

Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen (BENCHMARK)

Faglig sluttrapport

Trine Ytrestøyl, Grete Bæverfjord, Jelena Kolarevic, Mari Solheim, Elise Hjelle, Turid Mørkøre og Per Brunsvik





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 370 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5844 Bergen

Sunnalsøra:

Sjølsengvegen 22
NO-6600 Sunndalsøra

Alta:

Kunnskapsparken, Markedsgata 3
NO-9510 Alta

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835 MVA



Creative commons gjelder når ikke annet er oppgitt

Rapport

| | |
|--|--|
| <i>Tittel:</i> Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen (BENCHMARK) | ISBN 978-82-8296-576-7 (pdf) ISSN 1890-579X |
| | <i>Rapportnr.:</i> 38/2018 |
| <i>Title:</i> What is the effect of novel production protocols on performance, health and welfare of Atlantic salmon post-smolts? | <i>Tilgjengelighet:</i> Åpen |
| <i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Trine Ytrestøyl, Grete Bæverfjord og Jelena Kolarevic (Nofima), Mari Solheim (Pharmaq), Elise Hjelle (Pharmaq Analytiq), Turid Mørkøre og Per Brunsvik (Nofima) | <i>Dato:</i> 31. desember 2018 |
| <i>Avdeling:</i> Ernæring og forteknologi | <i>Ant. sider og vedlegg:</i> 51 |
| <i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) Tromsø | <i>Oppdragsgivers ref.:</i> 901293 |
| <i>Stikkord:</i> RAS, lysstyring, helse, velferd, stor postsmolt | <i>Prosjektnr.:</i> 11792 |
| <i>Sammendrag/anbefalinger:</i> <p>Fire ulike produksjonsregimer i RAS (lysstyring med 6 uker kort dag etterfulgt av 24 timer lys/24 t lys hele perioden i RAS, 12 ppt/ferskvann) og utsett i sjø på to fiskestørrelser (200 og 600 g) ble sammenlignet med et smolt-produksjonsregime med lysstyring (kort dag i 6 uker, deretter 4 uker med 24 t lys) i ferskvanns RAS og utsett ved 100 g. Fokus var på tilvekst, overlevelse, kvalitet og kjønnsmodning etter overføring til nøter i sjø. Vekst i RAS var bedre på kontinuerlig lys og brakkvann. De første 5 ukene etter utsett i sjø av 200 g fisk var det dårligere vekst og fôrutnyttelse hos fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS, men det var ikke noen signifikant effekt av salinitet i RAS. For fisk satt ut ved 600 g var det ingen signifikante effekter av behandling i RAS på vekst og FCR første periode etter sjøvannsoverføring. Det var ingen effekter av behandling i RAS på overlevelse i sjøfasen, hverken for 200 eller 600 g utsett. Vekst i sjøfasen var først og fremst påvirket av størrelse/tidspunkt ved utsett, fisk satt ut ved 600 g hadde lavere TGC i sjøfasen (2,9) enn fisk satt ut ved 100 og 200 g (3,3). Hovedårsaken var dårligere vekst i løpet av sommeren for 600 g utsett (TGC i snitt på 2,7) enn for 100 og 200 g utsett (TGC på 3,8 og 3,7). Ved avslutning av forsøket var fisk satt ut ved 600 g i snitt 4,1 kg, mens fisk satt ut ved 100 og 200 g var 4,9 og 4,7 kg. Det var ingen effekt av salinitet i RAS på vekst i sjøfasen, men det var en positiv effekt av 24 timer lys i RAS på slaktevekt. Det var ingen signifikant effekt av salinitet eller lysstyring i RAS på kjønnsmodning, velferd eller kvalitet ved slakt. Resultatene fra forsøket indikerer at det er mulig å produsere laks i RAS uten å benytte lysstyring før utsett i sjø ved 200 og 600 g uten at det medfører økt dødelighet eller kjønnsmodning i sjøfasen. Det var heller ingen signifikante negative effekter på kvalitet ved slakt med tanke på pigmentering eller deformiteter. Men utsett ved 600 g ga lavere slaktevekt sammenlignet med utsett på 100 og 200 g, og noe lavere filetutbytte. Det må påpekes at fisk på 100, 200 og 600 g ble satt ut på ulikt tidspunkt og sjøtemperatur (i henholdsvis august, oktober og desember), slik at det ikke er mulig å isolere effekten av størrelse fra effekten av tidspunkt for utsett.</p> | |
| <i>English summary/recommendation:</i> | |

Forord

Forsøket er en del av aktivitetene CtrlAQUA SFI, senter for oppdrett i lukkede anlegg. CtrlAQUA er et SFI (Senter for forskningsdrevet innovasjon) i regi av Norges Forskningsråd for åtte år, 2015-2023. I CtrlAQUA har styret vedtatt prosjektet BENCHMARK for 2016-17. Den landbaserte delen av forsøket i RAS er fullfinansiert av CtrlAQUA SFI. Dette FHF-prosjektet finansierer kun den sjøbaserte delen av aktivitetene som har et budsjett på 1 444 750 NOK.

Innhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Sammendrag | 1 |
| 2 | Innledning | 3 |
| 2.1 | Faglig bakgrunn | 3 |
| 2.2 | Prosjektets omfang..... | 3 |
| 2.3 | Prosjektorganisering (roller/ansvar: prosjektgruppe, styringsgruppe, andre) | 3 |
| 3 | Problemstilling og formål | 5 |
| 3.1 | Prosjektets effektmål (betydning for næringen, nytteverdi, kvantifiseres om mulig)..... | 5 |
| 3.2 | Redegjøre for prosjektets resultatmål (leveranser i prosjektet)..... | 5 |
| 3.2.1 | Hovedmål | 5 |
| 3.2.2 | Resultatmål..... | 5 |
| 3.2.3 | Nytteverdi..... | 5 |
| 4 | Prosjektgjennomføring | 6 |
| 4.1 | Metodikk | 6 |
| 4.2 | Gjennomføring av prosjektet | 6 |
| 4.2.1 | RAS landbasert fase | 6 |
| 4.2.2 | Sjøfase | 8 |
| 4.3 | Analyser og beregninger..... | 9 |
| 4.3.1 | Vekst og organindeks | 9 |
| 4.3.2 | Kjemiske analyser | 9 |
| 4.3.3 | Statistikk | 9 |
| 5 | Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon | 11 |
| 5.1 | Sjøvannstoleranse og prestasjon første uker i sjø..... | 11 |
| 5.1.1 | Morfologi..... | 11 |
| 5.1.2 | Aktivitet av Natrium-Kalium ATPase (NKA) og uttrykk av sjø- og ferskvannsisoformer.... | 11 |
| 5.1.3 | Sjøvannstester og ione-regulering | 14 |
| 5.2 | Overlevelse i sjø..... | 18 |
| 5.3 | Vekst..... | 19 |
| 5.3.1 | Vekst i RAS | 19 |
| 5.3.2 | Vekst og fôrinntak første uker i sjø | 20 |
| 5.3.3 | Vekst i sjø frem til slakt | 22 |
| 5.4 | Kjønnsmodning i sjøfase..... | 25 |
| 5.5 | Kvalitet og velferd..... | 26 |
| 5.5.1 | Vaksinebivirkninger | 26 |
| 5.5.2 | Feil i ryggrad, røntgen | 27 |
| 5.5.3 | Katarakt og øyeskader | 31 |
| 5.5.4 | Finneslitasje og skinnkvalitet..... | 32 |
| 5.5.5 | Pigmentering og kjemisk sammensetning..... | 38 |
| 5.5.6 | Slaktekvalitet | 41 |
| 5.6 | Diskusjon og konklusjon | 44 |
| 6 | Hovedfunn | 48 |
| 7 | Leveranser | 49 |
| 8 | Referanser | 50 |

1 Sammendrag

Det har skjedd store endringer i produksjonen av settefisk av laks de seinere år, og mange ulike produksjonsregimer har begynt å etablere seg uten at effektene på fisken er like godt dokumentert. Næringen har interesse av å holde laksen lengre i lukkede anlegg på land for å kunne redusere tiden i tradisjonelle anlegg i sjø blant annet for å redusere problem med lakselus. Hensikten med prosjektet var å undersøke effekten i sjøfasen av ulike produksjonsregimer for stor settefisk. Det er i dag blitt stadig vanligere å produsere en settefisk på 200-300 g, mot tidligere praksis på rundt 80-100 g, og det er interesse for å forskyve utsett i merder ytterligere til 600 g og enda større. En stadig større del av settefisken produseres i resirkuleringsanlegg (RAS), noe som kan ha betydning for hvordan fisken takler overgangen til sjø. I dette prosjektet ble ulike produksjonsprotokoller i RAS med ulik fotoperiode og salinitet sammenlignet med tanke på prestasjon etter utsett i sjø. Fokus har vært på vekst, overlevelse, velferd, kjønnsmodning og slaktekvalitet.

Fire ulike produksjonsregimer for laks i RAS ble testet i forsøket. Fisken gikk enten på kontinuerlig lys hele perioden i RAS (24h) eller den fikk et vintersignal i form av en 6 uker lang periode med kort daglengde (12:12, L:D). Begge disse gruppene gikk så enten på ferskvann (FV) hele perioden i RAS, eller på brakkevann (12 ‰) fra 100 g og til de ble overført til merder i sjø ved 200 og 600 g. Som kontrollgruppe ble det brukt et tradisjonelt smolt-produksjons regime med lysstyring med 6 ukers vintersignal i ferskvann (RAS) og utsett i sjø ved 100 g. I RAS gikk fisken i Nofima sitt resirkuleringsanlegg ved forskningsstasjonen på Sunndalsøra. Derfra ble fisken transportert med bil til Gildeskål forskningsstasjon (Gifas) i nærheten av Bodø hvor den gikk i sjømerder frem til slakt. Kontrollfisken på 100 g ble satt ut i sjø i slutten av august 2016, 200 g utsett ble satt ut i første halvdel av oktober 2016, og 600 g utsett ble satt ut i begynnelsen av desember 2016. Fisken ble slaktet i november 2017, da den veide 4-4,8 kg i snitt.

Den første perioden etter utsett i sjø var det en negativ effekt av kontinuerlig lys (24h) sammenlignet med lysstyrt fisk på fôrinntak og fôrutnyttelse, mens det ikke var noen effekt av å bruke brakkevann i RAS. Fisk satt ut ved 600 g hadde svært dårlig fôrinntak de første ukene etter sjøutsett, mens fisk satt ut på 100 og 200 g begynte å spise kort tid etter utsett. Dødelighet i sjø de første 5 uker etter utsett var mellom 1,1-3,8 % og var ikke relatert til behandling i RAS eller størrelse ved utsett. Overlevelsen i sjøfasen var 93 %, og det var ingen signifikante effekter av lysregime eller salinitet i RAS. Fisk satt ut ved 600 g hadde litt høyere dødelighet i sjøfasen enn fisk satt ut på 100 eller 200 g.

Vekst i sjøfasen var først og fremst påvirket av størrelse ved utsett, fisk satt ut ved 600 g hadde lavere TGC i sjøfasen (2,9) enn fisk satt ut ved 100 og 200 g (3,3). Hovedårsaken var dårligere vekst i løpet av sommeren for 600 g utsett (TGC i snitt på 2,7) enn for 100 og 200 g utsett (TGC på 3,8 og 3,7). Ved avslutning av forsøket var fisk satt ut ved 600 g i snitt 4,12 kg, mens fisk satt ut ved 100 og 200 g var 4,87 og 4,67 kg.

Det var ingen effekt av salinitet i RAS på vekst i sjøfasen, men det var en positiv effekt av 24h lys i RAS på slaktevekt.

Kjønnsmodning, spesielt hos hannfisk ble fulgt nøye i hele forsøket. Det var en økning i gonadestørrelse (gonadosomatisk index, GSI) og andel kjønnsmoden hannfisk fra 200 til 600 g i RAS. Andelen kjønnsmoden hannfisk var 2,5 % ved 200 g og 5 % ved 600 g, men det var ingen signifikante effekter

av lysregime eller salinitet. I mai 2017 var GSI fortsatt noe høyere i 600 g utsett, men i september og november var det ingen forskjeller mellom utsettene.

Velferd ble vurdert både før og etter utsett i sjø ved å se på finneslitasje, skinnkvalitet, vaksinebivirkninger og forekomst av katarakt. Deformiteter og skader på fisken ble også registrert. Det var ingen effekter av fotoperiode og salinitet i RAS på finneskader og skinnkvalitet, men det var en forverring av finneskader etter overføring til sjø, samt en del øyeskader. Det var også en økning i katarakt i første periode i sjø, men dette var av osmotisk karakter, og fra mai og resten av forsøksperioden i sjø ble det registrert lite katarakt. Det var ingen signifikante effekter av salinitet eller fotoperiode i RAS på vaksinebivirkninger.

Pigmentering ble fulgt i hele forsøket. Det var en høyere metabolsk omsetning av astaxanthin i fisk som gikk på 24 h i RAS, men ved slakt var det ingen signifikante forskjeller i astaxanthinkonsentrasjonen i filet mellom behandlingene. Kvalitet og slakteutbytte ble vurdert ved slakt, det var ingen effekt av behandling på fett og farge i filet men noe mer gaping i 600 g utsett, og filetutbyttet var noe lavere sammenlignet med de andre gruppene. Det ble også tatt røntgen av fisken ved slakt, og det var en høyere andel av fisk med avvik i ryggraden i fisk satt ut på 100 og 200 g, sammenlignet med fisk satt ut på 600 g. Det var imidlertid mindre avvik som ikke var synlige utvendig på fisken. Totalt ble 90 % av fisken klassifisert som superior ved avslutning av forsøket. Det ble gjort ulike analyser på til sammen 540 fisk ved avslutning uten at det ble registret kjønnsmoden fisk.

Prosjektet har nytteverdi og relevans til FHF sin handlingsplan, bl.a. relatert til robust fisk, fiskehelse og -velferd og kvalitet hos laksefisk. Resultatene fra prosjektet har vist at det er mulig å sette fisk på 600 g som ikke har vært lysstyrt i RAS, med god overlevelse i sjø og lite kjønnsmodning. Resultatene fra forsøket indikerer også at lysbehandling i RAS har større betydning på vekst i sjø enn salinitet i RAS. Det var en negativ effekt av kontinuerlig lys på prestasjon i tidlig sjøfase, særlig for 200 g utsett, med dårligere vekst og høyere førfaktor sammenlignet med lysstyrt fisk. Størst innvirkning på prestasjon i sjøfasen hadde likevel størrelse/tidspunkt ved utsett. Det var ikke vesentlig forskjell i vekst og kvalitet mellom fisk satt ut på 100 og 200 g, men lavere vekst i 600 g. Dette kan skyldes at 600 g fisk ble satt ut i desember på lavere temperatur enn de andre gruppene. Resultatene fra dette forsøket viser at laks er mer plastisk med tanke på sjøvannstoleranse enn tidligere antatt, og dette åpner for å benytte flere ulike produksjonsprotokoller i RAS noe som kan øke fleksibiliteten i produksjonen. Det vil være fordelaktig å kunne produsere fisk i RAS på kontinuerlig lys og føre gjennom hele døgnet med tanke på vekst i RAS, og også for å gi stabil vannkvalitet og mer rasjonell drift av anleggene.

2 Innledning

2.1 Faglig bakgrunn

Hensikten med prosjektet var å undersøke effekten i sjøfasen av ulike produksjonsregimer for stor settefisk. I prosjektet ble fisk produsert med ulike produksjonsregimer i RAS, sammenlignet med tanke på ytelse i sjøfasen, med fokus på helse, velferd, veksthastighet, kjønnsmodning og slaktekvalitet.

Det har skjedd store forandringer i produksjonen av settefisk av laks, næringen har f.eks. stor interesse i å holde laksen lenger i lukkede anlegg for å kunne redusere tiden i tradisjonelle anlegg i sjø (Terjesen, 2015). Det er i dag blitt stadig vanligere å produsere en settefisk på 200-300 g, mot tidligere praksis på rundt 80-100 g, og det er interesse for å forskyve utsett i merder ytterligere til 600 g og enda større. Flere ulike produksjonsregimer har begynt å etablere seg uten at effektene på fisken er godt dokumentert. Det brukes i dag flere ulike strategier for stor settefisk i RAS i industrien, slik som vintersignal/ikke vintersignal og bruk av brakkvann eller utsett direkte fra ferskvann til sjø, og ved ulike størrelser. En stadig større del av settefisk produseres i resirkuleringsanlegg (RAS), noe som kan ha betydning for hvordan fisken takler overgangen til sjø. Tidligere forsøk i regi av Nofima har imidlertid vist at settefisk produsert i RAS har et annet forløp i oppbygging av sjøvannstoleranse, enn hos fisk fra tradisjonelle anlegg (Kolarevic med flere, 2014), noe som kan åpne opp for andre strategier for å opparbeide sjøvannstoleranse hos settefisk. Det er heller ikke kjent om fravær av vintersignal i settefiskfasen kan ha innvirkning på effekt av vaksinerings, eller på bivirkninger av vaksinerings, når dette skjer i RAS. Videre kan tidlig kjønnsmodning være en utfordring med de nye strategiene i RAS (Davidson med flere, 2016), og det er også her interaksjon med vaksinerings (Fjelldal med flere, 2012). Det er heller ikke kjent hvorvidt de nye produksjonsstrategiene virker inn på slaktekvalitet, slik som melanin (Mørkøre, 2012), slakteutbytte, deformiteter, tekstur, farge, og det ble derfor lagt vekt på dette i prøveuttaket ved avslutning av forsøket.

2.2 Prosjektets omfang

Prosjektet har hatt et budsjett på totalt 1 444 750 som skulle dekke transport og hold av fisken i sjøfasen samt deler av kostnader til reiser og prøvetaking i sjøfasen. Kostnader til RAS-delen av prosjektet samt analyser av prøvemateriale dekkes av SFI CtrIAQUA. Prosjektet har vært koblet til flere andre prosjekter ved at det har bidratt med prøvemateriale. Dette gjelder FHF-prosjekt 901271 (Effekt av fôr og stress på pigmentring i laks), forskningsråd-prosjektet (Assessment of Atlantic salmon smolts and growers immune competence, 267644) og et internt Nofima prosjekt. I denne rapporten er det inkludert data på kvalitet fra FHF-prosjekt 901271 og Nofima internprosjekt. Resultat fra forskningsråds-prosjekt rapporteres via forskningsrådet.

2.3 Prosjektorganisering (roller/ansvar: prosjektgruppe, styringsgruppe, andre)

Nofima har vært ansvarlig organisasjon for prosjektet, men det har vært utført i tett samarbeid med PHARMAQ, Pharmaq Analytic og Gildeskål Forskningsstasjon (GIFAS).

For øvrig er BENCHMARK nært knyttet til aktivitetene i CtrIAQUA. Blant brukerpartnerne i CtrIAQUA er Marine Harvest, Grieg Seafood, Cermaq, Bremnes Seashore, PHARMAQ og Pharmaq Analytic aktive i prosjektet.

Pharmaq Analytic har vært ansvarlige for analyser knyttet til markører for sjøvannstoleranse. PHARMAQ har vært ansvarlig for vurdering av vaksinebivirkninger.

Nøkkelpetanse, ansvar og roller til personer i prosjektgruppen

Nofima: Prosjektleder har vært Dr. Trine Ytrestøyl, med kompetanse innen fiskeernæring, kvalitet og produksjonsbetingelser i RAS. Øvrige involverte fra Nofima har vært Dr. Grete Bæverfjord (fiskehelse og velferd), Dr. Jelena Kolarevic (vannkvalitet, fiskevelferd), Dr. Turid Mørkøre (kvalitet), Per Brunsvik (produksjonsbiologi, smoltifisering). Videre har tidligere CtrialAQUA senterleder Bendik Fyhn Terjesen (Nå Cermaq) være tett tilknyttet prosjektet.

Pharmaq: Mari Solheim har vært ansvarlig for arbeidet gjort av Pharmaq.

PHARMAQ Analytiq: Elise Hjelle og Stian Nylund har vært ansvarlig for arbeidet gjort av PHARMAQ Analytiq.

3 Problemstilling og formål

3.1 Prosjektets effektmål (betydning for næringen, nytteverdi, kvantifiseres om mulig)

Prosjektet har stor næringsnytte ettersom det testes flere aktuelle produksjonsprotokoller for postsmolt i lukkede landbaserte anlegg. For tiden skjer det en større omlegging av norsk settefiskproduksjon og det har blitt estimert at flere milliarder kroner vil bli investert i slike anlegg de nærmeste årene. Produksjonsformen er i sterk utvikling, men det er flere ubesvarte spørsmål med tanke på optimalt lysregime, salinitet, og fiskestørrelse ved overføring til sjø.

Det er spesielt viktig å få besvart hva de forskjellige protokollene i RAS på land har å si for utfallet under sjøfasen. Komplette livsløpsanalyser undersøkes sjelden, men for næringen er dette helt avgjørende. Det er mulig at faktorer som gir positive effekter under den landbaserte fasen (f.eks. bruk av kontinuerlig lys på vekst) kan ha uønskede konsekvenser i sjøfasen (f.eks. økt innslag av tidlig kjønnsmodning). Dersom ikke fisken følges opp også i sjøfasen vil slik kunnskap kunne gå tapt, og implementering av tilsynelatende nyttige forskningsresultater kan gi negative konsekvenser for industrien.

3.2 Redegjøre for prosjektets resultatmål (leveranser i prosjektet)

3.2.1 Hovedmål

Å sammenligne flere forskjellige produksjonsprotokoller for stor settefisk med hensyn på fiskens ytelse, helse og velferd i sjø, for å identifisere de/den beste protokoll(e) for stor settefisk i RAS til 200 og 600 gram, som del av en full produksjonssyklus frem til kommersiell slaktestørrelse.

3.2.2 Resultatmål

- Teste om en utvidet landbasert fase i RAS resulterer i bedre ytelse, velferd og helse hos fisken i sjøfasen
- Teste om et vinter-signal er nødvendig i RAS for å sikre tilstrekkelig sjøvannstoleranse, redusere bivirkninger av vaksiner, og unngå tidlig kjønnsmodning
- Teste om en periode med brakkvanns-RAS er nødvendig for å gi god ytelse, redusere tidlig kjønnsmodning og gi tilstrekkelig sjøvannstoleranse

3.2.3 Nytteverdi

Prosjektet har bidratt med ny kunnskap om hvordan betingelser i RAS og tidspunkt for utsett påvirker prestasjon i sjø. Dette vil bidra til å implementere nye produksjonsprotokoller for Atlantisk laks.

4 Prosjektgjennomføring

4.1 Metodikk

Forsøket var designet som et 2x2x2 faktorielt oppsett i RAS (Figur 1), med faktorene:

- 1) lysperiode (tradisjonell mørkeperiode, 12:12 L:D i 6 uker eller 24:00 timer lys hele perioden i RAS)
- 2) salinitet i den påfølgende produksjonsfasen (0 eller 12 ppt fra 100 g i RAS) til utsett i sjø
- 3) størrelse ved utsett (200 eller 600 g)

Disse behandlingene ble i sjøfasen sammenlignet med en tradisjonell smoltproduksjon (12:12 L:D i 6 uker, deretter 4 uker med fullt lys, 24h, i ferskvanns RAS, utsett i sjø ved ca 100 g) med tanke på vekst, overlevelse, kjønnsmodning og kvalitet ved slakt.

| Light \ Salinity | FW | 12 ppt SW |
|------------------|------------|----------------|
| 12:12 | FW x 12:12 | 12 ppt x 12:12 |
| 24:00 | FW x 24:0 | 12 ppt x 24:0 |

Figur 1 Faktorielt oppsett av forsøket. I tillegg kommer faktoren utsettsstørrelse, hvor hver av de fire behandlingene vist her blir satt ut i not i sjø (WP2) enten på ca 200g eller 600g

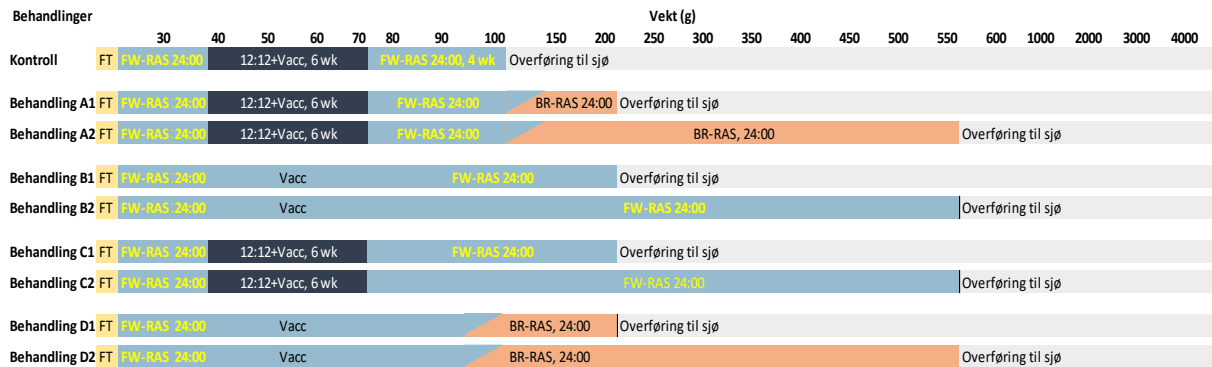
4.2 Gjennomføring av prosjektet

4.2.1 RAS landbasert fase

Laksen ble startfôret i januar 2016 og gikk i gjennomstrømming frem til forsøket ble startet. 5400 parr (300 x 18) ble PIT-merket ved ca 30 g. Totalt besto forsøket av 9 ulike behandlinger (Figur 2); hver behandling i duplikate 3,2 m³ forsøkskar i Nofimas senter for resirkulering i akvakultur (NCRA) på Sunndalsøra (beskrevet i Terjesen med flere., 2013). Vannhastighet (cm/s) ble justert til omtrent 1 kroppslengde per sekund for å oppnå optimal vekst (Castro med flere., 2011; Terjesen, 2015). Det ble benyttet kommersielt fôr beregnet på RAS av samme type til alle kar i RAS (pelletstørrelse tilpasset fiskestørrelser 20-600 g, 3-4,5 mm). Fôret inneholdt 50 ppm med astaxanthin.

