

# Betydning av tidspunkt og lengde av vintersignal i RAS for prestasjon i sjø ved utsett av stor postsmolt

Faglig sluttrapport



Illustrasjon: Nofima

Nofima er et ledende matforskningsinstitutt som driver med forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien. Vi leverer internasjonal anerkjent forskning og løsninger som gir næringslivet konkurransefortrinn langs hele verdikjeden.

«Bærekraftig mat til alle» er vår visjon.

### Kontaktinformasjon

Telefon: 77 62 90 00

post@nofima.no

www.nofima.no

NO 989 278 835 MVA



#### Hovedkontor Tromsø

Muninbakken 9–13

Postboks 6122

NO-9291 Tromsø



#### Stavanger

Måltidets hus

Richard Johnsensgate 4

Postboks 8034

NO-4068 Stavanger



#### Sunndalsøra

Sjølsengvegen 22

NO-6600 Sunndalsøra



#### Ås

Osloveien 1

Postboks 210

NO-1433 ÅS



#### Bergen

Kjerreidviken 16

Postboks 1425 Oasen

NO-5844 Bergen

## Rapport

<b>Rapportnummer:</b> 30/2023	<b>ISBN:</b> 978-82-8296-764-8	<b>ISSN:</b> 1890-579X
<b>Dato:</b> 1. desember 2023	<b>Antall sider + sider vedlegg:</b> 42 + 2	<b>Prosjektnummer:</b> 901682
<b>Tittel:</b> Betydning av tidspunkt og lengde av vintersignal i RAS for prestasjon i sjø ved utsett av stor smolt		
<b>Title:</b> Importance of timing and duration of winters signal In RAS for seawater performance in large smolt		
<b>Forfatter(e):</b> Trine Ytrestøyl <sup>1</sup> , Kirsti Hjelde <sup>1</sup> , Pradeep Lal <sup>2</sup> , Marius Takvam <sup>2</sup> , Neda Gilannejad <sup>2</sup> , Valentina Tronci <sup>2</sup> , Grete Bæverfjord <sup>1</sup> , Åsa Espmark <sup>1</sup> , Per Brunsvik <sup>1</sup> , Jelena Kolarevic <sup>3</sup> , Tom Ole Nilsen <sup>4</sup> , Naouel Gharbi <sup>2</sup> <sup>1</sup> Nofima, <sup>2</sup> NORCE, <sup>3</sup> UiT, <sup>4</sup> UiB		
<b>Avdeling:</b> Ernæring og fôrteknologi		
<b>Oppdragsgiver:</b> FHF		
<b>Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:</b> 901682		
<b>Stikkord:</b> Postsmolt, sjøvannsoverføring, vekst, velferd, kjønnsmodning		
<b>Sammendrag/anbefalinger:</b> Under kontrollerte forhold i kar var det en positiv effekt av et vintersignal kombinert med brakkvann i RAS på vekst etter overføring til sjøvann. Men et vintersignal ga også økt kjønnsmodning i hannfisk når fisken gikk lenge i RAS på kontinuerlig lys etter at vintersignalet var avsluttet. Kjønnsmodning ble redusert når fisken ble satt ut på lav sjøtemperatur. Resultatene fra utsett i sjømerder viste betydelig høyere dødelighet som følge av vintersår og lavere vekst i sjøfase hos stor smolt på henholdsvis 320 og 850 g satt ut i oktober og januar sammenlignet med fisk satt ut i september ved 160 g. Resultatene fra kar med sjøvann viste ikke store forskjeller i TGC mellom de ulike utsettene, og fisk overført på 320 g hadde høyest TGC i kar. Dødelighet i kar med sjøvann var lav, henholdsvis 0, 0,2 og 1,1 % for de tre utsettene. Forsøket i kar med sjøvann viste at den større smolten har et potensial for god vekst i sjøvann, men også høyere risiko for kjønnsmodning, særlig på høy temperatur i sjøfase. Årsaken til at den større smolten var mer sensitiv mot vintersår og hadde høyere dødelighet i merder i sjø enn mindre fisk som hadde gått lenger i sjø før utbruddet startet bør undersøkes nærmere.		
<b>English summary/recommendation:</b> Under controlled conditions in tanks, there was a positive effect of a winter signal combined with brackish water in RAS on growth after transfer to seawater. But a winter signal also led to increased sexual maturation in male fish when the fish is kept for a longer time in RAS on continuous light after the winter signal has ended. Maturation was reduced when the fish were transferred to low sea temperatures. The results from sea cages showed significantly higher mortality due to winter ulcers and also lower growth in seawater in large smolt of 320 and 850 g released in October and January compared to fish released in September at 160 g. The results from tanks with sea water showed no big differences in TGC between transfer sizes, and fish transferred at 320 g had the highest TGC in tanks. Mortality in tanks with seawater was low, respectively 0, 0.2 and 1.1 % for the three stocks. The experiment in tanks with seawater showed that the larger smolt has a potential for good growth in seawater, but also a higher risk of sexual maturation, especially at high temperatures in the sea phase. The reason why the larger smolt was more sensitive to winter ulcers and had a higher mortality in sea cages than smaller fish that had been longer in the sea before the outbreak started should be investigated in more detail.		

## Forord

Dette prosjektet har vært finansiert av FHF og CtrlAQUA SFI. CtrlAQUA har finansiert forsøket i RAS, mens FHF har dekket mesteparten av kostnadene knyttet til praktisk gjennomføring av sjøfasen til forsøket. Prøvetaking i sjøfasen og bearbeiding og analyser av data har vært finansiert av CtrlAQUA med industripartnere.

Produksjon av stor smolt er økende i Norge, men erfaringene blant oppdrettere er blandet. Det meldes om variabel prestasjon for den store smolten, uten at man vet sikkert hva som gjør at det går bra eller dårlig etter utsett. Det benyttes flere ulike produksjonsprotokoller i RAS, med tanke på hvilken fotoperiode og salinitet fisken går på før utsett i sjø, og det er usikkerhet om hva som er optimale betingelser i RAS for ulike størrelser av postsmolt. Det er gjort få kontrollerte forsøk for å teste ulike produksjonsprotokoller, særlig helt til slaktestørrelse, og dette prosjektet er et bidrag i arbeidet med å optimalisere produksjonen av stor postsmolt i RAS. Det er svært viktig å sikre god prestasjon etter utsett av en stor smolt for at en slik strategi skal være lønnsom ettersom kostnadene ved produksjon av en stor smolt er vesentlig høyere enn for en liten smolt.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Innledning</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Problemstilling og formål</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Prosjektgjennomføring</b>	<b>5</b>
4.1	Beskrivelse av forsøket	5
4.2	Registrering av velferd og kvalitet	8
4.2.1	Velferd	8
4.2.2	Deformiteter	8
4.2.3	Slaktekvalitet	8
4.2.4	Statistikk og beregninger	8
<b>5</b>	<b>Oppnådde resultater</b>	<b>9</b>
5.1	Status ved utsett	9
5.1.1	Vekt ved utsett	9
5.1.2	Smoltstatus	9
5.2	Prestasjon i sjømerder på Gifas	10
5.2.1	Overlevelse i sjø	10
5.2.2	Kjønnsmodning i sjøfase	12
5.2.3	Vekst i sjømerder på Gifas	13
5.2.4	Velferd i sjøfase	14
5.2.5	Kvalitet ved slakt	16
5.3	Prestasjon i kar med sjøvann	21
5.3.1	Utsett 1 (13 september)	21
5.3.2	Utsett 2 (29 oktober)	25
5.3.3	Utsett 3 (24 januar)	29
5.4	Diskusjon	34
5.5	Konklusjon	37
<b>6</b>	<b>Hovedfunn</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Leveranser</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Referanser</b>	<b>41</b>

# 1 Sammendrag

Produksjon av en stor laksesmolt er en ny strategi i norsk lakseoppdrett, og det gjøres på ulike måter. De fleste oppdrettere bruker et vintersignal med korte dager for å smoltifisere fisken, mens noen bruker 24 t lys i hele perioden i RAS. Det er også ulike protokoller for salinitet i RAS, noen bruker brakkvann (fra 3-22 ppt), men andre benytter ferskvann. På Færøyene har man lenger erfaring med produksjon av en stor smolt. Der gir man fisken et langt vintersignal, og setter den på 24 t lys de siste fire ukene før den går ut i sjømerder. Fisken går også på ferskvann helt til den går ut i sjø. Oppdrettere rapporterer om variable prestasjoner på stor smolt, men den store variasjonen i produksjonsmetoder kombinert med at fisken settes ut i sjø gjennom hele året, gjør det vanskelig å trekke konklusjoner. Det mangler fortsatt dokumentasjon på hva som er den mest optimale protokollen i RAS for å oppnå god vekst og overlevelse i sjø og samtidig unngå tidlig kjønnsmodning hos hannfisk. Dette prosjektet er et bidrag til å optimalisere produksjonsprotokoller for stor smolt med tanke på prestasjon i sjøfasen.

Prosjektet har testet effekten av ulik salinitet (ferskvann eller 12 ppt) fotoperiode (24 t lys, tidlig, seint, eller langt vintersignal) og størrelse ved utsett på prestasjon i sjøfasen hos Atlantisk laks. Det er gjort utsett av fisk av ulik størrelse både i merder i sjø hvor fisken ble fulgt til slaktestørrelse og i kar med sjøvann hvor fisken ble fulgt i 3 måneder. I kar med sjøvann ble fisken eksponert for temperatur og fotoperiode som simulerte utsett på vår (6 °C og økende daglengde) og høst (12 °C og fallende daglengde).

Resultatene fra forsøket som gikk i kar med sjøvann viste at det var en fordel å gi stor smolt et vintersignal kombinert med 12 ppt i RAS med tanke på vekst i sjøvann. Men et vintersignal etterfulgt av en lengre periode på 24 timer lys i RAS, ga også økt risiko for kjønnsmodning hos hannfisk, særlig hvis de gikk på ferskvann i RAS. Å sette ut fisken på lav temperatur og økende daglengde som simulerte vår ga mindre kjønnsmodning enn å sette ut på høy temperatur og økende daglengde som simulerte høst.

Det ble overført fisk til sjømerder 14. september (160 g), 29. oktober (320 g) og 24. januar (850 g). Det var høy dødelighet i sjøfasen i forsøket som følge av utbrudd av vintersår fra slutten av januar til april, og fra juni var det økt dødelighet som følge av HSMB. Fisken var vaksinert med Alphaject micro 6 som ikke er spesielt utviklet mot vintersår. Det var behov for flere avlusinger av fisken mellom juli og september. Dette førte til ytterligere dødelighet ettersom fisk smittet med HSMB er sensitiv for håndtering på høy temperatur. Den minste fisken som ble satt ut i september hadde langt lavere dødelighet i løpet av vinteren som følge av vintersår enn de andre utsettene, Fisken satt ut i september hadde også høyere vekst i sjø og var større ved slakt enn fisk satt ut i oktober og januar. Men det var ingen forskjell mellom utsettene i dødelighet som følge av HSMB Ved avslutning av forsøket i november 2022 var fisken som ble satt ut i september 570 g større sammenlignet med fisk satt ut i oktober og januar. Fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS var også større ved slakt enn den som hadde fått et tidlig vintersignal fordi den var større ved utsett, men dette var ikke tilfelle for fisk satt ut ved 320 og 850 g. Uavhengig av tidspunkt for utsett hadde fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS lavere TGC i sjøfasen enn fisk som hadde fått et vintersignal. Det var ikke noen signifikant effekt av salinitet i RAS på vekst eller sluttvekt for noen av de tre utsettene. Protokollen som brukes på Færøyene med å gi fisken et langt vintersignal i RAS etterfulgt av 4 uker med kontinuerlig lys før utsett til sjø presterte ikke bedre enn de andre behandlingene i sjøfasen.

I sum viser resultatene fra forsøket at under kontrollerte forhold i kar var det en positiv effekt av et vintersignal kombinert med brakkvann i RAS på vekst etter overføring til sjøvann. Men et vintersignal kan også gi økt kjønnsmodning hos hannfisk når det etterfølges av en lengre periode på kontinuerlig lys. I merder i sjø hadde den minste fisken som ble satt ut i september lavere dødelighet og bedre vekst enn større fisk satt ut senere på høst vinter. Årsakene til dette bør undersøkes nærmere, om det skyldes årstid ved utsett eller forskjeller i robusthet mellom stor og liten fisk.

## English summary

Production of a large salmon smolt is a new strategy in Norwegian salmon farming, and there are several production protocols in use. Most farmers use a winter signal with short days to smoltify the fish, while some use 24 h of light throughout the period in RAS. Salinity in RAS also varies, some use brackish water (from 3-22 ppt), but others use fresh water. In the Faroe Islands, where there is longer experience with the production of a large smolt, the fish is given a long winter signal and 24 h light the last four weeks before transfer to sea cages. The fish also lives in fresh water until it enters the sea. Breeders report variable performances of the large smolt, but the great variation in production methods combined with transfer to sea throughout the year, makes it difficult to draw conclusions. Documentation is still lacking on what is the most optimal protocol in RAS to achieve good growth and survival in the sea and at the same time avoid early sexual maturation in male fish. This project is a contribution to optimizing production protocols.

The project has tested the effect of different salinity (freshwater or 12 ppt), photoperiod (24 h light, early, late, or long winter signal) and size at sea transfer on performance in the sea phase in Atlantic salmon. Fish of different sizes were transferred both to sea cages where the fish were followed to slaughter size, and to tanks with seawater where the fish were followed for 3 months. In tanks with seawater, the fish were exposed to temperature and photoperiod that simulated spring (6 °C and increasing day length) and autumn (12 °C and decreasing day length). The results from the experiment in tanks with seawater showed that a winter signal combined with 12 ppt in RAS was positive for growth in seawater for the larger smolts. But a winter signal followed by a longer period of 24 hours of light in the RAS also gave an increased risk of sexual maturation in male fish, especially in fresh water. Exposing the fish to low temperature and increasing day length that simulated spring gave less sexual maturation than high temperature and decreasing day length that simulated autumn.

Fish were transferred to sea cages on September 14<sup>th</sup> (160 g), October 29<sup>th</sup> (320 g) and January 24<sup>th</sup> (850 g). There was high mortality in the sea phase of the experiment due to the outbreak of winter ulcers between January and April. From June there was increased mortality due to heart and skeletal muscle inflammation (HSMI). Several delousing operations of the fish between July and September led to further mortality since fish infected with HSMI are sensitive to handling stress at high temperature. The smallest fish transferred in September was less affected by winter ulcers and suffered lower mortality during winter than fish transferred at a larger size. Mortality due to HSMI was however not affected by transfer size. Fish transferred in September also had better growth in the sea and were larger at slaughter than fish transferred in October and January. At the end of the experiment, fish transferred in September were 570 g larger compared to fish transferred in October and January. Fish on continuous light in RAS were also larger at slaughter than those that received an early winter signal because of the larger size at sea transfer due to better growth in RAS. However, this was not the case for fish transferred in October and January. Regardless of time of transfer, fish exposed to 24 h of light in RAS had lower TGC in the seawater phase than fish that had received a winter signal, but here was no significant effect of salinity in the RAS on final weight. The protocol used in the Faroe Islands with a long winter signal in RAS followed by 4 weeks of continuous light before sea transfer did not improve performance in seawater.

In sum, the results from the experiment show that under controlled conditions in tanks there was a positive effect of a winter signal combined with brackish water in RAS on growth after transfer to seawater. However, a winter signal also increased sexual maturation in male fish when it was followed by a longer period in RAS on continuous light. In sea cages, the smallest fish transferred in September had lower mortality and better growth than larger fish transferred later in autumn and winter. The reasons for this should be investigated in more detail, whether it is related to season or differences in robustness between large and small fish.

## 2 Innledning

Produksjonen av settefisk av laks er en næring hvor det skjer store endringer. Næringen ønsker å holde laksen lengre i lukkede anlegg for å kunne redusere tiden i tradisjonelle anlegg i sjø. Det meste av settefisken produseres i resirkuleringsanlegg (RAS), noe som kan ha betydning for hvordan fisken tåler overgangen til sjø (Kolarevic m. fl., 2014). Det er også blitt vanlig å produsere en settefisk på 200-300 g og flere ulike produksjonsregimer har begynt å etablere seg, uten at effektene på fisken er like godt dokumentert. Det brukes i dag flere ulike strategier for stor settefisk i RAS i industrien, slik som vintersignal/ikke vintersignal og bruk av brakkevann eller utsett direkte fra ferskvann til sjø ved ulike fiskestørrelser (Ytrestøyl m fl. 2023). De ulike strategiene er i liten grad basert på funn fra kontrollerte forsøk. Det er indikasjoner i industrien på variabel prestasjon etter sjøvannsoverføring hos stor fisk og årsakene kan være dårlig sjøvannstoleranse og/eller en høy kondisjonsfaktor i RAS som er vist å ha en negativ korrelasjon med vekst etter sjøvannsoverføring (Ytrestøyl m. fl., 2018, 2022 Striberny m. fl., 2021). Kjønnsmodning i tidlig sjøfase er også et problem ved produksjon på høy temperatur i RAS (Good og Davidson 2016). I RAS er det vist at bruk av brakkevann med 12 ppt kan ha en positiv effekt på vekst og uttrykk av gener assosiert med sjøvannstoleranse. Men det er også vist at større postsmolt kan ha en dårligere prestasjon i sjø sammenlignet med fisk satt ut på en lavere vekt (Ytrestøyl m. fl., 2018, 2022). Fisk som går på kontinuerlig lys i RAS kan ha redusert vekst den første tiden etter utsett i sjø, (Sigholt m. fl., 1995, Imsland m. fl., 2014, Striberny m fl., 2021, Ytrestøyl m. fl., 2018, 2022). Den lavere veksten i sjøfasen hos større smolt som vist i Ytrestøyl m fl (2022) skyldtes hovedsakelig en redusert vekst gjennom sommeren i sjø, 6-8 måneder etter utsett i sjø-merder. Når man så på slaktevekt og vekst gjennom hele forsøket (både i RAS og i sjø) var det totalt sett en positiv effekt av å bruke kontinuerlig lys i RAS fasen, selv om dette ga en redusert vekst i den første tiden etter sjø-utsett. Det er derfor viktig å følge fiskens prestasjon i sjø over en lengre tidsperiode hvor den utsettes for årstidsvariasjoner i temperatur og daglengde og kortvarig forsøk i konstant miljø vil ikke nødvendigvis fange opp årstidsavhengige effekter på vekst. Reduksjonen i tilvekst etter utsett av stor fisk som har gått lenge i RAS viser at det er behov for forbedringer av produksjonsprotokollene i RAS for produksjon av postsmolt. Dette prosjektet er et bidrag til dette arbeidet. Det er svært viktig å få følge fisken frem til slakt i merder i sjø, slik at effekter av behandling i settefiskfasen på vekst, kjønnsmodning og overlevelse i sjø og kvalitet ved slakt kan dokumenteres. I samarbeid med CtrlAQUA er det i dette prosjektet testet ut hvordan ulike fotoperioder i RAS i kombinasjon med ferskvann eller brakkevann (12 ppt) påvirker prestasjon i sjøvann for ulike størrelser av smolt.

Prosjektet har vært koordinert av Nofima i nært samarbeid med konsortiet i CtrlAQUA. Prosjektleder har vært seniorforsker Trine Ytrestøyl. Prosjektgruppen har bestått av Åsa Espmark (seniorforsker Nofima, senterleder CtrlAQUA), Kirsti Hjelde (forsker Nofima), Grete Bæverfjord (seniorforsker Nofima), Per Brunsvik (Innovasjonskoordinator/stasjonsbestyrer), Pradeep Lal (forsker II NORCE), Neda Gilannejad (forsker II NORCE), Valentina Tronci (Overingeniør, NORCE), Naouel Gharbi (forsker II, Forskningsleder NORCE), Tom Ole Nilsen (Professor ved UiB) og Jelena Kolarevic (Professor ved UiT).

Gildeskål Forskningsstasjon (GIFAS) har vært ansvarlig for forsøket i merder i sjø. Kontaktperson har vært Ronald Jørgensen (Adm. R&D manager GIFAS). Transport av fisk fra Sunndalsøra til Gifas ble utført av Malo Transport.

Prosjektet ble finansiert av FHF, og referansegruppen i prosjektet har bestått av Vidar Vold, Inger Lise Brevik, Solveig Nygård og Ragna Heggebø.



### 3 Problemstilling og formål

I et tidligere forsøk (FHF 901293) «Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen» ble det satt ut fisk av ulik størrelse som hadde fått enten et tidlig vintersignal eller kontinuerlig 24 t lys i ferskvanns eller brakkvanns RAS. Resultatene fra dette forsøket viste at den fisken som var minst ved utsett presterte best i sjø med tanke på vekst og overlevelse (Ytrestøyl m fl. 2018, 2022). Men det var ikke mulig å si om dette skyldes størrelsen eller tidspunktet for utsett, som varierte mellom august og desember for den største og minste fisken.

Et viktig mål med dette prosjektet var derfor å undersøke betydningen av tidspunkt og lengde av et vintersignal med kort dag i RAS for prestasjon i sjøvann for laks overført til sjøvann ved like betingelser med tanke på temperatur og daglengde men ved ulike fiskestørrelser. Prestasjonen i sjøfase ble vurdert på bakgrunn av vekst, overlevelse, velferd, kjønnsmodning, og forekomst av nefrokalsinose og skjelettdeformiteter.

I kar med sjøvann simulerte man enten vår (lav temperatur (6 °C) + økende daglengde) eller høst (høy temperatur (12 °C) + fallende daglengde). Hensikten her var å se om prestasjonen til de ulike protokollene i RAS var påvirket av miljøforholdene etter utsett og om prestasjonen til ulike fiskestørrelser varierte med årstid. Fisken gikk 12 uker i kar med sjøvann.

I prosjektet ble fisk også satt ut til merder i sjø og i kar med sjøvann ved samme tidspunkt som det ble overført fisk til kar med sjøvann. I merder i sjø gikk fisken til tilnærmet slaktestørrelse.

Resultatene fra dette forsøket vil bidra til å forbedre protokollene for produksjon av stor settefisk/postsmolt i RAS for å oppnå bedre ytelse etter utsett i sjø. Det er ønskelig å sette ut større fisk for å redusere tiden i åpne merder for å redusere problemer med lakselus og sykdom. Utsett av stor fisk er fortsatt i en tidlig fase, og erfaringer bør dokumenteres slik at det ikke fører til dårlig fiskevelferd, økt dødelighet og økonomiske tap for oppdrettere. Dødeligheten i næringa er fortsatt høy, omkring 15 %. Åpen tilgjengelig kunnskap, og forsøk som er gjort på en vitenskapelig etterprøvbar måte vil gi kunnskap som raskt kan implementeres i kommersielt oppdrett og bidra til reduserte tap og økt lønnsomhet for oppdrettere. Det er foreløpig lite tilgjengelig publisert informasjon om prestasjon av stor postsmolt i sjøfasen. Sjøfasen er den del av produksjonssyklus hvor mesteparten av biomassen produseres, og dersom prosjektet kan bidra til en bedret vekst og overlevelse i sjøfasen, ved at man unngår å benytte produksjonsstrategier som fungerer dårlig, vil det utgjøre store besparelser for næringen. Kost/nytteverdien av prosjektet vurderes derfor som høy.

