenlignet med laksens fordeling i referansemerder eller de samme merd uten «ledelys», og en måtte konkludere med at de brukte lysspektrene og lysstyrken ikke fungerte som «ledelys» for laks.

Summary

The main goal of the project was to document and optimise the use and effect of “guiding lights” in farmed Atlantic salmon sea cages. Earlier observation had indicated that farmed salmon were repelled from a blue (420nm) LED underwater light. If this could be proven to be a general behaviour of salmon, these types of light could be used to guide the salmon away from the upper water layers with the highest risk of salmon lice infestations. This was tested in two research trials spring 2018 and winter 2019, where effects of different light intensities, light position and angle, and light frequency (420nm (blue) and 560nm (green)) on fish distribution in the cages were studied. Regrettably, based on observation from echo integrators, measuring fish biomass distribution from 0-12 m depth, the surface lights this time had negligible repelling effects on fish distribution in the cages, when compared to reference cages or the same cages without “guiding lights”. We therefore had to conclude that these types of light did not work as “guiding lights” for Atlantic salmon.

Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Materiale, metoder og resultater	6
2.1	Lokalitet Bakjestranda	6
2.2	Arbeidspakke 1 og 2: Utprøving av lys og måling av spredningsmønster og mengde lys.....	7
2.3	Arbeidspakke 3 - 2018: Effekt av ulike lysregimer på fordeling av laks	9
	Miljømålinger	9
2.4	Lokalitet Isane	13
2.5	Arbeidspakke 3 – 2019: Effekt av ulike lysregimer på fordeling av laks i merd	13
	Miljømålinger	14
	A3.1 Effekt av lysintensitet.....	15
	A3.2 Effekt av bølgelengde/lysfarge	16
	A3.3. Effekt av vinkel og dyp på lyskilde	17
	A3.4: Effekt av antall lyskilder	18
3	Konklusjon	19
4	Referanser	20
5	Vedlegg	21
	21

Forord

Rapporten beskriver anvendelse av kunstig lys i åpne merder ved to oppdrettslokaliteter tilknyttet Nordfjord Forsøksstasjon AS, Bakjestranda og Isane. Hovedmålsetningen med forsøkene var mulig adferdsstyring hos laks vha. kunstig belysning og dermed redusere påslag av lakselus.

Prosjektgjennomføringen pågikk i perioden november 2017 til april 2019.

Prosjektgruppe: Martin Gausen, leder (OSV), Torleif Nerbøvik (Aqua Advice AS), Thomas Torgersen – senere Tore Kristiansen (HI), og Stig Bakke (Nordfjord Forsøksstasjon AS)

Styringsgruppe: Per Gunnar Kvenseth (Smøla klekkeri), Ragnar Sæternes (Sinkaberg-Hansen) og Henrik Trengereid (Marine Harvest/Mowi)

Referansegruppe: Frode Oppedal (HI) og Nils Hovden (Bio Marine AS)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) bevilget inntil 2,275 000 NOK for gjennomføring av prosjektet (tilsagnsdato: 12.11. 2017)

Oxyvision takker alle bidragsytere.

Martin Gausen,

Prosjektleder

1 Bakgrunn

Oppdrettsnæringen har siden tidlig på 1990-tallet benyttet kunstig lys for å styre eller forsinke kjønnsmodning og for å øke tilveksten hos laksefisk, og har hatt stort utbytte av dette. Slike lys har i hovedsak vært basert på halogenteknologi med et lysspekter fra 400 - 700 nm, med kraftigere lys ved enkelte farger (Hansen et al., 2017). De siste årene har LED-baserte undervannslys hvor lysfargenes sammensetning lettere kan bestemmes og som langt lavere energiforbruk kommet på markedet (F.eks. Steinsvik 2019, AkvaGroup 2019).

Flere studier har vist at kunstig belysning også kan benyttes for å påvirke oppdrettsfiskens atferd. Omfattende studier ved Havforskningsinstituttet (HI) som kombinerer anvendelse av lyskilder på dypt vann med undervannsføring i merder har vist at dette kan å bidra til økt svømmedyp nattestid og dermed redusere risiko for lusepåslag (f.eks. Oppedal et al. 2011). Frenzl et al. (2014) viste at infeksjonsnivået av lakselus er betydelig lavere hos fisk i forsøksmerd med undervannslys som tiltrekker seg laks, ved plassering av lyskilde på 10 m dyp sammenlignet med lys på 1,5 m dyp. Nye observasjoner (Bui et al., 2018; 2019) indikerer at for å få en lusereduserende effekt av dype lys er det viktig å tiltrekke laksen et stykke unna haloklinen (overgang mellom brakkvann og sjøvann). Andre forsøk har vist at laksen reagerer ulikt på ulike lysfarger (bølgelengder), men at de er sensitive for selv svake lysmengder (Stien et al. 2014) og følger selv svake lyskilder som beveges opp og ned i merden (Wright et al., 2015). Normalt fungerer en slik tiltrekning bedre i den mørke perioden av døgnet. Om dagen er det naturlige lyset ved overflaten mye sterkere enn de kunstige lysene slik at effekten av undervannslyset reduseres. Selv om vi har noe erfaring, vet vi fortsatt for lite om og i hvilken grad forskjellige typer lys kan benyttes for å styre laksens adferd på en ønsket måte, og hvordan dette påvirkes av laksens livsstadier og miljøforholdene i merdene.

Kan lys brukes til å holde fisken unna lusa?

Som beskrevet over blir fisken vanligvis tiltrukket av kunstig lys, men i et pilotforsøk med undervannslys med smalspektret blått diodelys ble de noe overaskende observert at laksen trakk seg unna lyset (Se Vedlegg Fig I). Om dette stemte kunne disse lysene brukes til å holde fisken unna overflateområdene med høyest risiko for lakseluspåslag. Siden lys også tiltrekker luselarvene, ville det være en bedre løsning å frastøte fisken fra lysene og på denne måten bruke «ledelys» til å lede fisken til et dyp med mindre risiko for lusepåslag. For å verifisere disse observasjonene det satt i gang forsøk ved Nordfjord Forsøksstasjon AS. Prosjektet var et samarbeid mellom Oxyvision as (ledelse), Aqua Advice AS, Havforskningsinstituttet og Nordfjord Forsøksstasjon AS. FoU-delen av prosjektet var finansiert fra Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF), FHF-prosjekt 901456.

Bruk av lys for å unngå eller redusere påslag av lakselus er en enkel metodikk sammenlignet med andre forebyggende tiltak. Lakselus er det største utfordringen i oppdrett av laks og redusert påslag kan få store driftsmessige og positive økonomiske effekter for oppdretteren. Hovedfokuset i prosjektet var å finne riktig lysoppsett for å lede vekk oppdrettsfisk fra overflatelaget slik at det blir mindre lusepåslag. Reduserte problemer med lus vil generelt klart forbedre fiskens velferd gjennom vekstfasen og også redusere den potensielle dødeligheten. Angrep av parasitter og øvrige sykdommer er den dominerende årsak til tap av fisk i norske sjøanlegg. Også selve lusebehandlingen (mekanisk behandling, sammen trengning, feildosering, kvelning) er ofte årsak til betydelig dødelighet. Mindre lus betyr også mindre behov for avlusningsoperasjoner som øker risiko for ulykker, f.eks. rømning av fisk eller skade på personell. Videre vil mindre behov for bruk av avlusningsmidler gi mindre utslipp til resipient. Andre potensielle bruksområder for «ledelys» er stort der det er konflikt mellom fisk og

biologisk risiko, fisk og mekanisk risiko, eller ved flytting av fisk der systemet baseres på svømmeegenskaper via rør eller kanaler.

Prosjektet hadde følgende hoved- og delmålsettinger:

Hovedmålsetting:

Dokumentere og optimalisere effekt av ledelys i merd for å redusere påslag av lakselus

Delmål:

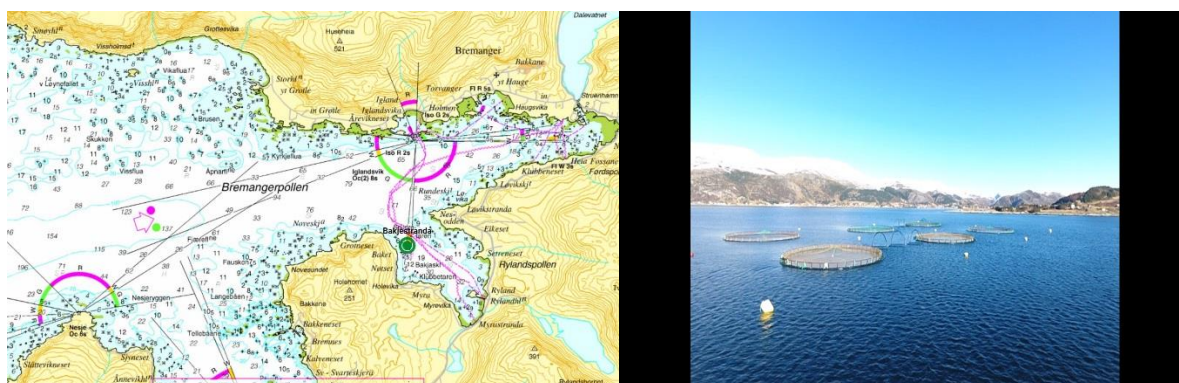
1. Utføre uttesting i begrenset skala med vekt på optimalisering av følgende:
 - Lyskvalitet
 - Lysintensitet/kvantum
 - Lysvinkel
 - Oppheng/fordeling av lys
 - Lysstyringsmetodikk
 - Bruk av skyggenett (dagtid)