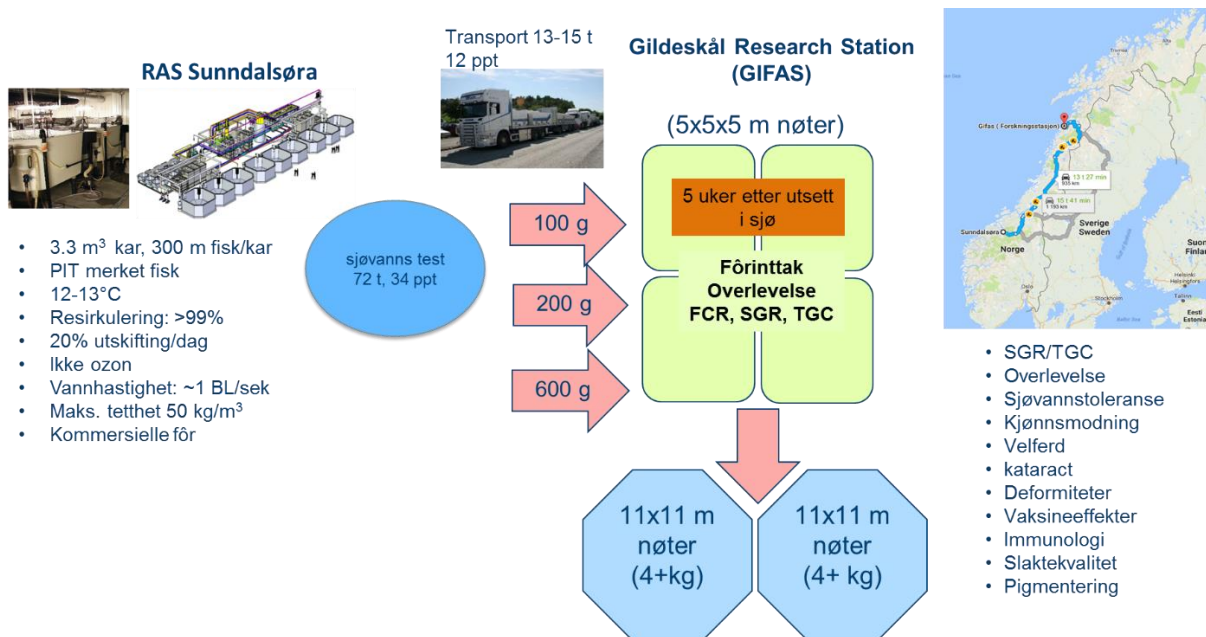
Alle forsøksgrupper ble vaksinert med en kommersiell vaksine fra Pharmaq 20.-21. juli 2016 (Alfa Ject micro 1000). Behandlingene med vintersignal startet 13. juni og varte til 27. juli. Kontrollgruppen ble evaluert til å være smoltifisert i uke 34 (22. august). Sjøvannstester ble gjort i forkant av utsett i sjø av kontrollgruppen i august 2016 (3 tester, 72 timer, 32 ppt S, 18 fisk per behandling) og fôr utsett av 200 og 600 g fisk etter standard prosedyrer (Kolarevic med flere., 2014). Ved utsett til sjø ble fisken transportert med bil til GIFAS. Fisken ble håvet forsiktig ut av karene og over på bilen og Aqui-S (2,7 mg/L) ble brukt til å sedere fisken i karene. Vidalife (Scanvacc), et produkt som inneholder

polyvinylpyrrolidon, (PVP) ble brukt til håver og veiester for å redusere friksjon og forebygge skinnskader og skjelltap. 23. august 2016 ble kontrollgruppa transportert til nøter i sjø ved GIFAS (28 dager på 24 h lys, 350 døgngrader på 24 h). Fra utsett av kontrollfisken ble saliniteten gradvis økt over ca 2 uker i de behandlingene som skulle gå på 12 ppt frem til utsett i sjø. Sjøvannstester ble også gjort før utsett av fisk på 200 og 600 g (test av 18 fisk per behandling, 72 h, 34 ppt). Disse ble satt ut i sjø den 5. oktober og 9. desember (henholdsvis 900 og 1725 døgngrader etter avslutning av lysstyring med kort dag). Forsøket ble avsluttet i november 2017 når fisken var om lag 4 kg i snitt.



Figur 2 Oversikt over forsøksbehandlingene. Forkortelser: FT: flow-through (gjennomstrømming), Vacc: vaksinering, Wk: uker, FW-RAS: resirkulering med ferskvann, BR-RAS: resirkulering med brakkvann (12 ppt S), 12:12, 12 timer lys og 12 timer mørke, 24:00, 24 timer lys og 0 timer mørke

Responsvariabler i forsøket var veksthastighet (spesifikk og termisk vekstrate, SGR, TGC), % overlevelse, gonadosomatisk indeks (GSI), velferds-score, deformiteter, pigmentering, slaktekvalitet og markører for ione-/osmoregulering (Smolt Vision, Pharmaq Analytiq). Før sjøvannstestene ble det tatt gjelleprøver av 18 fisk per behandling for Na^+ , K^+ , ATPase (NKA) aktivitet og genuttrykk (q-PCR). Vekt, lengde og smolt-indeks i henhold til eget scorings-skjema ble registrert. Etter sjøvannstestene ble det tatt blodprøver (analysert ved Nofima for Cl^- , Mg^{2+} , Na^+). Ved alle uttak er det gjort velferds-score (skinn, finner, katarakt, deformiteter) etter Hoyle med flere (2007) og Kolarevic med flere (2014). Kjønnsmodning er fulgt ved å registrere eksterne karakteristika for kjønnsmodning hos fisken og beregne GSI ut fra gonadevekt. Dette ble gjort før hvert utsett og ved prøveuttak i sjø. All prøvefisk ble veid og målt, lever veid for registrering av % leverstørrelse (HSI) og gonader veid for bestemmelse av GSI.



Figur 3 Oversikt over sjøfasen av BENCHMARK. Se tekst for forklaring på forkortelser

4.2.2 Sjøfase

Den første tiden i sjøfasen gikk de ulike behandlingene adskilt i mindre nøter (5x5x5m, 125 m³) med oppsett for måling av fôrintak (Figur 3), ettersom appetitt etter utsett kan være en indikator på suboptimal sjøvannstoleranse. Dersom det oppsto høy dødelighet i noen behandlinger skulle disse også kunne avsluttes raskt uten å påvirke de andre behandlingene. Siden all fisk var PIT merket, ble behandlingene deretter blandet i to 11 m nøter (11x11x8, 1000 m³) frem til slakt. Kontrollfiskene på 100 g ble satt ut den 23. august 2016, 200 g utsettet den 5. oktober og 600 g utsettet den 10. desember. Ved overføring til sjø ble fisken tatt fra bil gjennom en slange direkte over i ventemerder uten bruk av pumping. Merdene ble så slept ut til stålanlegget med båt så raskt som praktisk mulig. Et kar i RAS på Sunndalsøra ble transportert i en tank på bilen og så over i en 5x5 meters merd. De parallelle 5x5 m merdene gikk så over i hver sin 11 m merd. Kontrollfiskene satt ut på 100 g gikk over i 11 m merd samtidig med 200 g utsettet (i november 2016), mens 600 g utsettet gikk over i 11 m i begynnelsen av februar 2017.

Det ble benyttet kommersielle fôr fra samme produsent i hele forsøket, all fisken i forsøket fikk til enhver tid samme fôr, fra samme batch, uavhengig av om den gikk i RAS eller i sjø. Fisken ble fôret etter appetitt, med 20 % overføring for å sikre godt fôrintak slik at fôret ikke blir en begrensende faktor dersom gruppene vil avvike i appetitt. Fisken ble fôret to måltid per dag i perioden mars til oktober og ett måltid per dag i perioden november til februar. Fisken ble fôret for hånd i 5x5-metringer, og med fôringsautomat i 11-metringer. Fisken fikk fôr med slice mot lus ved 4 anledninger: 27 sept-3 okt 2016 (100 g utsett), 25 okt-4 nov 2016 (200 g utsett). 3-15 februar 2016 (600 g utsett), og 8-15 mai 2017 (alle grupper). I tillegg ble det benyttet en metode med mekanisk avlusning ved 4 anledninger: 21-23 feb 2017, 29-31 mai 2017, 17-18 aug 2017, 10 nov 2017. Vanntemperatur på 1, 3 og 5m, salinitet og oksygenkonsentrasjon på 3m ble logget daglig. Det ble tatt prøver av fisken og gjort registreringer av lengde, vekt, vekt av gonader og scoring av velferd og vaksinebivirkninger ved totalt 6 prøveuttak i sjøfasen. Tabell 1 gir en oversikt over prøver og registreringer gjort ved de ulike uttakene. Forsøket ble

avsluttet 17. november 2017. Ved avslutning ble det også gjort en vurdering av kvalitet og slakteutbytte (tekstur, melaninflekker, deformiteter, farge) etter Mørkøre et al. (2012).

Tabell 1 Oversikt over prøveuttak i prosjektet i sjøfase. I tillegg ble det i RAS tatt gjelleprøver og blodprøver ved syv sjøvannstester i perioden august-desember og uttak av vev og blod før utsett av de ulike gruppene.

| År | Måned | Uttak | Prøver |
|------|-------|---------------------------|--|
| 2016 | sept | Overføring 11 m, kontroll | Hel fisk til kjemisk analyse, vekt, velferd |
| 2016 | okt | Overføring 11 m, 200 g | Hel fisk til kjemisk analyse, vekt, velferd |
| 2017 | jan | Overføring 11 m, 600 g | Hel fisk til kjemisk analyse, vekt, velferd |
| 2017 | mai | Alle behandlinger | NQC, velferd, vekt, vaksineeffekter, GSI |
| 2017 | sept | Alle behandlinger | NQC, velferd, vekt, vaksineeffekter, GSI |
| 2017 | nov | Alle behandlinger | NQC, velferd, vekt, vaksineeffekter, GSI, kvalitet |

4.3 Analyser og beregninger

4.3.1 Vekst og organindeks

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.

Fôrfaktor (FCR) = fôr spist (kg)/biomasseøkning (kg)

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

Hepatosomatisk indeks (HSI) = levervekt / vekt helfisk * 100;

Gonadosomatisk index (GSI) = gonadevekt / vekt helfisk * 100;

4.3.2 Kjemiske analyser

Prøver av hel fisk og filet ble analysert for tørrstoff (tørking ved 105 °C, 16-18 timer, til konstant vekt), nitrogen (Kjeltech Auto Analyser, Tecator, Höganäs, Sweden), totallipid (Folch), energi (bombekalorimeter; Parr 1271, Parr, Moline, IL, USA), aske (forbrenning, deretter 3-4 timer ved 550 °C til konstant vekt). Mineraler ble analysert ved ICP ved Eurofins. Astxanthin og metabolitten idoxanthin ble analysert i fileter/helfisk fra samleprøver per behandling/merd og ved bruk av en metode av Bjerkgeng med flere (1997).

4.3.3 Statistikk

Statistiske analyser av vekst (vekt, TGC, SGR), fôrinntak og FCR, dødelighet, kjemisk sammensetning, organindekser og plasma ioner ble gjort i SAS Jmp ved hjelp en to-vegs ANOVA med salinitet, lysperiode

og vekt ved utsett som faktorer. P - verdier $< 0,05$ ble regnet som statistisk signifikante, og P – verdier $< 0,1$, ble ansett som en tendens.

Statistiske analyser for vurdering av vaksinebivirkninger ble gjort i GraphPad Prism ved hjelp av Kruskal-Wallis med Dunn's multiple comparison test. P-verdier $< 0,05$ ble regnet som statistisk signifikante.

5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Sjøvannstoleranse og prestasjon første uker i sjø

Det ble gjennomført i alt 7 sjøvannstester mens fisken gikk i RAS, fire før utsett av kontrollfisken på 100 g ble satt ut i sjø i august i perioden 8.-22. august. Det ble ikke registret dødelighet i sjøvannstestene. Det ble tatt blodprøver av fisken etter 72 timer eksponering for 34 ppt for analyse av plasma klorid. 18 fisk per behandling lys-behandling (12:12/24h) ble testet. All fisken gikk på ferskvann på dette tidspunktet. Samtidig som fisk ble satt på sjøvann ble det tatt gjelleprøver fra fisk i opprinnelseskarene for analyse av aktivitet av natrium/kalium ATPase (NKA) og uttrykk av gener for isoformene av NKA karakteristisk for henholdsvis ferskvanns og sjøvannstoleranse. Analysene av NKA og isoformer ble gjort av Pharmaq Analytic. Det ble også gjort sjøvannstester 22. september, 13. november og 2. desember, ingen dødelighet ble registrert i disse testene. Det ble tatt gjelleprøver 22. september, 4. oktober, 9. november og 28. november for analyser av NKA. Det ble også gjort en visuell vurdering av morfologi, med score fra 1-4 på synlige parrmerker, sølvfarge på skinn og mørke finnekantene. Kondisjonsfaktor ble også beregnet.

5.1.1 Morfologi

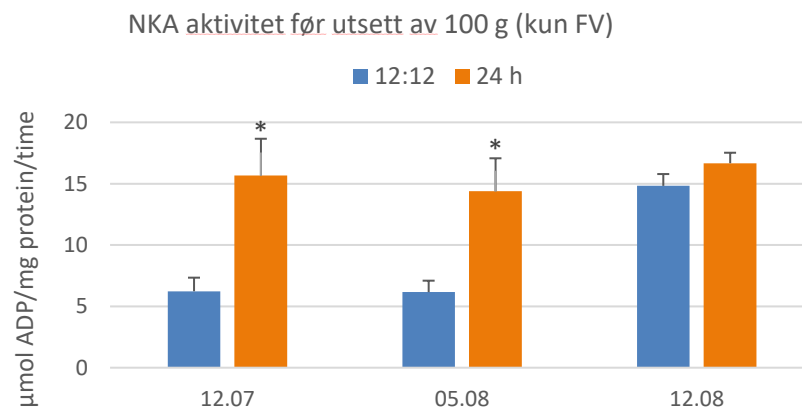
Ingen av fiskene hadde synlige parrmerker i forsøket (alle hadde score 4: ingen synlige merker). Score for sølvfarge (4 er maks verdi) var høyere i fisk på 24 h i den første sjøvannstesten 5. august (3,9) sammenlignet med lysstyrt fisk (3,5) ($p < 0.001$), men den 12. august var det ikke noen forskjell mellom gruppene. Den 19. august og 22. september var lysstyrt fisk mer sølvfarget (3,8 og 3,5) enn fisk på 24 h. I november var det ingen effekt av lysstyring på sølvfarging (snitt på 3,9 i begge grupper). Det var ingen effekt av salinitet på sølvfarge ved noen prøvetidspunkt. Mørkfarging av finner var ikke påvirket av fotoperiode i begynnelsen av august (score 1,7), men den 19. august var det høyere score for lysstyrt fisk (3,2) sammenlignet med fisk på 24 h (2,4) ($p < 0,01$). I september og november var det ingen signifikante effekter av fotoperiode eller salinitet på finnefarge, og den hadde en score på 3,4 i slutten av november (snitt alle behandlinger). Den 5. august var kondisjonsfaktor (CF) lik for begge lysbehandlinger (1,36). Deretter avtok kondisjonsfaktoren i lysstyrt fisk til 1,21 den 23. august og 1,17 i september og oktober, mens CF lå mellom 1,33 og 1,37 i fisk på 24 h i denne perioden. I november var det ikke lenger forskjell mellom gruppene, CF lå på mellom 1,32 og 1,4. Det var ingen signifikant effekt av salinitet på kondisjonsfaktor. Fra første sjøvannstest og til siste uttak før utsett av 600 g fisk i desember var fisk som hadde gått på 24 timer lys tyngre og lengre enn de som hadde gått på lysstyring (12:12). Fisk som ikke var lysstyrt var 35-41 % tyngre enn de som hadde fått kort dag i perioden 5.08-22.09, mens det i november var en forskjell på 10-14 %. For lengdevekst var forskjellen 7-11 % fra 5.08-22.09 mens det i november var kun 2-3 % forskjell i lengde i favør 24 h. Med andre ord, fisken som var lysstyrt hadde tatt igjen mye av den tapte veksten i perioden med kort dag når 600 g fisken ble satt ut i desember.

5.1.2 Aktivitet av Natrium-Kalium ATPase (NKA) og uttrykk av sjø- og ferskvannsisoformer

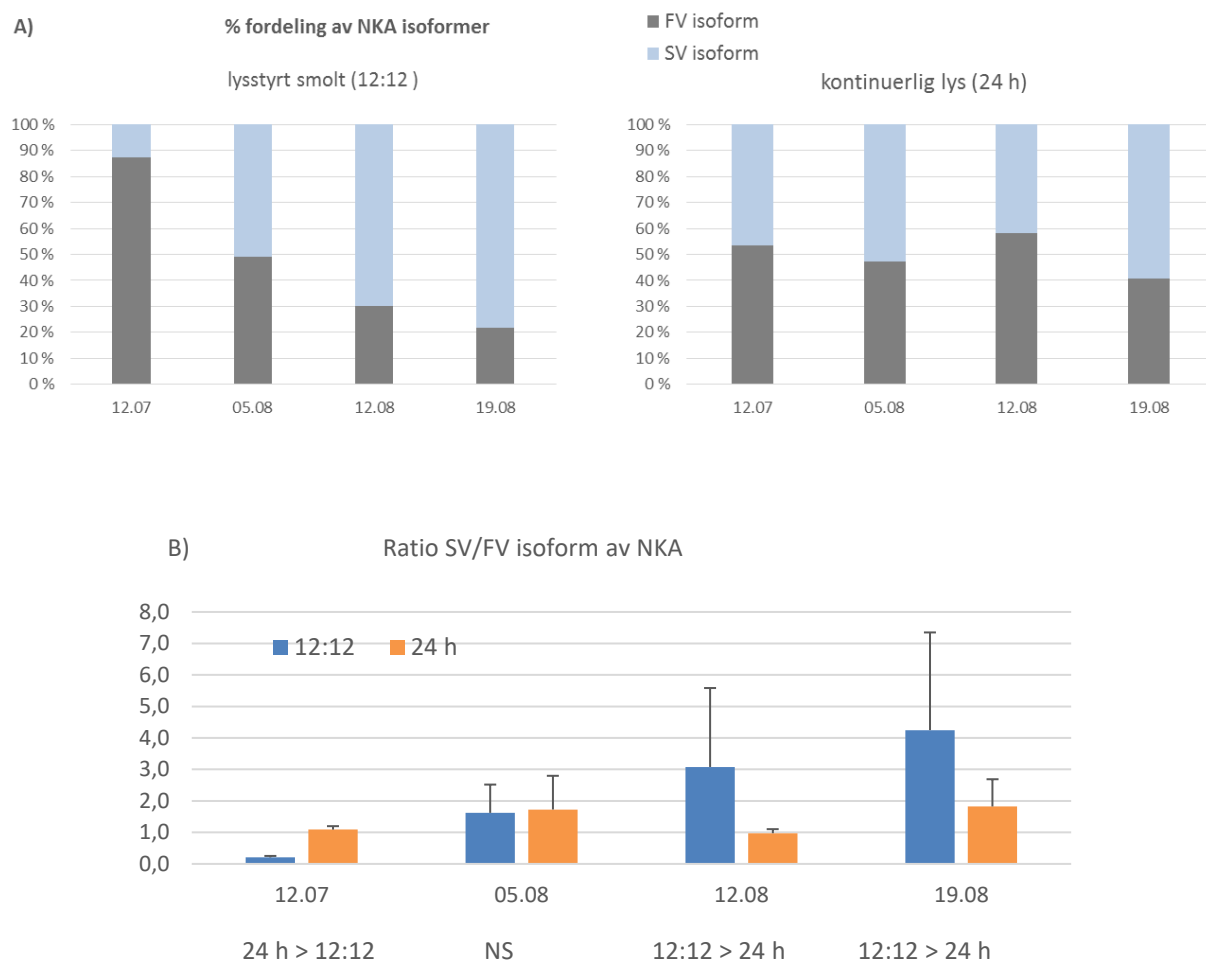
Aktiviteten av NKA var signifikant forskjellig i fisk som var lysstyrt og i fisk som gikk på kontinuerlig lys i RAS frem til utsett av 100 g fisken (Figur 4). I denne perioden gikk all fisken på ferskvann i RAS. Fisk som var lysstyrt ble satt på kort dag (12:12) fra 13. juni til 25. juli og på kontinuerlig lys fra 25. juli til utsett 22. august. NKA-aktiviteten var lav (6,2) ved uttak i mørkeperioden og 5. august, men hadde økt til ca 15 ved uttak 12.08. I fisk som ikke var lysstyrt var NKA-aktiviteten høy i hele denne perioden.

Også gen-uttrykk av ferskvanns- og sjøvanns-isoformene av NKA var påvirket av lysstyring, i fisk på 12:12 gikk uttrykket av FV-isoformen ned, og uttrykket av SV-isomeren opp, men i fisk på kontinuerlig lys lå fordelingen nær 1:1 i hele perioden (Figur 5).

I slutten av september var aktiviteten relativt høy i alle behandlinger (13-14), og det var ingen signifikante effekter av behandling. Videre utover i perioden i RAS avtok aktiviteten av NKA gradvis frem mot utsett av 200 g og 600 g fisken i oktober og desember (Figur 6). Ved utsett av 200 g fisken i begynnelsen av oktober var aktiviteten under 12 i alle behandlinger, og det var signifikant lavere aktivitet i fisk som gikk på ferskvann ($p < 0,05$) mens det ikke var signifikant effekt av lysstyring. Ved uttakene i november var det ikke signifikant effekt av salinitet på NKA aktivitet, men det var høyere aktivitet i fisk som var lysstyrt ($p < 0,05$).

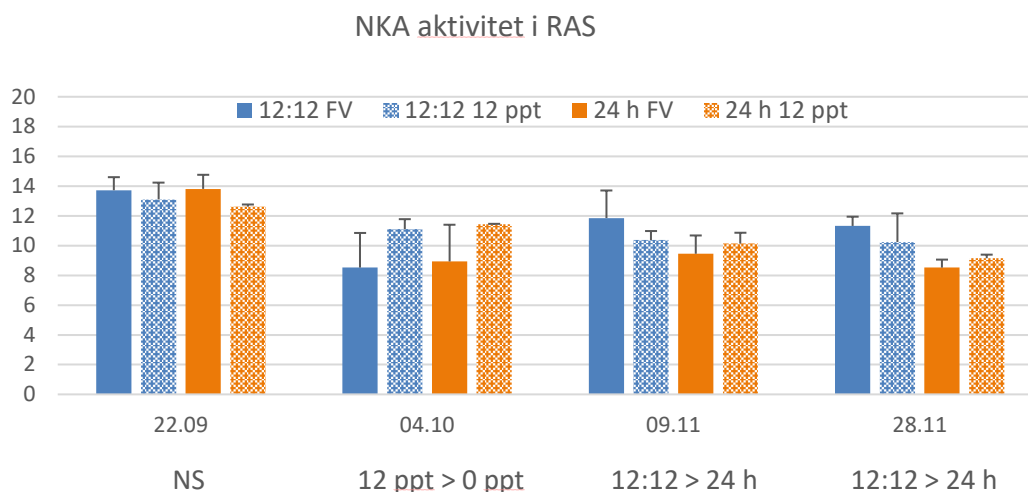


Figur 4 Aktivitet av enzymet natrium-kalium ATP ase (NKA) i fisk som ble eksponert for kort dag (12:12 L:D) i 6 uker og i fisk på kontinuerlig lys. Signifikante forskjeller ($p < 0,05$) er markert med *



Figur 5 A) Prosentfordeling av Ferskvanns (FV) og sjøvanns (SV) isoformen av NKA i fisk som ble eksponert for kort dag (12:12 L:D) i 6 uker og i fisk på kontinuerlig lys. B) Gjennomsnitt per behandling av ratio av sjøvanns/ferskvanns-isoform i samme prøvefisk som i A). Signifikante effekter av lysbehandling ($p < 0,05$) oppgitt under. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD ($n=3$)

Utover høsten var en klar effekt av å bruke brakkvann på uttrykket av isoformene av NKA (Figur 7). Fisk på 12 ppt hadde høyere uttrykk av sjøvanns-isoformen relativt til ferskvanns-isoformen ved alle fire uttak, både før utsett av 200 g (04.10) og 600 g fisk (28.11) ($p < 0,05$). I oktober og november var det også en økt ratio SV/FV isoform i fisk som var lysstyrt sammenlignet med de som gikk på kontinuerlig lys ($p < 0,05$), og det var en signifikant interaksjon mellom lys og salinitet, slik at fisk som både var lysstyrt og gikk på 12 ppt hadde den høyeste SV/FV isoform ratio ($p < 0,05$). Før utsett av 600 g fisken hadde 24 h, 0 ppt den laveste SV/FV ratio av NKA, og også lavest total aktivitet av NKA (Figur 6).