## 4 Prosjektgjennomføring

### 4.1 Beskrivelse av forsøket

Forsøket i RAS ble gjennomført ved Nofima sin forskingsstasjon på Sunndalsøra. I prosjektet ble det testet hvilken betydning tidspunkt og lengde av et vintersignal i RAS hadde for prestasjon i sjøfasen. I RAS-fasen fikk fisken 4 ulike fotoperioder:

1. Kontinuerlig 24 t lys (ingen vinter)
2. Tidlig vintersignal (6 uker på 12:12 t lys:mørke fra ca. 50 g)
3. Sent vintersignal (6 uker på 12:12 t lys:mørke fra ca. 120 g)
4. Sent langt vintersignal (16 uker på 12:12 t lys:mørke fra ca. 120 g)

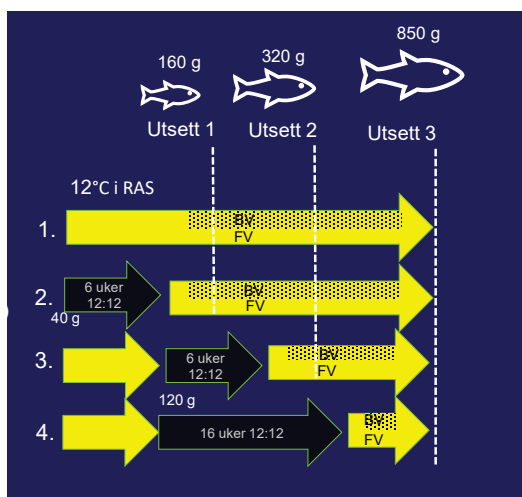
I RAS gikk fisken i 3,3 m<sup>3</sup> kar i to separate systemer som beskrevet av Terjesen m fl. (2013). Innledningsvis gikk all fisken i ferskvann på 24 t lys. Temperaturen i RAS var i snitt 12,5 °C. Etter at vintersignalet var avsluttet gikk fisken på 24 timer lys til den ble overført til sjøvann. Alle fotoperioder ble replisert i både ferskvann og brakkevann med 12 ppt i RAS. Fisken ble satt på brakkevann to uker etter at den gikk over på 24 t lys etter avslutning av vintersignalet. Det ble overført fisk til sjøvann ved tre anledninger, når fisken i gjennomsnitt var henholdsvis 160, 320 og 850 g. Figur 1 gir en oversikt over behandlinger og i RAS og i kar med sjøvann. Ved hvert utsett ble det overført fisk på samme tidspunkt til sjømerder ved Gifas (Gildeskål Forskningsstasjon) og til kar med sjøvann ved Nofima sin forskningsstasjon på Sunndalsøra. Fisken ble transportert til Gifas med bil og transporten tok om lag 14 timer. Fisken ble bedøvd med Fiquel før den ble målt og veid og håvet på bilen eller fraktet i stamper til kar med gjennomstrømming sjøvann. I karene med sjøvann gikk fisken i 12 uker ved to temperaturer (6 og 12 °C) og henholdsvis økende (fra 12-18 timer lys) eller fallende (fra 18-12 timer lys) daglengde som tilsvarer forhold ved vår og høst. På begge temperaturer var det en kontrollgruppe med kontinuerlig lys. All fisken var PIT merket slik at behandlingene fra RAS gikk i felles kar i sjøvann. Totalt ble det overført 20 fisk fra hver behandling i RAS til hvert kar med sjøvann, slik at alle kar med sjøvann hadde lik fordeling av fisk fra de ulike behandlingene i RAS. Karforsøket på sjøvann hadde som mål å se på prestasjon første fase i sjø ved ulike fiskestørrelser som utsettes for de samme miljøforhold etter utsett. For å sikre optimal vekst ved å forstyrre fisken minst mulig ble det ikke gjort uttak før ved avslutning etter 12 uker i karene med sjøvann.

Forsøket startet i juni 2021, med PIT merking av 9000 fisk. Den 28. juni ble tidlig vintersignal introdusert i behandling 2 (tidlig vinter). Vintersignal ble introdusert i behandling 3 og 4 den 16. august. Fisken ble vaksinert med Alphaject micro 6 den 9-10 august. Den 13. september ble det overført fisk fra behandling 1 og 2 til Gifas og til kar med sjøvann. Den 29. oktober ble det satt ut fisk fra behandling 1, 2 og 3, og 24. januar ble det satt ut fisk fra alle 4 behandlinger. Temperaturen i vannet var 9,5, 8,1 og 4,6 °C ved de tre utsettstidspunktene (Figur 2).

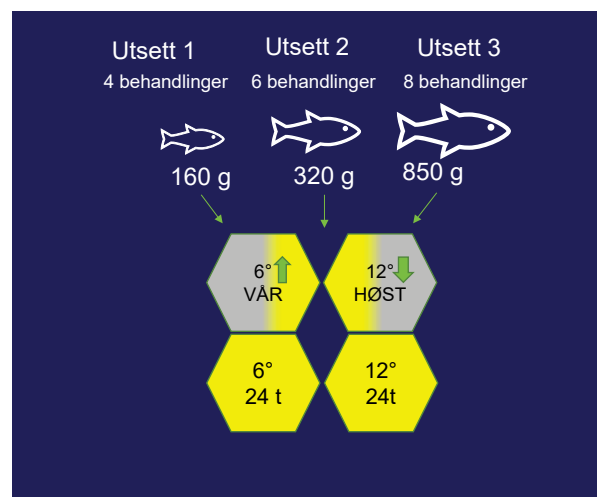
Det ble gjort sjøvannstester (72 timer på 34 ppt) på 10 fisk fra hver behandling før utsett av fisk i sjø og det ble gjort scoring fra 1-4 av morfologiske smoltkriterier (Smoltvision) som inkluderte forekomst av parrmerker, sølvfarge og mørk farge på finnekanten. Score 4 indikerer fravær av parrmerker, og sølvfarge og farge på finner økte med økende score. Etter sjøvannstester ble det tatt blodprøver som ble analysert for innhold av natrium, klorid og magnesium på en Horiba pentra C400. Det ble overført 200 fisk per behandling til sjømerder på Gifas ved hvert utsett. I utsett 1 ble det totalt overført totalt 800 fisk, i utsett 2 ble det overført 1200 fisk og i utsett 3 ble det overført 1600 fisk. Fisken fra hvert utsett gikk innledningsvis i duplikate 5x5 meters merder (behandlinger fra RAS gikk i felles merd). Alle grupper ble overført til to 11 meters merder i midten av april 2022 hvor fisken gikk frem til slakt i november 2022.

I 11 meters merder gikk alle utsett og behandlinger i felles merd. I juli 2022 ble det gjort vektregistrering av all fisk i forbindelse med avlusing av fisken. Anlegget på Gifas er utstyrt med et 10 m dypt luseskjørt rundt hele anlegget, og fisken fikk også Slice-fôr. Likevel var det behov for avlusinger av fisken. Fisken ble avluset 4 ganger, i perioden juli-oktober. Metoden som ble benyttet var individuell avlusing med vakumsug. Fisken ble håvet opp av vannet og bedøvd lett og mens lusa suges av med en skånsom vakumsuger. Metoden er erfaringsmessig skånsom og gir normalt ikke økt dødelighet etter avlusing (Ytrestøyl m fl. 2018, 2022).

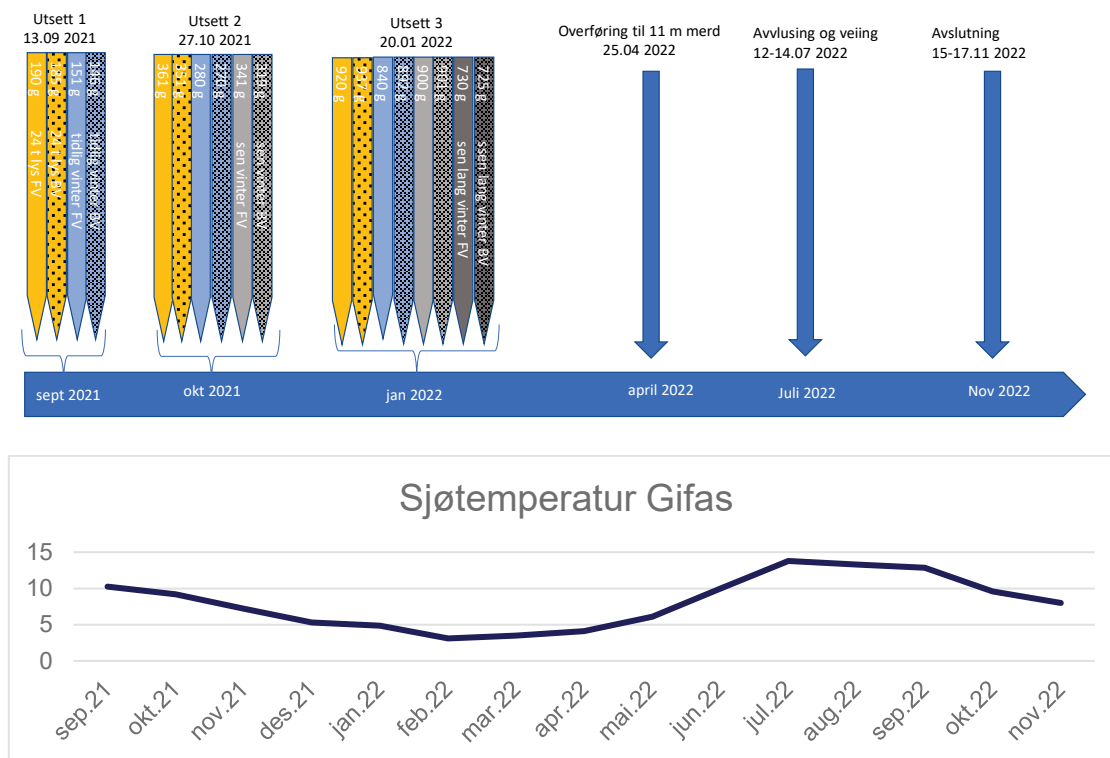
A)



B)



Figur 1 Oversikt over design i forsøket. A) design i RAS med 4 fotoperioder (FV= ferskvann, BV = brakkvann, 12 ppt). B) Fisken fikk 4 ulike behandlinger i kar med sjøvann, to temperaturer (6 og 12 °C) og enten fallende daglengde på 12 °C (høst) eller økende daglengde på 6 °C (vår) og kontinuerlig 24 t lys på begge temperaturer. (n=2 kar per behandling).



Figur 2 Oversikt over utsett i ulike behandlinger (øverst) og temperatur i sjøfasen på Gifas (under)

## Fôr og fôring

Både i RAS og i sjøvann fikk fisken kommersielle fôr fra EWOS. Det ble brukt følgende fôr: EWOS Clear 80, EWOS Clear 200, EWOS Rapid Adapt 200, EWOS Rapid HP 500, EWOS Rapid HP 1000, EWOS Rapid HP 1000 Dermic. I RAS og i kar med sjøvann ble fisken fôret når det var lys i karene. Det ble fôret etter appetitt. I sjøfasen på Gifas ble det fôret to måltid per dag i perioden 1 mars til 31 oktober, og ett måltid per dag fra 1 november til 28 februar. Fisken ble fôret til metning basert på oppsamling av uspist pellet. Antall uspist pellet ble registrert og fôrintak estimert på bakgrunn av utfôret og oppsamlet mengde pellet. Fisken fikk kontinuerlig lys i merdene fra 15 desember til 15 mai (undervannsllys).

## 4.2 Registrering av velferd og kvalitet

### 4.2.1 Velferd

#### Velferdsindikatorer

Det ble gjort registreringer av ytre velferdsindikatorer før utsett fra RAS og etter 12 uker i kar med sjøvann og ved avslutning av forsøket som gikk i sjømerder på Gifas. Scoring ble utført av erfarent teknisk personale i ferskvannsfasen og av veterinær i siste uttak. Alle registrerte faktorer ble scoret i henhold til 'Welfare Indicators for farmed Atlantic Salmon: tools for assessing fish welfare' (Noble et al 2018) på en skala fra 0-3, unntatt katarakt, som scores fra 0-4 i henhold til Wall og Bjerkaas 1999. Registreringene er statistisk undersøkt i JMP Pro med 2-vegs ANOVA for å ta ut eventuelle effekter av behandling.

Faktorer som ble registrert var følgende: Øyeskade (score, side og type), gjellelokkskade (score og side), snuteskade (score), over- og underkjeveskade (score), avmagring (score), ryggradsdeformiteter (ekstern score), skinnskade (score og type), ryggfinne (score og type), halefinne (score og type), brystfinne (score og type), bukfinne (score og type). Hud- og finneskader ble i tillegg registrert under helet eller aktiv skade. Skadetype henspeiler på aktiv eller helet skade, og er mest relevant for fisken som ble utsatt i merd, siden disse ble utsatt for vintersår (Se punkt 5.2.1).

#### Scoring av kjønnsmodning og nefrokalsinose

Nefrokalsinose ble scoret visuelt på en skala fra 0-4 (Figur 3), der score 0 er ingen forandringer, score 1 er overtydelige urinledere eller en enkelt liten synlig forkalkning. Score 2 er flere punkt med forkalkninger eller forgrenede urinledere, score 3 er store forkalkninger, men fremdeles intakt form og fasong av nyre, score 4 har omfattende forkalkninger og forandret størrelse (svullent) nyre. Kjønnsmodning ble scoret visuelt på en skala fra 1-5, hvor 1-2 er umoden fisk, 3 er modnende fisk, men gonadene fyller mindre enn halve bukhulen, score 4 fyller gonadene mer enn halve bukhulen, og score 5 er gytemoden fisk (Figur 3). Se vedlegg 1 for illustrasjon av score for kjønnsmodning.



Figur 3 Venstre: Score for nefrokalsinose på skala fra 0-4 (Foto Kirsti Hjelde, Nofima), Høyre: eksempel på hannfisk med score 4 og søvfarvet skinn (Foto Trine Ytrestøy, Nofima)

#### 4.2.2 Deformiteter

Det ble tatt røntgen av fisken for å følge utvikling av ryggradsdeformiteter både i RAS-fasen, ved avslutning av kar-forsøket ved utsett av fisk på 850 g, og ved avslutning av sjøforsøket i merd på Gifas.

Fisken ble røntgenundersøkt på røntgenlaboratoriet på Sunndalsøra. 850 g gruppen ble røntgenundersøkt etter innfrysing flatt. Bildene ble tatt med standard røntgenutstyr i semidigitalt system, med en Shimadzu røntgenkilde (50kV, 32 mAs) og avlest på en Fuji Profect reader. Bildene er navngitt og lagres i Nofimas eget bildelagringssystem.

Fisken fra sluttuttaket ble filetert, frosset inn med individmerke og røntgenundersøkt på samme utstyr som forrige uttak, men med en spesialkassett som kan ta hel, stor fisk for å få hele ryggraden på samme bilde.

#### 4.2.3 Slaktekvalitet

Ved avslutning av forsøket på Gifas ble det tatt prøver av NQC for analyse av innhold av astaxathin ved bruk av HPLC. Prøvene ble analysert ved Nofima sin lab på Sunndalsøra i henhold til metoden beskrevet av Bjerkeng m fl. (1997). Det ble også tatt sløydvekt for beregning av slakteutbytte i tillegg til vekt og lengde for beregning av kondisjonsfaktor (CF). Det ble også gjort evaluering av vaksinebivirkninger og kjønnsmodning.

#### 4.2.4 Statistikk og beregninger

Spesifikk vekstrate (SGR) =  $(e^{(\ln W_1 - \ln W_0)/t} - 1) * 100$

Vekstfaktor (Thermal growth coefficient) (TGC) =  $(W_1^{1/3} - W_0^{1/3}) * 1000 / d^\circ$

W0 er startvekt (g), W1 er sluttvekt (g), t er antall dager, og d° døgnggradsum

Kondisjonsfaktor (CF) =  $W \times L^{-3} \times 100$ , hvor L er lengde

Slakteutbytte =  $[(\text{rundvekt} - \text{innvoller}) / \text{rundvekt}] * 100$

Statistiske analyser av vekst (vekt, slakteutbytte, TGC, SGR), CF, fôrinntak, kumulativ dødelighet, score for velferd og kjønnsmodning og karotenoider i NQC, ble gjort i SAS Jmp ved hjelp en to-vegs ANOVA med salinitet og lysperiode i RAS som faktorer for hvert utsett. I kar med sjøvann ble også behandling i sjøvann inkludert i modellen. Der det var registreringer på individnivå ble det brukt en nested ANOVA modell. Når modellen viste signifikante forskjeller ble det gjort post-hoc tester for å bestemme forskjeller mellom behandlinger (Tukey eller t-test).

P - verdier < 0,05 ble regnet som statistisk signifikante, og P – verdier < 0,1 ble ansett som en tendens.

## 5 Oppnådde resultater

### 5.1 Status ved utsett

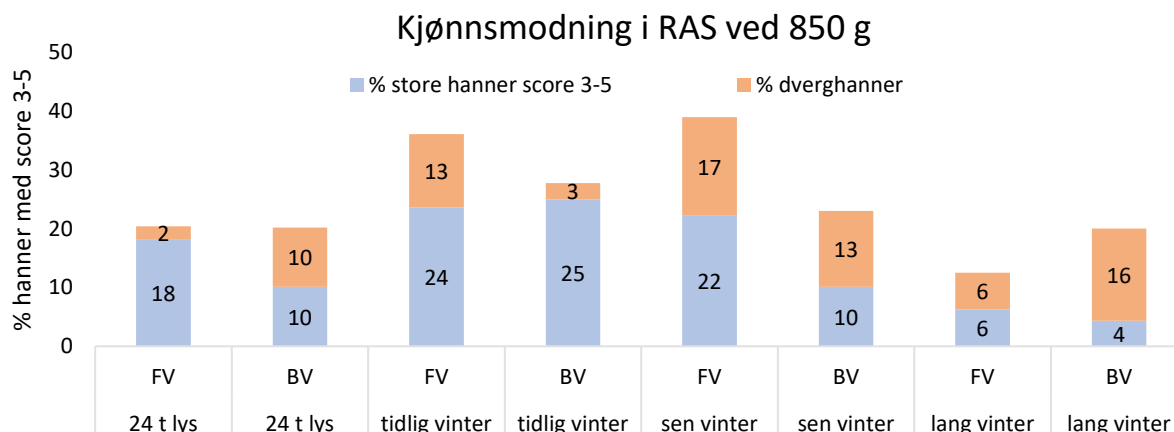
#### 5.1.1 Vekt ved utsett

Fotoperiode i RAS hadde stor betydning for vekst i RAS, og vekten ved utsett var derfor forskjellig for de ulike behandlingene (Tabell 1). For alle utsett var fisken som hadde gått på kontinuerlig lys hele perioden i RAS størst ved utsett ( $p < 0.0001$ ). Særlig fisken som fikk et langt vintersignal tapte mye tilvekst i RAS. Fisk satt ut 13. september var 40 g større når den hadde gått på kontinuerlig lys i RAS enn hvis den hadde fått et vintersignal. For fisken satt ut 29 oktober var forskjellen økt til 80 g i favør fisken på kontinuerlig lys sammenlignet med fisk som fikk et tidlig vintersignal. Fisk som fikk et sent vintersignal var i snitt 26 g mindre enn fisk på kontinuerlig lys. For det siste utsett 24 januar var fisk på kontinuerlig lys henholdsvis 63, 28 og 200 g større ved utsett enn fisk som hadde fått et tidlig vintersignal, sent vintersignal og sent, langt vintersignal. Vekt var litt høyere (5-10 g) for fisk på ferskvann enn på 12 ppt ved utsett i september og oktober, men forskjellen var signifikant kun ved utsett i oktober (Tabell 1). For fisk satt ut ved 850 g var det positiv effekt av brakkvann på fisk som fikk 24 t lys eller tidlig vintersignal, mens det var ingen effekt av brakkvann på vekten til fisk som fikk et sent og sent langt vintersignal.

#### 5.1.2 Smoltstatus

Data på smoltindikatorer og ioner i plasma ved utsett er presentert i vedlegg 2. Hos fisk satt ut i september (i snitt 160 g) var det ingen effekt av fotoperiode eller salinitet i RAS på sølvfarge, finnekanter eller parrmerker. Gjennomsnittlig score for parrmerker var 3,93, for sølvfarge 4 og for finnekanter 3. Heller ikke plasmaioner var signifikant påvirket av behandling i RAS, gjennomsnitt for Cl, Na og Mg var henholdsvis 139, 169 og 1,2 (mmol/l). Ved utsett i oktober var det ingen effekt av behandling i RAS på sølvfarge (score 4 i snitt) og parrmerker (score 4 i snitt), men det var mørkere finnekanter på fisk gitt et vintersignal (score 3,3) enn fisk på 24 t lys i RAS (score 2,8) ( $p < 0,05$ ). Ferskvann i RAS ga også mørkere finnekanter (3,4) enn brakkvann (3,0) ( $p < 0,05$ ). Det var ingen effekt av fotoperiode på ione-innhold i plasma, men brakkvann i RAS ga lavere innhold av Cl ( $p < 0,01$ ) og Na ( $p < 0,001$ ) etter sjøvannstest. Klorid verdiene var 137 og 141 mmol/l i fisk på brakkvann og ferskvann, og natrium 167 og 172 mmol/l. Det var ingen effekt på magnesium. Ved utsett av den største fisken på 850 g hadde fisken som fikk et sent, langt vintersignal mørkere finnekanter (3,9) enn de andre gruppene (2,9-3,2) ( $p < 0,05$ ), men det var ingen andre effekter på morfologi, og heller ingen effekter av salinitet på morfologi. Det var en tendens ( $p < 0,1$ ) til at fisk som fikk et tidlig vintersignal hadde lavere Cl i plasma (132 mmol/l) enn de andre gruppene (137-138 mmol/l). Og samme tendens ble observert for Na (171 mmol/l) og 173-176 for de andre gruppene. Det var ingen effekter av behandling i RAS på Mg, og ingen effekter av salinitet på innholdet av ioner i plasma.

Kjønnsmodning av hanfisk i RAS var ikke et problem ved de første to utsettene når fisken var 160 og 320 g i gjennomsnitt. Men når fisken gikk over lengre tid i RAS var det en økende andel hanner som begynte å kjønnsmodne, og ved utsett på 850 g var i alt 25 % av hannene scoret mellom 3-5, som tilsvarer modning eller kjønnsmoden fisk. Det var to ulike strategier for kjønnsmodning, enten å kjønnsmodne som dverghann, karakterisert ved gytedrakt og liten størrelse (under 200 g), eller å modne på høyere vekt, enten med gytedrakt eller med sølvfarget skinnfarge. Sistnevnte kunne være vanskelig å skille fra øvrig fisk, det ble først klart når man åpnet fisken at den var i ferd med å kjønnsmodne (se Figur 3). Men det er mulig at den ville ha utviklet gytedrakt med tiden. Det var en overvekt av hanner som hadde fått et tidlig eller sent vintersignal og gått på ferskvann som kjønnsmodnet, både som dverghanner og på høyere vekt. I disse behandlingene var 37 og 39 % av hannene i modning eller kjønnsmodne (Figur 4).

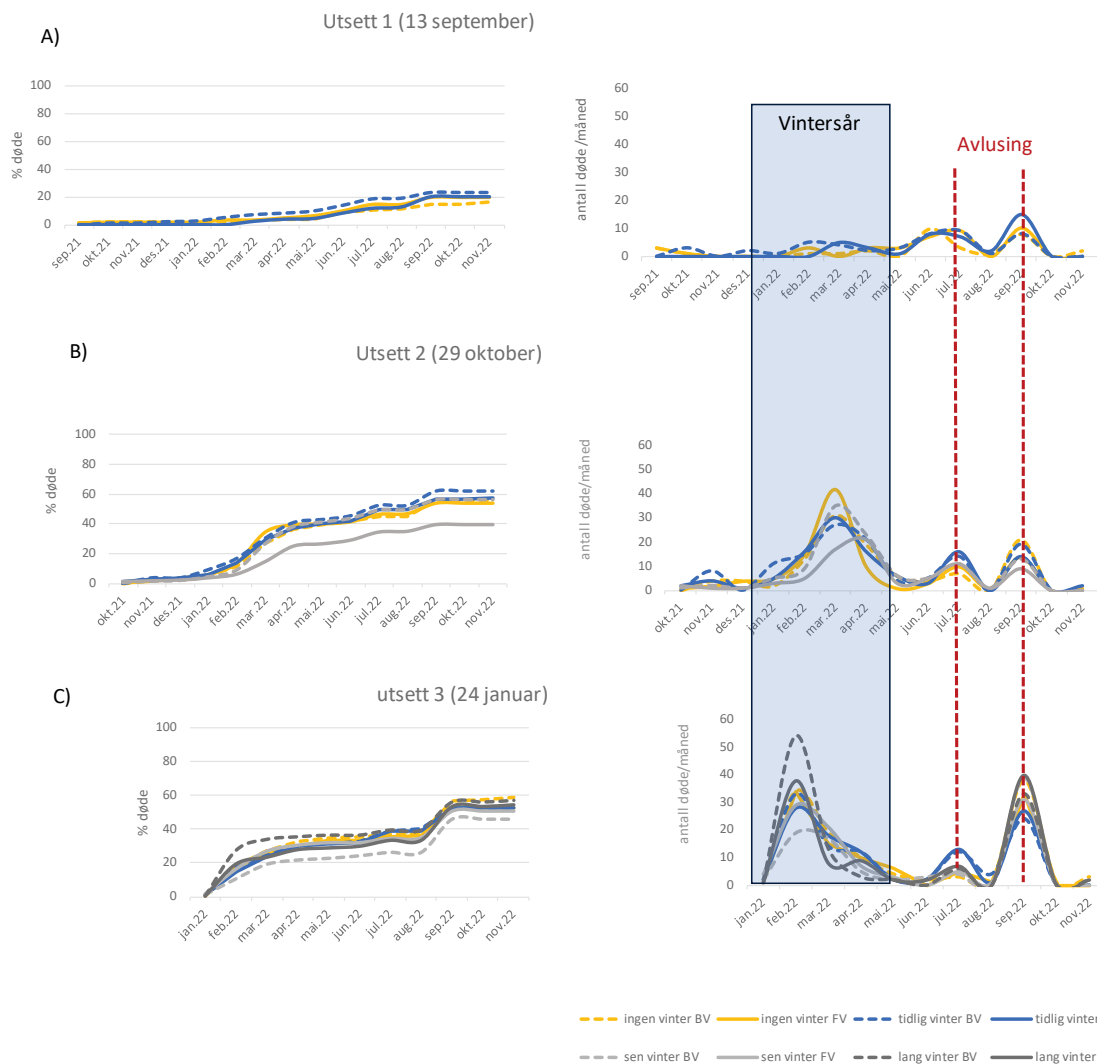


Figur 4 Kjønnsmodning i RAS: Andel (%) av totalt antall hanner fra de ulike behandlingene i RAS som var i modning eller kjønnsmodne i RAS når fisken ble overført til sjøvann ved 850 g (Utsett 3).

