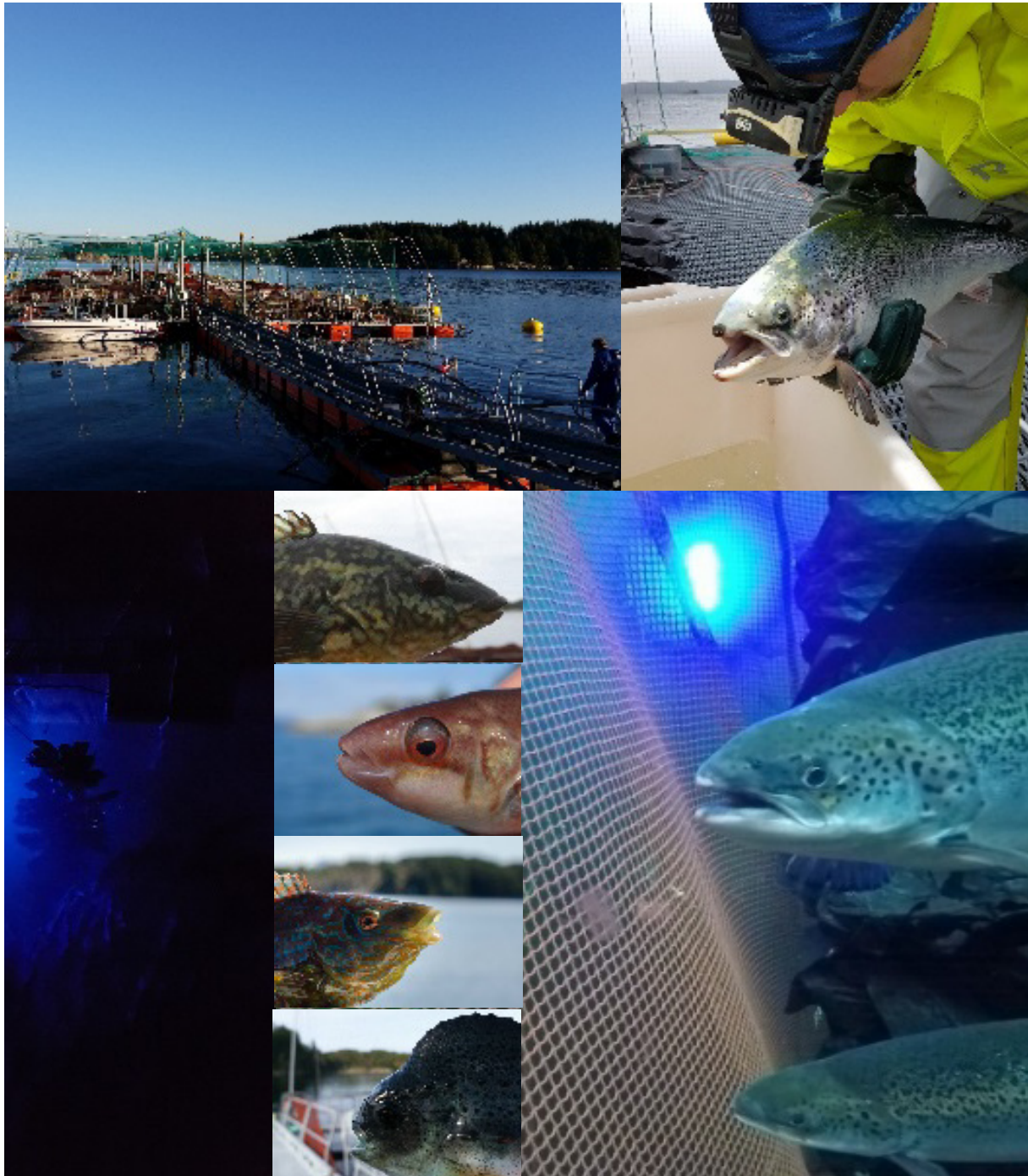


Program rensesk: Kunstig lys og rensesk

SLUTTRAPPORT FHF PROSJEKT 901146

Anne Berit Skiftesvik, Reidun Bjelland, Caroline Durif, Kim Tallaksen Halvorsen, Steven Shema, David Fields og Howard Browman



Innhold

Sammendrag	3
Summary in English	4
Innledning.....	5
Prosjektorganisering.....	6
Problemstillinger og formål.....	6
Prosjektgjennomføring	7
Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensfiskarter	7
Del 2: Effekt av kunstig lys på atferd.....	8
Leppefisk (berggylt, grøngylt og bergnebb)	9
Rognkjeks.....	10
Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall.....	11
Resultater.....	16
Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensfiskarter	16
Del 2: Adferd og lys	18
Bergnebb	19
Grøngylt.....	19
Berggylt.....	20
Rognkjeks.....	20
Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall.....	21
Lusetall.....	21
Vektendringer.....	28
Overlevelse	28
Mageinnhold	33
Filming – adferdsobservasjoner	34
Merdforsøk 1 (2015-2016)	34
Merdforsøk 2 (2016-2017)	37
Diskusjon	39
Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensfiskarter	39
Del 2: Adferd og lys.....	39
Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall	39
Anvendelse og nytteverdi.....	41
Referanser.....	41

Sammendrag

Rensefisk er oppdrettsnæringens viktigste ikke-medikamentelle verktøy mot lakselus. De viktigste rensefiskartene er rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*, oppdrettet), berggyllt (*Labrus bergylta*, både villfanget og oppdrettet), grønngyllt (*Symphodus melops*, villfanget) og bergnebb (*Ctenolabrus rupestris*, villfanget).

Leppefisk vil normalt ha lavere aktivitet ved lave temperaturer, men rognkjeks lever normalt ved lave temperaturer uten redusert aktivitetsnivå. Imidlertid er all rensefisk avhengig av synet for å detektere lakselus, og kortere daglengder i vinterhalvåret kan derfor redusere effektiviteten på lusebeiting.

Formålet med dette prosjektet var å finne ut om forlenget dag med kunstig lys kan redusere antall lus på laks ved bruk av rensefisk. Først kartla vi fargesyn og undersøkte adferdsresponsen til lys av ulike farger og intensitet for rensefiskene rognkjeks, berggyllt, bergnebb og grønngyllt. Blått lys med absorbanstopp på 476 nm ble brukt videre i merdforsøk med laks og rensefisk hvor lusetall ble sammenliknet med kontrollmerder uten lys. Forsøkene gikk over 8 uker. Lusetallene var generelt høye i både lys og kontrollforsøk og uavhengig av arter rensefisk.

I det første merdforsøket (startet i 2015) viste tilleggslus å gi noe redusert antall bevegelige lus på laksen i merder med rognkjeks og bergnebb. Dette var ikke tilfellet året etter hvor bergnebb og grønngyllt ble testet, og lusenivåene var generelt sett mye høyere. Vekt og lengde ble målt på all rensefisk i forkant og etterkant av forsøkene. Det var tydelige artsforskjeller i vektendringer og overlevelse. Rognkjeks økte vekten med i gjennomsnitt over 200 % i både lys og kontrollbehandling. Vektøkningen for bergnebb var i liten i forhold, og økte mer i kontroll (5.4 %) enn i lysbehandlingen (3.2 %) i 2015, men ikke året etter. Berggyllt hadde en gjennomsnittlig vektnedgang på mellom 7 og 8 %. Grønngyllt hadde svært lav overlevelse, spesielt i lysbehandlingen (4 vs. 15 %) og datamengden på vektendringer var derfor begrenset. Grønngyllt ser ut til å være lite egnet som rensefisk i den kaldeste og mørkeste perioden av året som er da arten har sin dvaleperiode. Rognkjeks hadde best overlevelse (totalt 95 %). For bergnebb og berggyllt lå overlevelsen mellom 60 og 80 % og de statistiske analysene indikerte at større startvekt gav bedre overlevelse for disse artene.

Samlet viser prosjektet at fargesynet og adferdsrespons til lys varierer mellom artene. Dette er også viktig bakgrunnskunnskap for å tilpasse belysningen for rensefisk i oppdrett. Selv om det var indikasjoner på en viss positiv effekt av kunstig lys på antall lus, var lusenivåene i merdforsøkene uakseptabelt høyt i både lys og kontrollbehandling, spesielt i merdforsøk 2.

Summary in English

Cleaner fish is the most important non-pharmacological tool against lice infestations in Norwegian open pen salmon farming. The most important species currently used as cleanerfish are the lumpsucker (*Cyclopterus lumpus*, cultured), goldsinny (*Ctenolabrus rupestris*, capture fishery), ballan wrasse (*Labrus bergylta*, cultured and capture fishery) and corkwing wrasse (*Symphodus melops*, capture fishery).

Wrasses exhibit reduced activity at lower temperatures, while lumpsucker, which is adapted to colder water, is less affected. However, all species of cleaner fish use vision to detect lice residing on salmon. Thus, shorter day length during the winter might reduce the effectiveness of cleaner fish.

In this context, the purpose of this project was to determine if extending day length during the winter using artificial lights reduces the number of lice on salmon when cleaner fish are being used. We characterized the spectral sensitivity of the different species of cleaner fish (using microspectrophotometry) and examined their behavioural responses to light of different wavelengths and intensity. Blue light (476 nm) was used in additional sea cage tests in which lice numbers were compared with control cages without supplemental light. The trials lasted for over 8 weeks.

In the first experiment (conducted during 2015), there was a moderate reduction in the number of mobile lice on salmon in the sea cages that had goldsinny or lumpsucker as cleaner fish. This was not the case for the second experiment conducted during 2016 when goldsinny and corkwing were used as cleaner fish, and lice levels were generally much higher on the salmon. Weight and length were measured on all cleaner fish before and after the tests. There were clear differences between species in terms of weight changes and survival. The weight of lumpsucker increased by an average of more than 200 % in both the supplemental light and control treatments. The weight gain for goldsinny was small in comparison, but increased more in the control (5.4 %) than in the supplemental light treatment (3.2 %) in 2015, but not in 2016. Ballan wrasse had an average weight loss of between 7 and 8 %. Corkwing had very low survival, especially in the supplemental light treatment (4 vs. 15 %) and, as a result, the amount of data on weight change was too limited to draw any conclusions. Corkwing appears to have low suitability as a cleaner fish during the coldest and darkest period of the year, which is its natural hibernation period. Lumpsucker had the highest survival (overall 95 %). For goldsinny and ballan wrasse the average survival was between 60 and 80 % and greater initial weight tended to result in better survival of these species.

Overall, the project demonstrates that spectral sensitivity and behavioural response to light is species specific. This information can guide customization of lighting for the intensive culture of different species of cleaner fish. Even though there were indications of a certain positive effect with use of artificial light on the number of lice in the first cage experiment, the overall level of sea lice became unacceptably high, especially in the second experiments.

Innledning

Rensefisk er lakseoppdretternes viktigste, ikke-medikamentelle verktøy i kampen mot lakselus. Det brukes både villfanget og oppdrettet rensefisk, og ofte i kombinasjon. Berggyllt er den mest ettertraktede arten, men det er begrenset tilgang på villfanget, og fremdeles store utfordringer med å få til stor nok produksjon av oppdrettet berggyllt. I de siste årene har rognkjeks tatt over som den dominerende oppdrettede rensefisken. Blant de villfangede leppefiskene er de mindre artene grønngyllt og bergnebb mest brukt.

Leppefiskartene er mest aktive i den varme årstiden mens rognkjeks er aktiv hele året. Felles for alle artene er at de bruker synet for å lokalisere lusen på laksen, og da er de avhengig av å ha lys. Rensefiskens beitetid blir derfor kortere på høsten og vinteren når daglengden reduseres. For eksempel har Bergen over 19 timer dag på det lengste, og under 6 timer når dagen er kortest. Lengre nord, i Trondheimsområdet er den lengste dagen 20 ½ timer og den korteste 4 ½ timer. Ved å bruke kunstig lys til å forlenge dagen for rensefisken er hypotesen at dette vil gi økt lusebeiting utover høsten og tidlig vinter. Mange fiskearter har definerte døgnrytmer, og det er dokumentert for flere tropiske arter leppefisk (Gerkema et al. 2000, Nishi 1989, 1990, 1991; Nishi & Abe 1990), men også hos berggyllt (Villegas-Ríos *et al.* 2013). I FHF prosjekt # 900978 ble det registrert posisjonering i merd ved bruk av pitmerkede rensefisk og nedsenkede antenner. Leppefisken var da for det meste inaktiv i den mørke delen av døgnnet. Dette stemmer også godt overens med at leppefisk generelt beskrives som dagaktive fisk (Helfman, 2012).

Kunstig lys brukes i allerede i lakseoppdrett fra midtvinter og 4-6 måneder frem i tid som et styringsverktøy for å redusere forekomsten av kjønnsmodning (Hansen et al, 1992; Taranger et al, 1998; Porter et al., 1999; Oppedal et al., 1997, 2006; Lekang, 2007; Leclercq et al., 2010). Under naturlige lysforhold vil laksen vanligvis svømme relativt dypt om dagen og svømme nærmere overflaten om natten (Oppedal et al., 2011). Lyset i merdforsøkene var en utvidelse av dagen (9:00 – 21:00) og ikke 24 timer som blir brukt i forbindelse med styring av kjønnsmodning, og skal derfor ikke ha påvirkning på laksens modning.

I dette prosjektet ble rensefiskenes oppfattelse av lys av ulike farger kartlagt ved bruk av mikrospektrofotometri. Deretter ble det undersøkt hvordan de ulike artene reagerte på forskjellige farger i et adferdsforsøk. Til slutt ble det i to sesonger utført forsøk der det ble testet om lys i laksemerd med rensefisk kunne redusere lusetallet i forhold til merder uten lys.

Prosjektorganisering

Ansvarlig institusjon for prosjektet er Havforskningsinstituttet – hvor administrativ ansvarlig er programleder Terje Svåsand og ansvarlig prosjektleder er Anne Berit Skiftesvik. I tillegg bestod prosjektgruppen av Reidun Bjelland, Caroline Durif og Howard Browman fra Havforskningsinstituttet og Ellis Loew fra Cornell University College of Veterinary Medicine, USA. All aktivitet i prosjektet ble utført på Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Austevoll.

FHF's styringgruppe for prosjektet:

Unni Austefjord, Marine Harvest

Bjarne Johansen, Nordlaks

Ragnar Øien, Salmar

Kjetil Heggen, Lerøy

Problemstillinger og formål

Å opparbeide kunnskap som kan brukes til å legge til rette for bruk av kunstig lys slik at rensefisken kan bli mer effektiv som lusespiser når den naturlige daglengden blir kortere utover høst og vinter. Vi vil også få informasjon om overlevelse og kondisjonsutvikling på rensefisk i den kalde årstiden

Delmål

1. Kartlegge om de ulike rensefiskene ser alle fargene (bølgelengder) i spekteret.

Nullhypotese: Rensefiskene har lik oppfattelse av ulike farger.

2. Kartlegge hvilken adferd de ulike rensefiskene har ved eksponering for ulike farger og intensitet av lys.

Nullhypotese: Adferden til alle arter rensefisk er lik ved alle farger intensiteter.

