

Faglig sluttrapport

¹Nofima, ²Åkerblå, ³BDO, ⁴Avrik, ⁵Fiskaaling, ⁶UiT, ⁷UiB

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

«Bærekraftig mat til alle» er vår visjon.

Kontaktinformasjon

Telefon: 77 62 90 00

post@nofima.no

www.nofima.no

NO 989 278 835 MVA



Hovedkontor Tromsø

Muninbakken 9–13

Postboks 6122

NO-9291 Tromsø



Stavanger

Måltidets hus

Richard Johnsensgate 4

Postboks 8034

NO-4068 Stavanger



Sunndalsøra

Sjølsengvegen 22

NO-6600 Sunndalsøra



Ås

Osloveien 1

Postboks 210

NO-1433 ÅS



Bergen

Kjerreidviken 16

Postboks 1425 Oasen

NO-5844 Bergen

Rapport

Rapportnummer: 12/2023	ISBN: 978-82-8296-746-4	ISSN: 1890-579X
Dato: 26. mai 2023	Antall sider + sider vedlegg: 62 + 15	Prosjektnummer: 13510
Tittel: Kunnskapskartlegging-produksjon av stor laksesmolt		
Title: Knowledge mapping-production of large salmon smolts		
Forfatter(e): Trine Ytrestøyl, Iris Jenssen, Vibeke Emilsen Wetterwald, Anja Striberny, René Alvestad, Rùni Dam, Heidi Mortensen, Ellie Johansen, Åsa Espmark, Lill-Heidi Johansen, Jelena Kolarevic, Jørund Larsen, Merete Gisvold Sandberg, Tom Ole Nilsen		
Avdeling: Ernæring og førteknologi		
Oppdragsgiver: Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering AS (FHF)		
Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.: FHF 901701		
Stikkord: Stor-smolt, produksjonsstrategier, optimalisering, prestasjon i sjø		
Sammendrag/anbefalinger: Basert på forskning og erfaringer kan det gis noen anbefalinger for produksjon av stor-smolt med tanke på sentrale produksjonsparametere i den landbaserte fasen av produksjonen. En temperatur på 10-12 °C anbefales for å sikre god vekst i sjøfase og redusere tidlig kjønnsmodning hos hannfisk. Det anbefales ikke å gå bort fra lysstyring for å indusere smoltifisering før det foreligger mer dokumentasjon på effekten av dette på prestasjon i sjø. En salinitet mellom 12-15 ppt er i mange studier oppgitt å gi optimal vekst, og ble av oppdrettere ansett for å gi færre problemer med skinnhelse og sårdannelse, noe som også støttes av vitenskapelige funn. Men det er usikkert om 12-15 ppt er tilstrekkelig for å opprettholde sjøvannstoleranse i en stor-smolt. Det anbefales at fisken akklimatiseres til temperaturen den skal settes ut på slik at endringen i temperatur blir maks 3-5 °C. Det er ikke anbefalt å sette ut stor-smolt på kalde vintertemperaturer. Flere oppdrettere erfarer utfordringer med fiskevelferd hvis tettheten overstiger 65-70 kg/m ³ og majoriteten mener at 65 kg/m ³ er en god grenseverdi som ivaretar vannkvalitet og fiskehelse. En vannhastighet på om lag 1.0 kroppslengder per sekund, synes optimalt basert på vitenskapelige studier på post-smolt fra 60 og opp til 480 g. Vitenskapelige studier indikerer at verdier under 15 mg/L CO ₂ i brakkvann ikke gir en stor reduksjon i vekst, og er også anbefalt som grenseverdi av Mattilsynet.		
English summary/recommendation: Based on research and experience, some recommendations can be given for the production of large smolt with regard to key production parameters in the land-based phase. A temperature of 10-12 °C is recommended to ensure good growth in seawater and reduce early sexual maturation in male fish. The use of a winter signal to induce smoltification is recommended to ensure seawater tolerance and performance. A salinity of 12-15 ppt has in several studies given optimal growth and is considered by producers to cause fewer problems with skin health and wound formation, which is also supported by scientific findings. But it is uncertain whether 12-15 ppt is sufficient to maintain seawater tolerance in large smolts. It is recommended that the fish is acclimatized to the sea temperature so that the change in temperature is a maximum of 3-5 °C, and transfer of large smolts at cold water temperatures is not recommended. Several breeders experience challenges with fish welfare if the density exceeds 65-70 kg/m ³ and the majority believe that 65 kg/m ³ is a good limit value that safeguards water quality and fish health. A water speed of about 1.0 body lengths per second seems optimal based on scientific studies on post smolt from 60 and up to 480 grams. Scientific studies indicate that values below 15 mg/L CO ₂ in brackish water do not cause a large reduction in growth and is also recommended by The Norwegian food Safety Authority.		

Forord

Produksjon av en større smolt for utsett i sjø er en strategi for å redusere produksjonstiden i åpne merder i sjø, og dermed redusere laksens eksponering for sykdommer og lakselus. Det er også en hypotese om at en større smolt er mer robust og tåler bedre de påkjenninger den utsettes for etter overføring til merder i sjø. Det er imidlertid usikkerhet om hva som er optimale produksjonsbetingelser for en stor smolt, og det er begrenset med publisert kunnskap å støtte seg på.

Formålet med prosjektet var derfor 1) å kartlegge hvordan produksjon av stor smolt gjøres i dag og 2) å vurdere hva som er beste praksis ved produksjon av stor smolt i landbaserte anlegg (RAS og gjennomstrømming) med tanke på å oppnå best vekst og overlevelse etter utsett i sjø. Dette er gjort ved å gå igjennom tilgjengelig informasjon og vurdere dagens praksis som er kartlagt i prosjektet opp mot det man vet per i dag om storsmoltens krav til miljø. Det er ikke gjort økonomiske betraktninger omkring hva som er optimal praksis under ulike betingelser fisken møter i sjøfase med tanke på smittepress og lusepåslag. Bruk av semilukkede anlegg i sjø har ikke vært omfattet av prosjektet. Det er heller ikke gjort en systematisk sammenligning av praksis i RAS og gjennomstrømmings-anlegg, da de aller fleste produsenter av storsmolt blant våre respondenter benyttet RAS. Det kan derfor tenkes at det bør gjøres en mer grundig sammenligning av betingelser i RAS og gjennomstrømming med tanke på vannkvalitet og temperatur, som er viktige parametere for smoltifiseringsforløpet.

Prosjektet har i sin helhet vært finansiert av FHF, men prosjektet har også hatt bidrag fra industriaktører gjennom deltakelse på dialogmøter og bidrag i intervju og spørreundersøkelse. Prosjektgruppen ønsker å takke alle bidragsytere i prosjektet, inkludert referansegruppen som har bestått av Timo Rosche (Grieg Seafood), Trond Rosten (MOWI), Renate Johansen (Pharmaq Analytiq) og Harald Takle (Cermaq Group) for konstruktive innspill og gode diskusjoner.

Innhold

1	Sammendrag	1
2	Introduksjon til prosjektet	5
2.1	Bakgrunn	5
2.2	Omfang og organisering	6
3	Prosjektets formål og problemstilling	7
3.1	Prosjektets leveranser (resultatmål)	7
4	Metodebeskrivelse og prosjektgjennomføring	9
5	Oppnådde resultater	15
5.1	Størrelse ved utsett i sjø, historisk utvikling	15
5.1.1	Utvikling i smoltproduksjon i Norge	15
5.1.2	Utvikling i smoltproduksjon på Færøyene	17
5.2	Produksjonsstrategier ved produksjon av storsmolt	19
5.2.1	Sjøvannstilpasning hos storsmolt	20
5.2.2	Smoltifisering/sjøvannstilpasning av storsmolt – erfaring og praksis i næringen	25
5.3	Viktige miljøparametere i postsmoltfasen	29
5.3.4	Erfaringsbasert praksis driftsbetingelser i postsmoltproduksjon i Norge	38
5.3.5	Erfaringsbasert praksis driftsbetingelser på Færøyene	40
5.4	Fiskehelseutfordringer ved produksjon av storsmolt	40
5.5	Erfaringer med prestasjon i sjø hos storsmolt	42
5.5.1	Erfaringer fra intervju, workshop og spørreundersøkelse	42
5.5.2	Data fra sjøfasen på Færøyene	43
6	Diskusjon	48
7	Anbefalinger om beste praksis og kunnskapsbehov	52
8	Hovedfunn	55
9	Leveranser	56
10	Referanser	57
	Vedlegg	i

1 Sammen drag

I dette prosjektet er det gjort en kartlegging av de ulike produksjonsprotollene som benyttes i dagens produksjon av storsmolt/post-smolt. En fisk som ble satt ut i sjø da den var over 250 g ble i prosjektet definert som en storsmolt. Det er innhentet informasjon fra offentlige databaser (Fiskeridirektoratet) og gjennom spørreundersøkelser og intervju med produsenter av settefisk. Det har også vært arrangert to fysiske dialogmøter med næringsaktører og et digitalt dialogmøte med særlig fokus på produksjonen på Færøyene. I dialogmøtene ble det presentert resultater fra spørreundersøkelsen, gjennomgått vitenskapelig litteratur og dagens produksjonsstrategier og fremtidig praksis ble diskutert. Det ble lagt vekt på å vurdere prestasjon av storsmolt i sjø og identifisere områder hvor det trengs mer kunnskap for å sikre en forutsigbar prestasjon i sjø. Totalt var det 51 respondenter i spørreundersøkelsen, de fleste fra Norge (36), men også Færøyene (6), Chile (5), Canada (1), Skottland (2) og Irland (1) var representert. I Norge var respondentene spredt fra Agder til Finnmark. 25 av respondentene oppga at de produserte fisk >250 g for utsett i sjø. Motivasjonen for å produsere større fisk for utsett var å korte ned sjøfasen for å redusere lusebehandlinger og få en bedre utnyttelse av konsesjoner i sjøfasen. Resultatene viser at de fleste produsenter benytter lysstyring for å oppnå smoltifisering, enten alene eller i kombinasjon med smoltfôr eller økning av salinitet. Det var ingen vesentlige forskjeller i smoltifiseringsprotokoller for stor og liten smolt. Etter at fisken er smoltifisert, overfører majoriteten av norske oppdrettere som produserer storsmolt fisken til brakkvann i post-smoltavdelinger frem til utsett i sjø. Det ble også gjennomført spørreundersøkelser blant produsenter i sjøfasen om hvordan storsmolten presterte etter utsett. Totalt 9 respondenter hadde erfaring med utsatt av smolt > 250 g. Av disse var det et flertall (6) som meldte om høyere dødelighet etter utsett. Noen meldte om dårligere appetitt (4), mens to respondenter opplyste at storsmolt hadde høyere appetitt etter utsett.

Data fra Fiskeridirektoratet viser at andelen sjøsatt laks med snittvekt over 250 g har økt fra 3 % i 2018 til rundt 16 % i 2021. På Færøyene har det også vært en stadig økende størrelse på smolten og gjennomsnittsvekt ved utsett var 425 g i 2021. Tallene fra Fiskeridirektoratet indikerer at spredningen i snittvekt ved sjøsetting har økt mest i Sør- og Midt-Norge. Det er også noe årstidsvariasjon, det settes ut noe større fisk i 1. kvartal sammenlignet med 2.- 4. kvartal.

Analyser av produksjonsdata fra sjø fra norske anlegg indikerer at økt snittvekt ved utsett, samt utsett av fisk på vinterstid i Nord-Norge, er assosiert med høyere dødelighet de første 60 dagene i sjø. Den tilfeldige effekten knyttet til settefiskanlegg var også signifikant, noe som indikerer at opphavet til fisken har en innvirkning på dødeligheten den første tiden i sjø. Forklaringsgraden til modellen var likevel forholdsvis lav (justert $R^2 = 0,36$, forklart avvik 38,5%), noe som tilsier at mye av variasjonen i dødelighet skyldes andre forhold som ikke er inkludert i modellen, som f.eks. infeksjonspress og håndtering i sjø. Disse erfaringene peker mot at storsmolten kan ha utfordringer med overgangen til sjø, men datagrunnlaget er ikke tilstrekkelig til å konkludere på årsakssammenhenger. Færøyene har en mye mer ensartet praksis i RAS med en lang periode med 12:12 lys:mørke, etterfulgt av 4 uker med 24 t lys før utsett. Dette har gitt gode resultater i sjø, men det øker også produksjonstiden på land og dermed også produksjonskostnadene. Produksjonsdata fra Færøyene viser at den store smolten presterer like godt i sjø som smolt som er mindre ved utsett, men høyere veksthastighet i RAS kan gi lavere vekst og overlevelse i sjøfasen.

Oppdretterne erfarer at det ikke er større utfordringer med smittsomme sykdommer eller produksjonsslidelser ved produksjon av storsmolt. Informantene mener at dagens produksjon er for intensiv, og flere oppgir at de har iverksatt tiltak for å redusere intensiteten ved å senke temperatur og redusere tetthet i karene. Blant oppdrettere som benytter brakkvann i slutfasen av produksjonstiden på land, er det ulike erfaringer om hva som er beste salinitetsstyring og flere ønsker mer vitenskapelig dokumentasjon på dette området. Det er også ulike erfaringer om hvor robust storsmolten er - noen erfarer at den er mer robust enn ordinær smolt mens andre mener den er mindre robust ved håndtering.

Det er få studier som har sammenlignet robusthet og prestasjon i sjø av storsmolt og konvensjonell smolt og det er lite dokumentasjon på prestasjon i sjø ved bruk av ulike produksjonsprotokoller og miljøbetingelser i dagens storsmoltproduksjon. Det er fortsatt relativt få som produserer den største smolten i Norge, og den produseres på ulike måter i ulike selskap, noe som gjør det vanskelig å konkludere med tanke på hva som er optimalt for prestasjon i sjøfase. Det er likevel noen anbefalinger for viktige produksjonsparametere i settefiskfasen som kan gis med forankring i vitenskapelig litteratur og erfaringer fra næringsaktører:

- Temperaturen bør ikke overstige 12°C. Data fra Færøyene viser en fordel i sjøfase både på vekst og overlevelse ved å redusere veksthastighet i RAS
- CO₂ bør holdes under 15 mg/L
- Tetthet bør ikke overstige 65-70 kg/m³
- Vannhastighet bør ligge på om lag 1.0-1.2 kroppslengder per sekund
- Fotoperiode: Det anbefales å benytte lysstyring for å indusere smoltifisering inntil mer dokumentasjon foreligger
- Salinitet: I RAS er det vist at 12 ppt kan gi bedre vekst og skinnhelse, men det er usikkert om dette er tilstrekkelig for å opprettholde sjøvannstoleranse i større fisk. Flere oppdrettere tester ut 20 ppt, men effekter på prestasjon i sjøfase er foreløpig ikke dokumentert
- Utsettstidspunkt: Det er indikasjoner på at det ikke er heldig å sette ut fisk på vinter i Nord-Norge
- Det anbefales å akklimatisere fisken før utsett slik at forskjellen i temperatur ikke overstiger 3-5 °C
- I områder med behov for hyppige avlusinger kan utsett av storsmolt være fordelaktig som følge av redusert produksjonstid i sjø

Det er viktig å være klar over at en anbefaling for en parameter ikke nødvendigvis er uavhengig av andre parametre. Maksimal tetthet i ferskvann kan kanskje være høyere enn i brakkevann, hvor høyere salinitet (> 20 ppt) kan gi økt risiko for problem med sår og skinnhelse. Interaksjoner mellom fiskestørrelse og tetthet, og vannhastighet og vannkvalitet er også sannsynlig, men disse sammenhengene er lite undersøkt. Det er mer kunnskap om interaksjoner mellom lys og temperatur, men det er gjort mest på liten fisk, så her er det også behov for mer kunnskap for å kunne gi gode anbefalinger for større postsmolt.

Summary:

In this project, a survey was made of the various production protocols used for production of large hatchery fish/post-smolt. A fish that was released into the sea when it was over 250 grams was defined in the project as a large smolt. Information has been obtained from public databases (Directorate of Fisheries) and through surveys and interviews with producers of hatchery fish. Two physical dialogue meetings have also been arranged with industry in addition to a digital dialogue meeting particularly focusing on production in the Faroe Islands. In the dialogue meetings, results from the survey were presented, scientific literature was reviewed, and current production strategies and future practice were discussed. Emphasis was placed on assessing the performance of large smolt in the sea phase and where more knowledge is needed to ensure a predictable performance at sea. There was a total of 51 respondents in the survey, most from Norway (36), but the Faroe Islands (6), Chile (5), Canada (1), Scotland (2) and Ireland (1) were also represented. In Norway, the respondents were scattered from Agder to Finnmark. 25 of the respondents produced fish >250 g for stocking in sea pens. The motivation for producing a larger smolt was to shorten the time in seawater to reduce lice treatments and to make better use of licenses in the sea phase. The results show that most producers use light treatment to achieve smoltification, either alone or in combination with smolt feed or increasing salinity. There were no differences between large and small smolt with respect to smoltification protocols. After the fish has undergone smoltification, the majority of Norwegian farmers who produce large smolt transfer the fish to brackish water in post-smolt units before stocking in the sea. Surveys were also carried out among producers in the sea phase on how large smolts performed after stocking. A total of 9 respondents had experience with exposed smolt > 250 g. Of these, the majority (6) reported higher mortality after exposure. Some reported a poorer appetite (4), while two respondents stated that large smolt had a higher appetite after transfer.

Data from the Directorate of Fisheries show that the size of salmon transferred to sea has increased in recent years. The proportion of salmon released at sea with an average weight of >250 grams has increased from 3 % in 2018 to 16 % in 2021. In the Faroe Islands, the stocking size has also increased, and the average stocking weight was 425 grams in 2021. The data from the Directorate of Fisheries indicate that the spread in average weight at transfer is larger in southern and central Norway. There was also some seasonal variation in stocking size, fish are larger in the 1st quarter compared to the 2nd-4th quarter.

Analyzes of production data from Norwegian farms in the sea phase indicate that increased average weight at transfer, and transfer of fish during winter in Northern Norway, is associated with higher mortality in the first 60 days in the sea. The effect of land facility was also significant, which indicates that the origin of the fish has an impact on mortality during the first time at sea. The degree of explanation for the model was however relatively low (adjusted $R^2 = 0.36$, explained deviation 38.5 %), indicating that much of the variation in mortality is due to other factors that are not included, such as infection pressure and handling at sea. These data indicate that large smolt may have challenges with the transition to sea, but the database is not sufficient to conclude on causal relationships. The Faroe Islands have a much more uniform practice in RAS with a long period of 12:12 light:dark, followed by 4 weeks of 24 h light before sea transfer. This has given good results in the sea phase, but a prolonged period on land also increases the production costs. Production data from the Faroe Islands show that the large smolt performs as well in sea as smaller smolts, but higher growth rate in RAS can result in lower growth and survival in the sea phase.

The breeders do not experience more challenges with infectious diseases or production disorders when producing large smolt, compared to the production of ordinary smolt. However, the informants think that the current production is too intensive, and several state that they have implemented measures to reduce the intensity by lowering the temperature and reducing density. For breeders who use brackish

water in the final phase of the production on land, there are different opinions regarding what is the best salinity protocol and ask for more scientific documentation in this area. There are also different opinions on how robust a larger smolt is - some experience that it is more robust than ordinary smolt, while others believe it is less robust when handled.

The literature review showed that there are only a few studies that have compared the robustness and performance in seawater of large smolts and conventional smolt. Furthermore, there is little documentation on performance at sea using different production protocols and environmental conditions in today's large smolt production. There are still relatively few producers of the largest smolt in Norway, and it is produced with varying protocols in different companies, which makes it difficult to draw conclusions regarding what is optimal for performance in seawater. Nevertheless, some recommendations for important production parameters in the land-based facility can be given based on scientific literature and experiences from commercial farms:

- The temperature should kept be below 12 °C
- CO₂ should be kept below 15 mg/L
- Density should not exceed 65-70 kg/m³
- Water velocity should be around 1.0-1.2 body lengths per second
- Photoperiod: It is recommended to use a winter signal to induce smoltification until more information is available
- Salinity: In RAS, it has been shown that 12 ppt can provide better growth and skin health, but it is uncertain whether this is sufficient to maintain seawater tolerance in larger fish. Several farmers are testing 20 ppt, but effects on performance in the seawater phase have not yet been documented
- Stocking time: There are indications that it is not beneficial to release fish during winter in Northern Norway
- It is recommended to acclimatize the fish before sea transfer so that the difference in temperature does not exceed 3-5 °C
- In areas where there is a need for frequent delousing stocking with large smolts may be beneficial due to reduced time in seawater

When it comes to recommendations, it must be pointed out that a recommendation for one parameter is not necessarily independent of another. The maximum density in fresh water may be higher than in brackish water, where higher salinity (> 20 ppt) can increase the risk of problems with wounds and skin health. Interactions between fish size and density, and water velocity and water quality are also likely, but these relationships have not been much studied. There is more knowledge about interactions between light and temperature, but most of the work has been done on small fish, thus there is little information on larger smolts/postsmolts.