## 5.2 Prestasjon i sjømerder på Gifas

### 5.2.1 Overlevelse i sjø

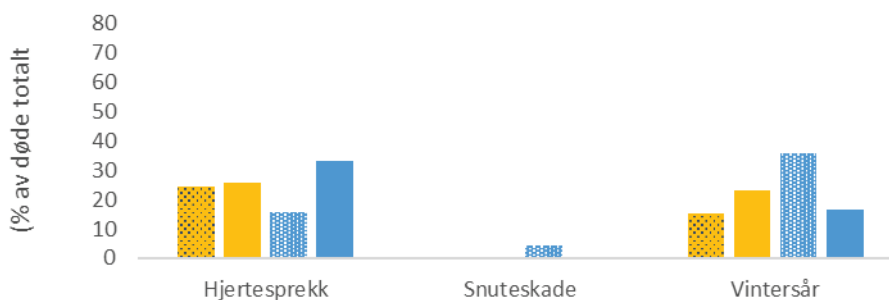
Etter utsett av fisk i midten av september og i slutten av oktober var dødeligheten lav til omkring midten av januar 2023. Dødelighet de første 60 dager i sjø var henholdsvis 1,4 og 3,2 % for de to utsettene. Figur 5 viser akkumulert dødelighet i % for de ulike behandlingene i de tre utsettene og antall døde per måned. Akkumulert dødelighet omfatter både fisk som ble funnet død og fisk som ble avlivet av velferdsmessige årsaker fordi de hadde sår og nedsatt almenntilstand (svimere). Anmerkninger på død og avlivet fisk er vist i Figur 6. Dødeligheten fra januar til april skyldtes utbrudd av vintersår fra begynnelsen av januar, og fisken ble diagnostisert med både *Tenacibaculum* sp. og *Moritella viscosa*. Fisken som var satt ut 29 oktober hadde høy dødelighet som følge av vintersår, mens fisken satt ut i september fikk lite sår og følgelig mye lavere dødelighet gjennom vinteren. Fisken som ble satt ut i januar ble umiddelbart rammet av vintersår etter utsett med høy dødelighet som resultat. Innenfor hvert utsett var det imidlertid ingen signifikant effekt av behandling med tanke på fotoperiode og salinitet i RAS på dødelighet gjennom vinteren i sjøfase. Men det var klare forskjeller mellom utsett i dødelighet som følge av vintersår i løpet av vinteren (Figur 5 og 6). Lavest dødelighet for fisk satt ut i september (i snitt 5,4 %), og høyest for fisk satt ut i oktober (36 %), mens fisk satt ut i januar hadde i snitt 29 % dødelighet ved utgangen av april. En høyere andel av fisken satt ut i januar som var registrert død hadde snuteskader sammenlignet med de to andre utsettene (Figur 6). I mai og juni var dødeligheten lav i alle behandlinger, men under avlusing av fisken i midten av juli ble det observert unormal dødelighet med symptomer forenlig med hjertesprekk, og fisken ble diagnostisert med HSMB. I august var det tilnærmet ingen dødelighet, men etter avlusing i september døde det nok en gang mye fisk etter avlusing som følge av hjertesprekk. Avlusingene i både juli og september ble gjort på relativt høy temperatur og uten tilstrekkelig sulting av fisken før avlusing, og dette medvirket nok til økt dødelighet når fisken hadde HSMB. Utenom avlusingene i juli og september var det så å si ingen dødelighet i juli, august og september. I oktober ble det også gjort to avlusinger på fisken, men da var temperaturen i vannet gått ned, og den ble sultet i 4 døgn før avlusing, så disse forløp uten økt dødelighet. Dødelighet som følge av hjertesprekk på grunn av HSMB var ikke relatert til tidspunkt for utsett eller behandling i RAS. Total dødelighet i forsøket var 20 % for fisken satt ut i september, 53 % for fisken satt ut i oktober og 52 % for fisken satt ut i januar.



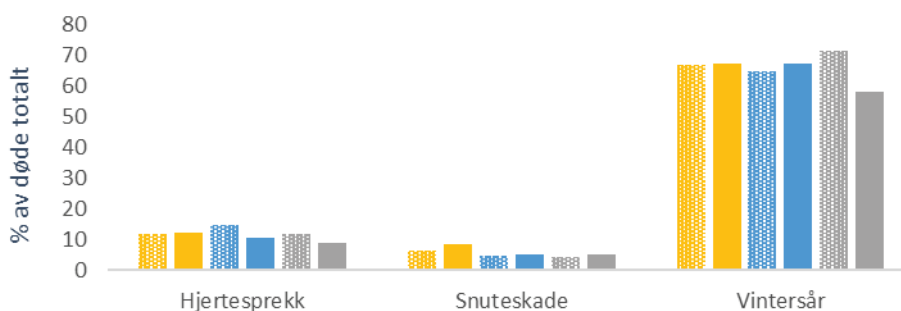
Figur 5 Akkumulert dødelighet i % (venstre) og antall døde mer måned (høyre) for ulike behandlinger satt ut i september (A), oktober (B) og januar (C)



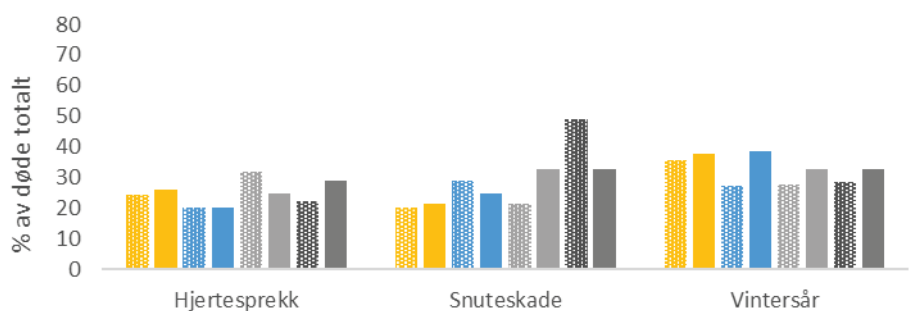
### Utsett 1 (13 september)



### Utsett 2 (29 oktober)



### Utsett 3 (24 januar)



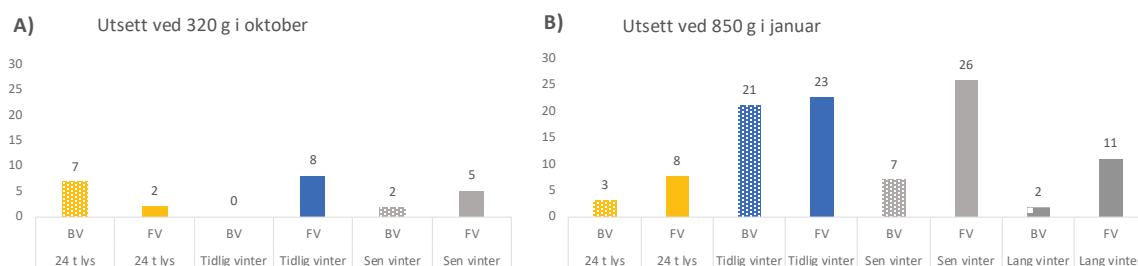
Figur 6 Anmerkninger på død og avlivet fisk i de ulike gruppene i forsøket i merder i sjø på Gifas

#### 5.2.2 Kjønnsmodning i sjøfase

Kjønnsmodning ble registrert før hvert utsett og ved avslutning av forsøket, men dødfisk og fisk som ble avlivet av velferdsmessige årsaker ble sjekket for kjønnsmodning og gitt en score fra 0-5 (Figur 3). Blant fisken som ble satt ut i september ble det registrert 2 modnende hanner (begge med score 3) i løpet av hele sjøfasen på Gifas, noe som utgjorde 2,4 % av døde hanner i sjø for dette utsettet (Figur 7A). For

fisk satt ut i oktober var 4 % av hanner som døde i løpet sjøfasen kjønnsmodne (score 4-5) eller i begynnende modning (score 3). For fisk satt ut ved ca. 850 g i januar hadde i gjennomsnitt 12,6 % av hanner som døde i sjøfasen score 3-5. Men det var stor variasjon mellom behandlinger, fra 2-26 % (Figur 7B) og forskjellene var ikke signifikante, selv om det var flere modne blant hanner som hadde fått et kort (tidlig eller sent) vintersignal. De fleste (90 %) av de døde kjønnsmodne hannene i 850 g utsett ble registrert de tre første månedene i sjø (mellom februar-april), noe som tyder på at modningsprosessen hadde startet i RAS før utsett i sjø.

**% av døde hanner i sjøfasen som var kjønnsmodne/i modning**



Figur 7 Andel av døde hanner som var registrert med kjønnsmodning-score 3-5 i de ulike behandlingene i løpet av sjøfasen på Gifas. A) fisk satt ut i oktober på 320 g, og B) fisk satt ut i januar på 850 g.

### 5.2.3 Vekst i sjømerder på Gifas

Det ble registrert individvekt på all fisk 14 juli i forbindelse med avlusing (Tabell 1). På dette tidspunktet var fisken som ble satt ut oktober mindre enn de andre utsettene. Med unntak av fisk som hadde fått en lang vinter i RAS så var vekten til fisk satt ut ved 850 g ikke signifikant forskjellig i juli fra fisk som ble satt ut i september. I løpet av sommeren og høsten tapte imidlertid den store smolten tilvekst, så ved avslutning av forsøket i november 2022 var fisken som ble satt ut i september 570 g større enn fisk som var satt ut i oktober og januar ( $p < 0,0001$ , Tabell 1). For fisk som ble satt ut i september var den som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS 108 g større enn den som hadde fått et tidlig vintersignal ( $p < 0,05$ ). For fisk satt ut i oktober og januar var det ingen forskjell i vekt (gjennomsnittsnittsvekt var henholdsvis 3054 og 3058 g). Det var effekter av lysbehandling i RAS på slaktevekt for fisk satt ut i oktober og januar (Tabell 1), og fisk som fikk et sent vintersignal hadde høyest vekt ved slakt for begge utsett. Det var ikke noen signifikante effekter av salinitet i RAS på sluttvekt for noen av de tre utsettene.

Når det gjelder vekst i sjøfasen fra utsett til slakt, målt som TGC, så var den lavest hos fisk satt ut med snittvekt 850 g i januar (2,36 gjennomsnitt for alle behandlinger) og høyest hos fisk satt ut i september (3,28). Fisk satt ut i oktober hadde i gjennomsnitt en TGC på 3,02. Forskjellene i TGC mellom gruppene var signifikante ( $p < 0,0001$ ). For alle tre utsett hadde fisk som ikke fikk et vintersignal i RAS lavere TGC i sjøfasen enn fisk som hadde fått et vintersignal, enten det var gitt tidlig, sent eller sent og langt ( $p < 0,001$ ). For fisk satt ut i oktober var det ingen forskjell i TGC mellom fisk som hadde fått et tidlig eller sent vintersignal. For fisk satt ut i januar var det høyest TGC i sjøfase for fisk som hadde fått en lang vinter i RAS, men det var ikke signifikante forskjeller i TGC mellom fisk som hadde fått et tidlig, sent eller langt vintersignal.

Tabell 1 Vekt ved utsett, sluttvekt og vekst i sjøfasen (TGC) fra utsett til avslutning av forsøket i november 2022 for de ulike behandlingene. Verdier er gjennomsnitt per behandling + SEM (N= 2 merder per behandling). Forskjeller mellom behandlinger i RAS for hvert utsett (Student's t-test) er angitt ved ulike bokstaver.

Utsett	Fotoperiode i RAS	Salinitet i RAS	Vekt utsett (g)	Vekt juli (g)	Vekt slutt (g)	TGC til juli	TGC juli-nov	TGC Hele sjøfasen
13.09	24 t lys	12 ppt	185±6	1453±2 <sup>a</sup>	3699±34 <sup>a</sup>	3,1±0,1	3,6±0,1 <sup>ab</sup>	3,2±0,0 <sup>b</sup>
	24 t lys	0 ppt	190±1	1478±4 <sup>a</sup>	3663±30 <sup>ab</sup>	3,1±0,1	3,5±0,1 <sup>b</sup>	3,2±0,0 <sup>b</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	146±1	1304±0 <sup>b</sup>	3546±2 <sup>b</sup>	3,1±0,1	3,7±0,1 <sup>a</sup>	3,3±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	151±1	1354±2 <sup>b</sup>	3600±64 <sup>ab</sup>	3,1±0,1	3,7±0,1 <sup>a</sup>	3,3±0,0 <sup>a</sup>
<i>Gjennomsnitt utsett 1</i>			164	1397	3627	3,07	3,60	3,28
Fotoperiode			p<0,0001	p<0,001	p=0,05	NS	p=0,06	p<0,01
Salinitet			NS	NS	NS	NS	NS	NS
29.10	24 t lys	12 ppt	351±14	1158±2 <sup>ab</sup>	2990±40 <sup>b</sup>	2,4±0,1 <sup>b</sup>	3,4±0,1	2,8±0,0 <sup>c</sup>
	24 t lys	0 ppt	361±10	1217±6 <sup>a</sup>	3108±19 <sup>ab</sup>	2,5±0,1 <sup>ab</sup>	3,4±0,1	2,9±0,0 <sup>bc</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	270±2	1082±6 <sup>c</sup>	2963±5 <sup>b</sup>	2,6±0,1 <sup>a</sup>	3,5±0,0	3,1±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	280±12	1101±2 <sup>bc</sup>	2963±53 <sup>b</sup>	2,6±0,1 <sup>a</sup>	3,5±0,1	3,0±0,0 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	12 ppt	319±9	1162±11 <sup>ab</sup>	3091±54 <sup>ab</sup>	2,6±0,1 <sup>ab</sup>	3,5±0,1	3,0±0,0 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	0 ppt	341±0	1222±1 <sup>a</sup>	3212±133 <sup>a</sup>	2,6±0,0 <sup>ab</sup>	3,5±0,2	3,0±0,1 <sup>ab</sup>
<i>Gjennomsnitt utsett 2</i>			320	1157	3054	2,55	3,45	3,02
Fotoperiode			p<0,0001	p<0,001	p<0,01	p<0,01	NS	p<0,01
Salinitet			p<0,05	NS	NS	NS	NS	NS
24.01	24 t lys	12 ppt	937±4	1404±2 <sup>a</sup>	3000±68 <sup>b</sup>	1,5±0,0 <sup>c</sup>	2,8±0,1 <sup>ab</sup>	2,2±0,1 <sup>b</sup>
	24 t lys	0 ppt	920±30	1457±5 <sup>a</sup>	2982±17 <sup>b</sup>	1,7±0,2 <sup>ab</sup>	2,6±0,1 <sup>b</sup>	2,2±0,0 <sup>b</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	892±6	1413±13 <sup>a</sup>	3037±137 <sup>b</sup>	1,6±0,0 <sup>bc</sup>	2,8±0,2 <sup>ab</sup>	2,3±0,1 <sup>ab</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	840±7	1401±2 <sup>a</sup>	3110±10 <sup>ab</sup>	1,8±0,1 <sup>ab</sup>	2,9±0,0 <sup>ab</sup>	2,4±0,0 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	12 ppt	901±20	1487±2 <sup>a</sup>	3231±2 <sup>a</sup>	1,8±0,1 <sup>ab</sup>	2,9±0,1 <sup>ab</sup>	2,4±0,0 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	0 ppt	900±2	1416±1 <sup>a</sup>	3102±52 <sup>ab</sup>	1,6±0,0 <sup>bc</sup>	2,9±0,1 <sup>ab</sup>	2,3±0,1 <sup>ab</sup>
	Sen lang vinter	12 ppt	725±4	1270±2 <sup>b</sup>	3052±62 <sup>ab</sup>	1,9±0,1 <sup>a</sup>	3,2±0,2 <sup>a</sup>	2,6±0,0 <sup>a</sup>
	Sen lang vinter	0 ppt	730±4	1213±4 <sup>b</sup>	2954±125 <sup>b</sup>	1,7±0,1 <sup>ab</sup>	3,2±0,2 <sup>a</sup>	2,5±0,1 <sup>a</sup>
<i>Gjennomsnitt utsett 3</i>			854	1383	3058	1,70	2,91	2,36
Fotoperiode			p<0,0001	p<0,001	p=0,05	p=0,09	p<0,05	p<0,01
Salinitet			NS	NS	NS	NS	NS	NS

#### 5.2.4 Velferd i sjøfase

Velferd i sjøfasen ble undersøkt ved sluttuttaket, etter avlaving og vekt, lengde og id-registrering. Noe skjelltap må tilskrives håndtering, avlaving og transport inn til land, så mengden registrert skjelltap er nok høyere enn reell verdi.

**Øyeskader:** Katarakt var dominerende funn blant øyeskadene, og ble registrert hos 168 av 361 fisk (46,5 %), med noen få eksempler på utstående øyne og blødninger i tillegg. Av 361 undersøkte fisk hadde 7 fisk utstående øyne, 6 av score 1, den siste score 2. 5 fisker hadde blødninger, 3 av score 1, 1 av hver av score 2 og 3. Både utstående øyne og blødninger var tilfeldig fordelt i materialet. Gjennomsnittlig score for øyeskade i materialet var 1,02. Alle grader av katarakt var representert, mest score 1 og 2 (Figur 8), og med noe større forekomst på venstre side (sum øyeskader venstre side 176, høyre side 132). Verdien 'fordeling av øyeskader' domineres sterkt av kataraktforekomsten. Det var

ingen forskjeller mellom utsett i forekomst av øyeskader, men det var en effekt av fotoperiode i RAS, med høyere forekomst hos fisk som hadde fått et tidlig vintersignal.



*Figur 8 Eksempel på lavgradig katarakt, score 1, med knapt synlig blakking sentralt i linsa. Typisk funn i materialet (Foto Kirsti Hjelde, Nofima).*

**Gjellelokkskader:** 16 fisk ble registrert med gjellelokkskade, samtlige av grad 1. Syv av disse var på venstre side, 9 på høyre. Utsett 100 og 800 hadde lavere forekomst (begge hadde gjennomsnittlig score på 0,39) enn 300 (gjennomsnittlig score 0,79).

**Snute/kjeveskader:** Siden det var lav forekomst av underkjeveskader ble over- og underkjeve slått sammen. Gjennomsnittlig score av snute/kjeveskade i hele materialet var på 0,64. Det var i all hovedsak snakk om snute- og underkjevesår av varierende grad, mest score 1 og 2, og 4 fisk med score 3. Det var signifikant effekt av merd på denne faktoren, der merd 709 (gjennomsnittlig score 0,73) kom dårligere ut enn merd 710 (gjennomsnittlig score 0,57), men ingen effekter av behandling i RAS eller tidspunkt for utsett.

**Avmagring:** Bare to fisk ble registrert med score 1 avmagring i dette materialet, fra to forskjellige grupper.

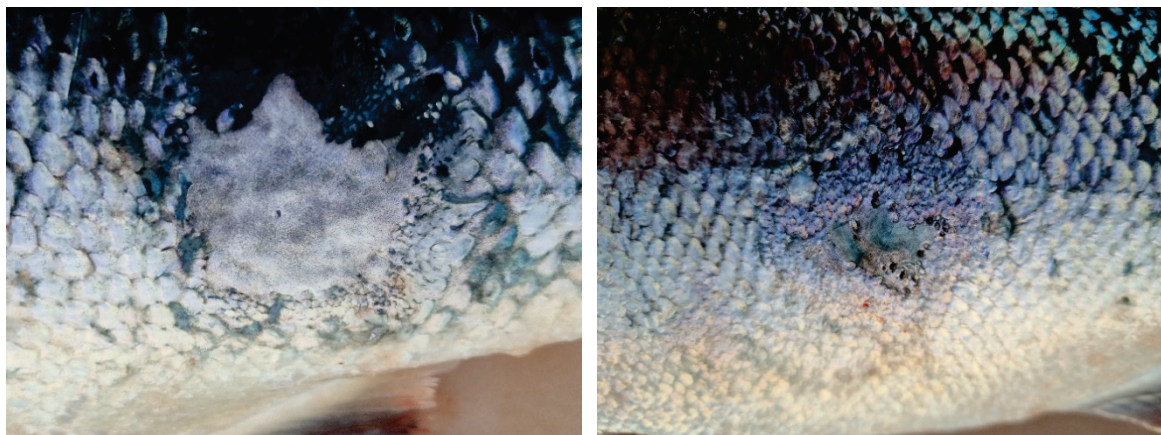
**Ryggradsdeformiteter:** Det var lite utvendig synlige ryggradsdeformiteter i materialet, med en gjennomsnittlig frekvens i hele den undersøkte gruppa på 0,06. 18 fisk hadde registrerte ryggradsdeformiteter, 11 av score 1, 7 av score 2. Det var ikke forskjell mellom gruppene på utvendig score.

**Skinn:** Skjelltap ble registrert etter betydelig håndtering, og lå i gjennomsnitt på score 2. Dette er nok en kunstig høy verdi grunnet en del håndtering før fisken kom inn til vurdering, men det er likevel observert en merdeffekt, der merd 709 kommer litt dårligere ut (gjennomsnittlig score 2,07) enn merd 710 (gjennomsnittlig score 1,96) også her. Det var ingen effekt av behandling i RAS eller tidspunkt for utsett.

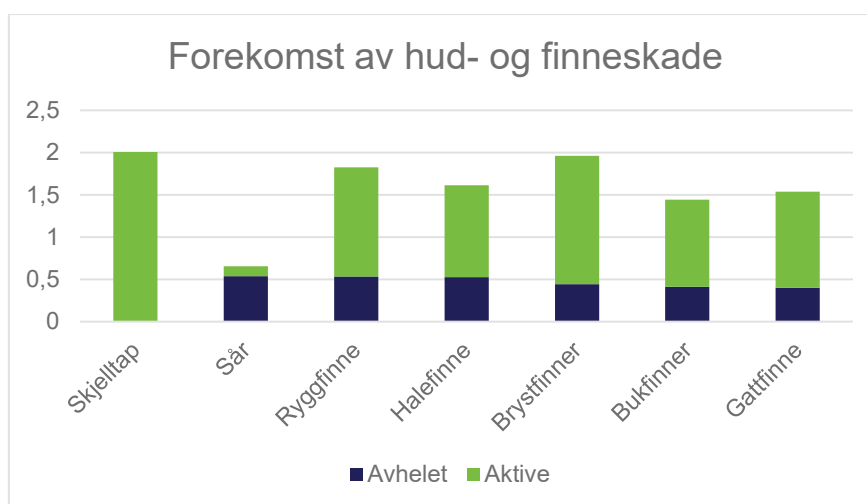
Sår ble delt inn i helede og aktive, siden det var mye vintersår foregående vinter. Det var en høy forekomst av helede sår (Figur 9). Her var det en effekt av utsett, der utsett 300 g (gjennomsnittlig score 0,76 mot 0,43 (100 g-utsett) og 0,39 (800 g-utsett)) kom signifikant dårligere ut enn de to andre. Dette må tolkes opp mot dødelighet og sykdomsforløp, og kan ikke uten videre tilskrives størrelse ved utsett.

