Akvaplan-niva

Rapport Report

FoU-T-TN-17 Sluttrapport 4:

Postsmolt vs. høstsmolt utsett III (2018/2017 G):

Prestasjon og velferd i sjøfase med fokus på utvikling av katarakt, nefrokalsinose og tidlig kjønnsmodning.

This page is intentionally left blank

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Pirsenteret, Trondheim
7010 Trondheim
Tlf: +47, Fax: +47
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title
FoU-T-TN-17 Sluttrapport 4: Postsmolt vs. høstsmolt utsett III (2018/2017 G).

Undertittel: Prestasjon og velferd i sjøfase med fokus på utvikling av katarakt, nefrokalsinose og tidlig kjønnsmodning.

Forfatter(e) / Author(s)
Mette Remen (faglig ansvarlig)
Karin Bloch-Hansen (prosjektleder)

Akvaplan-niva rapport nr / report no
8457-08

Dato / Date
30.01.2022

Antall sider / No. of pages
51

Distribusjon / Distribution
Åpen

Oppdragsgiver / Client
Akvaplan-niva AS og Lerøy Aurora AS

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Sammendrag / Summary
Rapporten beskriver resultater fra det tredje forsøket (postsmoltutsett III) i Hovedprosjekt I ved Akvaplan-nivas FoU-tillatelse T-TN-17. Prosjektet kartlegger prestasjon, helse og velferd hos postsmolt (PS) som settes ut på vinteren i Nord-Norge, sammenlignet med tradisjonelt høstsmoltutsett (HS).

Forsøket viser at PS og HS presterer jevnt i sjøfasen med hensyn på vekst, oppnådd slaktevekt og slaktekvalitet. Gruppene hadde gjennomgående høy velferdsindeks (> 0,8), men det ble observert en negativ utvikling i HS-gruppe i sjøfasen, trolig grunnet lusetiltak andre høst/vinter i sjø. Flere lusetiltak i denne gruppen anses også som hovedårsak til høyere dødelighet blant HS sammenlignet med PS (8,6 vs. 3,6 %). Det ble observert moderat til uttalt nefrokalsinose etter utsett, som i liten grad førte til dødelighet (ca. 0,04 %). Vevskader vedvarte over tid (10 mnd.), og kan ha ført til redusert prestasjon i begge grupper sammenlignet med de to foregående forsøkene. Lavgradig katarakt ble observert i begge grupper, og var permanente i PS-gruppe. I motsetning til utsett II, ble tidlig kjønnsmodning før utsett ikke observert. Mulige årsaker til denne forskjellen mellom utsett II og III diskuteres.

Kvalitetskontroll / Quality control

Anton A. Giæver

© 2022 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 OM AKVAKULTURTILLATELSEN OG SAMARBEIDET 3

2 INNLEDNING OG OVERORDNET PROSJEKTMÅL 4

3 FORSKNINGSTEMATIKK POSTSMOLTUTSETT III 5

4 KUNNSKAPSGRUNNLAG OG FORSKNINGSSPØRSMÅL 6

4.1 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt vs. høstsmolt 6
4.2 Tidlig kjønnsmodning hos postsmolt 7
4.3 Katarakt 10
4.4 Nefrokalsinose 11

5 METODIKK 12

5.1 Fiskegrupper, lokaliteter og produksjonsbetingelser 12
5.2 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt vs. høstsmolt 14
5.3 Tidlig kjønnsmodning i RAS 15
5.4 Katarakt 18
5.5 Nefrokalsinose 18

6 RESULTATER OG DISKUSJON 21

6.1 Merdmiljø 21
6.2 Prestasjon, helse og velferd i sjøfase 22
6.3 Tidlig kjønnsmodning 31
6.4 Katarakt 36
6.5 Nefrokalsinose 38

7 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON 42

7.1 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt (PS) vs. høstsmolt (HS) 42
7.2 Tidlig kjønnsmodning 42
7.3 Katarakt 42
7.4 Nefrokalsinose 42
7.5 Konklusjon: 42

8 REFERANSER 43

9 VEDLEGG 46

9.1 Vedlegg 1 46
9.2 Vedlegg 2 47

Forord

Akvaplan-niva AS (APN) sin forskningstillatelse driftes i samarbeid med Lerøy Aurora AS (LA) på deres sjølokaliteter i Troms. Faglig fokusområde for samarbeidet er "*Optimalisering av produksjonsregime for vinterutsett av postsmolt i Nord-Norge*". Prosjektet ble påbegynt 2016 og sluttføres i 2022.

Da første gruppe med postsmolt ble satt ut på lokaliteten Angstauren i 2016, var postsmoltproduksjon i resirkuleringsanlegg (RAS), med utsett av stor smolt ("postsmolt") i desember - januar, en ny produksjonsstrategi i Nord- Norge. Kartlegging av velferdsindikatorer og prestasjonsmål ved et slikt utsett, sammenlignet med tradisjonell høstsmolt, var derfor viktig med tanke på å detektere mulige risikofaktorer og evaluere produksjonsstrategien i denne regionen.

Prosjektgruppen etablerte i samråd med styringsgruppen Hovedprosjekt I:

Hovedprosjekt I: Vinterutsett av RAS-produsert postsmolt i Nord-Norge: effekter av et nytt produksjonsregime på prestasjon, helse- og velferdsindikatorer i sjøfasen.

De første sammenligningene av prestasjon, helse og velferd hos postsmolt (250 g satt ut i januar) vs. tradisjonell høstsmolt (ca. 80 g satt ut i oktober) ble gjort ved lokalitetene Angstauren og Tussøya, med utsett i 2016 og 2015, henholdsvis (utsett I, se Remen og Bloch-Hansen 2018). Neste utsett av høstsmolt/postsmolt ble gjort ved lokalitetene Langås og Årøya i 2016/2017, henholdsvis (utsett II, se Remen mfl. 2019). Denne rapporten beskriver resultater fra utsett III, med høstsmoltutsett i 2017 og januarutsett i 2018 ved lokalitetene Angstauren og Sessøya.

1 Om akvakulturtillatelsen og samarbeidet

Akvaplan-niva (APN) er et forskningsbasert aksjeselskap som leverer forskning og rådgivning innen akvakultur og vannmiljø. APN ble godkjent som forskningsinstitutt av Forskningsrådet juli 2013. Forskningsprosjektet *Optimalisering av produksjonsregime for vinterutsett av postsmolt i Nord-Norge* driftes på forskningstillatelse T-TN-17. Disponibel biomasse utgjør 780 tonn og inkluderer lokalitetene Sessøya, Tussøya, Angstauren, Årøya og Kågen. Forskningstillatelsen er datert 21.06.16 og er gyldig til 16.10.22.

APN er prosjekteier og innehaver av tillatelsen. Dette omfatter faglig ansvar for forskningsaktivitet og merkantilt ansvar for drift. Driftstjenester leies av Lerøy Aurora ihht. samarbeidsavtale.

Prosjektorganisasjonen består av styringsgruppe og prosjektgruppe med følgende representanter:

Styringsgruppe:

- Anton Giæver, vise-adm. direktør, Akvaplan-niva AS
- Kurt Einar Karlsen, adm. direktør, Lerøy Aurora AS
- Harald Sveier, R&D Manager, Lerøy Seafood Group ASA

Prosjektgruppe:

- Karin Bloch-Hansen, prosjektleder, Akvaplan-niva AS
- Mette Remen, faglig ansvarlig, Akvaplan-niva AS
- Håvard Haarstad, produksjonssjef, Lerøy Aurora AS
- Hege Skjåvik, fiskehelseansvarlig, Laksefjord AS
- Judith Sørflaten, driftsleder, Laksefjord AS
- Camilla Robertsen, fiskehelsekonsulent, Lerøy Aurora AS (sluttet i Lerøy Aurora 15.07.2020)

2 Innledning og overordnet prosjektmål

Lerøy Aurora sin satsning på produksjon av postsmolt og utsett i vinterhalvåret i Nord-Norge er å betrakte som en ny produksjonsstrategi. Dette skyldes både tidspunkt for utsett (desember – januar), fiskestørrelse ved utsett (250 – 500g) og bruk av resirkuleringsteknologi (RAS) med brakkvann, kontrollert temperatur og fotoperiode i perioden fra smoltifisering (ca. 80 g) til utsett (250 – 500 g). Produksjonsstrategien skiller seg fra tradisjonelt regime, hvor smolt produseres i settefiskanlegg med ferskvann, og settes ut i åpne merder i sjøvann når laksen er i "smoltvinduet" (ca. 60 – 100 g; Handeland et al. 2004) i perioden vår - høst.

Det vil alltid være en risiko for at man møter uventede utfordringer ved etablering av nye produksjonsregimer. Det er vist i laboratorieforsøk at bruk av høye temperaturer (13-16 °C) og kontinuerlig lys i postsmoltfasen øker risikoen for tidlig kjønnsmodning (postsmoltmodning; Fjelldal et al. 2011, Imsland et al. 2014, Fjelldal et al. 2018), katarakt (Sambraus et al. 2017a) og deformiteter hos postsmolt (Grini et al. 2011, Fraser et al. 2019), men det er uvisst i hvilken grad dette forekommer i kommersiell produksjon med lignende produksjonsbetingelser. Undersøkelser av settefisk fra kommersielle settefiskanlegg tyder også på at produksjon av stor smolt i RAS kan øke risiko for nefrokalsinose (nyreforkalkninger og -betennelse; Boissonnot et al. 2021).

Det nye produksjonsregimet,medfører også at fisk går i sjøen på ei tid på året der det i Nord-Norge er lav og synkende sjøtemperatur, mørketid og større risiko for vind- og bølgepåvirkning. Dette kan representere en utfordring for fiskehelse og fiskevelferd. På den andre siden, kan produksjonsregimet være gunstig som følge av utsett av en større og mer robust settefisk, og positive effekter av at sesongmessige topper i smittepress fra lakselus og parvicapsula kan minimeres eller unngås.

Det overordnede fokuset for Hovedprosjekt I ved FoU-tillatelsen T-TN-17 er derfor å sammenligne prestasjon, helse og velferd hos søskengrupper av fisk som settes ut enten på høsten (tradisjonell høstsmolt) eller midtvinters, etter en periode i RAS (postsmolt). Dette omfatter årlige utsett av fiskegrupper i perioden 2016-2019.

Prosjektet har som mål å identifisere suksess- og risikofaktorer knyttet til det nye produksjonsregimet. Resultatene som oppnås i prosjektet vil kunne bidra til en utvikling av produksjonsstrategier som øker fiskevelferd og produksjonseffektivitet i norsk lakseoppdrett.

3 Forskningstematikk postsmoltutsett III

Ved postsmoltutsett I og II (2016 og 2017 G), har Akvaplan-niva gjennomført en bred analyse av prestasjon, adferd, helse, miljø og velferd ved postsmoltutsett, og sammenlignet resultater med søskengruppe høstsmolt. Denne sammenligningen har inkludert prestasjon i sjø (utsett I og II); deformiteter/kjønnsmodning/velferdsscore ved slakt (utsett I), og overvåking av adferd, kjønnsmodning, biomasseutvikling, miljøparametere og velferdsstatus etter utsett av postsmolt utsett II (Remen og Bloch-Hansen 2018, Remen et al. 2019).

Resultater fra disse undersøkelsene tyder på at laks produsert i RAS og satt ut i januar, presterer godt i sjø, samt at størrelse og kvalitet ved slakt enten er lik eller bedre enn resultater fra søskengruppe høstsmolt. Observasjoner av modnende postsmolt hanner (2 – 9 % av hanner) før utsett, tyder på at produksjonsbetingelsene i RAS ikke bare fører til rask vekst, men at det også kan oppstå tidlig kjønnsmodning hos en andel av hannene. Observasjoner av høy andel kjønnsmodne hanner blant dødfisk én måned etter utsett, viser at kjønnsmodningen har svekket fiskens toleranse for utsettsbetingelsene. I hvilken fase av postsmoltproduksjonen kjønnsmodningen har blitt trigget, er uvisst.

Det ble også observert høy prevalens av lavgradig permanent kataraktforekomst i sjøfase i postsmoltgruppa som ble satt ut ved Årøya i 2017. Hvorvidt dette er en utfordring knyttet til postsmoltproduksjon eller midtvinters utsett, er usikkert.

På bakgrunn av disse resultatene, og diskusjoner i prosjekt- og styringsgruppa, ble det valgt følgende forskningstema for tredje utsett av postsmolt/høstsmolt ved FoU-konsesjonen:

1. Prestasjon, helse og velferd i sjøfase hos postsmolt sammenlignet med søskengruppe høstsmolt.
2. Utvikling av tidlig kjønnsmodning hos smolt/post-smolt i RAS, og betydning for utsettstoleranse.
3. Kataraktutvikling før og etter utsett av postsmolt og høstsmolt.

På bakgrunn av funn underveis i forsøket, ble det lagt til et fjerde punkt:

4. Nefrokalsinose – utvikling i løpet av sjøfasen

Planlagt arbeid innenfor disse temaene beskrives under i separate kapittel.

Som ved de foregående to postsmoltutsettene i prosjektet, ble søskengruppene satt ut på ulike lokaliteter. Lokalitetene Sessøya (postsmolt) og Angstauren (høstsmolt) er imidlertid nærliggende både geografisk og driftsmessig. Gruppene ble derfor vurdert som sammenlignbare, både isolert sett, og med tanke på en helhetlig analyse av samtlige fiskegrupper i Hovedprosjekt I. Produksjonsbetingelser ble kartlagt i prosjektet med tanke på å vurdere eventuelle forskjeller som kan ha betydning for resultatet.

4 Kunnskapsgrunnlag og forskningsspørsmål

4.1 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt vs. høstsmolt

Utsett av postsmolt midtvinters medfører utsett av fisk på ei tid på året der det i Nord-Norge er lav og synkende sjøtemperatur, mørketid og større fare for vind- og bølgepåvirkning. Vanntemperaturen i Troms er normal sett synkende fra ca. 5 til 3 °C i perioden januar til mars (lusedata.no). Utsett ved lave (< 7 ºC) og synkende sjøtemperaturer har ved tradisjonelle smoltutsett vært forbundet med risiko for nedsatt sårhelings- og osmoreguleringsevne (Handeland et al. 2000, Thorarinsson og Lystad 2003, Jensen et al. 2015), immunforsvar (Le Morvan mfl. 1998), appetitt (Handeland et al., 2000, Arnesen mfl. 1998, Sambraus et al. 2017b), og svømmekapasitet (Hvas et al. 2017). Skader på fiskens slimhinner/hud i forbindelse med transport og utsett kan fungere som inngangsport for bakterier som *Tenacibaculum spp*. (munnråte) og *Moritella viscosa* (vintersår).

Data fra Holan og Kolarevic (2015) viser imidlertid at større settefisk på våren (200 *vs.* 130 g) fører til raskere vekst, lavere dødelighet og mer robust fisk (bedre vekst etter lusebehandling). Den økte robustheten hos større settefisk kan være knyttet til avstanden i tid mellom smoltifisering og utsett, noe som gir fisken mulighet til å reetablere et fungerende immunforsvar og gjenvinne de ytre barrierenes integritet etter smoltifiseringsperioden (Karlsen et al. 2018). Større settefisk kan derfor føre til at toleransen for vinterutsett øker.

I tillegg reduseres fiskens oppholdstid i åpne merdanlegg. Ved utsett midtvinters, vil dette kunne bety at man unngår høstens topper i infestasjonspress fra parasitter som lakselus, skottelus og parasitten *parvicapsula pseudobranchicola*. Parvicapsulose representerer et større problem i Troms og Finnmark enn i resten av landet, og kan føre til høy dødelighet og redusert velferd, spesielt i kombinasjon med andre infeksjoner. Utsett av fisk i perioder hvor infeksjonspresset i sjø forventes å være lavt har vist seg effektivt (unngå utsett i september og oktober). Typisk infiseres fisk første høst i sjø, og kliniske symptomer og dødelighet opptrer første vinter. Utsett av postsmolt i januar kan derfor innebære en helsemessig fordel kontra utsett av høstsmolt i oktober.

Resultater fra dette prosjektets første undersøkte postsmoltgruppe (Angstauren 2016 G januarutsett) tyder på at gruppas prestasjon i sjøfase er sammenlignbar med høstsmolt satt ut i oktober (Tussøy 2015 G, Remen og Bloch-Hansen 2018). Det var imidlertid betydelig utsettsdødelighet i begge grupper, noe som svekker sammenligningsgrunnlaget. Dette ble av fiskehelsepersonell knyttet til yersinioseutbrudd på settefiskanlegget, håndtering og sårutvikling. Analyse av produksjonsdata fra postsmoltutsett 2 (Årøya 2017 G *vs.* høstsmolt på Langås 2016 G) viste at postsmoltgruppen hadde bedre tilvekst enn høstutsatt søskengruppe i sjøfase. Undersøkelse av produksjonsbetingelser kan tyde på at dette kan være knyttet til fordelaktige betingelser for postsmolten, i form av lavere lusenivå og fravær av lusebehandlinger i sjøfase for postsmoltgruppen. Postsmolten presterte meget godt i sjøfase tross utsett på lave og synkende sjøtemperaturer og mørketid i januar. Generell helsestatus var god og dødelighet i sjøfasen var lav (2,7 – 3,1 %) for begge fiskegrupper (Remen mfl. 2019).

Det er foreløpig ikke grunnlag for å konkludere at postsmolt er en mer robust settefisk enn høstsmolt, men foreløpige resultater viser at midtvinters postsmoltutsett kan gi gode

resultater, både med tanke på prestasjon og helsestatus. Grunnet praktiske driftshensyn, har høstsmolt vært plassert på andre lokaliteter enn postsmolt ved utsett I – II. Dette gjentas for utsett III. Siden utsett på to ulike lokaliteter svekker sammenligningsgrunnlaget, er planen å gjøre fire gjentakelser (fire utsett), og samle resultatene i en overordnet analyse som blir resultatet fra Hovedprosjekt I.

Ved dette utsettet av postsmolt (2018 G, utsett III), ble søskengruppene satt ut på Angstauren (høstsmolt), og Sessøya (postsmolt). Det ble gjort vurderinger på om det er forskjeller mellom de to gruppene når det gjelder

- Utfôring, fôrutnyttelse og vekst.
- Utsettsdødelighet og akkumulert dødelighet i sjøfase
- Dødelighetsårsaker
- Parasittinfestasjon og - behandlinger
- Utvikling i helsetilstand, diagnoser og behandling av sykdom
- Miljøbetingelser og driftsforhold
- Velferdsstatus

4.2 Tidlig kjønnsmodning hos postsmolt

4.2.1 Om kjønnsmodning hos laksefisk

Kjønnsmodningen hos laksefisk blir sett på som en syklisk prosess som begynner ved befruktning, og som kontinuerlig undertrykkes inntil inhibitoren fjernes. Dette gjør at kjønnsmodningen ikke skjer ved en spesifikk alder eller størrelse, men ved første mulighet der fisken utviklingsmessig er klar, og de hemmende signalene opphører (Policansky 1983, Thorpe 2007). Kjønnsmodningen kontrolleres og synkroniseres av en rekke faktorer, slik at gyting og klekking i størst mulig grad skjer på tidspunkt som maksimerer yngelens sjanse for overlevelse. Sesongmessige endringer i daglengde blir sett på som den viktigste tidgiveren, men både vanntemperatur, ernæringsstatus, salinitet og andre faktorer virker i samspill med daglengde for å kontrollere og synkronisere prosessen (Taranger et al. 2010, Good and Davidsson 2015).

I naturen representerer den fallende daglengden på høsten et signal som fører til en "åpen fase" i reproduksjonssyklusen (Duston and Bromage 1988), omtrent 1 år før gyting inntreffer (Leclercq et al. 2011, Taranger et al. 2010). I denne åpne fasen, kan rekruttering til kjønnsmodning skje hos individer som har energireserver som overgår en genetisk bestemt grenseverdi (Thorpe 2007). Normalt sett er veksten begrenset midtvinters, og fødeinntak i den tidlige vårperioden (rundt februar) blir derfor sett på som vesentlig for andelen fisk som rekrutteres ("vårbeslutningsvinduet", Adams and Thorpe 1989, Thorpe et al. 1990). Vannets temperatur både før, og i løpet av denne perioden vil ha stor betydning for modningsraten, fordi temperatur styrer metabolisme, fødeinntak og vekst, og dermed også potensialet for å bygge opp tilstrekkelig med interne ressurser til gonadeutvikling (Berrill et al. 2003, Jonsson et al. 2013).