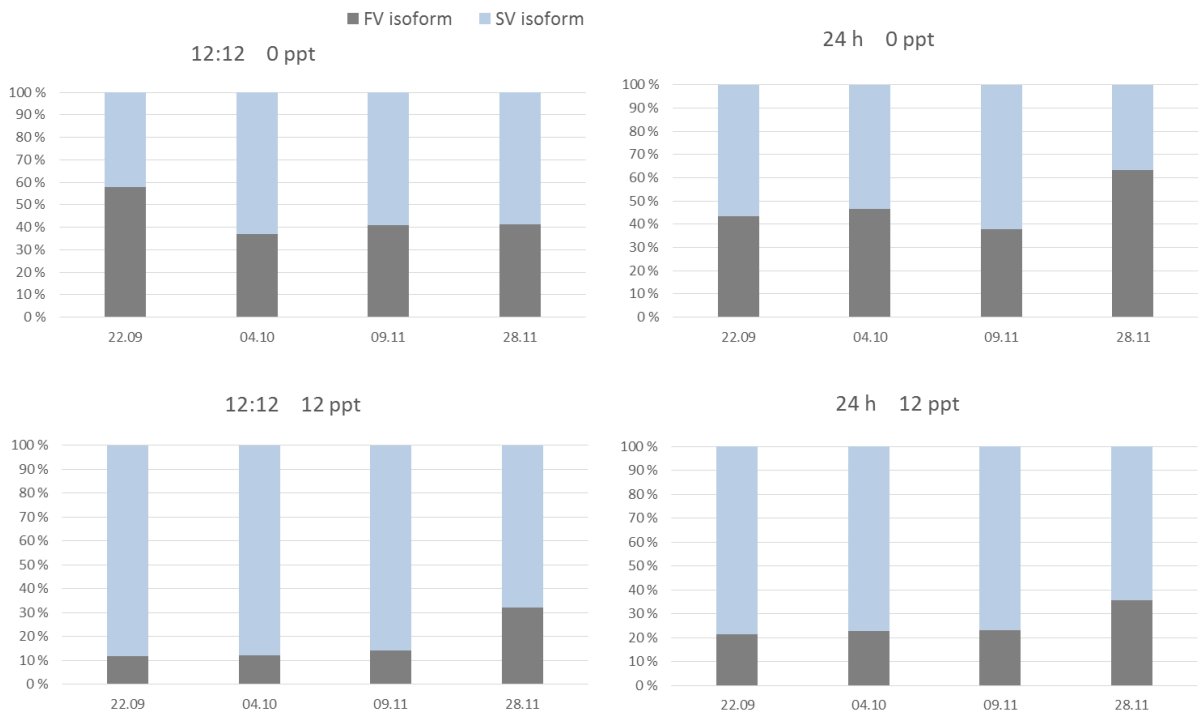
Figur 6 Aktivitet av enzymet natrium-kalium ATP ase (NKA) i de ulike behandlingene utover høsten i RAS. Signifikante effekter av behandling ($p < 0.05$) er oppgitt under dato for uttak. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD ($n=2$)

5.1.3 Sjøvannstester og ione-regulering

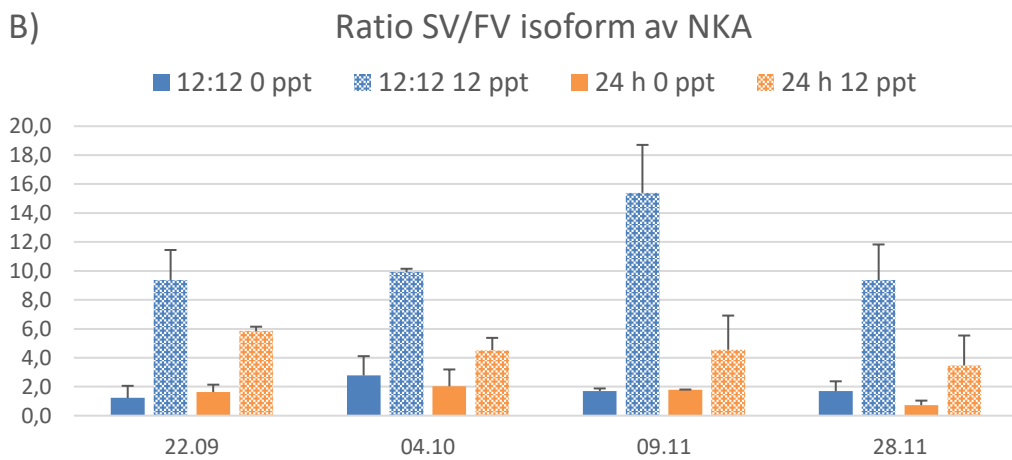
Resultatene på plasma klorid etter sjøvannseksposering for de første tre sjøvannstestene er vist i Figur 8. I den første sjøvannstesten avsluttet 8. august hadde fisk som gikk på lysstyring høyere plasma klorid. I de neste tre testene 12.-22. august var det ingen forskjell i plasma klorid mellom behandlingene. Fisk som gikk på lysstyring var mindre enn den som gikk på 24h. Det var kun lysstyrt fisk som ble satt i sjø den 23. august. Snittvekt på den som ble satt ut var 100 g.

Etter den fjerde sjøvannstesten den 22. september ble det kjørt analyser av flere ioner i tillegg til klorid (Na, Mg, Ca, P, K) samt glukose. For Cl, Na, Ca var det ingen signifikante effekter av lysbehandling eller salinitet, mens det for Mg og P var en signifikant effekt av salinitet ($p < 0,05$), med høyere plasmakonsentrasjon i fisk fra ferskvann enn de som hadde gått på 12 ppt. Glukose og kalium var høyere i fisk på 24h enn 12:12 ($p < 0,05$), mens det ikke var effekt av salinitet (Figur 9). Høyere glukoseverdier kan tyde på en økt stress-respons i fisk fra 24h. I sjøvannstestene den 16. november og 5. desember ble det kun analysert for Cl, Na og Mg. For Na og Cl var det ingen signifikant effekt av lysstyring eller salinitet i september og november, mens det i desember var høyere konsentrasjon av Na og Cl i plasma hos fisk på 0 ppt ($p < 0,05$). For Na var det også høyere verdier i fisk som hadde fått et vintersignal enn i fisk på 24 h ($p < 0,05$). For magnesium var det en signifikant høyere konsentrasjon av Mg i plasma hos fisk på 0 ppt både i september og desember ($p < 0,05$), mens det ikke var signifikante forskjeller mellom behandlinger i november. I desember var det som for Na og Cl høyere konsentrasjon av Mg i fisk som var lysstyrt ($p < 0,01$).

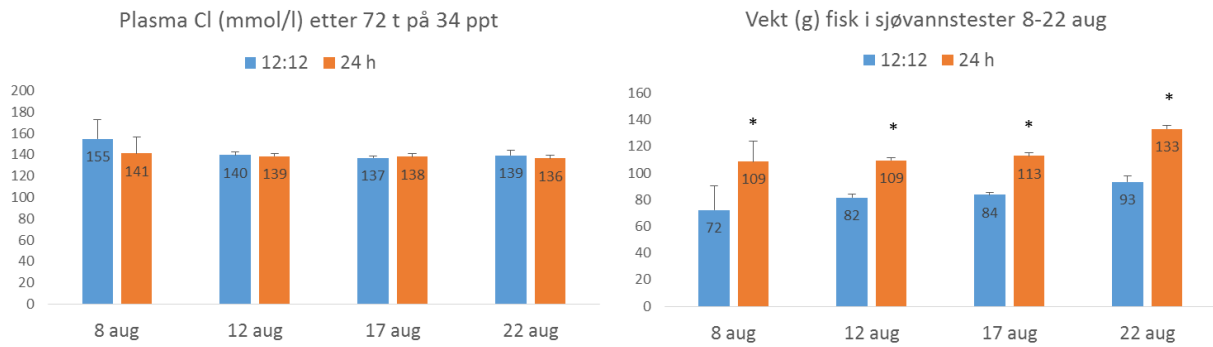
A)



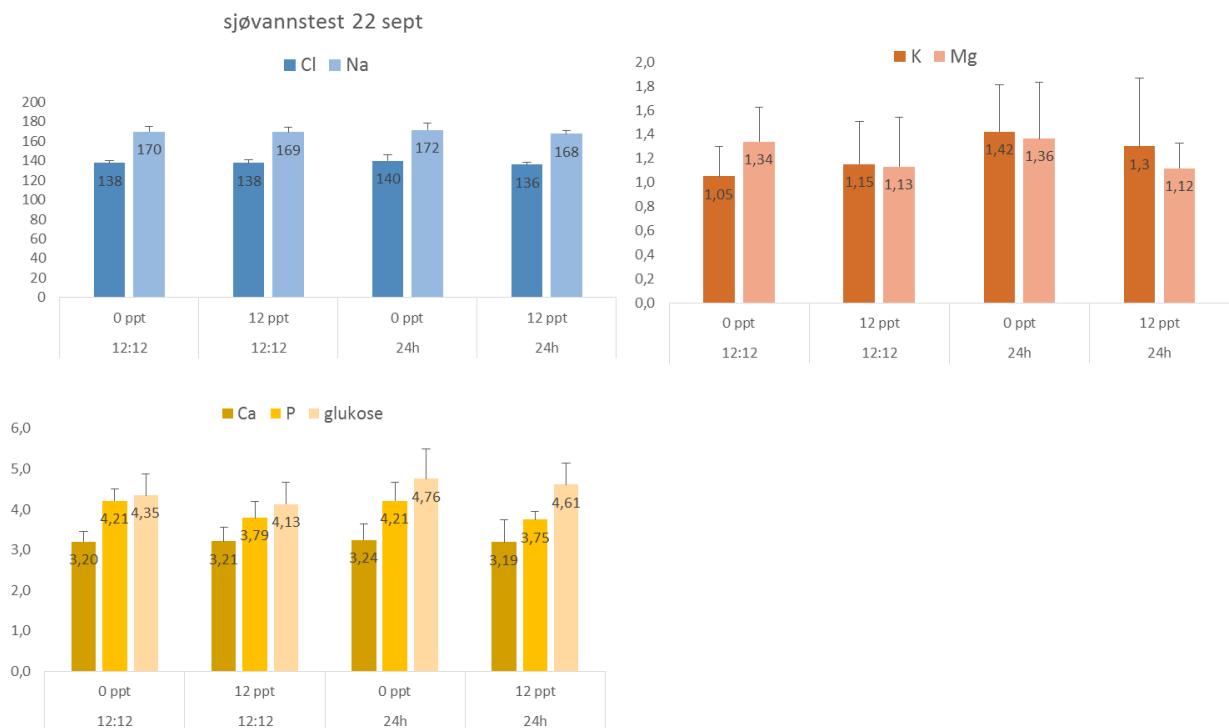
B)



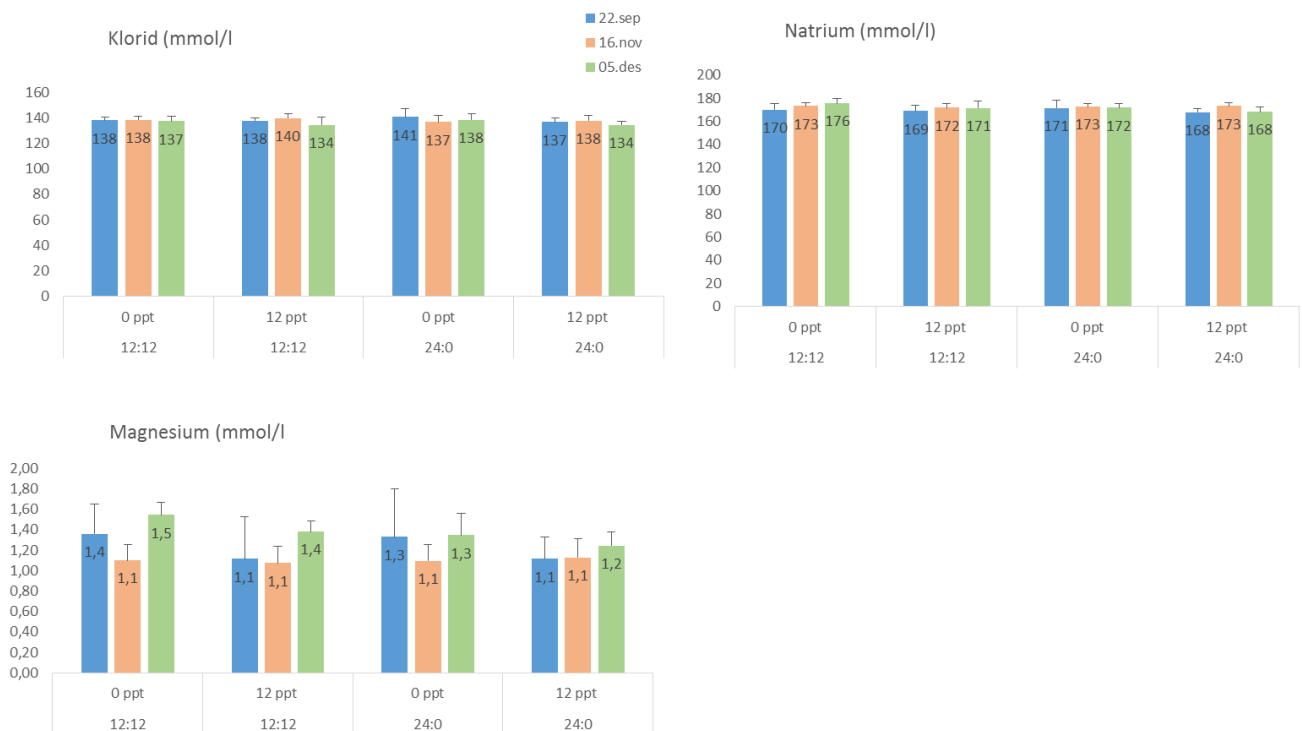
Figur 7 A) Prosentvis fordeling og B) ratio og av sjø- og ferskvanns-isoformen av NKA utover høsten i RAS. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD, 2-3 kar og 6 fisk per kar er prøvetatt



Figur 8 Plasma klorid (over) etter 72 timer eksponering til 34 ppt. Under; vekt på prøvfisken etter 72 timer på 34 ppt. Signifikante forskjeller ($p < 0.05$) er markert med *



Figur 9 Ioner i plasma (Cl, Na, K, Mg, Ca, P) og glukose i plasma etter 72 timer på 34 ppt. Data fra sjøvannstest 22. september 2016



Figur 10 Ioner i serum (Cl, Na, K, Mg) etter 72 timer på 34 ppt. Data fra sjøvannstester 22. september, 16. november og 5. desember 2016

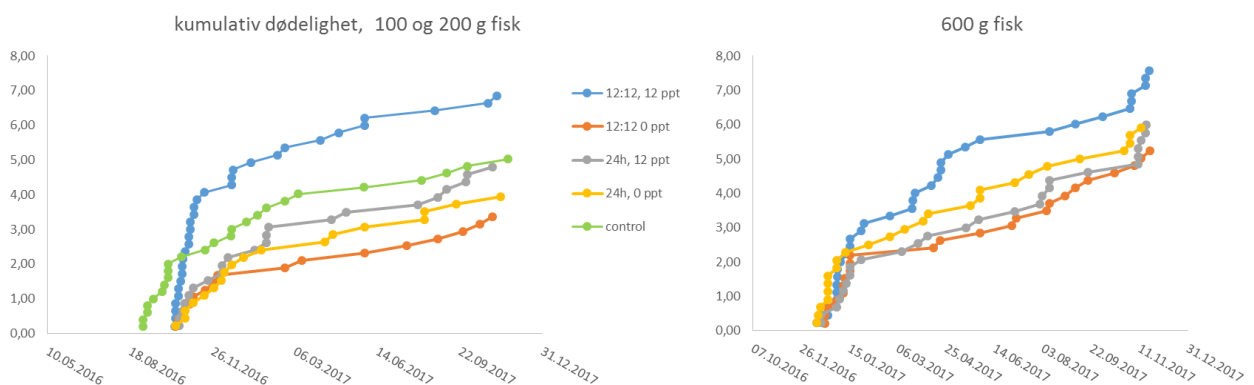
Det ble også tatt blodprøver og målt konsentrasjon av ioner blod i fisk fra forsøkskarene ved uttakene før utsett av 200 g (3. oktober) og 600 g fisk (6. desember). Ved begge disse uttakene var Mg høyere i brakkvann enn i ferskvann (henholdsvis 0,95 og 0,80 mmol/l i 200 g fisk, og 1,52 og 1,40 i 600 g fisk), men det var ingen effekt av lysstyring. (Årsaken til forskjellen i Mg mellom uttak kan være at det var målt på plasma i 200 g fisk og serum i 600 g fisk.) Det var ingen effekt av salinitet på konsentrasjon av natrium og klorid (0,5 mmol/l høyere Cl og Na i 12 ppt enn i ferskvann), men fisk som hadde fått kort dag (12:12) hadde høyere klorid (127,5) enn fisk på 24 h (124). Natriumkonsentrasjonen var i gjennomsnitt på henholdsvis 160,5 i ferskvann og 161 mmol/l i 12 ppt. Hvis vi sammenligner verdier av Cl, Na og Mg ved siste uttak i kar (3.-4. desember) med verdier etter sjøvannstest (tatt 5. desember), så var verdiene av Mg lavere etter sjøvannstest enn verdier målt i opprinnelseskarene ($p < 0,05$, Tabell 2). Endringen i serum Mg var imidlertid liten (Tabell 2). For Cl og Na var det imidlertid høyere verdier etter 72 timer på 34 ppt enn i opprinnelseskarene ($p < 0,0001$). I opprinnelseskarene var det ingen effekt av salinitet på Cl og Na, mens det var høyere Cl i fisk som var lysstyrt ($p < 0,0001$). Etter sjøvannstest var det høyere Cl, Na og Mg i fisk som hadde gått på ferskvann før sjøvannstesten sammenlignet med fisk som hadde gått på 12 ppt ($p < 0,05$) noe som kan tyde på en positiv effekt av brakkvann.

Tabell 2 Serum konsentrasjon av Cl, Na og Mg ved prøveuttaket før utsett av 600 g fisk (i opprinnelses-karene) og etter 72 timers eksponering til 34 ppt (SW6). (n= 2 kar per behandling, 5 fisk per kar)

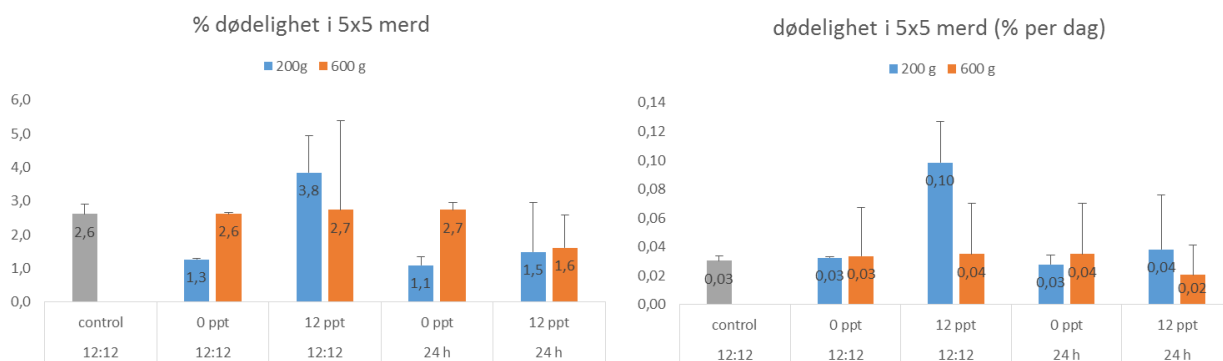
| Uttak | Lys | Salinitet | Cl | Na | Mg |
|--------------|------|-----------|-------|-------|------|
| SW 6 | 12 h | 0 ppt | 137,2 | 175,7 | 1,54 |
| SW 6 | 12 h | 12 ppt | 134,2 | 171,4 | 1,42 |
| SW 6 | 24 h | 0 ppt | 138,3 | 172,0 | 1,35 |
| SW 6 | 24 h | 12 ppt | 134,5 | 168,4 | 1,25 |
| Utsett 600 g | 12 h | 0 ppt | 126,6 | 159,7 | 1,41 |
| Utsett 600 g | 12 h | 12 ppt | 127,6 | 160,9 | 1,53 |
| Utsett 600 g | 24 h | 0 ppt | 124,2 | 161,0 | 1,37 |
| Utsett 600 g | 24 h | 12 ppt | 124,2 | 160,9 | 1,52 |

5.2 Overlevelse i sjø

Dødeligheten var høyest de første par ukene etter overføring til sjøvann (Figur 11) i alle behandlinger. De ulike utsettene gikk litt ulik tid i 5x5 meters merder, 100 g fisk gikk ut i 5x5 merd den 23.08, og ble overført til 11-metring sammen med 200 g utsettet den 19.11. Dødelighet for kontrollfisk i denne perioden var på $2,6 \pm 0,3$ %. Hvis vi regner dette som % døde per dag, blir det 0,03 % per dag. 200 g utsettet ble overført til 5x5-metring 11.10 og til 11-metring 19.11. I denne perioden var dødeligheten mellom 1,1-3,8 % i de ulike behandlingene (Figur 12), det var ingen signifikante effekter av behandling i RAS, men det var en tendens til høyere dødelighet for fisk som hadde gått på 12 ppt ($p = 0,086$). Det var ingen forskjell i dødelighet mellom 100 g og 200 g utsett. Dødelighet i % per dag var mellom 0,03-0,1 for 200 g utsett. 600 g fisken ble overført til 5x5-metring den 12.12.2016, og gikk over i 11-metring 27.02.2017. I denne perioden var dødeligheten mellom 1,6-2,7 % i snitt for de ulike behandlingene, som tilsvarte 0,02-0,04 % per dag (Figur 12). For 600 g utsettet var det ingen effekt av lysbehandling eller salinitet i RAS. Det var heller ingen effekt av størrelse ved utsett på dødelighet de første 5-8 uker i sjø.

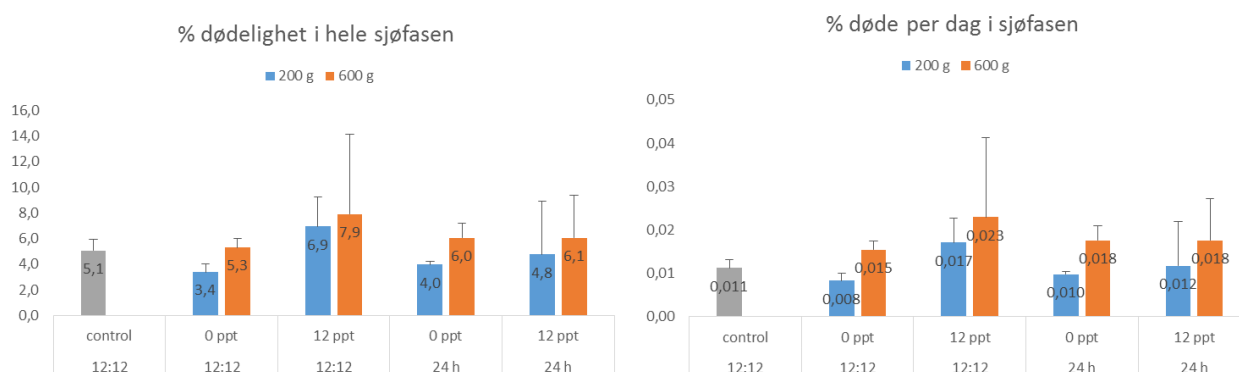


Figur 11 Kumulativ dødelighet i forsøket fra utsett i sjø til avslutning i slutten av november 2017



Figur 12 Prosent dødelighet, og prosent døde per dag i forsøket fra utsett i sjø i 5x5 merder til overføring i 11-metinger. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD (n=2)

Dødeligheten i sjøfasen fra utsett i 5x5 merder til slakt i november 2017 må karakteriseres som lav sammenlignet med kommersielle tall på om lag 15%. I snitt var det mellom 3,4-7,9 % dødelighet i sjø per behandling (Figur 13). Det var ingen tilfeller av sykdomsutbrudd, og det var heller ikke mye dødelighet i forbindelse med avlusning av fisken. Hverken temperatur eller oksygenivå medførte spesielle utfordringer for fisken i dette forsøket. Det var ingen signifikante effekter av salinitet eller lysbehandling i RAS på dødelighet i sjøfasen, men det var en tendens til høyere dødelighet for 600 g fisk sammenlignet med de andre utsettene ($p = 0,09$).