Aktive sår i hud hadde lav forekomst (gjennomsnittlig score 0,12) og besto i hovedsak av mindre blødninger som kan skyldes håndtering underveis i uttaket. Alle aktive sår var av score 1.

Finneskader ble registrert som aktive eller helede, og det var ikke forskjeller mellom behandlinger i RAS eller størrelse ved utsett.



Figur 9 Eksempler på gamle, fint helede sår fra dette materialet (Foto Kirsti Hjelde, Nofima)



Figur 10 Score for hud og finneskader ved slakt. Verdier er gjennomsnitt for alle utsett og behandlinger i RAS.

### 5.2.5 Kvalitet ved slakt

#### Farge i filet

Filet ved slakt ble analysert for innhold av astaxanthin og idoxanthin som er en metabolitt av astaxanthin (Tabell 2). Det var ingen signifikante forskjeller mellom de tre utsettene i innhold av astaxanthin i filet. For fisk satt ut ved 160 g var det høyere astaxanthin i filet hos fisk som hadde gått på ferskvann i RAS ( $p < 0,01$ ) og det var en tendens til høyere astaxanthin innhold i fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS ( $p = 0,06$ ), men forskjellene var små (0,2-0,3 mg/kg). For fisk satt ut ved 320 og 850 g var det ingen effekter av salinitet eller fotoperiode i RAS. Innholdet av idoxanthin i filet var litt høyere i fisk satt ut ved 850 g ( $p < 0,01$ ), mens det ikke var noen effekt av lysbehandling og salinitet.

#### Slakteutbytte

Det var ingen signifikante effekter av størrelse ved utsett, eller av fotoperiode og salinitet i RAS på slakteutbytte (Tabell 2). Heller ikke kondisjonsfaktoren (CF) på slaktidspunktet var påvirket av tidspunkt og størrelse ved utsett (Tabell 2). Den eneste effekten av behandling i RAS var en tendens til en høyere CF ved slakt for fisk satt ut ved 160 g som hadde gått på ferskvann i RAS sammenlignet med de som hadde gått på 12 ppt ( $p = 0,05$ ).

Tabell 2 Astaxanthin og metabolitten idoxanthin i NQC ved slakt i de ulike behandlingene, og slakteutbytte og kondisjonsfaktor (CF). Verdier er gjennomsnitt per behandling + SEM (N=2).

Utsett	Fotoperiode i RAS	Salinitet i RAS	Astaxanthin (mg/kg)	Idoxanthin (mg/kg)	Slakteutbytte (%)	CF
13.09	24 t lys	12 ppt	4,7±0,0	0,10±0,0	86,9±0,5	1,27±0,0
	24 t lys	0 ppt	5,1±0,1	0,10±0,0	86,9±0,0	1,29±0,0
	Tidlig vinter	12 ppt	4,7±0,1	0,07±0,0	87,1±0,0	1,25±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	4,9±0,0	0,09±0,0	86,8±0,1	1,31±0,0
Fotoperiode			NS	NS	NS	NS
Salinitet			p<0,01	NS	NS	p=0,05
29.10	24 t lys	12 ppt	4,7±0,3	0,08±0,0	86,7±0,1	1,30±0,0
	24 t lys	0 ppt	4,6±0,2	0,12±0,0	85,9±0,6	1,28±0,0
	Tidlig vinter	12 ppt	4,9±0,2	0,08±0,0	87,1±0,2	1,27±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	5,0±0,3	0,10±0,0	86,6±0,4	1,30±0,0
	Sen vinter	12 ppt	4,3±0,1	0,11±0,0	86,8±0,2	1,29±0,0
	Sen vinter	0 ppt	4,8±0,1	0,10±0,0	86,8±0,1	1,27±0,0
Fotoperiode			NS	NS	NS	NS
Salinitet			NS	NS	NS	NS
24.01	24 t lys	12 ppt	4,5±0,3	0,18±0,0	86,3±0,2	1,30±0,0
	24 t lys	0 ppt	4,6±0,3	0,12±0,0	86,9±0,1	1,27±0,0
	Tidlig vinter	12 ppt	5,0±0,4	0,11±0,0	86,4±0,1	1,27±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	4,5±0,1	0,14±0,1	86,8±0,0	1,30±0,0
	Sen vinter	12 ppt	4,9±0,4	0,14±0,0	87,2±0,6	1,29±0,0
	Sen vinter	0 ppt	4,7±0,2	0,11±0,0	86,8±0,3	1,26±0,0
	Lang vinter	12 ppt	4,9±0,4	0,13±0,0	86,6±0,3	1,30±0,0
	Lang vinter	0 ppt	4,7±0,1	0,16±0,1	86,7±0,2	1,24±0,0
Fotoperiode			NS	NS	NS	NS
Salinitet			NS	NS	NS	NS

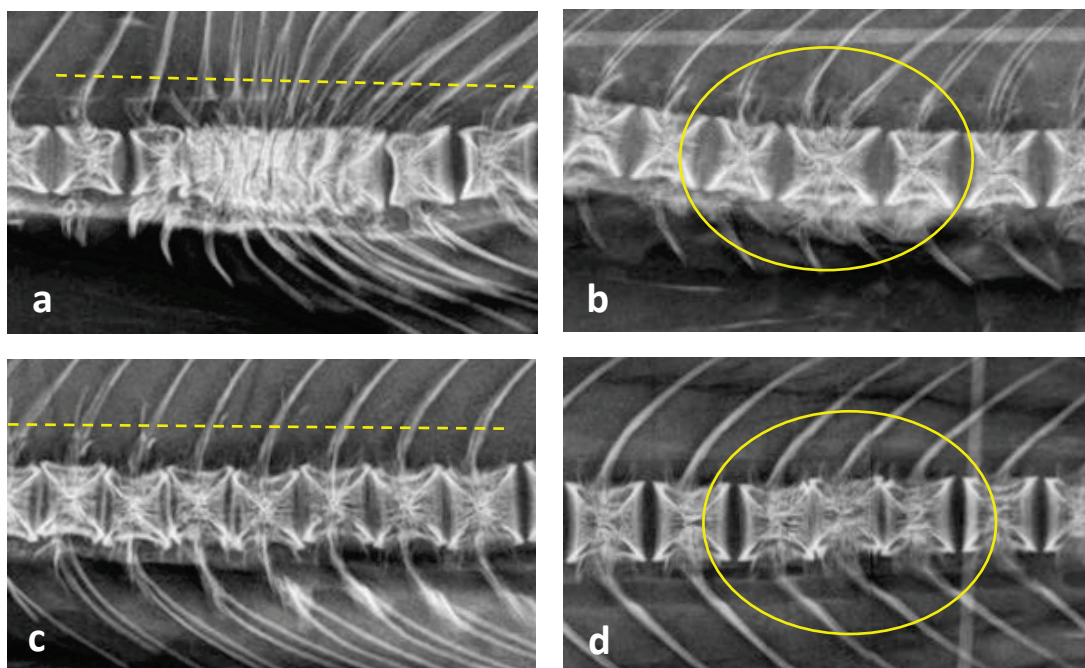
### Deformiteter (røntgenundersøkelse)

Ved røntgenundersøkelse av fisk fra sluttuttaket ble det registrert et tydelig innslag av feil i ryggraden (52 av 360 fisk, 14,4 %). Mange av feilene var små og sannsynligvis uten konsekvens for fiskevelferd eller slaktekvalitet. Røntgenregistreringene samsvarer godt med registreringer av ytre deformitet som er beskrevet i foregående avsnitt (5.1.4). Fiskegruppa sett under ett ville sannsynligvis ha blitt bedømt som rimelig feilfri mht. deformiteter ved kommersielt slakt.

Virvelfeilene var av to ulike typer. Den vanligste var fusjoner (sammenvoksnings) av ulik størrelse (Figur 11a og 11b) som ble registrert hos 34 av 360 fisk (9,4 %). I tillegg ble det registrert korsstingspatologi av ulik grad (Figur 11c og 11d) hos 18 av 360 individer (5 %). Felles for begge patologitypene var at feilene var små hos mange av de affiserte individene.

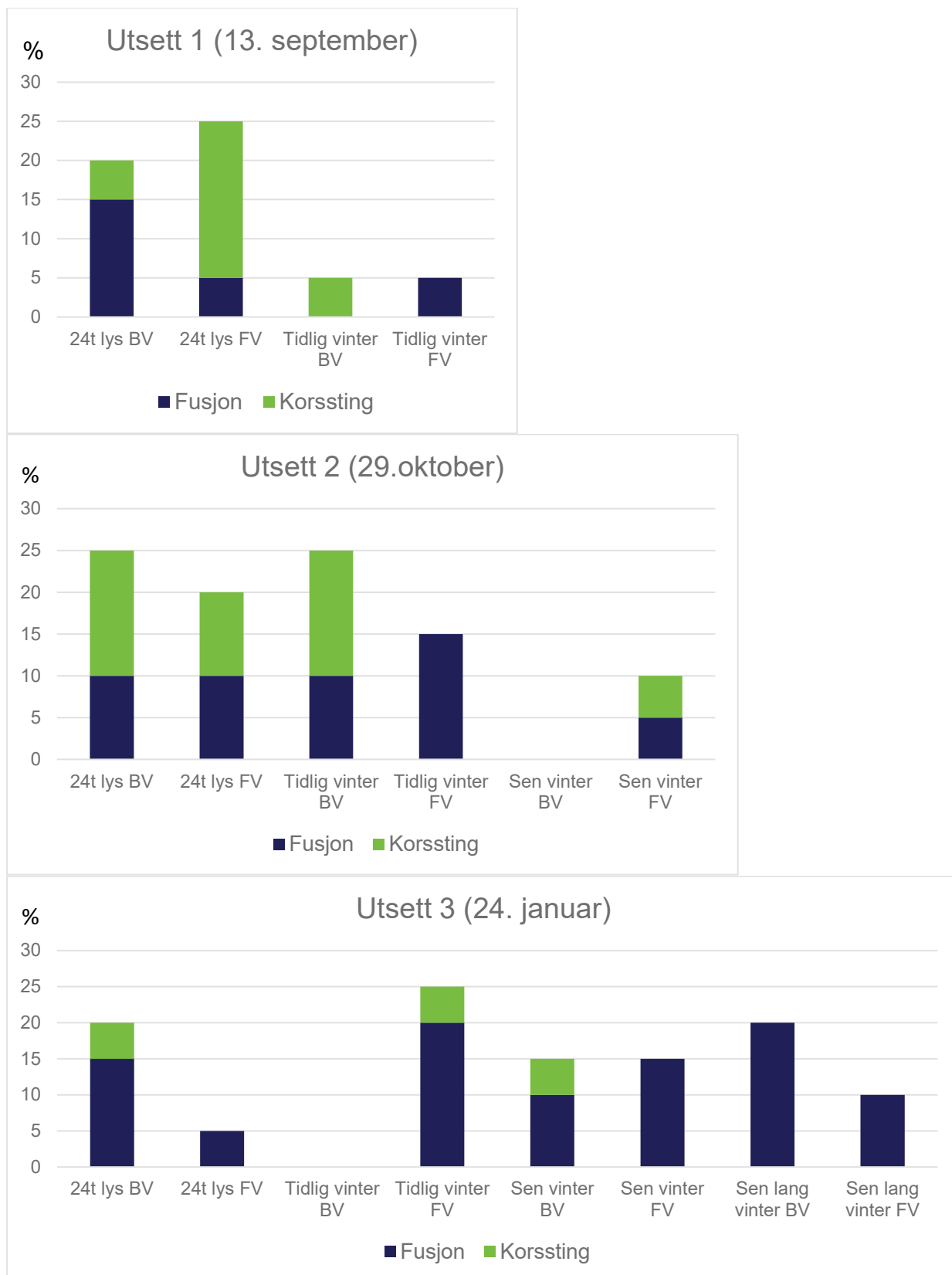
Feilene fordelte seg over alle de ulike behandlingsgruppene (Figur 12). Det var tilsynelatende ingen effekt av ferskvann versus brakkevann. Tidspunkt/størrelse ved utsett viste ulik tendens for de to patologitypene; fusjoner viste en stigende forekomst med økende størrelse ved utsett mens innslaget av korsstingspatologi avtok med økende størrelse.

Størrelsen på lesjonene (snitt antall unormale virvler per fisk med hhv. fusjoner eller korsstingspatologi) varierte, men innenfor samme nivå. Gjennomsnittlig størrelse på fusjoner var 2,5, 4,3 og 3,5 unormale virvler per fisk med fusjoner for utsett 1, 2 og 3. For de ulike fotoperiodene var gjennomsnittsstørrelse mellom 2,5 og 4,2 unormale virvler per lesjon. Tilsvarende ble det observert variasjon i gjennomsnittlig størrelse på lesjoner av korsstingstype. Her var det 3,8, 5 og 2,4 unormale virvler i snitt for fisk i utsett 1, 2 og 3. Dette er svært små forandringer for patologi av denne typen, der det ikke er uvanlig at tilnærmet hele ryggraden er affisert i de verste tilfellene. Effekten av fotoperiode var større. Her var gjennomsnittlig antall korsstingsvirvler per korsstingslesjon 6 for fisk som fikk 24t lys, mens den var 0 for fisk som fikk lang vinter. Hos fisk som fikk tidlig vinter var gjennomsnittstallet 3, mens sein kort vinter ga en gjennomsnittlig størrelse på 2 virvler per korsstingslesjon. Av disse er det bare gruppa med 24t lys som hadde en størrelse på lesjoner som potensielt kunne ha vært av betydning for fiskevelferd eller slaktekvalitet, men også dette tallet er veldig lavt sammenliknet med kliniske tilfeller av korsstingspatologi.



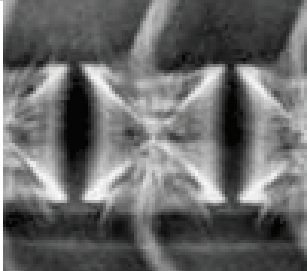
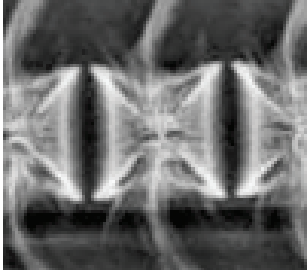

*Figur 11 Typiske virvelfeil i sluttuttaket. A) og b) Fusjoner (sammenvoksninger) av ulik størrelse. a) sammenvoksning med til sammen 12 unormale virvler, som ganske sikkert vil være synlig som ytre deformitet. b) Sammenvoksning av 2 virvler, med begynnende påvirkning av nabovirvlene på hver side. Sannsynligvis uten betydning for fiskevelferd eller slaktekvalitet. c) og d) Korsstingspatologi av ulik grad. c) Utsnitt av ryggraden hos et individ med til sammen 24 unormale virvler med typisk korsstingspatologi. d) En liten lesjon med typisk korsstingspatologi.*

Målinger av forholdstallet mellom lengde og høyde på virvler viste en tendens til effekt av fotoperiode før utsett på lengdevekst av virvlene. Hos fisk på slaktestørrelse forventes nær kvadratiske virvler i det området som ble målt (bak ryggfinnen), dvs. et forholdstall nær 1. I dette materialet var det gjennomsnittlige forholdstallet lavere enn 1 i alle behandlingsgruppene, dvs. at virvlene gjennomgående var litt korte i lengderetningen, dog uten at det var i nærheten av en patologisk forkortning. Hos fisk som fikk kontinuerlig lys og tidlig vintersignal var forholdstallet 0,97. Hos fisk som fikk sent vintersignal og sent langt vintersignal var gjennomsnittstallet hhv. 0,96 og 0,95. Det var større variasjon i forholdstallet enn forventet i alle grupper. I de to første gruppene var forholdstallet <0,95 hos 15 % av fisken. I de to siste (seint vintersignal og seint, langt vintersignal) var forholdstallet <0,95 hos 30 % av fisken. Eksempel på virvler med forholdstall 1, 0,95 og 0,9 er vist i Figur 13.



Figur 12 Fordeling av virvelfeil ved avslutning av merdforsøket, sortert etter utsett, fotoperiode og salinitet. Figuren viser % av undersøkt fisk innen hver gruppe som fikk registrert enten fusjoner eller korsstingspatologi.



	<p>Forholdstall bredde:høyde ~1</p>
	<p>Forholdstall bredde:høyde 0,95</p>
	<p>Forholdstall bredde:høyde 0,9</p>

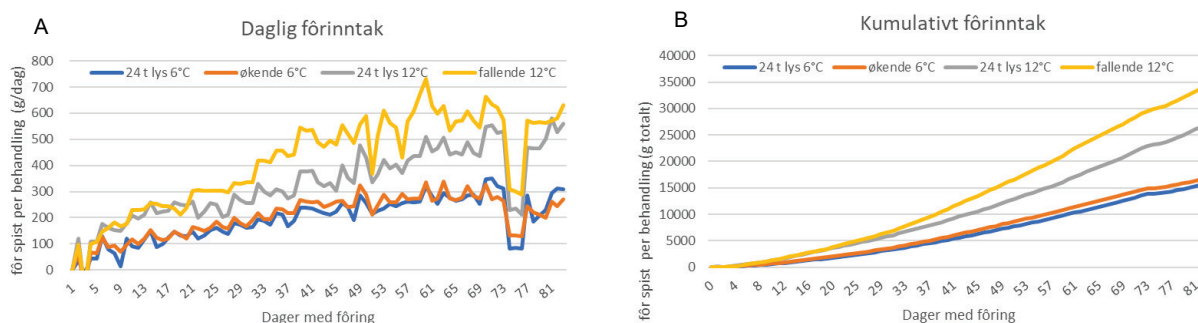
*Figur 13 Eksempel på virvler med ulik relativ lengde, dvs. ulikt forholdstall mellom bredde og høyde på røntgenbildet*

## 5.3 Prestasjon i kar med sjøvann

### 5.3.1 Utsett 1 (13 september)

#### Vekst og overlevelse

Det ble ikke registret dødelighet i løpet av de 12 ukene i sjøvann for de 4 behandlingene. Fisken så ut til å håndtere overføring til sjøvann bra, fôrintaket kom i gang i løpet av den første uka både på 6 og 12 °C (Figur 14). Fôrintaket var høyere på 12 enn på 6 °C allerede fra starten av forsøket. Fôrintaket på 6 °C var likt for økende daglengde og 24 t lys, mens det på 12 °C var en tydelig økning i fôrintak på fallende daglengde fra om lag 3 uker sammenlignet med fisk på kontinuerlig lys, og etter 12 uker var fôrintaket 27 % høyere i fisk på fallende daglengde sammenlignet med fisk på 24 t lys.



Figur 14 Fôrintak per dag første 60 dager etter utsett (A) og kumulativt fôrintak i hele forsøket (B) for utsett 1 (snittvekt ved utsett 160 g). N=2 kar per behandling.

Ettersom fisk som hadde fått 4 ulike behandlinger i RAS gikk i felles kar i sjøvann, var det ikke mulig å følge fôrintaket til de ulike behandlingene fra RAS. Det er derfor heller ikke beregnet FCR, ettersom dette ville vært mest interessant å sett på for de ulike behandlingene i RAS. Men vekst for de ulike behandlingene fra RAS ble beregnet, ettersom fisken var individmerket med PIT. Sluttvekt og vektøkning (gain) var naturlig nok høyere på 12 enn på 6 °C, men TGC var høyere på lav temperatur (Tabell 3). Det var høyere vekst på fallende daglengde enn på kontinuerlig 24 t lys, mens det ikke var noen effekt av fotoperiode på veksthastighet ved 6 °C (Tabell 3). Det var tydelige effekter av behandling i RAS på vekst i sjø, men det var også ulike respons hos fisken på vår og høst forhold i sjøfasen avhengig av hvilken fotoperiode den hadde gått på i RAS (Tabell 3). Et vintersignal i RAS var svært gunstig for vekst i sjøvann på høy temperatur og fallende daglengde (høst), både TGC, SGR, og % vektøkning (% gain) var høyere i fisk som hadde fått et tidlig vintersignal i RAS ( $p < 0,001$ ). Men det var derimot ikke en signifikant effekt av et vintersignal i RAS på vekst når fisken ble satt ut på 12 °C og kontinuerlig lys. I begge tilfeller var imidlertid fisken som hadde gått på 24 t lys i RAS størst etter 12 uker i sjø, fordi de var større ved utsett. For fisk som ble satt ut ved 6 °C og økende daglengde var det derimot fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS som hadde høyest TGC ( $p < 0,001$ ). Salinitet i RAS hadde ikke en signifikant effekt på vekst i sjøvann ved 6 °C, uavhengig av fotoperiode i RAS og i sjøvann. Ved utsett på 12 °C var det ingen effekt av salinitet i RAS på vekst på 24 t lys i sjøvann, men det var en positiv effekt av brakkvann i RAS på % vektøkning og SGR på fallende daglengde ( $p < 0,05$ ).

#### Kjønnsmodning

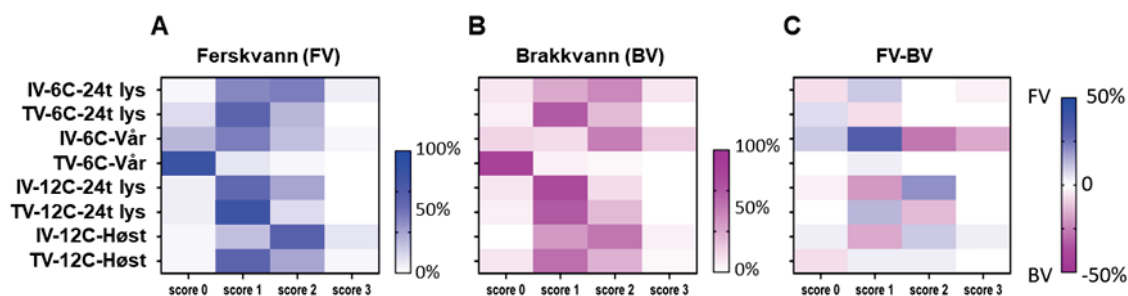
Det var kun to registrerte modnende hannfisk ved avslutning etter 12 uker.

Tabell 3 Vekst i kar med sjøvann på 4 ulike behandlinger for fisk satt ut 13 september med en snittvekt på ca. 160 g ved utsett. N=2 kar per behandling. Fisken hadde fått 4 ulike behandlinger i RAS, enten 24 t lys eller et tidlig vintersignal (12:12 lys:mørke) i 6 uker, i kombinasjon med enten ferskvann eller brakkvann (12 ppt) i RAS. Forskjeller mellom behandlinger i RAS for hver behandling i sjøvann (Student's t-test) er angitt ved ulike bokstaver.