Vårbeslutningsvinduet lukkes ved overgang til lang dag, dvs. rundt mars-mai (Leclercq 2010). Etter dette, vil lang dag virke akselererende på gonadeutviklingen hos modnende individer (fotostimulering), og hemmende på initiering av kjønnsmodning hos umodne individer (fotoinhibering). Individer som ikke har igangsatt kjønnsmodning vil derfor utsette kjønnsmodning til året etter (Schultz et al. 2006). Etter en periode med gonadevekst på sommeren, finnes det data fra andre laksefisk (røye og regnbueørret) som tyder på at det eksisterer et "bekreftelsesvindu" på høsten, når daglengden minker. Basert

på gonadeutviklingsnivå og/eller energireserver, kan kjønnsmodning enten reverseres (reabsorbering av ressurser fra gonader) eller fullføres. Dette skal sikre at kun de mest egnede individene fullfører den krevende prosessen som gytevandringen og sluttmodningen representerer for laksefisk (Leclercq 2010).

4.2.2 Kjønnsmodning i oppdrettssammenheng

I produksjon av matfisk er kjønnsmodning uønsket, som følge av aggressiv adferd, redusert immunforsvar, fôrfaktor, produktkvalitet og i verste fall dødelighet dersom modningen kommer så langt laksen mister evnen til å osmoregulere i sjøvann (Taranger et al. 2010). Kjønnsmodningen kan skje på parrstadiet, i smolt/postsmoltstadiet, og etter 1 og 2 vintre i sjø (Fjelldal et al. 2011, Taranger et al. 2010). Modning i løpet av første leveår skjer i hovedsak hos hanner (Schultz et al. 2006).

Parrmodning kan i stor grad forhindres ved bruk av kontinuerlig lys fra startfôring, og "dverghanner" kan sorteres ut og avlives ved vaksinering. Kjønnsmodning etter 1-2 vintre i sjø kan også minimeres ved bruk av tilleggslys fra ca. januar til sommersolverv (korter inn vårbeslutningsvinduet; Taranger et al. 1998, Bromage et al. 2001, Leclercq et al. 2011), samt ved slakt før kjønnsmodningen akselererer. Når det gjelder smolt/postsmoltmodning, er dette en ny problemstilling som har oppstått i forbindelse med forskning på, og produksjon av, større smolt/postsmolt. Kunnskapen om kjønnsmodning i denne livsfasen er begrenset, og det trengs mer kunnskap for å kunne utvikle praktiske protokoller som begrenser eller forhindrer dette.

Studier har vist at kjønnsmodning kan skje samtidig med, og like etter smoltifisering hos laksehanner (Fjelldal et al. 2011, Imsland et al. 2014, Melo et al. 2014). Foreløpige funn tilsier at både daglengde, temperatur og ernæringsstatus i samspill påvirker andelen hanner som modner. Kontinuerlig lys og høy temperatur (16 °C) i ferskvann etter mørkekjøring (6 uker med LD 12:12) førte til at 47 % av hannene (83 g) modnet (Fjelldal et al. 2011). Enda høyere innslag av kjønnsmodne hanner (80-93 %) ble funnet i studier med kontinuerlig lys og noe lavere temperatur (12 °C), men med større smolt, ca. 200-500 g (Imsland et al. 2014, Melo et al. 2014). Bruk av høy temperatur (16 °C) etter smoltifisering førte til rask gonadeutvikling i studiet av Melo et al. 2014, med økning i gonadosomatisk indeks (GSI, forhold mellom gonadevekt og kroppsvekt) fra 0 til 10% i løpet av 1 – 1.5 måneder.

I studiet av Fjelldal et al. 2011, ble det imidlertid også vist at kjønnsmodning kan inhiberes fullstendig ved å redusere daglengde (18:6) eller temperatur (10 °C) i perioden etter mørkekjøring. Resultatene fra Imsland et al. (2014) og Melo et al. (2014) kan imidlertid tyde på at fiskens energistatus (størrelse) også vil kunne spille inn, og påvirke hvor effektivt slike protokoller motvirker rekruttering til kjønnsmodning.

4.2.3 Kjønnsmodning i RAS

Selv om kunnskapen foreløpig er begrenset, tyder resultatene over på at kombinasjoner av høy temperatur (rundt optimaltemperatur for vekst), god energistatus og standard lysstyringsregime for smoltifisering av 0- åringer, er forbundet med risiko for kjønnsmodning hos hanner i perioden rundt smoltifisering. Resultatene belyser en potensielt stor utfordring forbundet med produksjon av postsmolt i resirkuleringsanlegg, der både forhøyede temperaturer og døgnkontinuerlig lys og utfôring brukes for å oppnå rask vekst (Hansen et al. 2015).

Ved Lerøy Auroras resirkuleringsanlegg i Laksefjord, settes temperaturen til 13 – 14 °C etter smoltifisering (5 – 7 ukers periode med LD12:12, etterfulgt av ca. 4 uker LD24:00)

i august-oktober, det brukes kontinuerlig lys og utfôring, og fisken oppnår en størrelse på ca. 200 – 250 gram før utsett i starten av januar. Sett i lys av resultatene presentert over, er dette forhold som potensielt fører til kjønnsmodning hos hanner.

Våre undersøkelser utført i desember 2016 bekreftet dette. I de to RAS-avdelingene (Sommer 1 og Sommer 2), ble det funnet et innslag av kjønnsmodning på henholdsvis 9 og 2 % blant hannene (Remen et al. 2019). Totalt 160 fisk ble undersøkt ved de to avdelingene, og av disse var 3.1 % modne hanner. Det ble gjort en pilotundersøkelse etter utsett for å kartlegge om disse hannene var overrepresenterte blant dødfisk. Svarene var entydige: over 90 % av registrert dødfisk var kjønnsmodne hanner i en periode med forhøyet dødelighet etter utsett (ca. 1 mnd.). De hadde i tillegg snutesår og påkjente finner, lik det en ser ved infeksjon med *Tenacibaculum* sp. (ref. Rapport fra fiskehelseansvarlig Camilla Robertsen, Figur 1). Det skal imidlertid poengteres at gruppa generelt har prestert godt etter utsett, og at den totale dødeligheten i løpet av de første 2 månedene i sjø var 1.36 %, et erfaringsmessig lavt tall.

Figur 1. Bilder fra obduksjon av dødfisk ved Årøya 31.01.17. Alle er modne hanner. Foto: Karin Bloch-Hansen.

Den undersøkte fisken i desember 2016/januar 2017, representerte anleggets 2. runde med produksjon av postsmolt i RAS. På grunn av utfordringer ved oppstart, inkludert yersinoseutbrudd, kan det forventes at fiskens prestasjon øker med anleggets driftserfaring. Siden kjønnsmodning ser ut til å være relatert til fiskens energistatus, kan en slik positiv utvikling også være en utfordring. Bedre helse og vekst kan medføre at en større andel av populasjonen er i posisjon til å kjønnsmodne når forholdene ligger til rette for det. Bruk av kontinuerlig lys, temperaturer over 13 °C og fiskestørrelse/energistatus før, under eller etter smoltifisering har blitt satt i sammenheng med høye innslag av tidlig kjønnsmodning (postsmoltmodning) i laboratorieforsøk, primært hos hanner (Imsland et al. 2013, Fjelldal et al. 2011, Melo et al. 2014, Fjelldal et al. 2018). Bruk av kontinuerlig lys og høyere temperaturer i RAS kan derfor medføre risiko for kjønnsmodning i denne fasen.

4.2.4 Undersøkte problemstillinger i prosjektet

På grunnlag av kunnskap om, og erfaring med, tidlig kjønnsmodning ved de aktuelle produksjonsbetingelsene for postsmolt, ble følgende problemstillinger undersøkt i dette delprosjektet:

- 1a: Er det variasjon i innslag kjønnsmodne hanner mellom produksjonsenheter- og produksjonsår ved Laksefjord?

- 1b: Hva karakteriserer i så fall de ulike gruppene, med tanke på miljøforhold, vektutvikling, helsestatus og energistatus i "åpen fase" i reproduksjonssyklusen?
- 2: Er det reduksjon i daglengde i forbindelse med mørkekjøring (5-7 uker LD12:12) som fører til en "åpen fase" i reproduksjonssyklusen, og som åpner for kjønnsmodning hos de individene som har tilstrekkelig med interne ressurser?
- Fører overgang til kontinuerlig lys etter mørkekjøring til at "vårbeslutningsvinduet" lukkes, og at fotoinhibering dermed forhindrer videre rekruttering i den resterende perioden i RAS?
- Hvordan forløper gonadeutviklingen seg, og hvor synkron er utviklingen?
- Kan kjønnsmodning igangsettes også i høstsmoltfraksjonen? Reverseres i så fall gonadeutviklingen etter utsett?

I metodekapittelet beskrives hvordan spørsmålene er planlagt besvart.

Undersøkelsene ble gjort på bakgrunn av funn av kjønnsmodne hanner ved utsett II, og svar på problemstillingene forutsatte lignende innslag av kjønnsmodne hanner også ved utsett III.

4.3 Katarakt

Katarakt er en øyetilstand som omfatter ulik grad av uklarhet i øyelinsen. Tilstanden kan føre til delvis eller fullt synstap, og påvirke både tilvekst og fiskevelferd negativt (Bjerkås og Sveier 2004). Utvikling av katarakt hos laks har vært knyttet til flere årsaksfaktorer, deriblant ernærings- og miljøbetingede forhold i land og sjøfase (Bjerkås et al. 2004, 2006). Studier har vist en sammenheng mellom rask vekst og utvikling av katarakt (Bjerkås et al. 1996, Breck et al. 2001), og laboratorieforsøk har vist at høye temperaturer (13-16 °C) og kontinuerlig lys i postsmoltfasen øker risikoen for kataraktutvikling (Sambraus et al. 2017). Når det gjelder ernæringsbetingede forhold er det kjent at utilstrekkelige mengder histidin eller histidinrelaterte stoffer i fôr til hurtigvoksende smolt/postsmolt kan være en mulig årsak til utvikling av vedvarende katarakter (Waagbø et al. 2010, Remø et al. 2014). I fôringsforsøk hvor nylig utsatt smolt ble gitt fôr med variable nivåer histidin fant man at et histidininnhold tilsvarende 14,4 g/kg forebygget kataraktutvikling i sjøfase (Remø et al. 2014).

På bakgrunn av at produksjonsregimet for postsmolt i RAS omfatter risikofaktorer assosiert med kataraktutvikling (rask vekst og høy temperatur), og at man ved oppfølging av postsmoltgruppe 2 (Årøya 2017 G) avdekket høy prevalens av lavgradig permanent kataraktforekomst i sjøfase, ble det besluttet å gjennomføre en systematisk kartlegging av forekomst og utvikling av katarakt i RAS og sjøfase i dette delprosjektet. Lerøy Aurora besluttet også å justere fôringsregime ved Laksefjord. Begge smoltgrupper ble fôret med histidinberiket fôr i RAS fase: Nutra Supreme 2.0 (Skretting) med histidininnhold 13 g/kg. Postsmolt fikk i tillegg Nutra Supreme 70A (Skretting) med histidininnhold 14 g/kg siste 4 uker før utsett.

Følgende spørsmål søkes besvart i dette forsøket:

- Er det forskjell i prevalens og alvorlighetsgrad av katarakt ved utsett på av høstsmolt vs. midtvinters utsett av postsmolt?
- Når oppstår katarakt, og hvordan utvikler tilstanden seg i sjøfase?

4.4 Nefrokalsinose

Nefrokalsinose regnes primært som en produksjonslidelse, og knyttes ofte til vannkvalitet. Tilstanden observeres også som tilleggsfunn ved hemorragisk smoltsyndrom (HSS, Sommerset et al. 2020). Høy CO_2-konsentrasjon kan være en mulig årsaksfaktor, men varierende grad av funn i ulike studier tyder på at årsakene er sammensatte (Smart et al. 1979, Mota et al. 2019). Studier har vist at ubalansert mineralinnhold i fôr kan påvirke utfelling hos laksefisk (Hicks et al. 1984, Cowey et al. 2007), og det gjennomføres også studier som undersøker om vannets ionesammensetning eller alkalinitet kan ha betydning (FHF NEFROSMOLT, Boissonot et al. 2021). De senere år har problemet med nefrokalsinose vært økende (Johansen et al. 2018), og det har vært spekulert i om dette kan knyttes til den økende bruken av RAS, eller endring i fôrsammensetning.

På første helsetilsyn etter postsmoltutsett III observerte fiskehelsetjenesten høy prevalens av mineralutfelling i nyrer ved obduksjon av svimere og dødfisk. Det ble sendt inn prøver til histopatologi, og nefrokalsinose ble påvist den 17.01.2018 (Pharmaq Analytiq). Siden nefrokalsinose er en tilstand som kan knyttes til vannkvalitet ved settefiskanlegget, og kan påvirke fiskens prestasjon og helse (Sommerset et al. 2020), ble det gjennomført en nøyere undersøkelse av alvorlighetsgrad og tilstandens forløp i sjøfase som en del av dette delprosjektet. I tillegg var det ønskelig å undersøke om tilstanden hadde oppstått i RAS eller før RAS-perioden.

I løpet av prosjektperioden, ble det utarbeidet en visuell skåringsmetodikk, og denne ble sammenlignet med histopatologisk skår for å vurdere overensstemmelse.

5 Metodikk

5.1 Fiskegrupper, lokaliteter og produksjonsbetingelser

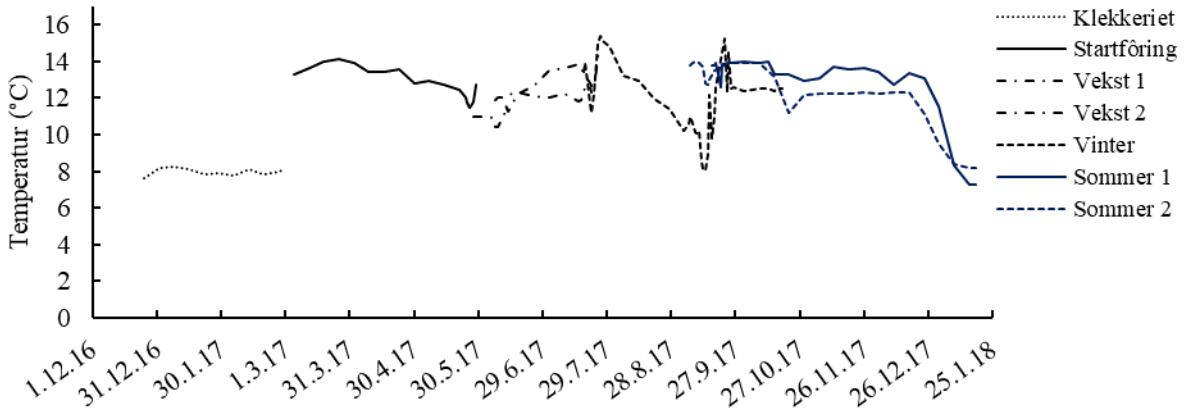
Det ble innhentet informasjon om produksjonsbetingelser gjennom samtaler med driftsledelse på settefiskanlegget og sjølokalitetene, og gjennom analyse av miljø- og produksjonsrelaterte data fra Fishtalk.

5.1.1 Settefiskproduksjon

Postsmolt- og høstsmoltgruppene som er undersøkt i dette studiet ble produsert ved Laksefjord AS, Lebesby, Finnmark. Begge grupper ble smoltifisert etter standard 0-åringsregime på høsten: 5 – 7 ukers vintersignal med LD12:12, deretter LD24:0 for å fullføre smoltifisering (LD = light, dark). Smoltgruppen blir sortert før mørkekjøring, og fraksjonen som er størst settes i sjø som høstsmolt (0-åring, ca. 80 – 100 g). Resterende fraksjon holdes tilbake i RAS hvor den står på brakkvann for påvekst og utsett rundt årsskiftet. Målet er å nå en utsettsstørrelse på 250 gram. Dette produksjonsregimet gir utsett av 2 ulike grupper fra samme rogninnlegg: 1 standard høstsmoltgruppe, og 1 postsmoltgruppe som settes ut ved årsskiftet.

Rogn fra SalmoBreed (IPN QTL) ble lagt inn i klekkeriet (8 ºC) 25. desember 2016. Yngel ble overført til startfôringsavdeling 5. mars 2017 (12 – 14 ºC, LD 24:00; LD = light : dark), og gikk videre til vekstavdeling i slutten av mai 2017 (økende og varierende temperatur i intervallet 10,4 – 14,7 ºC, LD 24:00). Fisken ble badevaksinert med Alpha Dip ERM Salar 24. – 29. mai 2017 og sortert i tre størrelsesfraksjoner (åtte kar) i Vinteravdelingen for smoltifiseringsregime (mørkekjøring) i løpet av juli. Fotoperiode ble endret fra LD24:0 til LD12:12 den 28. juli 2017. Det ble reetablert 24 timers lys etter 5,5 – 6,5 uker. Temperaturen sank gradvis i mørkeperioden fra 15 til 8 ºC. Karene med størst fisk ble vaksinert med injeksjonsvaksine (Pentium Forte Plus) først (5. – 15. sept. 2017) og overført til RAS-avdelingen Sommer 2 (14 ºC, LD24:00). Her ble salinitet gradvis økt fra 5 til 15 ‰ fra 27. sept. til 2. okt, og gruppa ble satt ut som **høstsmolt** 17. – 21. okt. 2017. Deretter ble karene med små- og mellomsortering vaksinert (dobbeltvaksine med Alpha Ject Micro 6 + Alpha Dip ERM Salar), og overført enten til RAS-avdelingen Sommer 1 (15. – 21. sept., 13-14 ºC, LD24:00), eller overført til nye kar i Vinteravdelingen (22. – 26. sept. 12,5 ºC, LD24:00) i påvente av ledige RAS-kar i Sommer 2 (dvs. etter høstsmolt flyttet ut; 12,3 ºC, LD24:00).

Etter fullført smoltifisering, ble salinitet gradvis økt i Sommer 1 fra 5 til 15 ‰ i oktober 2018. Gjenstående postsmolt-fisk i Vinteravdeling (ferskvann) ble overført til den andre RAS-avdelingen (Sommer 2) med 15 ‰ promille og 12,2 ºC i perioden 16. –19. oktober. Etter dette var fisken i **postsmolt**-gruppa i RAS-avdelingene (Sommer 1 og 2) inntil levering. I de to RAS-avdelingene var det kontinuerlig lys og utfôring, brakkvann (15 ‰), 93,7 % O_2 (SD ± 5,5), pH 7,0 (SD ± 0,1) og 12 – 14 ºC, inntil temperatur ble gradvis nedjustert før levering 1. – 6. januar 2018 (til 7 – 8 ºC, Figur 2).



Figur 2. Oversikt over temperaturer i de ulike avdelingene ved Laksefjord fra klekking til levering av postsmolt.

5.1.2 Sjøfase

Postsmolt ble satt ut ved lokaliteten Sessøya, og høstsmolt ble satt ut på Angstauren. Sessøya og Angstauren ligger i henholdsvis Sessøyfjorden og Kattfjorden og er lokalisert nært hverandre geografisk. Miljøbetingelser og driftspraksis er tilnærmet lik (Figur 3). Avstand mellom lokalitetene er 6,5 km i luftlinje.

Figur 3. Geografisk plassering Sessøya (postsmolt) og Angstauren (høstsmolt). Utklipp fra Barentswatch.no.

Postsmolt fra de to RAS-avdelingene (999608 stk., snittvekt 227 g) ble transportert med båt og fordelt i 6 merder i perioden 1. - 7. januar 2018. Det ble fôret etter appetitt (1 - 2 måltid per dag), ved hjelp av kamera. Det ble gjennomført sortering av samtlige grupper 12. - 13. september. Etter sortering var postsmoltgruppa fordelt på 8 enheter, med snittvekt på 2,2 - 2,4 kg eller 2,8 - 3,2 kg. Thermolicerbehandling mot lus ble gjennomført i samtlige enheter 03.11.18 - 08.11.18. Utslakting ble gjennomført gradvis i perioden 14.02.19 - 31.07.19.

Høstsmolt søskengruppe (749100 stk., snittvekt 73 g) ble satt ut ved lokaliteten Angstauren 17. - 20. oktober 2017 og fordelt på 6 enheter. Fiskegruppa ble behandlet med Slice to måneder etter utsett, med oppstart 24.12.17. Luseskjørt og rensefisk (rognkjeks; hele sjøfase, flere påfyll) ble benyttet. Det ble gjennomført sortering av samtlige grupper 22. - 27. august 2018. Etter sortering var høstsmoltgruppa fordelt på 6 enheter, med snittvekt på 1,6 - 1,7 kg eller 2,0 kg. Det ble gjennomført Optilicerbehandling på 1 enhet 6. oktober 2018, og Alphamaxbehandling i presenning i resterende enheter 11. - 12. oktober 2018. Det ble også gjennomført Thermolicerbehandling av samtlige enheter 29. november – 1. desember, og Thermolicerbehandling + sortering 8. – 9. januar 2019. Utslakting ble gjennomført gradvis i perioden 17.04.19 - 02.07.19.