2. Utføre tester i kommersiell skala, sammenlignet med referanseforhold, ved dokumentering av potensiell effekt på følgende forhold:
 - Gir påvisbar forebyggende effekt mot lakselus
 - Krever minimalt med håndtering av fisken
 - Er tilpasset eksisterende oppdrettsanlegg og gjeldende krav til HMS
 - Ivaretar næringens krav til fiskevelferd

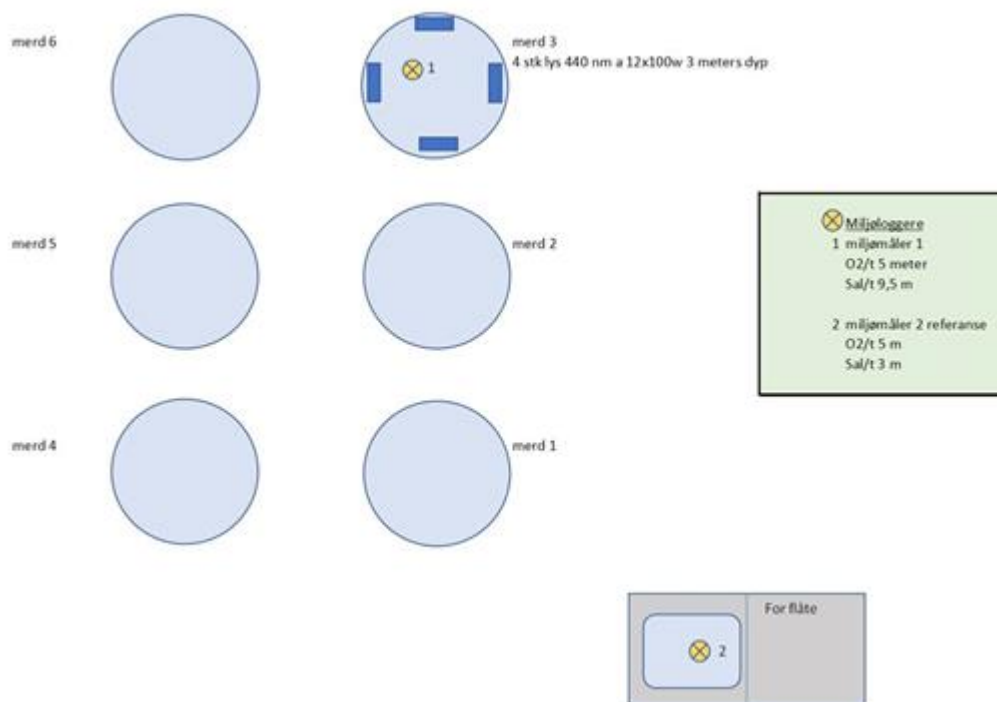
2 Materiale, metoder og resultater

2.1 Lokalitet Bakjestranda

Første del av prosjektet ble gjennomført første halvår 2018 i Nordfjord. Lokaliteten ligger på østsida av munningen til Rylandspollen (grønn markering) og tilhører Nordfjord Forsøksstasjon AS (Fig. 1).



Figur 1. Lokalitet Bakjestranda i Bremanger (kartutsnitt) og (foto Nils Hovden)



Figur 2. Lokaltetens seks merder (8000m³). I Merd 3 ble det montert 8 lyskilder, 4 stk. 600W 440 nm og 4stk. 600W 520 nm. Kontinuerlig måling av temperatur, salinitet og oppløst oksygen i Merd 3 og ved fôrflåte.

2.2 Arbeidspakke 1 og 2: Utprøving av lys og måling av spredningsmønster og mengde lys

Utprøvingen inkluderte varierende dybde, fordeling av lys, lysvinkel, antall lyspunkt for optimalisering av utformingen av lyssystemet. Hver lyskilde besto av 12 stk. 100 W Phillips 440 nm LED-brikker. LED-brikkene ble montert i syrefast ramme med størrelse ca. 55 x 15cm (VEDLEGG, Fig. IV). Lyskildene ble styrt av Mean Well ELG 36 V 200 W drivere, 6 montert i hvert skap. Ved gjennomføring av A1 og A3 ble benyttet 1 driverskap pr. 2 lyskilder, altså 600 W per lyskilde. Sammenligning av lysmengde med 3 og 6 drivere per lyskilde viste hhv 16.3 og 27.4 μE (målt under vann, normalt på lyskilde, 3 m avstand, kveld 27. feb. 2018).

Skjerming, montering og opphenging av 4 lyskilder for første forsøksmerd ble utført 27 -28. feb. 2018. Lyskilden ble montert i 40 L Biltema rektangulær murstamp (VEDLEGG, Fig. V). Veggene på langsiden fungerte som skjerm som begrenser vertikal lysspredning. Det ble skåret ut åpninger i kortsidene (h:17cm, b:25cm) for å ikke begrense horisontal spredning.

Lyskildene er hengt opp i sjakler festet til lyskildens stålramme (VEDLEGG, Fig. V). For få kilden til å henge i lodd er tau festet til skjermens øvre del og spleiset inn i tauet som er festet til opphenget. Om nødvendig kunne lodd festes i underkant av skjermens nedre del, men det var ikke nødvendig under testing.

Lysmålinger

Lysmålingene foregikk utenfor fôringsflåten, slik at fisken ikke ble påvirket. Lysstyrken(kvantefluks) i ulike avstand fra lysene ble målt med en En Li-Cor LI-1500 logger med SPQA 5242 sfærisk sensor (VEDLEGG, Fig. III). Sensoren ble montert i ramme pekende nedover. Kabel ble festet til ramme som ble benyttet til å senke og heve sensoren. Kabelen var merket for hver meter. Logger ble kalibrert iht.

kalibreringsverdi for sensor. Samplingrate var 1Hz og loggeren ble programmert til å vise 10 sekunder løpende gjennomsnitt. Kvanteflukt ble notert når verdiene stabiliserte seg etter >10 sekunder etter flytting av sensor til nytt målepunkt.

Lyskilde og montering er beskrevet i del A2. Lyskilden ble senket til 5m dyp (senter av kilden) og først hengt opp horisontalt (som i gjennomføring av A3.1) og deretter vertikalt. Bunndyp ble målt til ca. 12 m. Foto av opphengt og påslått lyskilde under måling er vist i VEDLEGG (Fig. III).

Følgende måleprosedyre ble utført:

Kvanteflukt ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ble målt hver vertikal meter fra rett under overflaten og ned til 10 m dyp. Målinger ble gjort med horisontal avstand fra lyskilde på 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12 og 15 m. I tillegg ble det også målt på 5 m dyp 20 m fra lyskilden. Alle målingene ble gjort om kvelden (etter kl. 19:30) den 27. februar 2018. Været var stjerneklart og det var nesten fullmåne. Det var lite vind og svært god sikt i vannet.

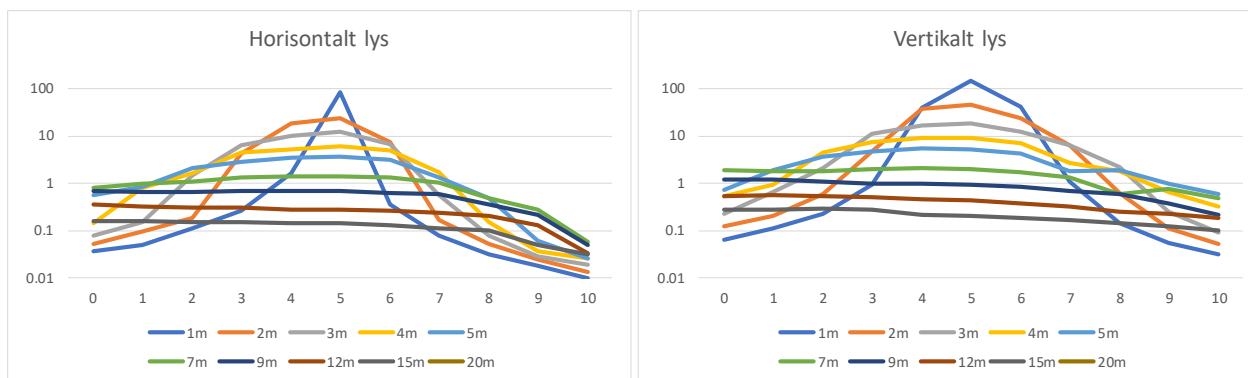
Lysmålingene viste at skjermingen av kilden begrenset vertikal lysspredning sammenlignet med horisontal spredning (Tabell 1). Lyskilden var hengt i lodd, men det var allikevel noe mer lys mot overflaten enn mot bunnen. Dette skyldes formodentlig mer lysrefleksjon i overflaten. Bunndypet (ca. 12 m) begrenset måledypene, men med 1m vertikal oppløselighet mener vi at målingene gir godt grunnlag for å beregne lysmengde som funksjon av avstand i alle retninger.

Nær lyskilden (liten horisontal avstand) var overflate og dyp lite opplyst pga. kildens begrensede spredning. Maksimal lysmengde nær overflaten og ved 10 m dyp ble nådd ved 7 m avstand til kilden. Som vist i Figur 3 blir vertikal lysfordeling langt mer homogen med avstand til kilden.