3. Gjennomføre kontrollerte merdforsøk der rensefisken får forlenget dag med de lyskvaliteter og lysintensiteter som er hensiktsmessig (fra delmål 1 og 2), i den hensikt å redusere lusenivået.

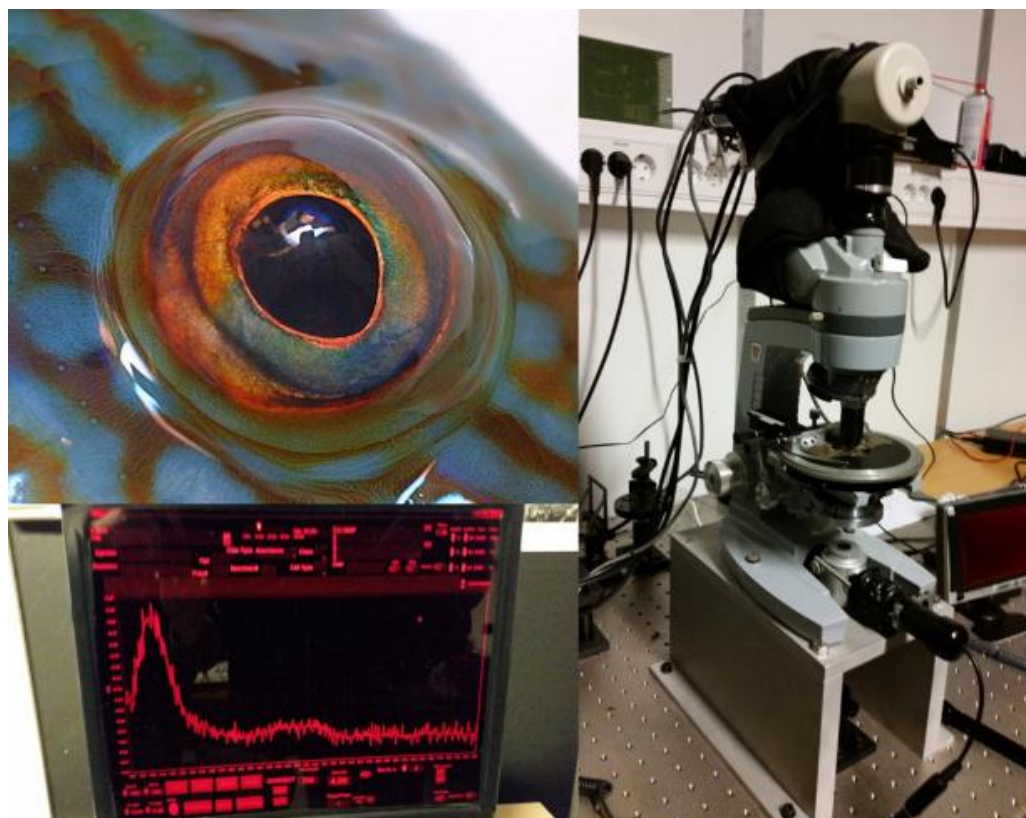
Nullhypotese: Forlenget dag har ingen innvirkning på lusenivået

Prosjektgjennomføring

Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensfiskarter

Kontrasten i lysstyrke og farge mellom fiskeskinnet og lusen er avgjørende for at rensfisk skal detektere lakselus. Hvis de ulike rensfiskene oppfatter fargespekteret forskjellig vil effektiviteten variere med både naturlige lysvariasjoner og ved bruk av kunstig lyssetting. For å kunne benytte kunstig lys for å stimulere appetitten til rensfisk er det derfor avgjørende å kjenne til de ulike artenes fargesyn ved lav og høy lysintensitet.

I dette delforsøket undersøkte vi fargesynet til berggylt (*Labrus bergylta*, oppdrettet), rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*, oppdrettet), grønngylt (*Symphodus melops*, villfanget) og bergnebb (*Ctenolabrus rupestris*, villfanget). Mikrospektrofotometri (MSP) (**Figur 1**) ble brukt til å måle absorptans-spekteret til fotoreseptorcellene i retina hos fire arter rensfisk. Bare lys som absorberes av de visuelle pigmentene kan stimulere en respons hos fisken.

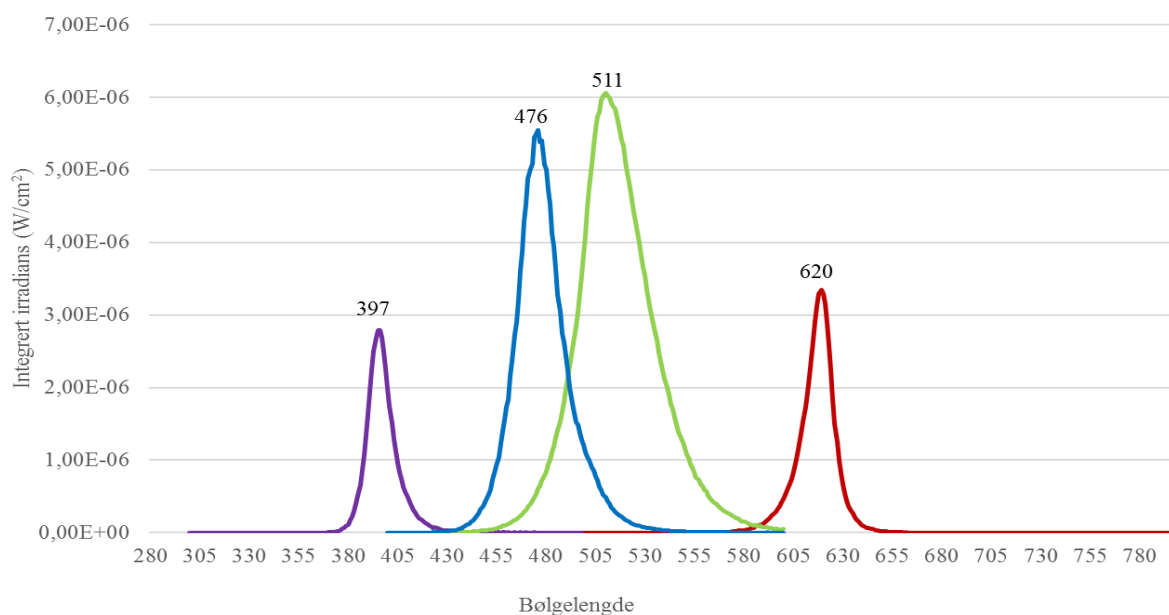


Figur 1: Mikrofotospektrometri. Utstyr brukt til å kartlegge fargepigmentene i øyet på rensfisk. Disse registreringene må gjennomføres i totalt mørke.

Synspigmenter kan karakteriseres ved bølgelengden for maksimal absorpsjon (λ_{\max} eller X_{\max} for spektra som ikke er tilpasset predefinerte kurvemodeller). Synspigmentene identifiseres ofte med farge i henhold til menneskets λ_{\max} . Først ble de ulike artenes absorbansekurver identifisert for tre ulike pigmenter: Kortbølge (SWS) og langbølge (LWS) sensitive tapper til oppfattelse av - fargesyn og bevegelse ved høye lysstyrker, og staver til svart-hvitt syn og bevegelsesdeteksjon ved lav lysstyrke. Deretter ble kontrastpotensialet undersøkt ved å subtrahere absorbansspekteret til SWS tappen fra absorbansspekteret til LWS tappen. Dette brukes til å identifisere bølgelengdene (farger) hvor rensfisken har høyest kontrastpotensiale og best kan skille de ulike fargene fra hverandre. For mer detaljert beskrivelse av bakgrunn, metode og resultater viser vi til publisert delrapport av Ellis Loew: «Spectral sensitivity and contrast potentials for four species of cleaner fish» (Loew et al. 2016).

Del 2: Effekt av kunstig lys på atferd

På bakgrunn av kunnskapen om rensfiskens fargesyn valgte vi ut lyskvaliteter som ble brukt til å undersøke rensfiskenes adferdsrespons til lys av ulik farge og intensitet. Lyskilden brukt til disse forsøkene var en spesialtilpasset ledlampe med mulighet til å velge mellom fiolett, blå, grønn og rød farge. I tillegg kunne intensiteten justeres. **Figur 2** viser spekteret på de ulike fargene målt med et mikrofotospektrometer.

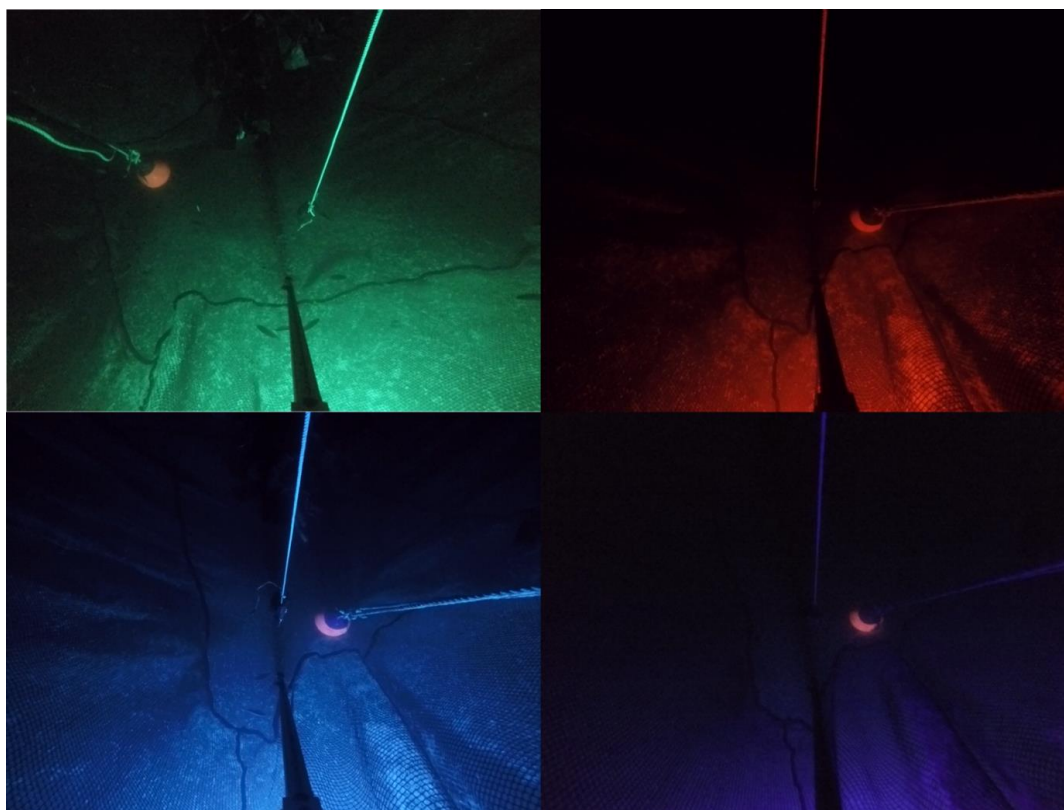


Figur 2: Resultater av lysmålinger. Figuren viser hvilke bølgelengder som ble brukt i adferdsforsøkene.

Leppefisk (berggylt, grønngylt og bergnebb)

Testing av ulike lyskvaliteters (farger) påvirkning på adferden til leppefiskartene ble gjort i 2 x 2 m merder på sjøanlegget HI, Austevoll. Alle merdene hadde leppefiskskjul (plasttare, OK Marine) hengende ned i et av hjørnene. Et kamera ble montert diagonalt ovenfor skjulet og en agnpose med knust krabbe ble hengt mellom kameraet og skjulet slik at den var lett synlig. Erfaring tilsier at en slik pose med agn raskt tiltrekker seg leppefisk i dagslys.

I 2015 ble det gjennomført to forsøksserier for å kartlegge leppefiskenes adferdsrespons til ulike farger. I den første ble lys satt på ca. en time etter at det var blitt mørkt, og en økte intensiteten for hver farge, før en byttet farge. I den andre forsøksserien ble det kun brukt én intensitet, og lyset ble satt på mens det enda var naturlig lys slik at det ble en forlengelse av dagen og testingen startet ved samme klokkeslett som i den første serien. Fargene rød, grønn, blå og fiolett ble testet ved fire ulike lysintensiteter (**Figur 3**). Leppefiskartene som ble testet var bergnebb, grønngylt og oppdrettede berggylte. De tre artene ble testet hver for seg i forsøksgrupper på 50 individer.

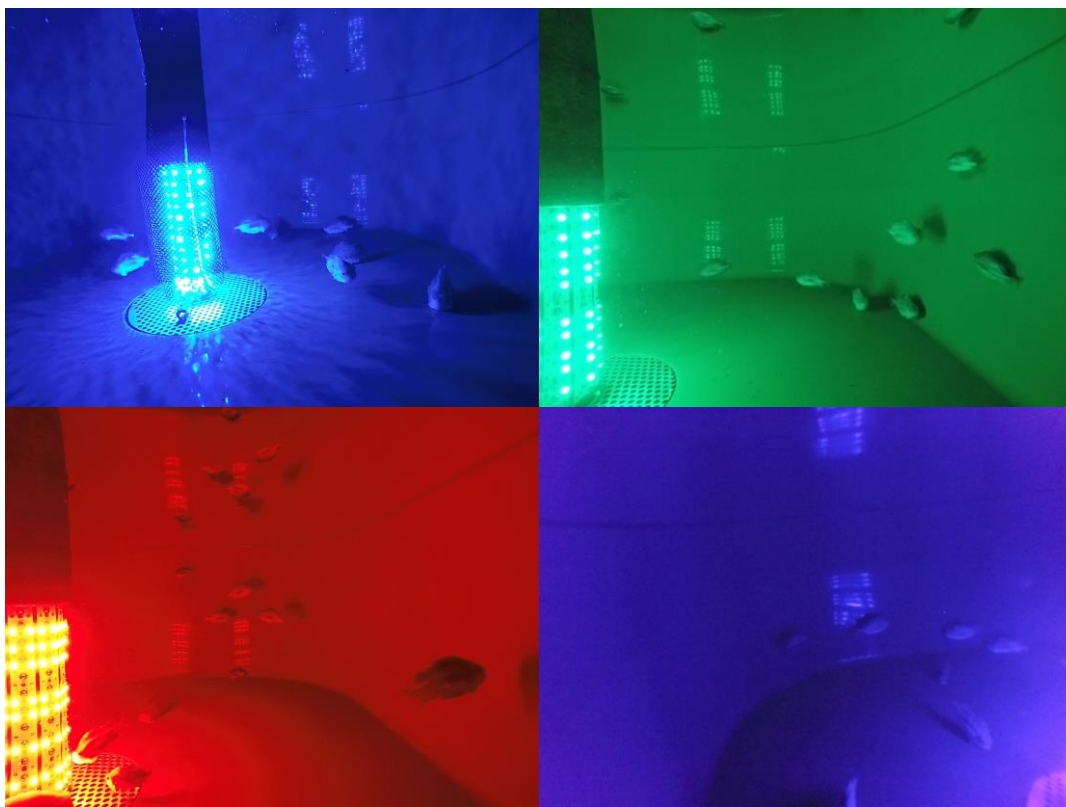


Figur 3: Testing av adferdsrespons på leppefisk i merd.