Behandling i sjø	Fotoperiode RAS	Salinitet RAS	Sluttvekt (g)	Gain (g)	Gain (%)	TGC	SGR
12 °C +	24 t lys	12 ppt	729±56 <sup>a</sup>	541±46	288±8 <sup>c</sup>	3,22±0,1	1,60±0,0 <sup>c</sup>
fallende dag	24 t lys	0 ppt	740±15 <sup>a</sup>	542±16	274±9 <sup>c</sup>	3,17±0,1	1,56±0,0 <sup>c</sup>
(høst)	Tidlig vinter	12 ppt	646±3 <sup>b</sup>	504±5	356±6 <sup>a</sup>	3,40±0,0	1,81±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	659±9 <sup>b</sup>	505±8	328±4 <sup>b</sup>	3,31±0,0	1,73±0,0 <sup>b</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0263	0,1499	0,0003	0,0651	0,0002
	Salinitet RAS		0,6737	0,9723	0,0320	0,3335	0,0270
12 °C +	24 t lys	12 ppt	655±53 <sup>ab</sup>	467±49 <sup>ab</sup>	248±21	2,90±0,2	1,47±0,1
24 t lys	24 t lys	0 ppt	705±39 <sup>a</sup>	504±38 <sup>a</sup>	250±17	3,00±0,2	1,48±0,1
	Tidlig vinter	12 ppt	522±0 <sup>c</sup>	371±3 <sup>b</sup>	244±7	2,68±0,0	1,47±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	567±1 <sup>bc</sup>	408±0 <sup>ab</sup>	258±1	2,82±0,0	1,50±0,0
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0059	0,0179	0,8826	0,1425	0,8677
	Salinitet RAS		0,1698	0,2327	0,5408	0,3647	0,5885
6 °C +	24 t lys	12 ppt	499±3 <sup>a</sup>	303±4 <sup>a</sup>	155±3	3,84±0,1 <sup>ab</sup>	1,10±0,0
økende dag	24 t lys	0 ppt	508±7 <sup>a</sup>	312±5 <sup>a</sup>	159±1	3,96±0,0 <sup>a</sup>	1,13±0,0
(vår)	Tidlig vinter	12 ppt	386±4 <sup>b</sup>	236±6 <sup>b</sup>	157±6	3,57±0,1 <sup>bc</sup>	1,11±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	384±8 <sup>b</sup>	231±5 <sup>b</sup>	151±0	3,50±0,0 <sup>c</sup>	1,09±0,0
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		<0,0001	<0,0001	0,4239	0,0062	0,7008
	Salinitet RAS		0,6112	0,7688	0,7976	0,7798	0,8139
6 °C +	24 t lys	12 ppt	525±26 <sup>a</sup>	317±17 <sup>a</sup>	152±2 <sup>ab</sup>	3,87±0,1	1,09±0,0 <sup>ab</sup>
24 t lys	24 t lys	0 ppt	484±17 <sup>a</sup>	285±13 <sup>ab</sup>	143±4 <sup>b</sup>	3,67±0,1	1,05±0,0 <sup>b</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	397±12 <sup>b</sup>	240±6 <sup>bc</sup>	156±2 <sup>a</sup>	3,56±0,0	1,12±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	381±14 <sup>b</sup>	232±10 <sup>c</sup>	152±1 <sup>ab</sup>	3,56±0,1	1,10±0,0 <sup>ab</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0025	0,0056	0,0492	0,0694	0,0308
	Salinitet RAS		0,5757	0,4720	0,0453	0,2946	0,1117

### Nefrokalsinose

Nefrokalsinose ble scoret med en skala fra 0-4. Gjennomsnittscore for alle behandlinger var under 2, som indikerer kun milde forandringer som ikke anses for å være et problem for fisken (Figur 15). Det var få effekter av behandling i RAS på score for nefrokalsinose, men fisk på 24 t lys i RAS hadde litt høyere score (1,6) sammenlignet med fisk som fikk et tidlig vintersignal (1,3) Det var ikke noen signifikant effekt av salinitet i RAS på score for nefrokalsinose i sjøvann. Behandling i sjøfasen hadde derimot effekt på forekomst av nefrokalsinose, behandling vår (6 °C og økende daglengde) ga litt lavere score (1,2) enn høst behandlingen (gjennomsnitt score 1,5) ( $p < 0,05$ ).



Figur 15 Oversikt over frekvens av nefrokalsinose for fisk overført til kar med sjøvann ved ca. 160 g. A) Fisk i ferskvann i RAS, B) fisk i brakkvann i RAS, C) Forskjell mellom fisk i ferskvann og brakkvann i RAS. Mørkere farge indikerer høyere score. IV = Ingen vinter, TV = Tidlig vinter.

### Ytre velferdsindikatorer

Ytre scoring av velferd ble registrert i henhold til Welfare Indicators for farmed Atlantic Salmon: tools for assessing fish welfare (Noble et al 2018), men noen registreringer ble slått sammen eller strøket på grunn av lav eller ingen forekomst. Det var ingen signifikante effekter av behandling i RAS. Effektene av behandling i sjø er vist under hver enkelt parameter (Figur 16 a-c).

**Øyeskader:** Det var et tydelig innslag av øyeskader (89 fisk av 478, 18,6 %), hovedsakelig som katarakt, men også som blødninger hos seks av de 89 med forandringer. Gjennomsnittlig score for fisk med øyeskader er 2,88. Gjennomsnittlig score for øyeskader i hele materialet er 0,53. Det var ingen effekt av behandling i RAS på forekomst av øyeskader. Det var imidlertid en effekt av behandling i sjø på øyeskader, med høyest score i gruppe 12 °C + 24t lys (gjennomsnittlig score 1,42), og lavest score på 6 °C + 24t lys (gjennomsnittlig score 0,07) (Figur 16 a).

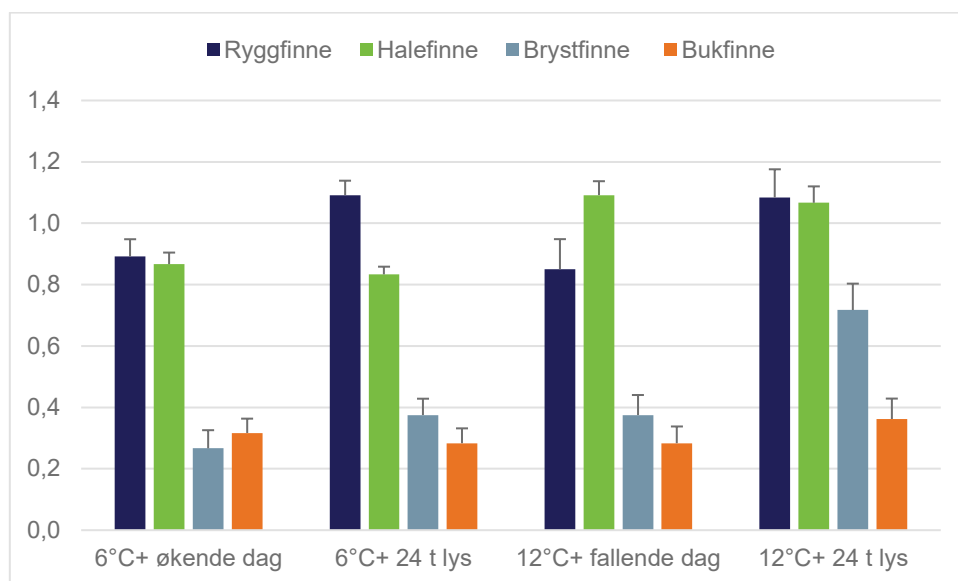
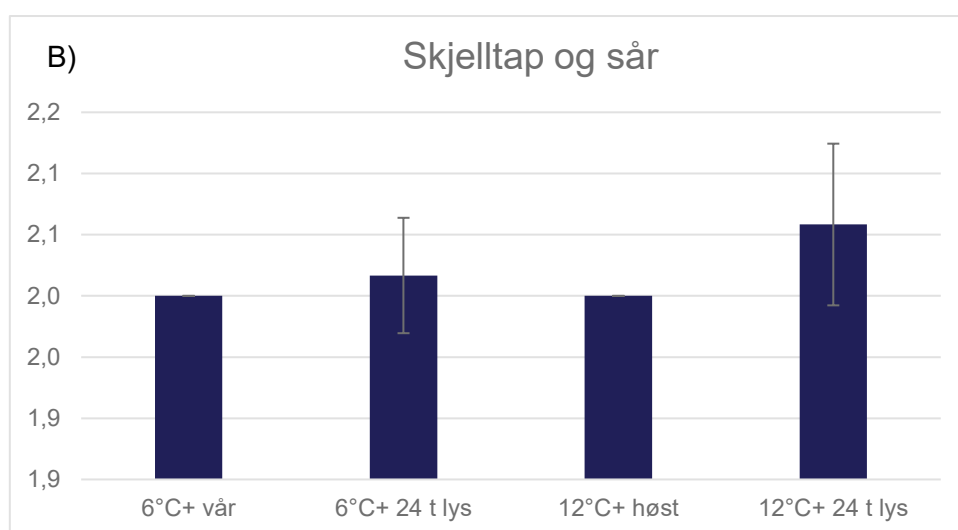
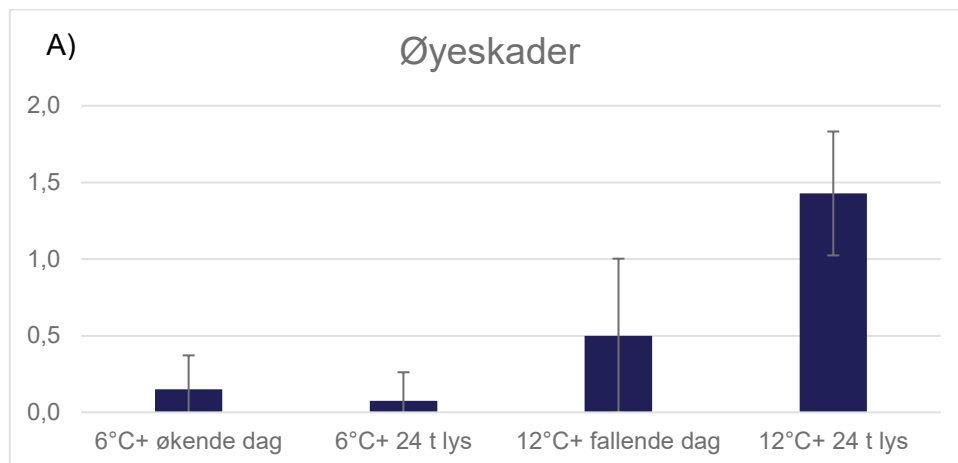
**Gjellelokkforkortelse:** Det var ikke registrert gjellelokkforkortelse i dette materialet.

**Snuteskader:** Det var registrert snuteskader hos 318 fisk av 479 (66,4 %). Gjennomsnittlig score på de med snuteskader er 1,5, gjennomsnittlig score på all fisk i gruppa er 1,0. Det var lavere innslag av snuteskader på fisk fra gruppa 6 °C + 24t lys (gjennomsnittlig score 0,65) enn de andre gruppene.

**Kjevedeformiteter:** Det var registrert to fisk med kjevedeformiteter, en med score 1 og en med score 2. Disse var tilfeldig fordelt.

**Skinn:** Det var registrert skinnforandringer score 2 eller mer hos all fisk (100 %). Skjelltap scores som 2 hvis det er mer enn noen få skjell løsnet, så håndtering under uttak står for mye av denne scoringen. I tillegg til skjelltap var det registrert blødninger hos 247 fisk (52 %), blødninger og sår hos 120 fisk (25 %) og sår hos 2 fisk (0,4 %). Forekomsten av skinnskader var høyere i gruppe 12 °C + 24t lys (Figur 16b)

**Finner:** Hale- og brystfineskader hadde effekt av behandling i sjø, der begge 12 °C-gruppene hadde høyere frekvens av skade på halefinne, og 12 °C + 24t lys på brystfinne (Figur 16 c).



Figur 16 Fordeling av score for A) øyeskader, B) skjelltap og sår, C) finneskader fordelt på behandling i kar med sjøvann. Behandlinger i RAS er slått sammen da de ikke var signifikant forskjellige.

## Deformiteter (røntgen)

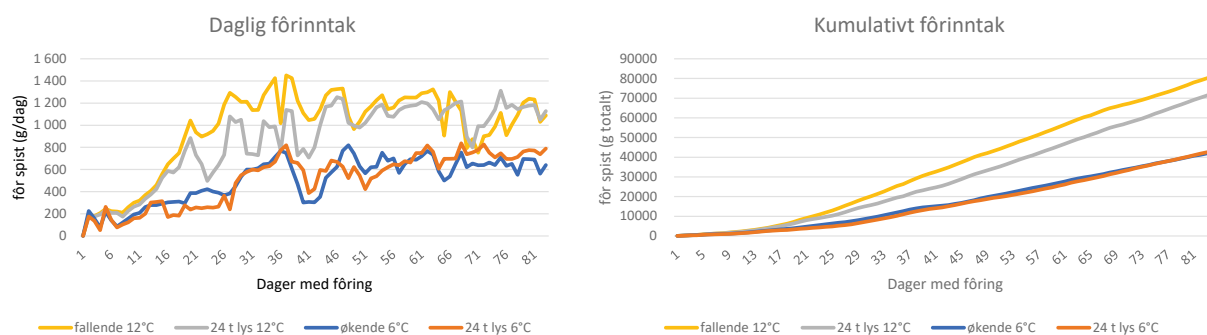
Ved avslutning av karforsøket med fisken fra utsett 1 ble det registrert virvelfeil hos 9 av 157 fisk (6 %) som ble undersøkt på røntgen (9-10 fisk per kombinasjon av fotoperiode, salinitet, vanntemperatur og lysregime i sjø). Alle registreringene var fusjoner (sammenvoksinger av virvler) av ulik grad (se Figur 11 a og b). Den gjennomsnittlige størrelsen på fusjonene var 5 unormale virvler. Hos tre av ni individer var sammenvoksingene så små (<4 virvler) at de neppe ville hatt betydning, verken for fiskevelferd eller kvalitet. Hos de øvrige 6 (4 %) var feilene av en størrelse som erfaringsmessig kunne ha gitt synlig deformitet ( $\geq 4$  unormale virvler). Feilene fordelte seg likt på temperaturgrupper og øvrige behandlinger.

### 5.3.2 Utsett 2 (29 oktober)

#### Vekst og overlevelse

Det ble kun registrert to dødfisk i løpet av 12 uker i sjøvann. Det ble satt ut totalt 960 fisk, så det tilsvarer en dødelighet på 0,2 %. Det var signifikante effekter av fotoperiode i RAS på vekt ved utsett (gjennomsnitt var 348, 326 og 276 g for fisk på henholdsvis 24 t lys, sen vinter og tidlig vinter i RAS). Det var ingen signifikant effekt av salinitet i RAS på vekt ved utsett.

Som for utsett 1 kom fôrintaket i gang i løpet av den første uka i sjøvann for alle behandlinger (Figur 17). Fra uke 2 økte fôrintaket i 12 °C behandlingene, og etter om lag 3 uker begynte fisken på fallende daglengde å øke fôrintaket sammenlignet med fisken på 12 °C og 24 t lys. Derfor var også det kumulative fôrintaket høyere for fisk på fallende daglengde, men forskjellen var mindre enn for utsett 1 (160 g i snitt ved utsett). Fôrintaket for fisk på 6 °C var identisk på økende dag og 24 t lys.



Figur 17 Fôrintak per dag (A) og kumulativt fôrintak i hele forsøket (B).  $N=2$  kar per behandling for utsett 2.

Vekst for utsett 2 er vist i Tabell 4. Det var samme effekt av fotoperiode i sjøfasen som for fisk satt ut ved 160 g, med bedre tilvekst på fallende dag enn ved kontinuerlig lys ( $p<0,05$ ). På fallende daglengde var det en positiv effekt av brakkvann i RAS på tilvekst i sjøvann ( $p<0,01$ ) hos fisk som hadde fått et tidlig eller sent vintersignal i RAS, mens det ikke var tilfelle hos fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS. Størst effekt hadde imidlertid fotoperiode i RAS på tilvekst i sjøvann, fisk som hadde fått et tidlig vintersignal hadde høyere tilvekst enn de to andre gruppene og tok nesten igjen forspranget til de andre gruppene. Det var derfor ingen signifikante forskjeller i sluttvekt etter 12 uker på fallende dag og 12 °C, og ingen forskjell i tilvekst mellom fisk som fikk et tidlig eller sent vintersignal. Også for fisk på kontinuerlig lys i sjø ved 12 °C var det best tilvekst for fisk som hadde fått et tidlig vintersignal i RAS ( $p<0,0001$ ). Men i motsetning til fisk på fallende daglengde, så hadde fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS bedre vekst enn fisk som hadde fått et sent vintersignal. Fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS hadde høyest sluttvekt ( $p<0,01$ ), mens fisk som hadde fått enten ett tidlig eller sent vintersignal ikke hadde forskjellig sluttvekt. Brakkvann i RAS var positivt for tilvekst også for fisk på kontinuerlig lys i sjøvann ( $p<0,05$ ).

På 6 °C var tilveksten lik på økende daglengde og kontinuerlig lys. Også på 6 °C hadde fisk som hadde fått et tidlig vintersignal best tilvekst i sjø ( $p<0,0001$ ). Men fisk som hadde fått et sent vintersignal hadde

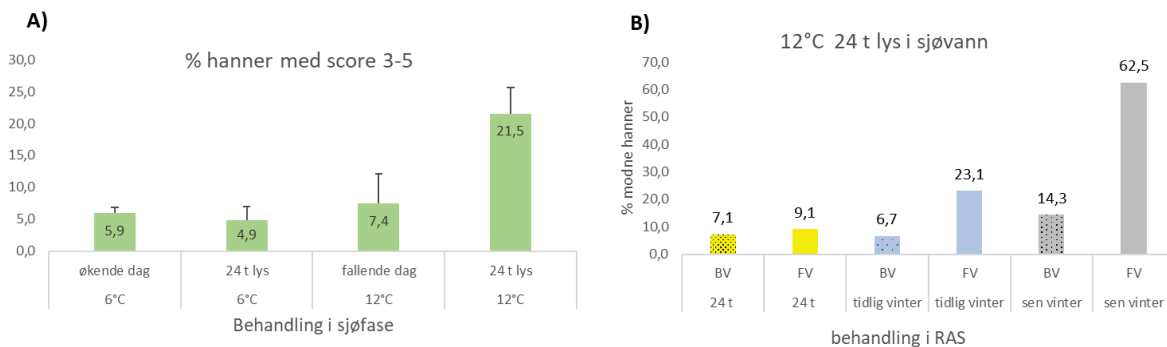
dårligere tilvekst enn fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS. Til tross for bedre tilvekst klarte ikke fisk som hadde fått tidlig vintersignal å ta igjen forspranget til fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS. De var fortsatt størst etter 12 uker i sjøvann, både på økende daglengde og kontinuerlig lys ( $p < 0,0001$ ) fordi de var større ved utsett (Tabell 1). Fisk som hadde fått henholdsvis et sent og tidlig vintersignal i RAS hadde ikke signifikant forskjellig sluttvekt etter 12 uker i sjøvann på 6 °C.

Tabell 4 Vekst i kar med sjøvann på 4 ulike behandlinger for fisk satt ut 29 oktober med en snittvekt på ca. 320 g ved utsett. N=2 kar per behandling. Fisken hadde fått 24 t lys eller et tidlig vintersignal (fra 50 g) eller et sent vintersignal (fra 120 g) i 6 uker, i kombinasjon med enten ferskvann eller brakkevann (12 ppt) i RAS. Forskjeller mellom behandlinger i RAS for hver behandling i sjøvann (Student's t-test) er angitt ved ulike bokstaver.

Behandling i sjø	Fotoperiode RAS	Salinitet RAS	Vekt (g)	Gain (g)	Gain (%)	TGC	SGR
12 °C +	24 t lys	12 ppt	1096±50	747±32	214±2 <sup>bc</sup>	3,29±0,0 <sup>b</sup>	1,39±0,0 <sup>bc</sup>
fallende dag	24 t lys	0 ppt	1156±90	797±78	222±16 <sup>bc</sup>	3,38±0,2 <sup>ab</sup>	1,40±0,1 <sup>bc</sup>
(høst)	Tidlig vinter	12 ppt	1084±22	820±22	312±9 <sup>a</sup>	3,91±0,1 <sup>a</sup>	1,73±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	1029±31	736±28	252±10 <sup>b</sup>	3,49±0,1 <sup>ab</sup>	1,53±0,0 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	12 ppt	1084±33	766±28	241±6 <sup>bc</sup>	3,47±0,1 <sup>ab</sup>	1,49±0,0 <sup>bc</sup>
	Sen vinter	0 ppt	1025±43	685±39	201±10 <sup>c</sup>	3,11±0,1 <sup>b</sup>	1,33±0,0 <sup>c</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,2827	0,4341	<0,0001	0,0094	<0,0001
	Salinitet RAS		0,6561	0,2966	0,0016	0,0453	0,0074
12 °C +	24 t lys	12 ppt	1081±34 <sup>ab</sup>	752±24 <sup>ab</sup>	229±3 <sup>c</sup>	3,39±0,0 <sup>b</sup>	1,45±0,0 <sup>c</sup>
24 t lys	24 t lys	0 ppt	1127±7 <sup>a</sup>	763±4 <sup>a</sup>	210±3 <sup>d</sup>	3,29±0,0 <sup>b</sup>	1,37±0,0 <sup>d</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	1013±40 <sup>bc</sup>	743±24 <sup>ab</sup>	277±9 <sup>a</sup>	3,62±0,0 <sup>a</sup>	1,62±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	977±47 <sup>c</sup>	699±41 <sup>bc</sup>	251±10 <sup>b</sup>	3,43±0,1 <sup>b</sup>	1,53±0,0 <sup>b</sup>
	Sen vinter	12 ppt	1002±32 <sup>c</sup>	669±26 <sup>cd</sup>	201±6 <sup>d</sup>	3,09±0,1 <sup>c</sup>	1,33±0,0 <sup>de</sup>
	Sen vinter	0 ppt	959±25 <sup>c</sup>	621±26 <sup>d</sup>	184±9 <sup>e</sup>	2,93±0,1 <sup>d</sup>	1,27±0,0 <sup>e</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0027	0,0011	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Salinitet RAS		0,6898	0,2184	0,0027	0,0159	0,0034
6 °C +	24 t lys	12 ppt	819±30 <sup>a</sup>	465±16 <sup>a</sup>	131±2 <sup>c</sup>	4,40±0,1 <sup>bc</sup>	1,02±0,1 <sup>b</sup>
økende dag	24 t lys	0 ppt	776±31 <sup>b</sup>	434±23 <sup>bc</sup>	127±5 <sup>c</sup>	4,21±0,3 <sup>c</sup>	0,99±0,1 <sup>b</sup>
(vår)	Tidlig vinter	12 ppt	741±14 <sup>bc</sup>	471±12 <sup>a</sup>	175±5 <sup>a</sup>	4,90±0,2 <sup>a</sup>	1,21±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	727±17 <sup>c</sup>	444±18 <sup>ab</sup>	158±10 <sup>b</sup>	4,68±0,4 <sup>ab</sup>	1,15±0,1 <sup>a</sup>
	Sen vinter	12 ppt	736±21 <sup>bc</sup>	410±16 <sup>c</sup>	126±3 <sup>c</sup>	4,14±0,2 <sup>c</sup>	0,99±0,1 <sup>b</sup>
	Sen vinter	0 ppt	680±18 <sup>d</sup>	354±15 <sup>d</sup>	109±4 <sup>d</sup>	3,69±0,2 <sup>d</sup>	0,90±0,1 <sup>c</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0021	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Salinitet RAS		0,0500	0,0102	0,0120	0,0096	0,0129
6 °C +	24 t lys	12 ppt	812±23 <sup>a</sup>	474±17 <sup>a</sup>	140±3	4,55±0,1	1,06±0,0
24 t lys	24 t lys	0 ppt	793±17 <sup>ab</sup>	451±13 <sup>ab</sup>	132±2	4,36±0,1	1,02±0,0
	Tidlig vinter	12 ppt	727±16 <sup>ab</sup>	456±17 <sup>ab</sup>	170±12	4,92±9,2	1,22±0,1
	Tidlig vinter	0 ppt	717±9 <sup>b</sup>	446±7 <sup>ab</sup>	164±2	4,78±0,1	1,19±0,0
	Sen vinter	12 ppt	731±17 <sup>ab</sup>	419±13 <sup>ab</sup>	135±5	4,29±0,1	1,04±0,0
	Sen vinter	0 ppt	722±17 <sup>b</sup>	385±14 <sup>b</sup>	114±3	3,89±0,1	0,93±0,0
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		<0,0001	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Salinitet RAS		0,3554	0,0566	0,0273	0,0148	0,0101

## Kjønnsmodning

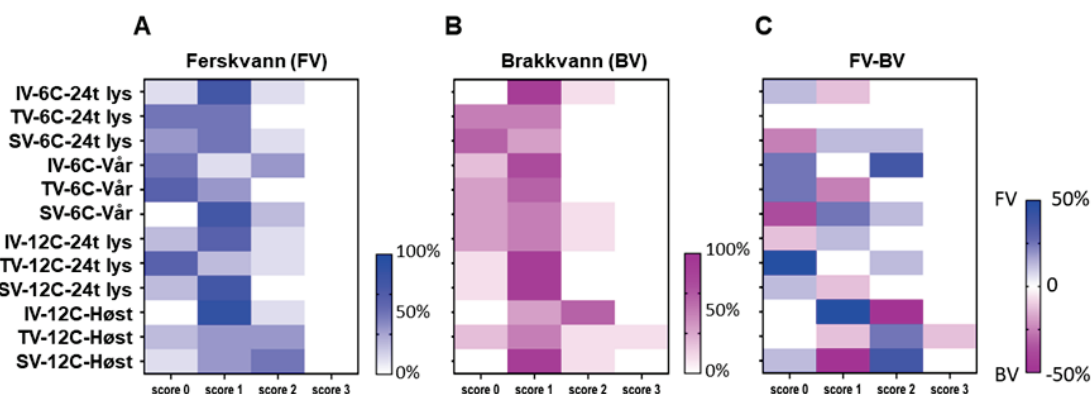
Det var en større andel hanner som kjønnsmodnet (score 3-5) i behandlingen 12 °C + 24 t lys enn i de andre behandlingene i sjøfasen (Figur 18 A), og det var særlig av hanner som hadde fått et sent vintersignal og gått på ferskvann i RAS som kjønnsmodnet, her var 62,5 % av hannene scoret 3-5. (Figur 18 B).