Tabell 1. Måling av lysmengde horisontalt – vertikalt om kvelden 27. februar 2018

horisontalt orientert	horisontal avstand										
	1m	2m	3m	4m	5m	7m	9m	12m	15m	20m	
0	0.037	0.053	0.078	0.14	0.57	0.79	0.68	0.36	0.16		
1	0.05	0.094	0.15	0.81	0.84	0.98	0.65	0.32	0.16		
2	0.11	0.18	1.5	1.6	2.1	1.1	0.66	0.31	0.15		
3	0.26	4.3	6.2	4.5	2.8	1.3	0.7	0.31	0.15		
4	1.6	18	10	5.3	3.5	1.4	0.69	0.28	0.14		
dyp (m)	5	85	24	12	5.9	3.7	1.4	0.69	0.28	0.14	0.045
	6	0.36	7.3	6.7	5	3.1	1.35	0.63	0.26	0.13	
	7	0.076	0.17	0.57	1.7	1.3	1.02	0.58	0.24	0.11	
	8	0.032	0.052	0.077	0.15	0.49	0.48	0.35	0.2	0.1	
	9	0.018	0.024	0.029	0.037	0.061	0.27	0.21	0.13	0.05	
	10	0.01	0.013	0.019	0.025	0.026	0.058	0.049	0.033	0.031	

vertikalt orientert	horisontal avstand										
	1	2	3	4	5	7	9	12	15	20	
0	0.065	0.12	0.22	0.54	0.71	1.9	1.2	0.54	0.28		
1	0.11	0.2	0.66	0.94	1.9	1.8	1.2	0.56	0.27		
2	0.23	0.58	2.1	4.5	3.7	1.8	1.1	0.54	0.29		
3	0.91	4.7	11	7.5	4.8	2	1	0.51	0.28		
4	39	38	17	9	5.4	2.1	0.99	0.46	0.21		
dyp (m)	5	146	46	18	9.1	5.2	2	0.93	0.43	0.2	0.074
	6	41	24	12	7.2	4.3	1.7	0.85	0.38	0.18	
	7	1.1	6.3	6.2	2.7	1.8	1.3	0.7	0.32	0.17	
	8	0.14	0.61	2.2	1.8	1.9	0.59	0.59	0.25	0.14	
	9	0.054	0.11	0.25	0.65	1	0.75	0.38	0.23	0.12	
	10	0.032	0.051	0.092	0.32	0.59	0.49	0.21	0.18	0.1	



Figur 3. Lysmengde (kvantefluks, $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) på ulike dyp (x-akse) i ulike horisontale avstander fra lyskilden (27. feb. 2018). Målinger er gjort med horisontalt (venstre) og vertikalt (høyre) montert lyskilde

2.3 Arbeidspakke 3 - 2018: Effekt av ulike lysregimer på fordeling av laks

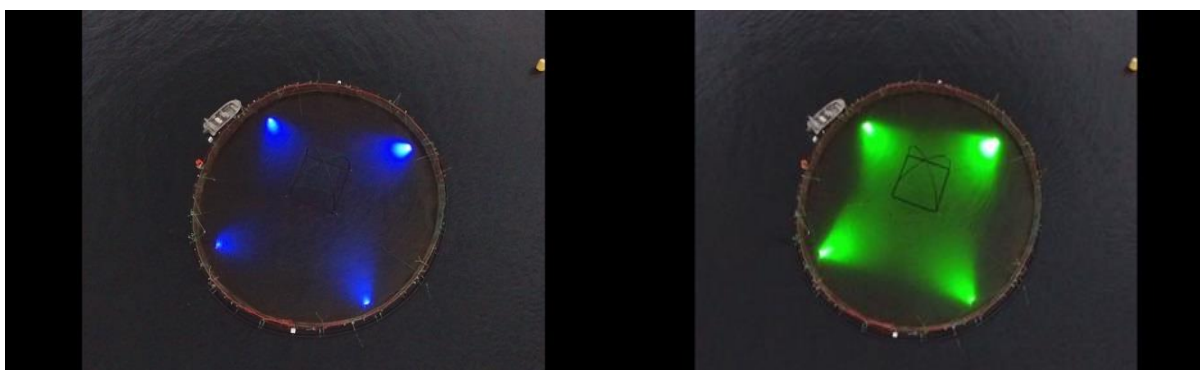
Miljømålinger

Temperatur, salinitet og oppløst oksygen målt og logget kontinuerlig i Merd 3 på 5 m dyp (O_2 og temperatur) og 9,5 m dyp (saltholdighet), samt på fôrflåten på 5 m dyp (O_2 og temperatur) og 3 m (saltholdighet). Måleresultatene fra mars – mai 2018 tydet på gunstig oksygennivå (90 – 120 % metning) og relativt stabil salinitet (> 29 ‰) på 3 – 5 m dyp ved fôrflåten (referanse). Tidlig i mars var temperaturen på 5 m dyp 3,5 °C, og 8 °C i midten av mai (se Vedlegg, Fig II)

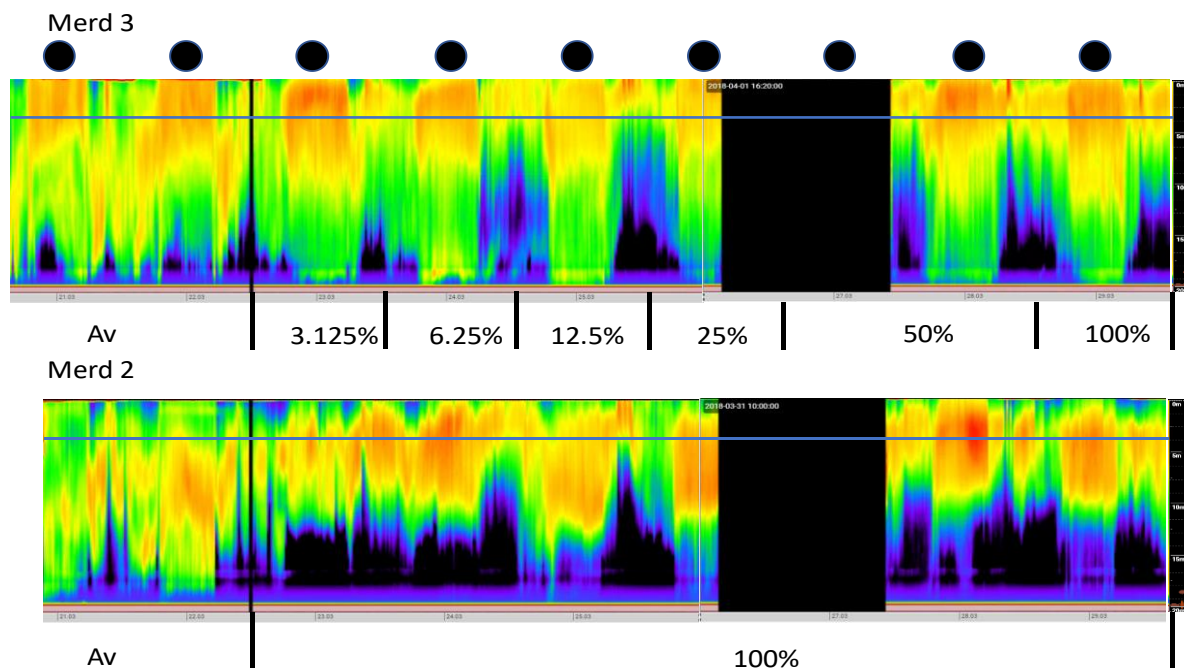
Ekkolodd (type: CageEye) med svingere vendt mot overflaten ble montert på ca. 17 m dyp i Merd 2, 3, 4 og 5.

A3.1 Intensitet

Det ble montert 4 lyskilder (blå 440 nm) i Merd 3 på 3m dyp, pekende horisontalt mot senter av merden (Figur 4). Delforsøket ble gjennomført i perioden 20 – 29. mars 2018. I merdene var det ca. 33 tusen fisk i Merd 2 og 61 tusen i Merd 3 med gjennomsnittsvekt rundt 300 g i mars. I Merd 2 var lysene påslått kontinuerlig fra 22. mars med 100% lystyrke. I Merd 3 ble intensiteten doblet hver dag. På grunn av teknisk feil med ekkoloddet ble lysintensitet 50 % beholdt ett døgn ekstra i Merd 3. Ekkogrammene viser at hoveddelen av fisken sto minst like grunt med lyset på som med lyset av, og varierende lysintensitet hadde ingen synlig effekt på fordeling



Figur 4. Fotografier av Merd 3 med 440 nm blå (venstre) og 520 nm grønne (høyre) lys. Foto: N. Hovden

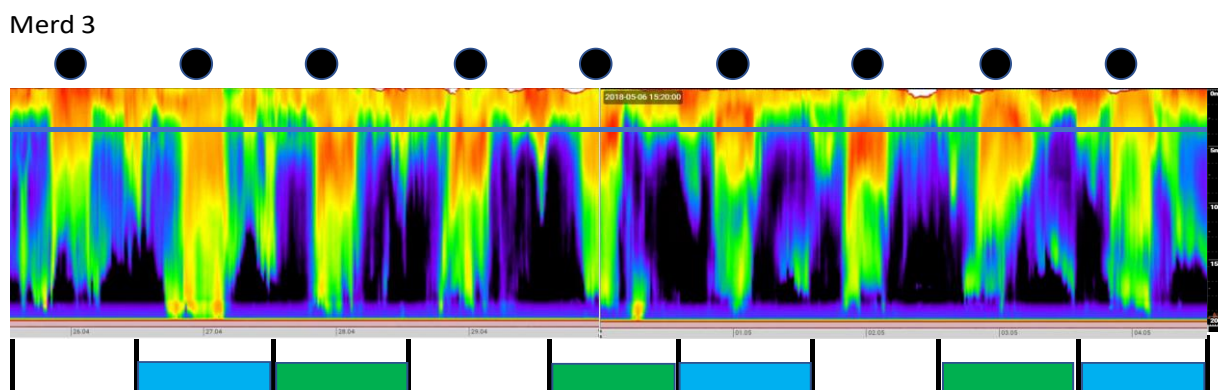


Figur 5. Ekkogram i Merd 2 og 3, 20 – 29. mars 2018 ved varierende lysstyrke fra 0 % (av) til 100 %. Svarte sirkler markerer midnatt

A3.2 Spekter

I Merd 3 ble grønne lys montert på samme måte som blå lys og det ble alternert mellom grønt lys (520 nm), blått lys (440 nm) og ikke lys, med daglig endring. Forsøksperioden var 25. april - 4. mai. Lysintensitet var 100 %.