Høsten 2016 gjennomførte vi tilsvarende tester på villfanget berggyllt, med én intensitet av fargene blå, grønn, rød og fiolett ble brukt. Det ble brukt reker i agnposen som ble hengt ut i merden, ikke krabbe som året før. Antallet vill berggyllt i forsøket var 30. I tillegg til videoopptak ble adferd observert og registrert av 2-3 personer. Adferd som ble registrert var om de var aktive, svømte hurtig eller langsomt, viste de interesse for fôr, spiste de av fôret.

Rognkjeks

Forsøket med rognkjeks ble utført i 1,5 m x 1,5 m firkantede kar våren 2016. Lyskilden ble satt ned i midten av karet (**Figur 4**). Fargene som ble testet var de samme som i merdforsøkene, men med én intensitet (siden forsøkene ble utført i kar kunne vi ikke bruke høye intensiteter).



Figur 4: Rognkjeks. Testing av adferdsrespons til lyskvaliteter på rognkjeks i kar.

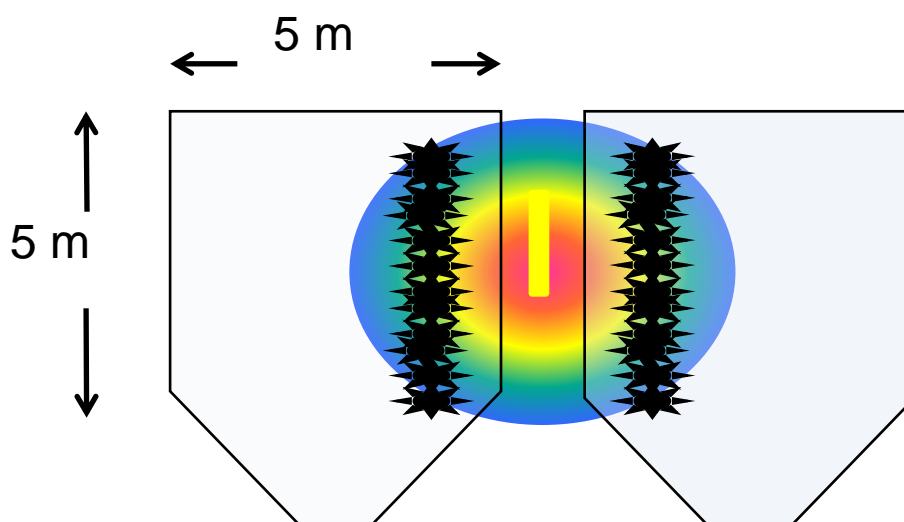
Det ble benyttet GoPro-kamera til filming samt der var direkte observasjoner der 3 personer observerte adferd mens forsøket ble gjennomført. Adferd som ble observert var: svømmeaktivitet (langsom svømming, rask svømming), i tillegg ble kollisjoner og hvile registrert.

Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall

I den siste delen av prosjektet ble det gjennomført kontrollerte merdforsøk der rensefisken fikk forlenget dag med de lyskvaliteter og lysintensiteter valgt på grunnlag av resultater fra foregående delprosjekt (del 1 og 2 i denne rapporten). Merdene med lys fikk ekstra lys fra kl 09:00 til 21:00. Hver merd var utstyrt med et 4 m langt skjul plassert i hjørnet nærmest lyset (**Figur 5**). Lusetallene ble sammenliknet mellom merder med og uten lys. Følgende to hypoteser ble testet i to separate forsøksperioder ved forskningsstasjonen på Austevoll 2015-2017:

H0 - Forlenget dag med tilleggslys har ikke effekt på lusetallene

H1 - Forlenget dag reduserer lusetallene.



Figur 5: Størrelse på merd, plassering av skjul og ekstra lys

I tillegg vil en få informasjon om overlevelse og kondisjonsutvikling på rensefisk i den kalde årstiden og om kunstig lys har noen innvirkning på disse parameterne. Det var enkelte forskjeller i betingelsene i de to forsøkene:

Merdforsøk 1 ble utført i perioden 8. desember 2015 til 9. mars 2016. Det ble brukt laks (smolt) fra Alsaker Fjordbruk, berggylte fra Marine Harvest, rognkjeks fra Forskningsstasjonen Austevoll og lokalt villfanget bergnebb (**Tabell 1**). Laks og rensefisk ble fordelt i 18 merder (2 behandlinger, 3 replikater og 3 arter rensefisk; **Figur 6**). Laks ble satt i sjøen tre uker før tilsetning av leppefisk, rognkjeks satt i sjøen fire uker senere enn de andre artene og forsøket ble forlenget tilsvarende (**Figur 7**). Rensefisk ble håndfôret med Skretting Labrus tre ganger ukentlig. All rensefisk ble veid, målt og individmerket med PIT merker før de ble satt i

merd. Et utvalg av laks ble målt i forkant og etterkant av forsøket. Død rensefisk ble hvis mulig erstattet med ny rensefisk underveis i forsøket.

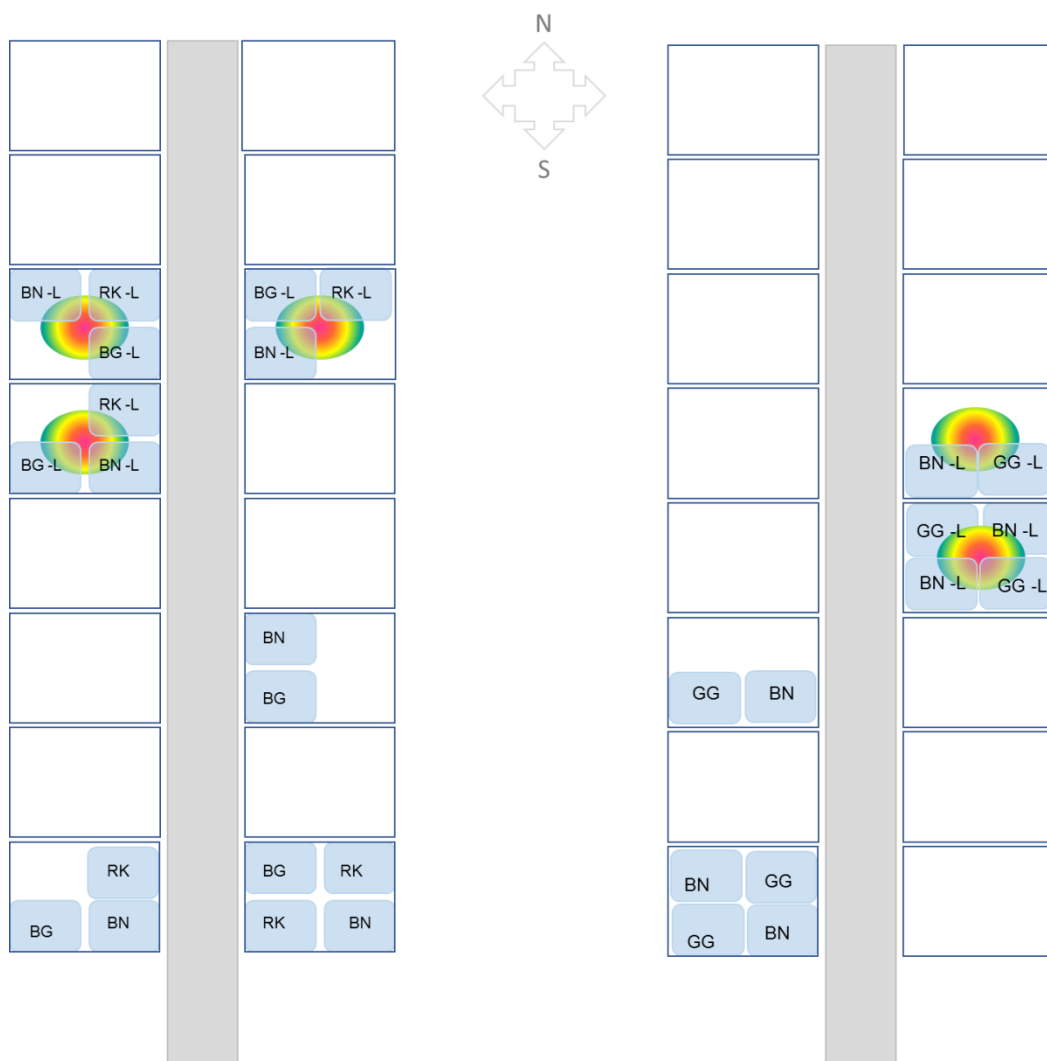
Merdforsøk 2 ble utført fra 1. november 2016 til 12. januar 2017. Det ble brukt laks (1 år) fra Alsaker Fjordbruk og lokalt villfanget bergnebb og grønnngylt (**Tabell 2**). Rensefisk som skulle gå i merdene med lysbehandling ble i forkant av forsøksstart satt i 2x2x2 m merd med ekstra lys fra kl. 09:00 til kl. 21:00 (**Figur 7**). Laks og rensefisk ble fordelt i 12 merder (2 behandlinger, 3 replikater og 2 arter rensefisk; **Figur 6**). Fôr til rensefisken ble laget ved å blande oppmalt Vitalis Cal + reke i forholdet 1-1. Rensefisk ble håndfôret tre ganger ukentlig ved at fôret ble lagt i skjulet. All rensefisk ble veid, målt og individmerket med PIT merker før de ble satt i merd. Et utvalg av laks ble målt i forkant av forsøket, og slakterapport etter forsøk ga tall på vekt etter forsøk (sløyd vekt). Død rensefisk ble hvis mulig erstattet med ny rensefisk underveis i forsøket.

Tabell 1: Oversikt over fiskemateriale til merdforsøk 1 (2015-2016). I hver merd ble det satt ut 500 laks og 25 rensefisk.

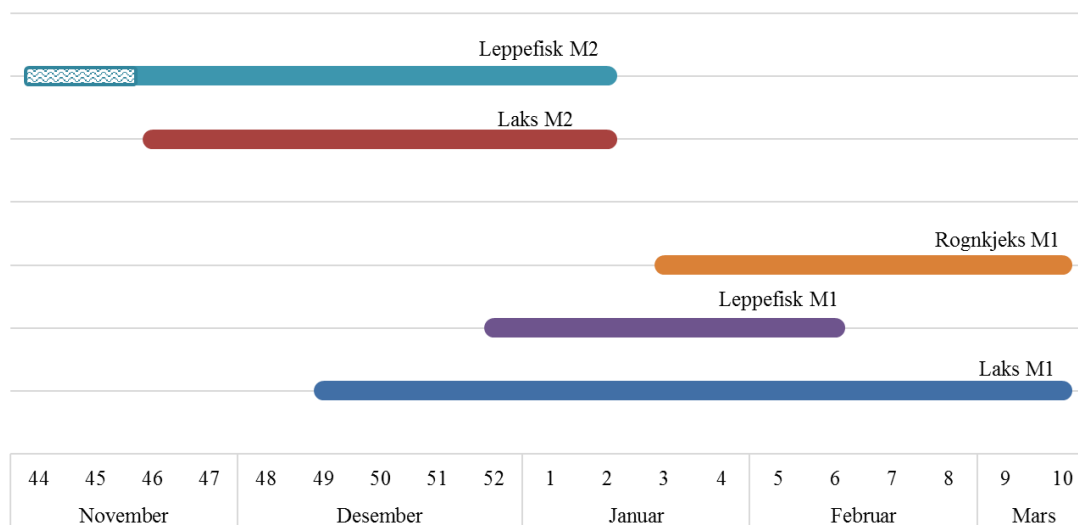
Art	Opprinnelse	Antall	Snittvekt (gram)	Snittlengde (cm)
Laks	Alsaker Fjordbruk	9000	130start-303slutt	
Berggylte	Marine Harvest - Labrus	150	28	12
Bergnebb	Villfanget	150	23,5	12
Rognkjeks	Havforskningsinstituttet	150	20	7,5

Tabell 2: Oversikt over fiskemateriale til merdforsøk 2 (2016-2017). I hver merd ble det satt ut 300 laks og 30 rensefisk. NB! Sluttvekt for laks er sløydvekt.

Art	Opprinnelse	Antall	Snittvekt (gram)	Snittlengde (cm)
Laks	Alsaker Fjordbruk	3600	2922start-3366slutt	
Bergnebb	Villfanget	215	27	12,8
Grønnngylt	Villfanget	265	38	13,7



Figur 6: Forsøksoppsett for merdforsøk 1 (venstre) og merdforsøk 2 (høyre). De ulike artene rensefisken ble satt sammen med laks i total 18 merder (forsøk 1) og 12 merder (forsøk 2). Merdene lengst fra land, (nord) i anlegget hadde ekstra lys.



Figur 7: Tidslinje for forsøksperioden i merdforsøk 1(2015-2016) og merdforsøk 2 (2016-2017). Skravert felt i starten av Leppefisk M2 indikerer at leppefisk gikk på lysbehandling 2 uker før de ble fordelt i merdene med laks.

Hydrografi: Temperatur, saltholdighet og siktedyp ble målt daglig. **Figur 8** viser utviklingen i temperatur på 5 m i forsøksperiodene. Saltholdigheten var på ca. 32 ‰ og siktedypet lå på omtrent 13 m i begge periodene.

Tilleggslys: Lys (Idema Sub LED 100W) ble plassert på ca. 1.5 m dyp i mellom merdene (**Figur 5**). Lyset ble slått på ved en tidsstyrt bryter og stod på fra 0900 til 2100. **Figur 9** viser spekter av lyset brukt i merdforsøkene.

Lusetelling: Det ble talt lus i alle merder hver uke i merdforsøk 1 og annenhver uke i merdforsøk 2. Ved uttak av laks til telling ble merden tørket opp, 10 laks håvet ut og bedøvet med MS222. Alle stadier av lus ble talt etter følgende inndeling copepoditter, chalimus 1 og 2, preadult 1 og 2, adulte hanner og hunner. I videre behandling av data er det delt inn i fastsittende (cop, ch1, ch2), bevegelige (pre1, pre2, adm) og voksne hunnlus.