5.2 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt vs. høstsmolt

5.2.1 Prestasjonsmål

Fiskegruppenes prestasjon i sjøfasen ble vurdert på bakgrunn av data fra Fishtalk, og inkluderte analyse av snittvektsutvikling, vekstrate (SGR/EGI/RGI/VF3, se blå tekstboks under), utfôringsrate (SFR, % av biomasse/dag) biologisk fôrfaktor (BFCR), dødelighet/dødelighetsårsaker, helsestatus og slaktekvalitet (andel superior, ordinær, produksjon og vrak). Informasjon om miljøparametere (temperatur, oksygennivå, vindstyrke) og produksjonsrelaterte forhold (utfôring, tiltak mot lakselus, flytting og sortering av fisk) ble innhentet for å kunne vurdere hvorvidt produksjonsforholdene var sammenlignbare for de to fiskegruppene.

Vekstprestasjon: Det finnes ulike mål som kan brukes til å sammenligne vekstprestasjon mellom egne og andres fiskegrupper. Målene inkorporerer i ulik grad faktorer som har betydning for vekstraten, som utsettsstørrelse, slaktevekt, temperatur og daglengde. Fire ulike metoder dominerer: SGR, VF3, EGI og RGI. Disse er nærmere forklart i tekstboksen til høyre.

Vekstprestasjon: SGR, VF3, EGI og RGI.

SGR står for specific growth rate (daglig tilvekst) og beregnes som den daglige prosentvise vektendringen i forhold til kroppsvekten:

SGR= ((lnVektslutt - lnVektstart) x 100) / dager

VF står for vekstfaktor, og beregnes som en vekstrate korrigert for temperatur i perioden det beregnes for (også kjent som TGC; thermal growth coeffisient):

VF3 = 1000 x (Vekt slutt $^{1/3}$ – Vekt start $^{1/3}$)/ døgngrader.

EGI står for EWOS Growth Index, og er en tilvekstmodell fra EWOS AS. EGI er laget med utgangspunkt i reelle observasjoner innsamlet over flere år gjennom FarmControl. Modellen tar, i tillegg til fiskestørrelse og vanntemperatur, hensyn til variasjon i daglengde. EGI på 100 representerer gjennomsnittet. Brukes for å sammenligne grupper internt og mellom opprettselskaper.

RGI står for Relative Growth Index og er en størrelses- og temperaturavhengig vekstmodell fra Skretting. RGI på 100 representerer gjennomsnittet for gitt størrelse og temperatur.

Selv om de ulike vekstparameterne i ulik grad korrigerer for variasjoner i temperatur, fiskestørrelse eller daglengde, er det ikke gitt at de gir et presist sammenligningsgrunnlag for høstsmolt og postsmolt hvis man legger hele produksjonsperioden til grunn, og dermed ulike utsetts- og slaktetidspunkter og –størrelser. Vi har derfor i tillegg sammenlignet snittvektsutvikling, SFR og SGR i perioden fra postsmoltutsett til slakt.

5.2.2 Helsestatus

Informasjon om helsestatus og sykdomsutvikling i sjøfase er hentet fra månedlige fiskehelserapporter fra lokalitetene. Helsehistorikk fra landanlegget og status ved utsettstidspunkt er hentet fra helseattester. Akkumulert dødelighet (total dødelighet fra utsett til slakt) er brukt som en retrospektiv indikator på helse- og velferdsstatus for fiskegruppene i sjøfasen. Lerøy Aurora har utarbeidet et klassifiseringssystem for dødfisk som angir sannsynlig årsak til dødelighet. Klassifiseringen gjennomføres av driftspersonell etter visuell vurdering av død fisk i tilknytning til opptak. Disse dataene er innhentet for ytterligere informasjon om dødelighetsårsaker gjennom sjøfase.

5.2.3 Velferdsstatus

Velferdsskåringen er basert på The Salmon Welfare Index Model (SWIM, Stien et al. 2013), men tilpasset uttaksbetingelsene. SWIM består i å vurdere ulike velferdsindikatorer, og kombinerer resultatene på en slik måte at man kan beregne en "velferdsindeks" (WI, tall mellom 0 og 1, der 1 er best mulig velferd). I skåringssystemet skåres de ulike velferdsindikatorene med heltall fra 1 til 5, der tall større enn 1 betyr negativ effekt på fiskens velferd. Dette gir en redusert indikatorskår (IS; tall mellom 0 og 1). De ulike velferdsindikatorene har egne vektingsfaktorer (WF), basert på indikatorens betydning for fiskevelferd. Disse summeres opp, og den relative vektingsfaktoren (RWF) for hver velferdsindikator beregnes. Når velferdsindeksen skal beregnes, multipliseres IS med RWF for hver indikator, og resultatene summeres. Hvor mye en gitt indikatorskår bidrar til å redusere den totale velferdsindeksen, kommer derfor an på nivået på skåringen (hvor lav IS er) og hvor stor relativ betydning den gitte indikatoren har (hvor høy RWF er), blant de utvalgte indikatorene i vurderingen. Se Vedlegg 1 for flere detaljer.

Indikatorene kan inkludere både miljørelaterte, driftsrelaterte og dyrebaserte (individ eller gruppe) parametere. Vi har valgt å fokusere på individbaserte indikatorer. Hovedformålet med denne skåringa er ikke å gi et absolutt mål på fiskens velferd, men å gjøre en systematisk og standardisert kartlegging av relevante faktorer for fiskevelferd, som vi forventet kunne være påvirket av produksjonsregimet. Ved å bruke etablert og standardisert metodikk, kan vi følge utviklingen over tid, sammenligne høstsmolt og postsmolt på tvers av generasjoner, og sammenligne data med andre publiserte vurderinger av velferd i kommersiell produksjon. Parametere som ser ut til å bli påvirket av produksjonsregimet, har vi gjennomført utvidet overvåking av, i dette tilfellet kjønnsmodning, nefrokalsinose og katarakt (se 5.3 – 5.5).

Velferdsskåringer ble gjennomført på 40 individer i kar som representerte hhv. postsmoltgruppe og høstsmoltgruppe på Laksefjord. Skåring ble gjennomført 1-2 uker før utsett av høstsmolt (11.10.17) og 3-4 uker før utsett av postsmolt (12.12.17).

Gjennom sjøfase ble velferdsvurderinger gjennomført på høstsmolt (Angstauren) ca. 1 og 12 måneder etter utsett (22.11.17, 10.10.18), og på postsmolt (Sessøya) ca. 1 og 9 måneder etter utsett (19.02.18, 01.10.18).

I Vedlegg 1 og 2 fremgår skåringsmetodikken for de inkluderte velferdsindikatorene (SWIM, Stien et al. 2013). Vi har valgt å fokusere på individbaserte indikatorer.

5.3 Tidlig kjønnsmodning i RAS

En detaljert beskrivelse av forskningsspørsmål og metode for besvarelse av disse er angitt i Tabell 1. I korte trekk, ble kjønnsmodningsinnslag kartlagt før utsett i form av tre prøveuttak på settefiskanlegget Laksefjord, og i tillegg ett uttak etter utsett:

1) Høstsmolt + postsmolt i mørkekjøringsperioden (31.08.17)

2) Postsmolt ved slutten av smoltifiseringsperioden (11.-12.10.17)

3) Høstsmolt ca. én mnd. etter utsett (22.11.17)

4) Postsmolt to måneder etter fullført smoltifisering (12.12.17)

Det ble gjennomført en visuell bestemmelse av kjønn og modningsstatus (moden/modnende) på 200 fisk per kar per uttak. Gonader ble dissekert ut og veid, og individene ble klassifisert som modnende og modne dersom GSI (gonadosomatisk indeks) var høyere enn 0,1 % og 1,0 % for hanner, henholdsvis (Melo et al. 2014, Fjelldal et al. 2018, Braanas 2021), og 0,3 % for hunner (Oppedal et al. 1997). Hanngonader ble fiksert i formalin for senere undersøkelser. I tillegg ble det tatt ut blodprøver for hormonanalyser (11-ketotestosteron), uavhengig av observert gonadevekt.

Gonadosomatisk indeks ble beregnet etter følgende formel:

GSI = gonadevekt (g) *100/ kroppsvekt (g)

Det var planlagt analyser av blod og hanngonader basert på funn av modne fisk før utsett. Det var også planlagt oppfølgende undersøkelser etter utsett ved funn. Som et resultat av manglende funn av modne individer før utsett, ble disse undersøkelsene ikke gjennomført, og kjønnsmodning ble i det videre kun undersøkt i forbindelse med standard undersøkelser ved velferdsskåring. Produksjonsbetingelser for postsmoltutsett III ble sammenlignet med postsmoltutsett II, for å vurdere mulige årsaker til ulike resultater for disse to gruppene.

Tabell 1. Forskningsspørsmål og metode for besvarelse, med fokus på tidlig kjønnsmodning.

Forskningsspørsmål	**Metodikk/gjennomføring**
1a: Er det stor variasjon i innslag kjønnsmodne hanner mellom produksjonsenheter- og produksjonsår ved Laksefjord? 1b: Hva karakteriserer i så fall de ulike gruppene, med tanke på miljøforhold, vektutvikling og helsestatus i "åpen fase" i reproduksjonssyklusen?	• 1a: Kartlegge innslag av modnende hanner i Sommer 1 og Sommer 2 hos årsklasser involvert i prosjektet, basert på gonadosomatisk indeks (GSI) like før utsett. I praksis betyr dette at 200 fisk per avdeling veies og åpnes. Hanngonader dissekeres ut og veies (desember 17). • 1b: Kartlegging av produksjonsregime i perioden før, under og etter smoltifisering: temperatur, lysstyring sortering/flytting/vaksinering, fôring, helsestatus, vannkvalitet. • 1b: Hvilken periode som representer en "åpen fase" i reproduksjonssyklusen er foreløpig ikke kjent ved Laksefjord, men tilgjengelige studier tyder på at kjønnsmodning initieres i løpet av smoltifiseringen.
2: Er det reduksjon i daglengde i forbindelse med mørkekjøring (5-7 uker LD12:12) som fører til en "åpen fase" i reproduksjonssyklusen, og som åpner for kjønnsmodning hos de individene som har tilstrekkelig med interne ressurser?	• Kartlegge andel hanner som eventuelt er rekruttert *før* mørkekjøring vha. analyser av 11-ketotestosteron i blod (steroidhormon som indikerer modning, se Melo et al. 2014) og GSI i mørkekjøringsperioden (august 17). Andelen sammenlignes med andel observert ved smoltifiseringsperiodens slutt (se under) og etter 1 og 2 måneder i RAS. • Målinger gjøres i Sommer 1-gruppa (gruppa som blir satt rett over på RAS etter vaksinering) under uttaket beskrevet i ruta over. N= 200. Blodprøve tas, deretter veies, måles og kjønnsbestemmes fisken. • Hanngonader veies og fikseres med tanke på histologianalyser dersom funn tilsier at gonadeutviklingen bør undersøkes nærmere.
3. Fører overgang til kontinuerlig lys etter mørkekjøring til at "vårbeslutningsvinduet" lukkes, og at fotoinhibering dermed forhindrer videre rekruttering i den resterende perioden i RAS?	• Kartlegge andel modnende hanner og gonadeutviklingsstadie ved slutten av smoltifiseringsperioden (oktober 17) vha. analyser av 11-KT i blod og GSI. Sammenligne med andel og gonadeutviklingsstadie blant modnende hanner som observeres i november og desember (se under/over). • Målinger gjøres i Sommer 1-gruppa, N= 200, på samme måte som beskrevet i ruta over.
4. Hvordan forløper gonadeutviklingen, og hvor synkron er utviklingen?	• Kartlegge 11-KT og GSI hos hanner fra Sommer 1 i august, oktober, november og desember og januar. • Uttak i august, oktober og desember er beskrevet over. I tillegg gjøres uttak av 200 fisk fra Sommer 1 i november 17 og av 100-200 stk. 1 måned etter utsett på Sessøy januar 18 (N basert på observert andel modne). • Ved alle uttak måles GSI og blodprøver tas ved alle unntak unntatt januaruttak. Hanngonader veies og fikseres.
5. Kan kjønnsmodning igangsettes også i høstsmoltfraksjonen? Reverseres i så fall gonadeutviklingen etter utsett?	• Ved begynnende modning i løpet av smoltifiseringen i Sommer 1, kan man anta at dette også kan skje i høstsmoltgruppa. Som en pilotundersøkelse, åpnes derfor et antall fisk (100-200, basert på andel modnende hanner observert i RAS) 1 måned etter utsett på Angstauren for visuell undersøkelse av gonadestatus (november 17). Dersom modnende hanner observeres, veies fisk og gonader, og gonader fikseres for histologisk undersøkelse. GSI og gonadeutviklingsnivå sammenlignes med samtidige observasjoner i RAS.

5.4 Katarakt

Forekomst og grad av katarakt ble identifisert ved skåring av omfang av linseforandringer på bedøvet fisk ved bruk av forstørrelsesbriller (×10) og øyelys.

Det ble totalt gjennomført 4 prøveuttak (n = 40 fisk/uttak) i begge fiskegrupper. Skåring ble gjennomført på Laksefjord tett opptil utsettstidspunkt, deretter vurdering i sjø ved én og tre måneder etter utsett og før utslakting.

Omfang av kataraktforandringer i linse ble definert ved å benytte en skåringsskala fra 0 - 4 for hvert øye (Wall og Bjerkås 1999), hvor skårverdi 0 = ingen katarakt, 1 = katarakt dekker < 10 % av linsen, 2 = katarakt dekker 10 - 50 % av linsen, 3 = katarakt dekker 50 – 75 % og 4 = katarakt dekker 75 – 100 % av linsen. Totalskår per individ (katarakskår) ble summert til en skårverdi mellom 0 - 8. Kataraktskår fra 0 - 2 regnes som en mild form for katarakt, 3 - 4 som moderat og 5 - 8 som alvorlig. Gjennomsnittlig individskår på gruppenivå per prøveuttak og prevalens ble deretter beregnet, og det ble anmerket hvorvidt katarakten var ensidig eller tosidig.

Med bakgrunn i kjennskap til at utilstrekkelig innhold av histidin i diett kan påvirke kataraktutvikling, ble det innhentet opplysninger om hvilke fôrtyper som var benyttet i land og sjøfase og fôrets histidininnhold.

5.5 Nefrokalsinose

På første helsetilsyn med postsmoltgruppe 2018G i sjøfase observerte fiskehelsetjenesten høy prevalens av mineralutfelling i nyrer ved obduksjon av svimere og dødfisk. Det ble sendt inn prøver til histopatologi, og nefrokalsinose ble påvist den 17.01.2018 (Pharmaq Analytiq). Funn av nefrokalsinose resulterte i at nyrehistologi og nefrokalsinoseskåring ble inkludert i prosjektet. Det ble tatt ut prøver av postsmolt 10 og 40 uker etter utsett (mars og oktober 2018), og fra høstsmoltgruppa 52 uker etter utsett (oktober 2018). Det ble tatt ut representativ fisk fra merdene med orkastnot.

I løpet av prosjektperioden, ble det utarbeidet en visuell skåringsmetodikk, og denne ble sammenlignet med histopatologisk skår for å vurdere overensstemmelse.

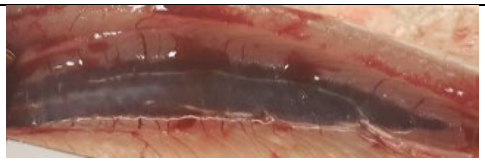
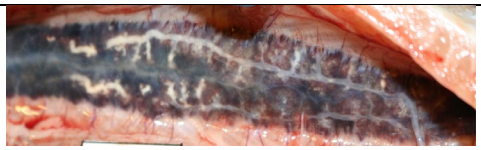
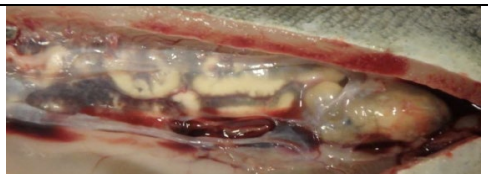
Når det gjelder valg av leverandør av histologiske analyser, ble det gjort en endring fra uttak 10 uker etter utsett til uttak 40 og 52 uker etter utsett. Vi endret fra Veterinærinstituttet til Pharmaq Analytic, fordi sistnevnte inkluderer flere kriterier enn bare utfellinger i sin vurdering av nefrokalsinose alvorlighetsgrad (se 5.5.3). Det blir dermed ikke direkte sammenlignbare resultater for prøver tatt i mars *vs*. oktober.

5.5.1 Visuell skåring av nefrokalsinose

Det ble gjort visuelle undersøkelser av 40 stk. postsmolt 10 og 40 uker etter utsett (mars og oktober 2018), og av 40 stk. høstsmolt 52 uker etter utsett (oktober 2018). Skåring ble gjort etter egen mal, oppsummert i Tabell 2.

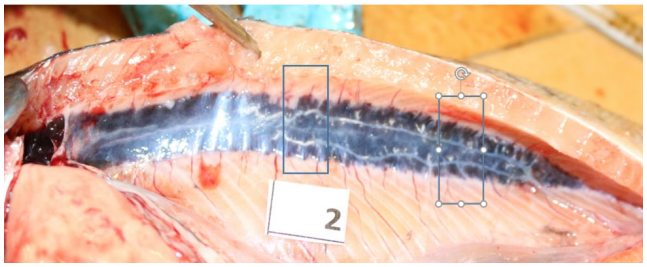
Tabell 2. Skårskjema for makroskopisk vurdering av observerbar patologi og kalkutfellingsgrad nyrevev.

Skår	Visuell observasjon	Eksempel
0	Normalvev – ingen visuelle forandringer *Foto: M. Remen, APN.*	

1	Visuelt observerbar kalkutfelling langs urinleder +/- utførselsganger. Ingen hevelse i nyrekapsel. *Foto: M. Remen, APN.*	
2	Utpreget kalkutfelling langs urineleder, utførselsganger og i nyrevev. Hevelse i nyrekapsel/svulne nyrer. *Foto: Karin Bloch-Hansen, APN.*	
3	Massiv skade i nyrevev, degenerative forandringer og systemiske symptomer på nyresvikt (utstående øyne, væske i buk). *Foto: Per Anton Sæther, Marin Helse*	

5.5.2 Histopatologisk skåring av nefrokalsinose

Det ble gjort visuelle undersøkelser av postsmolt 10 og 40 uker etter utsett (mars og oktober 2018, n = hhv. 40 og 20), og av høstsmolt 52 uker etter utsett (oktober 2018, n = 3). Vevsprøvene omfattet innledningsvis midtnyre, baknyre og pseudobrankier. Underveis i prosjektperioden ble midtnyre etablert som indikatorvev. Posisjon for midtnyreprøve var under ryggfinne, og baknyreprøven var 1 cm kranialt for punktet der urinledere fusjonerer i urinrør (se Figur 4).



Figur 4. Bilde som illustrerer anatomisk landmerke for uttak av vevsprøver fra baknyre og midtnyre.

Ved første uttak ble histologiske undersøkelser gjort av Veterinærinstituttet, deretter ble Pharmaq Analytiq benyttet som leverandør. Begge laboratorier var i en utviklingsfase for etablering av skåringsmetodikk for nyrepatologi og nefrokalsinose da prøvene ble sendt til analyse.

Gradering av forekomst av nefrokalsinose ble av Veterinærinstutittet basert på metodikk Fivelstad et al. (2018): Negativ (fravær av avleiringer) - Mild (kalsiumavleiringer sees i 1-5 tubuli) – Moderat (6-20 tubuli) – Uttalt (>20 tubuli). Histologisk undersøkelse omfattet HE-farging og spesialfarging for kalk (von Kossa).

Pharmaq Analytic gjorde vurderinger av flere patologiparametere, der samtlige ble gradert 0 - 3 ihht. Tabell 3. Parametere inkluderte utfellinger, degenerasjon og/eller nekroser i eptil i tubuli- og utførselsganger, forandringer i glomeruli og forandringer i hematopoietisk vev. Ved beregning av totalskår, ble de ulike parameterne vektet med hhv. faktor 1, 2, 3 og 4. En totalskår på 1-10 ble betegnet som mild, 11-20 som moderat og > 20 som uttalt.

Tabell 3. Pharmaq Analytic sitt skårskjema for histopatologisk vurdering av nefrokalsinose.