Ekkogrammene viste heller ikke i dette delforsøket noen tydelig effekt av lysmengde eller farge på fordeling av fisken (Fig. 6).



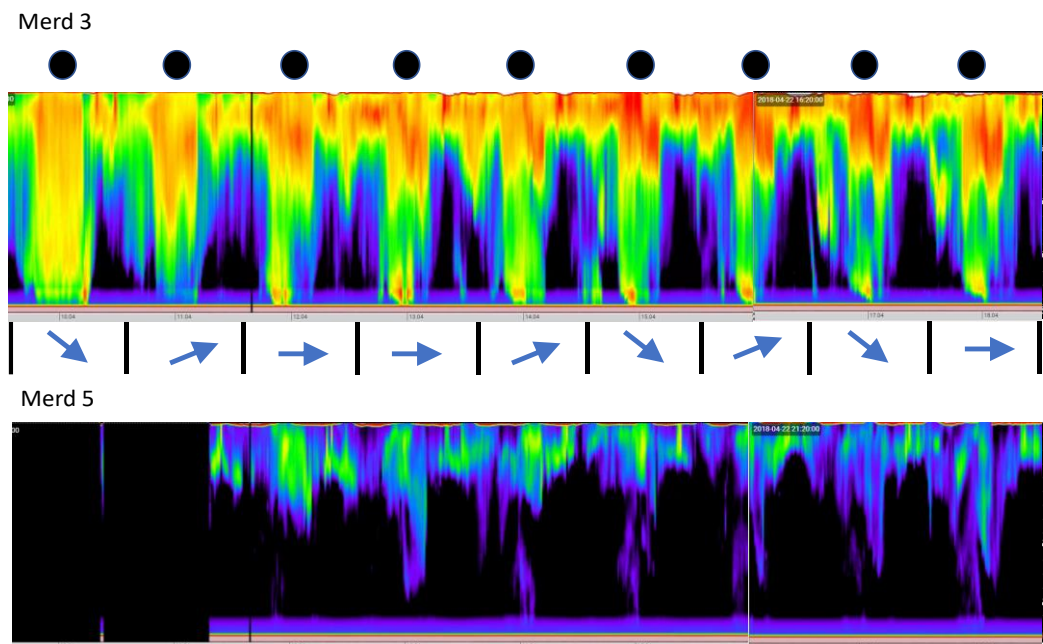
Figur 6. Ekkogram i Merd 3, 25 april – 4. mai 2018 ved alternerende blått - grønt lys – uten lys. Svarte sirkler markerer midnatt

A3.3 Vinkel / Dyp

I hver av Merdene 3 og 5 (med henholdsvis mye og lite fisk) ble det montert 4 blå lys. Forsøksperioden var 9 - 18. april. Dyp og lysvinkel ble endret daglig mellom tre ulike monteringer:

- 1: 1m dyp, pekende skrått nedover
- 2: 4m dyp, pekende skrått oppover
- 3: 3m dyp, pekende horisontalt

Hverken dybde eller vinkel på lyskilde viste noen effekt på dybdefordeling av fisken (Fig. 7).

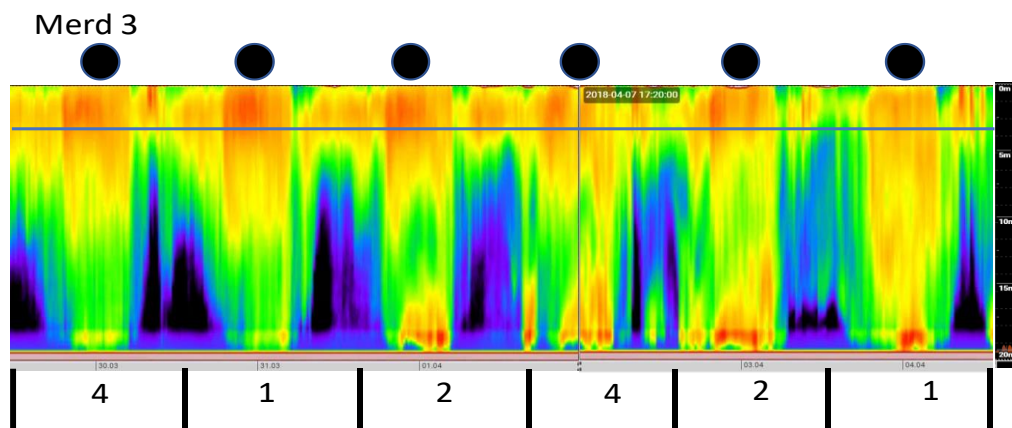


Figur 7. Ekkogram i Merd 3 og 5, 9 – 18. april 2018 med hhv. Høy (Merd 3, 61 tusen laks) og lav fisketetthet (Merd 5, 15 tusen laks). Varierende dybde og vinkel lyskilde (se tekst). Piler: vinkel lyskilde. Svarte sirkler markerer midnatt

A3.4 Antall lyskilder

I Merd 3 ble antall påslåtte blå (440nm) lys endret hver dag. Forsøksperioden var 29. mars - 4. april. Lysintensitet var 100% på alle lys.

Heller ikke dette delforsøket viste noen effekt på fiskens adferd/dybdefordeling, m.a.o. påvisbar effekt av antall lyskilder (blått lys), Figur 8.



Figur 8. Ekkogram i Merd 3, 29. mars – 4. april 2018 ved varierende antall påslåtte lyskilder hvert døgn (1, 2, 4) Svarte sirkler markerer midnatt

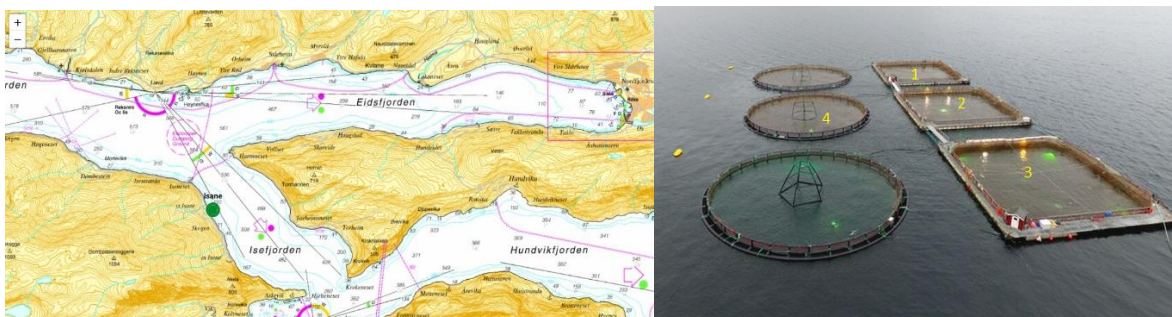
I kontrollmerdene (Merd 4 og 5) uten lys viste ikke ekkogrammene noen åpenbare forskjeller i fiskens dybdefordeling og adferd gjennom perioden mars – mai 2018 sammenlignet med fiskens fordeling i merdene med de omtalte lysforsøkene (Merd 2 og 3).