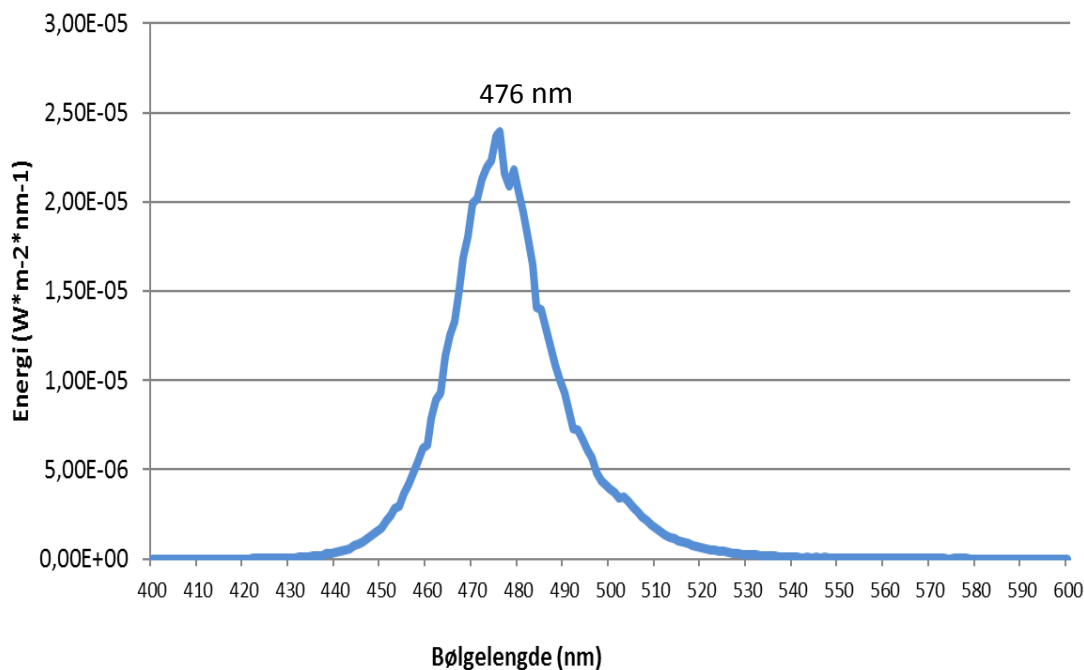
Vektendringer, overlevelse og mageinnhold hos rensefisk: Ved forsøksslutt ble all resterende rensefisk talt, veid og målt og eventuelt uregistrert dødelighet notert. Ved forsøksslutt ble rensefisk avlivet for mageanalyse (2016 – 10 fra hver merd, 2017 – all gjenværende rensefisk). Innholdet i magen ble kategorisert etter følgende kriterier: Tom, lakselus, fôrpellet, andre krepsdyr, annet og udefinert.

Filming: For å beskrive adferd og aktivitetsnivå på rensefisken ble det filmet jevnlig gjennom begge forsøkene.

Statistiske analyser: Forskjeller i lusetall mellom behandlingene ble testet ved generaliserte lineære modeller (glm) for hver art. Responsvariabelene var antall *fastsittende*, *bevegelige* og *voksne hunnlus*. Disse ble modellert hver for seg med poissonfordeling og hvor behandling (lys eller kontroll) og uke var prediktorvariabler med interaksjonseffekt (modellen tillater varierende forskjell mellom behandlinger i ulike uker). Modellene ble sjekket for *overdispersion* ved å sammenlikne *residual deviance* med antall frihetsgrader (Zuur *et al.* 2009). R-pakken lsmmeans ble brukt til å teste for signifikante forskjeller mellom ukene. Lineære modeller ble brukt for å modellere absolutt vektendring som en funksjon av startvekt og for å teste for forskjeller mellom behandlingene. Vi oppgir også prosentvis vektendring. Logistisk regresjon ble brukt til å analysere sannsynlighet for å overleve som en funksjon av startvekt og behandling (lys, kontroll) for de ulike artene rensefisk. Fisk som var levende ved forsøkslutt ble kodet 1, mens fisk som enten var registrert død eller ikke lot seg finne (svinn) ble kodet 0.



Figur 8: Temperatur på 5 m i forsøksperioden. Data for daglengde er hentet fra timeanddate.no.



Figur 9: Spekter målt på blått lys brukt i merdforsøk 1 og 2. Lysmålingen er foretatt på standardisert måte i kar, med lyskilden 1 m fra måleinstrument.

Resultater

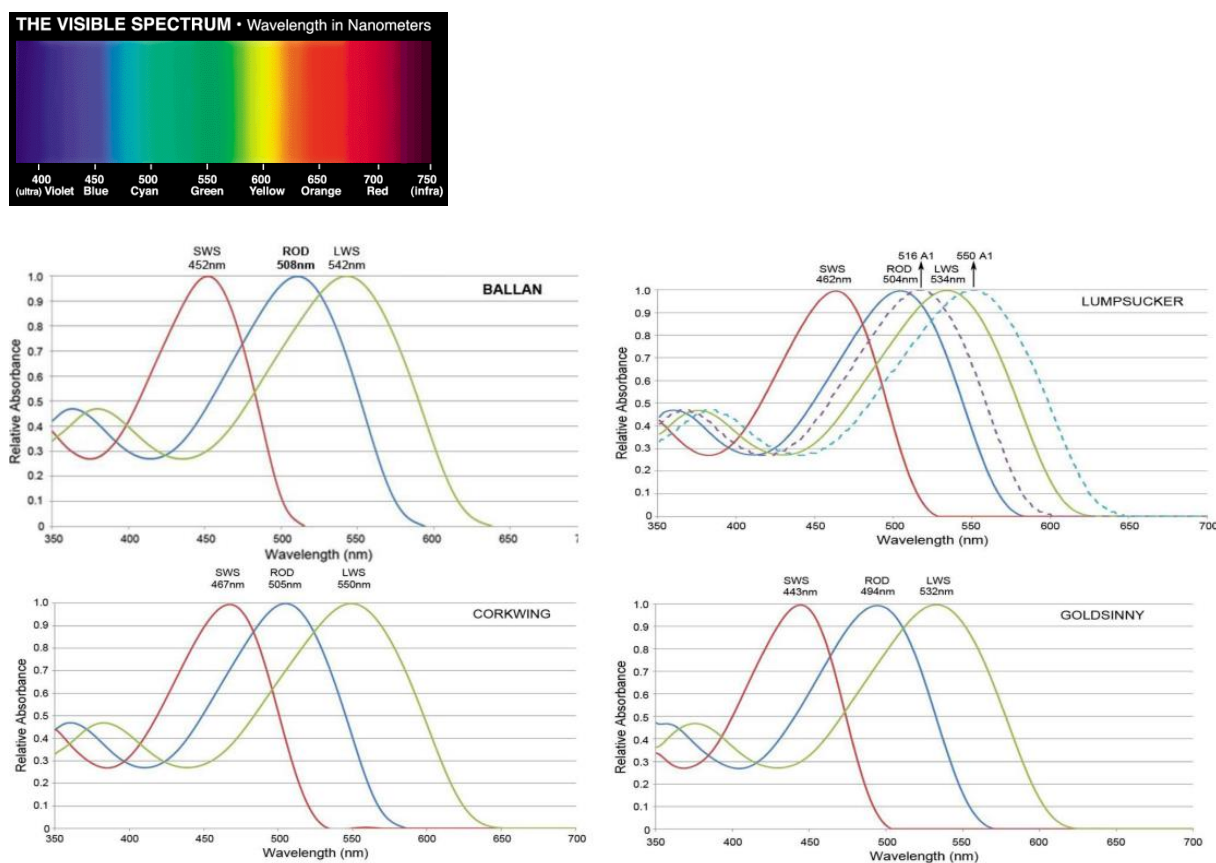
Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensefiskarter

Alle fire artene hadde de samme retinale fotoreseptorcellene; staver og tapper (lange, korte og doble). **Figur 10** viser absorpsjonsmaksimum for disse for de ulike artene. Berggyllt hadde et absorpsjonsspektra som er typisk tilpasset blå-grønt farget vann. Grønngylt hadde et lignende mønster som berggyllt, men spektralposisjonen til to av tappene var skiftet mot rødt. Grønngylt er derfor mer tilpasset grønnlig og gulaktig vann. Spekteret til bergnebb lignet også på de andre to leppefiskartene, men hadde et signifikant skift mot blå for alle reseptorene. Dette tyder på en tilpasning til noe dypere vann. Mønsteret for rognkjeks var lignende til leppefiskene, og er også tilpasset grunt vann. Absorbansspekteret for rognkjeks kunne ikke tilpasses en enkelt malkurve for LWS (langbølge-sensitiv) tappene. Dette tyder på at det er to opsiner som uttrykkes samtidig i LWS tappene.

Relevans for kunstig lyssetting

Ved svakt lys: Stavene er mest lysømfintlige og brukes i mørke, men skiller ikke mellom ulike farger. Maksimal følsomhet ligger i det blå-grønne spekteret (**Figur 10**), og det kunstige lyset bør derfor ligge i dette området. Dette kan øke rensefiskenes evne til å detektere lus under korte, mørke vinterdager.

Ved høyere lysstyrke: Når lysnivået øker og stavene blir mettet blir oppgaven med å detektere forskjeller i lysstyrke overført til de langbølgesensitive tappene (LWS). Disse er mest tallrike og bredt distribuert over netthinnen. Dette gjelder for alle farger. En blanding av grønn-blå og gule LED-lamper ville være best for belysning og vil eliminere behovet for filtre.



Figur 10. Absorbansspektra for retinale fotoreseptorer til de ulike artene i forsøket. De ulike absorbansmaksimumene er markert over kurvene. Det synlige spekteret (the visible spectrum) er lagt inn over figuren for å vise fargene relatert til bølgelengde.

Del 2: Adferd og lys

Etter å ha kartlagt hva lyskvaliteter de ulike rensefiskene er i stand til å se ble deres adferd til fargene grønn, blå, rødt og fiolett observert (se **figur 2** over lyskvaliteter brukt). Rensefiskene reagerte ulikt til fargene de ble presentert for.

Leppefisk

Observasjonene av leppefisk er gjort i merd i sjø. Det var enklere å observere atferd direkte enn på videoopptakene, spesielt for fiolett og for de lavere lysintensitetene da videoopptakene gav dårlige kontraster og det dermed ble vanskelig å se fiskene klart. Resultatene oppsummert i tabell 3 er både fra direkte observasjoner og videoopptak for de ulike fargene brukt og for leppefiskartene som ble testet i 2015 og 2016.

Tabell 3: Oversikt over leppefiskenes aktivitetsrespons på de ulike fargene.

Farge	Bergnebb	Grønnlyt	Berglyt (oppdrettet)	Berglyt (vill)
Rød	JA	NEI	NEI	JA
Blå	JA	JA	NEI	JA
Grønn	JA	NEI	NEI	JA
Fiolett	JA	NEI	NEI	JA
Blå med tilvenning	JA	JA	NEI	
Fiolett med tilvenning	JA	NEI	NEI	

Bergnebb

Bergnebb var aktive i alle lys som ble presentert for dem både når lyset ble slått på etter en mørkeperiode og når det ble slått på før det ble mørkt som en forlengelse av dagen.

Oppsummering adferd bergnebb til lys av ulik farge:

Grønn: Svømmer mye, og mest langs nota, litt pelagisk ved høye lysintensiteter. Interessert i fôret, men spiser ikke.

Fiolett: Lite aktivitet på de lave intensitetene. Høyeste intensitet av fiolett ga ca. samme aktivitetsnivå som 25% intensitet av grønn. Et par fisk svømte i retning av fôret.

Rødt: Rastløse og aktiv selv på lave intensiteter, men går ikke mot agnet før 50 % av maks lysintensitet. Spiser ikke på agnet. Ved høyeste lysintensitet ser det ut som om de napper på notveggen.

Blått: Noe aktivitet selv på lave lysintensiteter. Svømmer rolig rundt, virker ikke stresset, spiser ikke.

Grønnlyt

Grønnlyt reagerte bare på blått lys, og for de andre fargene ble lite/ingen aktivitet observert. Det samme resultatet fikk vi når lyset var på som en forlengelse av dagen.

Oppsummering adferd grønnlyt til lys av ulik farge:

Grønn: Ingen aktivitet.

Rødt: Ingen aktivitet.

Blå: Ingen aktivitet på de to laveste lysintensitetene (12.5 og 25 % av maks lysintensitet). Aktivitet fra 50 % av maks lysintensitet, svømmer rolig, svømmer forbi agnet uten å spise, mange snuser på agnet når agnet blir tatt ut av agnposen.

Fiolett: To fisker hadde noe bevegelse nær bunnen.

Berggylt

Oppdrettet berggylt reagerte ikke på noen av fargene, dvs. ingen aktivitet ble observert for noen av fargene som ble presentert for dem.

Oppsummering adferd oppdrettet berggylt til lys av ulik farge

Ingen aktivitet for noen av fargene.

De villfangede berggyltene var aktive ved alle fargene som ble presentert, men i rødt lys observerte vi aggressiv adferd. Når berggylter var nær posen med reker bet de etter hverandre når de berørte hverandre. Observasjoner under fiolett lys var svært begrenset da det var vanskelig å skille fisk fra omgivelsene på 2 meters dyp.

Oppsummering adferd vill berggylt til lys av ulik farge

Blått: Aktivitet, interesse for fôret.

Grønt: Mer aktivitet enn ved blått, spiste av fôret.

Rødt: Svømte langs bunn, kom også bort der fôret hang. Aggressive og biter mot hverandre.

Fiolett: Vanskelig å observere. En fisk svømte oppe langs kanten, ellers så vi lite.

Rognkjeks

Rognkjeksen endret adferd etter hvilke farger som ble presentert. Det var tydelig at de ikke så noe særlig i rødt lys, de kolliderte med hverandre og veggene. At de ikke ser rødt stemmer godt med målingene av pigmentene de har i øyet. Det ble ikke funnet pigmenter som absorberer rødt lys. I grønt lys var rognkjeksen veldig aktive og svømte uavbrutt rundt i karet. I blått lys var de også aktive, men de svømte mye roligere enn når de var i grønt lys. I fiolett lys hadde de ofte en merkelig adferd der de svømte skrått langs bunnen med undersiden av hodet helt nede på karbunnen. Det ser ut som om de ønsker å svømme nedover, og det er trolig hva de ville ha gjort dersom de kunne.

Oppsummering adferd rognkjeks til lys av ulik farge

Rødt: Kolliderte med vegger.

Grønt: Svømte mye:

Fiolett: Svømte skrått langs bunnen med hodet ned.

Blått: Svømte rolig rundt.

Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall

De to merdforsøkene ble gjennomført vinteren 2015-16 og vinteren 16-17. Disse refereres til som henholdsvis merdforsøk 1 og merdforsøk 2.

Lusetall

Merdforsøk 1

Ved oppstart av forsøket ble laksen naturlig infisert med lus. Kun de minste stadiene av lus var til stede i starten av forsøket. I 2015 ble rognkjeks tilsatt fire uker etter bergnebb og berggylt og lusetellingene fortsatte derfor fire uker etter for rognkjeks (**Figur 7**). Forsøksstart (tilsatt renseskjeks) er indikert med vertikale sorte linjer i **Figur 13**. Det overordnede mønsteret sammenfalt i stor grad for de ulike artene, med en topp av fastsittende lus etter tre uker, mens bevegelige lus var høyest fra uke 4 til 6 (**Figur 11-13**). Voksne hunnlus steg jevnt fra uke 4. Lysbehandlingen hadde noe effekt på bevegelige og voksne hunnlus i merdene med bergnebb (**Figur 12**), under følger en detaljert beskrivelse av mønstrene for de ulike artene:

Berggylte: Det var signifikant færre fastsittende lus i lysbehandlingen i uke 5 og 6, og færre bevegelige lus i uke 6 (**Figur 11**). Det var mindre effekt på voksne hunnlus, hvor lysbehandlingen hadde høyere antall i uke 6.

Bergnebb: Det var det ingen framtrødende mønster for fastsittende lus: høyere antall i lysbehandling i uke 3, mens lavere i uke 7 (**Figur 12**). Antallet bevegelige lus var lavere i lysbehandlingen i 4 av ukene. På voksne hunnlus var det en trend til lavere antall i lysbehandlingen utover forsøket, men forskjellene var kun signifikante i uke 8.