Figur 18 (A) % andel hanner som var registrert som kjønnsmoden eller modnende ved avslutning etter 12 uker i ulike behandlinger i sjøvann. (B) % modne hanner i sjøvann (12 °C + 24 t lys) fordelt på behandling de hadde fått i RAS. Verdier er gjennomsnitt + SEM (N=2).

## Nefrokalsinose

Nefrokalsinose (Figur 19) var også her scoret til lave verdier (gjennomsnitt på mellom 0,3 og 1,3 for de ulike behandlinger). Det var imidlertid også her noen effekter av behandling i RAS med høyere score i fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS (score 1,0) eller fått et sent vintersignal (score 0,9) sammenlignet med fisk som hadde fått et tidlig vintersignal (score 0,7). Det var ingen effekt av salinitet i RAS. Behandling i sjøfasen hadde også en effekt på score, fisk som gikk på 12 °C og fallende daglengde hadde litt høyere score (1,2) enn de andre behandlingene i sjø (0,7-0,8). Det var også en svak interaksjon mellom behandling i RAS og i sjøfasen. For utsett på vår var det lavere score i fisk som hadde fått et tidlig vintersignal i RAS. For utsett på høst var det lavere score i fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS.



Figur 19 Oversikt over frekvens av nefrokalsinose for fisk overført til kar med sjøvann ved ca. 320 g. A) Fisk i ferskvann i RAS, B) fisk i brakkvann i RAS, C) Forskjell mellom fisk i ferskvann og brakkvann i RAS. Mørkere farge indikerer høyere score. IV = Ingen vinter, TV = Tidlig vinter.

## Ytre velferdsindikatorer:

Ytre velferdsindikatorer ble scoret på i alt 591 fisk i dette utsettet. Det var få effekter av behandling i RAS, men en del effekter av behandling i sjøvann.



**Øyeskader:** Det ble observert øyeskader på 215 av 591 undersøkte fisk (36 %). 24 av disse var blødninger, resten var katarakt av varierende grader. 61 % av fisk med øyeskader var av grad 1, 30 % av grad 2, 3 % av grad 3 og 6 % av grad 4. Gjennomsnittlig score i hele materialet var 0,56. Det var litt høyere score på øyeskader, i praksis katarakt, i fisk på 24t lys og 12 °C i sjøvann enn i de andre behandlingene ( $p < 0,05$ ) og en tendens til høyere score for katarakt i fisk som gikk på ferskvann i RAS ( $p = 0,08$ ).

**Gjellelokkskader:** Det ble ikke funnet i dette materialet.

**Kjeve- og snuteskader:** Det var en del snuteskader i materialet (26 % av de undersøkte), i hovedsak observert som småsår på snuten. 147 av de 155 (95 %) hadde anmerkning av grad 1, resten av grad 2. Gjennomsnittlig score for snuteskader i hele materialet var 0,43. Begge 12-gradersbehandlingene i sjøvann kom dårligere ut på snute- og overkjeveskader, med signifikant høyere forekomst, henholdsvis 0,58 og 0,41 i gjennomsnittlig score. Underkjeveskader var registrert på 46 fisk, alle med score 1. Gjennomsnittlig score i hele materialet var 0,08. Det var høyere frekvens (0,15) hos fisk som gikk på 24t lys +12 °C i sjøvann ( $p < 0,05$ ). Det var ingen effekt av behandling i RAS på snute og kjeveskader.

**Ryggradsdeformiteter:** Ryggradsdeformiteter registrert ved ytre scoring var registrert på 11 fisk av 591 (1,9 %). 8 av grad 1 og 3 av grad 2. Disse fordelte seg tilfeldig i materialet.

**Skinn- og hudskader:** Skjelltap av score 2 var registrert på praktisk talt all fisk, og gjennomsnittlig score på hele materialet var på 2,04. Det var en effekt av behandling i sjø ( $p < 0,05$ ), fisk satt ut på høst (12 °C + fallende daglengde) hadde høyest score (middelverdien på 2,09) og fisk satt ut på vår (6 °C + økende dag) hadde lavest score (1,99).

**Finneskader:** Gjennomsnittlig score på registrert finneskade var fra 1,55 (ryggfinne) stigende med 1,57 (brystfinne), 1,73 (bukfinne), til 1,88 på halen. Det var kommentarer på finneskader på nesten all fisken, og de fleste skadene var i form av småblødninger eller splitting. Det var ingen signifikante effekter av behandling i RAS på finneskader, men det var effekter av behandling i sjøvann på alle typer finner, unntatt ryggfinne. Ryggfinna hadde høyest andel helede skader, med 45 % helede, 50 % aktive og 5 % skadefri fisk, de andre finnene hadde stor overvekt av aktive skader, særlig finnesplitting. Det var en effekt av behandling i sjøvann på skade på halefinna. Utsett på høst ga høyere score enn de andre behandlingene i sjø (score 2,17,  $p < 0,0001$ ). Også brystfineskader var mer utbredt på 12 °C ( $p < 0,0001$ , score 1,72) enn på 6 °C i sjøvann (score 1,46). På bukfinneskader kom behandling høst (12 °C + fallende dag) litt dårligere ut enn de andre behandlingene ( $p < 0,001$ , score 1,9).

### **Deformiteter (røntgen)**

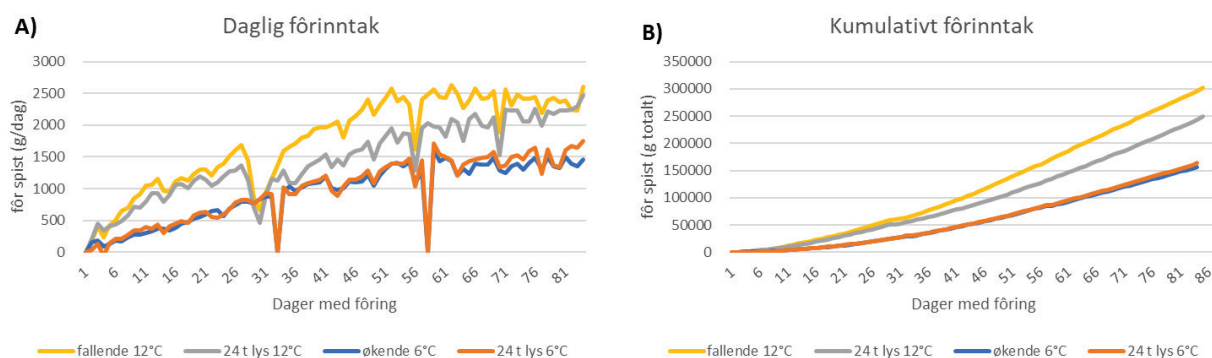
Fra karforsøket med fisk fra utsett ved 320 g ble det undersøkt 274 fisk med røntgen ved avslutning etter 12 uker i sjøvann, fordelt med 10-12 fisk per kombinasjon av behandlinger (fotoperiode, salinitet, vanntemperatur og lysregime i sjø). Det ble registrert virvelfeil hos 24 av 274 fisk (9 %), og hos alle fisk unntatt en var det fusjoner (sammenvoksinger) (se Figur 11). Den siste fisken hadde en enkelt høytetthetsvirvel. Gjennomsnittlig størrelse av fusjonene var 4 unormale virvler per fisk. Bare 9 av 24 fisk (3 %) hadde lesjoner som omfattet 4 eller flere virvler, dvs. av en størrelse der utvikling til synlig deformitet var en realistisk mulighet. Feilene fordelte seg tilnærmet likt på alle behandlingsgruppene, og det var ingen tilsynelatende sammenheng med fotoperiode, vanntemperatur, salinitet eller lysregime i sjø.

### 5.3.3 Utsett 3 (24 januar)

#### Vekst og overlevelse

Det ble registrert totalt 14 døde fisk i løpet av 12 uker i sjøvann, noe som tilsvarte 1,1 % dødelighet. 4 av de 14 døde var kjønnsmoden hannfisk (score 4). Dødeligheten fordelte seg slik mellom behandlingene i sjøvann: 6 °C + økende dag: 3 døde, 6 °C + 24 t lys: 3 døde, 12 °C + fallende dag: 8 døde, 12 °C + 24 t lys: ingen døde. Det var ingen signifikant effekt av behandling i RAS på dødelighet i sjøvann.

Fôrintaket fulgte samme mønster som de to andre utsettene, det kom godt i gang i løpet av de første 7 dagene, og da var også forskjellen mellom 6 og 12 °C etablert. Fôrintaket var høyere på fallende daglengde enn på 24 t lys fra ca. 3 uker etter overføring til sjøvann, mens det var ingen effekt av fotoperiode i sjøvann på fôrintaket på 6 °C (Figur 20).



Figur 20 Fôrintak per dag (A) og kumulativt fôrintak i hele forsøket (B). N=2 kar per behandling for utsett 3 (snittvekt 850 g ved utsett).

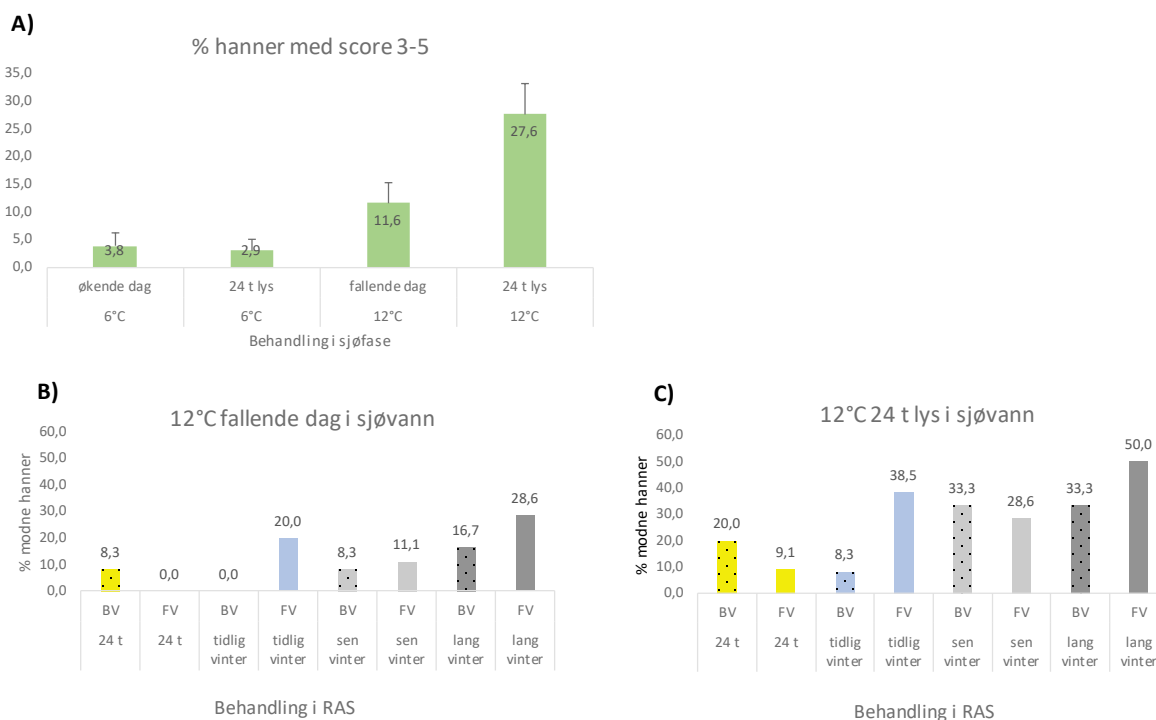
Vekst i sjøvann for de ulike behandlingene i RAS og i sjøvann er vist i Tabell 5. Som for de andre utsettene vokste fisken best på fallende daglengde og 12 °C og oppnådde høyest sluttvekt ( $p < 0,0001$ ). Men fisk på 6 °C hadde høyere TGC enn fisk på 12 °C. Fisk på 6 °C og kontinuerlig lys i sjøvann hadde også høyere TGC enn fisk på økende daglengde ( $p < 0,0001$ ). Bruk av brakkvann i RAS hadde en klar positiv effekt på sluttvekt, gain og vekst i alle behandlinger i sjøvann ( $p < 0,0001$ ). Det var ikke signifikant effekt av salinitet i RAS på startvekt, men det var en tendens til høyere vekt ved bruk av 12 ppt i RAS ( $p = 0,06$ , snittvekt alle 12 ppt 874 g, snittvekt alle ferskvann 857 g). Sluttvekt var i snitt 1756 g for fisk som hadde gått på 12 ppt i RAS og 1600 g for fisk som hadde gått på ferskvann i RAS (gjennomsnitt for alle fotoperioder i RAS og behandlinger i sjøfase). Det var også signifikante effekter av fotoperiode i RAS på vekst i alle behandlinger i sjøvann ( $p < 0,0001$ ) og på startvekt ved overføring til sjøvann ( $p < 0,0001$ ). Størst ved utsett var fisk som hadde gått på 24 t lys i RAS (i snitt 926 g), eller fått et sent vintersignal (915 g), de som fikk et tidlig vintersignal var i snitt 882 g og minst ved overføring var fisken som hadde fått en lang vinter i RAS (738 g). Ulik størrelse ved utsett kan påvirke vekstresponsen i sjøvann, og særlig målt som SGR, og vil også påvirke sluttvekt. Fisken som hadde fått et langt vintersignal i RAS klarte ikke å ta igjen de andre behandlingene i løpet av 12 uker i sjøvann, og var minst ved slutt, uavhengig av behandling i sjøvann. Denne gruppen hadde også dårligere vekst enn de andre på alle behandlinger i sjøvann. Fisk som hadde fått et tidlig vintersignal og brakkvann i RAS vokste best og var størst på 12 °C og på 6 °C og økende daglengde, mens fisken som fikk et sent vintersignal var størst på 6 °C og 24 t lys.

Tabell 5 Vekst i kar med sjøvann på 4 ulike behandlinger for fisk satt ut 21 januar med en snittvekt på ca. 850 g ved utsett. N=2 kar per behandling. Fisken hadde fått 8 ulike behandlinger i RAS, 4 fotoperioder kombinert med ferskvann eller brakkvann (12 ppt) i RAS. Fotoperioder 1) 24 t lys. 2) et tidlig vintersignal (fra 50 g), 3) et sent vintersignal (fra 120 g) i 6 uker, 4) et sent langt vintersignal (fra 120 g, i 16 uker). Ulike bokstaver indikerer signifikante forskjeller.

Behandling i sjø	Fotoperiode RAS	Salinitet RAS	Vekt (g)	Gain (g)	Gain (%)	TGC	SGR
	24 t lys	12 ppt	2112±21 <sup>ab</sup>	1161±21 <sup>bc</sup>	122±2 <sup>bc</sup>	2,96±0,0 <sup>bc</sup>	0,95±0,0 <sup>bc</sup>
12 °C +	24 t lys	0 ppt	2013±11 <sup>bc</sup>	1079±60 <sup>bc</sup>	116±12 <sup>bc</sup>	2,83±0,2 <sup>bc</sup>	0,92±0,1 <sup>bc</sup>
fallende dag	Tidlig vinter	12 ppt	2270±5 <sup>a</sup>	1400±9 <sup>a</sup>	161±2 <sup>a</sup>	3,57±0,0 <sup>a</sup>	1,14±0,0 <sup>a</sup>
(høst)	Tidlig vinter	0 ppt	1893±83 <sup>bc</sup>	1038±65 <sup>bcd</sup>	121±5 <sup>bc</sup>	2,86±0,1 <sup>bc</sup>	0,95±0,0 <sup>bc</sup>
	Sen vinter	12 ppt	2106±73 <sup>ab</sup>	1205±41 <sup>ab</sup>	134±0 <sup>b</sup>	3,13±0,0 <sup>b</sup>	1,01±0,0 <sup>b</sup>
	Sen vinter	0 ppt	1946±171 <sup>bc</sup>	1010±131 <sup>cd</sup>	107±9 <sup>c</sup>	2,67±0,2 <sup>c</sup>	0,87±0,1 <sup>c</sup>
	Sen lang vinter	12 ppt	1745±31 <sup>cd</sup>	981±36 <sup>cd</sup>	128±6 <sup>bc</sup>	2,87±0,1 <sup>bc</sup>	0,98±0,0 <sup>bc</sup>
	Sen lang vinter	0 ppt	1562±117 <sup>d</sup>	845±79 <sup>d</sup>	117±5 <sup>bc</sup>	2,62±0,1 <sup>c</sup>	0,92±0,0 <sup>bc</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0028	0,0101	0,0300	0,0336	0,0466
	Salinitet RAS		0,0088	0,0032	0,0020	0,0025	0,0028
12 °C +	24 t lys	12 ppt	1984±29	1075±22	118±2	2,86±0,0	0,93±0,0
24 t lys	24 t lys	0 ppt	1919±11	1017±24	113±7	2,73±0,1	0,90±0,0
	Tidlig vinter	12 ppt	2054±93	1115±88	119±9	2,90±0,2	0,93±0,0
	Tidlig vinter	0 ppt	1662±117	811±92	95±8	2,32±0,2	0,79±0,0
	Sen vinter	12 ppt	1884±36	1000±1	113±4	2,73±0,0	0,90±0,0
	Sen vinter	0 ppt	1780±122	848±83	91±5	2,33±0,1	0,77±0,0
	Sen lang vinter	12 ppt	1482±13	779±27	111±6	2,48±0,1	0,89±0,0
	Sen lang vinter	0 ppt	1325±1	588±7	80±2	1,92±0,0	0,70±0,0
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0002	0,0010	0,0431	0,0055	0,0366
	Salinitet RAS		0,0069	0,0020	0,0010	0,0009	0,0008
6 °C +	24 t lys	12 ppt	1613±71 <sup>ab</sup>	641±26 <sup>ab</sup>	66±0 <sup>bc</sup>	3,60±0,1 <sup>abc</sup>	0,60±0,0 <sup>abc</sup>
økende dag	24 t lys	0 ppt	1557±31 <sup>ab</sup>	623±29 <sup>bc</sup>	67±3 <sup>bc</sup>	3,61±0,1 <sup>abc</sup>	0,61±0,0 <sup>abc</sup>
(Vår)	Tidlig vinter	12 ppt	1667±113 <sup>a</sup>	732±90 <sup>a</sup>	78±8 <sup>a</sup>	4,11±0,4 <sup>a</sup>	0,69±0,1 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	1464±25 <sup>b</sup>	595±12 <sup>bc</sup>	68±0 <sup>abc</sup>	3,60±0,0	0,62±0,0 <sup>abc</sup>
	Sen vinter	12 ppt	1643±50 <sup>ab</sup>	699±67 <sup>ab</sup>	74±8 <sup>ab</sup>	3,94±0,4 <sup>ab</sup>	0,66±0,1 <sup>ab</sup>
	Sen vinter	0 ppt	1477±7 <sup>b</sup>	561±11 <sup>bc</sup>	61±2 <sup>bc</sup>	3,32±0,1 <sup>abc</sup>	0,57±0,0 <sup>bc</sup>
	Sen lang vinter	12 ppt	1220±57 <sup>c</sup>	479±33 <sup>c</sup>	64±2 <sup>bc</sup>	3,24±0,1 <sup>cd</sup>	0,59±0,0 <sup>abc</sup>
	Sen lang vinter	0 ppt	1152±33 <sup>c</sup>	419±21 <sup>c</sup>	57±2 <sup>c</sup>	2,90±0,1 <sup>d</sup>	0,54±0,0 <sup>c</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		<0,0001	0,0049	0,1169	0,0241	0,1044
	Salinitet RAS		0,0010	0,0236	0,0485	0,0328	0,0445
6 °C +	24 t lys	12 ppt	1614±26 <sup>abc</sup>	698±3 <sup>abc</sup>	76±3 <sup>bc</sup>	4,01±0,1 <sup>ab</sup>	0,67±0,0 <sup>ab</sup>
24 t lys	24 t lys	0 ppt	1539±5 <sup>bcd</sup>	652±4 <sup>cd</sup>	73±0 <sup>bc</sup>	3,84±0,0 <sup>bc</sup>	0,66±0,0 <sup>ab</sup>
	Tidlig vinter	12 ppt	1664±86 <sup>ab</sup>	758±65 <sup>ab</sup>	84±5 <sup>a</sup>	4,31±0,3 <sup>a</sup>	0,72±0,0 <sup>a</sup>
	Tidlig vinter	0 ppt	1505±36 <sup>cd</sup>	673±29 <sup>bc</sup>	81±3 <sup>ab</sup>	4,07±0,1 <sup>a</sup>	0,71±0,0 <sup>a</sup>
	Sen vinter	12 ppt	1679±29 <sup>a</sup>	773±17 <sup>a</sup>	85±1 <sup>a</sup>	4,38±0,1 <sup>a</sup>	0,73±0,0 <sup>a</sup>
	Sen vinter	0 ppt	1476±41 <sup>de</sup>	578±57 <sup>de</sup>	65±8 <sup>c</sup>	3,45±0,3 <sup>c</sup>	0,59±0,1 <sup>c</sup>
	Sen lang vinter	12 ppt	1368±28 <sup>ef</sup>	628±33 <sup>cde</sup>	85±5 <sup>a</sup>	4,07±0,2 <sup>a</sup>	0,73±0,0 <sup>a</sup>
	Sen lang vinter	0 ppt	1307±32 <sup>f</sup>	537±20 <sup>e</sup>	70±1 <sup>bc</sup>	3,51±0,1 <sup>bc</sup>	0,63±0,0 <sup>bc</sup>
<i>p-verdier</i>	Fotoperiode RAS		0,0008	0,0311	0,2923	0,2096	0,2952
	Salinitet RAS		0,0028	0,0032	0,0062	0,0048	0,0066

## Kjønnsmodning

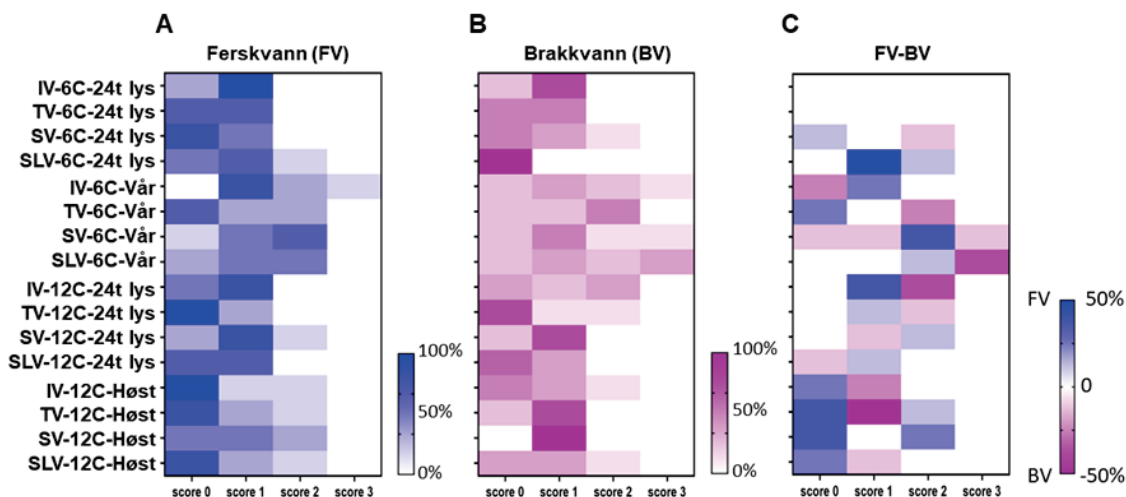
Det var også for dette utsettet en klar forskjell mellom behandlingene i sjøvann i andel hanner som ble kjønnsmodne ( $p < 0,0001$ , Figur 21 A). Også her var det 12 °C + 24 t lys som gav mest kjønnsmodning, mens fallende daglengde reduserte kjønnsmodning. Lavest andel kjønnsmodne hanner var det på 6 °C, og her var det ingen effekt av fotoperiode i sjøvann. Det var imidlertid signifikante effekter av fotoperiode i RAS på kjønnsmodning i sjøvann. Fisk som hadde fått et vintersignal i RAS hadde større sannsynlighet til å kjønnsmodne ( $p < 0,01$ ), både på fallende daglengde (Figur 21 B) og på 24 t lys (Figur 21 C). Dette gjaldt særlig hanner som hadde fått et langt vintersignal i RAS og som i sjøvann ble satt på 12 °C og 24 t lys. Det var en tendens til at bruk av 12 ppt i RAS reduserte kjønnsmodning i sjøvann ( $p = 0,07$ ).