Konklusjon og videre framdrift etter disse forsøkene

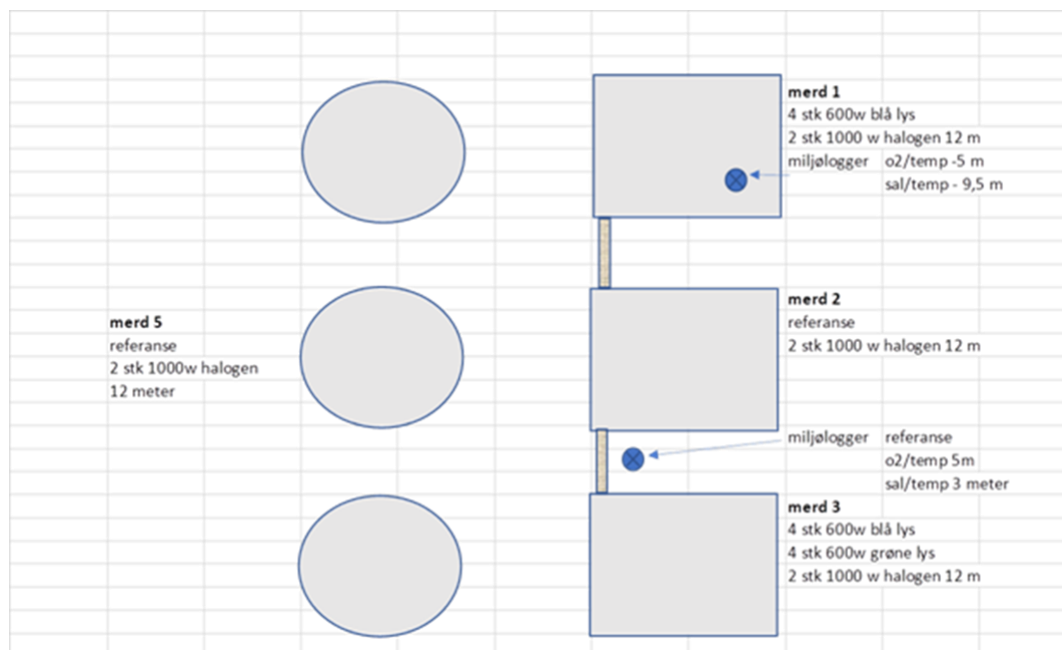
Konklusjonen fra disse forsøkene var at fisken ikke ble påvirket av disse lysene. Mattilsynet påviste imidlertid utbrudd av Infeksiøs lakseanemi (ILA) i anlegget i løpet av forsøksperioden og lokaliteten ble underlagt restriksjoner iht. gjeldende regelverk. Fiskens tilstand kunne derfor ha påvirket resultatene i AP3 og at syk fisk kunne være en årsak til manglende respons på lysene. For å være sikre på konklusjonen over og ha nok grunnlag for en endelig konklusjon, ble det derfor besluttet å gjenta arbeidspakke 3, delforsøk 4, på ny lokalitet, før en tok avgjørelsen om det hadde hensikt å gjennomføring av storskalaforsøk i arbeidspakke 4 hvor en skulle undersøke om bruk av ledelys hadde effekt på lusepåsalg.

2.4 Lokaltet Isane

Forsøkene i neste runde av AP3 ble gjennomført på Lokalteten Isane, som ligger ved Idsefjorden i Bremanger (grønn markering) og tilhører Nordfjord Forsøksstasjon AS (Fig. 9). Anlegget disponerer tre 4-kantede stålmerder (25 x 25 m) og tre sirkulære merder med omkrets 90 m. Testene ble gjennomført perioden 14 – 31. januar 2019.



Figur 9. Lokaltet Isane i Bremanger (kartutsnitt). Foto: N Hovden



Figur 10. Skisse av lokalitetens seks merder der Merd 1 og 3 var forsøksmerder (ekstra lyskilder), mens Merd 2 og 5 var kontrollmerder (referanse). Kontinuerlig måling av temperatur, salinitet og oppløst oksygen i Merd 1 og utenfor merder (referanse)

2.5 Arbeidspakke 3 – 2019: Effekt av ulike lysregimer på fordeling av laks i merd

Fiskefordelingen ble som sist overvåket av et CageEye ekkolodd, med en 50 kHz svinger vendt mot overflaten. Ekkoloddene var plassert på 17 m dyp i alle de fire merdene (Merd 1, 2, 3 og 4).

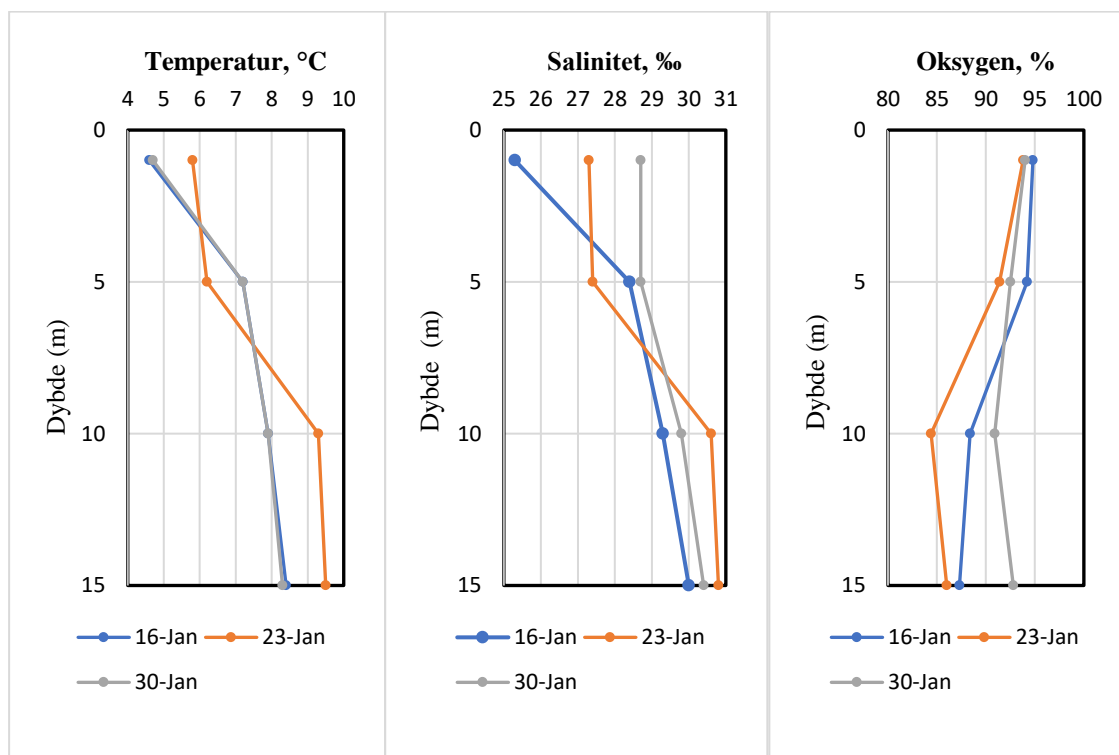
Alle fire involverte merder (Merd 1, 2, 3 og 5) holdt laks satt ut som 0-årig smolt høsten 2018, og som holdt middelvekt 900 – 1220 gram i testperioden. Oppgitt biomasse i merdene framgår av Tabell 2.

Tabell 2. Biomasse i Merd 1 og 3 (forsøk) og Merd 2 og 5 (referanse), januar 2019

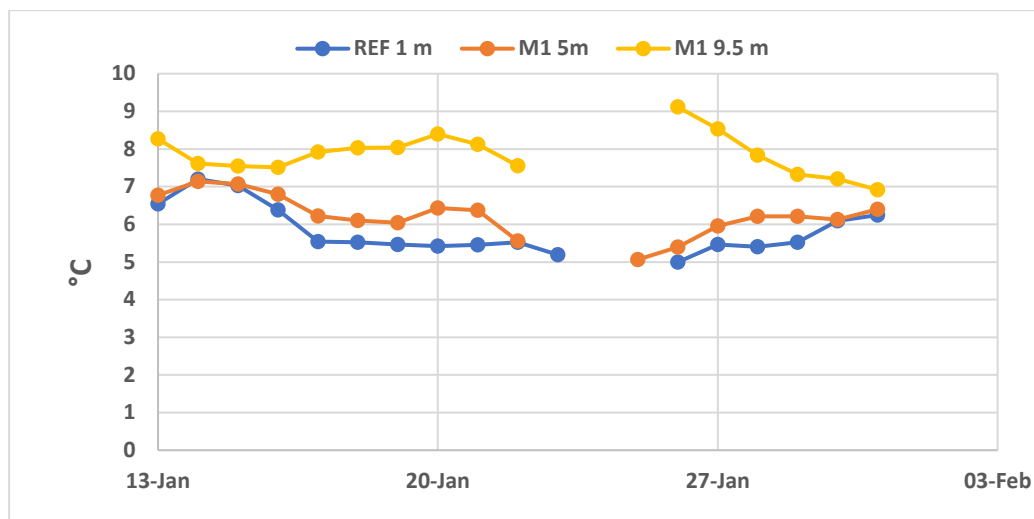
Merd	Generasjon	Antall	Snittvekt	Biomasse
Merd 1	Laks 18	38110	1222	46577
Merd 2 (referanse)	Laks 18	38608	1035	39953
Merd 3	Laks 18	56735	1145	64987
Merd 5 (referanse)	Laks 18	51182	896	45878

Miljømålinger

Dybdeprofiler ved anlegget viste klar sjiktning med redusert salinitet mot overflaten (1 – 5 m dyp: 25 – 29 ‰) som økte til 29 – 31 ‰ ved 10 – 15 dyp, Figur 11. Dette medførte som forventet klart lavere temperatur i øverste sjikt (4,5 – 6 °C på 1 m dyp) sammenlignet med dypere sjikt som holdt seg mellom 8 og 9,5 °C. Daglige målinger viste opp mot 34 ‰ salinitet i Merd 1. Videre indikerte daglige målinger i Merd 1 0,5 - 4 °C temperaturforskjell mellom 1 – 5 m dyp og 9,5 m dyp gjennom måleperioden (Figur 12). Fra 15 januar oppsto en nedkjøling av overflatevannet og økende temperaturforskjeller vertikalt i merdene. På slutten av forsøket ble det kjøligere også på 9 m dyp og dermed mer homogene temperaturer i de øverste 10 meterne. Manglende målinger i perioden 22. – 26. januar skyldes at sondene ble tatt ut for vedlikehold.