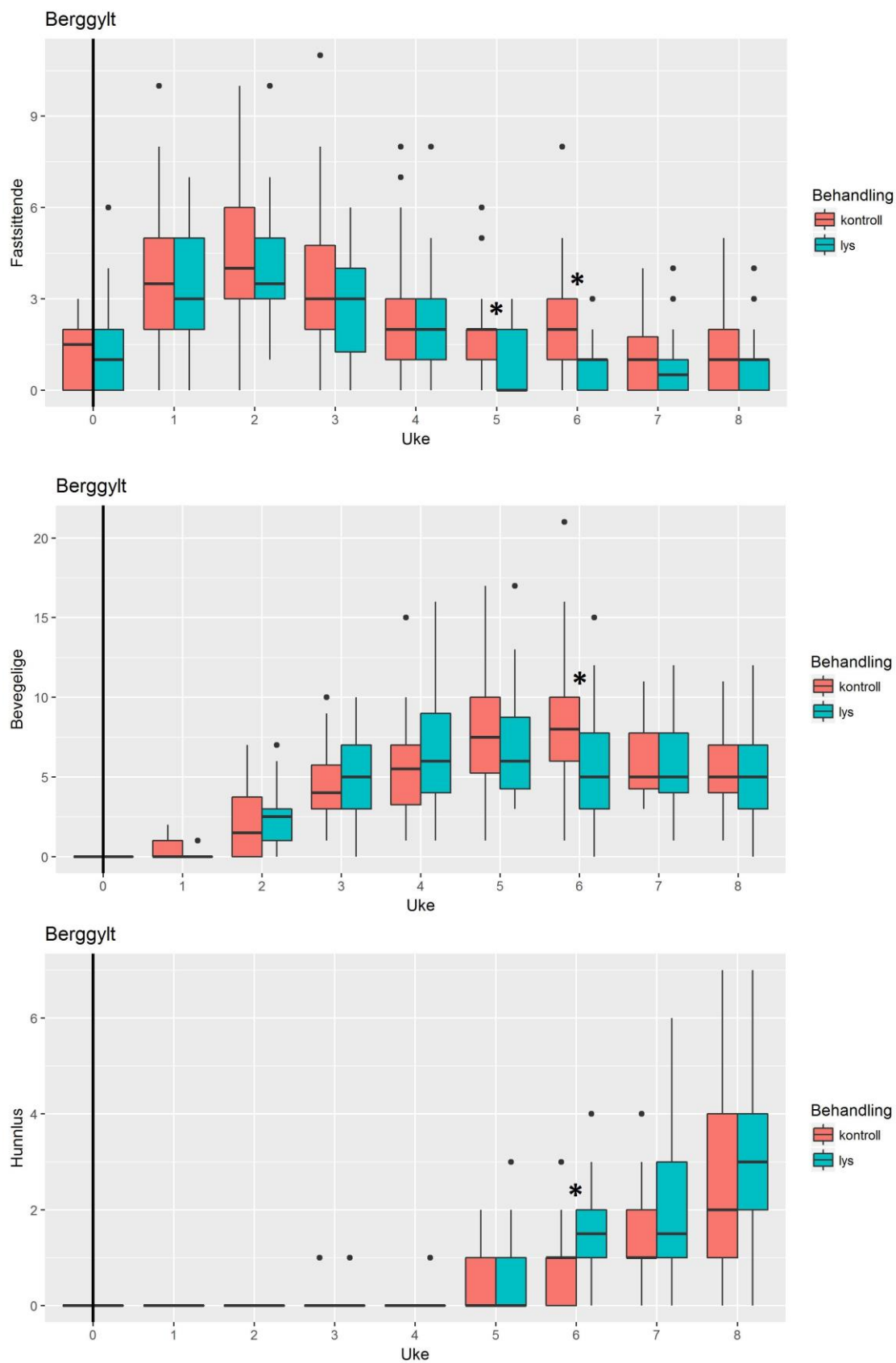
Rognkjeks: Rognkjeks hadde lavere antall av både fastsittende og bevegelige lus i lysbehandlingen i tre av åtte uker (**Figur 13**). Det var i midlertidig ingen forskjeller på voksne hunnlus.

Merdforsøk 2

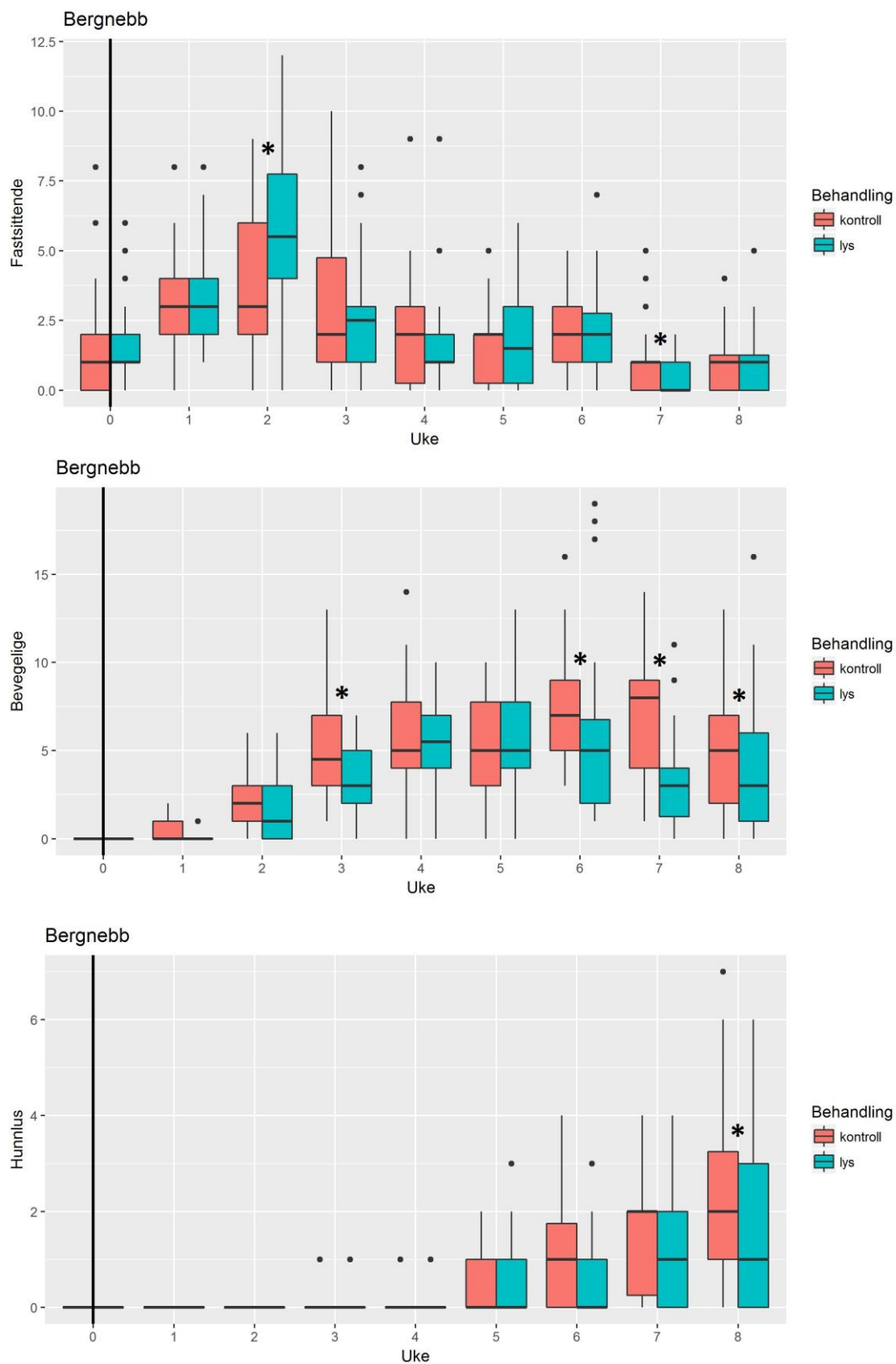
Ved oppstart av forsøket ble laksen naturlig infisert med lus. Alle stadier av lus var til stede ved starten av forsøket. Det ble det foretatt lusetelling hver andre uke. Det var ingen tilsvarende faseforskjell i toppene av de ulike lusestadiene slik vi observerte i 2015. Lusepåslaget var også generelt mye kraftigere enn i 2015. Forskjellene på de ulike behandlingene var generelt sett mindre enn for 2015 – og merdene med lys hadde i hovedsak mer bevegelige og voksne hunnlus enn kontrollmerdene (**Figur 14-15**):

Bergnebb: Merdene med lysbehandling hadde lavere antall fastsittende lus i uke 8 (**Figur 14**). For bevegelige og voksne hunnlus var antallet *høyere* i lysbehandlingen i de fleste av ukene.

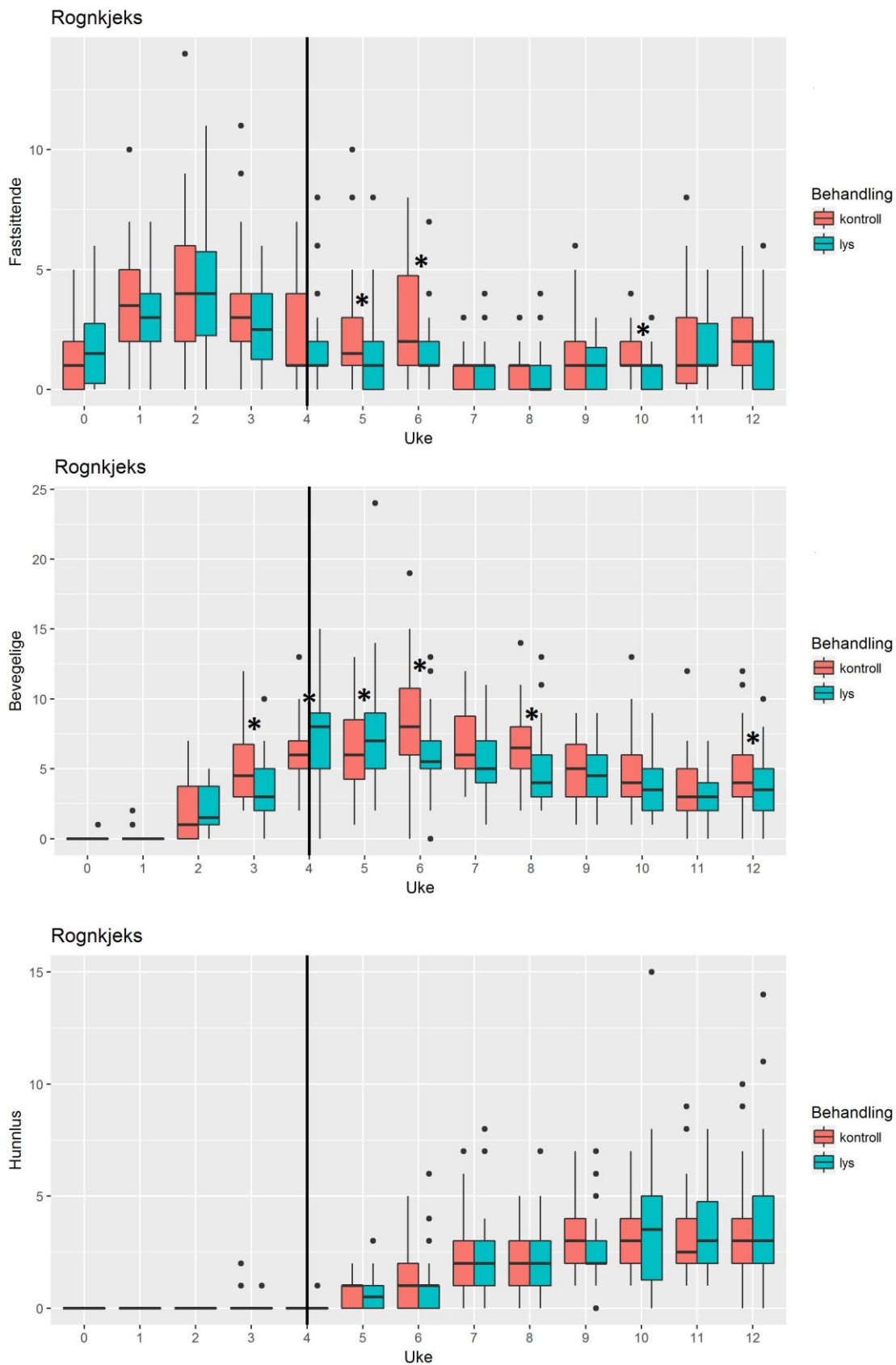
Grønngylt: Trendene var i hovedtrekk lik som for bergnebb (**Figur 15**). Lavere antall fastsittende lus i lysbehandlingen (3 av 4 uker), mens antall bevegelige og voksne hunnlus var noe høyere i lysbehandlingen (2 av 4 uker for begge lusestadiene).



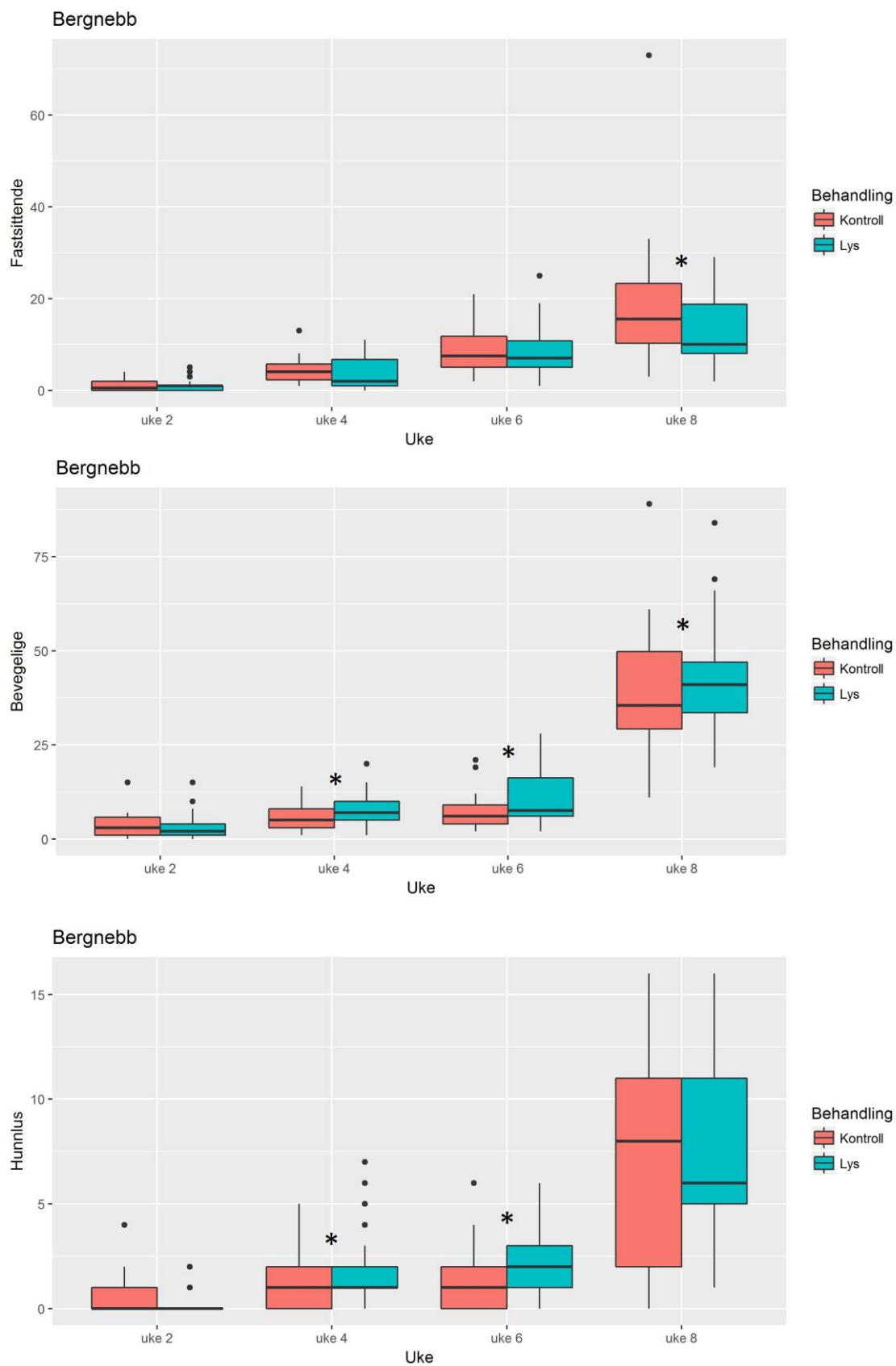
Figur 11: Antall lus vist som boxplots for berggyt i merdforsøk 1 (2015 -2016). Signifikante forskjeller mellom lys og kontroll er markert med stjerne (*) i de aktuelle ukene. Vertikal linje indikerer når rensefisk ble tilsatt.