2 Introduksjon til prosjektet

2.1 Bakgrunn

Produksjonsmetoder og størrelse ved utsett av laksesmolt har de siste årene vært i endring, og det er i dag en betydelig differensiering av produksjonsstrategier sammenlignet med det som har vært vanlig tidligere. Laksenæringen har stor interesse av å redusere tiden i tradisjonelle anlegg i sjø, både for å effektivisere utnyttelsen av konsesjonene og redusere behandlinger mot lus og risiko for sykdomsutbrudd. En strategi med utsett av laks mellom 500-1000 g og større har over lengre tid vært i bruk på Færøyene. Erfaringene fra Færøyene med utsett av større laksesmolt har til dels vært svært gode, mens det i norsk laksenæring er indikasjoner på varierende prestasjon i sjø for den store laksesmolten, noe som også er observert i kontrollerte forsøk (Ytrestøyl m. fl. 2018, Striberny m. fl. 2021). Omfanget av problemet og årsakene til dette er imidlertid ikke kartlagt. Dårlig sjøvannstoleranse kan være en del av forklaringen, men potensialet for vekst og fiskens metabolske status er også av betydning (McCormick og Saunders, 1987, Hoar, 1988). Fisk som ikke får et vintersignal før utsett i sjø er vist å ha høyere kondisjonsfaktor og fettinnhold og redusert vekst den første tiden etter utsett i sjø (Sigholt m. fl. 1995, Imsland m. fl. 2014, Ytrestøyl m. fl. 2018, Striberny m. fl. 2021). Selv om størrelse ved utsett har økt og landbasert oppdrett til slakt er under uttesting, så er det fortsatt i åpne merder i sjø at mesteparten av biomassen produseres, både i Norge og i andre lakseproduserende land. Utsett av en større smolt for å korte ned produksjonstiden i sjø kan være en lønnsom strategi for å unngå problemer med lakselus og sykdom og en bedret utnyttelse av MTB ved at det er større fleksibilitet i produksjonen. Men dersom en stor smolt ikke er tilpasset miljøet den møter i sjø og får redusert vekst og økt dødelighet etter utsett, vil det medføre store økonomiske tap for oppdrettere. Det samme gjelder for kjønnsmodning etter utsett i sjø, noe som er et problem ved produksjon av en større smolt i RAS, gjerne på høy temperatur og kontinuerlig lys (Imsland m. fl. 2014, Good og Davidson, 2016). Å unngå redusert vekst og tidlig kjønnsmodning i sjø ved å optimalisere produksjonsprotokoller og produksjonsstrategier for større smolt vil gi økt lønnsomhet, bedre fiskevelferd og muligheter for en bedre utnyttelse av MTB i sjø slik at den totale lakseproduksjonen kan økes.

Det er imidlertid en utfordring å koble informasjon om produksjonsprotokoller i settefiskfasen med data på prestasjon etter utsett. Det er mange faktorer i settefiskfasen som kan variere, som produksjonsregimer, tidspunkt for utsett, størrelse ved utsett og vannkvalitet. De fleste oppdrettere gir fisken et vintersignal i RAS for å indusere smoltifisering, men det blir mer vanlig å bruke kontinuerlig lys i hele settefiskfasen. Noen bruker brakkvann eller saltfôr før utsett i sjø, mens andre bruker kun ferskvann. Miljøet fisken møter etter utsett vil også variere med årstid og region, og i tillegg vil fisken ha ulik eksponering for patogener og lusepåslag når den kommer i sjø. Årsakene til økt dødelighet og redusert vekst etter utsett vil derfor være sammensatte og variere i ulike produksjonsområder med tid på året ved utsett (Oliveira m. fl. 2021). Det kreves derfor en tilnærming basert på ulike metoder for å identifisere mulige årsakssammenhenger.

Definisjoner smolt, storsmolt/postsmolt brukt i prosjektet

Den biologiske definisjonen av smolt er en juvenil laks som har fullført en rekke morfologiske, fysiologiske og adferdsmessige endringer, i en prosess som kalles smoltifisering. Disse endringene forbereder den juvenile laksen for utvandring i sjø, eller overføring til et marint miljø (Hoar 1988). I naturen blir smoltifiseringsprosessen synkronisert og stimulert av en økning i daglengde, gitt at fisken har nådd en størrelsesterskel (i naturen rundt 10 cm, Thorstad m. fl. 2010). I oppdrettsnæringen brukes «smolt» som betegnelse for en settefisk som er klar for å settes ut i sjø, selv om den ikke nødvendigvis har gjennomgått smoltifiseringsprosessen og ikke bærer alle de karakteristikkene som er definert i det biologiske smoltbegrepet. Siden prosjektet er rettet mot oppdrettsnæringen, bruker vi i rapporten samme terminologien. Likeså bruker vi begrepet «smoltifiseringsprotokoller» for å beskrive metoder som brukes av settefiskprodusentene for å forberede laksen til et marint miljø.

Postsmoltstadiet er definert som den første perioden i det marine miljøet etter at laksen har gått igjennom smoltifiseringen og har utviklet sjøvannstoleranse. Gjerne de første 1-3 månedene. Ved produksjon av postsmolt overføres fisken til brakkvanns- eller sjøvannskar etter smoltifisering, uavhengig av størrelse, før den settes i merd i sjø.

I prosjektet har vi valgt å definere storsmolt som en smolt satt ut i sjø når den er over 250 g. Samme vektgrensen er brukt i Fiskeridirektoratets akvakulturstatistikk for settefiskproduksjon (Akvakulturstatistikk: settefiskproduksjon av laks, regnbueørret og ørret (fiskeridir.no)). En storsmolt kan komme direkte fra settefiskanlegg, eller fra et postsmoltanlegg.

2.2 Omfang og organisering

Prosjektgruppen har bestått av Nofima, NORCE, BDO og Åkerblå, og Fiskaaling og Avrik på Færøyene. Prosjektet har vært koordinert av Nofima og prosjektleder har vært seniorforsker Trine Ytrestøyl. Prosjektgruppen har bestått av følgende personer:

Nofima: Åsa Maria Espmark (seniorforsker, senterleder CtrlAQUA), Anja Striberny (forsker), René Alvestad (forsker), Lill-Heidi Johansen (forsker, leder for avdeling Forebyggende fiskehelse i CtrlAQUA), David Izquierdo-Gomez (forsker) og Jelena Kolarevic (professor ved UiT/delstilling i Nofima, leder for avdeling Teknologi og Miljø i CtrlAQUA)

NORCE: Tom Ole Nilsen (førsteamanuensis ved UiB/delstilling i NORCE, leder for avdeling Produksjon og Velferd i CtrlAQUA), Pradeep Lal (forsker) og Naouel Gharbi (forsker, medlem i CtrlAQUAs ledergruppe)

BDO: Merete G. Sandberg (senior manager rådgivning), Ellie Johansen (senior konsulent rådgivning), Vibeke Emilsen Wetterwald (senior manager rådgivning)

Åkerblå: Henriette Alne (Seniorkonsulent råd), Iris Jenssen (seniorkonsulent fiskehelse) og Jørund Larsen (daglig leder/ COO)

Fiskaaling: Heidi S. Mortensen (forsker)

Avrik AS: Rúni Dam

Referansegruppen har bestått av: Timo Rosche (Grieg Seafood), Trond Rosten (MOWI), Renate Johansen (Pharmaq Analytiq), Harald Takle (Cermaq Group)

3 Prosjektets formål og problemstilling

Det kan potensielt være en nyttig strategi å flytte en større del av produksjonstiden på land for å redusere avlusinger og risiko for sykdom og utnytte MTB mer optimalt. Men en lengre landfase medfører også høyere produksjonskostnader sammenlignet med å ha fisken i en åpen merd. Dersom fisken ikke vokser optimalt etter utsett eller har høyere dødelighet, så vil det medføre store tap for næringen. Det er derfor viktig å dokumentere erfaringer som er gjort med utsett av større smolt/settefisk og å evaluere hvilke produksjonsprotokoller som er best egnet for å oppnå god prestasjon i sjøfasen.

Prosjektet har hatt som hovedmål å kartlegge kunnskapsstatus om produksjon av stor laksesmolt ved å benytte både publisert og erfaringsbasert kunnskap for å kunne gi en anbefaling om beste praksis ved produksjon av en stor settefisk under ulike scenarier.

Prosjektet har hatt følgende delmål:

1. Kartlegge og beskrive dagens produksjonsregimer i lakseoppdrett i Norge og i andre relevante lakseproduserende land
2. Analysere årsaker og sammenhenger i ulike produksjonsstrategier ved hjelp av statistikkmodeller for behandling av større datasett og ved hjelp av kvalitative erfaringsdata
3. Vurdere resultater fra innsamlede data opp mot relevant publisert litteratur
4. Arrangere dialogmøter med og mellom næringsutøvere for å få innblikk i erfaringsbasert kunnskap og innspill på hva som er viktige momenter i beste praksis
5. Gi anbefalinger for beste praksis ved produksjon av storsmolt med tanke på god prestasjon i sjø-fasen
6. Utvikle læremateriell og spre kunnskap om beste praksis i produksjon av storsmolt til næringsaktører

3.1 Prosjektets leveranser (resultatmål)

Prosjektet har kartlagt og gir en beskrivelse av produksjonsprotokollene som er i bruk i laksenæringen i dag, både i Norge og i andre relevante lakseproduserende land. Basert på informasjon fra næringsaktører gjennom spørreundersøkelser og i intervju er det identifisert ulike produksjonsstrategier og scenarier som det ble jobbet videre med i dialogmøter med næringsaktører. En slik «case-basert» tilnærming har bidratt til at aktørene har kunnet kjenne seg igjen i problemstillingene og bidratt aktivt i prosessen slik at det gir grunnlag for å si noe om erfaringene fra næringen, og om bruk av storsmolt så langt svarer til forventningene om økt produksjonseffektivitet og reduserte luseutfordringer. Erfaringene fra dialogmøtene var at det var stort engasjement og gode diskusjoner, men også at det er behov for mer kunnskap på flere sentrale områder ved produksjon av storsmolt.

Prosjektet har samlet og analysert erfaringsbasert- og publisert kunnskap om storsmolt for å koble de ulike produksjonsprotokollene som er i bruk opp mot laksens biologiske og fysiologiske krav til omgivelsene, for å kunne gi en anbefaling om hva som er god praksis. Det er skrevet en oversiktsartikkel på engelsk som sammenfatter tilgjengelig kunnskap om storsmolt og setter det inn i en biologisk kontekst. Denne artikkelen vil bli publisert i et vitenskapelig fagfellelvurdert tidsskrift. Det er videre utviklet et e-læringskurs som kan tas direkte i bruk av næringsaktørene. Kurset skal være et verktøy for å bidra til kunnskapsoverføring og implementering av beste praksis i virksomhetene, noe som styrker næringsnytt av prosjektet.

Prosjektet har samlet og analysert data fra produksjon i sjø ved utsett av ulike smoltstørrelser. Datagrunnlaget fra Færøyene har vært omfattende, der er det samlet data fra den totale produksjonen i sjøfase over mange år og rapportert inn til en database som Avrik har tilgang til. For norsk produksjon

har det vært utfordrende å samle data fra sjøfase ved utsett av storsmolt. Det er flere grunner til at det er vanskelig å få tilgang på gode data. Det er foreløpig relativt få som produserer den største smolten i Norge, og det er derfor ikke mange produksjoner å hente data fra. Informasjon kan også være sensitiv selv om det anonymiseres. I tillegg er det stor variasjon blant de selskapene som produserer storsmolt i protokoller og betingelser som brukes i land-fasen. Dermed er det ikke mulig å konkludere på hva som er beste praksis med det datagrunnlaget som foreligger. I alt bidro to selskap med data som omfattet 17 matfiskanlegg. I alt 7 respondenter som produserte storsmolt svarte på spørreskjema om prestasjon hos storsmolt etter utsett i sjø.

4 Metodebeskrivelse og prosjektgjennomføring

Data fra Fiskeridirektoratet, sammen med spørreskjema og intervju med produsenter har dannet grunnlaget for å beskrive ulike produksjonsstrategier som brukes i næringa i dag. I tillegg til Norge er det samlet inn erfaringsdata fra lakseprodusenter i Canada, Chile, Skottland, Irland og Færøyene. Til sammen utgjør lakseproduksjonen i disse landene 95 % av den globale produksjonen (Iversen m fl. 2020). I alt var det 51 respondenter som besvarte spørreskjemaet. Et annet spørreskjema ble sendt ut til matfiskprodusentene for å samle inn erfaringer på prestasjon i sjø knyttet til utsett av storsmolt. Dette spørreskjemaet ble besvart av 20 respondenter, men bare ni av disse hadde erfaring med storsmolt. Det er mye erfaringsbasert kunnskap hos næringsaktører som er viktig å få med i en slik analyse. Intervju og dialogbaserte samlinger med næringsaktører ble gjennomført for å innhente deres erfaringer med produksjon av storsmolt.

Resultatene fra spørreundersøkelsen og intervju er satt i sammenheng med tilgjengelig kunnskap om laksens biologi og hvordan denne påvirkes av miljøet laksen lever i for å lage forklaringsmodeller for hvordan ulike produksjonsprotokoller som benyttes i dagens produksjon av storsmolt potensielt kan påvirke prestasjonen i sjøfasen.

Prosjektet har vært organisert i seks arbeidspakker.

Arbeidspakke 1: Kartlegging av dagens praksis og innsamling av erfaringsdata

Ansvarlig: Nofima

Formålet med denne arbeidspakken har vært å samle informasjon om produksjonsstrategier både i Norge og andre lakseproduserende land gjennom spørreundersøkelser, og å samle produksjonsdata og erfaringsdata fra industrien. Det er brukt data fra offentlige kilder som Fiskeridirektoratet til å beskrive produksjons- og utsett-mønster og fra offentlige kilder på Færøyene. Prosjektet har samlet eksisterende kunnskap og data om prestasjonen til fisken etter utsett i sjø og andre parametere i landfasen som vil ha betydning for produksjon av stor laksesmolt. Det er brukt informasjon fra oppdrettere i CtrlAQUA konsortiet og NCE Aquatech Cluster. Fiskaaling og Avrik AS har stått for innsamling av offentlige produksjonsdata fra Færøyene. Avrik AS har de siste 20 årene stått for innsamling av data fra lakseproduksjonen på Færøyene. Data som gjengis i denne rapporten er data som allerede har vært presentert i rapporter eller på konferanser, og er derfor offentlige.

Arbeidspakke 2: Analyse av produksjonsdata og erfaringsdata

Ansvarlig: Nofima

Data fra Fiskeridirektoratets biomasseregister ble innhentet og visualisert ved bruk av programbibliotekene Pandas, Seaborn, og matplotlib i Python. En spørreundersøkelse ble utformet og sendt ut gjennom e-post – et skjema ble utformet på norsk, engelsk og spansk og sendt ut til smoltprodusenter og et skjema ble utformet på norsk og engelsk og sendt ut til matfiskanlegg. Spørreundersøkelsens tiltenkte målgruppe var personell med nær kjennskap til produksjonen på de respektive anleggene, som for eksempel driftsledere. Kvalitative data fra spørreundersøkelsen ble innhentet gjennom Microsoft Forms, bearbeidet og systematisert i Microsoft Excel, og visualisert ved hjelp av Python-bibliotekene Pandas, Seaborn og matplotlib. En komplett liste over spørsmålene stilt i de to spørreskjemaene finnes i vedlegg 1 og vedlegg 2. Produksjonsdata fra oppdrettere ble innhentet for å evaluere virkningen av en større settefisk på sjøvannsprestasjon. Produksjonsdata fra sjølokaliteter, med fisk fra i alt 17 settefiskanlegg over hele landet, ble samlet inn og visualisert som boks-plott og kjernetetthets-plott. En generalisert additiv modell med settefiskanlegg som tilfeldig effekt ble forsøkt tilpasset ved hjelp av programpakken *mgcv* i R. Dødelighetsrate (%) etter 60 dager i sjø var responsvariabel og utsettvekt samt utsettdag (dag i året) per region (nord og sør) var

forklaringsvariabler. Utsettdag ble modellert som en syklisk ikke-lineær glattingsfunksjon (Eng. *cyclic cubic regression spline*). Modellen omfattet 290 produksjonssykluser og modellspesifikasjonen var:

$$\log(\text{dødelighetEtter60Dager}(\%)) \sim f(\text{utsettvekt}) + f(\text{utsettdag})\text{region} + \text{settefiskanlegg} + \varepsilon$$

Metodiske svakheter:

Spørreundersøkelsen ble besvart på anleggsnivå, ikke generasjons- eller produksjonssyklusnivå. Der produsentene, for eksempel, bruker ulike produksjonsstrategier på ulike produksjonssykluser, blir ikke detaljene eller variasjonen i dette fanget opp av undersøkelsen. For eksempel, var det mulig å krysse av for flere forskjellige smoltifiseringsprotokoller (bruk av lys, endring i salinitet eller transisjonsfôr). Hvis respondenter krysset av for flere forskjellige metoder er det uavklart om respondentene brukte en kombinasjon av flere metoder samtidig eller om respondentene brukte forskjellige metoder på forskjellige fiskegrupper. Der produsentene produserte både stor og liten fisk, ble det dermed vanskelig å skille på det som var særegent for produksjon av stor fisk. Videre ble forekomst av mulige helseutfordringer og sykdommer ikke alltid spesifikt etterspurt, for eksempel ble det ikke spesifikt spurt om nefrokalsinose. Årsaken til dette er at spørreskjemaet skulle være overkommelig med tanke på respondentenes tidsbruk. Et fraværende resultat (for eksempel i tilfellet nefrokalsinose) betyr derfor ikke nødvendigvis at det ikke er registrert mindre eller høyere forekomst av disse.

Produksjonsdataene var av begrenset omfang; det ble dermed ikke mulighet til utprøving av alternative modelleringsstrategier og modellering av andre responsvariabler.

Arbeidspakke 3: Kobling av relevant litteratur med erfaringsdata

Ansvarlig: NORCE

I denne arbeidspakken har resultatene fra arbeidspakke 1 og 2 blitt tolket med bakgrunn i en gjennomgang av tilgjengelig oppdatert litteratur, både rapporter og publisert materiale. De ulike protokollene og produksjonsstrategiene som er beskrevet i arbeidspakke 1 og resultatene av analysene i arbeidspakke 2 er satt i kontekst med relevant kunnskap om laksen fysiologiske krav og oppdatert litteratur på fagområdet, slik at bakenforliggende årsaker til de observerte effektene på prestasjon i sjø kan forklares. Dette vil også bidra til å identifisere risikofaktorer forbundet med intensiv produksjon av storsmolt og post-smolt som igjen kan bidra til å redusere uønskede følgetilstander som eksempelvis tidlig kjønnsmodning og nefrokalsinose.

Det ble gjennomført et grunnleggende litteratursøk i databasene ISI Web of Science, Scopus og Oria med fokus på temaene smoltifisering, prestasjon i sjø, helse og velferd, og produksjonsmiljø knyttet til storsmoltproduksjon. Resultatene fra litteratursøket ble så satt i sammenheng med erfaringsbasert kunnskap (arbeidspakke 1 & 2) for å evaluere hvorvidt dagens praksis samsvarer med vitenskapelig dokumentert kunnskap på laksens biologiske behov. Litteraturgjennomgangen ble også brukt for å identifisere mulige risikofaktorer og biologiske flaskehalser knyttet til storsmoltproduksjon og for å kartlegge eksisterende kunnskapshull. Resultatene ble oppsummert i en vitenskapelig oversiktsartikkel som skal sendes til tidsskriftet "Reviews in Aquaculture".

Arbeidspakke 4: Dialog med næringsutøvere

Ansvarlig: BDO/Åkerblå

I denne arbeidspakken ble det gjennomført intervjuer og dialogmøter med næringsaktører for å få innsikt i dagens produksjonspraksis for storsmolt, og samle innspill til hvordan en bedre kan praktisere produksjon av storsmolt. Det ble gjennomført intervjuer med åtte informanter som produserte stor

laksesmolt, og disse ble i hovedsak valgt ut basert på svar de hadde oppgitt i spørreundersøkelsen. Dette ble gjort for å sikre et representativt utvalg med informanter som hadde erfaring med ulike metoder for produksjon av stor laksesmolt. Gjennom dybdeintervjuene (se vedlegg 3) fikk man innhentet utfyllende erfaringsbasert kunnskap om den reelle produksjonspraksisen.

Videre ble det arrangert tre dialogmøter med ulike næringsaktører, i hovedsak settefiskprodusenter med erfaring fra storsmoltproduksjon, men også leverandører til havbruksnæringen deltok i disse møtene. Prosessrelaterte erfaringer BDO og Åkerblå har fra gjennomføring av slike dialoger i prosjektet "Biosikkerhet i norsk lakseoppdrett" ble benyttet (Larsen m. fl. 2020.). En av dialogsamlingene ble dedikert for utveksling av erfaringer fra Færøyene og ble innrettet i tett samarbeid med Fiskaaling og Avrik. I dialogmøtene ble funn i prosjektet presentert, og aktørene har aktivt deltatt med erfaringer og kunnskap gjennom ulike caseoppgaver (se vedlegg 4) og slik vært essensielle bidragsytere i prosjektets kartlegging og sammenstilling av beste praksis for produksjon av stor laksesmolt. Referansegruppen i prosjektet ble benyttet for å kvalitetssikre innfallsvinkler. Alle prosjektpartnere deltok i dialogsamlingene.

Intervju

Totalt ble åtte ulike næringsaktører som produserer stor laksesmolt intervjuet, og disse var i hovedsak representert av driftsledere og produksjonsledere. Seks av åtte informanter hadde erfaring fra RAS-anlegg, mens to jobbet med gjennomstrømningsanlegg. Tre anlegg, hvorav to av disse var gjennomstrømning, produserte storsmolt opp til 350 g. To anlegg produserte storsmolt opp til 550 g og de tre siste intervjuobjektene hadde erfaring med produksjon av storsmolt opptil 1 kg.

Hvert intervju ble gjennomført digitalt og ledet av to representanter fra BDO og/eller Åkerblå, og hvert intervju hadde en varighet på 30-60 minutter. Intervjuene ble ikke transkribert, men det ble skrevet omfattende referat. Intervjuene ble gjennomført som semistrukturerte intervjuer der spørsmålene ble utarbeidet basert på resultatene i spørreundersøkelsen. Følgende tema skulle beskrives:

- Dagens praksis på anlegget/anleggene, bakgrunnsinformasjon om teknologi og produksjonsforhold, størrelse på storsmolten som produseres.
- Smoltifiseringsprotokoll, hvilken metode som benyttes og hvilke faktorer avgjør valg av metode.
- Viktige produksjonsbetingelser på land ved produksjon av storsmolt. Fokus på vannkvalitet, grenseverdier, produksjonsintensivitet og eventuelle utfordringer med drift eller fiskevelferd.
- Prestasjon på sjø, viktige forutsetninger for en god overgang til sjø, utsettsmønster, og parametere for prestasjon i sjøfase.
- Overordnet beste praksis, hovedmotivasjon for denne typen produksjon, hvordan evaluere prestasjon ved storsmoltproduksjon og kunnskapshull i dagens produksjon.