Figur 11. Ukentlige dybdeprofiler av temperatur, salinitet og oppløst oksygen fra 1 til 15 m dyp, referansemålinger er tatt på utsida av Merd 3



Figur 12. Daglige middeltemperaturer på 1, 5 og 9,5 m dyp i Merd 1

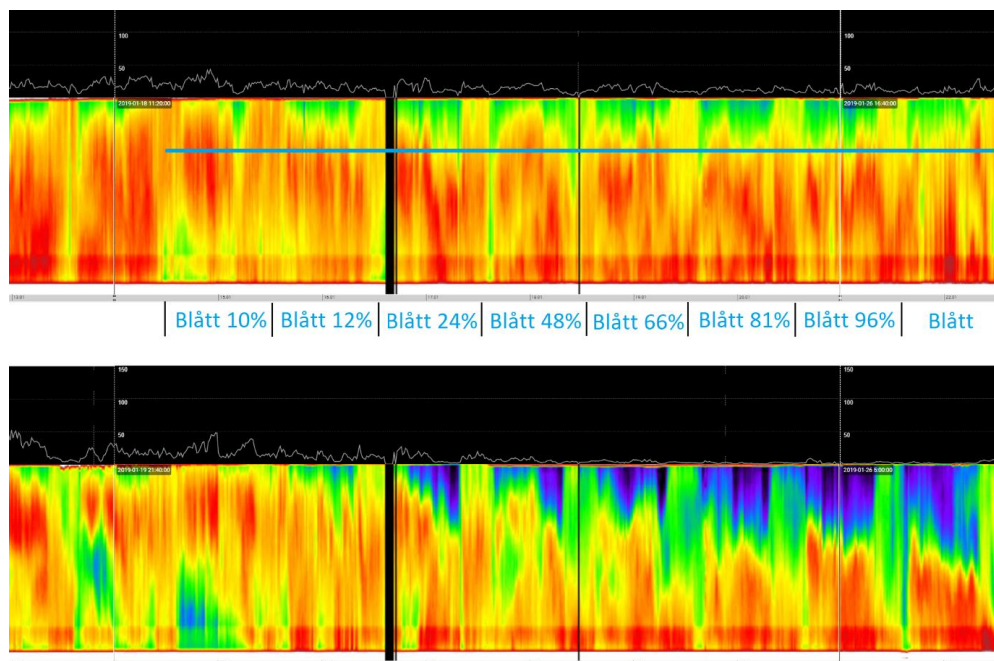
A3.1 Effekt av lysintensitet

Blå 440 nm lyskilder ble montert i hvert hjørne på 3m dyp, orientert vannrett og rettet mot senter av merden. Lysintensitet ble økt stegvis vha. dimmer inntil full effekt ble oppnådd dag 7:

Dag nr.	Dato	Lysintensitet	Tidspkt.*	Lys (farge)
1	14.jan	10 %	1100	blått lys
2	15.jan	12 %	1100	blått lys
3	16.jan	24 %	1130	blått lys
4	17.jan	48 %	1130	blått lys
5	18.jan	66 %	1200	blått lys
6	19.jan	81 %	1200	blått lys
7	20.jan	96 %	1130	blått lys

*: tidspkt. for regulering

Forløpet til nattfordeling (ekkolodd) gjennom perioden med økt lysintensitet ble analysert for å identifisere terskelintensitet for synlig oppnådd effekt på fiskefordelingen. Denne terskelverdien ble testet ved å måle fiskens fordeling over 7 døgn. Forsøket viste ingen klar effekt av lysets intensitetsnivå på fiskens dybdefordeling gjennom delforsøket (Figur 13.) Økende vertikale temperaturforskjell i denne perioden (14 - 20. jan., Fig. 12) medførte trolig at fisken trakk ned mot større dyp i begge merdene (Fig. 13). Merd 3 holdt 20 tonn mer fisk enn referansemerden (Merd 4) og hadde derfor sterkere ekkoutslag (rød farge, Fig. 13). Den hvite linja over figuren viser ekkonivået i det øverste sjiktet (0 – 4 m).



Figur 13. Ekkogram i Merd 3 (øverst) og Merd 4 (referanse), 14 – 20. januar 2019 ved økende lysintensitet fra 10 til 96 %.

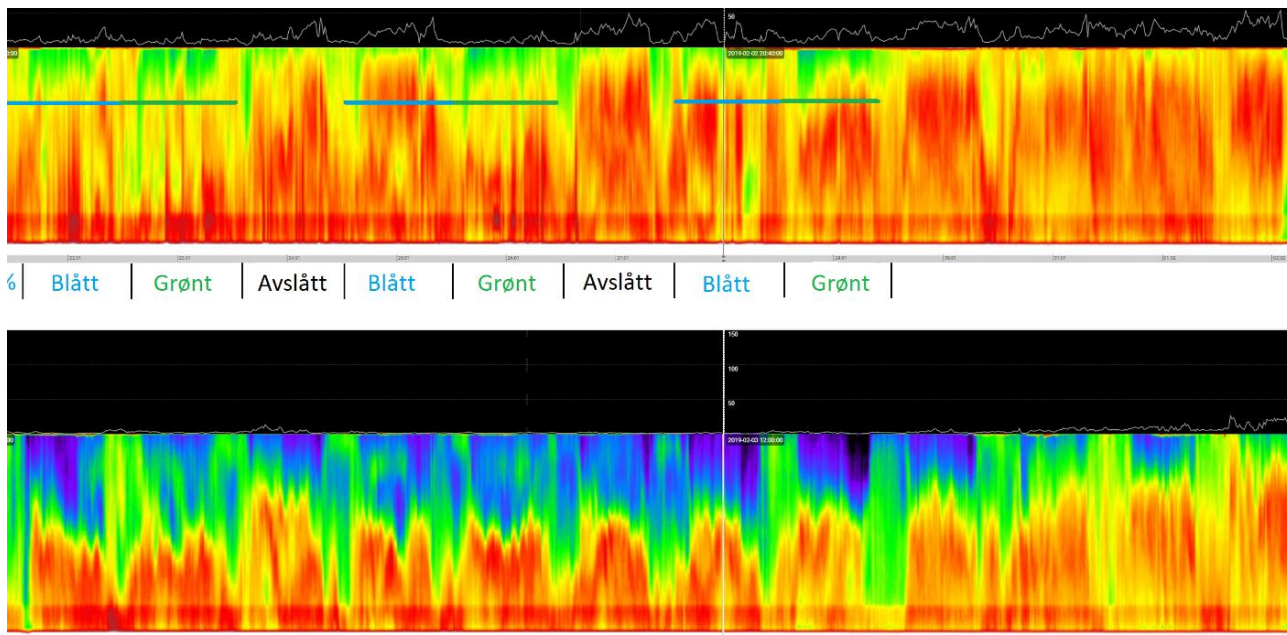
A3.2 Effekt av bølglengde/lysfarge

Blå(520 nm) lyskilder ble montert parallelt med grønn (440 nm) lyskilder i hvert hjørne. Lysintensiteten ble satt til 100% og daglig gjennom 9 døgn ble det skiftet mellom 440 nm, 520 nm og ingen lyskilder:

Dag nr.	Dato	Lys (farge)	Tidspkt.*
1	21.jan	blå lys	1200
2	22.jan	grønt lys	1130
3	23.jan	ikke lys	1130
4	24.jan	blå lys	1100
5	25.jan	grønt lys	1130
6	26.jan	ikke lys	1300
7	27.jan	blå lys	1100
8	28.jan	grønt lys	1300
9	29.jan	ikke lys	1330

*: tidspkt. for regulering

Det var ingen tydelig effekt av fargen på lysene eller om lysene var på (Fig. 14). Fisken i kontrollmerden sto noe dypere gjennom hele perioden.

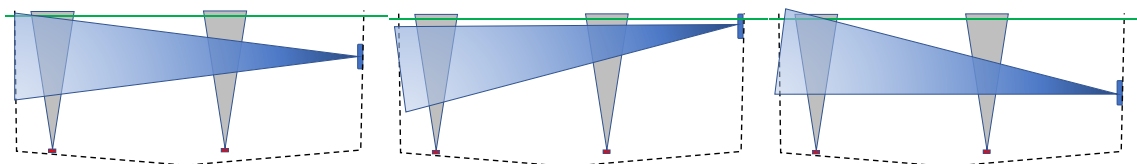


Figur 14. Ekkogram i Merd 3 (øverst) og Merd 4 (referanse), 21 – 29. januar 2019 med vekselvis blått – grønt – avslått lys

A3.3. Effekt av vinkel og dyp på lyskilde

Oppsett av lyskildene var som i A3.1. Gjennom 9 dager ble dyp og vinkel på lyskilder (blå 440 nm) endret daglig mellom alternativene illustrert i Figur 15. Ved bruk av lyskilde i hvert hjørne vil oppløst volum være svært likt i de tre behandlingene, men lysets innfallsvinkel vil være ulikt.