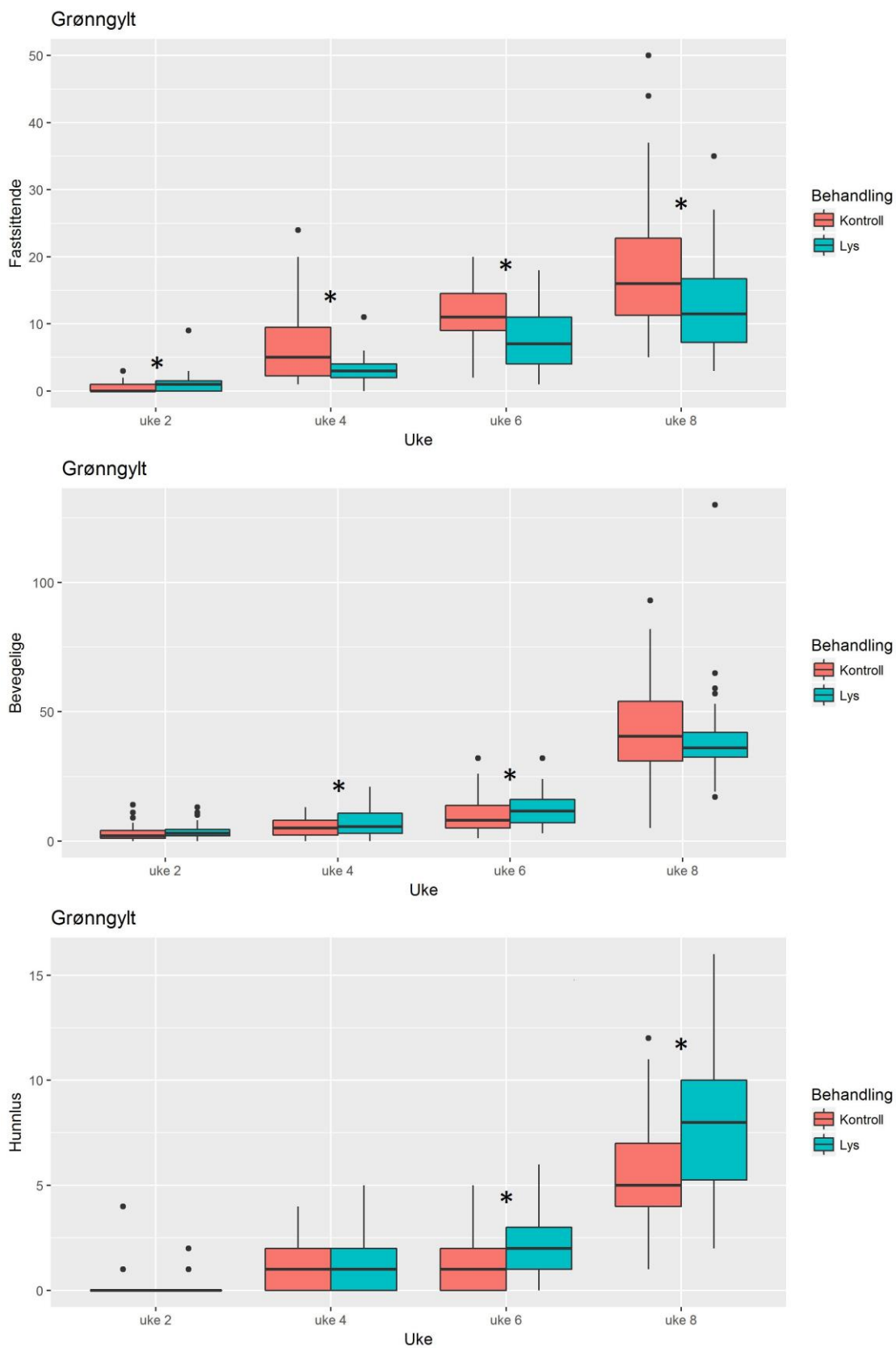
Figur 12: Antall lus vist som boxplots for bergnebb i merdforsøk 1 (2015-2016). Signifikante forskjeller mellom lys og kontroll er markert med stjerne (*) i de aktuelle ukene. Vertikal linje indikerer når rensefisk ble tilsatt.



Figur 13: Antall lus vist som boxplots for rognkjeks i merdforsøk 1 (2015 – 2016). Signifikante forskjeller mellom lys og kontroll er markert med stjerne (*) i de aktuelle ukene. Vertikal linje indikerer når rensefisk ble tilsatt.



Figur 14: Antall lus vist som boxplots for bergnebb i merdforsøk 2 (2016-2017). Signifikante forskjeller mellom lys og kontroll er markert med stjerne (*) i de aktuelle ukene. Vertikal linje indikerer når rensefisk ble tilsatt.



Figur 15: Antall lus vist som boxplots for grønngylt i merdforsøk 2 (2016-2017). Signifikante forskjeller mellom lys og kontroll er markert med stjerne (*) i de aktuelle ukene. Vertikal linje indikerer når rensefisk ble tilsatt.

Vektendringer

Individuelle vektendringer fra forsøksstart til slutt ble regnet ut. Det var store artsforskjeller som er visualisert i **figur 16 og 17** og oppsummert under:

Merdforsøk 1 (2015-2016)

Berggyllt (n=125) hadde all hovedsak reduksjon i vekt over forsøksperioden. Gjennomsnittlig prosentvis vektendring var -7.3 % i lysbehandlingen og -7.6 % i kontrollbehandlingen. Det var ingen signifikante forskjeller mellom behandlingene. Vektnedgangen økte med startvekt ($p < 0.001$).

Bergnebb (n=99) viste i hovedsak en liten vektøkning. Et mindretall hadde vektnedgang. Gjennomsnittlig prosentvis vektendring var +3.2 % i lysbehandlingen og +5.4 % i kontrollbehandlingen, en forskjell som var statistisk signifikant ($p = 0.03$) og uavhengig av startvekt ($p = 0.8$).

Rognkjeks (n=145) hadde alle markante vektøkninger, i gjennomsnitt +224 % i lysbehandlingen og +196 % i kontrollbehandlingen (signifikant, $p = 0.005$). Vektøkningen økte med startvekt ($p = 0.01$).

Merdforsøk 2 (2016-2017)

Bergnebb (n=136) viste i en lavere vektøkning enn i 2015, gjennomsnittlig +1.0 % i lysbehandlingen og +2.7 % i kontrollbehandlingen, men denne forskjellen var ikke statistisk signifikant ($p = 0.33$). Vektøkningen avtok med startvekt ($p < 0.001$), noe som ikke var tilfellet i 2015.

Grønngyllt hadde et begrenset datagrunnlag (n=17) og ingen tydelige trender med relativt små individuelle vekt endringer (gjennomsnitt -0.1 % i lys og -1.2 % i kontroll).

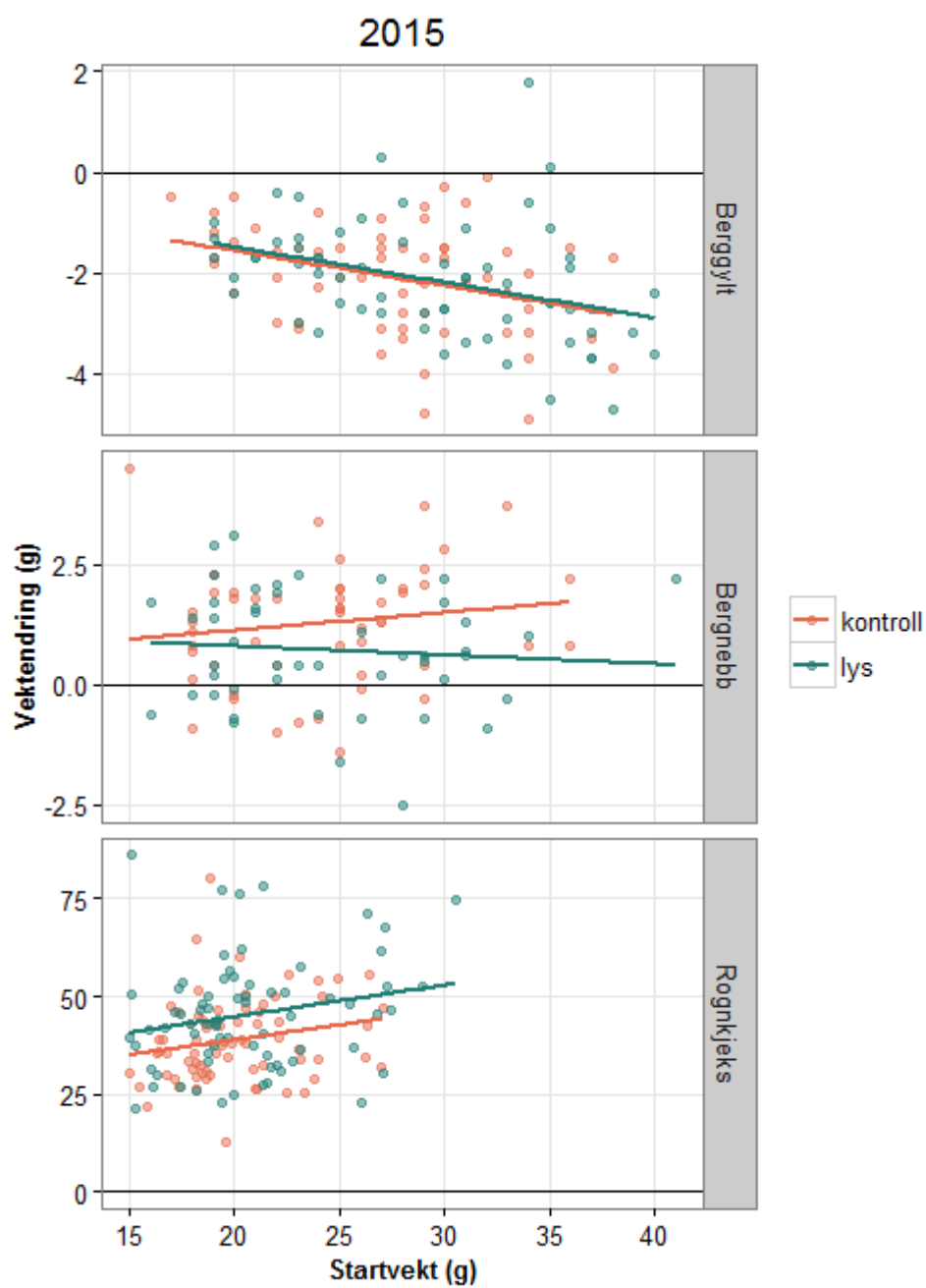
Overlevelse

Merdforsøk 1 (2015-2016)

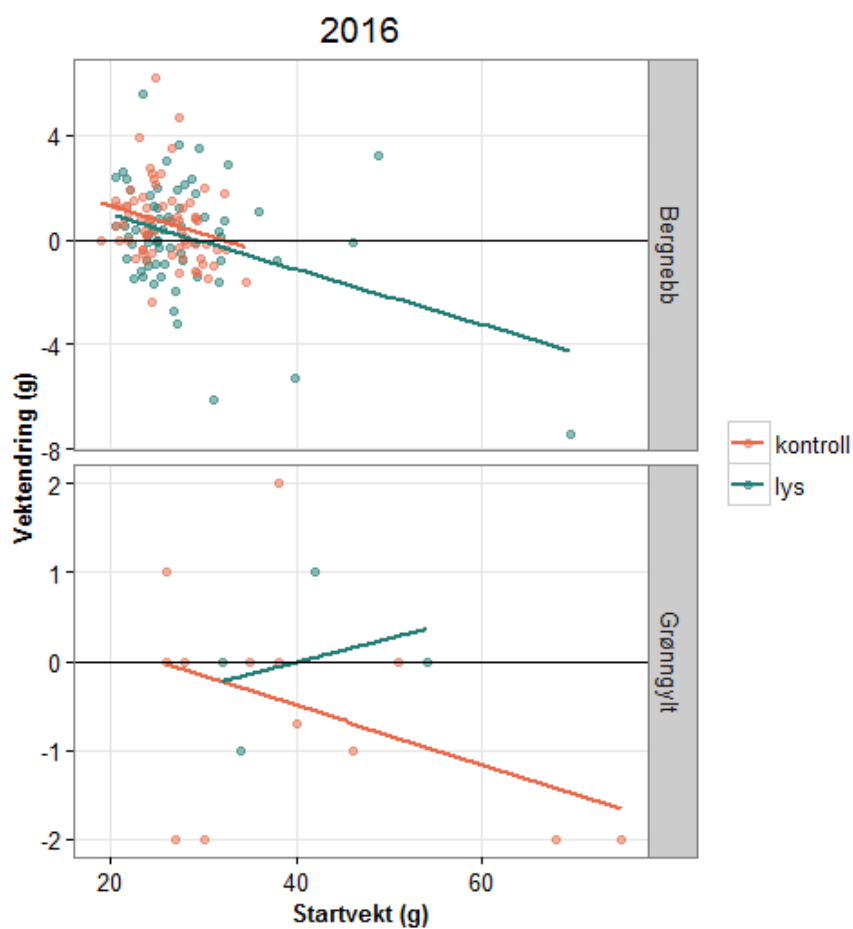
Ingen av artene viste signifikante forskjeller mellom behandlingene. Rognkjeks hadde høy overlevelse uavhengig av startvekt (**Figur 18, Tabell 4**). Berggyllt og bergnebb hadde et sammenfallende mønster, og overlevelse steg med økende startvekt for begge arter (berggyllt: $p = 0.01$; bergnebb: $p = 0.02$; **Figur 18, Tabell 4**).