Informasjonen fra intervjuene ble kategorisert ut fra tema og innhold, og dataene ble analysert og vurdert ut fra hva som var sammenfallende og hva som var beskrivende for de valgene som blir tatt i produksjonen. Der informantene var samstemte har dette blitt mest vektlagt i gjengivelsen av hva som er erfaringene fra oppdretterne. Enkeltutspill som skiller seg ut, er vurdert mer subjektivt og referert ut fra hvor relevante de anses for prosjektet basert på prosjektgruppens kunnskap til praksis i næringa innhentet gjennom prosjektets øvrige fase.

Metodiske svakheter:

Problemstillingene som er tatt opp i intervjudelen er til dels komplekse og sammensatte. Det er brukt intervjuere med god innsikt i næringa og de faglige problemstillingene for å sikre at de rette spørsmålene

for å belyse problemstillingene ble stilt og for å muliggjøre at intervjuer hadde tilstrekkelig kompetanse til å følge opp informantens resonnement med nye relevante spørsmål. En må likevel ta høyde for at relevante aspekter i noen grad er mangelfullt belyst.

En kan ikke utelukke at informantene er usikre i intervjusituasjonen og at dette bidrar til at beskrivelser av den reelle praksisen i næringa rasjonaliseres i noen grad, eksempelvis kan det være en fare for at egen produksjonsmetode fremstilles i et mer positivt lys enn andre metoder, uten at informant har inngående kunnskap om hvordan andre drifter. Dette er noe vi har tatt hensyn til i tolkning og diskusjon for at slutninger som blir tatt med bakgrunn i informasjon fra intervjudelen blir så valide som mulig.

Dialogmøter

Hensikt med dialogmøtene var å etablere en arena for å styrke vår innsikt i dagens storsmoltpraksis og hvilke problemstillinger næringsaktørene mente det var viktig å belyse, samt innhente innspill til hvilke faktorer som er viktig å fokusere på i fremtidig storsmoltproduksjon. I tillegg var det et mål i seg selv å engasjere, og gi næringa innsyn i prosjektet. Det er gjennomført totalt tre dialogmøter i perioden mai – september 2022. Det var fysisk møte i Trondheim 5. mai og Haugesund 6. september, samt et digitalt dialogmøte 29. september 2022 der sistnevnte hadde et ekstra fokus på Færøysk produksjon av storsmolt.

Invitasjon til de tre dialogmøtene ble sendt til adresselister fra utsendelse av spørreundersøkelse og intervjuer. Møtene ble også annonsert på FHF sin nettside, NCE Aquatech Cluster sin nettside og i flere andre fora, blant annet i Nofimas kanaler. Påmelding var åpen via nettbasert påmelding, og uten kostnader for deltagelse.

I møtene ble resultater fra spørreundersøkelsen og litteratur presentert, før det ble lagt til rette for workshop hvor ulike caser ble diskutert. Alle deltagere fikk bidra med sine erfaringer og innspill, og resultater ble presentert i plenum.

Tabell 1 Viser oversikt over antall deltagere ved de ulike dialogmøtene. (I det digitale dialogmøte var ikke alle som deltok på workshop).

Dialogmøte	Antall deltagere	Antall selskap
Trondheim	25	18
Haugesund	20	12
Digitalt	18	11

Det ble utformet ulike oppgaver til workshopene. Workshop 1 hadde hovedoppgave om produksjonsbetingelser ved storsmoltproduksjon med fokus på produksjonsstrategi og tiltak for en god overgang til sjø. Det ble lagt vekt på forskjeller mellom dagens praksis og de som de anså å være optimal praksis. Oppgave 2 hadde fokus på ulike metoder for smoltifisering eller sjøvannstilpasning. Hvilken protokoll/ protokoller fungerer best og hvilke forutsetninger er viktige å legge til grunn for at metoden skal fungere.

Workshop 2 hadde hovedoppgave om robust storsmolt og gode indikatorer for storsmolt-kvalitet. Deltagere ble utfordret til å bidra med viktige indikatorer for å måle kvalitet på storsmolt på land og på sjø. I oppgave 2 måtte gruppene fastsette grenseverdier ved produksjon av storsmolt på 300 g og 800 g og fastsette andre rammebetingelser som er bestemmende for valg i produksjonsplanlegging.

I workshop 3 ble det fokusert på å sammenligne produksjon av storsmolt basert på Færøymetoden sammenlignet med produksjonsmetoder som er mer benyttet i Norge. Det ble lagt særlig vekt på smoltifiseringsprotokoller. I oppgave 2 skulle deltagere drøfte og diskutere hvilke tiltak som kan iverksettes av ulike instanser for å sikre et kvalitetsløft innen storsmoltproduksjon.

Arbeidet som ble utarbeidet i dialogmøtene er oppsummert og sammenstilt per møte, og til slutt sammenfattet i ulike delkapitler under oppnådde resultater (kapittel 5). Møtene er oppsummert på kvalitativt grunnlag. Fellestrekk fra de ulike gruppene er vektlagt. Enkeltutspill som skiller seg ut, er vurdert mer subjektivt og referert ut fra hvor relevante de anses for prosjektet basert på prosjektgruppens kunnskap til praksis i næringa innhentet gjennom prosjektets øvrige faser.

Metodiske svakheter

I workshopdelen var det ikke mulig å styre deltakelse, og det var heller ikke forventet at dialogmøtene i seg selv ville gi oss et fullt ut reelt bilde av praksis, holdninger eller næringens meninger knyttet beste praksis ved storsmoltproduksjon. Det var utfordrende å finne gode oppgaver siden det er svært mange og forskjellige måter å produsere storsmolt på i dag. Vi avholdt møtene med intensjon om å gi næringsaktører innsikt i prosjektet, og videre å ta med oss innspill dersom det kom frem noe fra møtene som belyser problemstillingene i supplement til de øvrige delene av prosjektet. Resultatene fra disse møtene vil kunne variere i stor grad med bakgrunn i roller, erfaring og kunnskap til de oppmøtte. Dette er viktig å ha med når data fra møtene analyseres.

Arbeidspakke 5: Anbefalinger om beste praksis og videre forskningsbehov

Ansvarlig: Nofima/NORCE

Prestasjon i sjø vil være avhengig av miljøet fisken møter ved utsett med tanke på temperatur og fotoperiode, lusepåslag og patogener. Dermed vil også beste praksis variere mellom lokaliteter og aktører og det vil ikke være mulig å definere én beste praksis som fungerer under alle forhold. Målet i denne arbeidspakken var å identifisere de mest optimale produksjonsstrategiene for storsmolt for *ulike* scenarier med tanke på årstid, breddegrad, lusebelastning og eventuelt andre faktorer som viser seg å være av betydning. Leveransen fra denne arbeidspakken var opprinnelig tenkt å bestå av en samling av beste praksis beskrivelser utformet slik at de kan tas i bruk av næringen. Men som beskrevet i avsnitt 3 (Leveranser) viste dette seg vanskelig å få gjennomført. Et annet viktig mål i denne arbeidspakken var å avdekke områder hvor det er manglende kunnskap, både i litteraturen og i praktisk oppdrett. Det er gjort en grundig gjennomgang av eksisterende litteratur og dagens produksjonsprotokoller er vurdert opp mot den kunnskap man i dag har om stor laksesmolt og laksens fysiologiske krav.

Arbeidspakke 6: Formidling gjennom e- kurs, webinar og publisering

Ansvarlig: BDO

Den primære målgruppen for e-læringskurset vil være næringsaktører som driver med storsmoltproduksjon, mer spesifikt personer på drifts- og mellomledernivå. I tillegg vil målgruppen være myndigheter og forvaltning samt kunnskaps- og forskningsmiljøer og leverandørnæring. For å nå ut til målgruppen har prosjektet utviklet og gjennomført følgende formidlingsaktiviteter:

- Utviklet et e-læringskurs rettet mot næringsaktører for å gi en «Beste Praksis» for storsmoltproduksjon. Kurset retter fokus på produksjon av storsmolt i Norge og på Færøyene, og gir et samlet kunnskapsgrunnlag for de ulike praksisene som benyttes i næringen.
- Formidling i form av populærvitenskapelige artikler i praktisk rettede akvakulturjournaler.
- Foredrag på relevante næringskonferanser.

- Kortere nyhetssaker i bransjenettsider og SoMe.
- Arrangere et webinar for formidling av prosjekresultater i samarbeid med NCE Aquatech Cluster (23.05 2023).

Utvikling av e-læringskurs

For å nå målgruppen av aktive næringsaktører så raskt som mulig, er kunnskapen fra prosjekt omsatt til et digitalt og interaktivt e-læringskurs for næringsaktørene. Kurset er utviklet basert på funn fra arbeidspakkene og innspill fra workshops basert på Backward Course Design modellen (Wiggins og McTighe, 2005), hvor læringsmålene har vært førende for innholdet i kurset. Personell fra BDO og Åkerblå med erfaring fra utvikling av e-læringskurs har bidratt i utvikling av kurset. E-læringskurset er tilgjengelig vederlagsfritt gjennom Åkerblås «Akademiet», en etablert e-læringsplattform for kurs og kunnskapsformidling. NCE Aquatech Cluster og CtrlAQUA vil også bidra til spredning i næringen. Kurset består av generell kunnskap og forståelse for anbefalt beste praksis gjennom skriftlig materiell og bilder. Kurset vil følges av et forslag til «instruks» for implementering, en veileder for hvordan man gjennomfører kurset i kombinasjon med grupperefleksjon og diskusjon i bedriftene. En slik tilnærming mener vi vil styrke læringseffekten - ved å kombinere digitale og analoge læringsmetoder oppnår man bedre læring (Krokan 2020). Målet med e-læringsmetodikken er å skape interaktiv opplæring som når operativt driftspersonell og kan gjennomføres når man har tid og kapasitet.

Åkerblå og BDO har hatt hovedansvaret for utvikling av e-læringskurs, mens alle partnere har deltatt i de andre formidlingsaktivitetene.

5 Oppnådde resultater

5.1 Størrelse ved utsett i sjø, historisk utvikling

5.1.1 Utvikling i smoltproduksjon i Norge

Størrelsen på oppdrettet laks satt ut i sjø har tradisjonelt vært betinget av vannmiljøet i settefiskanlegget, især temperaturen til inntaksvannet, gitt likt tidspunkt for rogninnlegg og valg av produksjonsstrategi. Tidspunkt for sjøsetting ble frem til 1990-tallet i stor grad diktert av naturlige svingninger i lys og temperatur som igjen regulerte både vekst og synkronisering av smoltifiseringsprosessen. Normalt ble fisken da sjøsatt sent på vårparten, enten som ettårig eller toårig smolt avhengig av om den hadde oppnådd en tilstrekkelig størrelse til å smoltifisere (Gjedrem, 1986). På 1990-tallet ble det vanlig med kunstig lysstyring for å stimulere de fysiologiske prosessene som regulerer smoltifisering og kjønnsmodning. Dette medførte et potensiale for mer årstidsuavhengig produksjon av både rogn og smolt, og muliggjorde en tidsmessig forskyvning og komprimering av smoltproduksjonen. I kjølvannet av dette ble det stadig vanligere å produsere nullårig smolt, sjøsatt rundt september måned, i kombinasjon med ettårig smolt (Hansen, 1998).

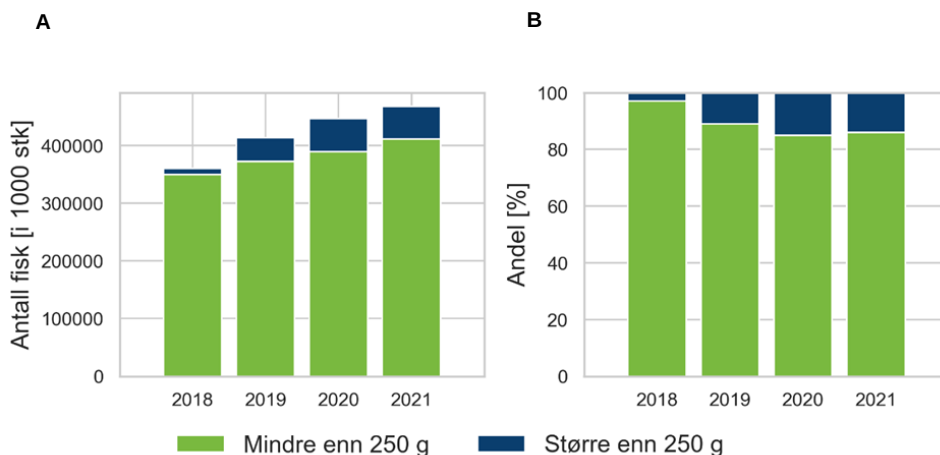
Det finnes lite data som indikerer utviklingen i smoltvekt frem til 2010. Ulike rapporter indikerer et stort spenn i vekt, for eksempel fra 30 til 138 g i Norge midt på 1970-tallet (Sutterlin og Merrill, 1978). En senere undersøkelse indikerte at gjennomsnittsvekten for nullårig høstsmolt varierte mellom 40 og 120 g, med et gjennomsnitt på 74 g, og for ettårig vårmsolt mellom 47 og 165 g, med et gjennomsnitt på 95 g, mellom årene 1999 og 2006. I denne perioden ble høstsmolten satt ut mellom uke 33 og 47, mens vårmsolten ble satt ut mellom uke 10 og 27 (Rosten m. fl. 2007).

Genetisk seleksjon, med vekst som sentralt avlsmål, og endringer i den tekniske og ernæringsmessige kvaliteten til føret har bidratt til en viss økning i oppnåelig individvekt til smolt innenfor de tradisjonelle produksjonstekniske rammene. Det er dog endringer i den tekniske utformingen og enhetsprosessene til settefiskanleggene som har muliggjort og vært en primær driver for økning i settefisksstørrelse over 250 g og en mer årstidsuavhengig produksjon. Fra midten av 2000-tallet ble det investert i stadig flere, større, og teknologisk mer sofistikerte settefiskanlegg med resirkulering av vann. Fordelen med resirkulering av vannet, foruten et redusert forbruk av inntaksvann per produsert biomasse, er at varmeenergien i vannet i stor grad konserveres sammen med vannet. Dette gjør at man kan holde en stabilt høy vanntemperatur og dermed også tilvekst på fisken gjennom året. Størrelsen på fiskekarene økte også i denne perioden (f.eks. Summerfelt m. fl. 2016), noe som også har bidratt til å skape rom for produksjon av større settefisk.

Fra 2001 fordret lovverket at individvekten til settefisk ikke kunne overstige 250 g (FOR-2000-12-20-1397, FOR-2004-12-22-1785, FOR-2008-06-17-822). Denne vektbegrensningen på settefisk ble innført da matfiskproduksjonen av laks var begrenset av fôrkvoter (FOR-1996-02-29-223). Ettersom settefiskproduksjonen ikke var underlagt fôrkvoteordningen, ble vektbegrensningen et verktøy for å hindre at lakseprodusentene omgikk fôrkvotene ved å holde fisken lenger på land. Fôrkvoteordningen ble avviklet ved utgangen av 2005, men vektbegrensningen levde videre som en anakronisme frem til en dispensasjonsordning for produksjon av settefisk opp til 1000 g ble innført i 2012. Blant den opprinnelige motivasjonen for dette, som også ble belyst under høringsprosessen, var at forlenget oppholdstid på land kunne redusere tiden fisken tilbringer i sjø og dertil omgå noe av problematikken knyttet til lus og sykdom, samt rømming. Fordeler knyttet til bedret utnyttelse av maksimal tillatt biomasse ble også nevnt (Fiskeridirektoratet/Fiskeri- og kystdepartementet, 18.01.2011, høringsvar HI). Vektbegrensningen ble i sin helhet endelig opphevet i 2016.

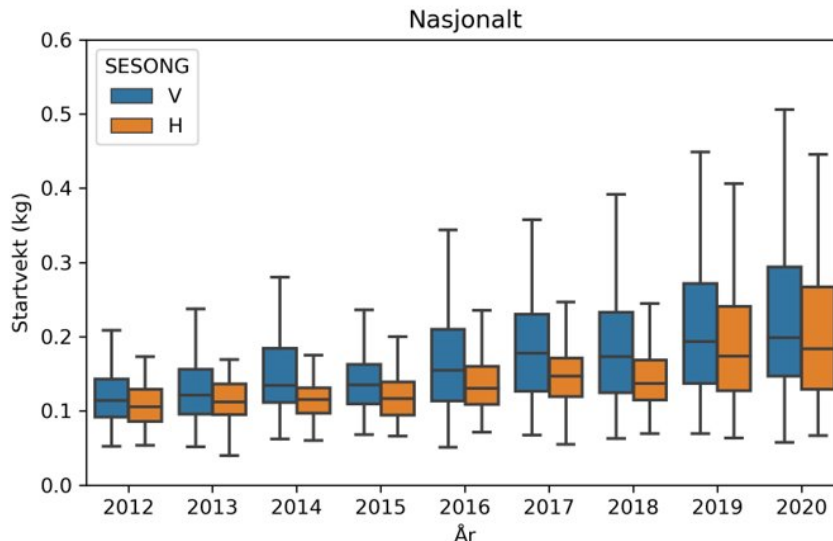
Innen dispensasjonsordningen ble opphevet hadde 22 selskap søkt om dispensasjon til å produsere fisk over 250 g, og 14 av disse hadde rukket å få søknaden innvilget (Grindheim, 2016). Likevel var det

få som på søknadstidspunktet hadde infrastruktur til å produsere større fisk (Blaalid, 2018). Siden 2018 har Fiskeridirektoratet publisert andelen settefisk som er under eller over 250 g som del av sin årlige rapportering av statistikk for akvakultur. Antall selskaper som oppga å produsere smolt større enn 250 g var 15 i 2018 og 27 i 2019. Likeledes økte andelen smolt over 250 g fra 3 % i 2018 til rundt 17 % i 2020 (Figur 1). Det å produsere settefisk over 250 g er dermed et nytt foretak i Norge, men har raskt økt i omfang.



Figur 1 Antall smolt mindre og større enn 250 g (A) og andel storsmolt (B) solgt i Norge fra 2018-2021. Kilde rådata: Fiskeridirektoratet.

Det er en tendens til at det settes ut større fisk på våren enn på høsten, men det er store variasjoner (Figur 2).



Figur 2 Smoltstørrelse ved vår- (blått) og høstutsett (oransje) i Norge. Kilde rådata: Fiskeridirektoratets biomasseregister. (<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Settefiskproduksjon>)

Det er regionale forskjeller i størrelse ved utsett, det er en større andel av storsmolt spesielt i Rogaland, men også Vestland og Møre og Romsdal har et større innslag av storsmolt enn øvrige fylker (Figur 3).



Figur 3 Antall smolt mindre og større enn 250 g solgt i ulike fylker i Norge i perioden 2018-2021. Kilde rådata: Fiskeridirektoratet.

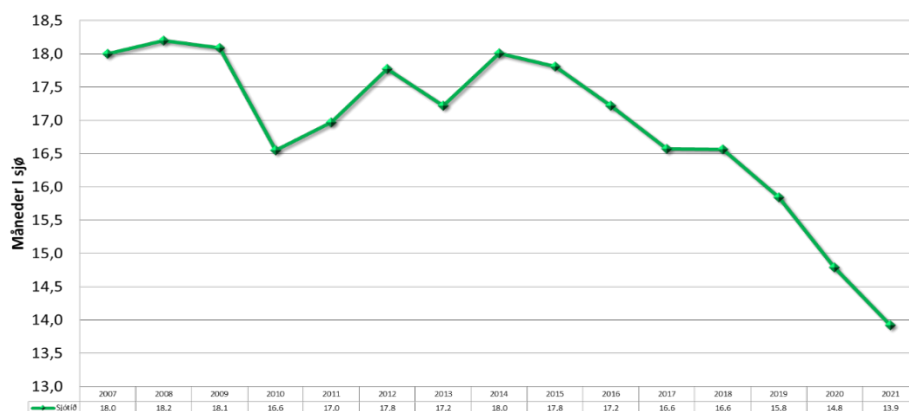
5.1.2 Utvikling i smoltproduksjon på Færøyene

På Færøyene har man de siste 10 årene redusert produksjonstiden i sjø fra ca. 18 måneder til under 14 måneder i gjennomsnitt (Figur 4A), hovedsakelig for å unngå problemer med lakselus. Den totale produksjonstiden fra rogn til slakt er likevel den samme, ettersom produksjonstiden i anlegg på land er økt med 4 måneder i gjennomsnitt. Som en konsekvens er smoltstørrelsen ved utsett i sjø økt, særlig fra 2010 (Figur 4B). Frem til 2002 var gjennomsnittsvekten på ca. 50 g ved utsett, og i 2010 var dette økt til ca. 100-140 g. Fra 2011 ble man mer målrettet med å flytte produksjonen på land, og i 2021 var gjennomsnittsvekt ved utsett 425 g. I dag ligger nesten 60 % av utsettene mellom 250-500 g, og ca. 30 % er over 500 g. Kun om lag 10 % av utsettene er under 250 g, og siden 2018 har man ikke satt ut smolt under 100 g (Figur 4C). Fisken settes ut året rundt, med en overvekt i april/mai og i oktober.

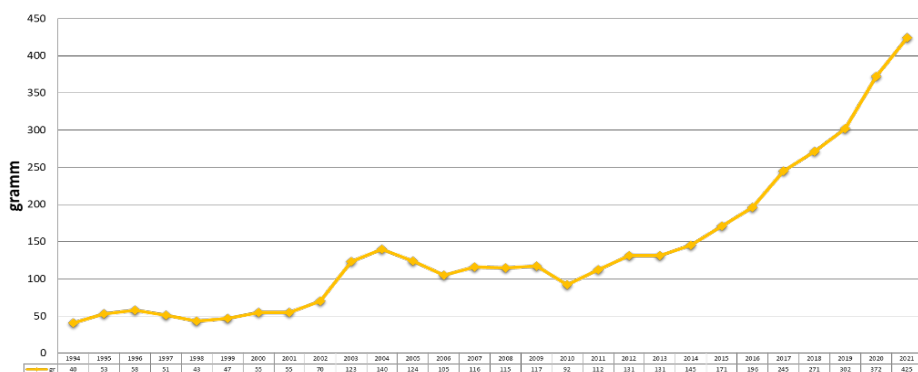
Årsaken til at man på Færøyene begynte å holde fisken lenger på land skyldtes en tilfeldig hendelse og var ikke basert på vitenskapelig forskning. I 2004 besluttet et selskap å holde laksen på land 1 år lenger enn planlagt som følge av stort smittetrykk og økt risiko for dødelighet av infeksiøs lakseanemi (ILA) i

sjø. Selskapet hadde derfor problemer med å få finansiering. Tolv måneder senere ble fisken satt ut ved 350 g, og oppnådde et av de beste biologiske resultat registrert i sjøfasen (Jacobsen, 2020).