Figur 21 (A) % andel hanner som var registrert som kjønnsmoden eller modnende ved avslutning etter 12 uker i ulike behandlinger i sjøvann. (B) % modne hanner i sjøvann (12 °C + fallende dag) og (C) i sjøvann (12 °C + 24 t lys) fordelt på behandling de hadde fått i RAS. Verdier er gjennomsnitt + SEM (N=2).

## Nefrokalsinose

Det var ingen effekt av salinitet i RAS på nefrokalsinose etter 12 uker i sjøvann. Generelt var det lave verdier for alle grupper (0-1,6 for de ulike behandlingene) og det var lavere score for dette utsettet enn for fisk satt ut på 160 og 320 g. Fisk satt ut på 12 °C og fallende dag (høst) hadde litt høyere score (0,84) enn de andre behandlingene i sjøvann (0,69). For fisk satt ut på vår, var det lavest score for fisk som hadde fått et tidlig vintersignal i RAS og gått på ferskvann før utsett. For utsett på høst hadde også tidlig vinter + ferskvann i RAS og en lang vinter + ferskvann lavest score for nefrokalsinose.



Figur 22 Oversikt over frekvens av nefrokalsinose for fisk overført til kar med sjøvann ved ca. 850 g. A) Fisk i ferskvann i RAS, B) fisk i brakkvann i RAS, C) Forskjell mellom fisk i ferskvann og brakkvann i RAS. Mørkere farge indikerer høyere score. IV = Ingen vinter, TV = Tidlig vinter.

### Ytre velferdsindikatorer:

**Øyeskader:** Det ble registrert øyeskader på 208 av 467 fisk (44,5 %). 113 av disse var av grad 1, 49 av grad 2, 14 av grad 3 og 32 av grad 4. Gjennomsnittlig score på hele materialet var 0,81. Det var i all hovedsak katarakt som ble observert, med en mindre andel blødninger.

Det var en effekt av fotoperiode i RAS, fisk som fikk sent vintersignal og sent langt vintersignal hadde lavere forekomst av øyeskader (0,5) enn de to andre behandlingene (1,1) ( $p < 0,0001$ ). Fisk som gikk på brakkvann i RAS hadde også litt lavere forekomst av øyeskader (0,7) enn fisk som gikk på ferskvann (0,9) ( $p < 0,01$ ). Det var også effekter av lysregime og temperatur i sjøfasen på øyeskader, fisk som gikk på 24 t lys og 6 °C hadde høyere forekomst (middelverdi 1,18) og fisk som gikk på høst (12 °C + fallende dag) hadde lavere forekomst (middelverdi 0,44).

**Gjellelokksforkortelse:** Det ble kun registrert gjellelokksforkortelse på 2 fisk av 467.

**Kjeve- og snuteskader:** Snutesår ble registrert på mesteparten av fisken, med en middelverdi på hele utsettet på 1,08. Tilsvarende verdi for underkjevesår er 0,46. Det var ikke effekt av behandlingen i RAS på over- og underkjeveskader. I sjøvann kom behandlinger på 12 °C, og særlig på 24 t lys noe dårligere ut med tanke på snute og kjeveskader ( $p < 0,001$ ).

**Ryggradsdeformiteter:** Utvendig scoring av ryggradsdeformiteter gav en gjennomsnittlig score på hele materialet på 0,01, og ble registrert på 6 fisk av 467, samtlige med score 1. Det var ikke observert effekt av behandling på utvendig scoring av deformiteter.

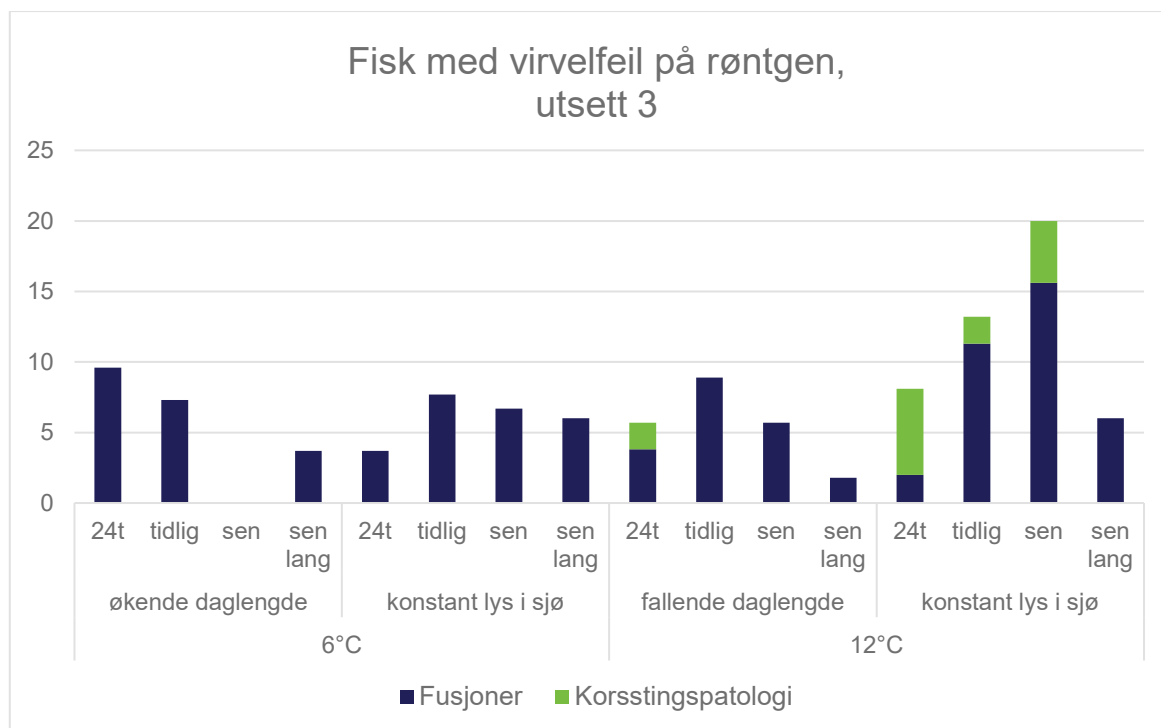
**Skinn- og hudskader:** Det ble registrert hudskader i form av skjelltap på all fisk, med en gjennomsnittlig score i hele materialet på 2,24. Det var signifikant høyere gjennomsnittlig score på gruppe vår (score 2,33) og lavere score på gruppe høst (score 2,15) ( $p < 0,001$ ).

**Finneskader:** Det ble observert finneslitasje på nesten all fisk. Gjennomsnittlig score var på ryggfinne 1,55, hale 0,87, brystfinne 1,57 og bukfinne 1,73. På ryggfinner ble det observert en stor andel (47 % av fisk med anmerkninger) som var helet, mens på de andre finnene var det stor overvekt av aktive skader som splitting eller blødninger. Det var ikke effekt av behandling i RAS på finneslitasje. Det var noen signifikante effekter av behandling i sjøvann på finneskader. Ryggfinne og brystfinne hadde signifikant høyere gjennomsnittlig score på gruppe vår og lavest score på gruppe høst ( $p < 0,01$ ).

## Deformiteter (røntgen)

Ved avslutning av karforsøket med fisk fra utsett 3 ble det undersøkt 810 fisk på røntgen, fordelt med 21-30 fisk per kombinasjon av behandlinger (fotoperiode, salinitet, vanntemperatur og lysregime i sjø). Det ble registrert virvelfeil på røntgen hos 73 av 810 fisk (9 %). 58 av 73 fisk med virvelfeil hadde fusjoner (sammenvoksinger) av varierende størrelse. Hos halvparten av disse (26 fisk, 3 % av totalen) var fusjonene av en størrelse som erfaringsmessig kunne ha gitt synlig deformitet ( $\geq 4$  unormale virvler). I tillegg til fusjoner ble det registrert feil som assosieres med korsstingspatologi hos 15 fisk (2 %) (se Figur 11). Hos anslagsvis halvparten av disse var feilene av en slik størrelse at de kunne ha gitt synlig deformitet, men samtidig er det kjent fra andre studier at korsstingspatologi først begynner å utvikle seg ved en fiskestørrelse mellom 1 og 3 kg, og at utviklingen fram mot slaktestørrelse kan være ganske dramatisk. Det er derfor vanskelig å bedømme det potensielle innslaget av korsstingspatologi ved slakt.

Hos fisken fra utsett 3 var det forskjeller i forekomst av virvelfeil som kunne knyttes til forsøksbehandlingene. Det var ingen effekter av fotoperiode eller salinitet før utsett i sjø. Summen av merknader var omtrent dobbelt så stor hos fisk på den høyeste temperaturen, med 12 % fisk med merknad på 12 °C sammenliknet med 6 % på 6 °C. Korsstingspatologi ble registrert utelukkende hos fisk som hadde gått på 12 °C, med en tydelig overvekt hos fisk med kombinasjonen 12 °C og kontinuerlig lys. Fordeling av virvelfeil på de ulike behandlingsgruppene er vist i Figur 23.



Figur 23 Fordeling av virvelfeil på behandlingsgruppene ved avslutning av karforsøk, utsett 3 (snittvekt 850 g ved utsett)

## 5.4 Diskusjon

I en kartleggingsstudie finansiert av FHF om produksjon av stor smolt kom det frem at oppdrettere av stor smolt opplevde at prestasjonen etter utsett ikke alltid var like god som hos mindre smolt (Ytrestøyl m fl. 2022). Men det er ikke så lett å identifisere årsakene til varierende prestasjon etter utsett. Det kom også frem at det ble brukt ulike produksjonsprotokoller i RAS, med tanke på fotoperiode og salinitet. De fleste ga fisken et vintersignal med kort daglengde i minimum 6 uker for å indukere smoltifisering, mens enkelte brukte fullt lys gjennom hele produksjonen i RAS. Saliniteten i RAS varierte fra rent ferskvann til brakkvann med 3-22 ppt før utsett i sjø. Den store smolten fulgte stort sett samme mønster som den mindre smolten, med utsett nesten året rundt, men en noe større andel av storsmolten gikk ut på høst og vinter.

Det er ikke mange studier som har fulgt stor smolt gjennom hele livsløpet frem til slakt i kontrollerte studier. Slike studier er krevende å gjennomføre da det er vanskelig å standardisere alle variabler, og i tillegg vil miljøet fisken møter i sjø variere fra forsøk til forsøk med tanke på sykdomspress, lusesmitte og sjøtemperaturer. Dette er imidlertid utfordringer som all laks i kommersielt oppdrett utsettes for, og det er derfor viktig at fisken utsettes for disse påkjennningene i kontrollerte forsøk slik at eventuelle forskjeller i robusthet mellom stor og liten smolt kan avdekkes. Hvis en stor smolt ikke er tilpasset miljøet den møter i sjø og får redusert vekst og økt dødelighet etter utsett, vil det medføre store økonomiske tap for oppdrettere. Det samme gjelder for kjønnsmodning etter utsett i sjø, noe som er et problem ved produksjon av en større smolt i RAS, gjerne på høy temperatur (Imsland m. fl. 2014, Good og Davidson, 2016). Å unngå redusert vekst og tidlig kjønnsmodning i sjø ved å optimalisere produksjonsprotokoller og produksjonsstrategier for større smolt vil gi økt lønnsomhet, bedre fiskevelferd og muligheter for en bedre utnyttelse av MTB i sjø slik at den totale lakseproduksjonen kan økes på sikt.

Hos liten fisk er det godt dokumentert at et vintersignal er nødvendig for å utvikle sjøvannstoleranse og fisk som ble holdt på 24 t kontinuerlig lys er vist å ha lavere plasmanivåer av veksthormon, kortisol og mangle essensielle endringer i ionetransportmekanismer i gjellene (Stefansson m. fl. 2007, Ebbesson m. fl. 2007). Grupper med kontinuerlig lys er ofte brukt som kontrollgrupper i studier som har undersøkt effekten av vintersignal på smoltifiseringen, og flere studier har vist dårlige prestasjoner i sjø av grupper utsatt for kontinuerlig lys i settefiskfasen (Solbakken m. fl. 1994, Sigholt m. fl. 1995). Samtidig viser flere studier at laks holdt på kontinuerlig lys utvikler sølvfarge, sjøvannstoleranse og får en økning i NKA i gjeller og veksthormon når de når en størrelse på mellom 100-150 g (Sigholt m. fl. 1995, Handeland m. fl. 2013, Striberny m. fl. 2021, Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022). Dette tyder på at enkelte smoltkarakteristikker er vekstindusert og skjer uavhengige av lysregimet. Lysregimet fisken utsettes for har i tillegg til å indukere sjøvannstoleranse stor betydning for både tilvekst og kjønnsmodning. Det er få publiserte studier på effekten av lysstyring sammenlignet med kontinuerlig lys i RAS på prestasjonen i sjøfasen, særlig helt frem til slaktestørrelse. Det er vist en klar fordel ved å bruke kontinuerlig lys i RAS med tanke på vekst i RAS (Imsland m fl. 2014, Striberny m fl. 2021, Ytrestøyl m fl. 2022). Det var også tilfellet i dette forsøket, fisk som ikke hadde fått et vintersignal var størst ved utsett ved alle tre utsettstidspunkt.

Men kontinuerlig lys i RAS er vist å føre til redusert vekst etter overføring til sjøvann i flere studier (Saunders m fl. 1985, Solbakken m fl. 1994, Sigholt m fl. 1995, Imsland m fl. 2014, Striberny m fl. 2021, Ytrestøyl m fl. 2022). De fleste av disse studiene er imidlertid gjort på liten fisk (under 200 g ved overføring til sjø), med unntak av Ytrestøyl m fl. (2022) hvor det ble satt ut større fisk som ble fulgt til slaktestørrelse. TGC var litt høyere i fisk som hadde fått et vintersignal i RAS, men fisk på kontinuerlig lys i RAS var imidlertid større ved slakt siden de var større ved utsett som følge av bedre vekst i RAS. Det var imidlertid ingen forskjeller i overlevelse og kjønnsmodning i sjøfasen mellom fisk som fikk vintersignal og de som gikk på kontinuerlig lys i RAS (Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022).

Resultatene fra forsøket med overføring av fisk som hadde fått ulik fotoperiode og salinitet i RAS til kar med sjøvann viser at det var en positiv effekt av et vintersignal i RAS på TGC i sjøvann, særlig i kombinasjon med brakkvann, 12 ppt i RAS. For fisk satt ut ved 160 g var det kun på fallende daglengde i sjøvann (høst) at det var en positiv effekt på TGC av et vintersignal og brakkvann i RAS. Fisk som ble satt ut på 6 °C og 24 timer lys eller 6 °C + økende daglengde (vår) hadde best vekst hvis de hadde gått på 24 timer lys i RAS. Men det var særlig fisk som var større ved utsett og på fallende daglengde i sjøvann at det var størst effekt av et vintersignal kombinert med brakkvann i RAS.

Årsakene til forskjeller i vekst etter overføring til sjøvann kan være forskjeller i sjøvannstoleranse, og/eller forskjeller i vekstpotensial. En kombinasjon av økning i daglengde og gradvis økning i salinitet stimulerer gjelle NKA aktivitet og utvikling av sjøvannstoleranse (Duston og Knox 1992). Men i en studie fra Handeland og Stefansson (2002) ble det ikke funnet positive effekter av å kombinere lysstyring med en økning av salinitet på vekstrate under smoltifisering og 3 måneder etter overføring til sjø. De nevnte studiene er imidlertid gjennomført med liten smolt på under 100 g ved overføring til sjøvann. Det er få studier som har undersøkt om sjøvannsakklimering har en annen effekt på større smolt og mulige kort- og langsiktige konsekvenser på helse og velferd. I en studie ble det målt isomerfordeling og aktivitet av NKA som gikk på ferskvann eller brakkvann (12 ppt) i RAS til de var ca. 200 og 600 g uten at de ble gitt et vintersignal til å indusere smoltifisering (Ytrestøyl m. fl. 2022). I RAS med brakkvann økte uttrykket av sjøvannsformen av NKA (NKA $\alpha$ 1b), men ikke den totale enzymaktiviteten av NKA i gjeller og det ble ikke funnet noen signifikante effekter av salinitet i RAS på vekst eller overlevelse etter utsett i sjø. Det kan imidlertid ikke utelukkes at en høyere salinitet enn 12 ppt kunne hatt en positiv effekt, og optimal salinitet i RAS for en større smolt er ikke godt dokumentert. Det finnes få studier som har undersøkt optimal salinitet i landbasert postsmolt produksjon. Når ytelse ble sammenlignet mellom fiskegrupper av postsmolt som ble holdt ved enten 12, 22, eller 32 ppt, ble det funnet at gruppen ved 12 ppt presterte best (Ytrestøyl m. fl. 2020). I denne studien var NKA aktivitet i gjellene høyere i fisken som ble holdt ved 32 ppt. Dette forsøket var begrenset til selve postsmoltperioden og det kan derfor ikke konkluderes hvilken salinitet som er best for prestasjon i sjø.

Det var kun fisk fra to fotoperioder i RAS (24 t lys og tidlig vintersignal) som ble satt ut i sjøvann ved alle 3 fiskestørrelser. Dette gjør det litt komplisert å trekke konklusjoner om hva som er effekt av fotoperiode i RAS og hva som skyldes fiskestørrelse ved utsett fordi det er en utfordring å sammenligne vekst mellom ulike temperaturer og fiskestørrelser. Vekst ble derfor beregnet både som TGC, SGR, vektøkning (gain) og % vektøkning (% gain). TGC er ansett for å være uavhengig av fiskestørrelse og også korrigerer for vanntemperatur ved at den regner med antall døgngrader. Likevel ser vi at det var høyere TGC på 6 °C enn på 12 °C, mens vektøkningen jo naturlig nok var større på høy temperatur. Når man sammenligner TGC i kar med sjøvann for de ulike fiskestørrelsene ved utsett, så hadde fisk som ble satt ut ved 320 g høyest TGC (i snitt 4,0) fulgt av fisk satt ut ved 160 g (i snitt 3,5), mens fisk satt ut ved 850 g hadde i snitt en TGC på 3,4. Når vi sammenligner TGC for vår og høst behandlingene så var den henholdsvis 4,0 og 3,3. Fisk som hadde fått tidlig vinter hadde høyere TGC (i snitt 3,7) enn fisk på 24 t lys i RAS (i snitt 3,5) og brakkvann i RAS hadde en positiv effekt (TGC i snitt 3,7) sammenlignet med ferskvann (TGC i snitt 3,5). Dødelighet i kar med sjøvann var lav, høyeste dødelighet ble registrert i 12 °C + fallende dag for fisk satt ut ved 850 g (1,1 %). Det var noe bedre ioneregulering hos fisk som hadde fått et vintersignal og brakkvann i RAS når de ble satt ut på 320 g. Data fra sjøvannstestene på plasma ioner viser at de ligger innenfor det som anses som normale verdier for laks i sjøvann (Arnesen m fl. 2003), noe som skulle indikere at alle grupper tålte overføring til sjøvann. Det er imidlertid viktig å huske på at en stor fisk klarer å ioneregulere i sjøvann fordi den har et større volum i forhold til overflate enn en mindre fisk.

Resultatene fra sjøfasen på Gifas ble sterkt påvirket av sykdom på fisken. Et utbrudd av vintersår fra januar førte til høy dødelighet. Senere fikk fisken også påvist HSMB som førte til ytterligere dødelighet, særlig i forbindelse med avlusing. Dødelighet i dette forsøket var mye høyere enn et tilsvarende forsøk



gjennomført noen år tidligere, hvor overlevelse i sjøfase var om lag 95 % (Ytrestøyl m fl. 2018, 2022). Dette viser hvor utfordrende det er å sammenligne effekter av ulike protokoller i ulike forsøk hvor fisken rammes av sykdom i ulik grad. I dette forsøket var det klare forskjeller mellom utsett med tanke på hvor hard angrepet fisken ble av vintersår. Fisk satt ut i september hadde lav dødelighet som følge av vintersår, mens fisk satt ut i oktober og januar hadde høy dødelighet som følge av vintersår. De første 60 dager i sjø var dødeligheten lav også for fisk satt ut i oktober, som indikerer at de tålte sjøvannsoverføring godt, noe som bekrefter resultatene fra kar-forsøket, hvor fisken satt ut på 320 g hadde høyest TGC av de tre utsettene. Det var overraskende at dette utsettet ble mye hardere rammet av vintersår enn det første utsettet på 160 g som ble satt ut bare om lag 6 uker tidligere. Foreløpig har vi ingen god forklaring på forskjell i sårbarhet for vintersår mellom utsettene. Fisken som ble satt ut i januar ble umiddelbart rammet av vintersår og høy dødelighet som følge av dette. Alle utsett ble også smittet av HSMB, og dødelighet som følge av dette var jevnt fordelt mellom utsettene. Vekst i sjøfasen fulgte samme mønster som dødelighet, det var bedre vekst i fisk satt ut ved 160 g enn de andre to utsettene og følgelig også høyere slaktevekt. Det var høyere slaktevekt i fisk på 24 t lys i RAS for fisk satt ut ved 160 g, men ingen effekt av fotoperiode i RAS på slaktevekt for fisk satt ut senere på høyere vekt. For alle utsett var TGC i sjøfasen lavere for fisk som hadde fått 24 t lys i RAS, mens det var ikke noen signifikant effekter av salinitet i RAS på sluttvekt for noen av de tre utsettene. Disse resultatene bekrefter det som ble funnet i et tidligere forsøk hvor fisk som hadde fått ulik fotoperiode og salinitet i RAS ble satt ut på ulike størrelser og fulgt til slaktestørrelse (Ytrestøyl m fl. 2022). Her var det også dårligere vekst i fisk satt ut på høyere vekt og fisk som hadde fått kontinuerlig lys i RAS.

Tidlig kjønnsmodning hos hannfisk er et problem i RAS og også etter utsett i sjø. Dette er både et økonomisk tap og et velferdsproblem, da kjønnsmoden fisk ikke vil overleve over lengre tid i sjøvann. Det er flere faktorer involvert i initieringen av tidlig kjønnsmodning, og interaksjonene mellom ulike faktorer som energistatus, fotoperiode, salinitet, temperatur er ikke fullstendig klarlagt. Noen studier viser økt kjønnsmodning ved bruk av 24 t lys, mens andre viser at kort daglengde kan initiere kjønnsmodning (Good og Davidson 2016). Når fisk går i RAS på 24 t lys og temperatur på om lag 14 °C vil man kunne få opptil 80 % kjønnsmodne hanner (Good og Davidson 2016). Eksponering til lang dag for å initiere smoltifiseringen kan også stimulere tidlig kjønnsmodning (Fjelldal m. fl. 2011, 2018, Fraser m. fl. 2022, Pino Martinez m. fl. 2023) og en kombinasjon av økt temperatur og kort dag førte til en akselerasjon av kjønnsmodning i hannfisk (Melo m. fl. 2014). I en annen studie som omfattet overføring til sjø fant man at tidlig kjønnsmodning som var påbegynt under smoltifiseringen stoppet opp under postsmoltfasen etter overføring til sjø om vinteren (Fraser m. fl. 2019), og det ble diskutert om endringen fra en langdagsfotoperiode og høy temperatur til en kortdagsfotoperiode og lavere temperaturer kunne være en mulig forklaring på observasjonen. Resultatene fra de nevnte studiene tyder på at det er en interaksjon mellom fotoperiode og temperatur, både når det gjelder å indusere og å avbryte tidlig kjønnsmodning. Temperaturen ble holdt på 12 °C i RAS i dette studiet siden dette er vist å gi mindre kjønnsmodning enn 14-16 °C (Good og Davidson 2016). Likevel fant vi 20 % kjønnsmodne hanner i 24 t lys i RAS når fisken var om lag 900 g. Dette er i tråd med det som nylig ble funnet i en studie av Crouse m. fl. (2022), hvor fisken også gikk på 24 t lys hele perioden i RAS og de fant 25 % kjønnsmodning i fisk på 1200 g. Vi så en klar tendens til et vintersignal, enten det ble gitt tidlig (fra 50 g) eller sent (fra 120 g) som så ble etterfulgt av en lengre periode i RAS på 24 timer lys ga økt kjønnsmodning hos hannfisk, særlig hvis de gikk på ferskvann i RAS. Dette støtter det som ble funnet i en studie av Pino Martinez m. fl. (2023) hvor et vintersignal på 5 uker med oppstart ved 200 g etterfulgt av fullt lys førte til at 50 % av hannfisken ble kjønnsmoden, mens mot 25 % når de gikk på kontinuerlig lys. Etter overføring til kar med sjøvann ble det observert kjønnsmodning hovedsakelig ved en vanntemperatur på 12 °C og særlig når fisken gikk på 24 t lys. Fallende daglengde og 12 °C i sjøvann ga mindre kjønnsmodning, til tross for at vekst og fôrinntak var høyere på fallende daglengde enn på 24 t lys. Resultatene på forekomst av kjønnsmodning både i RAS og etter 12 uker i sjøvann indikerer at fotoperioden overstyrer veksthastighet når det gjelder å indusere kjønnsmodning. Det var fisk som gikk på 24 t lys i RAS som hadde best vekst i RAS, men til tross for dette kjønnsmodnet disse i mindre grad enn fisk som hadde

fått et vintersignal. En temperatur på 6 °C i ga mindre kjønnsmodning enn 12 °C i sjø, noe som støtter hypotesen til Fraser m fl (2019) om at interaksjon mellom fotoperiode og lav temperatur i sjø kan føre til at fisk kan avbryte begynnende kjønnsmodning. En interessant observasjon i dette forsøket er at brakkvann i RAS ga mindre kjønnsmodning når fisken gikk i RAS på 12 °C fra ca. 320 til 850 g etter å ha fått et sent vintersignal, mens kjønnsmodning økte veldig i fisken som ble satt i kar med sjøvann på 12 °C og 24 t lys når den var 320 g. Her var 62,5 % av hannene kjønnsmodne ved avslutning etter 12 uker. Så her kan det se ut til at fullt sjøvann stimulerte kjønnsmodning.