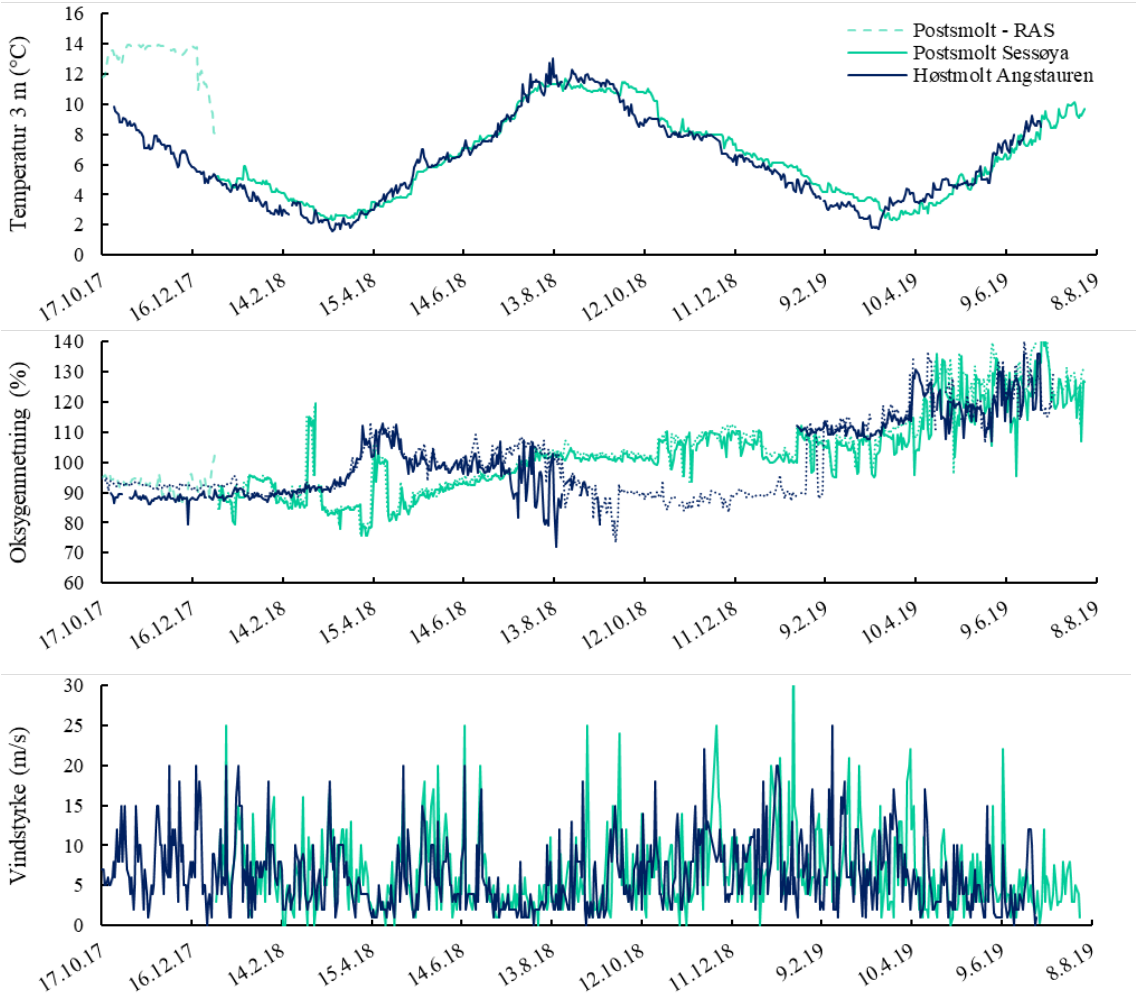
	Score kategori 1: Utfellinger - vektes med faktor på 1	**Score kategori 2:** Epitel i tubuli og utførselsganger (degenerasjon og/ eller nekroser) - vektes med faktor på 2	**Score kategori 3:** Forandringer i glomeruli - vektes med faktor på 3	**Score kategori 4** Forandringer i hematopoietisk vev - vektes med faktor på 4
Grad 1	Sparsomme mengder i samlerør og utførselsganger - nær fravær i tubuli og påvirker mindre enn 10% av utførselsganger	Påvirker mindre enn 10% av utførselsganger	Dilatasjon av det glomerulære rom (urinstagnasjon), forandringer i mindre enn 10% av glomeruli	Påvirker mindre enn 10% av hematopoietisk vev
Grad 2	Moderate mengder i samlerør og utførselsganger - sparsomme mengder i tubuli og påvirker mellom 10% og 50% av utførselsganger	Påvirker mellom 10% og 50% av utførselsganger	Peri-glomerulær fibrose/ fortykkelse Bowmans kapse - forandringer i mellom 10% og 50% av glomeruli	Påvirker mellom 10% og 50% av hematopoietisk vev
Grad 3	Omfattende mengder i samlerør, utførselsganger og tubuli i mer enn 50% av utførselsgangene	Påvirker mer enn 50% av utførselsganger	Tap av struktur - forandringer i over 50% av glomeruli	Påvirker mer enn 50% av hematopoietisk vev

6 Resultater og diskusjon

6.1 Merdmiljø

Den observerte utviklingen i temperatur, oksygenmetning og vindstyrke var i stor grad lik for høstsmolt- og postsmoltlokalitetene.. Den største forskjellen er relatert til forsøksoppsettet: postsmoltgruppen hadde betydelig høyere temperatur i RAS-perioden (12 – 14 °C, inntil nedtrapping før utsett), enn høstsmolten opplevde i samme periode i sjø (5 – 10 °C; Figur 5).

Oksygenmetningen utviklet seg noe ulikt på de to lokalitetene, med lavere oksygenmetning våren 2018 for postsmoltlokaliteten (minimum = 76 % O_2) og lavere metning høsten/vinteren 2018 for høstsmoltlokaliteten (minimum = 72 % O_2). Slike reduksjoner forventes ikke å være en utfordring for prestasjon eller fysiologiske funksjoner ved de aktuelle temperaturene (2 – 12 °C, Remen et al. 2012; 2016). Det var gjennomgående høyere vindstyrke på Sessøya enn på Angstauren (53 % høyere i snitt).

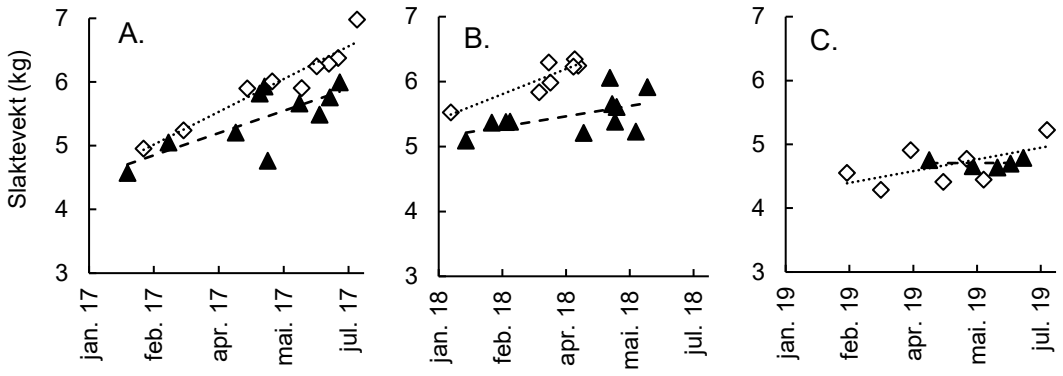


Figur 5. Gjennomsnittlig temperatur, oksygennivå, og vindstyrke (m/s) ved lokalitetene hvor postsmolt- og høstsmoltgrupper var plassert i perioden fra utsett til slakt. Postsmolt er vist med turkise linjer, høstsmolt med mørkeblå. Linjene er stiplet før utsett (RAS) og heltrukken etter utsett. For oksygenmetning er det skilt mellom måling utenfor (heltrukken) og inne i merd (punktlinje).

6.2 Prestasjon, helse og velferd i sjøfase

6.2.1 Slaktevekt

Figur 6C viser at resultatene for enheter med postsmolt er lik resultatene for høstsmolt. Dette skiller seg fra resultater oppnådd for 2015/2016 G og 2016/2017 G høstsmolt/postsmolt (Figur 6A og B), hvor postsmoltgruppene oppnådde høyere slaktevekt ved samme slaktetidspunkt. For disse to tidligere postsmoltutsettene, kan ulik behandling av yersinioseutbrudd bidra til å forklare forskjeller for 2015/2016 G høstsmolt/postsmolt, og færre behandlinger og håndteringstrinn kan bidra til å forklare forskjeller for 2016/2017G høstsmolt/postsmolt. Det kunne derfor ikke konkluderes med at det positive resultatet for postsmolt var relatert til postsmoltproduksjonsregimet for disse gruppene. Resultatene for 2017/2018 G høstsmolt/postsmolt tyder ikke på at postsmoltproduksjon og vinterutsett gir bedre resultater. Dette resultatet sees i sammenheng med andre resultater (f.eks. håndtering, helse og dødelighet) i avsnittene under.



Figur 6 A-C. Figuren viser gjennomsnittlig brutto slaktevekt (g) ved slaktedato for enheter med søskengrupper av høstsmolt og postsmolt, fra prosjektets tre undersøkte søskengrupper. A = 2015/2016G, B = 2016/2017 G, C= 2017/2018 G, som denne rapporten fokuserer på. Se mer info om de to foregående søskengruppene i Remen og Bloch-Hansen 2018, Remen et al. 2019.

6.2.2 Prestasjonsmål

For å sammenligne prestasjon i sjøfase hos grupper som er satt ut ved ulike tidspunkt, er det relevant å periodisere datasettet før/etter utsett av postsmolt. En oppsummering av prestasjonsmål, dødelighet, lusetiltak, produksjonsmål og slaktekvalitet for de to fiskegruppene er vist i Tabell 4.

I likhet med søskengrupper av høstsmolt og postsmolt som ble satt ut på lokalitetene Tussøy/Angstauren i 2015/2016 og Langås/Årøya 2016/2017, har begge grupper prestert over gjennomsnittet i sjøfase. Fôrselskapenes datagrunnlag og vekstmodeller gir EGI-verdier på 109 og 108 (EWOS) og RGI-verdier på 102 og 104 (Skretting), henholdsvis for høstsmolt og postsmolt. Gjennomsnittet er definert som 100.

Vekstparametere (SGR, VF3) viser at de to gruppene har prestert jevnt i sjøfasen. Det var noe høyere SGR og VF3 i postsmoltgruppa enn i høstsmoltgruppa (hhv. 6,9 og 2,1 % høyere). Biologisk fôrfaktor var litt lavere i postsmoltgruppa enn i høstsmoltgruppa (1,14 *vs.* 1,16). Færre sultedøgn, færre håndteringer og høyere snittemperatur (differanse på hhv. 15 dager og 0,2 °C), har sannsynligvis bidratt til dette. I motsetning til 2017 G postsmoltutsett, ser det ikke ut til at lavere lusepress og håndteringshyppighet i postsmoltgruppa har hatt en betydelig positiv effekt på vekst i sjøfase, sett i forhold til

høstsmoltgruppa. Både høstsmolt og postsmolt oppnådde betydelig lavere slaktevekt (1 kg) enn 2015/2016G og 2016/2017G søskengrupper med sammenlignbare produksjonsregimer. Dette peker mot at andre faktorer kan ha påvirket prestasjon negativt i begge grupper.

Det var en noe lavere superiorandel blant slaktet postsmolt (94,5 %) enn blant slaktet høstsmolt (95,3 %).

Tabell 4. Oversikt over prestasjonsmål, dødelighet, lusetiltak, produksjonsmål og slaktekvalitet for de to fiskegruppene. Tall representer gjennomsnitt ± SD på enhetsnivå (n=5 for høstsmolt, n=7 for postsmolt). Der dette er mulig og relevant, er data periodisert ihht. postsmoltutsett. Før = 17.10.17-05.01.18, Etter = 06.01.18-slakt.

Tema	Parameter	Periode ihht. postsmoltutsett	Høstsmolt	Postsmolt
Prestasjonsmål	SFR (% av kroppsvekt/dag)	Før	1,66 ± 0,06	1,44 ± 0,03
		Etter	0,70 ± 0,04	0,74 ± 0,04
		Utsett-slakt	0,88 ± 0,06	-
	Biologisk FCR	Før	1,16 ± 0,01	0,83 ± 0,07
		Etter	1,16 ± 0,01	1,14 ± 0,04
		Utsett-slakt	1,16 ± 0,00	-
	Enhetsdager uten fôring (%)	Før	1 ± 0	0 ± 0
		Etter	41 ± 3	26 ± 4
		Utsett-slakt	41± 3	-
	SGR (% av kroppsvekt/dag)	Før	1,44 ± 0,05	1,77 ± 0,12
		Etter	0,58 ± 0,03	0,62 ± 0,06
		Utsett-slakt	0,70 ± 0,04	-
	RGI	Utsett-slakt	102 ± 2	104 ± 4
	EGI	Utsett-slakt	109 ± 3	108 ± 5
	EFI	Utsett-slakt	114 ± 1	112 ± 4
	VF3 (TGC)	Utsett-slakt	3,37 ± 0,13	3,44 ± 0,18
	Antall dager i sjø	Utsett-slakt	598 ± 29	482 ± 53
	Snittvekt ved utsett		73 ± 3	228 ± 10
	Snittvekt ved slakt		4705 ± 62	4638 ± 329
Dødelighet	Dødeprosent	Før	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1
		Etter	8,2 ± 2,8	3,6 ± 0,5
		Utsett-slakt	8,6 ± 2,8	-
	Snittvekt døde	Utsett-slakt	2775 ± 430	2500 ± 231
	Parvicapsulose (% dødelighet)	Utsett-slakt	0	0
Lusetiltak	IMM (antall behandlinger per enhet)	Før	0	-
		Etter	2 (3*)	1
		Utsett-slakt	2 (3*)	1
	Badebehandlinger (antall per enhet)	Før	0	-
		Etter	1 (0*)	0
		Utsett-slakt	1 (0*)	0
	Slice (antall kurer per enhet)	Utsett-slakt	1	0
	Rensefisk (ja/nei)		Ja	Nei
	Skjørt		ja	Nei
Produksjons-betingelser	Temperatur snitt	Før	7,3 ± 0,1	13,0 ± 0,1
		Etter	6,1 ± 0,0	6,3 ± 0,2
		Utsett-slakt	6,3 ± 0,0	-
	Døgngrader	Før	573 ± 19	982 ± 21
		Etter	3169 ± 183	3052 ± 299
		Utsett-slakt	3746 ± 179	-
	Antall flyttinger	Utsett-slakt	0	0
	Antall sorteringer	Utsett-slakt	1	1
Kvalitet ved slakt	Superior		95,3 ± 1,3	94,5 ± 4,1
	Produksjon		4,6 ±1,3	2,7 ± 1,0
	Vrak		0,1 ±0,1	2,8± 3,6

*1 av 6 enheter

6.2.3 Helsestatus, lus og lusetiltak

Det ble ikke påvist agensspesifikke sykdomstilstander ved settefiskanlegget før utsett, verken hos høstsmolt- eller postsmoltgruppen. Dødelighet på settefiskanlegget siste 6 mnd. før utsett var hhv. 3,2 % for høstsmolt og 6,7 % for postsmolt. Informasjon fra helseattester tilsier at begge fiskegruppene hadde god helsetilstand på utsettstidspunktet, var av god kvalitet og forventet å ha gode forutsetninger for å prestere godt i sjø.

Det ble ikke påvist meldepliktige sykdommer på fiskegruppene i sjøfasen. Det ble heller ikke observert parvicapsulose ved månedlige helsekontroller i noen av gruppene. Det er derfor ikke forventet at postsmoltgruppa har hatt en helsemessig fordel som følge av at klassisk høstsmitte unngås ved vinterutsett.

Diagnoser/funn er oppgitt i Tabell 5. Informasjon fra helserapporter i sjøfase er kort oppsummert i avsnittene under.

Tabell 5. Diagnoser postsmolt og høstsmolt i sjøfase. Kilde fiskehelserapporter.

Lokalitet	Diagnoser/funn	Påvisningstidspunkt
Sessøya (postsmolt)	Nefrokalsinose påvist på fisk i samtlige merder. Systemisk mykose påvist på fisk fra 2 enheter. Funn av soppinfeksjon relateres til vannkvalitet på landanlegget. Ingen funn av bakterielle agens.	Januar 2018
Sessøya	Nefrokalsniose (milde forandringer)	Juni 2018
Sessøya	Yersiniose påvist ved PCR (høye Ct verdier)	Juli 2018
Sessøya	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB).	Desember 2018
Sessøya	Nefrokalsniose (milde forandringer)	Desember 2018
Sessøya	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB).	April 2019
Angstauren (høstsmolt)	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB).	November/desember 2018
Angstauren	Sår (mekanisk)	Februar 2019

6.2.3.1 Postsmolt helsestatus i sjøfase

Fiskehelsetjenesten observerte kalkutfelling i nyrerand hos svimere og dødfisk 2 uker etter utsett. Funn av nefrokalsinose resulterte i at nyrehistologi og nefroskår ble inkludert i prosjektomfanget. Resultater er omtalt i 6.5. Det anmerkes også observasjon av kataraktforandringer.

Det var kun mindre mengder lakselus (*Leoptheirus salmonis*) og skottelus (*Caligus elongatus*) på postsmoltgruppen på Sessøya første vinter/vår i sjø, og avlusingstiltak var ikke påkrevd. Påslag høst 2018 resulterte i at alle enheter ble behandlet med Thermolicer i november. Behandling ble gjennomført med god effekt og lav behandlingsdødelighet

(ref. evalueringsrapport/fiskehelsetjenesten). Ytterligere avlusingstiltak var ikke nødvendig før utslakt.

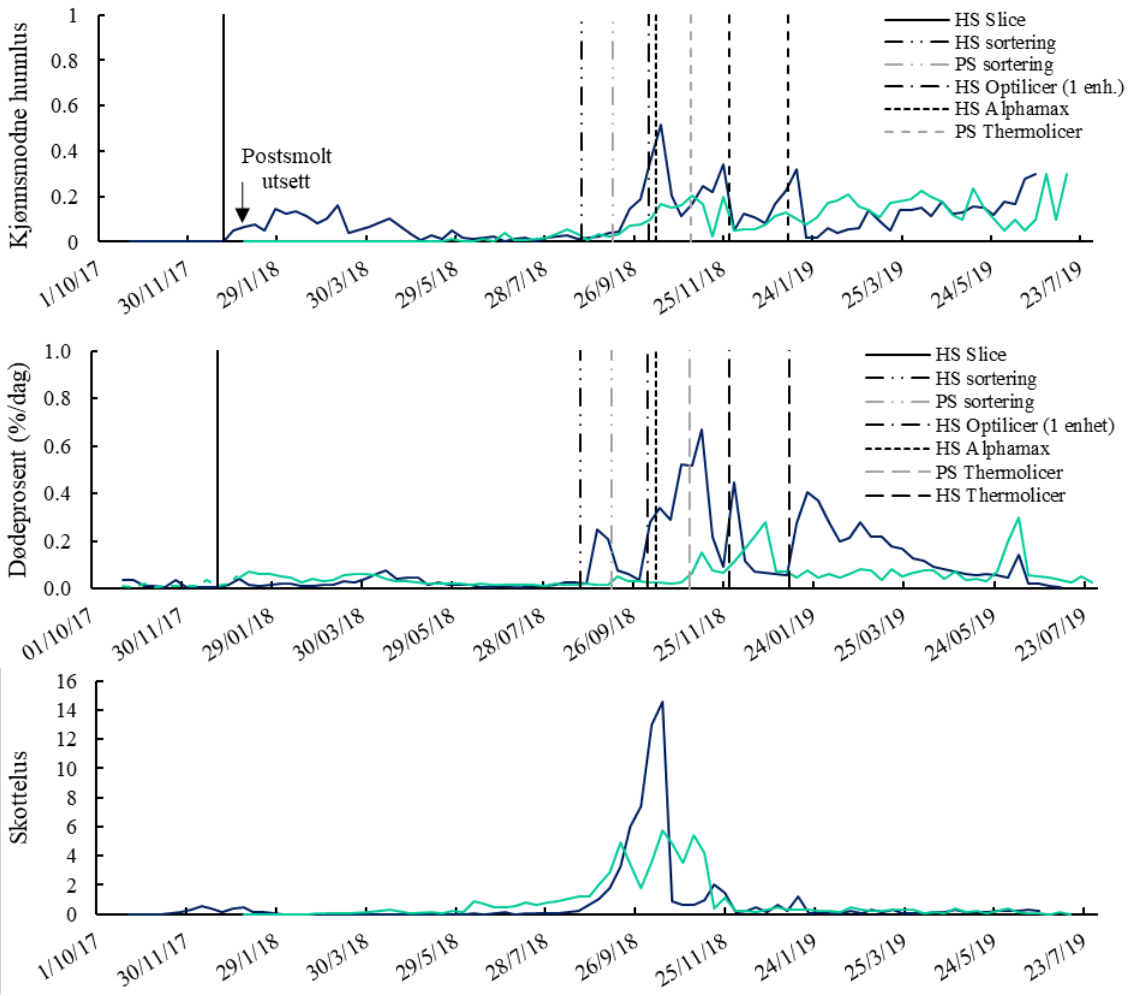
I postsmoltgruppen ble det påvist HSMB høsten 2018. Utbruddet hadde begrenset omfang og varighet, men sammenfalt med økning i dødelighet desember 18/januar 19. I perioden januar til utslakt var det ingen særskilte helsemessige anmerkninger, men det ble påvist hjerteforandringer på enkeltfisk ved prøvetaking av svimere gjennom siste del av produksjonssyklus. Videre kommenteres observasjon av kalkautfellinger i nyrerand ved obduksjon av enkeltfisk helt frem til slakt.