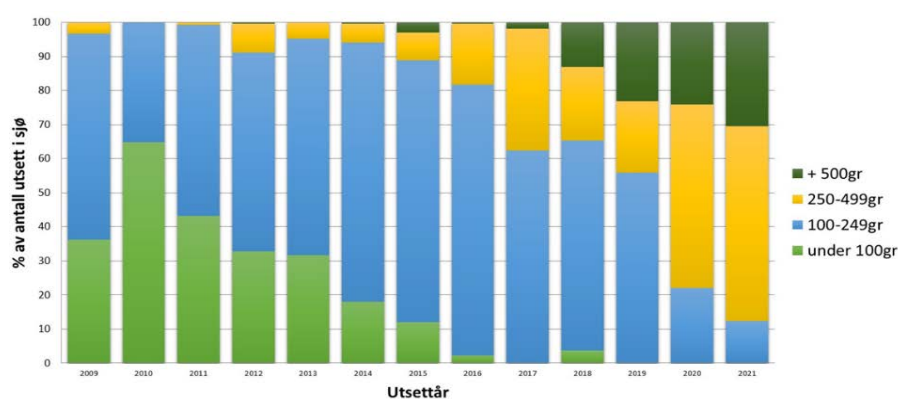
A)



B)



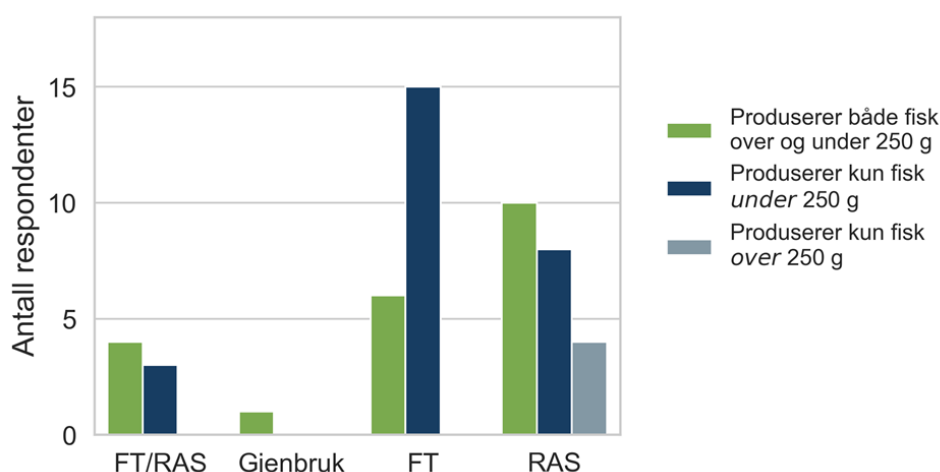
C)



Figur 4 A) Produksjonstid i sjø på Færøyene fra 2007 til 2021, B) Gjennomsnittlig størrelse ved utsett i sjø på Færøyene fra 1994 til 2021. C) Fordeling av ulike størrelser ved utsett i sjø på Færøyene (som % av totalt antall satt ut) fra 2009 til 2021.

5.2 Produksjonsstrategier ved produksjon av storsmolt

I Norge var det i 2017 20 av 68 settefisksselskap som produserte smolt i resirkuleringsanlegg (RAS) (Jakobsen og Holsvik 2019). Majoriteten av storsmolt blir produsert i RAS-anlegg, enten ved at hele produksjon foregår i RAS-avdelinger, eller at den/de siste delene av produksjon er i RAS (Figur 5). Det krever store energi- og vannressurser å produsere stor fisk på land, men til tross for et økt behov for vann og energi og dermed økte produksjonskostnader, viser en studie fra 2020 at landbasert storsmoltproduksjon kan være lønnsomt i områder med høyt lusepress i sjø (Bjørndal og Tusvik 2020). Spørreundersøkelsen viste at over 65 % av de som produserer storsmolt bruker RAS teknologi (Figur 4). Det er imidlertid forskjeller mellom ulike land, på Færøyene produseres all stor smolt i RAS pga. mangel på ferskvannsressurser. Det var ingen respondenter fra Chile, Canada, Skottland og Irland som produserte utelukkende storsmolt, og bare få som anga å produsere både fisk over og under 250 g. Erfaringer fra post-smolt produksjon i Chile er svært begrenset siden det første post-smolt anlegget først ble satt i drift i februar 2022 (<https://www.rastechmagazine.com/chiles-first-post-smolt-facility/>). De fleste respondentene fra Chile produserer smolt i RAS-system. Blant respondentene fra Skottland Canada og Irland produserte tre av fire i RAS. Også i Skottland er post-smolt-satsingen fortsatt i startfasen ([https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/mowi-scotland-plans-new-post-smolt-site](https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/mowi-scotland-plans-new-post-smolt-site;); <https://thefishsite.com/articles/scotland-greenlights-5-million-for-post-smolt-innovation-project>).



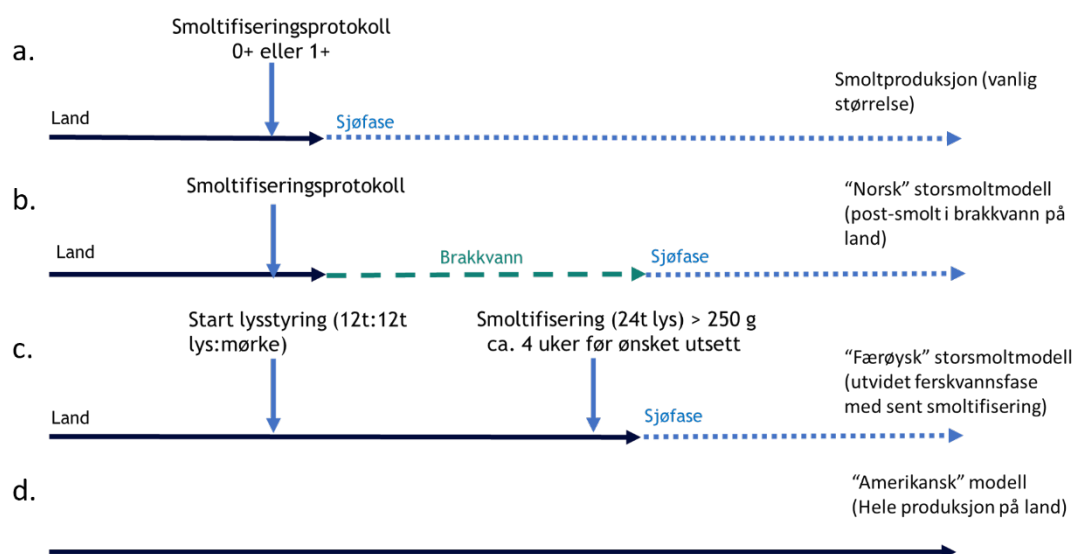
Figur 5 Representasjon av forskjellige produksjonssystemer blant smoltprodusentene som responderte på spørreundersøkelse (n = 51). FT = gjennomstrømningsanlegg, RAS = resirkuleringsanlegg, FT/RAS = Kombinasjon av gjennomstrømningsanlegg og resirkuleringsanlegg.

Basert på spørreundersøkelse og produksjonsstrategier dokumentert i litteratur, identifiserte vi fire hovedlinjer på hvordan smolt produseres i dag. Tradisjonell smoltproduksjon (Figur 6A) omfatter en periode på land som varer mellom 7 og 16 måneder (tilsvarende «0+» og «1+» smolt), etterfulgt av en lengre tilvekstperiode i sjø til fisken har nådd slaktevekt. Den «norske» storsmoltmodellen (Figur 6B) er en modifikasjon av den tradisjonelle produksjonssyklusen. Første fasen likner den tradisjonelle smoltproduksjonen. Smoltifiseringsprotokoller som er i bruk er varierende og omfatter bruk av lysstyring, føring med spesialfôr og økning av saliniteten, og de brukes alene eller i kombinasjon for å sjøvannstilpasse fisken. Når fisken er ferdig smoltifisert settes den ikke direkte i sjø, men flyttes i stedet til en post-smolt avdeling på land, hvor den tilbringer de første månedene etter smoltifiseringen. Under post-smolt fasen vokser laksen fra ca. 250 g til inntil 1000 g og settes ut i sjø etter ønsket størrelse og behov.

Siden fisken sjøsettes etter post-smolt perioden er det viktig at fiskens sjøvannsdyktighet opprettholdes i post-smolt anlegg. Produksjonen skjer derfor ofte i lukkede RAS-systemer på land med bruk av

brakkvann. Post-smolt produksjon på land har potensiale for å korte ned tiden i sjø fra 19 til 14 måneder (Bjørndal og Tusvik 2019).

På Færøyene (Figur 6C) produseres storsmolt ved å forlenge smoltproduksjonen på land til ønsket smoltstørrelse. Det gjøres ved å redusere daglengde til 12 t lys: 12 t mørke etter at fisken begynner å vise tegn på smoltifisering (ved ca. 50 g). Lysregimet med kort fotoperiode anvendes så til ca. fire uker før ønsket utsett, når fotoperiode økes til 24 t lys for å igangsette smoltifiseringen. Når den går på 24 t lys ligger temperaturen mellom 6-10 °C, som tilsvarer ca. 200-400 dgr. Denne produksjonsstrategien har gjort det mulig å korte ned vekstfasen i sjø med 4-8 måneder. I den siste produksjonsmodellen (Figur 6D), produseres laksen frem til slakt i lukkede system på land. Den er typisk for, men ikke begrenset til, lakseproduksjon i Nord-Amerika. Selv om fisken ikke blir satt ut i sjø, brukes det ofte en lysstyringsprotokoll for å indukere smoltifisering med mål om å forhindre tidlig kjønnsmodning.

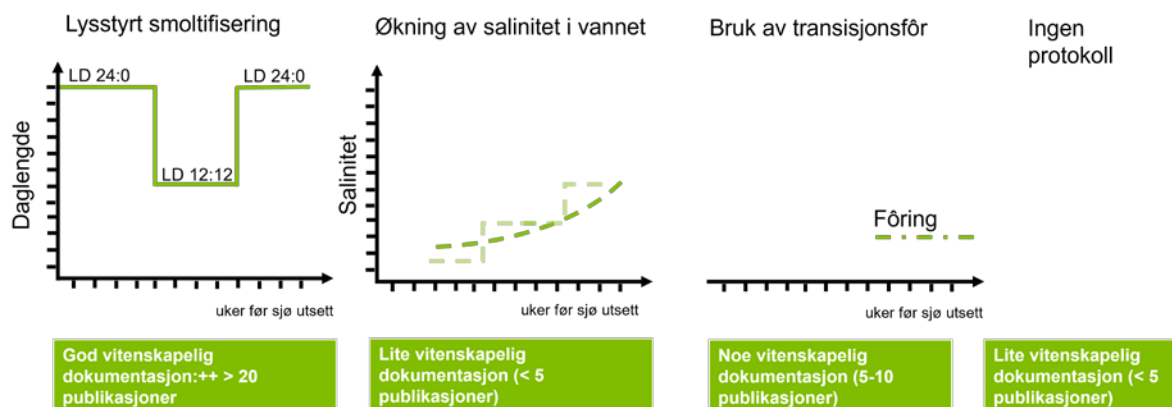


Figur 6 Oversikt over hovedlinjer for smoltproduksjonsstrategier. Selv om de forskjellige storsmoltproduksjonsmodellene vist i figuren er karakteristiske for Norge, Færøyene og Nord-Amerika, er de ikke begrenset til disse områdene. Det er en stor variasjon på viktige innsatsfaktorer (f.eks. produksjonssystem, temperatur, tidsaspekter, bruk av forskjellige smoltifiseringsprotokoller, eller ingen bruk av protokoll for smoltifisering) innenfor disse modellene.

5.2.1 Sjøvannstilpasning hos storsmolt

En oversikt over de fire vanligste smoltifiseringsmetodene beskrevet i litteraturen er presentert i Figur 7. Mens effekten av lysstyring på smoltifisering er vel dokumentert, er det bare få tilgjengelige studier som har dokumentert effekten av gradvis økning av salinitet, bruk av smoltifiseringsfôr og det som ofte refereres til som utvikling av enkelte egenskaper forbundet med smoltifisering under konstante miljøbetingelser (dvs ingen bruk av smoltifiseringsprotokoll). Videre har de fleste vitenskapelige studier med fokus på smoltifisering gjennomført forsøk med fisk som var mindre enn 250 g ved utsett og de fleste av smoltifiseringsforsøkene er gjennomført i gjennomstrømningsanlegg (FT). Ett unntak er en studie av Ytrestøl m. fl. (2022) som satte ut fisk i sjø ved 250 og 600 g som enten hadde fått et 6 ukers vintersignal eller som hadde fått 24 t lys i RAS. Fisken gikk i sjø til den nådde slaktestørrelse, og fisken som fikk 24 t lys i RAS var større ved slakt, selv om veksthastighet i sjøfasen (TGC) var litt lavere sammenlignet med fisk som var lysstyrt i RAS. Det var ingen forskjeller mellom gruppene i dødelighet. Fisk som ble satt ut på 600 g hadde imidlertid lavere vekst enn fisk satt ut ved 250 g. Det er noen få studier som har sammenlignet effekt av produksjonssystemet (RAS versus FT) på smoltifisering

(smoltstørrelse < 250 g). Resultater fra en tidligere studie indikerer at smoltutvikling og prestasjon i sjø av smolt produsert i RAS og FT er sammenlignbare (Kolarevic m. fl. 2014). En studie fra Tasmania viste derimot at smoltifisering og sjøvannstilpasning kan være påvirket av produksjonssystemer (van Rijn m. fl. 2020). Her ble det funnet at smolt produsert i FT hadde bedre vekst etter overføring til sjø. Basert på svakheter i forsøksdesignet brukt i denne studien (forskjeller i temperatur og forskjellig antall døgngrader for smoltifisering), er det imidlertid ikke mulig å konkludere med at produksjonssystemet var eneste forklaringen på den observerte prestasjonsforskjellen.



Figur 7 Oversikt over metodene som er i bruk for å smoltifisere eller sjøvannstilpasse settefisk og grad av vitenskapelig dokumentasjon som viser en positiv effekt

Lysstyrt smoltifisering

Det finnes en lang rekke av vitenskapelige publikasjoner som beskriver mekanismene ved lysstyrt smoltifisering (McCormick, 2012). Bruk av et såkalt firkant-lysregime, en periode med en kort daglengde (vanlig regime er 12 t lys:12 t mørke) fulgt av en periode med 24 t lys, er basert på laksens biologi i sitt naturlige miljø og har gjort det mulig å produsere smolt utenfor sesongen, året rundt (Handeland og Stefansson, 2001). I naturen er det den økende daglengden om våren som igangsetter en bølge av hormonutslipp som stimulerer og synkroniserer morfologiske, fysiologiske og adferdsmessige endringer som forbereder laksen på et liv i sjøen. Viktige hormoner involvert i smoltifisering er veksthormon, insulin liknende vekstfaktor 1 og adrenokortikotropt hormon, og kortisol (McCormick, 2012). Bare lakseparr som har nådd en kritisk størrelse (ca. 10-12 cm) responderer på økningen i daglengde med smoltifisering (McCormick m. fl. 2007). I villaks påvirker smoltstørrelse og veksthastighet alder ved smoltifisering; det er funnet at raskt voksende parr smoltifiserer tidligere (Økland m. fl. 1993). Det er sannsynlig, men ikke testet, at flere generasjoner med avl og seleksjon på høy tilvekst (Gjedrem, 2010) har fremskyndet tidspunktet for smoltutvikling i oppdrettslaks. Kunnskap om den nedre størrelsesgrensen for smoltifisering har først og fremst betydning for produksjonen av smolt før den overføres til et post-smolt anlegg. I en nylig gjennomført studie ble det vist at asynkron smoltutvikling er mer problematisk i grupper med lysstyrte 1+ enn i 0+ smolt (Khaw m. fl. 2021). Sett i sammenheng indikerer disse forskningsresultatene at det er fordelaktig med tidlig lysstyring for å unngå en mulig asynkron spontan smoltutvikling. I fiskehelserapporten er det nevnt at prosessene «desmoltifisering» og «resmoltifisering» er problematiske for fiskevelferd og prestasjon i sjø (Sommerset m. fl. 2021), men de underliggende fysiologiske mekanismene er fremdeles lite kartlagt. I ett forsøk hvor laks ble gitt et 6 ukers vintersignal fra enten 50 eller 120 g, eller et langt vintersignal (16 uker) fra 120 g, før den fikk 4 uker med 24 t lys før utsett. I perioden med 24 t lys ble fisken enten eksponert for ferskvann eller 12 ppt. Fisken gikk i kar med sjøvann i 12 uker med fotoperiode og temperatur som simulerte enten høst (fallende daglengde, 12 °C) eller vår (økende daglengde, 6 °C) ved ulik størrelse (ca. 160, 320 og 850 g). Med unntak av fisk satt ut ved ca. 160 g på vår-forhold, hadde et 6 ukers vintersignal i RAS gitt fra 50 g en positiv effekt på TGC i sjøvann både under forhold som simulerte vår og høst (Annual Report

CtrlAQUA 2021). Imidlertid var fisken som gikk på 24 t lys i RAS størst etter 12 uker i sjøvann, ved utsett på 160 og 320 g, mens ved utsett ved 850 g var det fisk som hadde fått et tidlig eller sent vintersignal 6 ukers vintersignal + brakkevann i RAS som var størst etter 12 uker i sjøvann, både ved vår og høst. Det kunne ikke påvises en positiv effekt av å bruke 12 ppt i RAS før utsett av den minste fisken (Annual Report CtrlAQUA 2021). Dette kan indikere at større smolt har behov for brakkevann for å opprettholde sjøvannstilpasning. Men det trengs et bedre kunnskapsgrunnlag på dette forskningsfeltet for å kunne gi anbefalinger om optimal bruk av lysstyring og eventuelt i kombinasjon med salinitet i postsmoltfasen.

På Færøyene avviker lysregimet betydelig fra det som er vanlig og vitenskapelig dokumentert for 0+ og 1+ smoltproduksjon, ved at perioden med kort dag er mye lengre og endringen til kontinuerlig lys skjer når fisken er betydelig større enn det som har vært vanlig for en smolt. Studier som ble gjennomført på 90-tallet viser at det er nødvendig å gi kort dag i minimum 6-7 uker slik at fisken responderer på langdagsregimet i etterkant (Duncan og Bromage, 1998, Sigholt m. fl. 1995). Det finnes derimot ingen studier som har undersøkt om det finnes en maksimal lengde for perioden med kort dag og om det er en mulig interaksjon med temperatur. I et pionerarbeid gjennomført av Eriksson og Lundqvist tidlig på 1980-tallet ble det funnet at Atlantisk laks viser fritt løpende rytmer i utvikling av noen smoltkarakteristikk (kondisjonsfaktor og sølvfarging) når den ble holdt ved konstant temperatur (11 °C) og en fotoperiode med 12t lys:12 t mørke (Eriksson og Lundqvist, 1982). Det kan ikke utelukkes at laksen, etter å ha vært på LD 12:12 over et lengre tidsrom, vil begynne å utvikle enkelte egenskaper forbundet med smoltifisering.

Den optimale lengden av lysstyring er direkte knyttet til temperaturen som kontrollerer hastigheten av smoltutviklingen (McCormick m. fl. 2002). Smoltifiseringen er vanligvis komplett etter rundt 350 døgngrader med et langdags signal (Handeland m. fl. 2008). Den nedre temperaturgrensen for smoltifisering ligger rundt 2 °C (McCormick og Moriyama, 2000). Studier har vist at høy temperatur kan fremskynde og begrense (Martinez m. fl. 2023) smoltutviklingen og fremskynde tap av smoltkarakteristikk (Handeland m. fl. 2004), som NKA aktivitet i gjellene. En utfordring med lysstyring har vært tidlig kjønnsmodning som respons på 24 timers kontinuerlig lys (Fjelldal m. fl. 2018). En ny studie har imidlertid vist at tidlig kjønnsmodning kan bli signifikant redusert ved å bruke et langdagsregime som inkluderer 3 til 6 timer med mørke (Fraser m. fl. 2023).