For fisk som ble satt ut i merder på Gifas ble det scoret for kjønnsmodning for fisk som døde eller ble avlivet av velferdsmessige årsaker. Også her var det særlig etter utsett av 850 g fisk at det ble registrert dødfisk som var i modning eller kjønnsmoden. Det var en tendens til at bruk av brakkvann i RAS ga mindre kjønnsmodning og det var flere kjønnsmodne hanner som hadde fått et vintersignal i RAS men forskjellen mellom behandlingene var ikke signifikant. De fleste kjønnsmodne hanner ble registrert i løpet av de tre første månedene i sjø, noe som tyder på at modningsprosessen hadde startet i RAS før utsett i sjø. Mot sommeren og utover høsten var det ikke mange kjønnsmodne hanner som ble registrert, og heller ikke ved slakt ble det registrert kjønnsmodne hanner.

Det var få forskjeller i velferd og forekomst av deformiteter mellom behandlinger og utsett. I merder i sjø var den eneste effekten av behandling i RAS var en høyere forekomst av øyeskader hos fisk som hadde fått et tidlig vintersignal. I kar med sjøvann var det generelt en høyere forekomst av skader på øyne, skinn og finner i fisk som gikk på 12 °C, særlig i kombinasjon med 24 t lys. Dette kan skyldes høyere aktivitetsnivå og muligens også økt stress hos fisk som går på 24 t lys. Forekomsten av deformiteter i ryggraden vurdert med røntgen var generelt lav og ikke vurdert til å påvirke fiskevelferd og slaktekvalitet.

Heller ikke slaktekvalitet var særlig påvirket av behandling i RAS eller tidspunkt for utsett. Det var ingen forskjell i astaxanthin i fileten (NQC) ved slakt, men litt høyere innhold av idoxanthin i fisk satt ut ved høyere vekt. Innholdet av idoxanthin var imidlertid lavt (0,09-0,14 mg/kg) og tilsvarte 1,9-2,8 % av innholdet av carotenoider i fileten, noe som ikke vil påvirke fargeopplevelsen av fileten. Også slakteutbytte og kondisjonsfaktor var likt mellom utsett og behandlinger. Det er få studier på effekter av protokoller i RAS på slaktekvalitet. Ytrestøyl m fl. (2018) fant samme tendens på innhold av astaxanthin og idoxanthin i NQC, men også lavere filetutbyttet i fisk satt ut ved høyere vekt.

## 5.5 Konklusjon

Størrelse/tidspunkt ved utsett i merder i sjø hadde størst betydning for prestasjon, både vekst og overlevelse var betydelig høyere i fisken som ble satt ut i september ved 160 g. Den var mindre utsatt for vintersår enn fisk satt ut senere på høst og vinter på høyere vekt. 24 t lys i RAS ga noe lavere vekst i sjøfase, men likevel høyere slaktevekt for fisk satt ut i september. For fisk satt ut i oktober og januar var det ingen effekt av behandling i RAS på slaktevekt. Slaktekvalitet og velferd var ikke påvirket av tidspunkt for utsett og behandling i RAS.

Andelen hannfisk som kjønnsmodnet økte når fisken fikk et vintersignal som så ble etterfulgt av en lengre periode på kontinuerlig lys i RAS. Temperatur og fotoperiode i sjøvann påvirket kjønnsmodning, lav temperatur motvirket kjønnsmodning, og på høy temperatur reduserte fallende daglengde andelen hannfisk som kjønnsmodnet. Bruk av 12 ppt i RAS så ut til å motvirke kjønnsmodning.

Brakkvann i RAS hadde ikke signifikant effekt på vekst i merder i sjø, men i kar med sjøvann hadde 12 ppt en positiv effekt på vekst i 12 uker etter overføring til sjøvann. Særlig i kombinasjon med et vintersignal og når fisken var større ved utsett.

Scoreverdier for nefrokalsinose var lave (1-2) og ikke relatert til salinitet i RAS, men fisk på 24 t lys i RAS hadde høyere score enn fisk som fikk et vintersignal. Det var få effekter av behandling og tidspunkt

for utsett på velferd og deformiteter. I kar med sjøvann var det generelt flere skader på øyne, skinn og finner hos fisk som gikk på 12 °C, og særlig når den i tillegg fikk 24 t lys.

## 6 Hovedfunn

- I sjøfasen hadde den minste fisken som ble satt ut i september lavest dødelighet og best vekst i sjøfasen, og den var derfor størst ved slakt.
- Den lavere dødeligheten skyldtes at den minste smolten ble mindre rammet av vintersår enn fisk som var større ved utsett og ble satt ut senere på høst og vinter.
- Et vintersignal i RAS kombinert med brakkvann ga bedre vekst i kar med sjøvann, særlig for større smolt og under forhold som simulerte høst med fallende daglengde og høy temperatur.
- Men et vintersignal i RAS var også en risikofaktor for tidlig kjønnsmodning hos hannfisk for stor smolt, særlig når den ble overført til sjøvann ned høy temperatur.
- Det var kun små innslag av virvelfeil og få effekter av behandling i RAS eller størrelse/tidspunkt for utsett. Type feil som ble funnet er representative for det man ser i oppdrett, men var av et omfang som ikke vill medført problem for velferd eller slaktekvalitet.
- Ved avslutning av merdforsøket var det med unntak av en økt frekvens av øyeskader hos fisk som hadde fått et tidlig vintersignal, ingen effekter av behandling i RAS. Tidspunkt for utsett hadde kun effekt på frekvens av helede sår, som var høyere hos fisk som ble satt ut ved 320 g. I kar med sjøvann var det generelt flere skader på øyne, skinn og finner hos fisk som gikk på 12 °C, og særlig når den i tillegg fikk 24 t lys.
- Scoreverdier for nefrokalsinose var lave og ikke relatert til salinitet i RAS, men fisk på 24 t lys i RAS hadde høyere score enn fisk som fikk et vintersignal. Det var også litt høyere score når fisken ble satt ut på forhold som simulerte høst (12 °C + fallende daglengde) og litt lavere score hos fisk satt ut på 850 g sammenlignet med de andre utsettene.

## 7 Leveranser

### Foredrag:

- Havbruk 2022, Bergen 20.10 2022 «Betydning av tidspunkt og lengde av vintersignal i RAS for prestasjon i sjøvann ved utsett på ulike størrelser» T. Ytrestøyl m fl
- Fremtidens smoltproduksjon Sunndalsøra 27.10.2022 «Optimale smoltproduksjonsprotokoller i RAS-betydning for vekst i sjøvann» T. Ytrestøyl m fl
- Årsmøte CtrlAqua 2021 (Webinar) «Benchmark-past and present» T. Ytrestøyl
- Årsmøte CtrlAqua 2022 (Haugesund) «Health and performance in post smolts when using novel production protocols» T. Ytrestøyl
- Årsmøte CtrlAqua 2023 (Sunndalsøra) «The effect of timing and length of a winter signal in RAS and size at transfer on post-smolt performance in seawater» T. Ytrestøyl
- Nofima seminar AkvaNor 22.08 2023 «Is there a single strategy for producing a large smolt?» T. Ytrestøyl
- Aquaculture Forum Canada (ACFFA) 26.10 2023 «Importance of protocol in RAS for seawater performance in Atlantic salmon» T. Ytrestøyl (Web-presentasjon)
- Årsmøte CtrlAqua 2022 (Haugesund) «Determining the impact of photoperiod, temperature, and fish size on early maturation (OPTIMIZE) and resilience (ROBUST) of Atlantic salmon post-smolt» Pradeep Lal and Neda Gilannejad
- Årsmøte CtrlAqua 2023 (Sunndalsøra) «Determining the impact of photoperiod, temperature, and fish size on growth, early maturation (OPTIMIZE) and resilience (ROBUST) of Atlantic salmon post-smolt» Pradeep Lal and Neda Gilannejad
- Årsmøte CtrlAqua 2023 (Sunndalsøra) «How photoperiod and salinity protocols affect post-smolt energy status, intestinal integrity, and performance in RAS and after seawater transfer» Marius Nilsen and Neda Gilannejad
- AquaNor 2023 (Trondheim) «Effect of different RAS protocols on markers of intestinal barrier function in Atlantic salmon (post-) smolts» Neda Gilannejad
- Aquaculture Europe 2023 (Vienna) «Effects of different photoperiod and salinity on smolt physiology in RAS» Marius Takvam, Neda Gilannejad, Pradeep Lal, Simon Menanteau-Ledouble, Tom Ole Nilsen, Naouel Gharbi
- Aquaculture Europe 2023 (Vienna) «How do different RAS protocols affect energy status, intestinal appetite regulation and peptide transport in Atlantic salmon (post-) smolts?» Neda Gilannejad, Marius Nilsen, Marius Takvam, Pradeep Lal, Patrik Anthony Tang, Valentina Tronci, Tom Ole Nilsen, Naouel Gharbi

### Publikasjoner:

- Årsrapporter CtrlAqua
  - Annual Report 2021, s 20-25
  - Annual report 2022, s 20-25
- Final report CtrlAqua 2023, s 34-37

### Rapportering til FHF:

- Referat fra møter med referansegruppe: dato
- Årlig statusrapportering til FHF: 31.12 2021 og 31.12 2022
- Faglig sluttrapport som beskrevet (<https://www.fhf.no/fhf/slik-arbeider-fhf/>): 01.12 2023
- Populærvitenskapelig resultatsammendrag 01.12 2023
- Administrativ sluttrapport: 01.12.2023

Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's *Retningslinjer for sluttrapportering* (se <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektdokumenter/>):

## 8 Referanser

- Arnesen, A. M., Toften, H., Agustsson, T., Stefansson, S. O., Handeland, S. O., & Björnsson, B. T. (2003). Osmoregulation, feed intake, growth and growth hormone levels in 0+ Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) transferred to seawater at different stages of smolt development. *Aquaculture*, 222, 167–187.
- Bjerkeng, B., Følling, M., Lagocki, S., Storebakken, T., Olli, J.J. and Alsted, N., 1997. Bioavailability of all-E-astaxanthin and Z-isomers of astaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 157(1-2), pp.63-82.
- Crouse, C., Davidson, J., Good, C. (2022). The effects of two water temperature regimes on Atlantic salmon (*Salmo salar*) growth performance and maturation in freshwater recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 553, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738063>.
- Duston, J., & Knox, J. (1992). Acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr to seawater in autumn: stimulatory effect of a long photoperiod. *Aquaculture*, 103(3-4), 341-358. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90177-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90177-M)
- Ebbesson, L. O. E., Ebbesson, S. O. E., Nilsen, T. O., Stefansson, S. O., & Holmqvist, B. (2007). Exposure to continuous light disrupts retinal innervation of the preoptic nucleus during parr-smolt transformation in Atlantic salmon [Article; Proceedings Paper]. *Aquaculture*, 273(2-3), 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.016>
- Fjelldal, P. G., Hansen, T., & Huang, T.-s. (2011). Continuous light and elevated temperature can trigger maturation both during and immediately after smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 321(1), 93-100.
- Fjelldal, P. G., Schulz, R., Nilsen, T. O., Andersson, E., Norberg, B., & Hansen, T. J. (2018). Sexual maturation and smoltification in domesticated Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - is there a developmental conflict? *Physiological Reports*, 6(17), 18. <Go to ISI>://WOS:000444544300002
- Fraser, T. W. K., Fjelldal, P. G., Schulz, R. W., Norberg, B., & Hansen, T. J. (2019). Termination of puberty in out-of-season male Atlantic salmon smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 232, 60-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.03.011>
- Fraser, T. W. K., Hansen, T.J., Norberg, B., Nilsen, T.O., Schulz, R. W., Fjelldal, P.G. (2023). Atlantic salmon male post-smolt maturation can be reduced by using a 3-hour scotophase when inducing smoltification, *Aquaculture*,562, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738772>.
- Good, C., & Davidson, J. 2016. A review of factors influencing maturation of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, with focus on water recirculation aquaculture system environments. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(5), 605–632.
- Handeland, S., & Stefansson, S. (2002). Effects of salinity acclimation on pre-smolt growth, smolting and post-smolt performance in off-season Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 209(1-4), 125-137. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00735-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00735-9)
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., Björnsson, B. T., & Stefansson, S. O. (2013). Long-term effects of photoperiod, temperature and their interaction on growth, gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity, seawater tolerance and plasma growth-hormone levels in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, 83(5), 1197-1209. <Go to ISI>://WOS:000326476700007
- Kolarevic J., Baevefjord G., Takle H., Ytteborg E., Reiten B.K.M., Nergård S. & Terjesen B.F. (2014) Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture*, 432, 15-25.
- Imsland, A.K., Handeland, S.O. & Stefansson, S.O. 2014. Photoperiod and temperature effects on growth and maturation of pre- and post-smolt Atlantic salmon. *Aquacult Int* 22, 1331–1345
- Martinez, E.P., Balseiro, P., Fleming, M.S., Stefansson, S.O., Norberg, B., Imsland, A.K.D., Sigurd O. Handeland, S.O. (2023). Interaction of temperature and photoperiod on male postsmolt

- maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture*, 568, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739325>.
- Melo, M. C., Andersson, E., Fjellidal, P. G., Bogerd, J., Franca, L. R., Taranger, G. L., & Schulz, R. W. (2014). Salinity and photoperiod modulate pubertal development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [Article]. *Journal of Endocrinology*, 220(3), 319-332.
- Noble C, Gismervik K, Iversen MH, Kolarevic J, Nilsson J, Stien LH & Turnbull JF (eds.) (2018) Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare. Tromsø, Norway: Nofima. <http://hdl.handle.net/11250/2575780>
- Saunders, R. L., Henderson, E. B., & Harmon, P. R. (1985). Effects of photoperiod on juvenile growth and smolting of Atlantic salmon and subsequent survival and growth in sea cages. *Aquaculture*, 45, 55–66.
- Sigholt, T., Staurnes, M., Jakobsen, H.J., Åsgård, T. 1995. Effects of continuous light and short-day photoperiod on smolting, seawater survival and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 130, 373-388.
- Solbakken, V. A., Hansen, T., & Stefansson, S. O. (1994). Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. *Aquaculture*, 121, 13–27.
- Stefansson, S.O., Nilsen, T.O., Ebbesson, L.O.E., Wargelius, A., Madsen, S.S., Björnsson, B.Th., McCormick, S.D., (2007). Molecular mechanisms of continuous light inhibition of Atlantic salmon parr–smolt transformation. *Aquaculture* 273, 235–245
- Striberny, A., Lauritzen, D.E., Fuentes, J., Campinho, M.A., Gaetano, P., Duarte, V., David, D.G., Hazlerigg, Jørgensen, E.H. 2021. More than one way to smoltify a salmon? Effects of dietary and light treatment on smolt development and seawater growth performance in Atlantic salmon. *Aquaculture* 532, 736044.
- Terjesen, B. F., Summerfelt, S. T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S. O., Reiten, B. K. M., ... Bæverfjord, G. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering*, 54, 49–63.
- Wall og Bjerkaas 1999
- Ytrestøyl, T., Bæverfjord, G., Kolarevic, J., Solheim, M., Hjelle, E., Mørkøre, T., Brunsvik, P.S. Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen (BENCHMARK). Rapport 38/2018 Nofima.
- Ytrestøyl, T., Jenssen, I., Wetterwald, V.E., Striberny, A., Alvestad, R., Dam, R., Mortensen, H., Johansen, E., Espmark, Å., Johansen, L-H., Kolarevic, J., Larsen, J., Sandberg, M.G., Nilsen T.O. Tittel: Kunnskapskartlegging-produksjon av stor laksesmolt. Rapport 12/2023 Nofima
- Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Rosseland, B.O., Teien, H.C., Handeland, S., Stefansson, S.O., Ebbeson, L.O.E., Terjesen, B.F. 2020. Performance and welfare of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. postsmolts in recirculating aquaculture systems: Importance of salinity and water velocity. *J. World Aquat. Soc.* 51, 373-392.
- Ytrestøyl, T., Hjelle, E., Kolarevic, J., Takle, H., Rebl, A., Afanasyev, S., Krasnov, A., Brunsvik, P., & Terjesen, B. F. (2022). Photoperiod in recirculation aquaculture systems and timing of seawater transfer affect seawater growth performance of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the World Aquaculture Society*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jwas.12880>

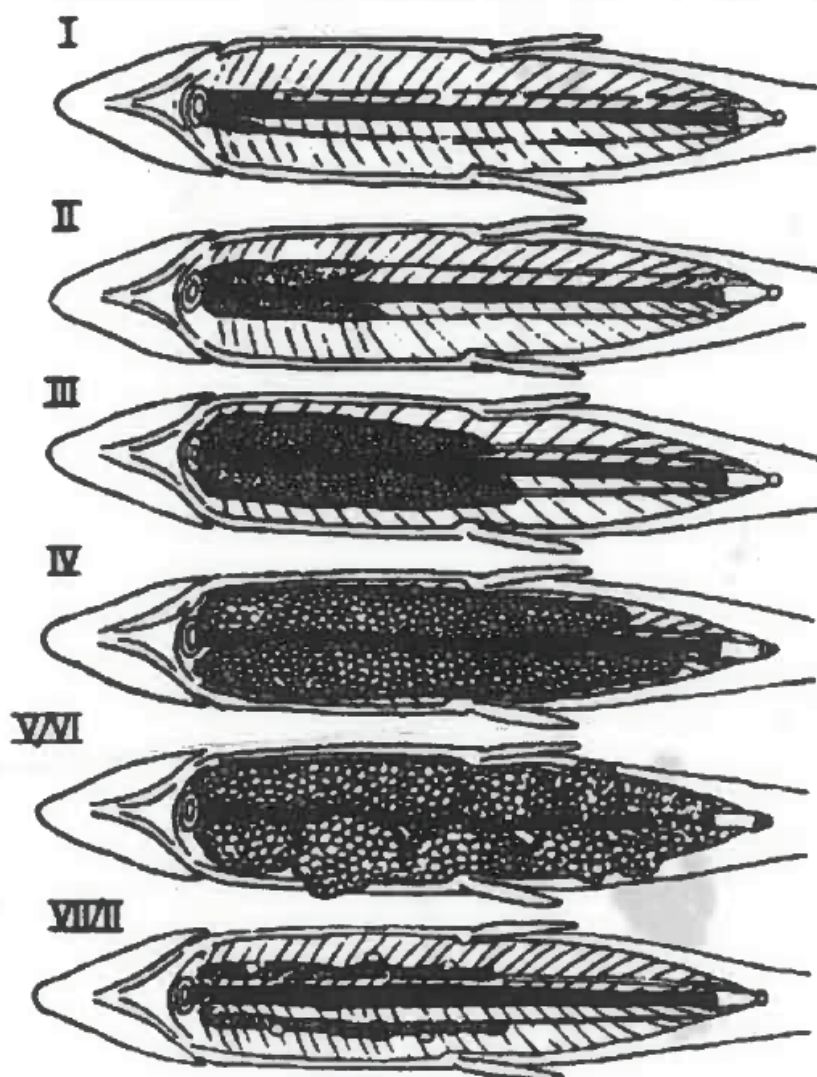
## Vedlegg 1: Score for smoltparametre og ioner i plasma etter sjøvannstest

Forskjeller mellom behandlinger i RAS for hvert utsett (Student's t-test) er angitt ved ulike bokstaver.

Dato	Fotoperiode i RAS	Salinitet i RAS	Parrmerker	Sølvfarge	Finnekant	Cl	Na	Mg
10.09	24 t lys	12 ppt	3,9±0,3	3,9±0,3	2,8±0,4	140±10	168±12	1,3±0,4
	24 t lys	0 ppt	4,0±0,2	4,0±0,0	3,0±0,0	141±4	171±5	1,2±0,2
	Tidlig vinter	12 ppt	4,0±0,2	4,0±0,0	3,0±0,0	138±3	168±4	1,1±0,1
	Tidlig vinter	0 ppt	4,0±0,2	4,0±0,0	3,0±0,0	138±6	169±6	1,3±0,5
	Fotoperiode		NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Salinitet		NS	NS	NS	NS	NS	NS
21.10	24 t lys	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	2,4±0,7 <sup>b</sup>	136±3 <sup>b</sup>	168±4 <sup>bc</sup>	1,1±0,2
	24 t lys	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,2±0,9 <sup>a</sup>	138±4 <sup>ab</sup>	170±4 <sup>abc</sup>	1,0±0,2
	Tidlig vinter	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,1±1,0 <sup>ab</sup>	137±4 <sup>b</sup>	167±4 <sup>bc</sup>	1,1±0,3
	Tidlig vinter	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,5±0,8 <sup>a</sup>	143±8 <sup>a</sup>	174±8 <sup>a</sup>	0,9±0,2
	Sen vinter	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,4±0,7 <sup>a</sup>	136±2 <sup>b</sup>	166±3 <sup>c</sup>	0,9±0,2
	Sen vinter	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,4±0,8 <sup>a</sup>	140±3 <sup>ab</sup>	172±4 <sup>ab</sup>	1,1±0,2
	Fotoperiode		NS	NS	p=0,0576	NS	NS	NS
	Salinitet		NS	NS	p=0,0568	p<0,01	p<0,01	NS
14.01	24 t lys	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,0±1,1	136±5 <sup>abc</sup>	172±3 <sup>b</sup>	1,4±0,3
	24 t lys	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	2,7±1,3	141±9 <sup>a</sup>	179±8 <sup>a</sup>	1,2±0,3
	Tidlig vinter	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,1±1,0	133±4 <sup>bc</sup>	171±4 <sup>b</sup>	1,2±0,2
	Tidlig vinter	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,1±0,6	131±5 <sup>c</sup>	171±4 <sup>b</sup>	1,3±0,1
	Sen vinter	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	2,6±1,0	139±3 <sup>ab</sup>	176±4 <sup>ab</sup>	1,2±0,2
	Sen vinter	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,1±0,9	137±9 <sup>abc</sup>	175±7 <sup>ab</sup>	1,1±0,2
	Sen lang vinter	12 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,8±0,6	137±5 <sup>abc</sup>	173±5 <sup>b</sup>	1,1±0,2
	Sen lang vinter	0 ppt	4,0±0,0	4,0±0,0	3,9±0,3	136±5	174±4 <sup>b</sup>	1,1±0,2
	Fotoperiode		NS	NS	p<0,05	p=0,0916	p=0,0650	NS
Salinitet		NS	NS	NS	NS	NS	NS	



Vedlegg 2: Score skjema for gonade-utvikling



Figur 1. Utvikling av rogn hos hunnfisk, (etter Sportsfiskernes Leksikon).