Merdforsøk 2 2016-2017)

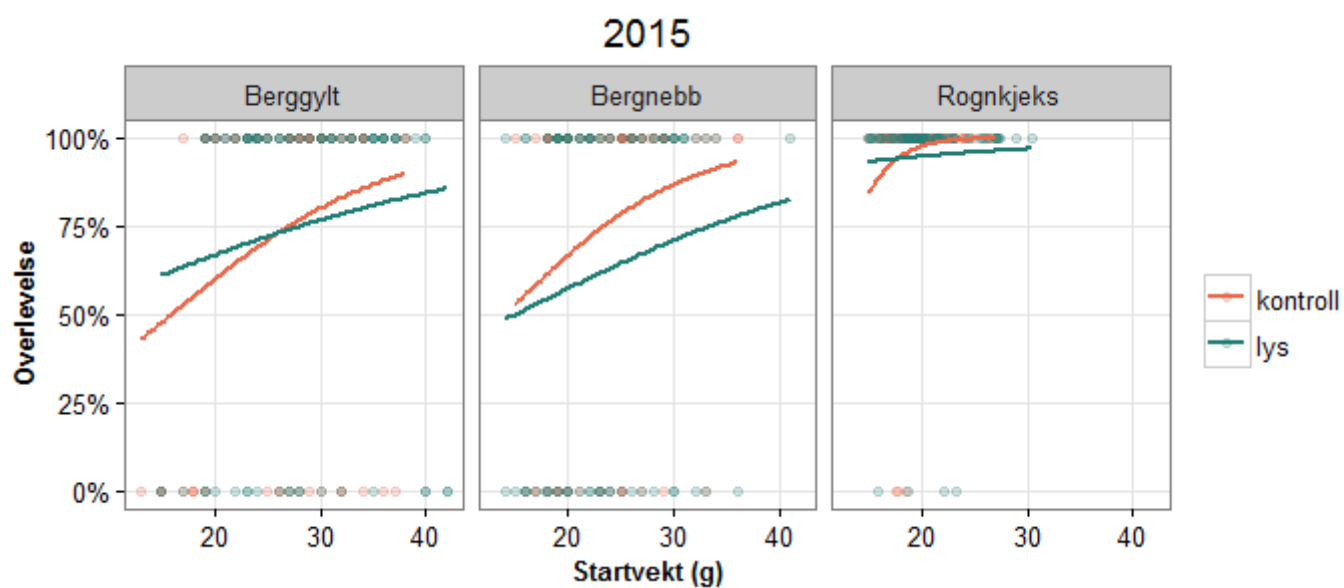
Bergnebb hadde et liknende overlevelsesmønster som i 2015, men startvekt hadde ikke en signifikant effekt ($p = 0.09$ **Figur 19, Tabell 5**). Grønngyllt hadde markant lavere overlevelse og her var også dødeligheten større i lysbehandlingen ($p = 0.004$; **Figur 19, Tabell 5**).



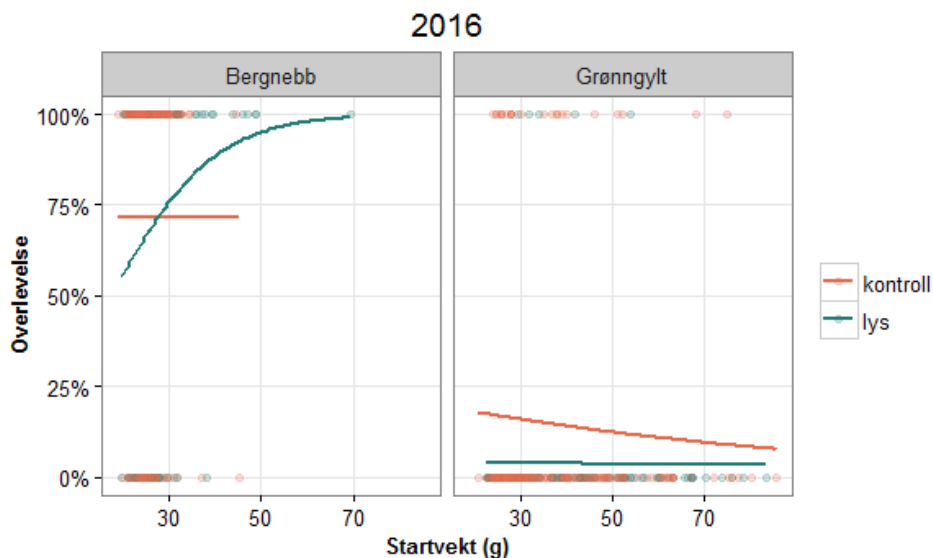
Figur 16: Vektendringer i merdforsøk 1 (2015-2016) med lineære regresjonslinjer for de to behandlingene (lys og kontroll).



Figur 17: Vektendringer i merdforsøk 2 (2016-2017) med lineære regresjonslinjer for de to behandlingene (lys og kontroll).



Figur 18: Overlevelsessannsynlighet som en funksjon av startvekt for de to behandlingene i merdforsøk 1 (2015-2016), estimert ved logistisk regresjon.



Figur 19: Overlevelsessansynlighet som en funksjon av startvekt for de to behandlingene i merdforsøk 2 (2016-2017), estimert ved logistisk regresjon.

Tabell 4: Oversikt over antall fisk, døde og prosentvis overlevelse for de ulike artene i merdforsøk 1 (2015-2016).

Art	Behandling	Replikat	Antall fisk	Totalt n døde (svinn)	Overlevelse %
Berggylt	kontroll	1	30	7(1)	77
		2	26	10(8)	62
		3	26	5(2)	81
	lys	1	27	6(4)	78
		2	29	4(0)	86
		3	32	12(3)	63
Totalt			88	22	75
Bergnebb	kontroll	1	28	7(0)	75
		2	24	5(2)	79
		3	29	9(1)	69
	lys	1	25	8(3)	68
		2	30	12(3)	60
		3	28	11(2)	61
Totalt			83	31	63
Rognkjeks	kontroll	1	25	0(0)	100
		2	25	0(0)	100
		3	26	3(2)	88
	lys	1	25	2(2)	92
		2	26	1(0)	96
		3	25	1(0)	96
Totalt			76	4	95

Tabell 5: Oversikt over antall fisk, døde og prosentvis overlevelse for de ulike artene i merdforsøk 2 (2016-2017).

Art	Behandling	Replikat	Antall fisk	Totalt n døde (svinn)	Overlevelse %	
Grønngylt	kontroll	1	49	41(12)	16	
		2	61	54(14)	11	
		3	43	35(18)	19	
				153	130	15
	lys	1	52	48(18)	8	
		2	37	37(29)	0	
3		44	43(25)	2		
Totalt			133	128	4	
Bergnebb	kontroll	1	38	12(7)	68	
		2	33	8(4)	76	
		3	37	10(1)	73	
				108	30	72
	lys	1	37	10(4)	73	
		2	40	13(4)	68	
3		36	10(4)	72		
Totalt			113	33	71	

Mageinnhold

Mageinnhold på rensefisk ble undersøkt ved avslutning av merdforsøk (Figur 20). Hver fisk ble dissekert, og mageinnhold klassifisert (**Tabell 6**).

Tabell 6: Oppsummering av analyser av mageinnhold i merdforsøk 1 (2015-2016) og 2 (2016-2017).

År	Behandling	Art	n	Mageinnhold (prosent)						
				Tom	Lakselus	Fôrpellet	Andre krepsdyr	Manet	Annet	Udefinert
2015/ 2016	kontroll	Berggylt	30	77	3	0	3	0	7	13
		Bergnebb	30	27	13	20	30	0	7	20
	lys	Rognkjeks	30	0	3	77	0	10	0	60
		Berggylt	30	80	3	0	7	0	3	7
		Bergnebb	31	26	3	35	39	0	0	13
		Rognkjeks	30	3	0	80	0	0	0	27
2016/ 2017	kontroll	Bergnebb	77	78	4	3	14	0	1	0
		Grønnngylt	23	87	4	0	9	0	0	0
	lys	Bergnebb	80	59	1	9	24	0	8	0
		Grønnngylt	5	80	0	0	20	0	0	0



Figur 20: Undersøkelse av mageinnhold på rensefisk.

Filming – adferdsobservasjoner

Merdforsøk 1 (2015-2016)

Det ble filmet på 8 datoer i forsøksperioden. I **tabell 7** vises hvilke dager de ulike behandlinger ble filmet, og med adferd kategorisert som passiv, moderat og aktiv.

Tabell 7: Filming av rensefisk i merdforsøk 1. Bergnebb (BN), berggylte (BG) og rognkjeks (RK) ble filmet i kontrollmerder og merder med lys. Ruter med skrå strek indikerer at det ikke ble filmet denne datoen. Merder med kryss indikerer at forsøket ikke er startet (for RK) eller at det er avsluttet (BN og BG). Tallen i parentes i ukekolonnen er antall uker rognkjeks har vært i forsøk.

Dato	Uke	Kontroll			Lys		
		BN	BG	RK	BN	BG	RK
7. januar	3	Aktiv	Passiv		Aktiv	Aktiv	
15. januar	4(0)	Moderat	Aktiv				
20. januar	5 (1)	Aktiv	Passiv	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
27. januar	6 (2)	Passiv	Aktiv	Passiv			
3. februar	7 (3)				Aktiv	Moderat	Aktiv
12. februar	(4)						Aktiv
25. februar	(6)			Aktiv			
9. mars	(8)						Aktiv

Bergnebb

Bergnebb ble observert utelukkende i nedre del av merden, og da som oftest i tilknytning til skjulet (**Figur 21**). De svømmer mye inn og ut av skjulet, og beveger seg et stykke langs notveggen på siden eller langs bunn. Ofte mye aktivitet i hjørnet bak skjulet. Det ble ved flere anledninger observert bergnebb i området ved dødfiskhåven. På alle datoene aktiviteten på bergnebb ble kategorisert som aktiv i lys, ble den det samme i kontroll. Når det var lite eller ingen aktivitet i kontroll ble det dessverre ikke filmet i merder med lys. Det ble aldri observert interaksjoner med laksen.

Berggylte

Berggylte ble observert på alle dyp i merden, og gjerne borte fra skjulet (andre siden av merden; **Figur 22**). De svømmer inn og ut av skjulet, og går mye på notveggen og i hjørner i hele merden. Mot slutten av forsøksperioden var det mindre berggylte i øvre del av merden. Det ble observert mer aktiv berggylte i merder med lys, også på dager det ble filmet samtidig i disse. Ved en anledning ble det filmet da lyset ble satt på om morgenen, da tok det ca 45 min før berggyltene kom fra skjulet. Ved en anledning ble det observert langvarig interaksjon med laks da en berggylte var ute og svømte blant laksen mens den tydelig inispiserte flere laks. Det var også et tilfelle av lusespising.

Rognkjeks

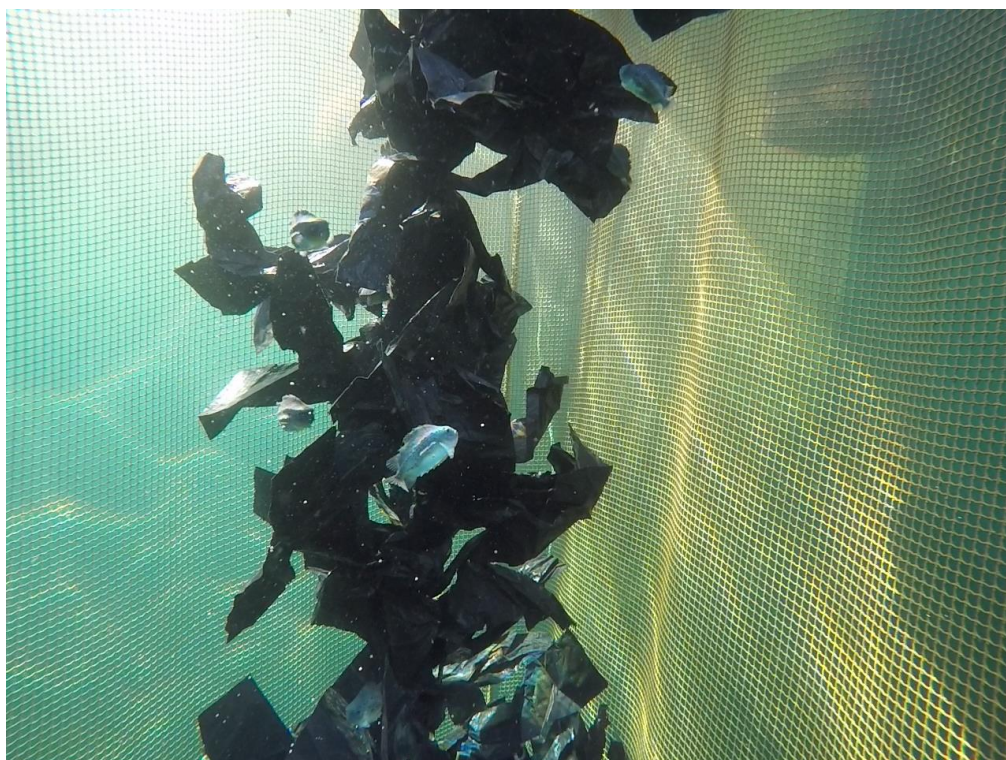
Rognkjeks ble observert på alle dyp i merden, både i skjul og på notvegg (**Figur 23**). Til tider stor aktivitet, der fisken svømmer ut av skjulet med stor fart. I perioder med fôring viser rognkjeks stor interesse for fôret. Ser ofte fisk som hviler inni skjulet i lange perioder. Det kan se ut som at det er mer aktivitet i merdene med lys. Det ble aldri observert interaksjoner med laksen.



Figur 21: Aktiv bergnebb (indikert med ringer) i nedre del av skjul i merd med lys - 7. januar 2016.



Figur 22: To aktive berggytler (indikert med ringer) i nedre del av skjul, 27. januar 2016.



Figur 23: Rognkjeks i kontrollmerd, 25. februar 2016.

Merdforsøk 2 (2016-2017)

Det ble filmet på 4 datoer i forsøksperioden. I **tabell 8** vises hvilke dager de ulike behandlinger ble filmet, og med adferd kategorisert som passiv, moderat og aktiv.

Tabell 8: Filming av rensefisk i merdforsøk 2 (2016-2017). Bergnebb (BN), grønnngylt (GG) ble filmet i kontrollmerder og merder med lys. Ruter med skrå strek indikerer at det ikke ble filmet denne datoen.