Økning av salinitet i vannet

Det finnes bare noen få studier som har undersøkt prestasjon i sjø hos laks som bare ble sjøvannstilpasset med endring av salinitet uten at en smoltifiseringsprosess ble igangsatt i settefiskfasen. Atlantisk laks har en relativ bred toleranse i forhold til salinitet. Videre øker kapasiteten til å opprettholde ionebalansen i saltvann med størrelsen siden dette er relatert til overflate-volum forhold av fisken, og jo mindre overflaten blir i forhold til volum, jo enklere blir det å opprettholde ionebalansen (Parry 1960). I en tidligere studie gjennomført av Bjerknes m. fl. (1992) ble sjøvannsakklimering i høstsmolt (under en simulert naturlig fotoperiode) sammenlignet mellom juvenil ni måneder gammel laks i fire forskjellige størrelsesgrupper (1) 6,1-9,3 cm, (2) 9,5-15,3 cm, (3) 14-16,2 cm, (4) 16-20,3 cm. Salinitet ble økt stegvis (4-10 ppt over fire dager) fra 0 ppt til 33 ppt. Ingen dødelighet ble registrert i gruppe 1 før 15 ppt ble overskredet. Deretter økte den kumulative dødeligheten i denne gruppen til 82 %. Ingen dødelighet som følge av salinitetsakklimering ble registrert i gruppe 3 og 4 og fiskens evne til å håndtere en 96 timers sjøvannstest økte over akklimeringsperioden i gruppe 2-4. I samme studien ble også gjelle NKA aktivitet målt, og aktiviteten begynte først å øke ved salinitet >15 ppt. En begrensning med Bjerknes m. fl. (1992) sin studie er at fisken ikke ble fulgt over lengre tid i sjø, så selv om de største gruppene viste en god kapasitet for hypoosmoregulering i fullt sjøvann ble ytelsen i sjø ikke studert over lengre tid. Liknende resultater ble funnet i en studie av Duston (1994) hvor en gruppe av parr (26 g) og smolt (36 g) ble utsatt for enten 0, 10, 20 eller 31 ppt. Ingen dødelighet ble funnet i smoltgruppen, uavhengig av salinitet. Smolt som ble utsatt for 20 eller 31 ppt viste en temporær

reduksjon i vekst, men etter hvert var det ingen signifikante forskjeller i vekt mellom de forskjellige salinitetsgruppene. Duston og Knox (1992) fant at kombinasjonen av økning i daglengde og gradvis økning i salinitet stimulerer gjelle NKA aktivitet og en utvikling av sjøvannstoleranse. I en studie fra Handeland og Stefansson (2002) ble det derimot ikke funnet positive effekter av å kombinere lysstyring med en økning av salinitet (6 ppt, 13,1 ppt, 20,2 ppt). Tvert imot var vekstraten i brakkvannsgruppene lavere under smoltifisering og vekt var signifikant lavere etter tre måneder i sjø. Alle de nevnte studiene er gjennomført med liten smolt (< 100 g ved overføring til sjøvann). Om sjøvannsakklimering har en annen effekt på større smolt og mulige kort- og langsiktige konsekvenser på helse og velferd er lite undersøkt. I en studie ble laks holdt på ferskvann eller brakkvann (12 ppt) i RAS og satt ut i sjø ved ca. 200 og 600 g uten at de ble gitt et vintersignal til å indusere smoltifisering (Ytrestøyl m. fl. 2022). En kontrollgruppe ble overført til sjø i det optimale smoltvinduet (ca. 360 døgngrader etter opphør av vintersignal) når den var 100 g i snitt. I RAS økte brakkvann uttrykket av sjøvannsformen av NKA (NKA α 1b), men ikke den totale enzymaktiviteten av NKA i gjeller. Enzymaktiviteten til NKA avtok jo større fisken var, men det var ingen forskjell mellom fisk på ferskvann og brakkvann. I sjøfasen gikk fisken til slaktestørrelse, men det ble ikke funnet noen signifikante effekter av salinitet i RAS på vekst eller overlevelse i sjøfase. I et oppfølgingsforsøk ble det funnet positive effekter av 12 ppt i RAS på vekst i 12 uker i kar med sjøvann for laks overført til sjø ved ca. 320 og 850 g, mens det ikke ble funnet effekter av brakkvann i RAS på sjøvannsprestasjon for laks overført til sjøvann ved 150-180 g (Annual Report 2021 CtrlAQUA). Det var også indikasjoner på at 12 ppt ikke er tilstrekkelig til å opprettholde NKA aktivitet i større fisk (Annual Report 2022 CtrlAQUA).

Bruk av spesialfôr

Selv om lysstyring fortsatt er den mest brukte metoden for produksjon av smolt, så har utfordringene med produksjon av storsmolt medført at næringen i økende grad leter etter alternativer som kan erstatte, eller brukes i tillegg til lysstyring og økt salinitet i vannet. Bruk av spesialfôr er ofte referert til som saltfôr eller smoltifiseringsfôr. Slike produkter inneholder høyere innhold av bestemte salter, og eventuelt mineraler og aminosyrer der formålet er å stimulere viktige egenskaper ved smoltifisering for å oppnå bedre smoltkvalitet, og særlig sentralt her er tanken om stimulering av sjøvannstoleranse. Tanken er at intern saltsansing, særlig via polyvalente kation reseptorer, kan virke som salinitetsreseptorer og dermed kan stimulere sjøvannstoleranse (Brown, 1993, Nearing, 2002). Imidlertid vil virkningsmekanismene og responser sannsynligvis variere med mengde og sammensetning av ulike type salter, mineraler og aminosyrer tilsatt.

Det har lenge vært kjent laksefisk gitt fôr tilsatt mellom 5-10 % NaCl responderer med økt antall klorid celler og gjelle NKA-ATPase enzym aktivitet, samt økt sjøvannstoleranse (Zaugg og McLain, 1969, Basulto, 1976, Zaugg m. fl. 1983; Salman og Eddy, 1988a, b, Duston, 1993, Perry m. fl. 2006). Dette er endringer som ligner responser beskrevet i gjeller og hypoosmotisk regulering ved eksponering til forhøyet salinitet i vannet (McCormick, 2001). En generell trend fra litteraturen er at bruk av økt NaCl kan medføre redusert vekstrate. Selv om dette delvis har blitt forklart med at økt saltinnhold kan ha en fortynningseffekt på innholdet av andre næringsstoffer, så fant Duston (1993) 60-70 % redusert vekst hos Atlantisk laks ved tilsetning av ca. 10 % NaCl uten at dette kunne tilskrives en fortynningseffekt av andre næringsstoffer. Det må tas med i betraktningen at studiene referert til ovenfor ikke er gjennomført på fisk som gjennomgår smoltifisering. Videre er det verdt å merke seg at spesialfôr benyttet i moderne smoltproduksjon også inneholder økte mengder av divalente salter (Ca²⁺, Mg²⁺) og aminosyrer, særlig tryptofan som har vist seg å være viktig for å dempe stress, muligens via serotonin (Höglund m. fl. 2007, 2019). Studier som viser at tryptofan alene kan stimulere osmoregulatoriske egenskaper hos laks, eller erstatte lysstyrt smoltifisering er, så vidt vi er kjent med, ikke publisert. Dersom formålet med bruk av spesialfôr er å erstatte bruk av lysstyring for å unngå reduksjon i vekst under mørkeperioden og stimulere sjøvannstoleranse, så bør en være bevisst den komplekse biologiske kaskaden som smoltifisering innebærer (McCormick m. fl. 2013). Det er få fagfelleverderte studier som har jobbet med

spesialfôr gjennom smoltifisering hos Atlantisk laks. Striberny m. fl. (2021) fant at diett med økt innhold av salter (NaCl, Ca, Mg) og tryptofan stimulerer genuttrykket av NKA-a1b i gjeller, samt har en positiv effekt på fiskens evne til å osmoregulere i sjø. Forfatterne fant best osmoregulatorisk respons hos fisk som fikk spesialfôr, mens kombinasjon av lysstyring- og diettstimulering gav best appetitt og vekst etter overføring til sjø. Det ble ikke registrert reduksjon i kondisjonsfaktor, som er en viktig indikator for smoltifisering, i gruppene som ble bare føret med spesialfôr og forfatterne konkluderte med at spesialfôr alene ikke resulterte i utviklingen av en 'ekte' smolt, til tross for appetitt og vekst hos diettstimulerte grupper etter overføring til sjø var sammenlignbare med lysstyrt smolt (Striberny m. fl. 2021). Høyere saltinnhold i diett kan også medføre endringer i blodtrykk (Olsen og Hoagland 2008) og belastning på nyrene (Takvam m. fl. 2021), og dermed øke risiko for fysiologiske forstyrrelser. Selv om spesialfôr er vist å ha en additiv effekt sammen med lysstyring, så er det kun ett publisert studie som dokumenterer hvordan bruk av spesialfôr fungerer som erstatning for lysstyring av større smolt og over lengre tid. Mykland m. fl. (2023) sammenlignet bruk av spesialfôr med tradisjonelt vintersignal (6 uker 12:12 L:D) i laks som gikk til slaktestørrelse, og fant ikke signifikante forskjeller på slaktevekt. Lysstyrt fisk vokste noe bedre i sjø, mens fisk på spesialfôr vokste bedre i settefiskfasen. Lengdevekst ble ikke stimulert på samme måte som i en lysstyrt fisk. Det var høyere innslag av kjønnsmodning i fisk som fikk spesialfôr, mens det var mer deformiteter i lysstyrt fisk. Det er utvilsomt behov for mer forskning om bruk av spesialfôr under ulike betingelser (lys, salinitet, og fiskestørrelse) for å dokumentere effekter på fiskehelse og prestasjon i sjø.

Ingen protokoll

Hos liten fisk er det godt dokumentert at et vintersignal er nødvendig for å utvikle sjøvannstoleranse (Stefansson m. fl. 2007). Her ble det vist at 24 t kontinuerlig lys blokkerer den nevrologiske utviklingen i hjernen som er nødvendig for å igangsette hormonkaskaden som stimulerer og synkroniserer smoltifisering (Ebbesson m. fl. 2007). I disse studiene hadde fisken som ble holdt under 24 t kontinuerlig lys lavere plasmanivåer av veksthormon, kortisol og manglet essensielle endringer i ionetransportmekanismer i gjellene (Stefansson m. fl. 2007). Grupper med kontinuerlig lys ble ofte brukt som kontrollgrupper i studier som undersøkte effekten av vintersignal på smoltifiseringen, og flere studier har vist dårlige prestasjoner i sjø av grupper utsatt for kontinuerlig lys i settefiskfasen (Solbakken m. fl. 1994, Sigholt m. fl. 1995).

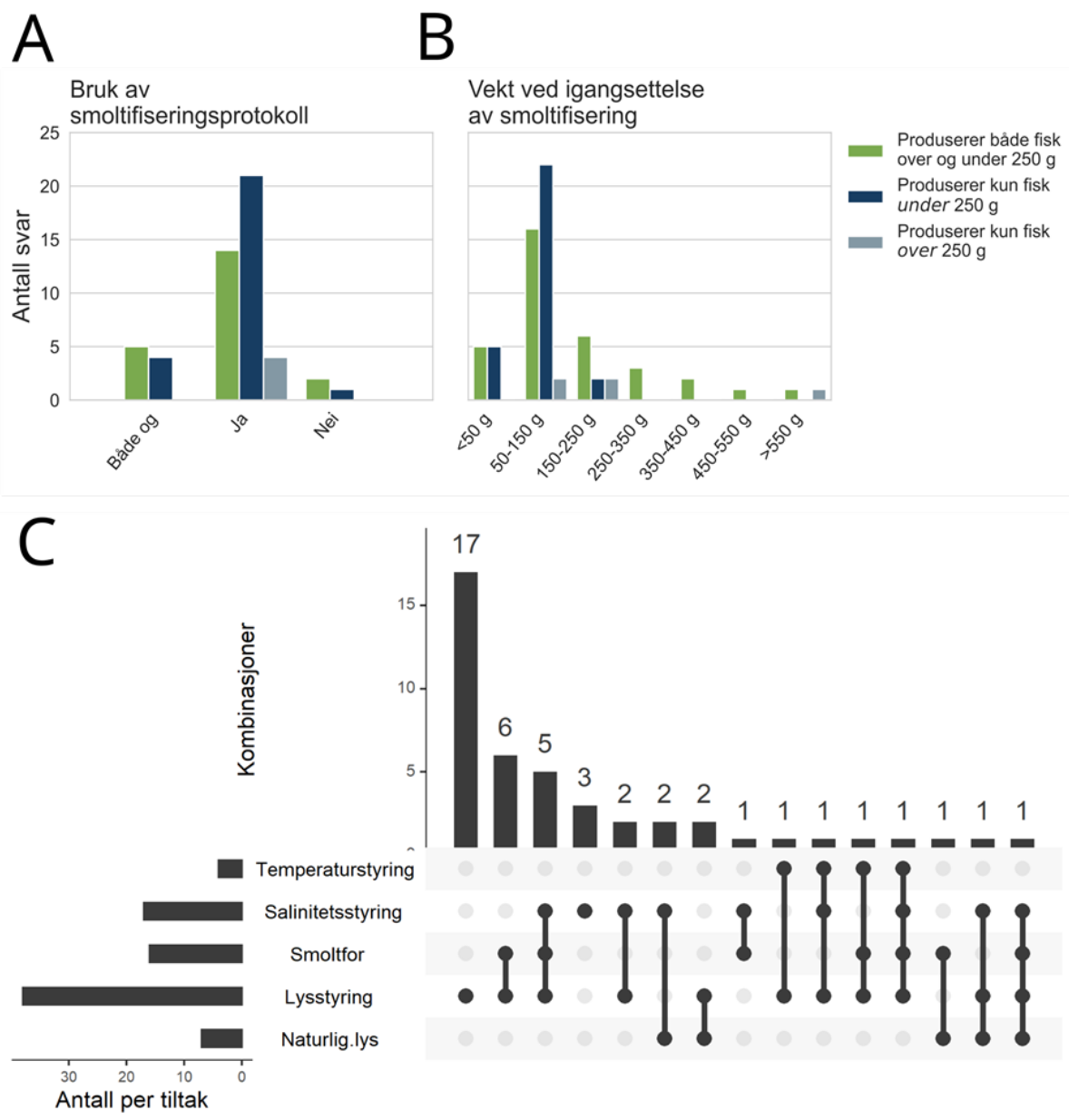
Samtidig viser flere studier at laks holdt på kontinuerlig lys utvikler sølvfarge, sjøvannstoleranse og får en økning i NKA i gjeller og veksthormon når de når en størrelse på mellom 100-150 g (Sigholt m. fl. 1995, Handeland m. fl. 2013, Striberny m. fl. 2021, Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022, Pino Martinez m. fl. 2021). Dette tyder på at enkelte smoltkarakteristikker er vekstindusert og skjer uavhengige av lysregimet.

I motsetningen til smoltifiseringen, som er en internt synkronisert prosess hvor alle disse endringene skjer samtidig i løpet av en avgrenset tidsperiode, skjer endringene under kontinuerlig lys på ulike tidspunkt og er frakoblet av hverandre, både i den enkelte fisken og innenfor gruppen. Den resulterende heterogeniteten kan være problematisk for eksempel når det gjelder overføring til sjø og utnyttelse av vekstpotensialet. Videre skjer det under kontinuerlig lys ikke en reduksjon i kondisjonsfaktor eller fettinnhold som hos laks som har gjennomgått en lysindusert smoltifisering, og vekst i første periode etter sjøvannsoverføring er redusert hos laks som har gått på kontinuerlig lys (Striberny m. fl. 2021, Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022). Dette til tross for at ione-konsentrasjon i plasma etter sjøvannstester ikke var forskjellig fra en lysstyrt smolt. En positiv effekt av størrelse på sjøvannstoleranse som ikke var relatert til smoltifiseringen ble også funnet i en studie fra Tasmania med stor settefisk av Atlantisk laks (678 g) som ble holdt på konstante lysforhold (12 t lys: 12 t mørke), og viste like god vekst i sjø som i ferskvann etter 28 dager (Brown m. fl. 2018).

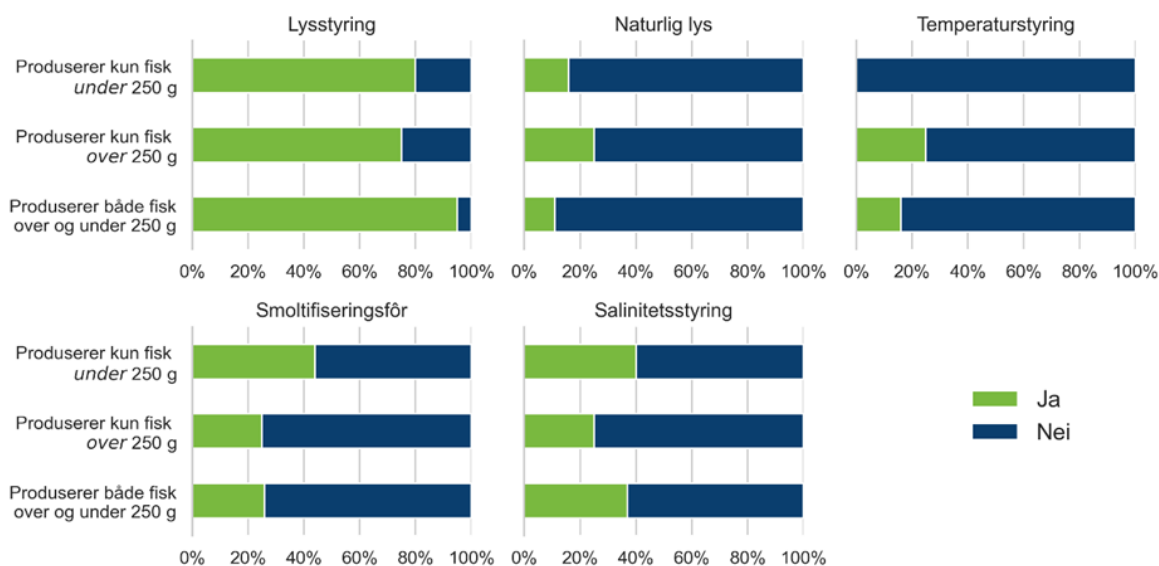
Det er få publiserte studier på effekten av lysstyring sammenlignet med kontinuerlig lys i RAS på prestasjonen i sjøfasen, særlig helt frem til slaktestørrelse. I SFI CtrlAqua er det gjennomført to studier hvor effekten av et vintersignal i RAS på prestasjon i sjø er sammenlignet med prestasjon hos fisk på kontinuerlig lys i RAS frem til slaktestørrelse i sjø. Det er vist en klar fordel ved å bruke kontinuerlig lys med tanke på vekst i RAS, men i sjøfasen er TGC litt høyere (0.1) i fisk som hadde fått et vintersignal i RAS. Fisk på kontinuerlig lys i RAS var imidlertid større ved slakt siden de var større ved utsett som følge av høyere TGC i RAS. Det var ingen forskjeller i overlevelse og kjønnsmodning i sjøfase mellom fisk som fikk vintersignal og de som gikk på kontinuerlig lys i RAS (Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022, Annual Report CtrlAQUA 2022).

5.2.2 Smoltifisering/sjøvannstilpasning av storsmolt – erfaring og praksis i næringen

Spørreundersøkelsen viser at de fleste produsenter bruker lysstyring for å smoltifisere fisken, enten alene (37 %) eller i kombinasjon med andre metoder (43 %), som for eksempel smoltifiseringsfôr eller salinitetsøkning (se Figur 8C). Salinitetsøkning alene ble brukt av 6 %, mens 12 % brukte salinitetsøkning i kombinasjon med andre metoder. Ingen av respondentene brukte smoltifiseringsfôr alene, men 33 % av respondentene oppga å bruke smoltifiseringsfôr i kombinasjon med andre metoder. Det er få produsenter (6 %) som kun bruker kontinuerlig lys og ferskvann frem til utsett (ingen protokoll). Generelt er det en stor variasjon i hvordan de forskjellige smoltifiseringsprotokollene anvendes i praksis (Figur 8A). De som bruker et smoltifiseringssignal gjør dette hovedsakelig mellom 50-150 g, også for den store smolten (Figur 8B, Figur 9).



Figur 8 A) Oversikt over bruken av smoltifiseringsprotokoller ved produksjon av liten (grått) og stor smolt (svart) (inkluderer også besvarelser fra produsenter som anga å produsere både liten og stor smolt), B) Fordeling av størrelse ved igangsettelse av smoltifiseringsprotokoll, C) Oversikt over metoder brukt for smoltifisering og i hvilke kombinasjoner disse blir brukt.



Figur 9 Smoltifiseringsmetoder brukt i produksjon av liten og stor og både liten og stor smolt.

Funn fra intervju

Majoriteten av informantene som benyttet lysstyring, overførte fisken til brakkvann etter lysstyring etter typisk norsk «storsmoltmodell». Flere oppdrettere hadde ulike strategier avhengig av fiskegruppe og utsettidspunkt. Noen oppdrettere hadde smoltifiseringsfôr som hovedstrategi, men kunne også benytte lysstyring på fiskegrupper hvor det passet inn i produksjonsplanen, for eksempel om vinteren når det ikke var aktuelt å sette ut smolt på sjø og det derfor var ønskelig å begrense veksten. Oppdrettere som valgte smoltifiseringsfôr opplevde god tilvekst på fisken i landfasen, og de hadde valgt denne strategien på grunn av kortere produksjonstid sammenlignet med lysstyring. En av informantene brukte økende salinitet som hovedstrategi da de ikke kunne se forskjeller i prestasjon i landfasen mellom lysstyring, som tidligere ble benyttet, og salinitetsøkning. Alle oppdrettere var godt fornøyd med eget valg av metode, men ønsket samtidig klarere anbefaling om hvilken metode som er best og hvordan de ulike metodene påvirket fiskens helse og prestasjon. Ingen av informantene hadde erfaring med kontinuerlige betingelser/ ingen protokoll.

Funn fra dialogmøter

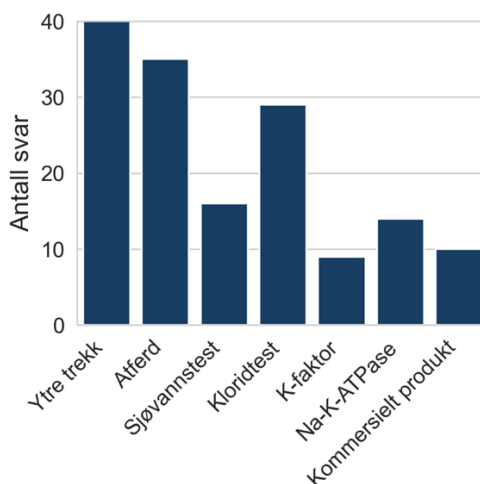
I dialogmøtene fikk næringsaktører i oppgave å nevne fordeler og ulemper ved ulike metoder for smoltifisering/ sjøvannstilpasning. Disse er listet opp i Tabell 2.