Figur 13 Prosent dødelighet, og prosent døde per dag i forsøket fra utsett i sjø i 5x5 merder til overføring til slakt i november 2017. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD (n=2)

5.3 Vekst

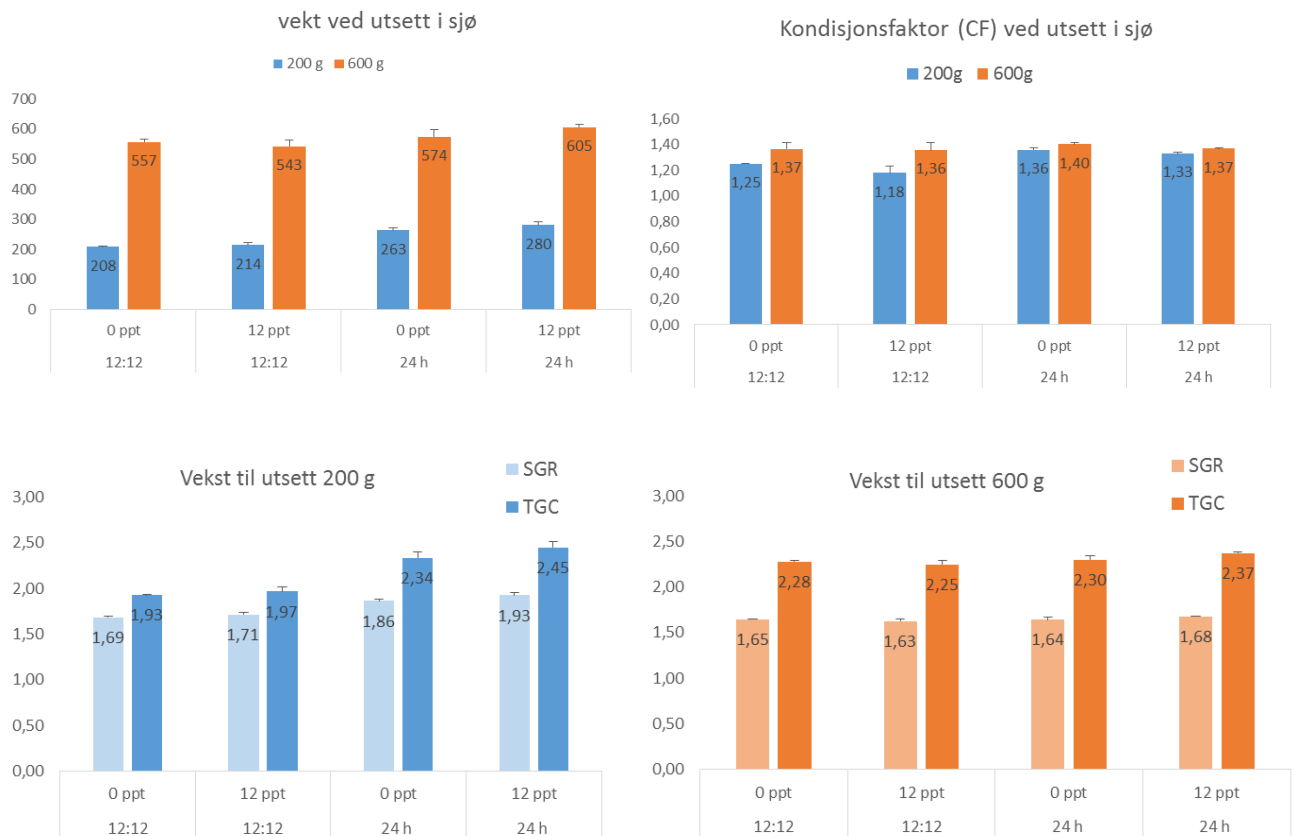
5.3.1 Vekst i RAS

Kontrollfisken som ble satt ut på 100 g ($100,4 \pm 4,5$ g, CF $1,21 \pm 0,02$) hadde en SGR i RAS på $1,8 (\pm 0,06)$ og TGC $1,82 (\pm 0,06)$. Fisk som gikk på kontinuerlig lys i RAS vokste bedre enn den som fikk 12:12 i 6 uker og de hadde høyere kondisjonsfaktor ($p < 0,001$, Figur 14). Ved usett av 100 g lysstyrt smolt den 23.08 var fisken som hadde gått på 24h i snitt 151 g ($\pm 7,7$) med en CF på $1,34 (\pm 0,02)$ og SGR var $2,3 (\pm 0,08)$ og TGC $2,5 (\pm 0,11)$. Frem til 200 g var det også en signifikant positiv effekt av 12 ppt på vekst ($p < 0,05$), mens det ved 600 g ikke lenger var en effekt av salinitet på vekt eller kondisjonsfaktor, men fortsatt en positiv effekt av 24h på vekst ($p < 0,05$).

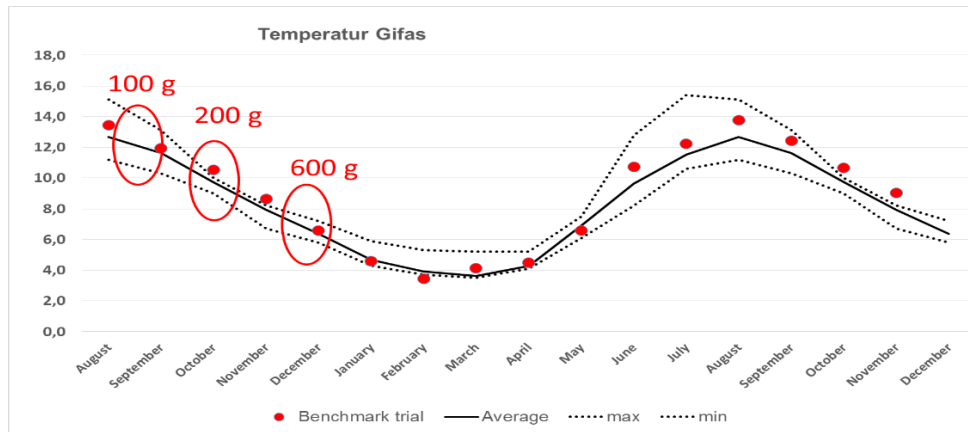
5.3.2 Vekst og fôrinntak første uker i sjø

Temperaturen i sjø var høyest i slutten av august når 100 g fisken ble satt i sjø (13°C), mens den var henholdsvis 11 og 7 °C når 200 og 600 g fisken ble satt ut (Figur 15). Den siste uka før utsett av 600 g ble temperaturen i RAS senket fra 12,5 til 10 °C. Forskjell i temperatur vil påvirke fôrinntak, i tillegg til forskjeller i fiskestørrelse. Fallende daglengde er også en faktor som her vil kunne påvirke fôrinntak og vekst etter utsett. Ved utsett av 600 g fisken ble det satt på lys i merdene til alle grupper. Transport av alle grupper gikk fint, det var ingen dødelighet på bilen, og ingen svimere ble observert rett etter sjøvannsoverføring. Både oksygen, pH og CO₂ ble logget i tankene på bilen, og verdiene var innenfor det som var god vannkvalitet.

Fisk satt ut ved 100 og 200 g begynte å ta til seg fôr de første dagene etter utsett, mens fisk satt ut ved 600 g brukte 3 uker på å begynne å ta til seg fôr og den ble derfor holdt i 5x5 merder i 8 uker før overføring til 11-metringer (Figur 16). Det var en positiv effekt av lysstyring (12:12) på fôrinntak den første tiden i sjø både for 200 og 600 utsett, ($p < 0.05$) mens det ikke var effekt av salinitet i RAS.

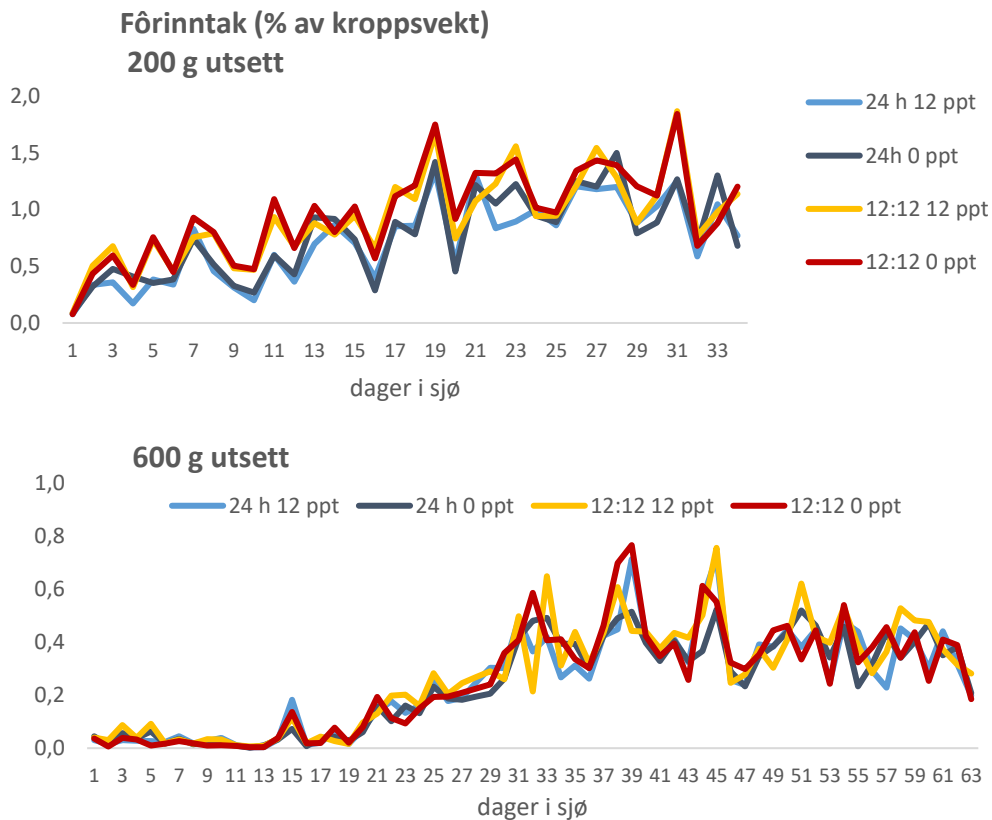


Figur 14 Vekst og kondisjonsfaktor i RAS for de ulike behandlingene (gjennomsnitt per behandling ± SD, n = 2)

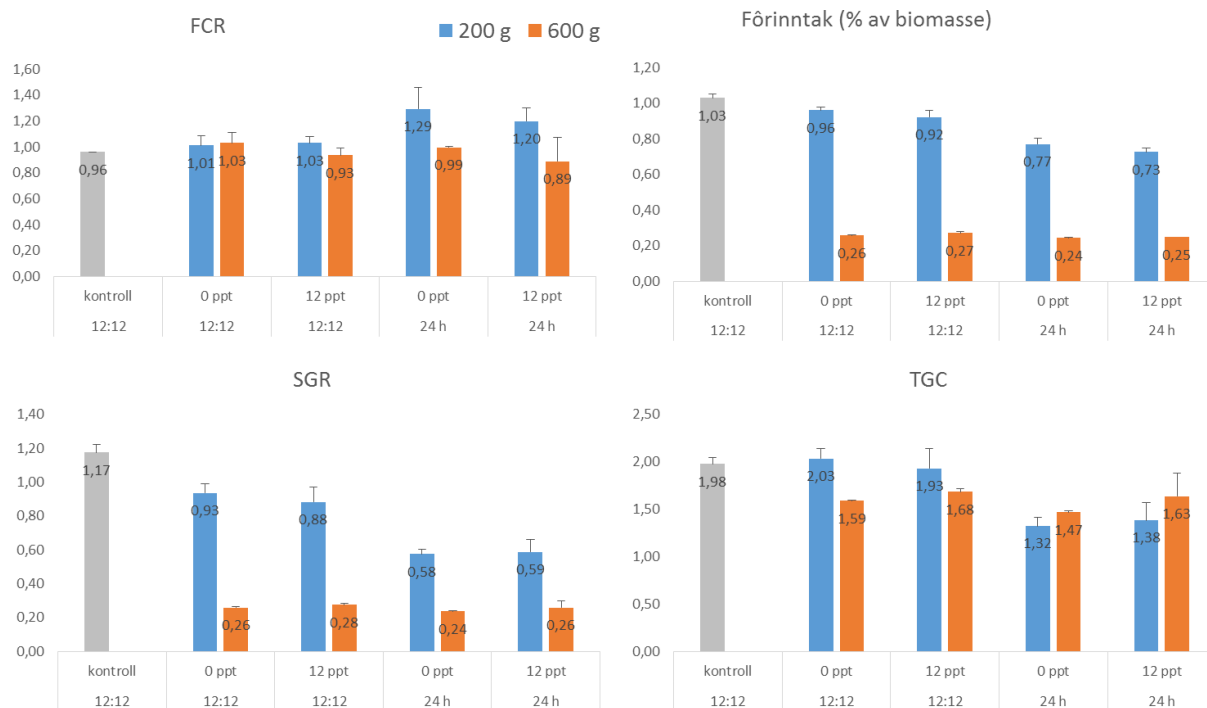


Figur 15 Temperaturprofil på Gifas gjennom året

Når fisken ble lastet på bil ble den bulkveid. Dette ble også gjort når den ble overført fra 5x5 m nøter til 11-metringer. Biomasseøkningen og målt fôrintak ble brukt til å beregne fôrutnyttelse, (feed conversion ratio, FCR). For 200 g fisken var det en signifikant positiv effekt av lysstyring (12:12), men ingen effekt av salinitet på FCR ($p < 0,05$), mens det ikke var en signifikant effekt av behandling ved utsett 600 g. Vekst var også bedre i grupper som hadde gått på lysstyring ($p < 0,001$), mens salinitet ikke hadde en effekt i 200 g utsett. Det var ingen effekt av behandling i RAS på vekst etter utsett i sjø for fisk satt ut ved 600 g. TGC var sammenlignbar i 100 g kontroll og 12:12 lysstyrt 200 g, men lavere i 600 g utsett (Figur 17). Det var en negativ korrelasjon mellom kondisjonsfaktor ved utsett og TGC etter utsett.



Figur 16 Daglig fôrintak de første 5-8 ukene i sjø (% av kroppsvekt) for de ulike behandlingene



Figur 17 Fôrutnyttelse (FCR), gjennomsnittlig fôrinntak (% av biomasse), og vekst (SGR og TGC) de første 5-8 ukene i sjø for de ulike behandlingene. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD (n = 2)

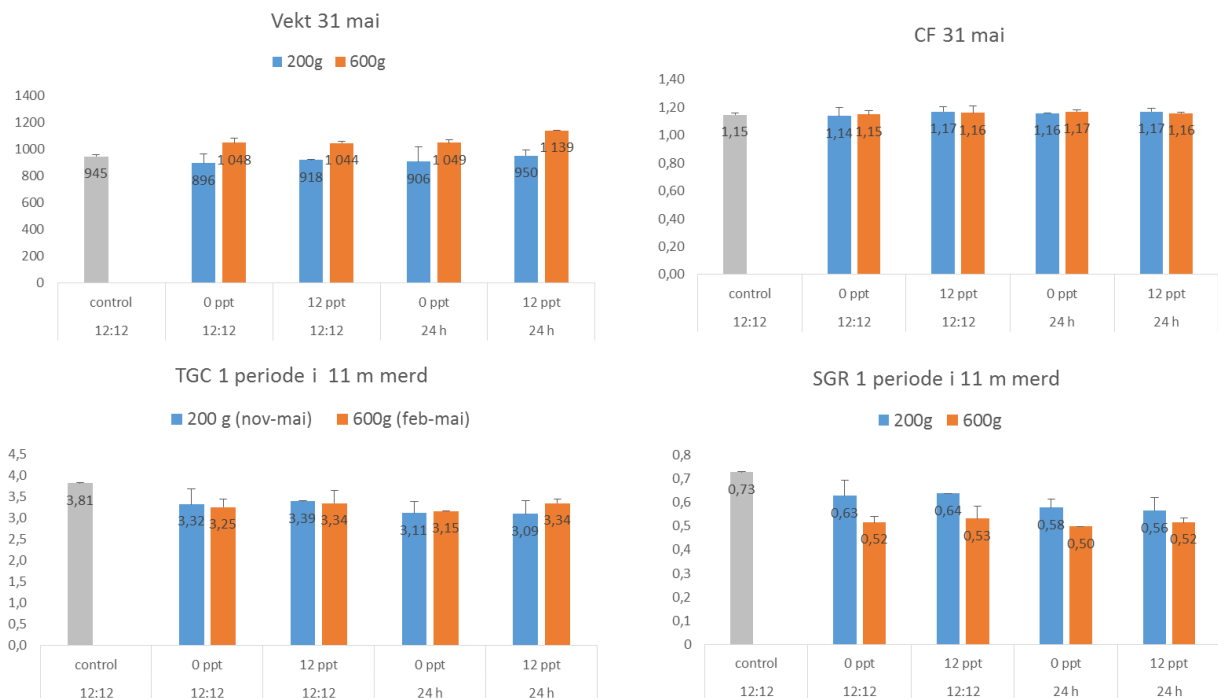
5.3.3 Vekst i sjø frem til slakt

Ved overføring av 100 og 200 g fisk til 11-metring 20. november 2016 var fisk som ikke var lysstyrt (24h) fortsatt større enn de som var lysstyrt ($p < 0,05$), til tross for bedre vekst i de første ukene i sjø for den som var lysstyrt. Ved innsett i 11-metring veide kontrollfiskene 263 ± 1 g, lysstyrt 200 g veide 297 ± 13 og 300 ± 4 g (for 0 og 12 ppt) mens de som gikk på fullt lys veide henholdsvis 328 ± 18 og 353 ± 21 g (for 0 og 12 ppt). 600 g utsett ble overført til 11-metring i midten av februar 2017. Ved overføring var det en tendens til at de som var lysstyrt var mindre ($p = 0,056$), men det var ingen effekt av salinitet. Lysstyrt 600 g utsett veide henholdsvis 657 ± 9 og 646 ± 24 g (for 0 og 12 ppt), mens den på 24h veide 668 ± 12 og 714 ± 12 g ved overføring til 11-metring.

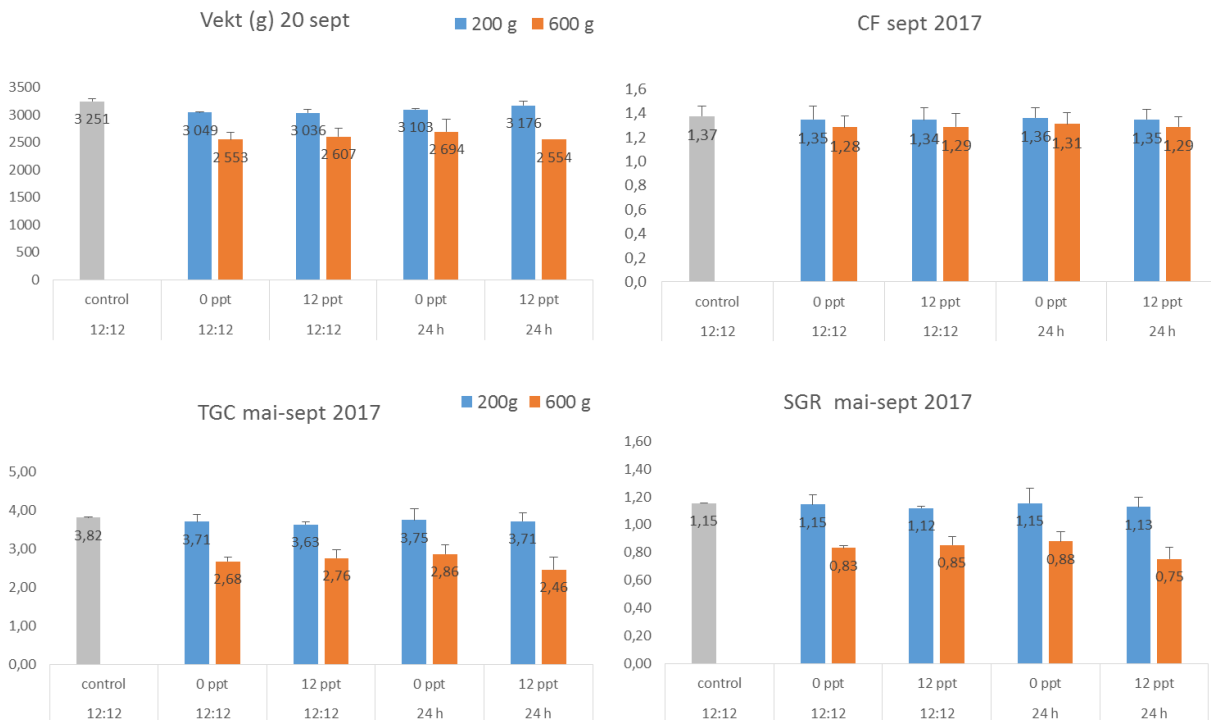
Etter at fisken ble bulkveid ved overføring til 11-metring gikk den frem til 31. mai før det ble gjort veiing og prøveuttak av alle behandlinger. All fisk i merdene ble ikke veid, totalt ble 350 fisk veid og målt, dette utgjorde 10 % av det totale antall fisk i merdene. Basert på dette datagrunnlaget ble SGR og TGC for perioden november-juni (100 og 200 g utsett) og perioden februar-juni (600 g utsett) beregnet. I slutten av mai var det ingen effekt av lysbehandling eller salinitet i RAS på vekt, hverken for 200 g eller 600 g utsett (Figur 18). Det var imidlertid en effekt av størrelse ved utsett på vekt i slutten av mai, fisk satt ut på 600 g var størst (snitt 1070 g), mens 200 g var minst (snitt 917 g). Kontrollfiskene veide 945 g i snitt. Det var ingen forskjeller mellom behandlinger i kondisjonsfaktor. Det var ingen signifikant effekt av lysbehandling eller salinitet i RAS på TGC fra overføring til 11-metring og til 31. mai for 200 g eller 600 g utsett. Det var høyere SGR for fisk som var lysstyrt ($p < 0,05$), sannsynligvis fordi de var mindre ved overføring til 11-metring enn fisk som hadde gått på kontinuerlig lys. Det var også en signifikant effekt av størrelse ved utsett på SGR ($p < 0,0001$) og TGC ($p < 0,05$) fra utsett i 11-metring til slutten av mai. Det er mest relevant å sammenligne 100 og 200 g, ettersom disse har samme antall fôringsdøgn i 11-metring (176) og samme døgngradsum (893). 600 g utsett hadde 90

fôringsdøgn i 11-metring (450 døgngader). 100 g utsett hadde en TGC på 3,81, mens 200 g i snitt hadde 3,22, og 600 g hadde i snitt en TGC 3,27. Det var ikke signifikant forskjell i TGC mellom fisk satt ut på 200 og 600 g utsett, det var kontrollgruppa som vokste bedre enn de andre gjennom vinter og vår.

Neste prøveuttak ble foretatt 20. september. Vekt ble tatt av mellom 50-70 fisk fra hver behandling, totalt 550 fisk, som utgjorde 17 % av det totale antall fisk i de to 11-metringene. Dette utgjorde sammen med vektmålingene fra 31. mai grunnlaget for beregning av SGR og TGC for periode 3 (fra 31.05- 20.09 2017). I løpet av sommeren 2017 vokste fisken satt ut på 600 g dårligere enn fisk satt ut på 100 og 200 g ($p < 0,0001$, Figur 19). Ved uttaket den 20. september var 600 g fisken minst (i snitt 2600 g), mens kontrollen var 3250 g. For 200 g utsett var det en tendens til at 24h var større enn 12:12 ($p = 0.066$), men det ikke var noen effekt av salinitet. For 600 g utsett var det ingen effekt av hverken lys eller salinitet. Heller ikke for kondisjonsfaktor var det noen effekt av lys eller salinitet, men CF var litt lavere for 600 g fisk sammenlignet med 100 og 200 g utsett.



Figur 18 Vekt (g), Kondisjonsfaktor (CF) og vekst (SGR og TGC) første periode i 11-metring for de ulike behandlingene. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD ($n = 2$)

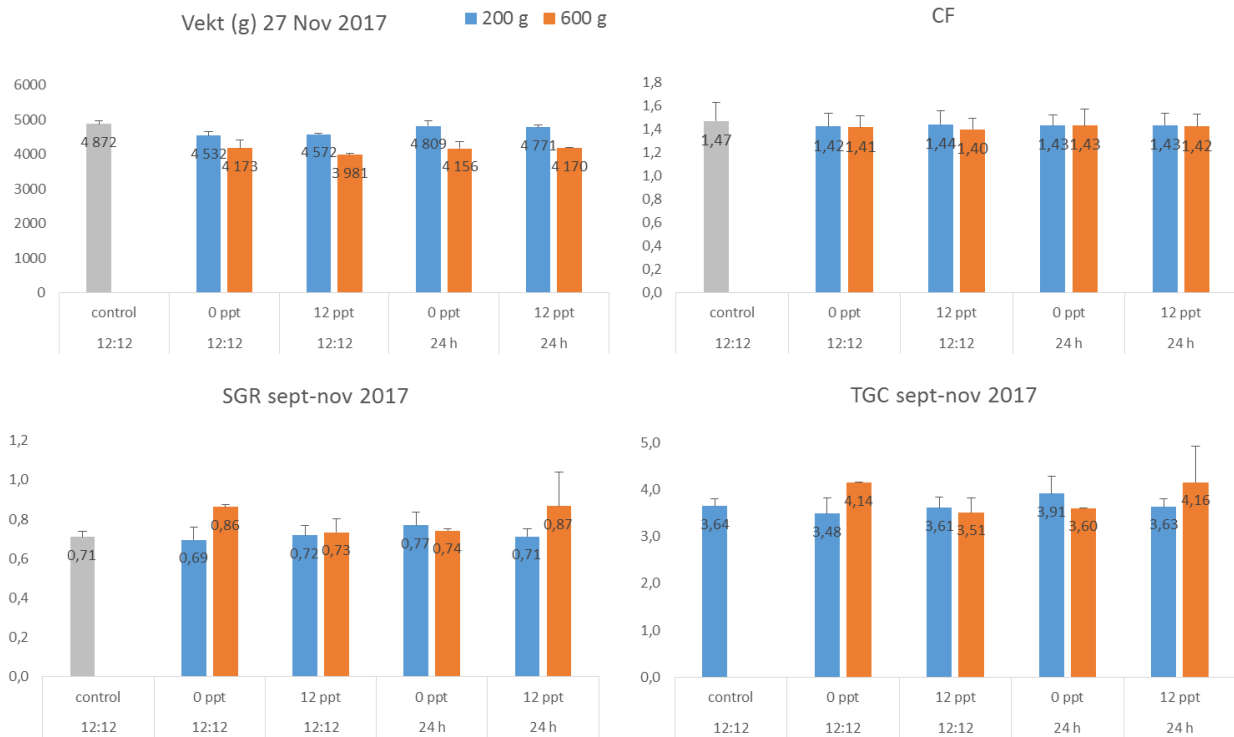


Figur 19 Vekt (g), Kondisjonsfaktor (CF) og vekst (SGR og TGC) andre periode i 11-metringene (mai-sept 2017) for de ulike behandlingene. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD (n = 2).