I løpet av sjøfasen ble postsmoltgruppen prøvetatt for BKD, PD, ILA og *Yersinia ruckerii*. Det forelå positiv yersinioseprøve (PCR) juli 2018, men påvisningen var ikke relatert til kliniske funn eller økning i dødelighet.

6.2.3.2 Høstsmolt helsestatus i sjøfase

Etter utsett av høstsmolt ble det anmerket utsettsdødelighet relatert til mangelfull smoltifisering og forekomst av fisk med sår/skade som følge av transport/håndtering ved utsett (ref. fiskehelserapport). Utsettsdødeligheten var imidlertid begrenset og helsestatus ble vurdert som god. Andre vinter ble det påvist HSMB på høstfisken. Påvisningen sammenfalt med økning i dødelighet, obduksjonsfunn og klinikk på fisk i perioden november 18 – januar 19. I samme tidsintervall ble det anmerket sårutvikling som en konsekvens av mekaniske avlusingstiltak. Avgang/uttak av sårfisk preget dødelighetstallene frem til utslakt. Ved obduksjon av enkeltfisk ble det gjort funn av nefrokalsinose.

På høstsmoltgruppen på Angstauren ble luseskjørt og rognkjeks benyttet for å forebygge lusepåslag gjennom hele produksjonssyklus. Fiskegruppen ble behandlet medikamentelt med emmamectin (Slice) desember 2017 med god effekt. Ingen ytterligere behandlingstiltak var nødvendig første vinter/vår. Økende påslag andre høst resulterte i gjennomføring av flere behandlingstiltak. I uke 40 (2018) ble én enhet behandlet mekanisk ved bruk av Optilicer. Tiltaket resulterte i forhøyet dødelighet, og øvrige enheter ble besluttet badebehandlet ved bruk av deltametrin (Alphamax) i presenning. Tross badebehandling måtte fiskegruppen avluses på nytt ved bruk av Thermolicer i januar 2019. Grafisk fremstilling av lusetall (Figur 7) viser at avlusingstiltakene i perioden oktober 2018 – januar 2019 kun hadde midlertidig effekt og resulterte i påfølgende stigning i forekomst av voksne hunnlus/fisk mellom de enkelte behandlingstiltakene. Håndtering/behandling av fisk ble etterfulgt av økt dødelighet og sårutvikling i høstsmoltgruppen (Figur 7 og neste avsnitt).



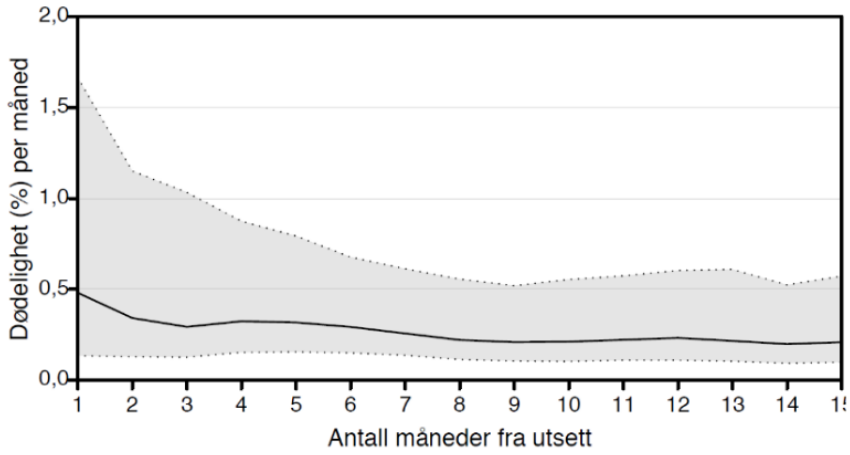
Figur 7. Utvikling i gjennomsnittlig antall kjønnsmodne hunnlus per fisk (øverst), dødeprosent (midten) og antall skottelus per fisk (nederst), per uke per lokalitet for høstsmolt (mørk blå) og postsmolt (turkis) i sjøfase. I figuren med dødeprosent er dato for påbegynte lusebehandlinger angitt med vertikale streker. Se informasjon i forklaring for type behandling og sted. HS = høstsmolt, PS = postsmolt.

6.2.4 Dødelighet og dødelighetsårsaker

Akkumulert dødelighet for postsmoltgruppa på Sessøya var 3,6 i sjøfase, mens den for høstsmolten på Angstauren var 8,6 %. Til sammenligning var gjennomsnittlig akkumulert dødelighet for alle sjøanlegg med oppdrettslaks i Troms fylke 8,8 % i produksjonsår 2018 og 18,9 % i produksjonsår 2019 (Fiskehelserapporten 2019; Sommerset et al. 2020). Dødelighetsraten for postsmoltgruppa var følgelig betydelig lavere enn gjennomsnittet for Troms, mens høstsmolten hadde gjennomsnittlig til lavere dødelighet, med produksjonsårene 2018 og 2019 som referanse. På forsommeren i 2019 førte oppblomstring av den giftige algen *Chrysochromulina leadbeaterii* til betydelig dødelighet i Nordre Nordland og Sør-Troms. Ca. 8 millioner oppdrettslaks gikk tapt (Sommerset et al. 2020). Også ved Angstauren og Sessøya var det forhøyet dødelighet knyttet til algeoppblomstringen, men i begrenset omfang (0,01 – 0,02 % dødelighet).

Utsettsdødeligheten var lav i både høstsmolt- og postsmoltgruppa, hhv. 0,15 % og 0,46 % avgang første 2 måneder i sjø. Dette plasserer begge fiskegruppen under medianen

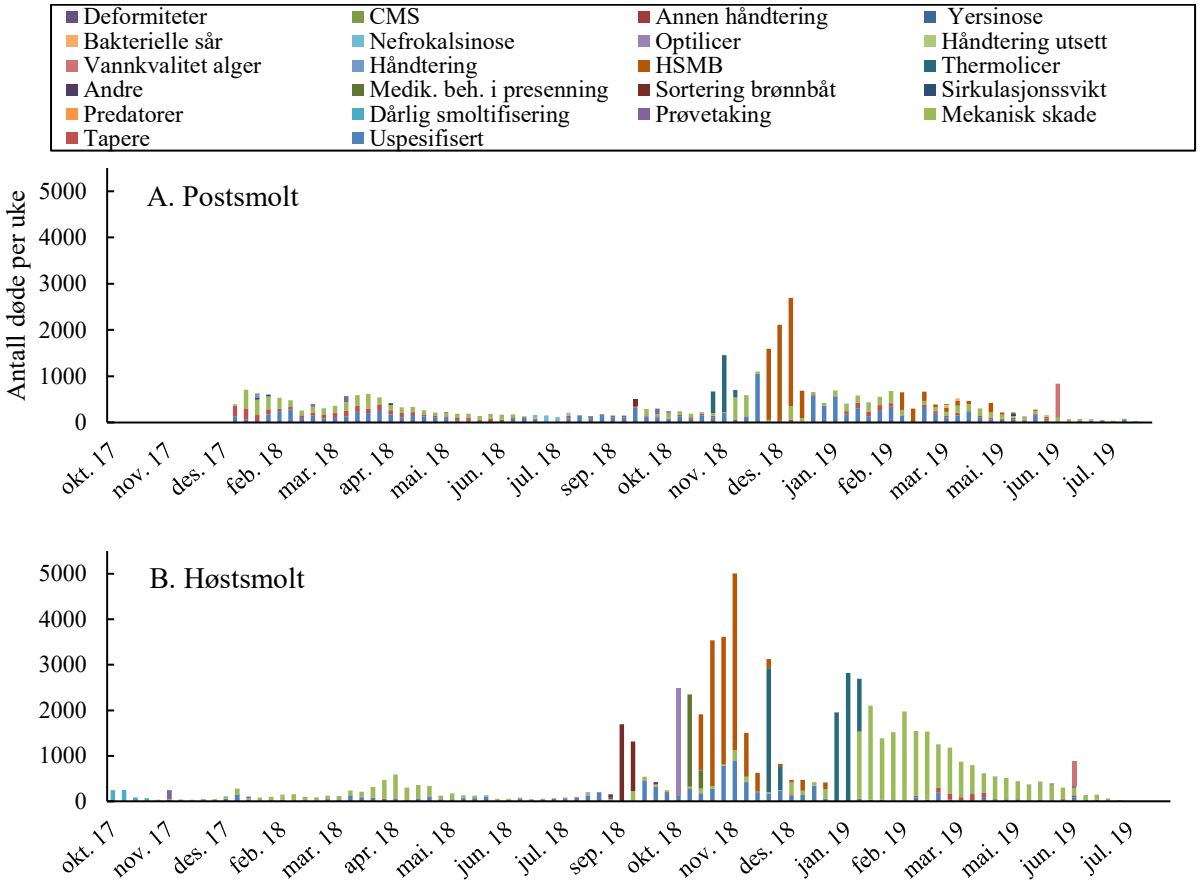
ihht. standard dødelighetskurve basert på data fra oppdrettere i perioden 2009 - 2015 (Figur 8).



Figur 8. Standard dødelighetskurve for de 15 første månedene i sjø basert på innrapporterte data fra alle norske lakseoppdrettere fra 2009-2015. Kurven angir median månedlig dødelighet, omgitt av 25- og 75- prosentiler (Kilde: Noble m. fl 2018. Håndbok: Velferdsindikatorer for oppdrettfisk)

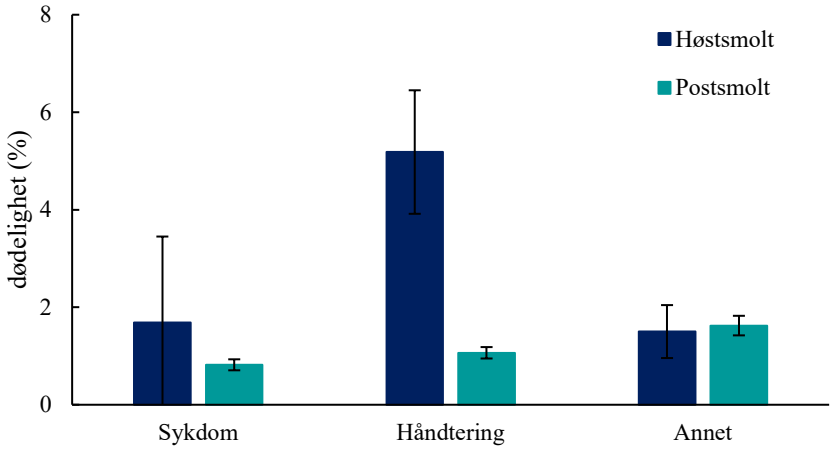
Ukentlig dødelighet og årsaksklassifisering for begge fiskegrupper fremgår av Figur 9. Fremstillingen viser at dødeligheten var stabil og lav for høstsmoltgruppa første 12 mnd. i sjø (akkumulert dødelighet var 2,4%). Fra andre høst og frem til utslaktingstidspunkt sees en generell økning, og perioden oktober 2018 til mars 2019 skiller seg ut med periodiske dødelighetstopper. Toppene sammenfaller med klinisk utbrudd av hjerte- og skjellettmuskelsykdom (HSMB) og håndteringsrelatert dødelighet med påfølgende sårutvikling som en konsekvens av sortering og avlusingstiltak. Dødeligheten i høstsmoltgruppa er avtagende fra februar 2019 frem til utslaktstidspunktet, men preges av at sårfisk løpende går ut.

Postsmoltgruppa hadde i mindre grad helsemessige utfordringer i sjøfase. Andelen dødfisk første 12 mnd. i sjø er primært fisk med mekanisk skade/sår og nefrokalsinose, og sammenfaller med at nefrokalsinose ble påvist ved prøvetaking og observert ved obduksjon av svimere første måned i sjø. Økningen i dødelighet som sees i perioden november 2018 – januar 2019 knyttes til klinisk utbrudd av HSMB og avlusingstiltak.



Figur 9. Ukentlig antall døde, gruppert etter årsak, for postsmolt (A) og høstsmolt (B), fra utsett til slakt. På Sessøya ble "uspesifisert" brukt som årsak i stedet for nefrokalsinose første 6 mnd i sjø.

Håndtering var den faktoren som hadde størst betydning for forskjellen i dødelighet mellom høstsmolt og postsmolt (Figur 10).

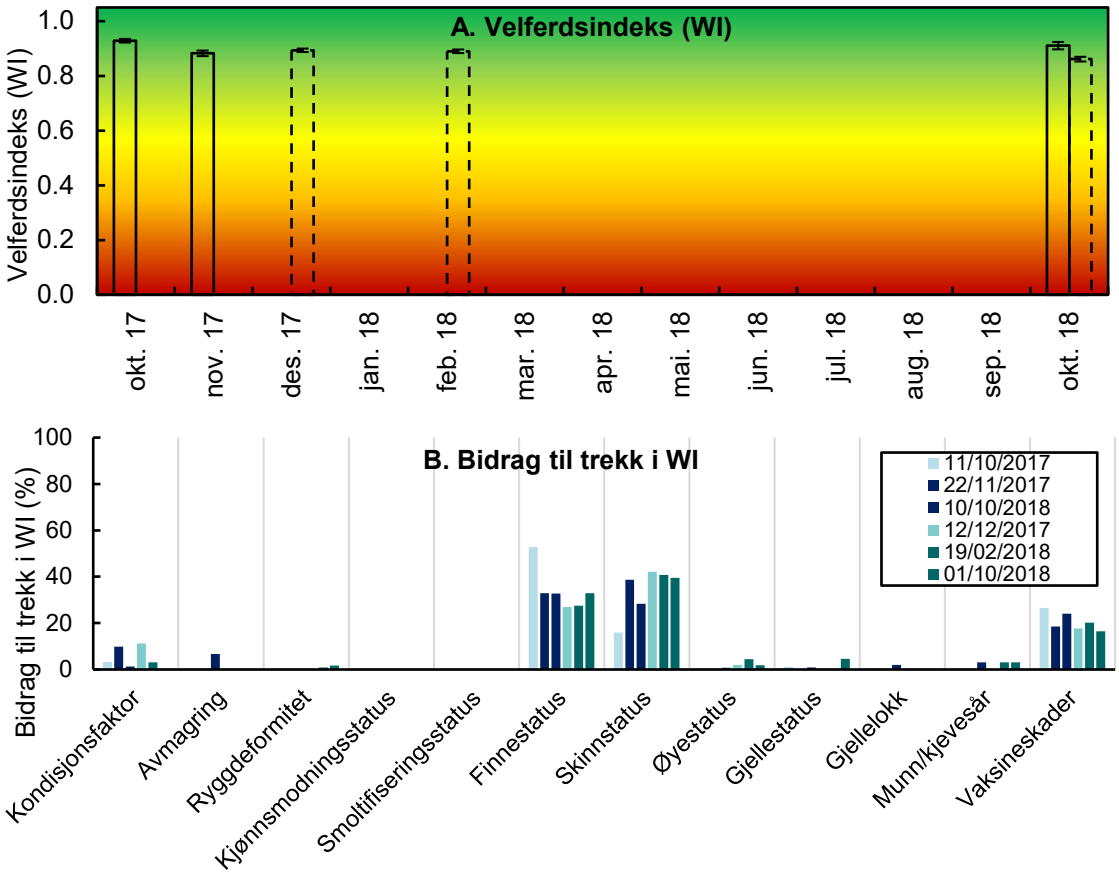


Figur 10. Årsaker til dødelighet for postsmolt (turkis) og høstsmolt (mørkeblå) i sjøfase, gruppert etter sykdom (HSMB, sirkulasjonssvikt, yersiniose, CMS, bakterielle sår), håndtering (mekanisk skade, utsett, sortering, flytting, medikamentell og ikke-medikamentell behandling) og annet (uspesifisert, tapere, dårlig smolt, alger, prøvetaking). Kolonnene representerer gjennomsnitt ± 95% konfidensintervall.

6.2.5 Velferdsstatus

Fiskens velferdsstatus ble kartlagt ca. 1 måned før utsett av høstsmolt/postsmolt (oktober 2017/desember 2018), etter utsett (henholdsvis november 2017/ februar 2018) og etter ca. 8/11 måneder i sjø (oktober 2018).

Velferdsindeksen oppsummerer funnene som ble gjort. Velferd rangeres på en skala fra 0 (verst mulig) til 1 (best mulig), basert på indikatorenes betydning for fiskens velferdsbehov (Stien et al. 2013 og Pettersen et al. 2014). Den gjennomsnittlige velferdsindeksen (WI) var god. WI var over 0,8 og det var det liten variasjon mellom individene (Figur 11A). Det var **finnestatus, skinnstatus** og **vaksineskader** som i størst grad bidro til trekk i velferdsskår ved samtlige uttak (Figur 11B).

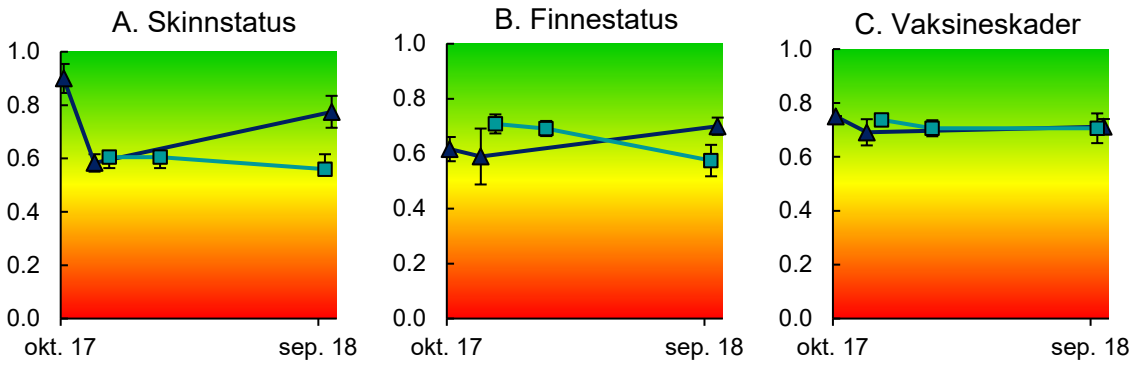


Figur 11A-B. A) Utvikling i gjennomsnittlig velferdssindeks (±95% konfidensintervall) hos høstsmolt satt ut i oktober 2017 (heltrukne kolonnelinjer) og postsmolt satt ut i januar 2018 (stiplede kolonner). Indeks beregnes på grunnlag av skåring av utvalgte, individbaserte indikatorer. Velferd rangeres på en skala fra 0 (verst mulig) til 1 (best mulig), basert på indikatorenes betydning for fiskens velferdsbehov (Stien et al. 2013). B) Ulike faktorers relative bidrag til trekk i WI (% av totalt trekk) ved undersøkelser av høstsmolt (blå) og postsmolt (turkis) før og etter utsett (henholdsvis lys og mørk farge). Prøvetakingsdatoer er angitt i figuren.

I Figur 12A-C, fremstilles utviklingen over tid for finnestatus, skinnstatus og vaksinestatus, i form av IS-skår (dvs. alvorlighetsgrad, på en skala fra 0 [dårlig] til 1 [god] velferd). Før utsett hadde høstsmolt bedre IS-skår for skinnstatus enn postsmolt før utsett. Høstsmolt skinnstatus ble i hovedsak skåret som 1 (= normal) og postsmolt fikk i

hovedsak skår 3 (= skjelltap; skår 2 = arrvev) før utsett. Skjelltap er ikke gradert i SWIM-skjemaet, noe som gjør at dette parameteret har vært utfordrende å skåre: skår 1 har vært brukt, på tross av noe skjelltap, fordi skjelltapet har vært vurdert som håndteringsrelatert ved prøveuttaket. Ulike vurderinger av håndteringsrelatert skjelltap, kan føre til misvisende forskjeller mellom gruppene. Det var generelt god skinnstatus for begge grupper før utsett, med få tapte skjell.

Finnestatus ble i motsetning til skinnstatus vurdert som bedre hos postsmolt enn hos høstsmolt før utsett. I begge grupper, fikk flest fisk skår 2 (avhelet skade), men det var flere fisk med skår 3 (aktive lesjoner, inkludert splitting) blant høstsmolt.