Tabell 2 Vurdering av smoltifiseringsprotokoller fra workshop - dialogmøter

Metode	Fordeler	Ulemper	Kommentar
Lysstyring	Veletablert metode som gir god og synkron smoltifisering selv om det er størrelsesspredning	Flere oppdrettere erfarer dårligere tilvekst i mørkeperioden, spesielt i kombinasjon med temperaturfall. Fisken kan oppleve stress når lyset endrer seg. Når fisken er smoltifisert må den overføres til brakkvann eller settes ut på sjø. Kan gi utfordringer med ujevn vannkvalitet i RAS hvis det ikke føres når det er mørkt.	Stor grad av enighet om at dette er en velfungerende metode. Enkelte oppdrettere mener at lysstyring ikke er nødvendig da stor fisk vil sjøvannstilpasses basert på størrelse.
Smoltifiseringsfôr	God tilvekst i settefiskfase. Fisken kan holdes lengre i «smoltvinduet»	Krever at hele gruppen har god appetitt og førtilgang for synkron smoltifisering	Flere erfarte at kombinasjon av smoltifiseringsfôr og lysstyring gir god tilvekst etter utsett
Salinitetsøkning	Enkelte har erfart at gradvis økning i salinitet er tilstrekkelig signal når fisken er over 250 g	Enkelte har opplevd ujevne grupper og usikkerhet knyttet til om fisken er osmoregulatorisk forvirret	Stor grad av ulike erfaringer
Ingen protokoll			Få erfaringer delt under dialogmøter

5.2.3 Vurdering av smoltifiseringsforløp og dokumentasjon av smoltkvalitet

En av de vanligste metodene for å evaluere smoltifisering har vært gjennom bruk av standardiserte sjøvannstester, med påfølgende måling av ioner i blodet, ofte klorid ioner. Videre har det siden begynnelsen 2000 tallet vært vanlig å dokumentere forløpet ved gjentatte målinger av gjelle Na⁺/K⁺ATPase-enzym. Fra spørreundersøkelsen kommer det frem at flere oppdrettere benytter en kombinasjon av flere metoder for å vurdere om fisken er smoltifisert. Den mest brukte metoden, uavhengig av smoltstørrelse, er kloridtester og vurdering av ytre trekk og atferd. For ordens skyld så nevnes at sjøvannstest og kloridtest ofte er ulike benevnelser for det samme, dvs måling av kloridverdier i fisk etter standard sjøvannstest, ofte av 24 timers varighet. De som produserer storsmolt velger oftere metoder for å måle genuttrykket av ionetransportere i gjeller, mens kondisjonsfaktor (K-faktor) er benyttet i svært liten grad for å vurdere smoltifisering av storsmolt. I spørreundersøkelsen ble det ikke differensiert på hvilket tidspunkt smoltifiseringen ble vurdert.



Figur 10 Metoder for vurdering av sjøvannstoleranse. Kommersielt produkt er måling av genuttrykk av isomerer av Na-K-ATPase ved qPCR.

5.2.4 Vurdering av praksis for evaluering av smoltkvalitet

Selv om en fullverdig smolt har gått igjennom en serie med biologiske endringer, så har begrepet smoltkvalitet i sin enkleste form ofte vært knyttet til smoltens evne til å overleve og vokse i sjøvann. Kortere tid i sjø er en viktig motivasjon for dagens produksjon av storsmolt og post-smolt på land. Generelt har utgangspunktet vært at under ellers like betingelser så vil større smolt ved utsett redusere produksjonstid i sjø. Imidlertid kan det være flere unntak fra denne regelen. Kvaliteten til smolten kan være krevende å vurdere uten kjennskap til hvilken smoltifiseringsprotokoll som er benyttet.

Direkte overgang fra fersk- til sjøvann stiller store krav til smoltens osmoreguleringsevne. Evaluering av sjøvannstoleranse har derfor tradisjonelt vært en mye benyttet metode ved evaluering av smoltkvalitet, og er fortsatt mye i bruk (Figur 10). Bruk av standardiserte sjøvannstester bygger på prinsippet om at nivået av ioner i blodet, ofte Na, Cl eller osmolalitet, gir informasjon om smoltens evne til å regulere salt- og vannbalansen i sjøvann. Etter en kritisk initial fase etter overføring vil en god smolt regulere ioneinnholdet i blodet tilbake til et nivå som er nær det samme nivået, gjerne innenfor ca. 10%, som den hadde i ferskvann. En parr eller dårlig smolt vil ikke klare å regulere ioner på samme måte som en god smolt, og man vil ofte se variasjoner i plasmaioner på opptil 30 %. Imidlertid vil ofte evne til å tåle sjøvann øke med fiskens størrelse (Parry, 1960, Bjerknes m. fl. 1992). Det er derfor ikke uvanlig at fisk fra ca. 100 g og oppover vil prestere godt i sjøvannstester under gode oppdrettsbetingelser, og dermed kunne gi en falsk trygghet. En bør derfor være bevisst på dette med fiskestørrelse og evne til å osmoregulere i sjø, særlig dersom overføring til sjø innebærer endringer i temperatur. Videre vil bruk av spesialfôr også stimulere sjøvannstoleranse og dermed fiskens prestasjon i sjøvannstester.

Måling av gjellenes NKA-ATPase aktivitet bygger på prinsippet om at enzymaktiviteten øker gjennom smoltforløpet, og at økende enzymaktivitet er forbundet med god sjøvannstoleranse. Selv om denne metoden har fungert meget godt de siste 10-15 årene, så har intensiv produksjon av storsmolt vist at gjellenes NKA-enzymaktivitet kan være høy uten at smoltifiseringsprotokoller har blitt iverksatt. Dette har medført usikkerhet ved bruk av denne metoden, og ført til at næringen har sett seg om etter nye metoder for evaluering av smoltkvalitet. Molekylære metoder der genuttrykket av NKA-isomerer til enzymet benyttes er tatt i bruk. Prinsippet er at endringer i uttrykket av disse NKA-isomerene eller andre ionetransportere, gir et sensitivt og mer presist bilde av sjøvannstoleranse, og dermed smoltkvalitet. Både NKA enzymaktivitet og genuttrykk av isomerer vil gi et godt bilde, men kun dersom informasjonen tolkes nøye opp mot produksjonsprotokoller fisken produseres under. Det er fullt mulig å registrere økt enzymaktivitet og forventede endringer i forholdet mellom NKA-isomerer uten at det gjennomføres lysstyring i smoltifiseringsprotokoller. Både eksternt salinitet og spesialfôr vil stimulere disse gjellemarkørene, og reflektere økt sjøvannstoleranse. Det er derfor også her viktig å følge en tidsserie gjennom smoltifiseringsforløpet for å få et godt vurderingsgrunnlag.

Smoltifisering er ikke bare utvikling av sjøvannstoleranse, men innebærer en rekke biologiske endringer. Generelt bør en vurdere endringer i så mange smoltegenskaper som praktisk og økonomisk mulig. Selv om ytre trekk som økt sølvfarging, mørke finnekant og tap av parrmerker er kjente tegn på smoltifisering, så er disse kjennetegnene ofte synlige ved intensive produksjonsbetingelser som høy temperatur og kontinuerlig lys, gjerne hos stor smolt. Videre mangler stor oppdrettssmolt ofte like tydelig nedgang i kondisjonsfaktor. Disse kriteriene bør derfor benyttes med varsomhet. Begrepet smoltkvalitet og metodene for vurdering av smoltkvalitet bør bygge på en mer bevist kobling mellom smoltprotokoll benyttet og hvilke metoder som gir tilfredsstillende svar under ulike betingelser.

5.3 Viktige miljøparametere i postsmoltfasen

Fra et oppdrettsperspektiv kan postsmoltproduksjonen betraktes som et mellomledd mellom ferskvanns- og sjøvannsfase på land, og den avviker direkte fra den direkte utvandringen til det marine miljøet som skjer i laksens naturlige livssyklus. Basert på laksens biologi så er postsmoltfasen ikke et

overgangsstadium mellom ferskvann og sjø, men del av den marine fasen i laksens livssyklus (Thorstad m. fl. 2010). En vellykket produksjonssyklus med en integrert postsmoltfase er avhengig av produksjonsforhold før, under og etter postsmoltfasen og det eksisterer bare få studier som har dokumentert hele livsløpet. Noen av de viktigste forskjellene i produksjonsparametere i landbaserte post-smoltanlegg sammenlignet med merd i sjø er vist i Tabell 2. Hovedforskjellen er at samtlige produksjonsparametere er betydelig mer kontrollerte og at driften er mer intensiv i et postsmoltanlegg enn i en merd i sjø.

Tabell 3 Forskjeller i viktige produksjonsparametere mellom sjømerder og postsmoltanlegg

Produksjons-parameter	Merd i sjø	Postsmoltanlegg
Salinitet	Naturlig; kan variere fra 20 ppt i overflaten til > 30 ppt i dypere lag	Varierer fra anlegg til anlegg (1-32 ppt*)
Temperatur	Naturlig, varierende	Kontrollert temperatur med lite variasjon; ofte høyere temperatur enn i sjøen
Lysregime	Naturlig; evt. i kombinasjon med kunstig belysning	Kontrollerte lysforhold, variabel fra anlegg til anlegg; ofte 24t kontinuerlig lys
Tetthet	<25 kg/m ³	Ingen lovpålagte begrensninger, men maks 75 kg/m ³ anbefalt
Patogener	Mindre kontroll	Høy kontroll

*De fleste postsmoltanlegg har valgt et salinitetsnivå mellom 12-15 ppt.

Det er uklart om det lengre oppholdet under kontrollerte forhold påvirker laksens tilpasningsdyktighet til sesongmessige variasjoner som lys, temperatur og salinitet, når den settes senere i sjø. Studier hos sebrafisk har vist at fisk som ble holdt under varierende temperatur var mindre i størrelse, men hadde derimot en større temperatortoleranse enn fiskegruppene som hadde vært holdt ved konstant temperatur (Schaefer og Ryan, 2006). Det gjenstår å undersøke om funnene i sebrafisk er representative for laks.

I følgende avsnitt beskriver vi forsknings- og erfaringsbaserte anbefalinger for viktige miljø- og driftsparametere i postsmoltproduksjonsfasen, men det gjenstår å etablere kunnskap på en mulig kobling mellom god ytelse i postsmolt og ytelsen i sjø. Tabell 3 gir en oversikt over viktige miljøparametere hvor anbefalinger er basert på forskning, og erfaringsbasert praksis fra spørreundersøkelser og intervju.

Tabell 4 Oversikt over kunnskapsbaserte anbefalinger fra litteraturgjennomgang, erfaringsbasert praksis fra spørreundersøkelser og intervjuer og identifiserte kunnskapshull på viktige miljø-parametere ved produksjon i postsmoltfase.

Driftsparameter	Effekt	Forskningsbaserte anbefalinger	Erfaringsbasert praksis	Kunnskapshull
Temperatur	Unngå tidlig kjønnsmodning	< 12.5 °C (Imsland m. fl. 2014, Martinez m. fl. 2023)	12-13 °C	Langtidseffekter av temperatur på vekst i sjø ikke dokumentert
	Optimal tilvekst	14 °C (Handeland m. fl. 2008)	12-13 °C	
	Optimal fôrutnyttelse	11 °C (Handeland m. fl. 2008)	12-13 °C	
	Hjertehelse	< 12.5 °C i pre-smolt stadiet (Frisk m. fl. 2020)	12-13 °C	Effekt av temperatur på hjertehelse i postsmolt
Lysregime	Optimal tilvekst	24 t lys (Ytrestøyl m. fl. 2018, 2022)		
	Tidlig kjønnsmodning	Smoltifisering ved 21t lys: 3 t mørke kan forebygge tidlig kjønnsmodning (Fraser m. fl. 2023)		
Salinitet	Optimal tilvekst	12 ppt (Ytrestøyl m. fl. 2020)		Effekt i sjø på vekst og overlevelse
	Optimal fôrutnyttelse	12 ppt (Ytrestøyl m. fl. 2020)		
	Opprettholde hypoosmoregulering	>15 ppt (Mortensen og Damsgård, 1998)		
	Hemoragisk smolt syndrom (HSS)	Salinitet har positiv effekt (Sommerset m. fl. 2021)	Ikke oppfattet som et vesentlig problem	
	Skinnehelse	26 ppt (reduert sårbarhet mot <i>Tenacibaculum</i>) (Fredriksen 2020)		
	Hydrogensulfid	< 0.002 mg/L (Boyd, 2014)	Ikke oppfattet som et vesentlig problem	Ingen dokumentasjon på grenseverdier spesifikt for postsmolt
CO ₂	Optimal tilvekst	< 12 mg/L i brakkvann (Mota m. fl. 2019); < 20 mg/L ferskvann (Good m. fl. 2018)	15 mg/L, ønsket praksis < 12 mg/L	
	Nefrokalsinose	Økt forekomst ved CO ₂ > 21 mg/L (Fivelstad m. fl. 2018)		Andre faktorer som bidrar til utvikling av nefrokalsinose
Nitrogenforbindelse r		Nitrat-nitrogen < 100 mg NO ₃ -N L ⁻¹ (Davidson m. fl. 2017); nitritt < 0.1 mg L ⁻¹ (FV), < 0.5 mg (SV) (Terjesen m. fl. 2013)		
Tetthet		≤ Maks. 75 kg m ⁻³ (Calabrese m. fl. 2017)	Praksis: 70-75 kg/m ³ , ønsket praksis 60 kg/m ³	
Vannhastighet		1 kroppslengde per sekund (Ytrestøyl m.fl. 2020, (Timmerhaus m. fl. 2021), Under 1,5 kroppslengder per sekund (Solstorm m. fl. 2015)	1-1,5 kroppslengde per sekund	

5.3.1 Vitenskapelig dokumenterte anbefalinger for miljøparametere i postsmoltproduksjon

Temperatur: Temperatur er hovedregulatoren for de fleste fysiologiske prosessene i ektoterme dyr som fisk (Brett, 1969). Tidligere forsøk viser at postsmolt mellom 150–300 g vokste best ved 14 °C, mens optimal fôrutnyttelse ble oppnådd ved 11 °C (Handeland m. fl. 2008). Denne studien ble gjennomført i gjennomstrømningskar med sjøvann (33 ppt) og det er ikke kjent om optimal temperatur er det samme i RAS og om for eksempel salinitet påvirker optimal temperaturen for vekst og fôrutnyttelse. Høye temperaturer stimulerer ikke bare veksthastighet, men også tidlig kjønnsmodning i hannfisk (Good og Davidson 2016), en utfordring i postsmoltproduksjon. Forekomsten av tidlig kjønnsmodning er økende når temperaturen stiger over 12,5 °C (Imsland m. fl. 2014, Pino Martinez m. fl. 2023). En rask økning i temperatur etter smoltifiseringen når fisken flyttes fra smoltanlegg til påvekstavdeling bør unngås siden det stimulerer kjønnsmodning (Fjelldal m. fl. 2011). I en nylig publisert studie ble det vist at andelen av tidlig kjønnsmodning hos hannfisk ved 12,5 °C kunne reduseres fra 40 % i kontrollgruppa til 8,6 % i gruppa med fôringsregime som inkluderte periodisk faste hvert tredje dag (Pino Martinez m. fl. 2023).

Lysregime: Lysregimet har stor betydning for tilvekst. I en tidligere studie er det blitt anslått at kontinuerlig lys kan ha vekstfremmende effekt som tilsvarer 4,5 °C (Imsland m. fl. 2014). Samtidig er fotoperioden ved siden av temperatur det andre viktige eksterne signalet som igangsetter kjønnsmodning av hannfisk (Fjelldal m. fl. 2011). Det er kjent at eksponeringen til et langdagsignal for å initiere smoltifiseringen samtidig kan stimulere tidlig kjønnsmodning (Fjelldal m. fl. 2018). Det mangler tilstrekkelig forskningsdata på spørsmålet om lysmanipulering rett etter smoltifisering, i postsmoltfasen, kan påvirke tidlig kjønnsmodning. Studier på slutten av 90-tallet og begynnelsen av 2000-tallet viser at en betydelig fremskyndelse av kortdagsregimet tidlig i året og en forlengelse av en periode med lang dag etter sommeren, kan utsette eller undertrykke tidlig kjønnsmodning i laksefisk (Taranger m. fl. 2010). Resultater fra nyere studier viser forskjellige effekter av et slikt lysregime. En studie demonstrerte at kombinasjonen av økt temperatur og kortdagsfotoperiode (12 t lys: 12 t mørke) førte til en akselerasjon av kjønnsmodning i hannfisk (Melo m. fl. 2014), mens en nyere studie fant at en påbegynt tidlig kjønnsmodning under smoltifiseringen stoppet opp under postsmoltfasen etter overføring til sjø om vinteren, og det ble diskutert at endringen fra en langdagsfotoperiode og høy temperatur til en kortdagsfotoperiode og lavere temperaturer kunne være en mulig forklaring på observasjonen (Fraser m. fl. 2019). En interaksjon mellom temperatur og fotoperiode har trolig betydning og det trenges mer forskning for en bedre forståelse av de underliggende mekanismene som fører til tidlig kjønnsmodning.

Salinitet: En postsmolt er en fisk som er tilpasset et liv i det marine miljøet. I naturen varierer saliniteten i fjordområdene med dybden og det ble observert at postsmolten som migrerer gjennom fjorden har en preferanse for oppholdet i det øvre vannlaget med brakkvann rundt 20 ppt (Plantalech Manel-La m. fl. 2009). Det finnes få studier som har undersøkt optimal salinitet i landbasert postsmolt produksjon. Når ytelse ble sammenlignet mellom fiskegrupper av postsmolt som ble holdt ved enten 12, 22, eller 32 ppt, ble det funnet at gruppen ved 12 ppt presterte best (Ytrestøyl m. fl. 2020). I denne studien var NKA aktivitet i gjellene høyere i fisken som ble holdt ved 32 ppt. Dette forsøket var begrenset til selve postsmoltperioden og det kan derfor ikke konkluderes hvilken salinitet som er best for prestasjon i sjø. I en påfølgende studie ble prestasjon i sjø av postsmolt som ble produsert i enten ferskvanns-RAS eller brakkvanns-RAS (12 ppt) sammenlignet (Ytrestøyl m. fl. 2022). I denne studien ble det ikke funnet noen signifikant effekter av brakkvann på NKA aktivitet i gjellene, mens genuuttrykket av sjøvannsisoformen av NKA ble stimulert av brakkvann. Kombinasjonen av brakkvann og kontinuerlig lys påvirket tilvekst i RAS-anlegget på en positiv måte, mens det ikke ble funnet langtidseffekter av tidligere eksponering til brakkvann på prestasjon i sjø.

Flere studier har vist at salinitet påvirker helse og velferd. Overgangen fra ferskvann til fullt sjøvann medfører for eksempel en midlertidig undertrykking av immunforsvaret i skinnen (Karlsen m. fl. 2018). Videre ble det funnet at postsmolt som ble holdt i RAS anlegg ved 32 ppt hadde en høyere dødelighet,

høyere plasmanivåer av stresshormonet kortisol og en oppregulering av stressrelaterte gener i skinnet sammenlignet med gruppene holdt ved 22 og 12 ppt (Ytrestøyl m. fl. 2020). I kontrast viste en nyere studie at postsmolt oppdrettet i gjennomstrømningsanlegg i brakkvann (26 ppt) var mindre sårbar mot *Tenacibaculum* sammenlignet med postsmolt oppdrettet i ferskvann (Fredriksen 2020). Det finnes ingen studier som har direkte sammenlignet om bruk av brakkvann har forskjellig effekt på fiskehelse i RAS-systemer og i gjennomstrømningssystemer.

Årsaken til hemoragisk smoltsyndrom (HSS) er fortsatt ukjent, men tilstanden har blitt knyttet til osmoregulatoriske forstyrrelser. En positiv effekt ved bruk av saltvann som behandling mot hemoragisk smoltsyndrom er beskrevet, men videre forskning på virkningsmekanismer er nødvendig (Sommerset m. fl. 2021).

CO₂: Økte mengder av karbondioksid påvirker funksjonen av livsviktige organsystemer som for eksempel respirasjons- og sirkulasjonssystem i fisk (Ishimatsu m. fl. 2005). I Atlantisk laks ble det funnet at vekst og syre-base balanse ble negativ påvirket av CO₂ nivåer likt eller høyere enn 12 mg L⁻¹ (Mota m. fl. 2019, 2020). I en annen studie som ble gjennomført i ferskvanns-RAS ble det anbefalt 20 mg L⁻¹ som grenseverdi (Good m. fl. 2018). Khan m. fl. (2018) fant en reduksjon i vekst allerede ved å øke CO₂ fra 2,9 til 10 mg/L i ferskvann. Mens det ikke ble funnet økt forekomst av nefrokalsinose i tidligere nevnte studier, viste en studie gjennomført i gjennomstrømningsanlegg med sjøvann (34 ppt) økt forekomst av nefrokalsinose ved CO₂ > 21 mg L⁻¹ (Fivelstad m. fl. 2018).

Nitrogenforbindelser (TAN, NO₃, NO₂): Ammoniakk (uionisert form, NH₃) utgjør over 80 % av de nitrogenholdige ekskresjonsproduktene hos laks og eksisterer i kjemisk likevekt med ammonium (ionisert form, NH₄⁺) i vann. Andelen ammoniakk som forekommer i forhold til ammonium er i stor grad pH- og temperatur-bestemt, der andelen av den uioniserte formen er lavere ved lavere pH-verdier og temperaturer. Av disse formene anses den uioniserte formen å være vesentlig mer problematisk for fisk i vann. Totalammonium-nitrogen (TAN) brukes som begrep for summen av NH₃ + NH₄⁺. I resirkuleringsanlegg med nitrifiserende biofiltre vil ammoniakk oksideres til nitritt (NO₂⁻), som videre oksideres til nitrat (NO₃⁻). Merk at massene til disse nitrogenforbindelsene ofte kun oppgis som massen av nitrogen-atomet i forbindelsen og de skrives da som, f.eks., NH₃-N, ammoniakk-nitrogen, eller NO₂-N, nitritt-nitrogen.

Ammoniakk kan forårsake skader på nervesystemet og forstyrre funksjonen til enzymer og stabiliteten til membraner i barrierevev og indre organer. 48 timers LC₅₀-verdier på 0,24 til 0,34 mg NH₃-N/L i sjøvann (34-35 ppt salinitet og temperaturer rundt 6-7 °C) ble funnet for Atlanterhavslaks i postsmoltstadiet. I samme forsøk ble forøket gjelleventilasjonsfrekvens observert ved 0,14 mg NH₃-N/L- (Knoph, 1996). Foreslåtte, velferdsmessig akseptable maksimumsnivåer for laksefisk i akvakultur ligger på mellom 0,012 og 0,025 mg NH₃-N/L (Thorarensen og Farrell, 2011). Kolarevic m. fl. (2012, 2013) observerte en forbigående redusert tilvekst og forøket forekomst av gjelleskade på lakseparr ved 0,032 mg/L NH₃-N og fant indikasjoner på fysiologiske avgiftningsmekanismer som muliggjorde en tilpasning til svakt forhøyede ammoniakknivåer. Ettersom ammoniakk som ekskresjonsprodukt stadig forekommer i blodomløpet til fisken vil, f.eks., fødeinntak, fysisk aktivitet, og stress påvirke dens sensitivitet ovenfor ulike nivåer av ammoniakk i vannmiljøet (Thorarensen og Farrell, 2011, Randall og Tsui, 2002).