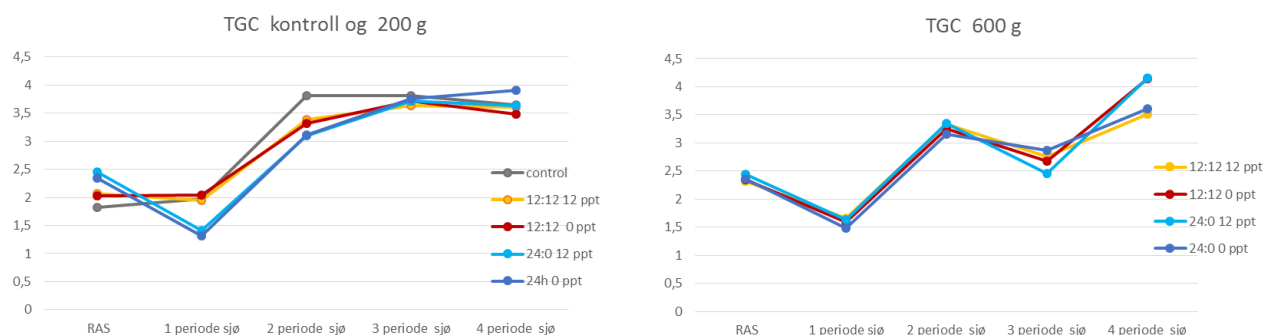
Forsøket ble avsluttet den 27.-28. november 2017. Det var en signifikant effekt av størrelse ved utsett på vekt ved avslutning av forsøket ($p < 0,0001$, Figur 20). Kontrollfisker var størst (4872 g), mens 200 g utsett var litt mindre (4671 g i snitt), og 600 g utsett var minst (4120 g i snitt). Det var også en signifikant effekt av lysbehandling, fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS (24h) var større sammenlignet med de som var lysstyrt (12:12) når vi ser på 200 og 600 g utsett samlet ($p < 0,05$). Det var ingen effekt av salinitet i RAS på sluttvekt. Veksten i perioden september – november var svært god, med TGC over 4 i snitt på enkelte behandlinger (Figur 19). Det var ingen signifikant effekt av behandling eller størrelse ved utsett på TGC, men det var en tendens til høyere SGR for 600 g utsett sammenlignet med de øvrige utsettene ($p = 0,089$).

Hvis vi ser på veksten i hele sjøfasen for de ulike behandlingene, så ser vi at faktoren med størst betydning er størrelse ved utsett ($p < 0,0001$). SGR var høyest for 100 g utsett (0,92), lavere for 200 g utsett (0,79 i snitt) og lavest for 600 g utsett (0,63 i snitt). Samme trend er det for TGC, men her var det ingen forskjell mellom 100 g (TGC 3,33) og 200 g utsett (TGC i snitt 3,31), men 600 g utsett hadde en snitt TGC på 2,93. Det var også en signifikant effekt av lysbehandling i RAS på vekst i sjøfasen. Fisk som hadde gått på lysstyring (12:12) i RAS hadde bedre vekstrate i sjøfasen enn de som gikk på kontinuerlig lys i RAS (SGR i snitt henholdsvis 0,76 og 0,69, $p < 0,001$, og TGC i snitt 3,19 og 3,09, $p < 0,05$). Men de var også mindre ved utsett sammenlignet med fisk på 24h. Til tross for litt lavere veksthastighet i sjøfasen, så var fisk som hadde gått på 24h i RAS større ved avslutning av forsøket enn de som hadde gått på lysstyring (i snitt 4477 og 4423 g, $p < 0,05$) fordi de på 24h var større ved utsett i sjø. Alle grupper vokste imidlertid rimelig godt i sjøfasen, gjennomsnittlig TGC i sjøfasen er om lag 2,5 i norsk laksenæring (Aunsmo m fl. 2014). Så resultatene med tanke på vekst i dette forsøket må kunne sies å være relevante for kommersielle produksjoner. Figur 21 oppsummerer TGC i RAS og gjennom sjøfasen i forsøket. Hvis vi ser på vekst i hele forsøket, fra 30 g til slakt (sum av vekst i RAS og sjøfase),

så kommer 100 g fisken ut med en døgngradsum (DGR) på 4587 og en TGC på 3,04, 200 g utsett hadde 4605 DGR og en TGC på 2,97 i snitt, mens 600 g utsett hadde 4858 DGR og en TGC på 2,68. De respektive SGR-verdiene var 1,05, 1,04 og 1,01 for fisk satt ut på 100, 200 og 600 g. Det var ingen signifikant effekt av lysstyring eller salinitet på SGR og TGC, men en signifikant effekt av størrelse ved utsett ($p < 0,0001$).



Figur 20 Vekt (g), Kondisjonsfaktor (CF) og vekst (SGR og TGC i 11-metringar i perioden september-november 2017 for de ulike behandlingene. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD ($n = 2$)

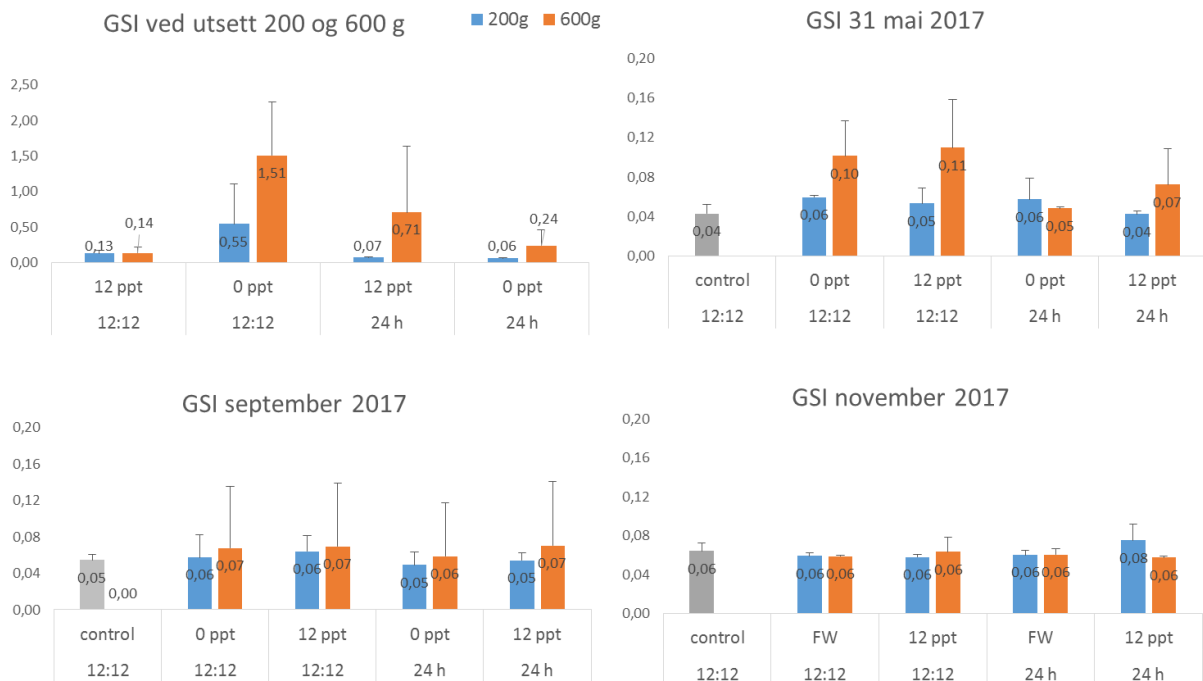


Figur 21 Vekst (TGC) i RAS og i sjø for de ulike behandlingene. ($n=2$)

5.4 Kjønnsmodning i sjøfase

Kjønnsmodning ble vurdert ved å veie gonader og beregne gonadosomatisk indeks (GSI). I tillegg til vurdering av ytre kjennetegn. Det ble ikke funnet kjønnsmodne hunnfisk i forsøket, hverken i RAS eller i sjø. Ved utsett i sjø ble GSI målt i alle behandlingene. Etter perioden i 5x5 nøter ble antall kjønnsmodne

hanner registrert. Videre ble GSI målt ved prøveuttakene av alle behandlinger i mai, september og november 2017. I RAS økte GSI med økende størrelse ($p < 0,05$, Figur 22). For 100 g utsett var GSI $0,11 \pm 0,03$. Ved uttaket før utsett av 200 g fant vi kun kjønnsmodne hanner i 12:12 0 ppt, her var 11 % av hannene kjønnsmodne. På uttaket ved 600 g ble det funnet kjønnsmodne hanner i behandlingene 12:12 0 ppt (11 %) og i 24h 12 ppt (5,6 %). Det ble tatt ut 18 fisk per behandling i disse uttakene.



Figur 22 Gonadosomatisk indeks (GSI) fra utsett i sjø og frem til slakt i november 2017. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD ($n = 2$).

Ved uttaket i slutten av mai var GSI lavere i 600 g fisk sammenlignet med ved utsett i desember, men fortsatt var GSI høyere i 600 g fisk enn i fisk som var satt ut på 100 og 200 g (Figur 22). Men det var ingen signifikant effekt av lysstyring og salinitet i RAS. Ved uttakene i september og november var det ingen forskjell mellom 600 g fisk og de andre utsettene, og heller ingen effekt av behandling i RAS på GSI. Ingen kjønnsmodne hanner ble registrert ved uttakene i september og november, men i mai ble det funnet 5 hanner med GSI mellom 0,25-0,35, 4 av disse var satt ut på 600 g. Årsaken til at GSI avtar utover i forsøket kan være at fisk som kjønnsmodner ikke klarer seg i sjøvann og dør. Det kan være årsaken til den litt høyere dødeligheten hos 600 g utsett sammenlignet med 100 og 200 g utsett.

5.5 Kvalitet og velferd

5.5.1 Vaksinebivirkninger

Speilbergscore ble brukt for å vurdere vaksinebivirkninger hos alle behandlingene ved tre tidspunkt i sjøfasen. Det ble ikke funnet vesentlige forandringer mellom 100 g kontroll (1,67) og 200 g utsett som enten hadde hatt 12:12 fotoperiode eller som hadde gått på 12 ppt. 200 g (1,82) og 600 g (1,93) utsett som hadde hatt 24:0 fotoperiode hele den landbaserte fasen, og 600 g (1,85) utsett som hadde hatt vintersignal og senere gått på 12 ppt, skiller seg imidlertid ut i negativ retning med tanke på sammenvoksinger målt mot 100 g kontroll. 600 g (1,23) utsett som hadde hatt 12:12 fotoperiode og 0

ppt hele den landbaserte fasen, og 600 g (1,17) utsett som hadde hatt 24:0 fotoperiode og senere 12 ppt i den landbaserte fasen, skiller seg ut i positiv retning med signifikant lavere grad av sammenvoksninger målt mot 100 g kontroll.

5.5.2 Feil i ryggrad, røntgen

Forsøksgruppene ble fulgt opp med røntgenundersøkelse gjennom ferskvannsperioden, og deretter ved utsett i sjø (n=20 per behandling), 5 uker etter utsett i sjø (n=20), i mai 2017 (n=20) og ved avslutning i november 2017 (n=40 per behandling).

Det var et tydelig innslag av misdannelser i ryggvirvlene gjennom hele forsøket, men de fleste av de registrerte feilene var relativt små (2-5 affiserte virvler). Det som rapporteres her er derfor fisk med røntgenforandringer i ryggrad, og ikke fisk med synlige deformiteter. I realiteten var det få, om noen, fisk med synlig deformitet blant prøvefisken som ble tatt ut, og ved avslutning framstod denne fiskegruppa som fin og relativt feilfri.

Klassifisering

Det er gjennomgående to viktige kategorier av feil i ryggvirvlene i dette forsøket, og feilene er typisk for oppdrettslaks per 2018.

- **Fusjoner** (sammenvoksninger) er den vanligste feilen. Den best kjente årsaken til fusjoner er for høye temperaturer i ferskvannsperioden, men fusjoner er også en mer uspesifikk respons på negativ påvirkning av ryggvirvlene.
- **Nedsatt mineralisering** kommer til uttrykk på ulike måter i løpet av livssyklus. I ferskvann og fram til og med smoltifisering er det vanligste uttrykket høytetthetsvirvler, dvs. enkeltvirvler som framstår som fortettet på røntgen. Høytetthetsvirvlene tilbakedannes etter utsett i sjø. I første del av sjøperioden er det viktigste tegnet på nedsatt mineralisering at virvlene er litt for korte/smale, og at virvelmellomrommet er for bredt. Disse avvikene regner vi med er reversible, dersom fisken seinere får tilført tilstrekkelig med mineraler til å rette opp underbalansen. Med økende alder og størrelse vil nedsatt mineralisering komme til uttrykk som platyspondyli («flate virvler»). Dette er komprimerte virvler som ikke er vokst sammen, men der formen på hver enkelt virvel er varig forandret.

I tillegg ble det funnet et innslag av en ny type feil i ryggvirvlene ved avslutning av forsøket, **korsstingsvirvler**.

- **Korsstingsvirvler** skiller seg fra de vanligste typene ved at den kommer til syne først når fisken nærmer seg slaktestørrelse, selv ved bruk av røntgen. Årsaksmessig kobles korsstingsvirvlene til vaksinerings/vaksinetype. Utviklingsforløpet for denne misdannelsen er foreløpig ukjent, men tilgjengelig informasjon tyder på at miljøpåvirkning spiller en betydelig rolle for alvorlighetsgraden på slakt.

Alle disse tre typene av virvelfeil kan finnes i varierende alvorlighetsgrad/omfang, fra små feil som sannsynligvis er uten betydning for fiskevelferd eller slaktekvalitet, til store skader som gir deform fisk, nedsatt slaktekvalitet og potensielt dårlig dyrevelferd.

Utsett

Ved utsett (ved hh. 100 g, 200 g og 600 g) ble det funnet feil i ryggrad på røntgen hos 11% av fisken (Figur 23a), og de fleste feilene var små. Det var tilsynelatende flere feil hos fisk som ble satt i sjø ved 600 g. Det ble funnet feil som er typiske for fisk på denne størrelsen, dvs. fusjoner og høytetthetsvirvler.

5 uker etter utsett i sjø

Etter 5 uker i sjø var det fremdeles et lavt innslag av fusjoner i de fleste forsøksgruppene (Figur 23b). I tillegg var det et tydelig innslag av fisk med nedsatt mineralisering. Denne ble bedømt som smale/korte virvler, som er en subjektiv bedømmelse. Smale virvler ble funnet bare i grupper som hadde fått lysstyring 12:12, og uavhengig av salinitet (0 eller 12 ppt) og størrelse ved utsett (100 g, 200 g og 600 g).

Mai 2017

I mai var fisken i underkant av 1 kg i snitt. Ved dette uttaket var det bare noen få fisk med små feil i ryggrad (Figur 23c). Tidligere tegn til nedsatt mineralisering var ikke registrerbare.

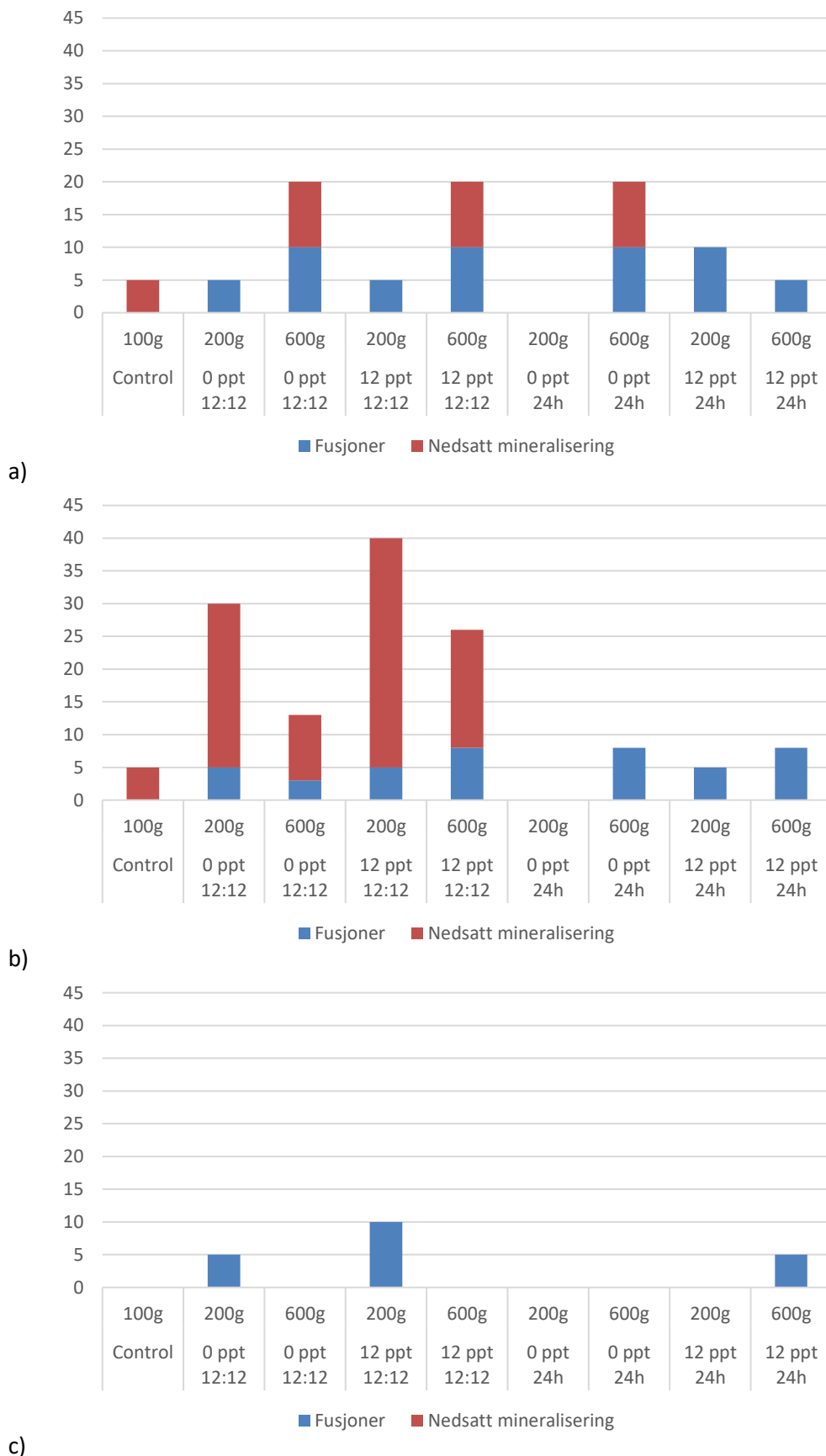
November 2017 – Avslutning

Ryggradsfeilene som ble registrert ved slakt fordelte seg på fusjoner, platyspondyli (komprimerte virvler assosiert med nedsatt mineralisering) og korsstingsvirvler (Figur 24). Det ble registrert avvik hos til sammen 41 fisk (11 %). Hos 17 av disse var det 4 eller færre unormale virvler. Det ble ikke funnet sammenheng mellom hhv. lysstyring eller salinitet og antall fisk med feil. Fisk med korsstingsvirvler ble imidlertid registrert bare i forsøksgrupper som hadde gjennomgått lysstyring 12:12, med det største antallet i kontrollgruppen. Det var en klar effekt av størrelse ved utsett, med størst antall fisk med feil i kontrollfisk (100g ved utsett) og minst antall i fisk satt ut på 600 g størrelse (Figur 25).

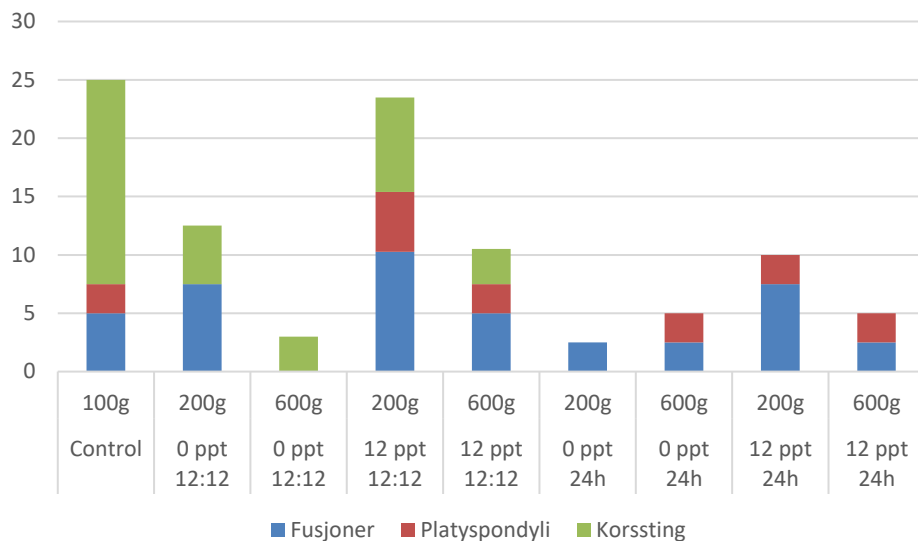
Oppsummering, røntgenundersøkelser

Forsøksmaterialet sett under ett hadde et moderat antall fisk med feil og få fisk med feil som var store nok til å gi synlige deformiteter. Ved sluttuttaket framstod dette som en fin fiskegruppe uten vesentlige deformitetsproblemer, og det som omtales videre er vurdering av registreringer på røntgen.

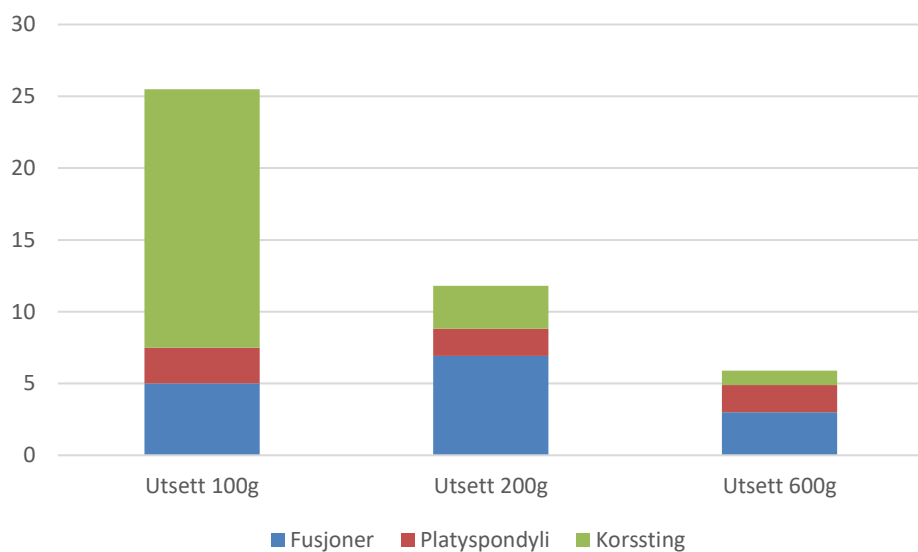
Resultatene tyder på at en utvidet landbasert fase i RAS ikke gir økt risiko for utvikling av misdannelser i ryggrad. I dette forsøket var innslaget av virvelfeil tvert imot avtagende med økende størrelse ved utsett. Det ser heller ikke ut til å være nødvendig med et vintersignal i form av lysstyring for å få normal utvikling av ryggrad. Også her indikerte resultatene det motsatte. 5 uker etter utsett i sjø var det klare tegn til undermineralisering i fisk som var lysstyrt, mens tilsvarende ikke ble observert i fisk uten lysstyring. I dette forsøksmaterialet var denne effekten forbigående, men informasjonen er likevel svært interessant med tanke på videre arbeid med optimalisering av ernæring i perioden rundt sjøutsett. I den sammenhengen må observasjonene vurderes opp mot de relativt store forskjellene i tilvekst i denne perioden mellom kontrollgruppe og 200 g-utsett på den ene siden, og 600 g-utsett på den andre (Figur 17). Korsstingsvirvler (ved avslutning) viste samme mønster, dvs. de ble registrert i forsøksgrupper som var lysstyrt, men ikke i grupper uten vintersignal. Dette er også en ny observasjon som helt klart vil være av interesse for videre studier av dette fenomenet. Det var ingen klare effekter av brakkvann-RAS på forekomsten av feil i ryggvirvler.



Figur 23 Fisk med registrerte feil i ryggrad (%) ved røntgenundersøkelse ved utsett og mellomuttak i sjøperioden. a) Registrerte feil ved utsett i sjø (n=20 per behandling), b) 5 uker etter utsett i sjø (n=18-20 per behandling), c) i mai 2017, ved ca 1 kg størrelse (n=20 per behandling)



Figur 24 Registrerte feil i ryggrad (%) ved røntgenundersøkelse av fisk ved avslutning av forsøket (4,5 kg). N=40 per behandling

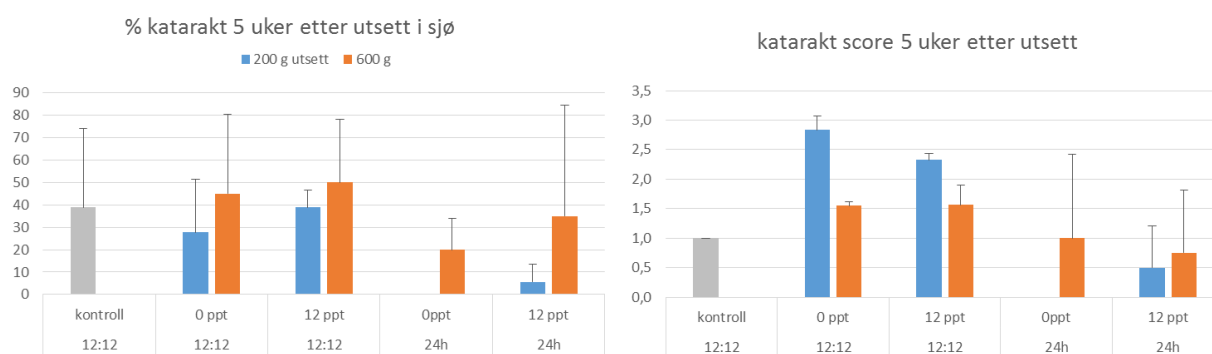


Figur 25 Fisk med feil i ryggrad på røntgen (%), effekt av størrelse ved utsett. n=40 (100 g), n=160 (200 g og 600 g)

5.5.3 Katarakt og øyeskader

I RAS ble det ikke observert katarakt før utsett av 100 g og 200 g fisk. Før utsett av 600 g fisk ble det observert noe katarakt i RAS, og det var en tendens til mer katarakt i fisk som hadde fått et vintersignal (13 %) sammenlignet med fisk på kontinuerlig lys (1 %) ($p = 0.089$), mens det ikke var noen effekt av salinitet. Score lå på 1 hos alle fisker unntatt en som hadde score 2. Etter 5 uker i sjø hadde 40 % av kontrollfiskene katarakt, 28 % hadde tosidig katarakt, mens 11 % hadde ensidig katarakt. Gjennomsnittlig score var 1. For 200 g utsett var det 5 uker etter utsett var det en økt forekomst av katarakt hos fisk som var lysstyrt (33 %) sammenlignet med fisk på kontinuerlig lys (2 %) ($p < 0,05$), mens det ikke var en effekt av salinitet i RAS. Fisk som var lysstyrt vokste også bedre enn 24h første tiden etter utsett. For fisk med påvist katarakt var score noe høyere (2,6) enn for kontrollfiskene. Fisk på kontinuerlig lys var fortsatt større enn de som var lysstyrt 5 uker etter utsett ($p < 0,05$), mens det ikke var noen signifikant effekt av salinitet i RAS på vekt (gjennomsnitt 24 h: 363g, gjennomsnitt 12:12: 316 g). For individfisk var det ingen sterk sammenheng mellom katarakt score og vekt, men når 12:12 fisken ble klassifisert i 3 grupper (ingen, ensidig eller tosidig katarakt) hadde fisk med tosidig katarakt lavere vekt enn de andre to gruppene ($p < 0.05$). Dette kan skyldes at fisk som var mindre ved utsett utviklet mer katarakt eller at fisk som utvikler katarakt på begge øyne vokser dårligere etter utsett sammenlignet med fisk uten katarakt og fisk med katarakt på kun ett øye. For 600 g utsett var det ingen signifikant effekt av lysstyring og salinitet i RAS på frekvens av katarakt 5 uker etter utsett, selv om det var høyere frekvens og score også i 600 g utsett for 12:12, var ikke forskjellen signifikant. Totalt hadde 38 % av fisken katarakt 5 uker etter utsett, og 9 % hadde katarakt på begge øyne. Gjennomsnittlig score for fisk som hadde påvist katarakt var 1,6.