Figur 12A-C Gjennomsnittlig (± 95 % konfidensintervall) indikatorskår for A) skinnstatus, B) finnestatus og 3) vaksinestatus, i høstsmolt- (blå triangler) og postsmoltgrupper (turkise firkanter), ved undersøkelser før utsett (første punkt), 1 måned etter utsett (2. punkt) og 9-12 måneder etter utsett (3. punkt). Indikatorskår representerer alvorlighetsgrad, på en skala fra 0 [dårlig] til 1 [god] velferd).

Ved uttak i oktober (8 og 11 mnd. sjø for hhv. postsmolt og høstsmolt), ble både skinnhelse og finnestatus vurdert som bedre hos høstsmolt enn hos postsmolt. Ved uttak i oktober var det 18 dager siden forrige håndtering (sortering) av postsmolt, og lengre tid (44 dager) siden forrige håndtering (sortering) av høstsmolt. Forskjellene kan derfor være relatert til tid siden håndtering.

Grad av vaksineskade var lik mellom gruppene, og stabil over tid. Majoriteten fikk skår 2, som tilsier at det var noe bindevevsdannelse, rundt og mellom organer, og at det kunne være bindevevstråder knyttet til bukhule som var lett å løsne. Dette er en mild til moderat grad av vaksineskader. Vaksineskår på 3 eller høyere er funnet å gi negative effekter på vekst og innslag av ryggdeformiteter (Aunsmo et al. 2008, Midtlyng og Lillehaug, 1998).

6.3 Tidlig kjønnsmodning

Samlede resultater fra observasjoner gjort før postsmoltutsett II og III, viser at det er forskjeller i andelen kjønnsmodne, og observerte gonadeutviklingsstadier mellom de to generasjonene.

Før postsmoltutsett II, ble gonader hos hanner og hunner undersøkt visuelt, og veid dersom de ble vurdert som forstørret. Blant undersøkte hanner, var henholdsvis 8,9 % og 2,3 % kjønnsmodne i de to RAS-avdelingene Sommer (S1) og Sommer 2 (S2). Gjennomsnittlig GSI var på hhv. 6,6 % og 7,5 % (se Tabell 6). Etter utsett, dominerte kjønnsmodne hanner blant dødfisk. De døde, kjønnsmodne hannene hadde utviklet sykdommen tenacibaculose. Det var ellers lav dødelighet i postsmoltgruppa totalt sett etter utsett (totalt 1,4 % første 2 mnd.).

Til sammenligning, ble det ikke observert kjønnsmodne hanner i dette forsøket (dvs. GSI > 1 %), og det ble ikke gjort tilsvarende observasjoner av døde, kjønnsmodne hanner etter utsett av denne gruppa (Tabell 6).

Observasjonen av døde, kjønnsmodne hanner med tenacibaculose etter postsmoltutsett III, tyder på at disse hannenes evne til å håndtere transporten eller miljøendringen ved utsett var svekket. I et annet studie, som ble gjennomført i etterkant utsett III, ble effekten av samtidig smoltifisering og kjønnsmodning på osmoreguleringskapasitet undersøkt. Det ble ikke funnet redusert evne til osmoregulering hos modnende eller modne individer (Fjelldal et al. 2018). Studiet ble avsluttet da GSI var mellom 2,5 og 5,5 %, og det kan derfor ikke utelukkes at denne evnen svekkes i en senere fase av gonadeutvikling (maks. GSI ≈ 10 %; Melo et al. 2014). Kjønnsmodning hos voksen laksefisk regnes som utfordrende både med hensyn på aggressiv adferd, redusert immunforsvar, fôrfaktor, produktkvalitet, og i verste fall dødelighet dersom modningen kommer så langt laksen mister evnen til å osmoregulere i sjøvann (Taranger et al. 2010). Resultater fra utsett III viste tydelig at kjønnsmodne hanner ikke håndterte utsettsbetingelsene.

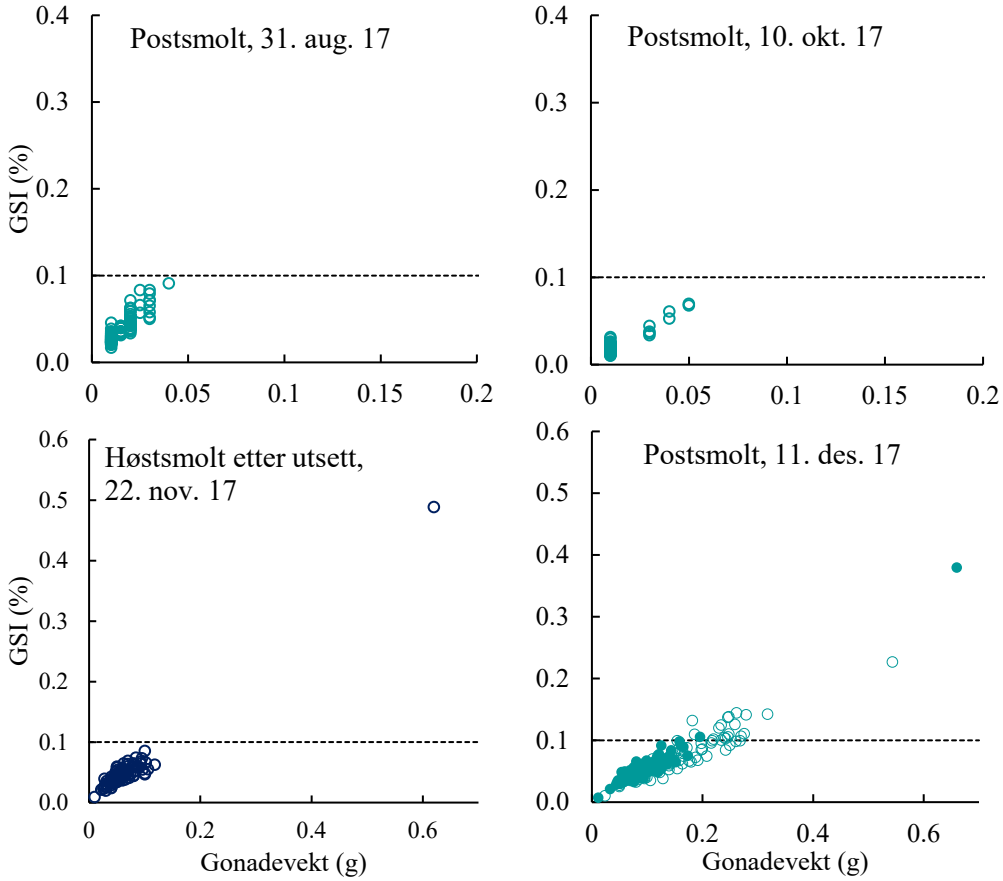
Tabell 6. Registrert kjønn (♀, ♂), antall undersøkte fisk (N), gjennomsnittlig vekt (V, g) kondisjonsfaktor (K), antall (#) og prosentandel (%) modnende (0,1 %< GSI < 1 %) eller modne (GSI > 0,1 %) individer, gjennomsnittlig gonadosomatisk indeks (GSI, %), vekt (V, g) og kondisjonsfaktor (K) hos modne/modnende individer undersøkt før postsmoltutsett (F) II og III, fordelt på de to postsmoltavdelingene Sommer 1 (S1) og Sommer 2 (S2). Før utsett II ble gonader veid hos hanner med tydelig forstørrede gonader, dvs. GSI høyere enn 1 %. Før utsett III ble gonader hos alle hanner veid. Begge uttak ble gjennomført i desember, ca. 2 uker før utsett. IR= ikke registrert.

F	Avd.	Kjønn	N	V g	K	Modnende #	Modnende %	Modne #	Modne %	GSI %	V g	K
I	S1	♀	34	221	1,07	IR	-	0	0	-	-	-
		♂	45	239	1,08	IR	-	4	8,9	6,6	333	1,21
		♀+♂	79	232	1,08	-	-	4	5,1	-	-	-
I	S2	♀	38	215	1,12	IR	-	0	0	-	-	-
		♂	44	221	1,13	IR	-	1	2,3	7,5	318	1,24
		♀+♂	82	218	1,12	-	-	1	1,2	-	-	-
II	**Tot.**	**♀+♂**	**161**	**225**	**1,10**	**-**	**-**	**5**	**3,1**	**6,8**	**330**	**1,21**
III	S1	♀	104	218	1,11	0	0	0	0			
		♂	98	216	1,13	1	1	0	0	0,23	240	1,22
		♀+♂	202	217	1,12	1	0,5	0	0			
III	S2	♀	103	181	1,17	0	0	0	0			
		♂	99	177	1,17	1	1	0	0	0,40	174	1,18
		♀+♂	202	179	1,17	1	0,5	0	0			
III	**Tot.**	**♀+♂**	**404**	**197**	**1,15**	**2**	**0,5**	**0**	**0**	**0,30**	**207**	**1,20**

Før utsett III ble samtlige hanngonader veid, på tross av at ingen ble vurdert som modnende eller modne basert på visuell vurdering. Nylige studier har vist at gonadosomatisk indeks (GSI; gonadevekt angitt som % av kroppsvekt) normalt sett ligger mellom 0,03 og 0,06 % hos umodne individer (Melo et al. 2014, Fjelldal et al. 2018, Braanas 2021). I sistnevnte studie (Braanaas 2021), ble individer klassifisert som modnende og modne, basert på GSI mellom 0,1 og 1 %, og GSI over 1 %, henholdsvis. Dette har blitt brukt som basis for opptelling av umodne, modnende og modne individer

i dette forsøket. Det er uvisst om det var modnende individer blant postmolt undersøkt før utsett III, da en økning i GSI fra 0,06 til 0,1 ikke er detekterbar ved visuell vurdering.

Resultater fra uttak gjennomført i perioden fra mørkekjøring til utsett for 2018 G postsmolt viser at det var enkeltindivider med noe forstørrede gonader; tilstrekkelig til å kunne klassifiseres som modnende (0,1 % < GSI < 1%, Figur 14). Det ble også observert ett modnende individ ved undersøkelse ca. én måned etter utsett av høstsmolt. Ved siste uttak i desember var det utfordrende å skille gonadestrenger fra nærliggende ved (fettvev). Det er derfor usikkerhet knyttet GSI-verdier som er like over 0,1 %. Dette kan være individer som har initiert kjønnsmodning, eller det kan være målefeil. Vi har valgt å klassifisere disse som "umodne". Observasjoner av GSI i perioden fra mørkekjøring til utsett tyder derfor på at et fåtall individer har initiert kjønnsmodning, og at disse var i tidlig fase. Dette forventes å være av liten betydning for postsmoltgruppenes evne til å håndtere utsettsbetingelsene i forsøket.



Figur 13. Gonadosomatisk indeks (%) plottet mot gonadevekt (g) hos undersøkte postsmolt hanner (turkise sirkler) under mørkekjøring (aug. 17), etter fullført smoltifisering (okt. 17) og etter 3 måneder i RAS (des. 17), samt hos høstsmolt (mørkeblå sirkler) én måned etter utsett (nov. 17). Grenseverdi for å definere individer som "modnende" er vist i figuren (GSI > 0,1 %). For postsmolt 11. desember er imidlertid kun to individer definert som modnende pga. utfordringer med å skille gonadestrenger fra annet vev på dette tidspunktet.

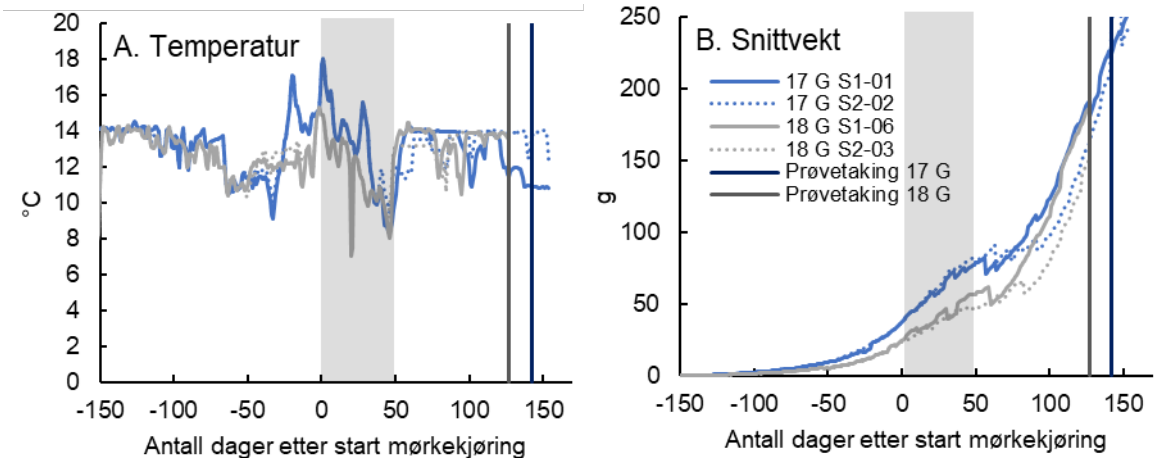
6.3.1 Mulige årsaker til forskjeller mellom 2017 G og 2018 G

Observasjonen av modne postsmolthanner før utsett II, men ikke før utsett III, tyder på at forholdene lå bedre til rette for tidlig kjønnsmodning under produksjonen av den førstnevnte gruppa.

Nyere kunnskap om kjønnsmodning hos postsmolt viser at det er et komplekst samspill mellom miljøfaktorer og størrelse og/eller ernæringsstatus som påvirker andelen hanner som igangsetter tidlig kjønnsmodning, og hvor raskt gonadeutviklingen skjer. Det er vist at en høy andel av hanner kjønnsmodner ved høye temperaturer i kombinasjon med kontinuerlig lys i perioden før, under eller etter smoltifisering (16 og 18 °C; Fjelldal et al. 2011, 2018; Braanaas 2021). Andelen som kjønnsmodner, og hvor raskt gonadene utvikler seg ved lavere temperaturer (8 – 13 °C) påvirkes av andre faktorer, som fotoperiode (Fjelldal et al. 2011, 2018; Imsland et al. 2014) eller fôringsintensitet (Braanaas 2021). Høy temperatur, kontinuerlig lys og intensiv fôring, fremmer rask vekst, fettlagring og økt kondisjonsfaktor. Gjennomsnittlig kondisjonsfaktor høyere enn 1,3 ser ut til å være en risikofaktor (Peterson and Harmon 2005, Fjelldal et al. 2018, Braanaas 2021). Kjønnsmodning i perioden rundt smoltifisering ser ikke ut til å være avhengig av en zeitgeber (tidgiver) i form av endring i daglengde (Imsland et al. 2014), men mørkekjøring i forbindelse med smoltifisering ser ut til å kunne fremskynde eller "forplikte" til videre gonadeutvikling (spermatogenesen; Melo et al. 2014; Fjelldal et al. 2011; 2018; Braanaas 2021).

Dersom man legger til grunn at gonadeutviklingen i RAS for postsmoltutsett II fulgte en lignende progresjon som i studier beskrevet av Melo et al. (2014) og Braanaas (2021), kan dette tyde på at de kjønnsmodne hannene hadde igangsatt kjønnsmodning i perioden rundt mørkekjøring. Dette skjedde i liten eller ingen grad i før postsmoltutsett III.

Postsmoltutsett II hadde betydelig raskere vekst i perioden før og under mørkekjøring, sammenlignet med postsmoltutsett III (Figur 15B), og vanntemperaturen både før og under mørkekjøring var betydelig høyere (maksimalt 18 °C vs. maksimalt 15 °C, Figur 15A). Postsmoltgruppe III hadde kondisjonsfaktor på 1,28 under mørkekjøring (Figur 16). Det er uvisst hvilken kondisjonsfaktor postsmoltgruppe II hadde på dette tidspunktet, men den kan ha vært høyere som følge av raskere vektøkning i perioden. Det kan spekuleres i at høy temperatur har ført til kjønnsmodning hos hanner som hadde nådd en genetisk bestemt, fysiologisk grense for kjønnsmodning i postsmoltgruppe II (f.eks. fettlagre; Rowe og Thorpe 1990; Thorpe 1994). Mørkekjøring kan ha ført til fremskyndelse og forpliktelse til videre gonadeutvikling hos disse individene (Fjelldal et al. 2018). Overgangen til kontinuerlig lys kan ha forhindret videre rekruttering hos flere individer, som følge av at "vårbeslutningsvinduet" lukkes ved overgang til lang dag (Leclercq 2010). Lavere temperatur og vekstrate i samme periode for postsmoltutsett III, kan ha forhindret en tilsvarende utvikling.



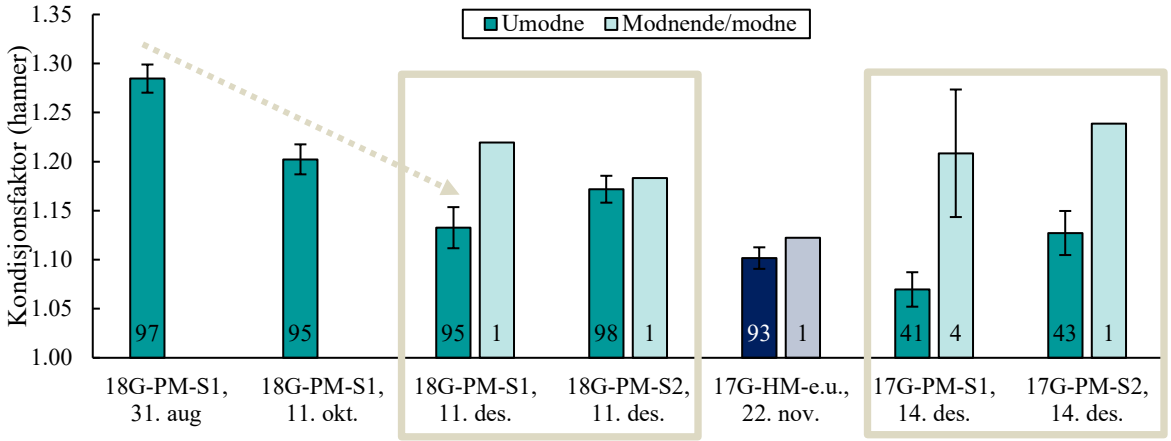
Figur 14 A-B. Temperatur- (A) og snittvektsutvikling (B) for postsmoltgrupper satt ut i januar 2017 (17 G, = utsett II) og januar 2018 (18 G, = utsett III), i perioden før og etter mørkekjøring (markert i grått). Avdeling (S1/S2), karnummer og prøvetakingstidspunkt i desember (vertikale streker) er angitt i figuren.

6.3.2 Utvikling i kondisjonsfaktor

Målinger av kondisjonsfaktor like før utsett av postsmoltgruppe II og III, viser at kondisjonsfaktoren hos umodne individer var lavere i gruppe II enn i gruppe III (Figur 16). Dette stemmer overens med høyere temperatur og raskere vekst i gruppe III i perioden før prøvetaking i desember (Figur 15A og B). I denne perioden, tok gruppe III igjen vekstforspranget som gruppe II hadde fra perioden før og under mørkekjøring.

Kondisjonsfaktoren hos modne individer var betydelig høyere enn hos umodne like før utsett av gruppe II (Figur 16 i rammen til høyre). Dette stemmer godt overens med funn fra tidligere studier, hvor kjønnsmodne postsmolt hanner har høyere K enn umodne (Fjelldal et al. 2011, Braanaas 2021). Individene kan ha hatt høyere K før kjønnsmodningsprosessen begynte, men økningen kan også være et resultat av gonadevekst (Braanaas 2021). Det er en tendens til høyere K hos modnende postsmolthanner i gruppe III også, men tallgrunnlaget er tynt (to av 193 hanner var modnende).

Kondisjonsfaktoren hos Sommer 1-fisk, som ble prøvetatt over en lengere periode (mørkekjøring > fullført smoltifisering > utsettsklar fisk), viser at kondisjonsfaktoren synker i løpet av perioden i RAS (se 18G-PM-S1 i Figur 16 og stiplet pil i figuren). Synkende kondisjonsfaktor i løpet av, og etter smoltifisering kan forventes (Berrill et al. 2003; Handeland og Stefansson 2001), men det er usikkert hvor lang tid det tar før tendensen snur, og hvilke faktorer som påvirker dette. I Handeland og Stefansson (2001) var tendensen snudd ved et tidspunkt mellom én og tre måneder etter overføring til sjøvann.