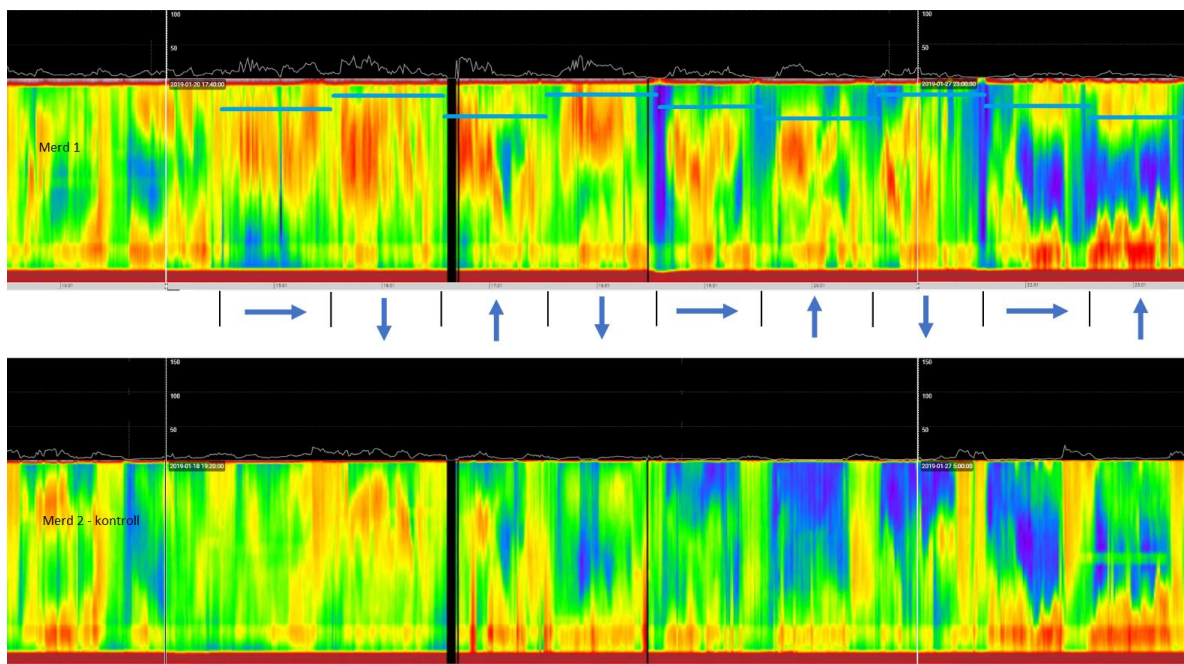
Det ble ikke påviste klare effekter på fiskens fordeling ved justering av lyskildens dyp og vinkel (Fig. 16). Også i denne testen ble dybdefordelingen i perioden kl. 18 – 06 («natt») analysert spesifikt uten at klare effekter ble påvist.



Figur 15. Oppsett av lyskilde med daglig endring av lysets dybde og innfallsvinkel

Lyskilden ble daglig justert som følger:

Dag nr.	Dato	Dybde-vinkel	Tidspunkt for regulering
1	14.jan	horizontal 2m	1130
2	15.jan	vinkel ned 1 m	1100
3	16.jan	vinkel opp 3m	1200
4	17.jan	vinkel ned 1 m	1200
5	18.jan	horizontal 2m	1215
6	19.jan	vinkel opp 3m	1200
7	20.jan	vinkel ned 1 m	1130
8	21.jan	horizontal 2m	1200
9	22.jan	vinkel opp 3m	1130



Figur 16. Ekkogram i Merd 1 (øverst) og Merd 2 (referanse), 14 – 22. januar 2019 med varierende vinkel (piler) og dyp (horisontale linjer: 1 – 3 m) til blå lyskilder

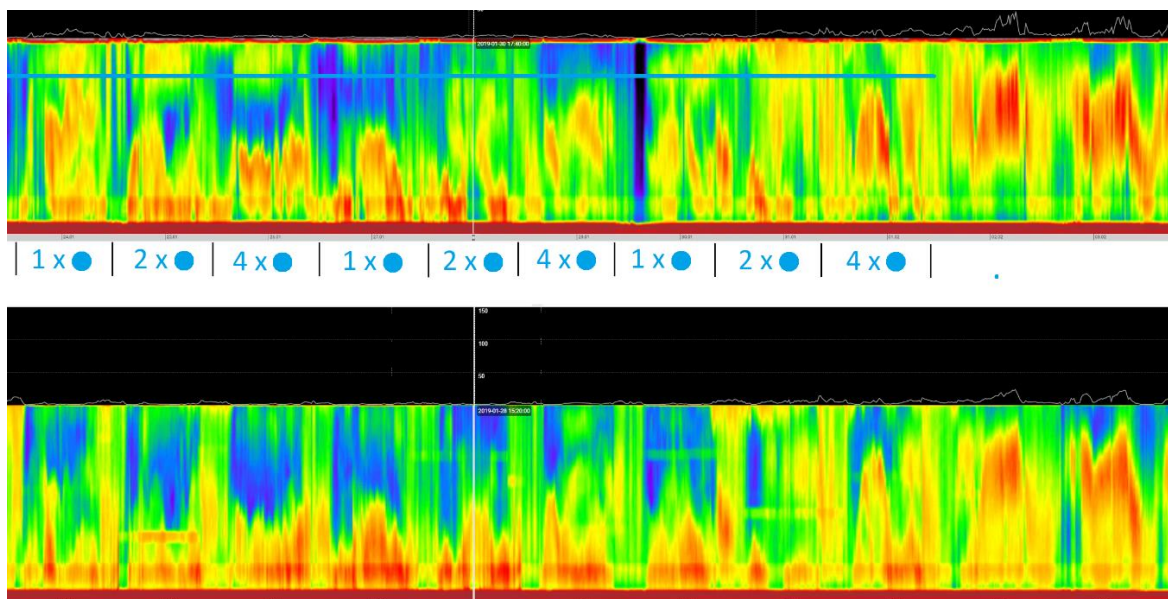
A3.4: Effekt av antall lyskilder

For å teste om ulikt antall horisontale posisjoner for lyskilder (blått lys) påvirker fordelingen av fisk ble antall lys pr. døgn variert med 1 – 2 – 4 etter følgende program:

Dag nr.	Dato	Antall lys	Tidspunkt for regulering
1	23.jan	1lys	1200
2	24.jan	2 lys	1100
3	25.jan	4 lys	1130
4	26.jan	1lys	1300
5	27.jan	2 lys	1100
6	28.jan	4 lys	1300
7	29.jan	1lys	1330
8	30.jan	2 lys	1100
9	31.jan	4 lys	1100

Nominell lysintensitet var lik i alle behandlinger (100%).

Det var ingen tydelig effekt av økende antall lys på fordeling av fisken i merden (Fig. 17). Reduserte temperaturforskjeller i merdene i slutten av perioden gjorde at mer fisk trakk mer mot overflaten i begge merdene på slutten av forsøket og i de etterfølgende dagene.



Figur 17. Ekkogram i Merd 1 (øverst) og Merd 2 (referanse), 23 – 31. januar 2019 med varierende antall horisontale, blå lyskilder (1,2,4) og konstant dyp (3 m)

Resultatene fra målingene ved lokalitet Isane viser at de grønne og blå lysene ikke hadde frastøtende effekt, men heller litt tiltrekkende. Temperatur er et sterkt stimuli for laks (Oppedal et al. 2011). Siden temperaturgradienten var stor (ant grader) i gjennomføringen av testene blei data i etterkant, når sjøen var homogen, analysert. Det var fortsatt ingen målbar effekt. Dette samsvarer med forsøkene i 2018. Forsøk gjort med blå diodelys av Stien et al. 2014, fant at blå diodelys trakk til seg fisken.

Fiskens svømmedyp var i dette forsøket mye påvirket av at temperaturen, særlig da det ble økende grad av vertikal sjikting i merdene. Dette gjorde at laksen trakk unn den kaldere overflaten i alle merdene og kanskje særlig i kontrollmerdene. Tidligere observasjoner har vist at laksen er svært sensitiv for temperaturvariasjoner og foretrekke varmere vann opp mot ca. 16 °C (Oppedal et al 2011). Hva som er grunnen til de ulike observasjonene i piloten, hvor det ble observert at fisken trakk unna de blå lysene, og forsøket er vanskelig å si, men kan kanskje skyldes at fisken hadde ulike erfaringer med kunstig lys. Generelt vil fisk unnvike nye ting i merdene. Fisken på Isane i dette forsøket var vant med sterke halogenlamper i merdene og oppfattet derfor kanskje ikke de fargede lysene som skremmende, mens fisken på Matre i pilotforsøket (Vedlegg Fig. I) var ukjent med denne typen lys. Resultatet fra dette prosjektet viser imidlertid viktigheten av at enkeltobservasjoner må testes og verifiseres i gode forsøksoppsett, før en tar observasjonene for god fisk

3 Konklusjon

Det ble ikke funnet signifikant effekt på bruk av blått 440 nm eller grønt 520 nm lys for å lede fisk bort fra belyst område i merdene hverken i forsøkene i 2018 eller 2019.

Prosjektledelsen og styringsgruppen ble derfor enige om å avslutte prosjektet etter arbeidspakke 3 og ikke gjennomføre testing av lysenes effekt på å redusere påslaget av lakselus (AP4).

4 Referanser

Akvagroup 2019. Blått undervannsllys.

<https://www.akvagroup.com/merdbasert-oppdrett/lys/bl%C3%A5-led-400w>

Bui, S., Oppedal, F., Nilsson, J., Oldham, T., Stien, L., 2019. Summary and status of deep lights and deep feed use in commercial settings: welfare, behaviour and infestation at three case study sites - End report from the FHF project 901154 "Dypelysogføring". Rapport fra Havforskningen 2019-4. 33p.

https://www.hi.no/hi/nettrapporter/dypelysogforing_kunnskapssammenstilling_sluttrapport.docx

Bui, S., Stien, L. Nilsson, J., Oppedal, F., 2018. Assessment of long-term implementation of sea lice prevention technologies: efficiency in reducing infestations and impact on fish welfare. Rapport fra Havforskningen 45-2018. 38s.