I tillegg til katarakt ble det også observert øyeskader hos en del fisk (22 %), sannsynligvis som følge at fisken hadde vært i kontakt med notveggen. 5 % av fisken hadde skader på begge øyne. Dette kan ha skjedd under slep av 5x5 nøtene ut til merdanlegget, men det kan også ha skjedd i løpet av de 5 ukene etter utsett. Selv om merdene var lyssatt, er det en stor overgang fra 24 lys i RAS til lysintensiteten i merdene på GIFAS i desember. Det var ingen effekt av behandling i RAS på frekvensen av skade. Det var ingen signifikant effekt av katarakt eller skade på vekt 5 uker etter utsett i sjø.



Figur 26 Andel fisk med påvist katarakt (%) og katarakt score på en skala fra 0-4 etter 5 uker i sjø. Verdier er gjennomsnitt per behandling \pm SD

Neste uttak ble gjort 31. mai 2017. Da fikk kun en fisk av 180 som ble undersøkt påvist katarakt. Det som ble observert av katarakt 5 uker etter utsett var derfor osmotisk katarakt som var reversibelt. For alle tre utsett var det imidlertid også nå en del fisk som fikk påvist øyeskader; 25 % av kontrollfiskene (15 % tosidig), 45 % av 200 g utsett (10 % tosidig) og 31 % av 600 g utsett (7,5 % tosidig). Det var i hovedsak gamle skader som hadde grodd som ble påvist. Slike skader kan som tidligere nevnt oppstå

som følge av kontakt med notveggen, men fisken ble også avluset med en manuell metode og ble da trengt og håvet ut av nota, slik at skader på øyne og skinn kan oppstå. Det var ingen signifikant sammenheng mellom registrert skade på ett eller to øyne og vekt av fisken i kontroll, 200 g eller 600 g utsett sammenlignet med vekt av fisk som ikke ble registrert med øyeskade.

Ved uttaket i september ble det registrert 4 av 180 fisk med katarakt, alle var satt ut ved 600 g, men det var ingen signifikant effekt av behandling i RAS. Frekvensen av katarakt var da 5 % i 600 g utsett og 0 i 100 og 200 g utsett. Det ble også ved dette uttaket registrert fisk med øyeskader i alle behandlinger, men det var en liten % andel i kontrollgruppen (2 %) var det 9 % av 200 g utsett og 24 % av 600 g utsett som fikk påvist øyeskader. 4 % av 200 g utsett og 8 % av 600 g utsett hadde skade på begge øyne. Gjennomsnittlig score for fisk som fikk påvist øyeskader for 100, 200 g og 600 g utsett var henholdsvis 1,0, 2,0 og 2,1. Fisk med katarakt hadde en gjennomsnittlig score på 1,5. Det var lavere vekt for fisk med katarakt enn fisk uten øyeskader (men kun 4 fisk med katarakt). Det var ingen signifikant forskjell i vekt for fisk med øyeskade og uten øyeskade. Det var heller ingen sammenheng mellom score og kroppsvekt på individbasis.

Ved sluttuttaket i november ble det ikke registrert noen fisk med katarakt blant de 180 fiskene som ble undersøkt. Også ved slutt var det færre i kontrollgruppen med øyeskader (5 %) enn i 200 g utsett (15 %, tosidig 4 %) og 600 g utsett (33 %, tosidig 6 %). Det var også høyere gjennomsnittlig score i 200 g (2,0) og 600 g (2,9) enn i kontrollgruppen (1,4). Det var ikke en signifikant effekt av grad av skade på fiskevekt, men det var en tendens til at fisk med tosidig skade i gjennomsnitt hadde lavere kroppsvekt (4332 g) enn fisk uten skade (4483 g) ($p = 0,094$).

5.5.4 Finneslitasje og skinnkvalitet

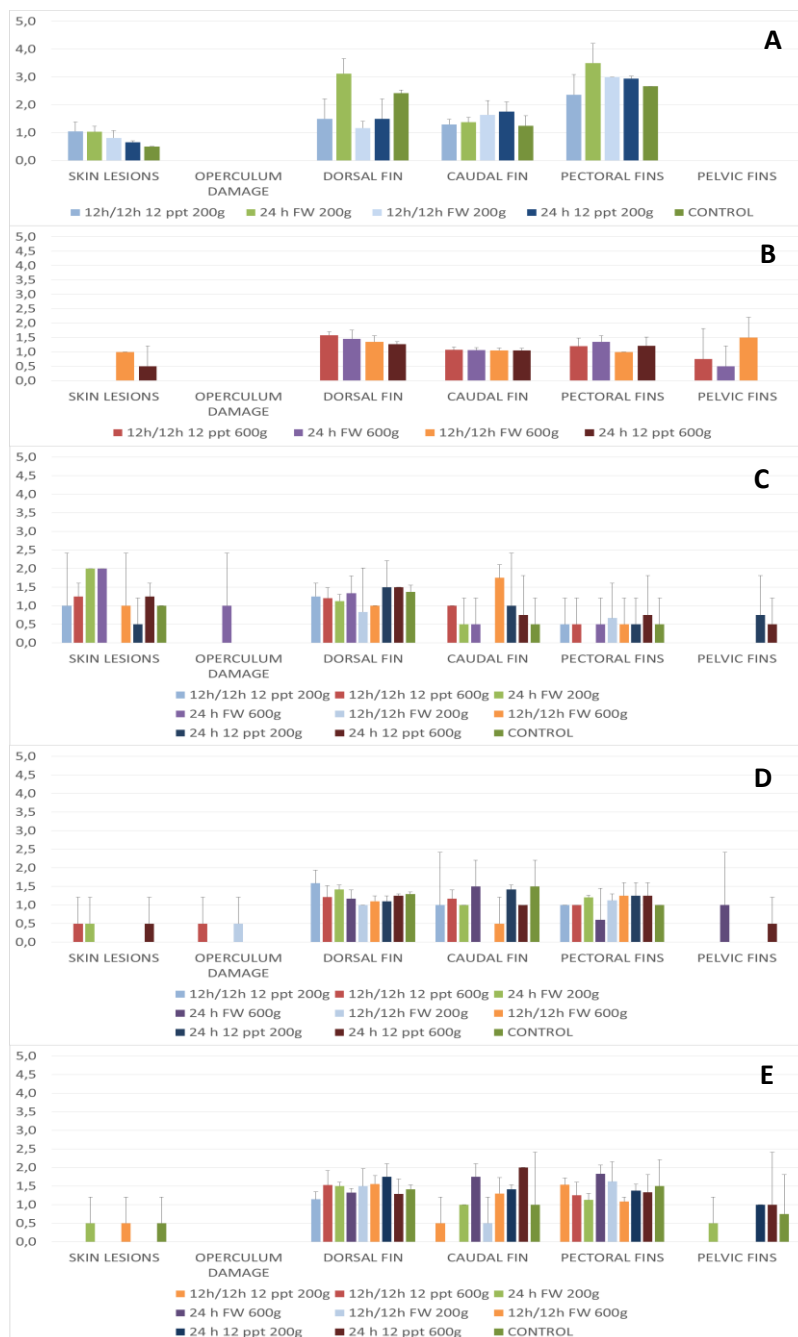
Alvorlighetsgraden av gjellelokk, hud og finneskader (ryggfinne, halefinne, brystfinner og bukfinner) etter overføring til sjø er presentert i Figur 27. Velferd ble dokumentert fem uker etter overføring til sjø for kontroll, 200 g (Figur 27 A) og 600 g utsett (Figur 27 B) og ytterligere tre ganger under produksjonsperioden i sjø (Figur 27 C-E). Ingen signifikante forskjeller mellom behandlinger ble funnet når det gjelder alvorlighetsgraden av skader. Ingen alvorlig finneskade (score 4 eller 5) ble observert under sjøvannsproduksjon.

Høyest score ble dokumentert for 24h FV 200 g behandling; 3,5 for brystfinner og 3,1 for ryggfinne. Generelt var finneskadene mer alvorlige for 200 g fisk 5 uker etter utsett sammenlignet med 600 g fisk på samme tidspunkt (5 uker etter utsett). Det var mer skader på brystfinner og ryggfinne hos 200 g post-smolt ved første prøvetaking etter sjøutsett, sammenlignet med samme punkt for 600 g (Figur 27 A og B). Høyeste score var 3,0 for brystfinner mens gjennomsnittlig ryggfinne og halefinne score for alle behandlinger var 1,8 og 1,5. Brystfinne, halefinne og ryggfinne score var lavere ved påfølgende prøveuttak for 200 g. Det var en signifikant forverring i alle tre finne score fra siste velferdsevaluering i RAS før utsett ($p < 0,05$).

Den signifikante økningen i brystfinne- og ryggfineskade score for 600 g fisk ble dokumentert etter sjøtransport og i forhold til siste velferdsevaluering i RAS ($p < 0,05$). Ryggfinne score for 600 g fisk var 1,4 ved første prøvetak i sjøvannfasen, og var den samme ved slutten av forsøket. Brystfinne score for samme gruppe fisk økte fra 1,2 til 1,4 over tid. For kontrollfisk ble de høyeste ryggfinne og brystfinne scorene på 2,4 og 2,7 observert den 16.11.2016 (Figur 27 A) og alvorlighetsgraden av skade avtok deretter utover i sjøfasen. Det var ingen signifikante forskjeller i finne score mellom kontroll, 200

g og 600 g fisk i mai, september og november 2017 (Figur 27 C-E). Gjennomsnittlig score for halefinne skade var alltid $\leq 1,5$ for alle grupper. Denne score øker kun litt for kontroll og 600 g utsett over tid, og var i gjennomsnitt høyere enn for 200g fisk på slutten av forsøket. Gjellelokkskade ble sporadisk notert men var ikke spesifikt for noen behandling.

Hudskader for 200 g fisk 5 uker etter sjøoverføring ble registrert for alle grupper. Den høyeste gjennomsnittlige registrerte score på 1 ble registrert for grupper 12:12 12ppt og 24h FV (Figur 27 A). De mest karakteristiske endringene var skjelltap og abdominal og rostral blødning. Hud score for 200 g post-smolt forverret seg fra et gjennomsnitt på $0,1 \pm 0,1$ før sjøvannsoverføring til $0,9 \pm 0,2$ 5 uker etter overføring. Hud score økte også fra før utsett i RAS til 5 uker etter overføring til sjø for 600 g fisk, men var ikke signifikant forskjellig ($p = 0,18$). Det var en tendens til høyere alvorlighetsgrad av hudskader ($p = 0,16$) i 24h behandlinger ved 600g fiskoverføring. Ingen hudskader ble oppdaget i 12:12 grupper på det tidspunktet (Figur 27 B).



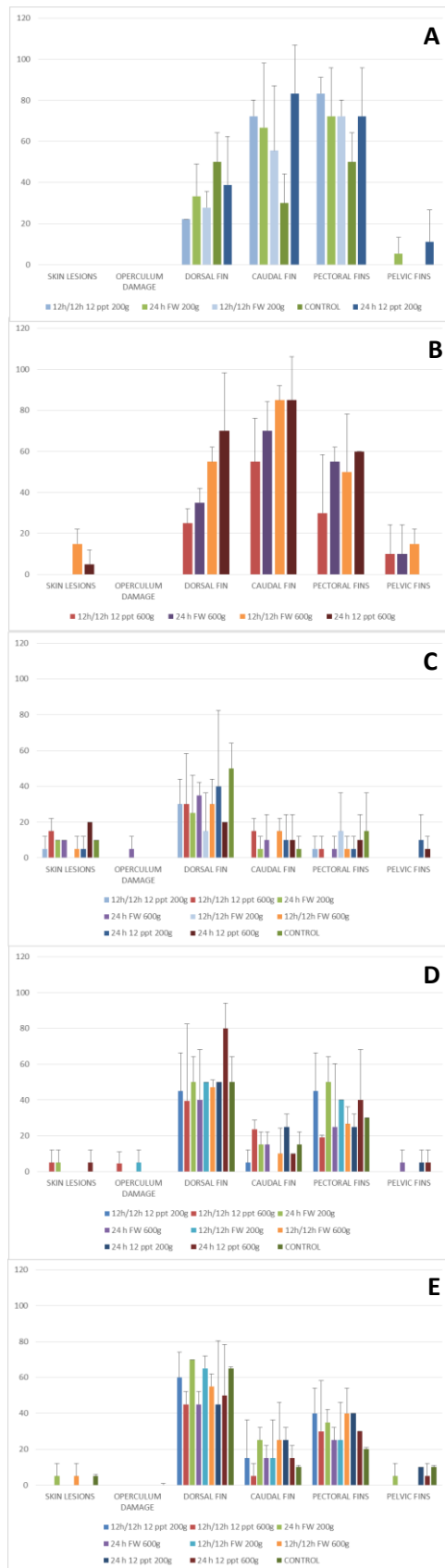
Figur 27 Alvorlighetsgraden av skader på gjellelokk, hud og finner (ryggfinne, halefinne, brystfinner og bukfinner) etter overføring til sjø: 16.11.2016 (A), 10.01.2017 (B), 29.05.2017 (C), 19.09.2017 (D) og 21.11.2017 (E). Gitte verdier er gjennomsnitt score med STDEV

Utbredelsen av skader på gjellelokk, hud og finner (ryggfinne, halefinne, brystfinner og bukfinner) etter overføring til sjø er presentert i Figur 28. Det var ingen signifikante forskjeller mellom behandlinger når det gjelder forekomsten av skader. Den høyeste forekomsten av finneskader ble observert fem uker etter overføring til sjø, både hos 200 g og 600 g. Blant fisk overført ved 200 g hadde 72-83 % individer brystfineskade (score > 0), 56-83 % hadde halefineskade og mellom 22-39 % hadde ryggfineskade (Figur 28 A). Ved samme prøvetaking hadde kontroll fisken bare høyere forekomst av ryggfineskader (56-83 %) sammenlignet med fisk satt ut ved 200g (Figur 28 A). Forekomst av

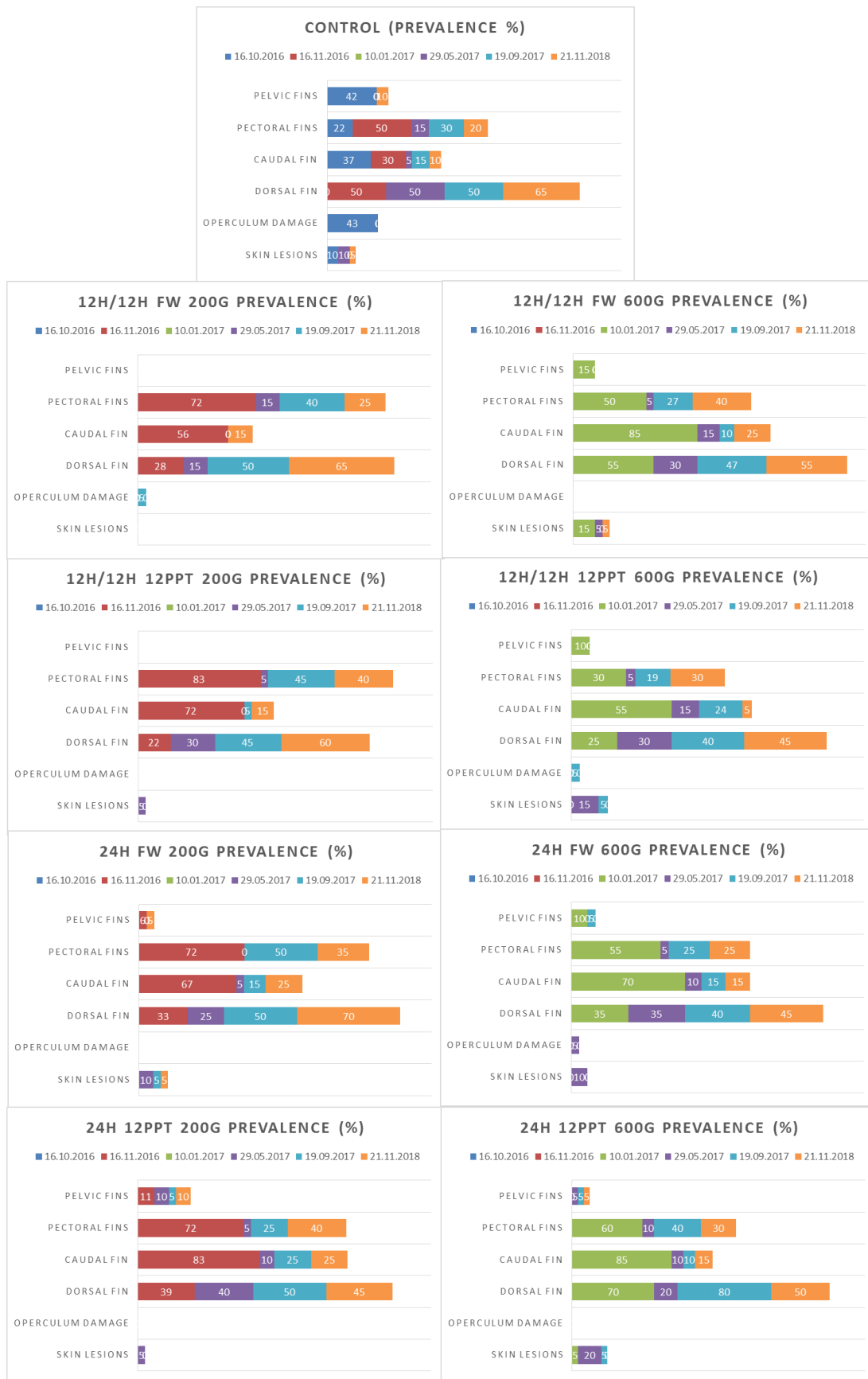
hudskader, hale- og brystfinneskade økte betydelig i 200 g fisk etter overføring til sjøvann ($p < 0,05$). Utbredelsen av brystfinneskader hadde også økt betydelig fra RAS-fasen til 5 uker etter sjøoverføring ($p < 0,05$), mens forekomsten av halefinneskader var signifikant redusert ($p < 0,05$). Fem uker etter overføring til sjø hadde 600 g fisk den høyeste forekomsten av skader på halefinne (55-85 %), ryggfinne (25-70 %) og brystfinne (30-60 %). Den laveste forekomsten av finneskader ble registrert 29.05. Etter dette økte forekomsten til 45-70 % for ryggfinne, 20-40 % for brystfinne og 5-25 % for halefinne ved slutten av forsøket er vist i Figur 28 E.

Utbredelsen av registrerte skader for alle behandlinger er gitt i Figur 29. For flertallet av behandlinger økte forekomsten av skader på ryggfinner over tid, mens utbredelsen av andre finneskader var redusert over tid. For skinnskader ble det ikke observert noe karakteristisk mønster.

Oppsummert ble det ikke registrert alvorlige skader på finner (score 4-5) under forsøket. De mest alvorlige og utbredte hud- og finneskader ble observert fem uker etter overføring av både 200 og 600 g post-smolt. En vesentlig økning både i alvorlighetsgraden av skader og utbredelse for flertallet av velferdsindikatorer skjedde etter overføring fra RAS-anlegget for 200 g fisk, enten i løpet av den 13 timer lange transporten til sjø lokalitet, eller i løpet av de første fem ukene i 5x5 sjømerd. Tilsvarende ble observert for ryggfinne og brystfinneskader på 600 g utsett. Forekomsten av halefinneskader for 600 g post-smolt var derimot betydelig redusert etter sjøvannsoverføring. Det var generelt en reduksjon i observerte finneskader fra mai og utover i forsøket. Dette korrelerer med endringen i størrelsen på sjømerder som ble brukt i forsøket, da fisken ble overført fra 5 m til 11 m merd.



Figur 28 Utbredelsen av skader på gjellekk, hud og finner (ryggfinne, halefinne, brystfinner og bukfinner) etter overføring til sjø: 16.11.2016 (A), 10.01.2017 (B), 29.05.2017 (C), 19.09.2017 (D) and 21.11.2017 (E). Gitte verdier er i % med STDEV



Figur 29 Utbredelsen av skader på gjellokk, hud og finner (ryggfinne, halefinne, brystfinner og bukfinner) etter overføring til sjø 16.11.2016, 10.01.2017, 29.05.2017, 19.09.2017 og 21.11.201. Gitte verdier er i % av undersøkte individer fra hver behandling som hadde score > 0

5.5.5 Pigmentering og kjemisk sammensetning

Prøver til kjemisk sammensetning av hel fisk ble tatt i RAS ved start (før mørkeperioden), ved utsett av 100 g fisk, og ved utsett av 100, 200 og 600 g fisk, og i sjø etter perioden i 5x5-metring og ved avslutning av forsøket. Prøvene av helkropp ble analysert for energi, nitrogen, fett, aske og karotenoider. Prøver av filet ble tatt ved følgende uttak: Før utsett av 200 og 600 g, ved overføring til 11-metring, og ved uttakene i mai, september og november. Prøvene av NQC ble analysert for fett og karotenoider. Analysene av helkropp av fett, energi, aske og nitrogen er vist i Tabell 3. Energinivået og innholdet av fett i hel fisk øker fra 200 g til 600 g i RAS, mens aske-innholdet avtok ($p < 0,0001$), og det var høyere fett og energi-innhold i fisk som har gått på 24h enn de som er lysstyrt ($p < 0,01$) ved 200 g, mens det var ingen signifikant effekt av behandling ved 600 g. Det var ingen effekt av behandling eller størrelse på innholdet av nitrogen i hel fisk i RAS. Ved 200 g hadde fisken på 24 h høyere askeinnhold ($p < 0,01$), mens det var ingen effekter av behandling ved 600 g. Innholdet av astaxanthin i hel fisk økte fra 200 til 600 g i RAS ($p < 0,01$) (Tabell 4). Konsentrasjonen av astaxanthin metabolitten idoxanthin var høyere i fisk som ikke var lysstyrt ved 200 g, mens det var ingen effekt av behandling ved 600 g. Mengden idoxanthin (i % av totalt karotenoid) avtok fra 200 til 600 g i RAS ($p < 0,05$).

Etter 5 uker i sjø var det ikke lenger signifikante effekter av behandling i RAS på innhold av aske i 200 g fisken, mens det fortsatt var signifikant høyere fett og energi-innhold i fisk som hadde gått på 24h i hele perioden i RAS ($p < 0,05$). Også for 600 g utsett var det etter 5 uker i sjø høyere fett og energi-innhold i fisk på 24 h sammenlignet med lysstyrt fisk ($p < 0,05$) mens det var ingen effekt av salinitet i RAS. For både 200 og 600 g utsett avtok fett og energi-innholdet i fisken de første 5 ukene i sjø ($p < 0,05$). For både 200 og 600 g utsett var det ingen endring i innholdet av astaxanthin de første 5 ukene i sjø. For 200 g utsett var det en signifikant nedgang i innholdet av idoxanthin i løpet av de første 5 ukene i sjø, mens det ikke var noen endring de første 5 ukene i 600 g utsett. Etter 5 uker i sjø var det ingen effekt av behandling på konsentrasjonen av idoxanthin i 200 g fisk, mens det for 600 g fisk var signifikant en høyere konsentrasjon av idoxanthin i fisk som hadde gått på 24 h og 12 ppt i RAS før utsett sammenlignet med de andre behandlingene ($p < 0,01$, interaksjon lysperiode*salinitet). Ved avslutning av forsøket var det ingen forskjeller mellom gruppene i innhold av astaxanthin i hel fisk, men fisk som hadde gått på 24 h i RAS hadde litt høyere innhold av idoxanthin sammenlignet med de som var lysstyrt ($p < 0,05$). Fisk satt ved 600 g hadde høyere idoxanthin, lavere energi- og fettinnhold sammenlignet med 100 g og 200 g utsett ($p < 0,01$).

I RAS ble pigment målt i NQC (Norwegian quality cut) ved utsett av 200 og 600 g fisk. I sjø ble pigment målt 5 uker etter utsett og fett ble målt i NQC i mai, september og november 2017. Ved utsett både ved 200 og 600 g var det ingen effekt av behandling i RAS på astaxanthin i NQC, men som i hel fisk var det høyere idoxanthin i NQC fra fisk som hadde gått på kontinuerlig lys (Tabell 5) ($p < 0,05$). Etter 5 uker i sjø var det en tendens til høyere innhold av astaxanthin i NQC i 100 g utsett sammenlignet med 200 g ($p = 0,09$, Tabell 5). I begge disse gruppene hadde innholdet av astaxanthin i NQC økt signifikant de første 5 ukene i sjø ($p < 0,001$). Innholdet av astaxanthin i NQC var høyere enn ved overføring til sjø ($p < 0,01$). For fisk satt ut på 600 g var det ingen signifikant endring i astaxanthin i NQC fra utsett og etter 5 uker i sjø. Det var en tendens til at fisk som hadde gått på 12 ppt i RAS hadde høyere astaxanthin i NQC etter 5 uker i sjø ($p = 0,09$). Mengden idoxanthin i NQC gikk ned etter overføring til sjø både i fisk satt ut på 100, 200 og 600 g ($p < 0,001$).