Det er høyest risiko for å oppnå problematiske ammoniakk-konsentrasjoner i vannet i resirkuleringsanlegg, grunnet akkumulering, men forhøyede konsentrasjoner har også forekommet i gjennomstrømningsanlegg med og uten sjøvannsinnblanding (Bjerknes m. fl. 2007), formodentlig som følge av høye tettheter og lav vannutskiftning.

Nitritt og nitrat kan være giftige for fisk hvis de forekommer i for høye konsentrasjoner fordi de hemmer oksygentransporten i de røde blodlegemene (Guillette og Edwards, 2005, Jensen, 2003). For regnbueørret er en 48-timers LC_{50} for nitritt i ferskvann ($[Cl^-] = 0,35$ og $pH = 7,9$) på $0,32 \text{ mg NO}_2\text{-N/L}$ funnet (Russo m. fl. 1974) og en generell anbefaling om $\text{NO}_2\text{-N} < 0,1 \text{ mg/L}$ for fisk i akvakultur er gitt (Thorarensen og Farrell, 2011). Ennå mangler tilsvarende studier på Atlanterhavslaks. En nylig publisert casestudie gjennomført i kommersielle anlegg på Færøyene viste en akkumulering av nitritt og tegn på hyperkalemi i fisk som ble holdt lengre på land i ferskvanns RAS selv ved lave konsentrasjoner i vannet (Mortensen m. fl. 2022). Giftigheten av NO_2 kan motvirkes gjennom tilsetning av klorid i ferskvann og et $Cl^-:\text{NO}_2$ -konsentrasjonsforhold på 104:1 er anbefalt for å sikre en beskyttende effekt av klorid (Gutiérrez m. fl. 2019). Nitritt vil i sjøvann, som har høyere kloridkonsentrasjon, først bli giftig ved opptil 5-10 ganger høyere konsentrasjoner enn i ferskvann (Terjesen m. fl. 2013). For nitrat er 96-timers LC_{50} -verdier på 1000-2000 $\text{mg NO}_3\text{-N/L}$ observert for ulike fiskeslag (Colt og Armstrong, 1981). For yngel av Kanadarøye i ferskvann ($7,5^\circ\text{C}$) er en 96-timers LC_{50} på $1121 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ funnet (McGurk m. fl. 2006). Davidson m. fl. (2017) fant ikke negative, kroniske effekter på helse og velferd hos postsmolt av laks i ferskvann ved $\text{NO}_3\text{-N} < 100 \text{ mg/L}$.

Både nitrat og nitritt kan ha hormonforstyrrende virkninger på virveldyr i ferskvann, også fisk, blant annet i form av påvirkninger på testosteron og opptak av jod i thyroidea. Dette er hittil ikke godt dokumentert i laks (Poulsen m. fl. 2018, Jensen, 2003). Et forsøk med NO_3 -konsentrasjoner rundt $93 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ viste ingen endring i skjoldbruskkjertelens morfologi i lakseparr (Freitag m. fl. 2016). Forøket testosteronnivå i blodplasma ble funnet i lakseyngel ved $10,3 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$, men ikke ved $101,8 \text{ mg/L}$, og ingen effekt på 11-ketotestosteron, tyroksin, eller trijodtyronin ble funnet i samme forsøk (Freitag m. fl. 2015). Good m. fl. (2016) fant ingen differensiell effekt på kjønnsmodning eller en rekke hormonforbindelser i postsmolt ved $\text{NO}_3\text{-N}$ nivåer på 10 og 99 mg/L . Inntil videre er det ikke grunnlag for å anta en hormonforstyrrende effekt av $\text{NO}_3\text{-N}$ inntil 100 mg/L .

Tetthet: I motsetning til en miljømessig motivert begrenset tetthet i åpne merder (25 kg per m^3), som samsvarer med vitenskapelige funn med hensyn til fiskevelferd (Turnbull m. fl. 2005), finnes det ingen lovpålagte begrensninger for tetthet i landbasert postsmoltproduksjon. Fiskevelferd, helse og vekst blir påvirket hvis tettheten blir for høy. For eksempel viste en tidligere studie at sårhelingsmekanismer var hemmet i fiskegrupper med høy tetthet (100 kg m^{-3}) sammenlignet med kontrollgruppa (20 kg m^{-3}) (Sveen m. fl. 2018). En annen studie med postsmolt på 115 g fant at tilvekst og fôrintak korrelerte negativt med en økende tetthet fra 50 kg m^{-3} og opp til 125 kg m^{-3} , og en tetthet på 75 kg m^{-3} ble funnet som en akseptabel øvre grense (Calabrese m. fl. 2017). Sosiale interaksjoner og vannkvalitet er sterkt knyttet til fiskens størrelse og dimensjonering av oppdrettsanlegget. For eksempel avtar vektspesifikt metabolsk nivå med økt fiskestørrelse. Det er også vist en positiv sammenheng mellom karstørrelse og tilvekst (Espmark m. fl. 2017). Det trenges mer kunnskap om hvordan adferd, stress respons og sosiale interaksjoner endrer seg med fiskestørrelse og karstørrelse.

Vannhastighet: Vannhastighet er en parameter som ikke er så enkel å standardisere i store kar, den vil variere i ulike deler av karet (f.eks. Gorle m. fl. 2018), og fisken vil søke å plassere seg der det er en vannhastighet som den foretrekker. For lav vannhastighet vil kunne føre til aggresjon mens for høy hastighet kan føre til stress for fisken og redusert velferd og skinnhelse. Solstorm m. fl. (2015, 2016) fant lavere tilvekst og tegn til økt forekomst av finneslitasje hos postsmolt ($\sim 99 \text{ g}$) ved $1,5$ kroppslengder per sekund sammenlignet med $0,8$ kroppslengder per sekund. Det som er gjort av forskning er gjort i mindre enheter, men studiene antyder at en hastighet på mellom $1\text{-}1,2$ kroppslengder per sekund kan være optimalt når man tar hensyn til både vekst og velferd (Timmerhaus m. fl. 2021).

H₂S: Hydrogensulfid dannes fra sulfat (SO₄²⁻) av sulfatreduserende bakterier under anaerobe forhold og er giftig for fisk ved svært lave konsentrasjoner. Massedødelighetsepisoder grunnet hydrogensulfid ved produksjon av laks i resirkuleringsanlegg har fått mye oppmerksomhet (Sommerset m. fl. 2020). Problemet knyttes ofte til akkumulering av organisk materiale som skaper anaerobe og gode forhold for sulfatreduserende bakterier, især under produksjon ved bruk av sjøvann, som har et høyere sulfatinnhold enn ferskvann (Letelier-Gordo m. fl. 2020). Produksjon av hydrogensulfid har også blitt observert i biofilm i biofiltre brukt i resirkuleringsanlegg (Rojas-Tirado m. fl. 2021) og bakgrunnsnivåer på 1-27,7 µg H₂S/L har blitt målt i enkelte kommersielle resirkuleringsanlegg (Langeteig, 2019). For laks i postsmolt-stadiet har man funnet at oksygenopptak, som en indikator på metabolsk respons, hemmes allerede ved en konsentrasjon på 60,7 ± 13,2 µg H₂S/L (Bergstedt og Skov, 2023). I en annen studie ble leverskade og forbigående gjelleskade observert ved kronisk eksponering for ca. 265 µg H₂S/L (Kierner m. fl. 1995). Selv forbigående eksponering for omtrent 20 µg H₂S/L er vist å forårsake endringer i genuttrykk i skinn og skinnets slimlag, gjeller, samt lukterosekten (Alipio m. fl. 2022, 2023). En generell anbefaling om maksimalt 2 og 5 µg H₂S/L for fisk i henholdsvis ferskvann og saltvann er foreslått (Boyd, 2014).

5.3.2 Erfaringsbasert praksis for miljøparametere i postsmoltproduksjon

Det foreligger mange ulike produksjonsstrategier i postsmoltfase og erfaringene nevnt under er basert på betingelser som de fleste oppdretterne drifter etter. De viktigste miljøparametere i siste fase av produksjon på land, definert av oppdretterne er: temperatur, tetthet, CO₂ og salinitet.

Grenseverdier for de ulike parametere varierer fra anlegg til anlegg og er ofte avhengig av valgte teknologiløsninger, men flere oppdrettere mener at temperatur over 12-13 °C, og tetthet over 60-70 kg/m³ ikke er gunstig for storsmolten. Flere opplever også at intensiv drift med høy tetthet gir utfordringer med riktig føring og at dette resulterer i størrelsesspredning og finneslitasje. I prosjektet har oppdrettere beskrevet de viktigste miljøparametere i dagens praksis, og sett disse opp mot ønskede produksjonsbetingelser der målsetningen er å produsere en robust fiskegruppe. Disse er listet i Tabell 4.

Tabell 5 Forskjeller mellom dagens situasjon og ønsket situasjon ved produksjon av robust storsmolt i postsmoltfase. Tabellen baserer seg på en oppgave fra workshop hvor fokuset var rettet mot produksjon av robust storsmolt.

Miljøparameter	Dagens produksjonsbetingelser	Ønskede produksjonsbetingelser
Temperatur	12-14 °C	10-12 °C
CO ₂	Øvre grense: 15 mg/L	Øvre grense: 12 mg/L
Tetthet	Øvre grense: 75 kg/m ³	Øvre grense: 60 kg/m ³
Salinitet	12-15 promille	12-26 promille*

* Det er store forskjeller i valg av salinitetsstyring og ulike erfaringer på hva som er beste strategi for salinitetsstyring i de ulike fasene. Enkelte velger en strategi hvor fisken ikke flyttes til et marint miljø, men står på en vesentlig lavere promille enn beskrevet i tabell over.

For å utfordre valgte parameter ble oppdretterne utfordret på å velge de viktigste parametere og grenseverdiene ut fra en tenkt produksjon av storsmolt på henholdsvis 300 g og 800 g. Tilnærmet de samme produksjonsparametere ble foreslått uavhengig av størrelse, der oppdretterne var samstemte i at temperatur bør reduseres ved produksjon av større fisk. Foreslått temperatur var 12 °C ved produksjon av storsmolt på 300 g, mens denne bør justeres ned til 10 °C ved produksjon av storsmolt på 800 g. Enkelte mente det var viktig med lavere tetthet ved produksjon av mindre storsmolt på grunn av høyere individtetthet som kunne føre til finneslitasje, mens andre mente det var viktigere med en lavere tetthet ved produksjon av storsmolt på 800 g. Alle var enige i at vannhastighet i karet må økes i takt med at fisken vokser, og at en større storsmolt derfor må ha høyere vannhastighet sammenlignet med en mindre smolt. Men en vitenskapelig studie viser at den relative maksimale svømmehastigheten (U-crit) var lavere i større fisk (Remen m. fl. 2016).

Temperatur: I dag drifter de fleste produsenter som produsere postsmolt i RAS med en temperatur mellom 12-14 °C i siste del av landfasen, før en eventuell akklimatisering. Majoriteten ligger nærmere 12 enn 14 °C og enkelte ønsker å teste ut lavere temperaturer enn dette da man har en oppfatning om at dagens produksjon i RAS er for intensiv og kan ha negativ innvirkning på prestasjon i sjøfasen. Hvis målsetningen er å produsere en robust smolt som vokser godt i sjø tror oppdrettere at optimal temperatur er mellom 10-12 °C i postsmoltfasen. Flere storsmoltprodusenter som har RAS gir tilbakemelding om at de har utfordringer med tilstrekkelig kjølekapasitet enkelte perioder av året og at nedkjøling av driftsvann er en større utfordring enn oppvarming. Dette er særlig aktuelt når det er høye temperaturer på inntaksvann samt perioder før utsett hvor fisken skal akklimatiseres.

CO₂: Majoriteten av storsmoltprodusenter har satt grenseverdi for CO₂ til 15 mg/L, som også er gjeldende anbefaling fra Mattilsynet. Enkelte har erfart at perioder med høye CO₂ verdier gir redusert appetitt. CO₂ henger tett sammen med andre miljøparametere og blir oftest et problem i slutten av produksjonsfasen når tettheten er høy. Oppdrettere oppgir at de ønsker å senke grensen til 12 mg/L i brakkvann. Utstyrsleverandører har i dialogmøter gitt tilbakemelding om at en reduksjon i CO₂-nivå har stor betydning for dimensjonering av anlegg.

Tetthet: Flere oppdrettere erfarer utfordringer med fiskevelferd hvis tetthet overstiger 65-70 kg/m³. Majoriteten mener at 60 kg/m³ er en god grenseverdi som ivaretar vannkvalitet og fiskehelse, men at dette kan variere mellom ulike teknologiske løsninger.

Salinitet: Majoriteten av storsmoltprodusenter som bruker brakkvann etter smoltifisering benytter 12-15 ppt. Flere som bruker 12 ppt har valgt denne saliniteten basert på funn fra forskning, men det er usikkerhet knyttet til om salinitet fra 12-15 ppt over lengre periode kan påvirke osmoreguleringen negativt. Enkelte ønsker derfor å teste ut 20-22 ppt for å se hvordan dette påvirker prestasjon. Ingen av intervjuobjektene brukte full sjø eller salinitet over 26 ppt i nåværende praksis, men noen oppdrettere (intervju) hadde tidligere erfart sårproblematikk ved å teste ut full sjø i postsmoltproduksjon. Noen få norske storsmoltprodusenter har valgt en salinitet < 3 ppt, tilnærmet ferskvannspraksisen på Færøyene, og erfaringene har vært gode etter utsett i sjø (samme prestasjonsforventning som ved utsett av tradisjonell smolt). Erfaringene er i hovedsak knyttet til produksjon av storsmolt > 500 g.

Nitrogen (nitrat og nitritt): Siden postsmoltproduksjon hovedsakelig foregår i brakkvann anses ikke nitritt som en utfordring i denne produksjonsfasen, siden klorid i saltvann gir beskyttelse mot skadelige virkninger av nitritt-toksisitet.

H₂S: Det har de siste årene vært fokus på den giftige gassen H₂S ved bruk av sjøvann i RAS-systemer. Oppdrettere som ble intervjuet oppfatter ikke H₂S som et vesentlig problem ved produksjon av storsmolt, da en nå hadde kjennskap og fokus på forebyggende tiltak som nedvask av avdelinger (utenom biofilter) mellom ulike fiskegrupper, oppfølging av fôring samt godt design på RAS-sløyfe. Det er andre oppdrettere som ikke benytter seg av brakkvannsperiode ved storsmoltproduksjon på grunn av frykt for H₂S, og det er derfor ulike risikovurderinger om H₂S.

5.3.3 Vitenskapelig dokumenterte anbefalinger for driftsbetingelser i postsmoltproduksjon

Det foreligger svært lite vitenskapelig dokumentasjon når det gjelder driftsbetingelser som fôringsstrategi, riktig tidspunkt for sortering og vaksinerings ved produksjon av storsmolt. Tabell 6 viser en oversikt over betingelser som ble ansett som interessante i prosjektet hvor en hovedsakelig har innhentet kunnskap fra erfaringsbasert praksis siden forskningsbaserte anbefalinger er svært begrenset.

Tabell 6 Oversikt over kunnskapsbaserte anbefalinger fra litteraturgjennomgang, erfaringsbasert praksis fra spørreundersøkelser og intervjuer og identifiserte kunnskapshull på viktige driftsbetingelser ved produksjon i postsmoltfase

Driftsbetingelser	Forskningsbaserte anbefalinger	Erfaringsbasert praksis	Kunnskapshull
Fôringstrategi	Måltidsfôring fører til døgnvariasjon i CO ₂ og TAN (Kvamme m.fl. 2019)	Ulike strategier, flere oppgir utfordringer med god forfordeling når karene blir store og dype	Få studier har fokusert på fôringstidspunkt og frekvens under storsmolt/postsmolt produksjon
Produksjonssystem		Majoriteten benytter RAS-teknologi	Ingen studier kjent som sammenligner direkte postsmolt produksjon i RAS, gjennomstrømningsanlegg og semilukkede system
Vaksineringstidspunkt		Samme tidspunkt som ved ordinær smoltproduksjon	
Sortering		Like mange sorteringer som ved ordinær smoltproduksjon	Ingen kjente studier på sortering av storsmolt
Tidspunkt sjøutsett		Majoriteten av storsmolt settes ut sommerhalvåret	
Sjøvanns-akklimatisering før utsett		Ca. 35 % akklimatiserer før utsett	
Temperatur-akklimatisering før utsett		Ca. 80 % temperatur-akklimatiserer fisken før utsett	

Vaksinering

Et viktig spørsmål knyttet til produksjon av storsmolt er når man skal vaksinere fisken, ettersom vaksinene har begrenset dokumentert varighet samtidig som vaksinasjonsmaskinene, samt annen teknisk infrastruktur, er begrenset i forhold til hvor stor fisk de kan håndtere. Blant vaksinene som er registrert i Veterinærkatalogen (<https://www.felleskatalogen.no/medisin-vet/>) og som er vanlige i bruk i norsk lakseoppdrett i dag, har de fleste dokumentert immunitet ved 400-520 døgngader mot bakterielle patogener og virusene SAV3 (PD), og ILAV (ILA). For IPNV (IPN) er oppnådd immunitet oppgitt til ~600 døgngader. Beskyttelsen mot bakterielle infeksjoner er for de fleste vaksiner dokumentert å vare 12 måneder eller mer. Varigheten til beskyttelse mot IPN er ikke dokumentert for alle vaksiner, men er oppgitt til 5,5 måneder for noen, og likeledes 7 måneder mot ILA og 9-12 måneder mot PD.

Foruten biologiske hensyn som styrke og varighet på immunrespons, samt risiko for skader og bivirkninger, vil også praktiske og tekniske hensyn være begrensende for valg av tidspunkt for vaksinering. Som for sortering og levering, vil det være nødvendig å dimensjonere fiskeavløp i kar samt rør, slanger og pumper med hensyn til størrelsen på fisken som skal håndteres. Vaksineringsmaskinene som er tilgjengelige på det norske markedet i dag oppgis å kunne håndtere fisk opp til 150-200 g, med unntak av fjerde generasjons Lumic-maskiner som oppgis å kunne håndtere fisk opp til 400 g. Hvilke erfaringer som er gjort med vaksinering av fisk over 200 g og hvordan det påvirker frekvens på skifte av bedøvelse og nåler er ikke kjent for oss. Det er heller ikke kjent hvilke begrensninger som er etablert for manuell vaksinering med injeksjonspistoler, selv om det er rimelig å anta at håndteringsproblemer vil medføre at antallet fisk vaksinert per time vil være uheldigmessig lavt når fisken kommer over en viss størrelse.

Tabell 7 Oversikt over vaksinasjonsmaskin-modeller og de rekkeviddene av snittvekter leverandørene har oppgitt at de kan håndtere

Leverandør og modell	Fiskevekter (gram)
Aqualife INOCA SAIB	30-200
PHARMAQ Fishteq NFT	20-150
Skala Maskon VX	30-170
Lumic LV v4	40-400

Kilder: <https://www.aqualifeservices.com/>, <https://pharmaq.com/no/fishteq/>, <https://www.skalamaskon.no/aquakultur/vaksinering>, <https://lumic.no>.

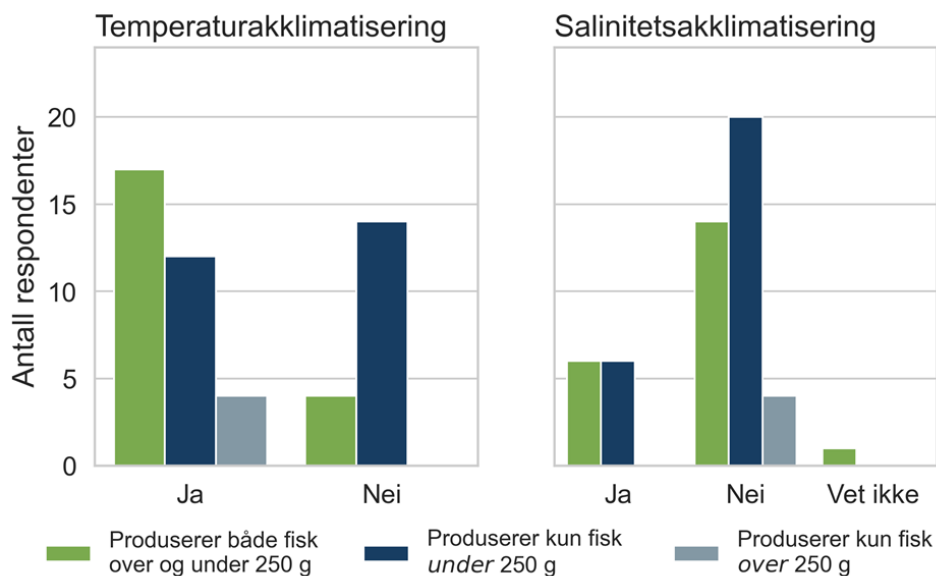
Dedikerte studier behøves for å avklare i hvilken grad man risikerer at storsmoltens vaksineinduserte immunitet mot hyppig forekommende sykdommer allerede er nedadgående når den settes i sjø. Dette vil være av betydning for valg av vaksinasjonsstrategier, vaksineutvikling, og mulig teknologiutvikling for økning av kapasiteten til vaksinasjonsmaskiner.

5.3.4 Erfaringsbasert praksis driftsbetingelser i postsmoltproduksjon i Norge

Fôring: I intervju kom det frem at flere aktører fôrer restriktivt i RAS for å unngå overføring gjennom hele produksjonstiden på land. Dette siden oppdrettere ønsket å unngå utfordringer med partikler i vannet med tanke på gjellehelse. Flere oppdrettere gir tilbakemelding om at de sliter med å finne optimal fôringsstrategi i postsmoltfase og opplever at det kan være utfordrende med en god fôrfordeling til alle individer i store kar. Dette er forårsaket av faktorer som overflateareal, utfôringsutstyr og tetthet. Det ble gitt tilbakemelding om at overflatearealet på karet (karutforming) får større betydning jo større fisken er.