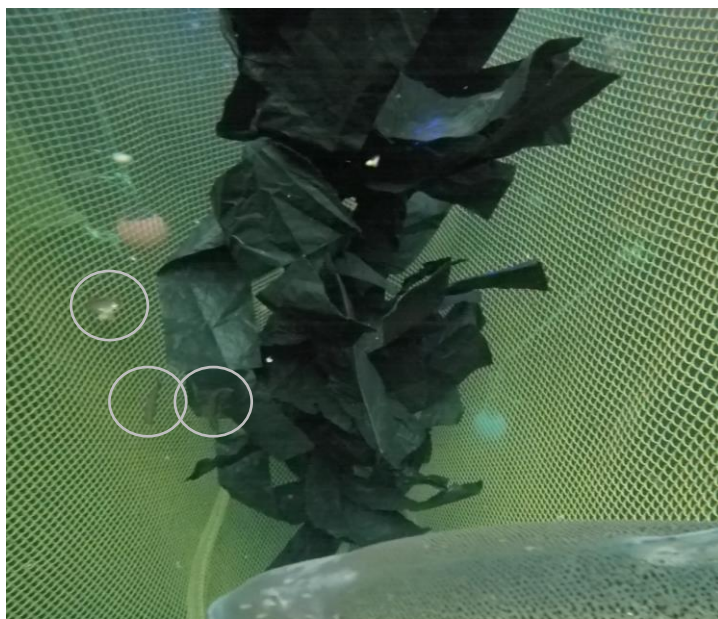
Dato	Uke	Kontroll		Lys	
		BN	GG	BN	GG
23. november	1	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
7. desember	3	Aktiv	Aktiv	\	Aktiv
20. desember	5	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Moderat
3. januar	7	\	Moderat	Aktiv	\

Bergnebb

Bergnebb ble observert kun i nedre del av nota, og da som oftest veldig nær skjulet (**Figur 24**). De svømmer ut og inn av skjul og beveger seg langs notvegg, og oppholder seg mye i hjørnet bak skjulet. De er gjerne 4-5 individer sammen i «stim». En bergnebb som spiste fôr ble observert. Ingen interaksjoner med laks ble observert. Det var ingen forskjell på aktivitetsnivå mellom bergnebb i kontroll merder og lysmerder.

Grønnngylt

Grønnngylt observeres både i øvre og nedre del av skjulet (**Figur 25**). De svømmer langs notveggen i hele merden, men oftest i nærheten av skjulet. Fisk svømmer ut og inn av skjul og beveger seg langs notvegg, gjerne flere i «stim». Mot slutten av forsøksperioden går aktiviteten ned, og det observeres kun grønnngylt i nedre del av skjul, og i hjørnet bak skjul.



Figur 24: Tre aktive bergnebb (indikert med ringer) bak nedre del av skjul, 3. januar 2017.



Figur 25: Tre aktive grønngylt (indikert med ring) i øvre del av skjul, 23. november 2016.

Diskusjon

Del 1: Lysspektersensitivitet og kontrastpotensiale for fire rensfiskarter

Det ble avdekket en del artsforskjeller i absorpsjonsmaksima og kontrastpotensiale. Dette reflekterer de ulike artenes tilpasning til lysforholdene i deres naturlige habitat. Bergnebbens syn var tilpasset lyskvaliteter man vanligvis finner på dypere vann enn berggyllt og grønngyllt, noe som samsvarer med at bergnebb ofte observeres på større dyp enn de andre artene. Ellers viste forsøket at blått lys vil være et godt kompromiss for alle fire artene for å gi maksimalt kontrastpotensiale. Samlet er dette viktig bakgrunnskunnskap for å tilpasse belysningen for rensfisk i oppdrett.

Del 2: Adferd og lys

Observasjonene viste at lysets farge gir ulik adferd for de forskjellige artene. Blått lys gav et rolig aktivitetsmønster som ligner mer på det vi ser når de er i naturlige omgivelser, og ble derfor vurdert som best tilpasset en oppdrettssituasjon. Ved grønt lys hadde bergnebb og rognkjeks en urolig adferd med rask svømming uten at vi har en forklaring på hvorfor. Ved rødt lys fikk vi noe respons på flere arter til tross for at dette er en del av lysspekteret de ikke har pigmenter til å oppfatte. Dersom lyset blir reflektert fra flater/objekter kan dette endre fargen på lyset slik at det kan oppfattes selv om en ikke i utgangspunktet er sensitiv for den fargen som ble gitt, her rødt. Adferden ved rødt lys var imidlertid ikke normal som i vanlig lys, da rognkjeks kolliderte med hverandre og vegger, bergnebb svømte tett på og nappet i notveggen, mens noen berggylter viste aggressiv adferd mot hverandre når de kom bort i hverandre. I dette forsøket var det en del store berggyllt og det var de større berggylltene som ble observert å bite. Oppdrettede berggylter reagerte ikke på noen av fargene som ble presentert. Det å komme fra et karmiljø uten skjul med kontinuerlig lys til et merdmiljø med døgnvariasjon og manipulering med lyskvaliteten kan påvirke hvordan de responderer på stimuli.

I del 1 og 2 av dette prosjektet ble rensfiskenes oppfattelse og adferdsrespons til lys av ulik farge og intensitet kartlagt. Disse forsøkene indikerte at blålig lys ville gi oppfattes bra og gi et godt kontrastpotensiale for de ulike artene rensfisk. Denne lyskvaliteten ble videre brukt i merdforsøk hvor formålet var å undersøke om forlengelse av dagen med kunstig lys øker effekten av rensfisk som lusespisere (del 3).

Del 3: Effekt av kunstig lys på lusetall

Det var indikasjoner på at kunstig lys hadde en viss positiv effekt på mengden lus bevegelige lus i 2015. I noen av ukene var også tallene for fastsittende lus lavere i merdene med lys for berggyllt og rognkjeks. Det forventes ikke at rensfisk kan detektere og beite på de minste lusestadiene, så om effekten på fastsittende lus representerer en økt beiting av rensfisk er usannsynlig. Det lite som tydet på at lys hadde virkning på antallet voksne hunnlus.

I 2016 ble kun villfanget bergnebb og grønngylt undersøkt. Forsøket ble preget av et kraftig lusepåslag, og lusetallene økte veldig i både kontroll og lysmerdene. Forskjellene var generelt sett mindre enn i 2015, men for bevegelige lus og voksne hunnlus var det en indikasjon på noe høyere antall i merdene med lys.

Det var noen forskjeller på materialet i de to merdforsøkene som gjør at det er vanskelig å sammenligne resultatene direkte. I 2015 startet forsøket med smolt direkte fra produsent, altså liten laks. Året etter ble laks fra samme gruppe brukt til merdforsøk 2, altså adskillig større laks. I tillegg var det et uvanlig sterkt påslag av lus i midten av forsøksperioden på merdforsøk 2.

I disse forsøkene er det ikke brukt kontroller uten rensefisk. Vi antar at rensefisken spiser lus både i kontrollmerder og i merder med tilleggslys, men spesielt i merdforsøk 2 ble nivået av lus altfor høyt på slutten av forsøket. I utgangspunktet er det ikke ønskelig å bruke kontroller uten rensefisk i såpass langvarige forsøk (da det er stor sannsynlighet for at en må avluse med andre metoder i forsøksperioden), men vi ser i etterkant at det likevel hadde vært nyttig for disse forsøkene.

Det var store forskjeller mellom rensefiskartene med tanke på vektendringer i løpet av forsøksperioden. Rognkjeksen vokste svært bra, noe som kan forklares med en mindre kresen diett og det at den er naturlig aktiv i vinterhalvåret. Mageanalysene viste at mellom 77 og 80 % av rognkjeksen hadde rester av pellet i magen.

Leppefisk er varmekjære arter som har et lavere aktivitetsnivå ved lave temperaturer og kan innta en dvalelignende tilstand på vinteren i våre farvann (Darwall *et al.* 1992; Sayer *et al.* 1994). En kan derfor forvente lavere aktivitetsnivå og mindre interesse for fôr hos leppefisk. Leppefisk er kjent for å være kresne på formulert fôr, noe som kan ha innvirkning på vektutvikling. Personlige erfaringer er at bergnebb er noe mindre kresen enn berggylt. Bare bergnebb hadde et nevneverdig innslag av pellet (maks 35 %) i dietten. Bergnebb hadde også det høyeste observerte andel med lakselus i mageinnholdet (13 % i kontrollbehandling 2015), og var den eneste av leppefiskene som hadde i hovedsak en positiv vektendring. Berggylten gikk stort sett betydelig ned i vekt, og dette reflekteres i mageundersøkelsene hvor majoriteten var tomme. Grønngylten hadde så lav overlevelse at stress eller sykdom antageligvis hadde en sterk innvirkning på spiseaktiviteten og annen aktivitet. De andre leppefiskene, bergnebb og berggylt hadde en relativ høy overlevelse sammenliknet med grønngylt. Disse artsforskjellene speiler det som ofte oppdrettere rapporterer utover høsten. Grønngylt er muligens generelt mer sårbar for stresset som merdsituasjonen medfører og har også betraktelig kortere naturlig livslengde (Darwall *et al.* 1992; Halvorsen *et al.* 2016). Et annet interessant funn var at overlevelsen økte med kroppsstørrelse for bergnebb og berggylt. I de fleste tilfeller var de ingen effekt av lys på overlevelse, men for bergnebb i 2015 var overlevelsen signifikant lavere i merdene med lys. Årsaken til dette er uviss, men vektøkningen var også lavere i merdene med lys, noe som kan tyde på at aktivitetsnivået energibruken økte med lys noe som kan påvirke kondisjonen negativt.

Anvendelse og nytteverdi

Prosjektet har resultert i ny basiskunnskap om synssansen og adferdsresponsen til lys for de viktigste renseskartene. I tillegg har vi fått ny innsikt i de ulike artenes kondisjonsutvikling, diett og overlevelse i den kalde årstiden. De tydelige forskjellene her er svært nyttig kunnskap i forhold til gjenbruk og overvintring av renseskart. Grønngylt viste seg å ha svært lav overlevelse og er derfor mindre egnet som renseskart på vinteren. De høye lusetallene i begge merdforsøkene uavhengig av art og lysbehandling tyder på at renseskart har en begrenset effekt i vinterhalvåret. For leppeskart skyldes nok dette at metabolisme, aktivitetsnivå og appetitt er sterkt redusert ved kalde vanntemperaturer, og at tilleggslis ikke var nok til å bøte på dette. Rognkjeks er mer tilpasset lave temperaturer, noe som gjenspeiler seg i god vekst og overlevelse, men klarte heller ikke å holde lusenivået på et akseptabelt nivå.

Det var indikasjoner på at kunstig lis gav en svak reduksjon av lusetallene. I lys av dette er det mulig at en kan oppnå en større effekt av tilleggslis tidligere på høsten da temperaturer og appetitten er høyere enn når disse forsøkene ble gjennomført. Bruk av denne typen lis på andre tidspunkt en vinter kan derimot ha ugunstig innvirkning på laksens modning. Prosjektet er et av flere tiltak som søker å optimalisere renseskartens miljø og forhold i oppdrettsmerden. Å forbedre dette er avgjørende for å kunne øke effektivitet, dyrevelferd og lønnsomhet ved bruk av renseskart. I så måte er prosjektet en brikke i FHF's visjon om bærekraftig og lønnsom sjømatnæring i vekst.

Referanser

- Darwall, W.R.T., Costello, M.J., Donnelly, R. and Lysaght, S. (1992) Implications of life-history strategies for a new wrasse fishery. *Journal of Fish Biology* 41, 111–123.
- Gerkema, M.P., Videler, J.J., de Wiljes, J., van Lavieren, H., Gerritsen, H., Karel, M. (2000). Photic entrainment of circadian activity patterns in the tropical labrid fish *Halichoeres chrysus* Chronobiol. Int., 17, pp. 613–622.
- Halvorsen, K.T., Sørvalen, T.K., Durif, C., et al. (2016) Male-biased sexual size dimorphism in the nest building corkwing wrasse (*Symphodus melops*): implications for a size regulated fishery. *ICES Journal of Marine Science*, fsw135.
- Hansen, T., Stefansson, S.O., Taranger, G.L. (1992). Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. *Aquacult. Fish. Manage.* 23, 275–280.
- Helfman, G.S. 2012. 14. Fish behaviour by day, night and twilight, pp.366-386. In: Pitcher, T.J. (ed), *The Behaviour of Teleost Fishes*..Springer 12.
- Leclercq, E., Migaud, H., Taylor, J.F., Hunter, D. (2010). The use of continuous light to suppress pre-harvest sexual maturation in sea-reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) can be reduced to a 4-month window. *Aquacult. Res.* 41, 709–714.

- Lekang,(2007). Aquacultural Engineering. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 315pp.
- Loew, E.R., A.B. Skiftesvik, R. Bjelland, H.I. Browman & C. Durif. 2016. Spectral sensitivity and contrast potentials for four species of cleaner fish. Institute of Marine Research Report No. 39-2016. 12 pp.
- Nishi, G. (1989). Locomotor activity rhythm in two wrasses, *Halichoeres tenuispinnis* and *Pteragogus flagellifera*, under various light conditions Jpn. J. Ichthyol., 36, pp. 350–356
- Nishi, G. (1990). Locomotor activity rhythm in four wrasse species under varying light conditions. Jpn. J. Ichthyol., 37, pp. 170–181.
- Nishi, G. (1991). The relationship between locomotor activity rhythm and burying behavior in the wrasse, *Suezichthys gracilis*. Jpn. J. Ichthyol., 37, pp. 402–409.
- Nishi, G. & H. Abe. (1990). Relationship between the habit of burying itself in sand and locomotor activity rhythm in the wrasse, *Halichoeres tenuispinnis*. J. Fac. Mar. Sci. Technol. Tokai Univ., 31, pp. 69–75.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. Aquaculture 311, 1–18.
- Oppedal, F., Taranger, G.L., Juell, J.E., Fosseidengen, E., Hansen, T. (1997). Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. Aquat. Living Resour. 10, 351–357.
- Oppedal, F., Berg, A., Olsen, R.E., Taranger, G.L., Hansen, T. (2006). Photoperiod in seawater influence seasonal growth and chemical composition in autumn sea-transferred Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given two vaccines. Aquaculture 254, 396–410. 13
- Porter, M.J.R., Duncan, N.J., Mitchell, D., Bromage, N.R. (1999). The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. Aquaculture 176, 237–244.
- Sayer, M., Cameron, K. and Wilkinson, G. (1994) Fish species found in the rocky sublittoral during winter months as revealed by the underwater application of the anaesthetic quinaldine. *Journal of Fish Biology* 44, 351–353.
- Taranger, G.L., Haux, C., Stefansson, S.O., Björnsson, B.Th., Walther, B.Th., Hansen, T. (1998). Abrupt changes in photoperiod affect age at maturity, timing of ovulation and plasma testosterone and oestradiol-17b profiles in Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture 162, 85–98.
- Villegas-Ríos, D., Alós, J., March, D., Palmer, M., Mucientes, G. and Saborido-Rey, F. (2013) Home range and diel behavior of the ballan wrasse, *Labrus bergylta*, determined by acoustic telemetry. *Journal of Sea Research* 80, 61–71.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A. and Smith, G.M. (2009) Mixed effects models and extensions in ecology with R. In: *Statistics*. pp 209–242.