Tabell 3 Innhold av aske, fett, nitrogen og energi i hel fisk i RAS og etter 5 uker i sjø. Verdier er gjennomsnitt av 2 kar \pm SD. Analysene ble gjort på samleprøver av 10 fisk per kar

| Uttak | Lysperiode | Salinitet | Aske (%) | Fett (%) | Nitrogen (%) | Energi (MJ/kg) |
|---------------|------------|-----------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 40 g FT | | 0 ppt | 2,3 \pm 0,0 | 10,2 \pm 0,1 | 2,6 \pm 0,0 | 7,8 \pm 0,1 |
| 100 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 2,2 \pm 0,1 | 12,0 \pm 0,2 | 2,8 \pm 0,0 | 8,9 \pm 0,1 |
| | 24 h | 0 ppt | 2,3 \pm 0,1 | 12,8 \pm 0,3 | 2,8 \pm 0,0 | 9,2 \pm 0,2 |
| 200 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 2,5 \pm 0,1 | 10,7 \pm 0,2 | 2,9 \pm 0,0 | 8,5 \pm 0,1 |
| | 12:12 | 12 ppt | 2,5 \pm 0,0 | 10,6 \pm 0,5 | 2,9 \pm 0,0 | 8,5 \pm 0,2 |
| | 24 h | 0 ppt | 2,7 \pm 0,1 | 11,6 \pm 0,5 | 2,9 \pm 0,0 | 9,0 \pm 0,1 |
| | 24 h | 12 ppt | 2,6 \pm 0,0 | 11,9 \pm 0,7 | 2,9 \pm 0,0 | 9,1 \pm 0,2 |
| 600 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 1,9 \pm 0,0 | 12,5 \pm 0,3 | 2,9 \pm 0,0 | 9,3 \pm 0,3 |
| | 12:12 | 12 ppt | 2,2 \pm 0,1 | 13,0 \pm 0,9 | 2,9 \pm 0,0 | 9,4 \pm 0,4 |
| | 24 h | 0 ppt | 2,2 \pm 0,1 | 13,6 \pm 0,7 | 2,9 \pm 0,0 | 9,5 \pm 0,1 |
| | 24 h | 12 ppt | 2,1 \pm 0,1 | 13,4 \pm 0,3 | 2,9 \pm 0,0 | 9,7 \pm 0,1 |
| 200 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 2,4 \pm 0,1 | 10,0 \pm 0,9 | 2,9 \pm 0,0 | 8,1 \pm 0,5 |
| | 12:12 | 12 ppt | 2,3 \pm 0,0 | 10,2 \pm 0,6 | 2,9 \pm 0,0 | 8,0 \pm 0,1 |
| | 24 h | 0 ppt | 2,3 \pm 0,1 | 11,2 \pm 0,3 | 2,9 \pm 0,1 | 8,9 \pm 0,2 |
| | 24 h | 12 ppt | 2,5 \pm 0,1 | 10,4 \pm 0,5 | 2,9 \pm 0,0 | 8,6 \pm 0,2 |
| 600 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 2,2 \pm 0,0 | 11,6 \pm 0,4 | 2,9 \pm 0,0 | 8,8 \pm 0,2 |
| | 12:12 | 12 ppt | 2,1 \pm 0,2 | 11,5 \pm 0,7 | 2,9 \pm 0,0 | 8,8 \pm 0,3 |
| | 24 h | 0 ppt | 2,1 \pm 0,0 | 13,5 \pm 0,0 | 2,9 \pm 0,0 | 9,6 \pm 0,0 |
| | 24 h | 12 ppt | 2,3 \pm 0,1 | 12,8 \pm 0,0 | 2,9 \pm 0,0 | 9,5 \pm 0,1 |

Tabell 4 Innhold av astaxanthin (mg/kg) og metabolitten idoxanthin (mg/kg og % av totalt karotenoid) i hel fisk i RAS og etter 5 uker i sjø. Verdier er gjennomsnitt av 2 kar \pm SD. Analysene ble gjort på samleprøver av 10 fisk per kar

| Uttak | Lysperiode | Salinitet | Astaxanthin | Idoxanthin | % idoxanthin |
|---------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 40 g FT | | 0 ppt | < 0,1 | < 0,1 | - |
| 100 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 0,20 \pm 0,00 | 0,10 \pm 0,00 | 33,3 \pm 1,0 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,12 \pm 0,06 | 0,07 \pm 0,01 | 38,0 \pm 12,2 |
| 200 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 0,55 \pm 0,07 | 0,20 \pm 0,00 | 26,8 \pm 2,5 |
| | 12:12 | 12 ppt | 0,55 \pm 0,06 | 0,25 \pm 0,07 | 31,3 \pm 8,8 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,70 \pm 0,00 | 0,40 \pm 0,00 | 36,4 \pm 0,0 |
| | 24 h | 12 ppt | 0,65 \pm 0,21 | 0,50 \pm 0,14 | 43,9 \pm 10,5 |
| 600 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 0,74 \pm 0,01 | 0,27 \pm 0,00 | 26,9 \pm 0,3 |
| | 12:12 | 12 ppt | 0,91 \pm 0,13 | 0,30 \pm 0,07 | 25,0 \pm 6,8 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,82 \pm 0,22 | 0,31 \pm 0,04 | 27,6 \pm 2,8 |
| | 24 h | 12 ppt | 0,93 \pm 0,09 | 0,30 \pm 0,12 | 24,4 \pm 6,4 |
| 200 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 0,90 \pm 0,21 | 0,26 \pm 0,05 | 22,9 \pm 8,0 |
| | 12:12 | 12 ppt | 0,77 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,06 | 18,8 \pm 4,6 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,66 \pm 0,07 | 0,23 \pm 0,06 | 25,3 \pm 7,3 |
| | 24 h | 12 ppt | 0,40 \pm 0,10 | 0,15 \pm 0,05 | 28,7 \pm 1,3 |
| 600 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 0,81 \pm 0,06 | 0,35 \pm 0,03 | 30,0 \pm 0,3 |
| | 12:12 | 12 ppt | 0,90 \pm 0,29 | 0,30 \pm 0,09 | 25,0 \pm 0,0 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,43 \pm 0,22 | 0,15 \pm 0,04 | 27,1 \pm 4,9 |
| | 24 h | 12 ppt | 0,90 \pm 0,21 | 0,55 \pm 0,04 | 38,3 \pm 4,8 |

Tabell 5 Innhold av astaxanthin (mg/kg) og metabolitten idoxanthin (mg/kg og % av totalt karotenoid) i NQC i RAS og etter 5 uker i sjø. Verdier er gjennomsnitt av 2 kar \pm SD. Analysene ble gjort på samleprøver av 10 fisk per kar

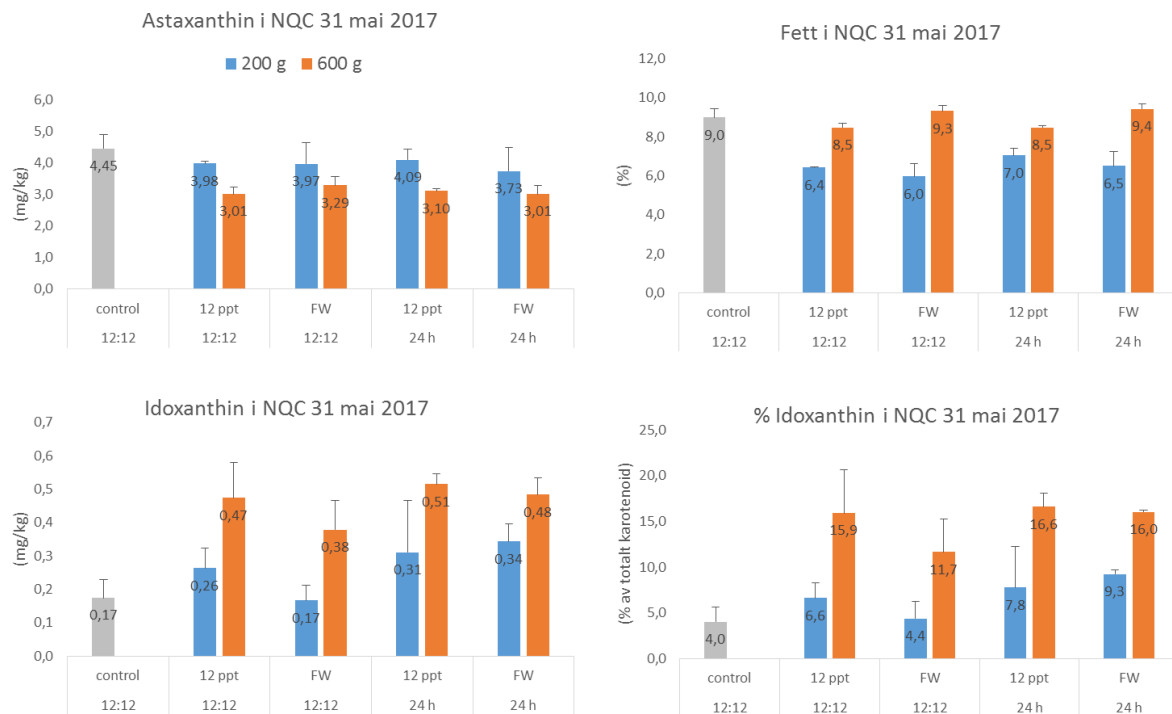
| Uttak | Lysperiode | Salinitet | Astaxanthin | Idoxanthin | % Idoxanthin |
|---------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 200 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 0,82 \pm 0,13 | 0,44 \pm 0,08 | 35,0 \pm 0,5 |
| | 12:12 | 12 ppt | 0,62 \pm 0,09 | 0,49 \pm 0,06 | 44,0 \pm 6,3 |
| | 24 h | 0 ppt | 0,68 \pm 0,25 | 0,86 \pm 0,16 | 56,4 \pm 9,7 |
| | 24 h | 12 ppt | 0,77 \pm 0,24 | 0,89 \pm 0,08 | 54,3 \pm 13,5 |
| 600 g RAS | 12:12 | 0 ppt | 1,51 \pm 0,17 | 0,48 \pm 0,03 | 24,3 \pm 1,1 |
| | 12:12 | 12 ppt | 1,72 \pm 0,29 | 0,49 \pm 0,20 | 22,5 \pm 9,8 |
| | 24 h | 0 ppt | 1,34 \pm 0,17 | 0,82 \pm 0,17 | 37,9 \pm 1,2 |
| | 24 h | 12 ppt | 1,74 \pm 0,54 | 0,72 \pm 0,10 | 30,2 \pm 9,4 |
| 100 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 1,78 \pm 0,07 | 0,34 \pm 0,04 | 15,9 \pm 2,2 |
| 200 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 1,54 \pm 0,19 | 0,32 \pm 0,09 | 17,1 \pm 2,1 |
| | 12:12 | 12 ppt | 1,24 \pm 0,14 | 0,40 \pm 0,04 | 24,4 \pm 3,9 |
| | 24 h | 0 ppt | 1,17 \pm 0,03 | 0,78 \pm 0,02 | 40,2 \pm 0,1 |
| | 24 h | 12 ppt | 1,49 \pm 0,14 | 0,43 \pm 0,05 | 26,1 \pm 0,2 |
| 600 g 5 u sjø | 12:12 | 0 ppt | 1,27 \pm 0,39 | 0,17 \pm 0,03 | 13,7 \pm 5,88 |
| | 12:12 | 12 ppt | 1,51 \pm 0,29 | 0,52 \pm 0,30 | 22,4 \pm 7,94 |
| | 24 h | 0 ppt | 1,07 \pm 0,11 | 0,33 \pm 0,20 | 22,3 \pm 9,21 |
| | 24 h | 12 ppt | 1,21 \pm 0,03 | 0,34 \pm 0,00 | 22,1 \pm 0,55 |

I løpet av vinteren og våren økte pigmentnivået i fisken til mellom 3-4 mg/kg ved uttaket i mai når fisken i snitt var rundt 1 kg (Figur 30). Det var en signifikant effekt av vekt ved utsett på astaxanthin i NQC ($p < 0,001$). Høyest astaxanthin konsentrasjon i NQC hadde kontrollfisken, og 600 g utsett hadde lavest konsentrasjon, til tross for at den var størst på dette tidspunktet. Motsatt var det for idoxanthin, det var lavest konsentrasjon i 100 g utsett og høyest i 600 g utsett ($p < 0,001$). Det var fortsatt høyere idoxanthin i fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS, mens lysbehandling og salinitet ikke hadde noen effekt på astaxanthin konsentrasjonen. Fett i NQC ble også målt ved uttaket i mai. Fettinnholdet var lavere i 200 g utsett sammenlignet med de andre utsettene ($p < 0,0001$), og 200 g utsett var også minst på dette tidspunktet. Det var ingen effekt av lysstyring og salinitet i RAS på fett i NQC i mai (Figur 30).

I løpet av sommeren vokste 100 og 200 g utsett svært bra, mens 600 g fisken hadde dårligere vekst, og var mindre enn de andre utsettene i september 2017. Astaxanthin i NQC hadde økt siden uttaket i mai, og var i snitt 5,8 mg/kg. Det var nå høyest astaxanthin konsentrasjon i NQC hos 200 g utsett ($p < 0,001$), mens det var ingen forskjell mellom 100 og 600 g utsettene. Innholdet av idoxanthin hadde falt betraktelig siden uttaket i mai i alle grupper, og lå nå mellom 2,5 og 6 % av totalt karotenoid i NQC. Idoxanthin konsentrasjonen var lavest i 100 g utsett, og høyest i 600 g utsett ($p < 0,0001$). Fettinnholdet i NQC hadde også økt siden mai, og var nå på mellom 15-19 %. Fettinnholdet var høyest i 100 g utsett, og lavest i 600 g utsett ($p < 0,001$).

Ved avslutning av forsøket 17.-19. november 2017 var det ingen signifikante effekter av tidspunkt for utsett eller betingelser i RAS på innhold av astaxanthin i NQC (Figur 31). Det var ingen økning i astaxanthin i NQC fra september til november, gjennomsnitt for alle grupper var ved slakt 5,8 mg/kg og total karotenoid var i snitt på 6,0 mg/kg. Idoxanthin utgjorde i snitt 3,6 % av totalt karotenoid ved

slakt, men det var fortsatt litt høyere idoxanthin i NQC hos fisk satt ut på 600 g (4,1 %) sammenlignet med fisk satt ut på 200 g (2,9 %). Fettnivået i NQC var litt høyere i november (17,8 % i snitt for alle behandlinger) enn i september (16,7 %). Det var ingen effekter av salinitet og lysperiode i RAS på fett i NQC ved avslutning av forsøket.

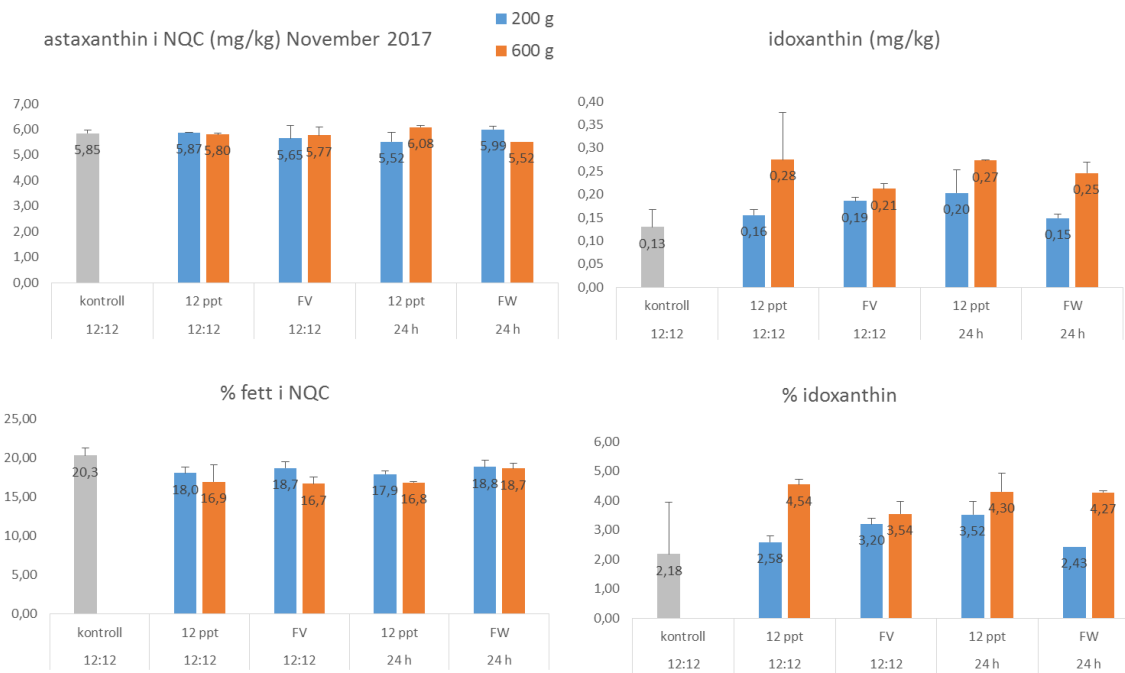


Figur 30 Konsentrasjon av astaxanthin, idoxanthin og % fett i NQC ved uttaket i mai 2017. Verdier er basert på samleprøver av 10 individ per not, 2 nøter per behandling

5.5.6 Slaktekvalitet

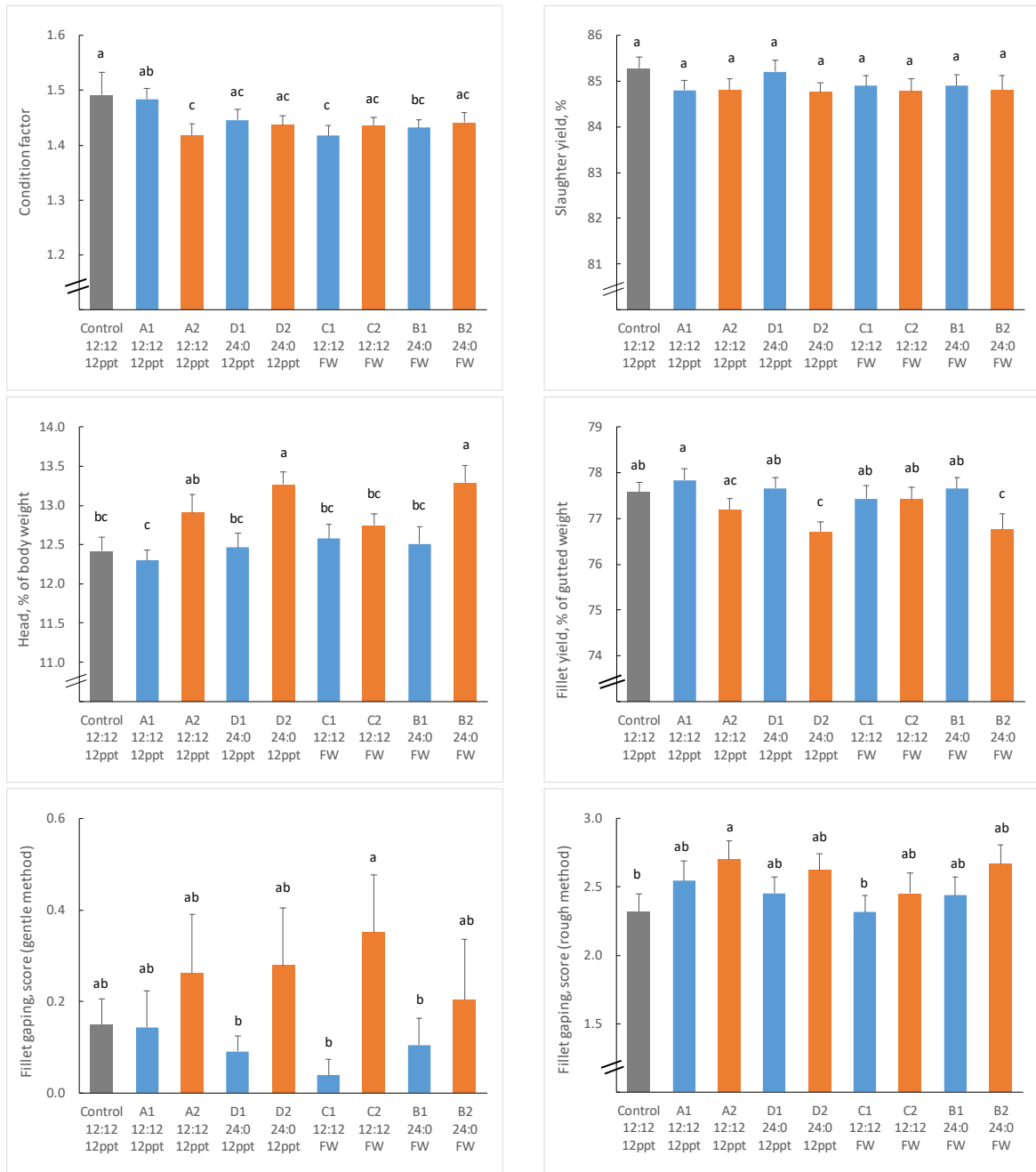
Ved avslutning av forsøket ble slaktekvalitet og filetutbytte undersøkt i 30 fisk per behandling i ferskvann (totalt 270 fisk). Fisken ble veid før den ble sløyet og pakket i isoporkasser med is og transportert til Nofima på Ås. Vekten av sløyd fisk, hode og filet ble registrert. Fisken ble filetert fem dager etter slakt med fileteringsmaskin. Fett og farge ble evaluert ved bildeanalyse (Photofish; Folkestad et al, 2008), og grad av filetspalting (gaping) ble vurdert ved bruk av en skånsom metode (Andersen et al., 1994; venstre filetside) og etter at filetene ble bøyde etter en definert standard (FHF Industritest; høyre filetside). Begge evalueringemetodene benytter en skala fra 0-5, der 0 poeng er ingen spalting og 5 poeng er ekstrem spalting. Blakking av øyelinsa ble evaluert på en skala fra 0-4 for hvert øye.

Rundvekten på laksen som ble tatt ut til kvalitetsanalyse varierte signifikant mellom størrelsesgruppene ved utsett i sjø; 5,12, 4,77 og 4,16 kg for 100 g kontroll, 200 g og 600 g utsett. Det vil si at laksen som var satt i sjø som 100 g veide nesten en kilo mer ved slakt enn laksen som var satt i



Figur 31 Konsentrasjon av astaxanthin, idoxanthin og % fett i NQC ved slutt-uttaket i november 2017. Verdier er basert på samleprøver av 10 individ per not, 2 nøtter per behandling

sjø som 600 g. I den statistiske analysen er det justert for variasjon i rundvekt der fiskestørrelsen hadde signifikant effekt. Salinitet og fotoperiode i ferskvann hadde ingen statistisk effekt på kondisjonsfaktor, utbytte, blakking av øyelinsen, filetspalting, farge eller fett. Derimot hadde fiskestørrelse ved utsett betydning for en rekke egenskaper ved slakt (Figur 31). Blakking av øyelinsen var mer utbredt hos fisk satt ut ved 600 g (score 1,9) enn hos fisk satt ut ved 100g (score 0,5) og 200 g (score 0,5). Kondisjonsfaktoren (CF) for 100 g kontroll (CF 1,50) var høyere sammenlignet med 200 g laksen (CF 1,42; $P = 0,04$) og 600 g laksen (CF 1,43; $P = 0,08$). Den relative vekten av innvoller var ikke statistisk forskjellig mellom størrelsesgruppene og derved heller ikke slakteutbyttet, men filetutbyttet var lavere for 600 g laksen (77,0 %) enn for 100 g og 200 g laksen (77,6 %) ($P = 0,01$). Filetutbyttet beregnet som prosent av sløydvekt uten hode (HOG) viste en enda tydeligere forskjell mellom størrelsesgruppene (65,1 % vs. 64,0 %) ($P = 0,0007$). Fettinnhold i filet og filetfargen viste minimal variasjon mellom gruppene (variasjon i fett 18,6 – 18,9 % og farge 26,2 – 26,3 SalmoFan poeng). Graden av filetspalting (Andersen score) var lav for alle størrelsesgruppene, men 600 g laksen hadde mer spalting (0,4 poeng) enn laks satt ut ved 200 g (0,03 poeng) ($P = 0,01$). Den gjennomsnittlige gapingscoren for 100 g laksen var 0,1. Spalting vurdert i henhold til industrimetoden viste ikke så tydelig forskjell mellom størrelsesgruppene ($P = 0,22$).