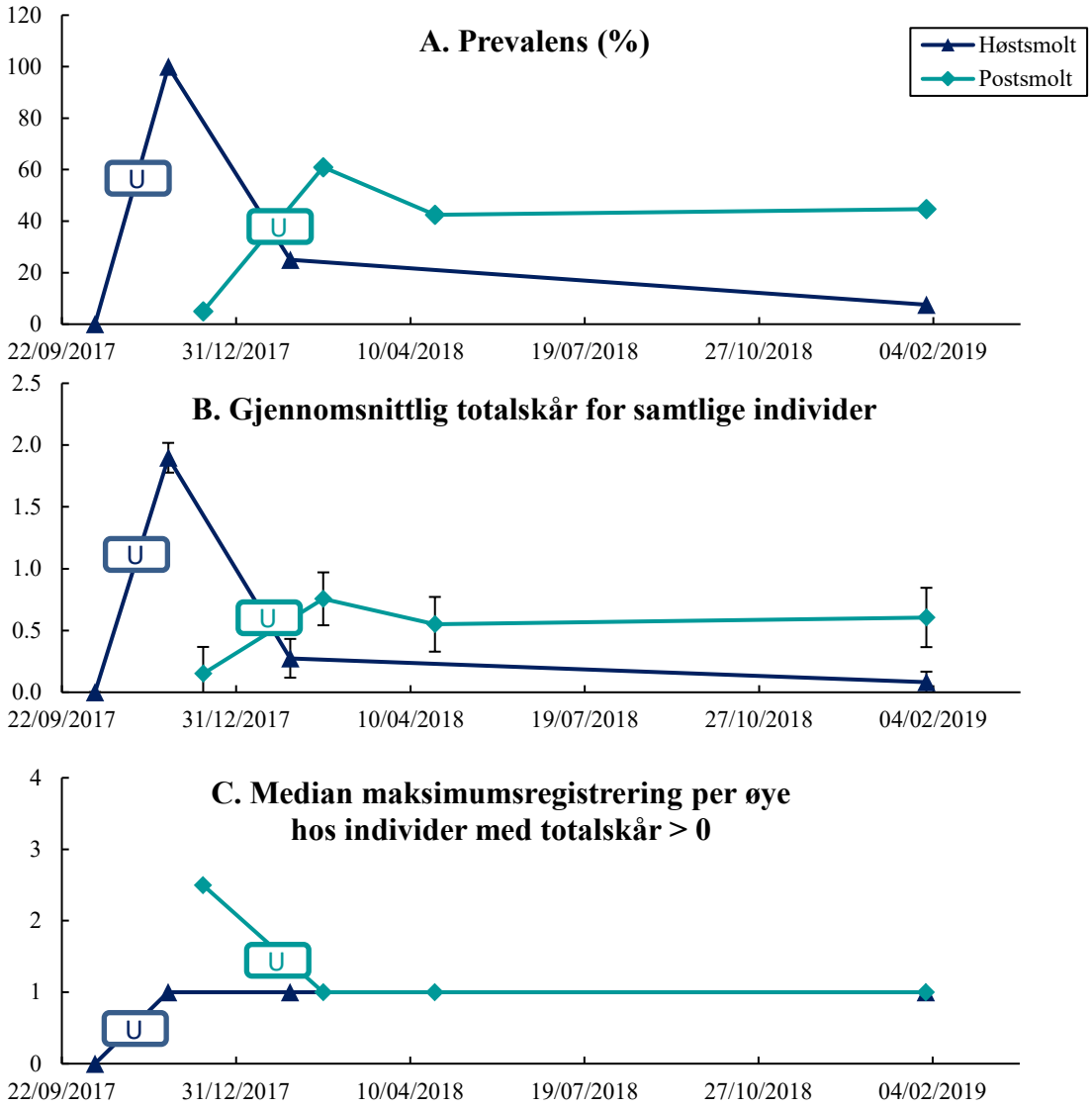


Figur 15. Gjennomsnittlig (±95% konfidensintervall) kondisjonsfaktor hos 2017 og 2018 G postsmolt (utsett II og III, hhv.) før utsett (17G-PM og 18G-PM), samt 2017 G høstsmolt (17G-HM; søskengruppe til 18G-PM) etter utsett. Målinger ble gjennomført ca. 2-3 uker før utsett (i desember) i begge grupper (markert med rammer), og under mørkekjøring og etter smoltifisering (august og oktober hhv.) for 18G-PM. 17G-HM ble undersøkt i november 2017, ca. én måned etter utsett. Tendensen til synkende K for Sommer 1 (S1)-fisk i perioden august til desember er markert med stiplet pil.

6.4 Katarakt

Ved undersøkelser av høstsmolt i RAS før utsett, ble det ikke påvist kataraktforandringer i høstsmoltgruppen. For postsmoltgruppen var prevalensen lav før utsett (5 %; Figur 17A). Ved undersøkelser ca. 4 uker etter utsett i sjø hadde begge grupper utviklet lavgradig katarakt (median maksimumsregistrering per øye = 1; Figur 17C). Hos høstsmolt var katarakt i hovedsak to-sidig, og hos postsmolt var katarakt hos flertallet én-sidig. Prevalens ved første uttak i sjø var hhv. 100 % og 60 % i høstsmolt- og postsmoltgruppa.

Både prevalens og skårverdi falt i løpet av sjøfase i begge fiskegrupper (Figur 17A og B). For høstsmolten var tilbakegangen i prevalens markant (100 % til 25 % fra november til januar, og prevalens lik 8 % etter 16 mnd. i sjø). For postsmolten var forandringene i større grad permanente: prevalens falt fra 61 til 45 % fra første til siste prøveuttak (13 mnd. i sjø). I begge grupper var kataraktforandringene milde/lavgradige. Med unntak av ett individ, hadde ingen individer katarakt med skårverdi høyere enn 1 på enkeltøyne (Figur 17C).



Figur 16 A-C. A) Prevalens (%) av katarakt, B) gjennomsnittlig kataraktskår (±95% konfidensintervall) hos samtlige individer i gruppa og C) median maksimumsregistrering per øye hos individer med total kataraktskår høyere enn 0. Utsettstidspunkt er merket med U.

Økningen i kataraktforekomst første periode i sjø kan settes i sammenheng med forbigående reversibel osmotisk katarakt, som kan forekomme på nyutsatt smolt ved overgang fra til full sjøvannssalinitet (Iwata et al. 1987, Remø et al. 2014). Osmotiske katarakter er reversible og opptrer kun midlertidig (Hargis 1991). Utviklingstrenden som sees i høstsmoltgruppen fremstår som et klassisk forbigående forløp med osmotisk katarakt. I postsmoltgruppen var forandringene i større grad vedvarende/permanente. Dette stemmer overens med observasjoner av katarakt for 2017 G postsmolt. Kataraktforandringene som ble observert var så milde at de de ikke forventes å ha påvirket fiskens tilvekst eller velferd negativt (Bjerkås og Sveier 2004).

Kataraktutvikling hos oppdrettslaks har vært knyttet til en rekke årsaksfaktorer eks. ernæringsmessige mangler, genetiske faktorer, svingninger i vanntemperatur, oksidativt stress, rask vekst og raske endringer i salinitet (Bjerkås og Sveier 2004). Histidinmangel i fôr (Waagebø et al. 2010), svingninger og økning i vanntemperatur og rask vekst

(Bjerkås et al. 2001) har vært fremsatt som mulige årsaksfaktorer ved kataraktutbrudd i sjøfase.

Produksjon av postsmolt i RAS representerer et intensivt produksjonsregime hvor produksjonsbetingelsene fremmer rask vekst. Utilstrekkelige mengder histidin i fôr til hurtigvoksende smolt/post-smolt ble framsatt som mulig årsak til vedvarende katarakt i 2017 G postsmoltgruppen (Waagbø et al. 2010, Remø et al. 2014, Sambraus et al.. 2017a). Før postsmoltutsett III, ble det benyttet histidinberiket fôr (Skretting Nutra Supreme 70A med 14 g histidin/kg). Høstsmolten fikk Skretting Nutra Supreme med 13 g histidin/kg. Både prevalens og gjennomsnittlig totalskår var lavere for postsmoltutsett III enn for postsmolt II, i hele sjøfase. Dette kan være et resultat av histidinberikningen, men kan også skyldes andre faktorer.

6.5 Nefrokalsinose

Fiskehelsetjenesten observerte kalkutfelling i nyrerand hos svimere og dødfisk 2 uker etter utsett. Enkelte svimere hadde symptomer forenlig med sirkulasjonssvikt ved obduksjon, og det ble påvist betennelse og utfellinger i nyrevev ved histologisk undersøkelse, samt systemisk mykose. Generell utsettsdødelighet i fiskegruppen var lav (0,46 % første 2 mnd. i sjø), men en betydelig andel av dødelighet var knyttet til nefrokalsinose (ca. 30 % av totaldødeligheten første 3 mnd. i sjø). I hele sjøfase ble 0,034% av dødelighet relatert til nefrokalsinose.

6.5.1 Resultater fra makroskår og histologiske undersøkelser

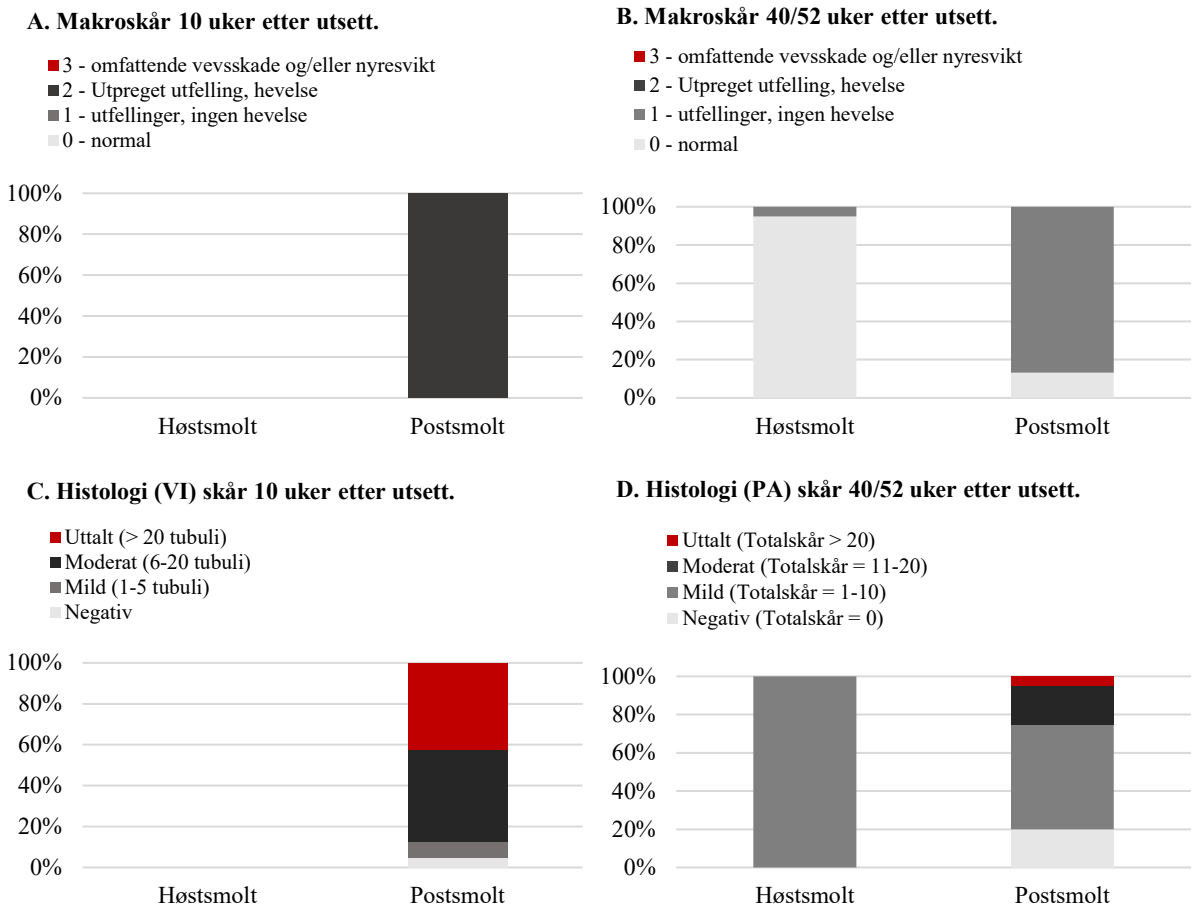
Ved visuell undersøkelse av nyrer hos postsmolt 10 uker etter utsett på Sessøya (mars 2018), ble det observert visuelt synlige kalkavleiringer langs urinleder hos samtlige individer i varierende grad. Snittflate midtnyre var grålig og fnokket, og konsistens på nyre ble vurdert som viskelæraktig (Figur 18). Det var noe usikkerhet knyttet til hevelse på nyrerand ved denne første evalueringen, da det ikke var normale nyrer å sammenligne med. Samtlige individer ble fikk makroskår 2 ved dette uttaket (Figur 19A).

Figur 17. Eksempler på visuelle forandringer hos postsmolt 10 uker etter utsett (venstre) og hos høstsmolt 52 uker etter utsett (høyre). De to øverste postsmoltbildene representerer hhv. minst og mest uttalt grad av nefrokalsinose blant 40 undersøkte fisk ved uttak 10 uker etter utsett. Nederste postsmoltbilde viser "fnokkete", grålig og viskelæraktig snittflate, som ble observert hos samtlige i varierende grad. Høstsmoltbildene til høyre viser 3 nyrerender som ble sendt inn til analyse. Samtlige ble skåret 0 visuelt, men ved histologiske undersøkelser ble det gjort funn forenlig med nefrokalsinose av mild grad.

Histologiske undersøkelser viste at det var utfellinger i tubuli hos 38 av 40 individer. Hos 35 av disse var det moderat eller uttalt grad av utfelling (utfellinger i mer enn 5 tubuli; Fivelstad mfl. 2018, Figur 19C). Veterinærinstituttet fant patologiske forandringer av variabel alvorlighetsgrad og utbredelse. Det ble i liten grad funnet glomerulære forandringer/forandringer i filtreringsvev. I nyrer med utfellinger så man imidlertid dilaterte samlerør og urinledere.

I oktober 2018, henholdsvis 52 og 40 uker etter utsett av høstsmolt og postsmolt, var det færre synlige tegn til nefrokalsinose, men også vanskeligere å vurdere pga. større fisk og tykkere nyrekapsel (Figur 18, høyre side). Det var vanskeligere å vurdere om det var utfellinger i utførselsganger eller ikke. Postsmolt fikk i hovedsak skår 1, og høstsmolt fikk i hovedsak skår 0 (Figur 19B). Histologiske undersøkelser (se under) tyder på at det ikke var så stor forskjell mellom gruppene (Figur 19D).

Etter henholdsvis 40 og 52 uker etter utsett, viste de histologiske undersøkelsene til Pharmaq Analytic at størstepartene av de undersøkte individene i postsmoltgruppa (55 %) hadde forandringer i nyrevev av mild grad. Det var også både fravær av funn (20 %) og mer alvorlige skader (til sammen 25 %) blant de undersøkte individene (Figur 19D). Det ble dessverre sendt inn kun tre prøver av høstsmolt ved dette tidspunktet, grunnet få synlige tegn til nefrokalsinose (Figur 19B). Resultatene fra histologiske undersøkelser viser imidlertid at disse tre hadde tilsvarende endringer i nyrevev som størsteparten av postsmoltindividene (mild grad; Figur 19D).



Figur 18A - D. Andel av undersøkt fisk med makroskopisk nefrokalsinoseskår fra 0 - 3 ved uttak A) 10 uker etter utsett (mars 2018) og B) 40/52 uker etter utsett av henholdsvis postsmolt/høstsmolt (oktober 2018), og Veterinærinstituttets (VI) og Pharmaq Analytic's (PA) nefrokalsinoseskår ved henholdsvis C) 10 uker etter utsett og B) 40/52 uker etter av postsmolt/høstsmolt. N=40 for postsmolt/høstsmolt, med unntak av PA skår for høstsmolt (n=3).

Ved vurdering av alvorlighetsgrad, inkluderer Pharmaq Analytic (PA) flere parametere enn bare synlige utfellinger på histologiske snitt (se 5.5.1). I sin rapport fremhever PA både når det gjelder høstsmolt og postsmolt ved uttaket i oktober 2018, at det ikke ble gjort funn av klassiske utfellinger (strukturløse/amorfe, blålige/ basofile utfellinger) hos alle fisker med forhøyet nefrokalsinoseskår. Det kommenteres i postsmoltrapport at "*Utfellinger er et viktig diagnostisk kriterium for nefrokalsinose. Likevel er det kjent at disse utfellingene raskt kan resorberes når fisken overføres til sjøfase, mens de histologiske vevsforandringene normalt vil ta lengre tid å reparere. Nefrokalsinose-score gjøres derfor med forbehold om at fisken tidligere har gjennomgått en slik tilstand, og det kan ikke utelukkes at observerte forandringer av nyrene også kan tilskrives andre tilstander enn nefrokalsinose. Det kunne videre se ut som om det var høyest forekomst av mer kroniske forandringer*". I tillegg til utfellinger, besto observerte skader av nedbrutte og utvidede tubuli og glomeruli, fibrose, mild til moderat granulomatøs betennelse, dilatasjon av Bowman's kapsel og utvidelse av pre-urinrommet.

6.5.2 Årsaker og betydning for prestasjon og helse

I dette prosjektet har vi ikke god nok oversikt over alle variabler som kan ha forårsaket tilstanden ved settefiskanlegget, til å konkludere på årsak. Funn hos både høstsmolt og

postsmolt, kan imidlertid tyde på at tilstanden har oppstått i ferskvannsfasen, før postsmolt ble overført til RAS-avdelingen. Det var utfordringer med å oppnå tilstrekkelig utlufting av CO_2 i denne avdelingen i mørkekjøringsperioden, så det kan spekuleres i at nefrokalsinose var knyttet til CO_2-nivå i dette tilfellet. Hvorvidt tilstanden har utviklet seg videre, eller bedret seg i RAS-avdelingen, har ikke vært undersøkt i dette forsøket, men vil undersøkes nærmere i neste forsøk, sammen med nøyere overvåking av vannkvalitet.

I FHF-prosjektet NEFROSMOLT er det gjort undersøkelser av hvordan nefrokalsinose påvirker dødelighet etter utsett. Resultatene tyder på at alvorlig nefrokalsinose fører til ikke-reversible skader på nyrene, og dødelighet etter utsett (Boissonnot et al. 2021). I dette forsøket har det vært observert moderat til utpreget kalkutfelling etter utsett, men begrenset dødelighet som følge av dette (0,034 % i hele sjøfase). Nyreforandringene som ble observert etter 8 – 10 mnd. i sjø, tyder på ikke-reversible skader. Vekstprestasjon hos postsmolt har vært lavere enn i de to foregående forsøkene (postsmoltutsett I og II, Figur 6). Samlet tyder disse resultatene på at de observerte nyreskadene har vært alvorlige nok til å påvirke prestasjon negativt, men ikke høy nok til å påvirke dødelighet i betydelig grad.

7 Oppsummering og konklusjon

7.1 Prestasjon, helse og velferd hos postsmolt (PS) vs. høstsmolt (HS)

- Vekstparametere, biologisk fôrfaktor og slaktekvalitet tilsier at PS og HS har prestert jevnt i sjøfasen, og at begge grupper har prestert over gjennomsnittet basert på fôrselskapenes vekstmodeller (EGI 108-109 og RGI 102-104).
- Begge grupper oppnådde betydelig lavere slaktevekt (ca. 1 kg) enn høstsmolt- og postsmoltutsett I og II.
- Dødelighet var høyere i HS- gruppe (8,6 %) enn i PS- gruppe (3,6 %), noe som knyttes til flere avlusningstiltak og håndteringsrelatert dødelighet.
- Begge grupper fikk påvist HSMB vinter 2018-2019, med dødelighet knyttet til dette (1,8/0,8 % av HS/PS).
- Den gjennomsnittlige velferdsindeksen (WI) var god (over 0,8). HS hadde i motsetning til postsmolt en negativ utvikling i finnestatus og skinnstatus i sjøfase, trolig relatert til flere avlusningstiltak.

7.2 Tidlig kjønnsmodning

- Ingen kjønnsmodne PS-hanner før utsett. Kun enkeltindivider med noe forstørrede gonader; tilstrekkelig til å kunne klassifiseres som modnende (0,1 % < GSI < 1%).
- Det spekuleres i at lavere temperatur og veksthastighet før mørkekjøring har ført til lavere innslag av kjønnsmodning før postsmoltutsett III sammenlignet med II.

7.3 Katarakt

- Før utsett ble det ikke observert katarakt i HS-gruppe, og lav prevalens i PS-gruppe (5 %).
- Etter utsett var det forbigående, 100% prevalens av lavgradig katarakt blant HS, men vedvarende, ca. 60 % prevalens av lavgradig katarakt hos PS.
- Bruk av histidinberiket fôr kan ha redusert grad og prevalens av katarakt, sammenlignet med utsett II.