Folkedal, O., Torgersen, T., Nilsson, J., Oppedal, F., 2010. Habituation rate and capacity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr to sudden transitions from darkness to light. *Aquaculture*, 307, 170-172.

Frenzl, B., Stien, L.H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R.H., Shinn, A.P., Bron, J.E. & H. Migaud. 2014. Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lightning and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture*, 424/425, 183-188.

Hansen, T.J., Fjellidal, P.G., Folkedal, O., Vågseth, T., Oppedal, F., 2017. Effects of light source and intensity on sexual maturation, growth and swimming behaviour of Atlantic salmon in sea cages. *Aquacult. Environ. Interact.* 9, 193-204.

Oppedal, F., Juell, J.E. & D. Johansson. 2007. Thermo- and photoregulatory swimming behaviour of caged Atlantic salmon: implications for photoperiod management and fish welfare. *Aquaculture*, 265, 70-81.

Oppedal, F., Dempster, T. & L.H. Stien. 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture*, 311, 1-18.

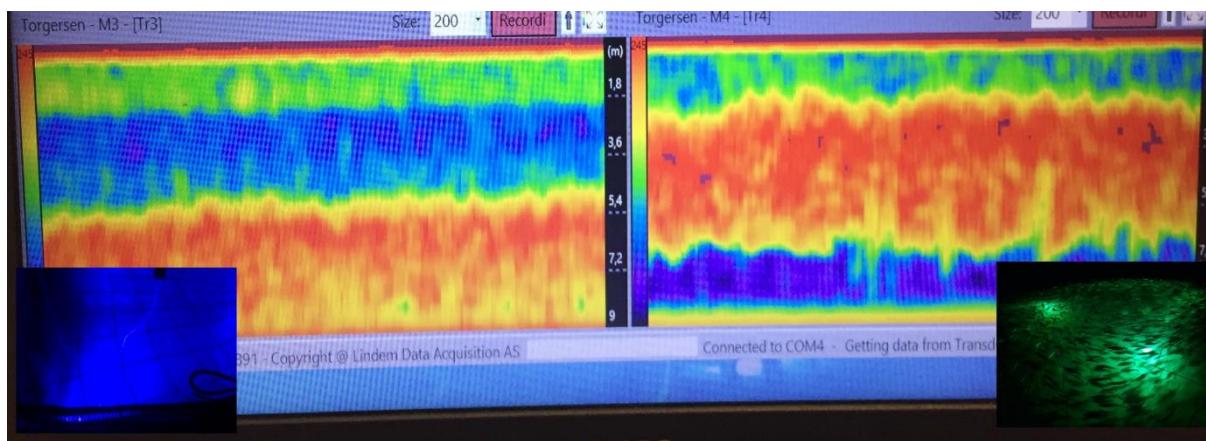
Steinsvik 2019. Undervannsllys

https://steinsvik.no/no/produkter/n/seaculture/havbruksutstyr/lys?gclid=Cj0KCQjw4fHkBRDcARIsACV58_G0vKUrlCyReoAHwwt8BnNQ27KM008EMeK1YEXud85pPV6wgye9974aAtitEALw_wcB

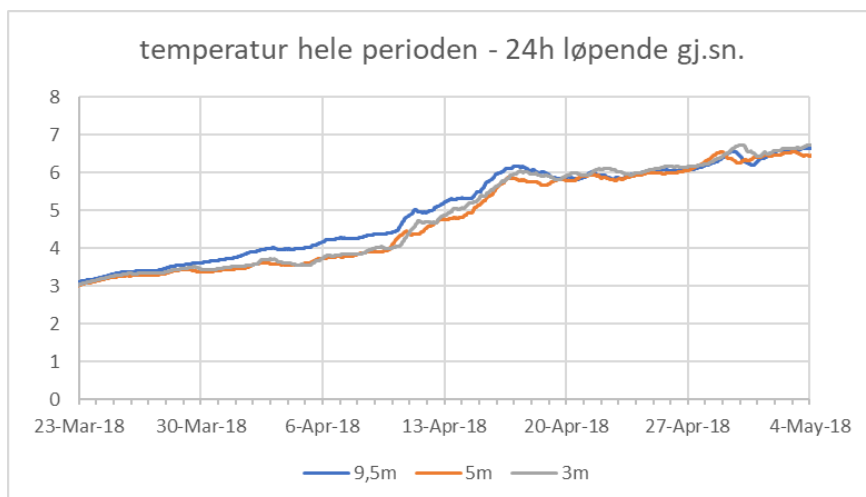
Stien, L.H., Fosseidengen, J.E., Malm, M, Sveier, H., Torgersen, T., Wright, D.W. , Oppedal, F. 2014. Low intensity light of different colours modifies Atlantic salmon depth use. *Aquacultural Engineering*, 62, 42–48.

Wright, D.W., Glaropoulos, A., Solstorm, D., Stien, L.H., Oppedal, F., 2015. Atlantic salmon *Salmo salar* instantaneously follow vertical light movements in sea cages. *Aquacult. Environ. Interact.* 7, 61-65.

5 Vedlegg



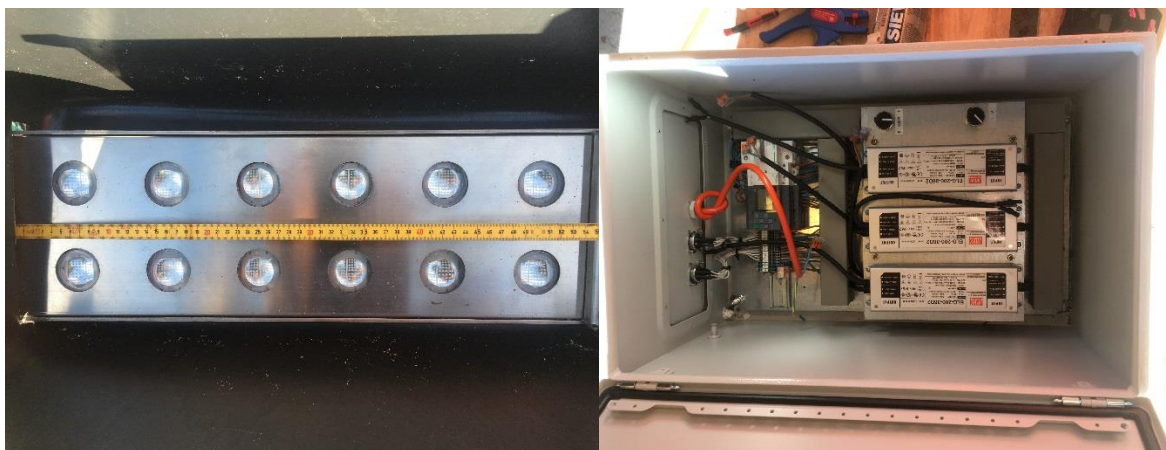
Figur I. Bakgrunn for forsøket er resultat fra en test ved Havforskningsinstituttets forsøksstasjon, Matre. Figuren viser Ledelys til venstre (440 nm) sammenlignet med tradisjonelle antimodningslys (520 nm) til høyre



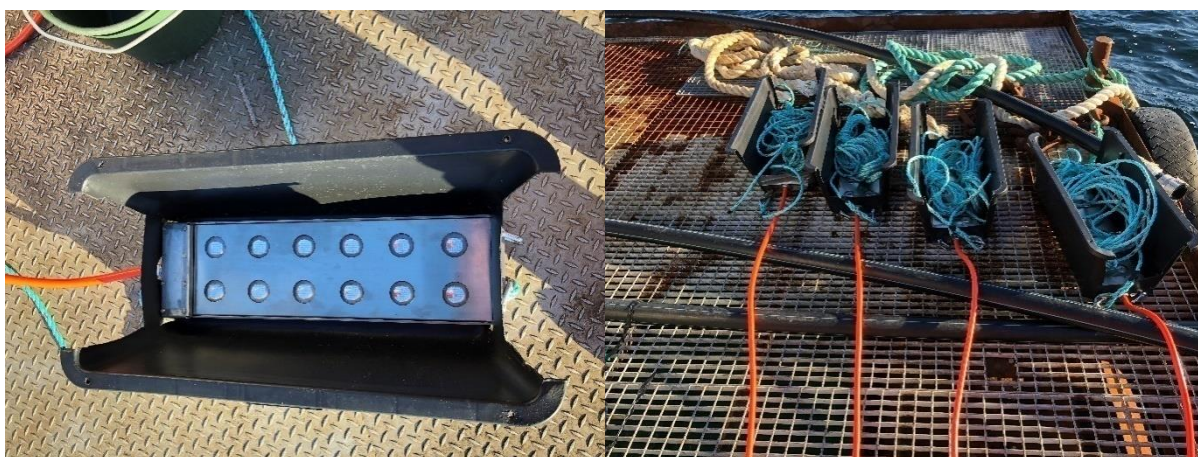
Figur II. Kontinuerlig temperaturmåling på 3, 5 og 9,5 m dyp, referansestasjon ved Nordfjord Forsøksstasjon, lokalitet Brakjestranda, 23. mars – 4. mai 2018



Figur III. Li-Cor SPQA 5242 sensor (venstre) og LI-1500 logger (midt) og lyskilde (440 nm) hengt opp og slått på 27. februar, kveld (høyre)



Figur IV. Lyskilde med 12 x 100 W 440 nm LED-lys og skap med 6 x 200 W drivere for lyskilden



Figur V. Montering av 440 nm lyskilder med skjerming for å redusere vertikal lysspredning (venstre) og opphengningssystem (høyre)