Figur 31 Kondisjonsfaktor, slakteutbytte og gaping i laks i laks eksponert for ulike fotoperioder (vintersignal 12:12 i 6 uker eller 24 h lys) og salinitet i RAS (12 ppt eller ferskvann) før overføring til sjø ved 100g
 █, 200g █ or 600g █

5.6 Diskusjon og konklusjon

Et vintersignal i ferskvannsfasen har tradisjonelt vist seg å være viktig for å indusere sjøvannstoleranse og sikre god vekst etter sjøvannsoverføring i Atlantisk laks på under 50 g (Duston og Saunders, 1995, Berge med flere 1995, Handeland og Stefansson, 2001). Samtidig er det vist at sjøvannstoleranse er avhengig av størrelse der større individer har bedre evne til å ioneregulere i sjøvann enn mindre fisk under samme betingelser (Duston og Saunders, 1990, Arnesen med flere 1992). Nye produksjonsprotokoller med utsett av stadig større settefisk har vært testet i kommersiell skala med utsett av laks som ikke har vært lysstyrt, med god overlevelse og vekst i sjø. Men det har ikke vært gjort en standardisert sammenligning av ulike produksjonsprotokoller med tanke lysstyring og salinitet i RAS og effekter på prestasjon i sjøfasen frem til slaktestørrelse. Resultatene som er oppnådd i dette forsøket viser at det er mulig å sette ut fisk på 600 g som ikke er lysstyrt og oppnå god overlevelse og brukbar vekst i sjøfasen. TGC i sjøfasen for 600 g utsett var 2,9 i snitt, noe som er på høyde med det som oppnås i kommersielt oppdrett (Aunsmo med flere 2014). Dette var likevel lavere enn for utsettene ved 100 og 200 g som i snitt begge hadde en TGC på 3,3 i sjøfasen. Den dårligere veksten i 600 g utsett skyldes lavere vekst i første periode etter utsett i sjø og også i løpet av sommeren. I løpet av siste høst i sjø vokste 600 g fisken bedre enn de andre gruppene, og hadde forsøket gått lenger til en vekt på 5-6 kg er det mulig at det ikke hadde vært forskjell i sluttvekt. Med unntak av 600 g utsett som gikk på ferskvann i RAS, hadde fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS hadde høyere slaktevekt enn de som var lysstyrt. Forskjellen var på mellom 190-277 g. Dette skyldes mest sannsynlig at fisk på kontinuerlig RAS hadde høyere vekt ved utsett i sjø sammenlignet med de som hadde fått et vintersignal, og at de beholdt dette forspranget gjennom sjøfasen.

Fisk satt ut på 600 g hadde en dårlig start i sjø med lavt fôrinntak i en lengre periode. Dårligere sjøvannstoleranse kan være en faktor, høyere kondisjonsfaktor og fett% kan også ha påvirket appetitt, noe vi også har sett i tidligere forsøk. Før utsett av kontrollfisk var det en økning i aktiviteten av NKA til over 15, og det var en endring fra en overvekt av ferskvanns-isomeren (ca 88 %) like etter at den ble satt på fullt lys til at sjøvannsisomeren dominerte (ca 80 %) før utsett av 100 g fisken i sjø. Dødelighet for denne gruppa første 5 uker i sjø var på 2,6 % og TGC første 5 uker i sjø var på 2,0. Ved utsett av 200 g fisken var NKA aktiviteten lavere (8,5-11,5) sammenlignet med ved utsett av 100 g. For 200 og 600 g utsett ga bruk av brakkvann i RAS ga en høyere andel av SV isomeren, samme effekt hadde et vintersignal i RAS. Dersom høy ratio av SV/FV isomer og også total NKA aktivitet er fordelaktig ved overføring til sjø skulle gruppa 12:12 på 12 ppt prestert bedre etter overføring til sjø sammenlignet med 24 h og 0 ppt. De første 5 ukene etter utsett i sjø var det høyere fôrinntak, bedre fôrutnyttelse og vekst i fisk som hadde fått et vintersignal, men vi fant ikke en positiv effekt av å bruke 12 ppt i RAS. Fisk gitt et vintersignal hadde også mer katarakt enn fisk på 24 h lys 5 uker etter utsett, og 12:12 og 12 ppt hadde numerisk høyest dødelighet de første 5 ukene etter utsett, selv om det ikke var signifikante forskjeller mellom behandlinger pga variasjoner mellom parallelle merder. Ved utsett av 600 g fisken var NKA aktiviteten sammenlignbar (8,5-11,3) med ved utsett av 200 g fisken, og den var litt høyere i lysstyrt fisk enn de på kontinuerlig lys. Det var en høyere SV/FV ratio i lysstyrt fisk og i fisk på 12 ppt. Konsentrasjonen av magnesium i plasma var også lavere i fisk på 12 ppt etter sjøvannstest i september, mens det ikke var noen effekt på Na og Cl. Kombinasjon 12:12 og 12 ppt ga også for 600 utsettet høyest SV/FV ratio. Fisk på 12 ppt hadde lavere Na, Cl og Mg i plasma etter sjøvannstest før utsett av 600 g fisk. Etter utsett i sjø var det en positiv effekt av 12:12 på fôrinntak, men det var ikke signifikant effekt av salinitet eller lysstyring i RAS på vekst, FCR eller dødelighet første tid i sjø for 600g utsett. Det var heller ikke høyere dødelighet den første tiden i sjø blant fisk satt ut på 600 g enn ved 100 og 200 g. En fisk på 600 g vil ha et mer fordelaktig forhold mellom overflate og volum enn en mindre fisk, og dette

kan ha vært fordelaktig for overlevelse, selv om sjøvannstoleranse med tanke på ioneregulering var litt lavere enn for 100 g utsett. Også for 600 g fisken økte forekomsten av katarakt etter utsett i sjø, og forekomsten var som for 200 g utsettet høyest i fisk som var lysstyrt (12:12).

Fôrinntak og vekst de første ukene etter sjøvannsoverføring er viktig for å tåle overgangen til sjøvann og forhindre dødelighet. Fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS frem til 200 g hadde høyere kondisjonsfaktor ved utsett og høyere fettinnhold enn fisk som var lysstyrt, og de hadde lavere fôrinntak og vekst første 5 uker i sjø. Fisk satt ut på 600 g alle høy kondisjonsfaktor ved utsett, og brukte mye lengre tid på å begynne å spise enn 100 og 200 g utsett. Men 600 g fisk ble satt ut ved lavere temperatur og kortere daglengde enn de andre gruppene, og dette kan også ha hatt betydning for fôrinntak-responsen etter utsett. Slik dette forsøket var designet i dette forsøket er det ikke mulig å fastslå årsaken til forskjellene i fôrinntak etter utsett i sjø. Det kan hende at dersom man hadde satt ut 1+ på våren, hvor den største gruppen hadde blitt satt ut seinere på våren/sommeren med lengre daglengde og høyere vanntemperatur kunne gitt et annet resultat. I et tidligere prosjekt (Optimalisert post-smolt produksjon, OPP), hvor ble det satt ut laks på 600 og 1000 g i henholdsvis mai (8 °C) og juli (12 °C), begynte 600 g fisken å spise like etter utsett mens det tok over 6 uker før fisken på 1 kg begynte å spise skikkelig. Også i OPP-forsøket hadde den største fisken høyere kondisjonsfaktor, men energistatus ble ikke målt. I Benchmark ble kroppssammensetning målt før utsett i sjø, og 600 g fisken hadde høyere fett % og energi-innhold enn 200 g utsett. Kontinuerlig lys i RAS ga også høyere energi- og fett-innhold. Det kan hende det tar lengre tid å omstille metabolismen fra å deponere fett til å bygge muskelproteiner når fisken har høy energistatus enn når energilagrene er mindre, og at dette kan virke inn på motivasjonen til å spise. Etter en litt treg start tok veksten seg opp i 600 g utsett, og fra utsett i sjø og fram til slutten av mai vokste alle utsett sammenlignbart, med TGC over 3,1 i alle behandlinger. Det var kun kontrollfisken som skilte seg ut med en TGC på 3,8, mens det var ingen forskjell mellom 200 g og 600 g utsett (snitt TGC på henholdsvis 3,2 og 3,3). I slutten av mai var kontrollfisken og 600 g utsettet størst, og de hadde sammenlignbart fettinnhold i NQC, mens 200 g utsettet var mindre og hadde vesentlig lavere fettinnhold i NQC. Kondisjonsfaktor var også lik for alle grupper i slutten av mai (1,14-1,17). Det var derfor overaskende at veksten fra juni til september var langt lavere for 600 g utsett (snitt TGC 2,7) sammenlignet med 100 og 200 g utsett (snitt TGC 3,7). Vektprøver ble tatt av mer enn 10 % av fisken i alle grupper, og trenden var den samme i alle behandlinger, det var ingen effekt av lysregime eller salinitet i RAS. Årsaken til den lavere veksten i 600 g utsett i løpet av sommeren er fortsatt ikke klarlagt. Hvis det hadde skyldtes økt kjønnsmodning skulle vi funnet et større innslag av kjønnsmoden i denne gruppa ved uttakene i september og november. Ved prøveuttaket ved avslutning ble det tatt prøver av til sammen over 500 fisk til vevsprøver og kvalitetsvurderinger. Men det ble ikke registrert kjønnsmoden fisk, så det var ikke forklaringen på vekstreduksjonen. I alt ble nesten 3000 fisk slaktet ved avslutning, og 90 % ble klassifisert som superior kvalitet. I perioden september til november vokste alle behandlinger svært godt, med TGC på 3,65 og 3,85 i snitt for 200 og 600 g utsett, og det var ingen signifikante effekter av lysbehandling eller salinitet i RAS eller størrelse ved utsett.

Laksefisk er svært plastiske med tanke på når de blir kjønnsmodne. Energi-status er i tillegg til fotoperiode og temperatur også viktig for hvorvidt laksen kommer til å kjønnsmodne tidlig i livssyklusen. Tidlig kjønnsmodning hos hanner er et problem i landbaserte anlegg, og særlig ved temperaturer over 16 °C (Nilsen med flere, 2007, Taranger med flere 2010, Fjelldal med flere 2011, Melo med flere, 2014, Davidson med flere 2016). Lysstyring i tidlige livsstadier etterfulgt av en periode med kontinuerlig lys og sjøvannseksposering er vist å kunne trigge tidlig kjønnsmodning (Melo med flere 2014), men også redusert daglengde i ferskvann er vist å trigge tidlig kjønnsmodning

sammenlignet med kontinuerlig lys (Good med flere 2015). I Benchmark ble det observert en litt høyere GSI i RAS i fisk på 12:12 og ferskvann, men forskjellen var ikke signifikant. Det var imidlertid en økning i GSI jo lenger fisken gikk i RAS, og flere kjønnsmodne hanner ble funnet ved 600 g i RAS enn ved uttaket ved 200 g. GSI var fortsatt høyere hos 600 g utsett i mai i sjø, men i resten av forsøket var det sammenlignbare verdier for alle utsett. Utsett av 600 g fisk i desember med kort daglengde og en reduksjon i vekst og energistatus kan kanskje ha bidratt til å bremse kjønnsmodning i denne gruppa, og muligens hadde vi sett mer kjønnsmodning hvis utsett av den største fisken hadde vært på våren i stedet for i desember. Fisk satt ut ved 600 g hadde også en noe lavere overlevelse i sjøfasen enn utsett ved 100 og 200 g, og en del av den døde fisken var registrert som kjønnsmoden. Dødelighet for 600 g utsett i sjøfasen var 5-8 %, så selv om all dødelighet skulle vært relatert til kjønnsmodning ville innslaget fortsatt vært relativt lavt. Overlevelse i sjøfasen for alle grupper totalt var på 93 %, som er høyere enn det som er gjennomsnittet i norsk laksenæring på rundt 85 % (Bleie og Skrudland, 2014).

Farge er en viktig kvalitetsparameter for laks, dårlig pigmentering vil gi nedklassifisering og økonomisk tap. Selv om bruken av pigment i fôret har økt de siste årene så har det blitt vanskeligere å oppnå tilstrekkelig pigmentering av fileten, uten at det er funnet en klar årsak til problemene. Astaxanthin kan omsettes til flere ulike produkter i laksefisk, også vitamin A (Schiedt med flere 1985, Guillou med flere 1989). En metabolitt som man kan finne mye av i laks er idoxanthin. Idoxanthin kan gi laksefileten en litt gulaktig farge hvis den utgjør mer enn ca 20 % av totalt carotenoid i laksemuskelen. Man finner mer idoxanthin i liten laks, og konsentrasjonen øker igjen når laksen nærmer seg kjønnsmodning (Ytrestøyl med flere 2008). Laks holdt i små kar hadde høyere innhold av idoxanthin sammenlignet med laks holdt i større kar, og stress ble forslått som en årsak, men det er ikke vist en sammenheng mellom stress og innhold av idoxanthin (Schiedt m. fl. 1989). Vi har erfaring med at laks holdt i kar innendørs ofte har høyere nivå av idoxanthin i muskel sammenlignet med laks av samme størrelse som går i sjømerder, en mulig forklaring kan være forskjeller i deponering av fett versus muskelvekst. Innholdet av astaxanthin og idoxanthin ble derfor analysert i NQC og hel fisk i RAS og i hele sjøfasen i Benchmark. Som i tidligere studier ble det funnet mer idoxanthin i liten fisk, og så avtok nivåene raskt etter overføring til sjø. I RAS var det mer idoxanthin i fisk som hadde gått på kontinuerlig lys, og som også hadde høyere fett-innhold og kondisjonsfaktor. Selv om det var en nedgang i idoxanthin i RAS fra 200 til 600 g, så hadde fortsatt fisken satt ut på 600 g høyere innhold av idoxanthin i NQC enn de andre utsettene i mai 2017, til tross for at den var større. Ved avslutning av forsøket var effekten av størrelse ved utsett fortsatt signifikant, men konsentrasjonen av idoxanthin var nå så lav (4,1 %) i 600 g utsett at det ikke vil være synlig visuelt. Ved avslutning var astaxanthin konsentrasjonen i snitt 5,8 mg/kg og total karotenoid 6,0 mg/kg, noe som nok er ganske representativt for dagens kommersielle produksjoner.

Oppsummert viser resultatene fra forsøket at laks produsert i RAS uten å benytte lysstyring før utsett i sjø ved 200 og 600 g ikke hadde økt dødelighet eller mer kjønnsmodning i sjøfasen. Fisk som hadde gått på kontinuerlig lys i RAS hadde noe høyere slaktevekt enn fisk som var lysstyrt. Vekstraten i sjø (SGR og TGC) var imidlertid litt lavere for fisk som ikke var lysstyrt, men fordi fisk på kontinuerlig lys var større ved utsett var den også større ved slakt. Bruk av 12 ppt i RAS hadde ingen signifikant effekt på vekst eller overlevelse i sjøfasen. Det var derimot effekter av tidspunkt for utsett på vekst og filetutbytte. Utsett ved 600 g ga redusert vekst i sjøfasen og lavere slaktevekt sammenlignet med utsett på 100 og 200 g, og marginalt mer gaping og lavere filetutbytte. Årstiden fisken settes ut på vil påvirke vekstmønsteret. I dette forsøket ble 600 g fisken satt ut i desember på lavere temperatur (7 °C) enn utsettene ved 100 og 200 g (august og oktober, henholdsvis 13 og 10 °C), slik at 600 g utsett fikk en større overgang fra temperaturen i RAS (12-13 °C). Fisk satt ut på 600 g brukte lengre tid på å begynne

å spise, og det kan ha sin årsak i temperaturforskjellen mellom RAS og sjø. Hadde man satt ut fisk som 1+ på våren, ville den minste fisken gått ut i sjø først på lavest temperatur, og resultatet på sluttvekt kunne kanskje blitt et annet. Det bør derfor gjøres oppfølgende studier, enten ved å analysere data fra kommersielle produksjoner, eller ved å gjøre forsøk med utsett både vår og høst for å se hvordan interaksjoner mellom størrelse og årstid ved utsett vil påvirke vekst, kjønnsmodning og kvalitet. Videre bør det sees nærmere på om vannkvaliteten i RAS når det gjelder ledningsevne og ioneinnhold kan påvirke sjøvannstoleranse i laksen, her er det behov for å se på hvordan fisk i gjennomstrømningsanlegg vil respondere på fravær av et vintersignal.

Det var ingen signifikante forskjeller på fiskevelferd for fisk på kontinuerlig lys sammenlignet med den som var lysstyrt. Det var heller ingen negative effekter på kvalitet ved slakt med tanke på pigmentering eller deformiteter ved å bruke kontinuerlig lys i RAS sammenlignet med å gi fisken et vintersignal. Forsøksmaterialet sett under ett hadde et moderat antall fisk med feil og ved sluttuttaket framstod dette som en fiskegruppe uten vesentlige deformitetsproblemer. Resultatene tyder på at en utvidet landbasert fase i RAS ikke gir økt risiko for utvikling av misdannelser i ryggrad. Innslaget av virvelfeil var tvert imot avtagende med økende størrelse ved utsett. Det ser heller ikke ut til å være nødvendig med et vintersignal i form av lysstyring for å få normal utvikling av ryggrad. Også her indikerte resultatene det motsatte. 5 uker etter utsett i sjø var det klare tegn til undermineralisering i fisk som var lysstyrt, mens tilsvarende ikke ble observert i fisk uten lysstyring. Dette må sees i sammenheng med den høyere veksthastigheten i fisk på 12:12 etter utsett sammenlignet med de på kontinuerlig lys.

Resultatene fra Benchmark viser at det er mulig å produsere en stor settefisk i RAS uten å bruke lysstyring for å smoltifisere fisken, men det kan medføre redusert vekst i sjø, særlig den første tiden etter utsett. Årstiden fisken settes ut på vil påvirke vekstmønster og prestasjon. Eventuelle fordeler med å holde fisken lenger i RAS, for eksempel hvis man kan unngå en lusebehandling, må veies opp mot negative konsekvenser på vekst i sjøfasen. På velferd, kvalitet og overlevelse ble det ikke påvist negative effekter av fravær av et vintersignal.

6 Hovedfunn

- Resultatene fra forsøket viser at det er mulig å produsere laks i RAS uten å benytte lysstyring før utsett i sjø ved 200 og 600 g uten at det kunne påvises økt dødelighet eller kjønnsmodning i sjøfasen.
- Utsett ved 600 g ga redusert vekst i sjøfasen og lavere slaktevekt sammenlignet med utsett på 100 og 200 g, og noe lavere slakteutbytte. Dette kan være en effekt av tidspunkt for utsett, og ikke kun en effekt av størrelse ved utsett.
- Bruk av 12 ppt i RAS hadde ingen signifikant effekt på vekst eller overlevelse i sjøfasen, mens bruk av kontinuerlig lys i RAS hadde en positiv effekt på slaktevekt.
- Det var en høyere metabolsk omsetning av astaxanthin i fisk som gikk på 24 h i RAS, men ved slakt var det ingen forskjeller i astaxanthin-konsentrasjonen i filet mellom behandlingene.
- Kvalitet ved slakt var ikke påvirket av salinitet eller fotoperiode i RAS, og en utvidet landbasert fase i RAS ga ikke økt risiko for utvikling av misdannelser i ryggrad.

7 Leveranser

Foredrag på konferanser

T. Ytrestøyl, J. Kolarevic, Bæverfjord, G. Solheim, M., Hjelle, E., Mørkøre, T., Brunsvik, P., Terjesen, B.F.T «Protokoller for produksjon av post-smolt i RAS –Betydning for prestasjon i sjøfasen» Framtidens smoltproduksjon, Sunndalsøra 23-24 okt 2018

T. Ytrestøyl, J. Kolarevic, Bæverfjord, G. Solheim, M., Mørkøre, T., Brunsvik, P., Terjesen, B.F.T. Havbruk 2018. Oslo Plaza, 18.-20. april. “Betydning av produksjonsbetingelser i RAS for ytelse og kvalitet i sjøfasen hos atlantisk laks.

T.Ytrestøyl. Aquaculture Innovation Workshop 29-30 nov 2017. “Health and performance of Atlantic salmon post-smolts when using novel production protocols”.

Foredrag for industri

Microteket, Trondheim 15-16 nov. 2018 “Produksjonsstrategi stor smolt”, T. Ytrestøyl, J. Kolarevic, Bæverfjord, G. Solheim, M., Hjelle, E., Mørkøre, T., Brunsvik, P., Terjesen, B.F.T.

Fagseminar Marin Harvest, Færøyene 25.06.2018

Kunnskapsoppdatering Lerøy 31.01 2018: «Betydning av produksjonsbetingelser i RAS for ytelse i RAS og i sjø.» T. Ytrestøyl

Fagseminar Grieg Lakselv, 08.11 2017. Strategier for produksjon av post-smolt» T. Ytrestøyl,

Årsmøte CtrIAQUA, Bergen 9-10.05 2017: «Benchmark, health and performance in Atlantic salmon when using novel production protocols» T. Ytrestøyl

Nofima seminar CCS, AquaNor 2017. “How to reduce open cage time by half”. B-F. Terjesen, T. Ytrestøyl

Populærvitenskaplige publikasjoner/nyhetssaker

Hatchery International vol 19:3 2018: «Norwegian study shows smaller salmon smolt grow faster in seawater grow-out» Intervju/nyhetssak

“Stor smolt ikke alltid best” nyhetssak, Intrafish/CtrIAQUA: <https://nofima.no/nyhet/2018/03/stor-smolt-ikke-alltid-best/>

“Stor smolt ikke alltid best” Nofima Næringsnytte 2019

8 Referanser

- Aunsmo, A., Krontveit, R., Valle, P.S., Bohlin, J. 2014. Field validation of growth models used in Atlantic salmon farming. *Aquaculture*, 428-429, pp 249-257.
- Berge, Å.I. Berg, A. Fyhn, H.J. Barnung, T. Hansen, T. Stefansson S.O. 1995. Development of salinity tolerance in underyearling smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52 (1995), pp. 243-251.
- Bleie, H. Skrudland, A. 2014. Tap av laksefisk i sjø. Report from Norwegian Food Safety Authority, 35.
- Davidson J, May T, Good C, Waldrop T, Kenney B, Terjesen BF, Summerfelt S (2016) Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering* 74: 1-16.
- Duston, J., Saunders. R.L 1990. The entrainment role of photoperiod on hypoosmoregulatory and growth, related aspects of smolting in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Zool.*, 68 (1990), pp. 707-715.
- Duston, J., Saunders. R.L 1995. Advancing smolting to autumn in age 0+ Atlantic salmon by photoperiod, and long-term performance in sea water. *Aquaculture*, 135, 295-309.
- Fjelldal, P.G., Hansen, T., Huang, T. 2011. Continuous light and elevated temperature can trigger maturation both during and immediately after smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 321, 93-100.
- Fjelldal, P.G., Imsland, A., Hansen, T., 2012. Vaccination and elevated dietary phosphorus reduces the incidence of early sexual maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 364–365, 333-337.
- Good C, Weber GM, May T, Davidson J, Summerfelt S (2015) Reduced photoperiod (18 h light vs. 24 h light) during first-year rearing associated with increased early male maturation in Atlantic salmon *Salmo salar* cultured in a freshwater recirculation aquaculture system. *Aquaculture Research* 47: 1-5.
- Guillou, A., G. Choubert, T. Storebakken, J. Delanoue, and S. Kaushik. 1989. Bioconversion pathway of astaxanthin into retinol-2 in mature Rainbow-trout (*Salmo-gairdneri* rich). *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology*. 94:481-485.
- Handeland, S og Stefansson, S. 2001. Photoperiod control and influence of body size on off-season parr–smolt transformation and post-smolt growth. *Aquaculture* 192, 291-307.
- Hoyle, I., Oidtmann, B., Ellis, T., Turnbull, J., North, B., Nikolaidis, J., Knowles, T.G., 2007. A validated macroscopic key to assess fin damage in farmed rainbow trout. *Aquaculture* 270, 142-148.
- Kolarevic, J., Baeverfjord, 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.
- Melo, M.C., Andersson, E., Fjelldal, P.G., Bogerd, J., Frana, L.R., Taranger, G.L., Schultz, R.W. 2014. Salinity and photoperiod modulate pubertal development in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Endocrinol.* 220, 319-332.
- Mørkøre, T., 2012. Filet av oppdrettslaks: kvalitetsavvik og årsakssammenhenger. Nofima, 59.
- Nilsen T.O, Ebbesson LO, Madsen SS, McCormick SD, Andersson E, Björnsson BT, Prunet P, Stefansson SO (2007) Differential expression of gill Na⁺, K⁺-ATPase α - and β -subunits, Na⁺, K⁺, 2Cl⁻ cotransporter and CFTR anion channel in juvenile anadromous and landlocked Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Experimental Biology* 210: 2885-2896.

- Schiedt, K., F.J. Leuenberger, M. Vecchi, and E. Glinz. 1985. Absorption, Retention and Metabolic Transformations of Carotenoids in Rainbow-Trout, Salmon and Chicken. *Pure and Applied Chemistry*. 57:685-692.
- Schiedt, K., Foss, P., Storebakken, T., Liaaen-Jensen, S., 1989. Metabolism of carotenoids in salmonids I. Idoxanthin, a metabolite of astaxanthin in the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) under varying external conditions. *Comp. Biochem. Physiol.* 92B, 277-281.
- Sveen, L.R., Timmerhaus, G., Torgersen, J.S., Ytteborg, E., Jørgensen, S.M., Handeland, S., Stefansson, S.O., Nilsen, T.O., Calabrese, S., Ebbesson, L., Terjesen, B.F., Takle, H., 2016. Impact of fish density and specific water flow on skin properties in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture* 464, 629-637.
- Taranger, G.L., Carrillo, M., Schultz, R.W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F.A., Dufour, S., Karlsen, O., Norberg, B. 2010. Control of puberty in farmed fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* 165, 483-515.
- Terjesen, B.F., 2015. Sluttrapport «Optimalisert Postsmolt Produksjon» (OPP) 2012-2014, in: B. Terjesen (Ed.), Prosjektrapport «Optimalisert Postsmolt Produksjon» (OPP) 2012-2014. Nofima, Sunndalsøra, 222.
- Terjesen, B.F., Summerfelt, S.T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S.O., Megård Reiten, B.K., Selset, R., Kolarevic, J., Brunsvik, P., Bæverfjord, G., Takle, H., Kittelsen, A., Åsgård, T., 2013. Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering* 54, 49-63.
- Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Rørvik, K-A., Bjerkeng, B. 2008. Utilisation of astaxanthin in Atlantic salmon from seawater transfer to slaughter. XII Int. Symp. Fish Nutr. & Feeding. June 1-5, Florianópolis, Brasil.
- Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Rosseland, B.O., HC, T., Nilsen, T.O., Handeland, S.O., Stefansson, S.O., L.O.E. Ebbesson, Terjesen, B.F., submitted. Towards a production protocol for Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts in RAS: the importance of salinity, exercise, and timing of seawater transfer.