7.4 Nefrokalsinose

- Moderat til uttalt nefrokalsinose hos postsmolt etter utsett.
- Skader i nyrvev vedvarte i sjøfase, men kalkutfellinger ble over tid resorbert /skilt ut.
- Nefrokalsinose førte i liten grad til dødelighet (0,034 %), men kan være årsak til redusert vekstprestasjon hos begge grupper sammenlignet med tidligere forsøk.

Konklusjon

Postsmolt og høstsmolt har prestert jevnt i sjøfase, men med høyere, håndteringsrelatert dødelighet i høstsmoltgruppe. Prestasjon hos begge grupper har vært redusert i forhold til de to foregående år, muligens som følge av moderat til uttalt nefrokalsinose ved utsett, og vedvarende nyrevevsskader i sjøfasen.

8 Referanser

Adams C.E. and Thorpe J.E. (1989). Photoperiod and temperature effects on early development and reproductive investment in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 79, 403-409

Aunsmo A., Guttvik A., Midtlyng P.J., Larssen R.B., Evensen Ø., Skjerve E. (2008). Association of spinal deformity and vaccine- induced abdominal lesions in harvest-sized Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* 31: 515–524.

Arnesen, A. M., Johnsen, H. K., Mortensen, A., & Jobling, M. (1998). Acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts to cold sea water following direct transfer from fresh water. *Aquaculture*, *168*(1-4), 351-367.

Berrill, I. K., Porter, M. J., Smart, A., Mitchell, D., & Bromage, N. R. (2003). Photoperiodic effects on precocious maturation, growth and smoltification in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, *222*(1-4), 239-252.

Bjerkås E., Waagebø R, Sveier H, Bjerkås I, Bjørnestad E, Maage A. (1996). Cataract development in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L) in fresh water. Acta Vet Scand. 1996;37:351±360 PMID: 8996880.

Bjerkås, E., Bjørnestad, E., Breck, O., & Waagbø, R. (2001). Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, *24*(5), 281-291.

Bjerkås, E, Sveier H. (2004) The influence of nutritional and environmental factors on osmoregulation and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture* 235 (2004) 101-122.

Bjerkås, E., Breck, O., Waagebø, R. (2006). The role of nutrition in cataract formation in farmed fish. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture. Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 1, 1-16.*

Boissonnot L., Klykken C. & Stensby-Skjærvik S. (2021) Delrapport for NEFROSMOLT: Nefrokalsinose hos laksesmolt - en kartlegginsundersøkelse med fokus på risikofaktorer. FHF-901587, 34 pp

Breck, O., Sveier, H. (2001). Growth and cataract development in two groups of Atlantic salmon (*Salmo salar* L) post smolts transferred to sea with a four week interval. Bull Eur Assn Fish P. 2001; 21: 91-103.

Braanas, M. F. 2021 Influence of temperature and feeding on early sexual maturation commitment in male Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during the freshwater stage. Master thesis, UiB.https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/11250/2737982

Bromage, N., Porter, M. and Randall, C. (2001). The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special references to the role of photoperiod and melatonin. Aquaculture 197 63-98.

Cowey, C. B., Knox, D., Adron, J. W., George, S., & Pirie, B. (1977). The production of renal calcinosis by magnesium deficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of Nutrition*, *38*(1), 127-135.

Duston, J., & Bromage, N., 1988. The entrainment and gating of the endogenous circannual rhythm of reproduction in the female rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, *164*(2), 259-268.

Fivelstad, S., Hosfeld, C. D., Medhus, R. A., Olsen, A. B., & Kvamme, K. (2018). Growth and nephrocalcinosis for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolt exposed to elevated carbon dioxide partial pressures. *Aquaculture*, *482*, 83-89.

Fjelldal, P. G., Hansen, T., Huang, T. S. (2011). Continuous light and elevated temperature can trigger maturation both during and immediately after smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, *321*(1), 93-100.

Fjelldal, P.G., Schultz, R., Nilsen, T.O., Andersson, E., Norberg, B, Hansen, T.J. (2018). Sexual maturation and smoltification in domesticated Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - is there a developmental conflict? *Physiological Reports* 6 (17) e13809. DOI: 10.14814/phy2.13809

Fraser, T. W., Witten, P. E., Albrektsen, S., Breck, O., Fontanillas, R., Nankervis, L., ... & Fjelldal, P. G. (2019). Phosphorus nutrition in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): Life stage and temperature effects on bone pathologies. *Aquaculture*, *511*, 734246.

Good, C., Davison, J. (2016). A review of factors influencing maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) with focus on water recirculation aquaculture system environments. J. World Aquac. Soc. 47, 605-632.

Grini, A., Hansen, T., Berg, A., Wargelius, A., Fjelldal, P. G. (2011). The effect of water temperature on vertebral deformities and vaccine-induced abdominal lesions in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of fish diseases*, *34*(7), 531-546.

Handeland, S. O., Berge, Å., Bjørnsson, B. Th., Lie. Ø. and Stefansson, S. O. (2000). Seawater adaptation by out-of-season smolt at different temperatures. Aquaculture: 181: 377-396

Handeland, S. O., & Stefansson, S. O. (2001). Photoperiod control and influence of body size on off-season parr–smolt transformation and post-smolt growth. *Aquaculture*, *192*(2-4), 291-307.

Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbø, B., McCormick, S. D., Stefansson, S. O. (2004). Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture*, *233*(1-4), 513-529.

Hansen, T. J., Remen, M., Sambraus, F., & Fjelldal, P. G. (2015). A report on overripe female and spent male Atlantic salmon (*Salmo salar*) in August. *Aquaculture*, *444*, 114-116.

Hargis Jr, W. J. (1991). Disorders of the eye in finfish. *Annual Review of Fish Diseases*, *1*, 95-117.

Hicks BD, Hilton, J.W & Ferguson, H.W. (1984). Influence of dietary selenium on on the occurrence of nephrocalcinosis in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Journal of fish biology 7:379-389.

Holan, A.B. og Kolarevic, J. (2015). Postsmoltproduksjon i resirkulert sjøvann på land. NOFIMA rapportnr. 40/2015

Hvas, M., Folkedal, O., Imsland, A., & Oppedal, F. (2017). The effect of thermal acclimation on aerobic scope and critical swimming speed in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Experimental Biology*, jeb-154021.

Iwata, M., Komatsu, S., Collie, N.L., Nishioka, R.S., Bern, H.A. (1987): Ocular cataract and seawater adaption in salmonids. Aquaculture, 66:315-327.

Imsland, A.K., Handeland, S., Stefansson, S.O. (2014). Growth and maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under constant temperatures and photoperiods in fresh- and seawater. Aquac. Int. 22, 1331-1345.

Jensen, L. B., Wahli, T., McGurk, C., Eriksen, T. B., Obach, A., Waagbø, R., ... & Tafalla, C. (2015). Effect of temperature and diet on wound healing in Atlantic salmon (Salmo *salar* L.). *Fish physiology and biochemistry*, *41*(6), 1527-1543.

Johansen, R., Sandtrø, A., Dalum, A. (2018). Nephrocalsinosis- an increasing challenge in Atlantic salmon RAS production. 2nd Nordic Workshop – Health and welfare of fish reared in recirculation aquaculture systems (RAS), Oslo, 19.-20. November 2018

Jonsson, B., Jonsson, N., & Finstad, A. G., (2013). Effects of temperature and food quality on age and size at maturity in ectotherms: an experimental test with Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology*, *82*(1), 201-210.

Leclercq E., (2010). Management strategies to control sexual maturation in sea-reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Biomass management, light-manipulation and sterility. PhD thesis, University of Stirling. https://dspace.stir.ac.uk/bitstream/1893/2656/1/EricLeclercqPhDThesis.pdf

Leclercq E., Taylor J.F., Sprague M. and Migaud H. (2011). The potential of alternative lighting-systems to suppress pre-harvest sexual maturation of 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts reared in commercial sea-cages. Aquacultural Engineering 44, 35-47.

Le Morvan, C., Troutaud, D., & Deschaux, P. (1998). Differential effects of temperature on specific and nonspecific immune defences in fish. *Journal of Experimental Biology*, *201*(2), 165-168.

Melo, M. C., Andersson, E., Fjelldal, P. G., Bogerd, J., Franca, L. R., Taranger, G. L., & Schulz, R. W. (2014). Salinity and photoperiod modulate pubertal development in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *The Journal of endocrinology*, *220*(3), 319-332.

Mota et al. 2019. The effects of carbon dioxide on growth performance, welfare, and health of Atlantic salmon post-smolt (*Salmo salar*) in recirculating aquaculture systems DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.08.075

Midtlyng, P.J., Lillehaug, A. (1998). Growth of Atlantic salmon *Salmo salar* after intraperitoneal administration of vaccines containing adjuvants. Diseases of Aquatic Organisms 32: 91– 97.

Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J. & Gismervik, K. (2018). Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 328pp. ISBN 978-82-8296-531-6.

Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J. E., Fosseidengen, J. E., & Hansen, T. (1997). Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquatic Living Resources*, *10*(6), 351-357.

Pettersen, J. M., Bracke, M., Midtlyng, P. J., Folkedal, O., Stien, L. H., Steffenak, H., & Kristiansen, T. S., 2014. Salmon welfare index model 2.0: an extended model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon, based on a review of selected welfare indicators and intended for fish health professionals. *Reviews in Aquaculture*, *6*(3), 162-179.

Peterson, R. H., & Harmon, P. R. (2005). Changes in condition factor and gonadosomatic index in maturing and non-maturing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Bay of Fundy sea cages, and the effectiveness of photoperiod manipulation in reducing early maturation. *Aquaculture Research*, *36*(9), 882-889.

Policansky, D., 1983. Size, age and demography of metamorphosis and sexual maturation in fishes. *American Zoologist*, *23*(1), 57-63.

Remen, M., Oppedal, F., Torgersen, T., Imsland, A. K., & Olsen, R. E. (2012). Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: initial responses and acclimation. *Aquaculture*, *326*, 148-155.

Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T., & Oppedal, F. (2016). The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture*, *464*, 582-592.

Remen, M., Bloch-Hansen, K. 2018. Smålaks: Prestasjon og velferd i sjøfasen. Sluttrapport FoU T-TN-17-2016. Url: https://www.akvaplan.niva.no/en/projects-networks/prolaks/

Remen M., Bloch-Hansen K., Tårand, A., 2019. Sluttrapport FoU T-TN-17-2017 G. Postsmolt: toleranse for midtvinters utsett og prestasjon i sjøfase. Url: https://www.akvaplan.niva.no/en/projects-networks/prolaks/

Remø SC, Hevrøy EM, Olsvik PA, Fontanillas R, Breck O, Waagbø R (2014). Dietary histidine requirement to reduce the risk and severity of cataracts is higher than the requirement for growth in Atlantic salmon smolts, independently of the dietary lipid source. Brit J Nutr. 111: 1759–1772.

Rowe, D.K., and Thorpe, J.E. 1990. Suppression of maturation in male Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr by reduction in feeding and growth during spring months. Aquaculture 86(2–3): 291–313.

Sambraus, F., Fjelldal, P. G., Remø, S. C., Hevrøy, E. M., Nilsen, T. O., Thorsen, A., Hansen, T.J., Waagbø, R. (2017a). Water temperature and dietary histidine affect cataract formation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diploid and triploid yearling smolt. *Journal of fish diseases*, *40*(9), 1195-1212.

Sambraus, F., Olsen, R. E., Remen, M., Hansen, T. J., Torgersen, T., & Fjelldal, P. G. (2017b). Water temperature and oxygen: The effect of triploidy on performance and metabolism in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture*, *473*, 1-12.

Schulz, R. W., Andersson, E., & Taranger, G. L. (2006). Photoperiod manipulation can stimulate or inhibit pubertal testis maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animal Reproduction (AR)*, *3*(2), 121-126.

Smart, G. R., Knox, D., Harrison, J. G., Ralph, J. A., Richard, R. H., & Cowey, C. B. (1979). Nephrocalcinosis in rainbow trout Salmo gairdneri Richardson; the effect of exposure to elevated CO2 concentrations. *Journal of Fish Diseases*, *2*(4), 279-289.

Sommerset I, Walde C S, Bang Jensen B, Bornø B, Haukaas A og Brun E (red). Fiskehelserapporten 2019, utgitt av Veterinærinstituttet 2020.

Stien, L. H., Bracke, M., Folkedal, O., Nilsson, J., Oppedal, F., Torgersen, T. & Kristiansen, T. S, (2013). Salmon Welfare Index Model (SWIM 1.0): a semantic model for overall welfare assessment of caged Atlantic salmon: review of the selected welfare indicators and model presentation. *Reviews in Aquaculture*, *5*(1), 33-57.

Taranger, G.L., Haux, C., Stefansson, S.O., Björnsson, B.T., Walther, B.T. and Hansen, T. (1998). Abrupt changes in photoperiod affect age at maturity, timing of ovulation and plasma testosterone and oestradiol-17ß profiles in Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture 162 85-98.

Taranger, G.L., Carrillo, M., Schulz, R.W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F.A., Dufour, S., Karlsen, Ø., Norberg, B., Andersson, E. and Hansen, T., (2010). Control of puberty in farmed fish. General and Comparative Endocrinology 165 483-515.

Thorpe J. E., Talbot C., Miles M. S., & Keay D. S., 1990. Control of maturation in cultured Atlantic salmon, *Salmo salar*, in pumped seawater tanks, by restricting food intake. *Aquaculture 86*, 315-326.

Thorpe, J.E. 1994. Reproductive strategies in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Aquac. Res. 25(1): 77–87.

Thorpe, J. E., 2007. Maturation responses of salmonids to changing developmental opportunities. *Marine Ecology Progress Series*, *335*, 285-288.

Thorarinsson, R. og Lystad, Y., 2003. Vintersår; Ny kunnskap skaper optimisme. Norsk fiskeoppdrett, 10:34-38.

Wall, T., Bjerkås, E. (1999). A simplified method og scoring cataracts in fish. Bull Eur. Ass. Fish. Pathol. 19 (4), 162.

Waagebø, R., Tröße, C., Koppe, W., Fontanillas, R. Breck, O. (2010) Dietary histidine supplementation prevents cataract in adult Atlantic salmon (*Salmo salar L.*), in seawater. British Journal of Nutrition 104, 1460-1470.

Waagebø, R., Sveier H, Breck O, Bjørnestad E, Maage (2004). Nutritional status assessed in groups of smolting Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 235 101-122.

9 Vedlegg

9.1 Vedlegg 1

Oversikt over velferdsskåring etter metode beskrevet i Stien et al. 2013.

Tabell 2. Oversikt over parametere brukt i velferdsscoring, og hvordan de bidrar i beregningen av den totale velferdsindeksen, som går fra 0-1 (fra verste til beste mulige velferd). Det gis en score fra 1 (best mulig) til 7 (dårligst mulig) for hvert parameter, basert på kriteriene beskrevet i tabellen. Hvert parameter har en "weighing factor" (WF), basert på parameterens mulige betydning for laksens velferdsbehov. Summen av WF for alle parametere brukes til å beregne en relative weighing factor (RWF) for hvert parameter. Hvert scorenivå gis en "ordinal indicator score" (IS) som RWF multipliseres med for å få "relative indicator welfare score" (IWF). Summen av IWF blir individets velferdsindeks. Det er lagt inn 5 ulike knockout-nivå (markert med rødt), dvs. at velferd settes til 0, uansett hvilke score som oppnås for andre parametere. Metoden er hentet fra Stien et al. 2013 og Pettersen et al. 2014. Når det gjelder vaksineskader, har vi justert kriterier og indikatornivå for å tilpasse scoring til Pharmaqs scoringssystem for adheranser (se Vedlegg 2).

Parameters	Level description, best to worst							WF	RWF
	1	2	3	4	5	6	7		
SWIM1WI: Sealice (1-5)	No lice (1)	Light infestation (0.66)	>=0.05 pre-adult or adult lice /cm^2 fish (0.33)	>=0.08 pre-adult or adult lice /cm^2 fish (0)	>=0.12 pre-adult or adult lice /cm^2 fish			11	0,08
SWIM1WI: Condition factor (1-3)	>1.1 (1)	0.9-1.1 (0.5)	<0.9 (0)					6	0,05
SWIM1WI: Emaciation (1-3)	Not emaciated (1)	Potentially emaciated (0)	Distinctly emaciated					16	0,12
SWIM1WI: Vertebral deform (1-3)	No external signs of vertebral deformities (1)	'Short-tail' of normal weight (0.5)	Short-tail' of low weight. (0.0)					10	0,08
SWIM1WI: Sexual mature (1-4)	Not mature (1)	Precocious male (0.66)	Mature male (0.33)	Mature female (0)				9	0,07
SWIM1WI: Smoltification state (1-6)	Fully smoltified (1)	Parr, access to brackish water (0.75)	Parr, incomplete smoltification, 10°C (0.5)	Parr, incomplete smoltification, 14°C (0.25)	Parr, incomplete smoltification, 7 °C (0)	Parr, incomplete smoltification, 20°C		9	0,07
SWIM1WI: Fin cond. (1-4)	Normal healthy fins, nothing to comment (1)	Scar tissue or slight necrosis (0.66)	Moderate current skin damage and/or necrosis , including splitting and/or thickening (0.33)	Severe skin damage and/or necrosis with bleeding, and/or inflammation and/or exposed fin rays and severe tissue loss (0)				13	0,10
SWIM1WI: Skin cond.(1-7)	Normal healthy skin, nothing to comment (1)	Scar tissue, healed (0.8)	Scale loss (dislocated or missing scales) (0.6)	Superficial wound or ulcer <1 cm^2 (0.4)	Superficial wound or ulcer >1 cm^2 (0.2)	Penetrating and/or multiple wounds or ulcers possibly infected (0)	Large open wounds, life threatening	15	0,11
SWIM2WI: Eye status (1-5)	Functional, healthy eyes (1)	Unilateral (one-sided), traumatic injury, moderate exophthalmia or haemorrhages inside eye (0.66)	Bilateral (two-sided), traumatic injury, moderate exophthalmia or haemorrhages inside the eyes (0.33)	Bilateral (two-sided) cataract (more than 50% of lens coverage) or chronic condition with impaired vision (0)	Severe exophthalmia or bilaterally blind individuals			11	0,08
SWIM2WI: Gill status (1-3)	Normal healthy gills (1)	Mild signs of focal inflammation, necrosis (dead tissue), lesions or trauma (0.5)	Severe signs of more generalized inflammation, necrosis, lesions or trauma (0)					9	0,07
SWIM2WI: Opercula (1-5)	Normal opercula (1)	Operculum only partly covering the gill on one side (unilateral) (0.75)	Opercula only partly covering the gills on both sides (bilateral) (0.5)	Operculum unilaterally absent (0.25)	Opercula bilaterally absent (0)			7	0,05
SWIM2WI: Vaccine-related pathology	No visible lesions, Pharmaq score 0 (1)	Pharmaq scores 1-2 (0.66)	Pharmaq scores 3-4 (0.33)	Pharmaq scores 5-6 (0)				10	0,08
New WI: Mouth jaw wound (1-3)	No wound (1)	Surface damage (0.5)	Clear bloddy wound (0)					6	0,05
New WI: Upper jaw deformity (1-4)	Normal	Minor malformation	Clear malformation	Extreme malformation				NI	
New WI: Lower jaw deformity (1-4)	Normal	Minor malformation	Clear malformation	Extreme malformation				NI	
SUM								**132**	**1**

9.2 Vedlegg 2

Gradering av adheranser hos Pharmaq.

Adheranser
Angis som total under "Totalscore adheranser", eller ref. til høyeste score fra lok 1,2 el 3

0	Ingen synlige forandringer i bukhulen
1	Få tynne bindevevstråder, oftest lokalisert til et lite område. Svært lett å løsne.
2	Tydeligere bindevevsdannelser, rundt og mellom organer. Bindevevstråder kan være knyttet til bukvegg, men løsner lett.
3	Bindevevsdannelser som er relativt fast, men vil ikke skade organene eller rive bukhinnen når de løsnes. Kan også observeres som gråaktig bindevevshinne over organene. Svømmeblæren kan være festet til organene. Lever kan være festet til organene.
4	Kraftige bindevevsdannelser i og rundt organene. Som grad 3, men mer uttalt. Granulomer kan påvises i mindre områder. Sammenvoksningene mellom forskjellige organer og bukveggen lar seg vanskelig løsne uten å skade disse. Organene kan være sammenloddet i "pakke".
5	Svært kraftige sammenvoksninger som omfatter flere organer. Tilstedeværelsen av større granulomer i organ og til dels granulomatøse sammenloddinger mellom organpakke og bukvegg. Bukhinne og evt. filèt skades ved fjerning av organer.
6	Som grad 5, men enda mer alvorlig. Hvis det er mulig å fjerne organer, vil det gi tydelige skader på fileten.