Sortering: Spørreundersøkelse tyder på at storsmolt ikke håndteres mer enn tradisjonell smolt, og mange beskriver utfordringer med ujevne fiskegrupper ved produksjon av storsmolt. Innad i et kar vil fisken ha noen grad av ulik veksthastighet hvis fisken står lenge uten å bli sortert som vil føre til størrelsesspredning innad i karet. I intervju kom det frem at noen få aktører nylig har begynt teste ut sortering på storsmolt i postsmoltfase for å få jevne fiskegrupper ved utsett. Dette er i utgangspunktet ikke ønskelig da tidligere erfaring viser at fisken er mer sensitiv for håndtering etter smoltifisering og håndteringen kan blant annet føre til sårproblematikk i etterkant. Oppdrettere som har begynt uttesting hadde foreløpig ikke tilstrekkelig med erfaring til å anbefale eller fraråde denne håndteringen. Enkelte oppdrettere velger også å fjerne den minste fisken i forbindelse med levering til sjø for å redusere utfordringer med størrelsesspredning i merd. Dette gjøres hovedsakelig sommerhalvåret når det er mindre risiko for sår etter sjøutsett.

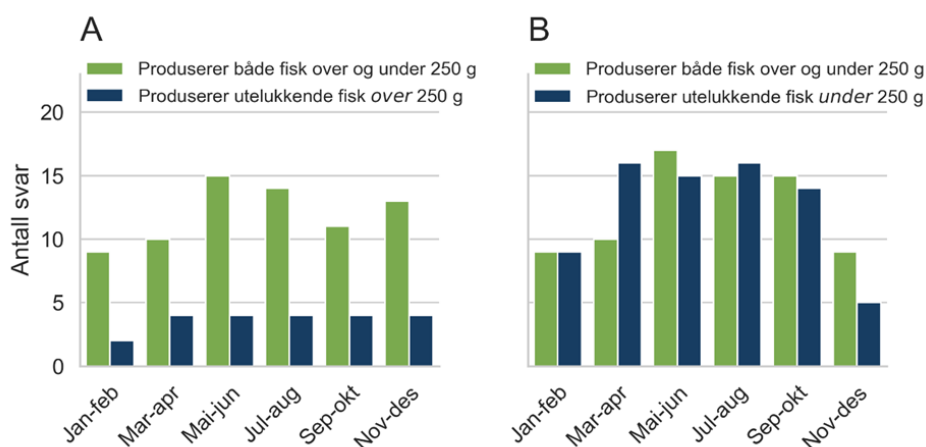
Akklimatisering til temperatur og salinitet: 80 % av storsmoltprodusentene akklimatiserer slik at temperaturdifferanse mellom driftsvann og sjøvann skal være nærmest mulig (Figur 11). Norske aktører justerer temperaturen fra to uker og opptil to måneder før utsett. Produsentene oppgir at det er utfordrende å lykkes med temperaturakklimatisering for utsett hele året, særlig kalde vinterdager trekkes frem som spesielt utfordrende. Majoriteten av produsentene velger ikke salinitetsakklimatisering i forkant av utsett.



Figur 11 Viser antall informanter som akklimatiserer fisken til temperatur og salinitet før utsett i sjø. Figuren er basert på tall fra spørreundersøkelse.

Utsettstidspunkt:

Tidspunkt for utsett av storsmolt i Norge sammenfaller i stor grad med tidspunktet for tradisjonelt smoltutsett. Ifølge spørreundersøkelsen blir den største andelen av storsmolt satt ut på sommeren i perioden mai til august. Det er færre utsett av storsmolt i perioden mars-april sammenlignet med utsett av tradisjonell smolt. Oppdretterne har blandede erfaringer med utsett av storsmolt i perioder med kalde temperaturer, og de varme månedene er foretrukket uavhengig av smoltstørrelse. Fra intervjuene var det ingen som hadde erfaring med at storsmolt generelt presterte bedre enn tradisjonell smolt ved utsett på kalde temperaturer og at kvalitet på fiskegruppe var en viktigere faktor for at fisken skulle takle overgangen til sjø.



Figur 12 Antall svar fra informantene på hvert alternativ til spørsmålene (A) "Når overføres fiskegrupper med snittvekt over 250 g til merdanlegg i sjø?" og (B) "Når overføres fiskegrupper med snittvekt under 250 g til merdanlegg i sjø?". Begge var flervalgsspørsmål.

5.3.5 Erfaringsbasert praksis driftsbetingelser på Færøyene

På Færøyene har man gjennomgående en ganske lik protokoll i landfasen. Mesteparten av produksjonen foregår i RAS, med unntak av at noen oppdrettere bruker gjennomstrømning i klekkeriet og ved startfôring. Resten av produksjonen på land foregår 100 % i RAS. Man har anvendt RAS på Færøyene i over 20 år, da man har problemer med tørre elver om sommeren og har derfor mangel på vann til å kunne bruke gjennomstrømningsanlegg. Det er også enklere å styre temperaturen i RAS.

På Færøyene er det ikke tillatt å blande inn sjøvann i RAS anlegg på grunn av risiko for sykdom [According to §2, stk 7 In the executive order no 80 regarding the establishment of and disease-prevention in aquaculture facilities from 14. June 2019], så fisken går på ferskvann i hele land-fasen. Det er dog tillatt å bruke syntetisk sjøvann. De fleste tilsetter kun salt i forbindelse med behandling mot soppinfeksjoner eller når de har høye konsentrasjoner av nitritt i vannet.

Den samlede produksjonstiden er ca. 33 måneder fra rogn til slakt, og foregår ca. 18-22 måneder (2/3) på land i ferskvanns-RAS. Etter startfôring ved 2-4 g, flyttes yngelen over i RAS anlegg. Når fiskegruppen veier ca. 12-15 g blir den gradert og sortert, og ved ca. 40-100 g vaksineres fisken. Når den veier 150-200 g blir fisken for siste gang gradert og sortert. Etter smoltifisering (se avsnitt om smoltifiseringsprotokoller) blir fisken overført til sjø. Da veier den alt fra 400-1000 g. Før utsett akklimatiseres smolten til sjøvannstemperaturen i to uker. De fleste RAS anlegg har investert i kjøleanlegg for å komme ned i temperatur. Man setter ut fisk hele året, men unngår helst å sette ut ved de laveste temperaturene i januar og februar. Gjennomsnittsvekt ved sjøutsett var 425 g i 2021. På Færøyene har man ikke noe regelverk som definerer grenseverdier for de forskjellige vannparametere i RAS. Mange bruker den Norske veilederen (FDIR, 2004) som referanse. Oppdretterne er litt i tvil om denne veilederen kan overføres til produksjon på Færøyene, da de fleste verdiene er basert på erfaringer fra smoltproduksjon i gjennomstrømningsanlegg og ikke er tilpasset storsmoltproduksjon. Under produksjonen følges det godt med på kvaliteten av forskjellige vannparameter og disse blir målt daglig, enten manuelt eller automatisk. Som regel måles det salinitet, temperatur, alkalinitet, pH, samt konsentrasjonen av ammonium, ammoniakk, nitritt, nitrat, O₂ og CO₂.

5.4 Fiskehelseutfordringer ved produksjon av storsmolt

I Fiskehelse rapporten for 2022 (Sommerset m. fl. 2023) blir nefrokalsinose trukket frem som et av de største helseproblemene i settefiskfasen, men årsakssammenhengen er fortsatt ikke klarlagt. I prosjektet ble det ikke satt fokus spesielt på nefrokalsinose, men dette og andre aktuelle problemer som sår, gjellehelse og når man skal vaksinere en storsmolt ble tatt opp både i dialogmøter og intervju/spørreskjema.

Nefrosmolt (FHF prosjekt 901587):

Prosjektet fokuserte ikke spesielt på storsmolt. Av funn som kan være av betydning for storsmoltproduksjon så ble det funnet en tydelig økning i nefrokalsinosetilfeller i anlegg der sjøvann ble brukt. Resultatene fra studiet tyder på at større fisk (> 200 g) var mer utsatt for nefrokalsinose, da 90 % av undersøkte fisk som veide over 400 g hadde moderate eller alvorlige grader av nefrokalsinose (Boissonnot m. fl. 2021). Basert på dette konkluderes det at det kan se ut til at stor størrelse gir høyere risiko for å utvikle *alvorlig* nefrokalsinose. Men basert på antall døgngader fra klekking til utsett i sjø som ble oppgitt av majoriteten av anleggene kartlagt i prosjektet, var det ingen sammenheng mellom andel nefrokalsinose og tid i anlegget. Undersøkelsen viste videre at av 12 fiskegrupper som fikk påvist nefrokalsinose i settefiskfasen, var det 4 som ikke fikk påvist nefrokalsinose etter utsett i sjø. Det var også en reduksjon i fisk med milde og moderate grad av nefrokalsinose (10 %, mot 30 % i settefiskfasen). Derimot ble det funnet like stor andel med alvorlige nefrokalsinose i sjø som i

settefiskanleggene. Disse resultatene tyder på at små forandringer i nyrene trolig er reversible, mens alvorlige skader på nyret ikke vil heles.

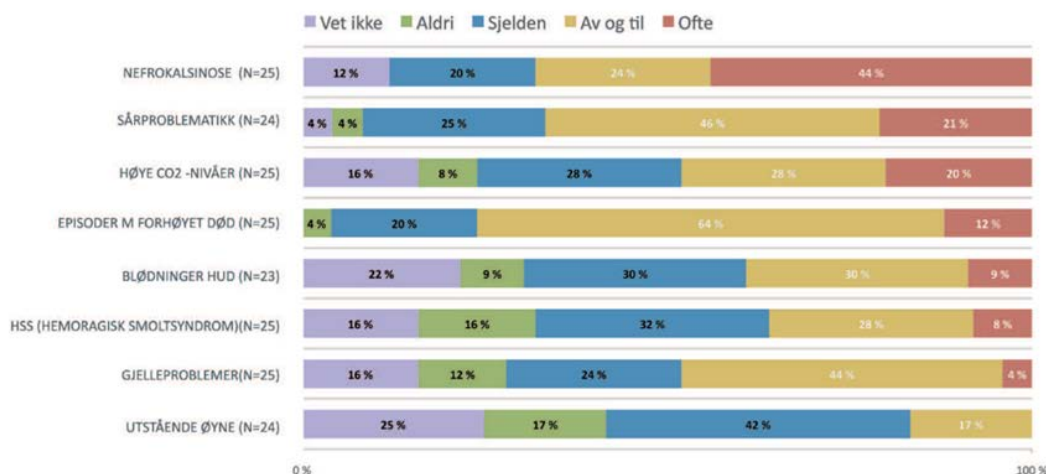
Nefrokalsinose forskning i CtrlAQUA

I SFI CtrlAQUA har nefrokalsinose vært et forskningstema. Arbeidet ble innledet med en spørreundersøkelse der oppdretterne ble spurt om en rekke produksjonsbetingelser, med formål om å lete etter sammenhenger med registreringer av nefrokalsinose. Utfra svarene er det tydelig at de fleste er av den oppfatning at nefrokalsinose er et komplekst problem som ikke skyldes én faktor, men flere faktorer som bidrar til intensiv produksjon. Det kom også tydelig fram at tilstanden ikke starter hos stor smolt, men er til stede helt fra fisken er 10-15 g, men da gjerne som skår 1-2, og at alvorlighetsgraden øker etter hvert som fisken vokser. En hypotese er at tilstanden ikke oppdages på liten fisk ettersom oppdretterne normalt ikke undersøker fisken før den har blitt større, f.eks. ved vaksineringsintervjuene avdekket også andre synspunkter, f.eks. 1) forekomsten har økt siden 2018; 2) nefrokalsinose er ikke et problem som kun observeres i RAS, det forekommer også i gjennomstrømningsanlegg; 3) det observeres mer nefrokalsinose dersom man ikke gir fisken tilstrekkelig tid til smoltifisering 4) nefrokalsinose forekommer hyppigere hos fisk satt ut på vår/sommer; 5) lav vannutskifting kan medvirke til økt forekomst av nefrokalsinose.

Erfaringer omkring helsetilstand hos storsmolt i dette prosjektet

I prosjektet var det ønskelig å avdekke om, og i så fall hvilke smittsomme sykdommer og produksjonsslidelser oppdrettere hadde utfordringer med ved produksjon av storsmolt. Figur 13 under er hentet fra Fiskehelserapporten 2019 (Sommerset m. fl. 2020) og er basert på besvarelser fra fiskehelsepersonell med erfaring fra storsmoltproduksjon. Ifølge denne spørreundersøkelsen var det nefrokalsinose, høye CO₂-nivåer, sårproblematikk og episoder med forhøyet dødelighet som var de største helseutfordringene ved denne type produksjon. Det var derfor interessant å undersøke om oppdrettere erfarte utfordringer med disse produksjonsslidelsene. Basert på funn fra prosjektet er det få utfordringer med smittsom sykdom ved produksjon av storsmolt. I prosjektet oppga ca. 10 % av storsmoltprodusenter at de hadde påvisning/litt forøket dødelighet grunnet HSMB, men dette var ikke ansett som et stort problem. Det kom frem at det generelt var relativt få utfordringer med produksjonsslidelser, men en del har opplevd utfordringer med HSS. Enkelte erfarer sporadiske utfordringer med nyreforkalkning, gjellehelse eller sårproblematikk.

HYPPIGHET TILSTANDER STORMOLTPRODUKSJON



Figur 13 er hentet fra Fiskehelse rapporten 2019 og er basert på besvarelser fra fiskehelsepersonell med erfaring fra stormoltproduksjon. Oppsummering er basert på et begrenset antall svar og må derfor tolkes forsiktig. Ifølge denne spørreundersøkelsen var det nefrokalsinose, høye CO₂-nivåer, sårproblematikk og episoder med forhøyet dødelighet som var de største helseutfordringene ved denne type produksjon.

Nefrokalsinose ble oppgitt som en utfordring av kun 5 % av stormoltprodusentene. Årsaken til nefrokalsinose hos disse oppdretterne er ikke kjent. Imidlertid må det bemerkes at nefrokalsinose ikke ble etterspurt spesifikt i undersøkelsen. Omtrent 30 % av stormoltprodusentene oppga utfordringer med HSS, og at dette er en større utfordring enn ved produksjon av tradisjonell smolt. Samtidig er tilbakemeldingene at problemet lar seg løse ved å igangsette smoltifisering, i form av smoltifiseringsfôr eller lysstyring, ved en lavere snittvekt, eller ved å øke promille i driftsvannet til 5 eller høyere. I spørreundersøkelsen ble det spesifikt spurt om oppdrettere opplever høyere dødelighet som følge av HSS gjennom produksjonen ved produksjon av større fisk.

Sårproblematikk er ikke oppgitt som et problem hos oppdrettere av stormolt. Flere oppgir at de benytter 12-15 ppt da det er mindre risiko for sårproblematikk ved denne saliniteten sammenlignet med høyere salinitet. Enkelte erfarer utfordringer med finneslitasje, men mener at dette kommer av aggresjon på grunn av feil føring eller høy tetthet.

Gjellehelse ble ikke oppgitt som en stor utfordring ved produksjon av stormolt i RAS-anlegg, sammenlignet med tradisjonell smoltproduksjon. Gjelleutfordringene er som regel knyttet til redusert vannkvalitet og høy tetthet. Dette er et fagområde som oppdretterne ønsker mer kunnskap om, og særlig om hvordan turbiditet påvirker gjellehelse.

5.5 Erfaringer med prestasjon i sjø hos stormolt

5.5.1 Erfaringer fra intervju, workshop og spørreundersøkelse

Det er svært varierende erfaringer med hvordan stormolt presterer etter utsett i sjø. Mulighetene smoltprodusentene har for å følge opp fiskegruppene etter sjøutsett påvirkes av om fisken er solgt internt eller eksternt. Hvilke mål oppdretterne benytter for å måle prestasjon i sjø er i hovedsak dødelighet og tilvekst den første tiden (30-100 dager) etter sjøutsett. I tillegg nevner flere den totale produksjonstiden på sjø, antall lusebehandlinger og akkumulert dødelighet i sjøfasen som viktige indikatorer. Det bemerkes av flere at det er større variasjon i kvalitet på stormolt sammenlignet med tradisjonell smolt. Ofte er det enkeltgrupper som presterer svært god i sjøfase, mens andre har dårlig tilvekst og

prestasjon. Årsakssammenhengen mellom disse forskjellene er ikke definert og viser igjen at det er store kunnskapshull i produksjon av storsmolt og prestasjon på sjø.

Sitater:

«Opplever at storsmolt/postsmolt er mer rufsete og presterer dårligere enn tradisjonell smolt - mer sensitiv for endringer og har dårligere tilvekst, samt høyere/mer varierende dødelighet etter utsett.»

«Ser ikke stor forskjell mellom stor og liten smolt - har ikke sammenlignet tilvekst.»

«Har ikke gode nok tall på prestasjon i sjø.»

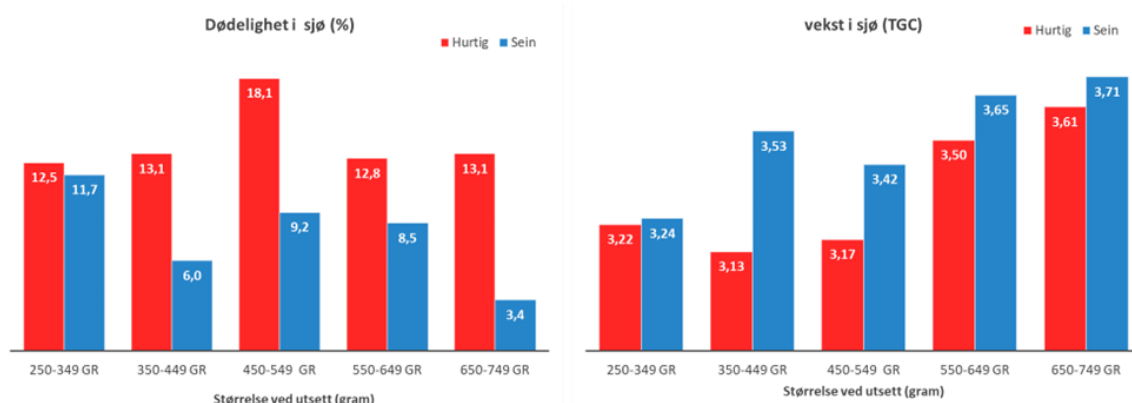
For å vurdere kvalitet og prestasjon av storsmolt ble næringsaktørene bedt om å definere et felles sett av indikatorer. De viktigste indikatorene for å måle dette er listet i Tabell 8.

Tabell 8 For å vurdere kvalitet og prestasjon av storsmolt har man gjennom prosjektet definert et sett av indikatorer som næringsaktører trekker frem som de mest vesentlige.

Indikator	Hvorfor indikator er viktig	Målemetode
Overlevelse på land	Gir indikasjon på generell helse i landfase	Registrere dødelighet i landfasen.
Smoltifisering	Sikre god sjøvannstoleranse ved overføring til marint miljø.	Sjøvannstester, genuttrykk, og vurdering av ytre trekk og atferd
Overlevelse i sjø etter utsett	Viser om fisken var klar for utsett og om overføringen har vært god	Registrere dødelighet t.o.m 90 dager etter utsett
Tilslag ved føring	En god smolt vil gå raskt i føret etter overføring til sjø	Utføringsprosent den første tiden i sjø, %-vis daglig tilvekst (SGR)
Smoltutbytte	En god smoltgruppe vil ha gode forutsetninger for god tilvekst i sjøfase	Forholdet mellom kilo slaktet fisk og kilo smolt som settes i sjøen
Dødelighet frem til slakt	Indikere generell helse til fiskegruppen frem til slakt	Registrere dødelighet i sjø
Tilvekst	Registrere om tilveksten er god (vekstfaktor)	Ulike vekstfaktorer (VF3, EGI, RGI) og førfaktor (bFCR, eFCR)
Helsestatus- hjertehelse, gjellehelse, skinnhelse og nyrer.	God helse gir robusthet og god tilvekst,	Individbasert velferdscoring av normalfisk (eks. hudhelse, nefrokalsinose), histologi (vurdering av gjellehelse)

5.5.2 Data fra sjøfasen på Færøyene

Data fra produksjon i sjøfasen på Færøyene viser at laks som har vokst raskere i RAS har høyere dødelighet og lavere vekst i sjøfasen sammenlignet med laks som vokste saktere i RAS. Forskjellen i vekst var størst for fisk satt ut mellom 350-550 g. Dette indikerer at storsmolt som produseres ved lavere temperatur gjennom settefiskfase og vokser seinere presterer bedre i sjøfase sammenlignet med storsmolt som produseres ved høyere temperaturer i RAS. Fra dette datagrunnlaget har en sortert ut fiskegrupper basert på hvor hurtig de er produsert i settefiskanlegget (Tabell 9). Her har en tatt ut de fiskegruppene som har vokst raskest (øvre 25 %) og de som har vokst langsamst (nedre 25 %) og sammenlignet prestasjon på sjø basert på dødelighet og vekst. Alle størrelsesgruppene presterte bedre, med lavere dødelighet og bedre tilvekst, hos fiskegrupper som ble produsert mindre intensivt i settefiskanlegget. Ulik temperatur i RAS var årsaken til forskjell i veksthastighet, men vi har ikke temperaturprofil for de to gruppene (Figur 14). Årsaken til denne forskjellen i prestasjon i sjø er ikke kjent, men flere oppdrettere og forskere har stilt spørsmål om intensiteten i moderne lakseoppdrett har nådd en grense hvor effektivitet og prestasjon faktisk går ned.



Figur 14 Vekst og overlevelse i sjøfasen for fisk som har hatt ulik veksthastighet i RAS (hurtig og sein) og er satt ut på ulik vekt. (Kilde Avrik).

Tabell 9 Gjennomsnittsvekt og antall dager på land for ulike grupper basert på vekt ved utsett. Grupper som har vokst raskt er merket med rødt og grupper som har vokst langsomt er merket med blått. Gul kolonne viser månedlig differanse mellom grupper.

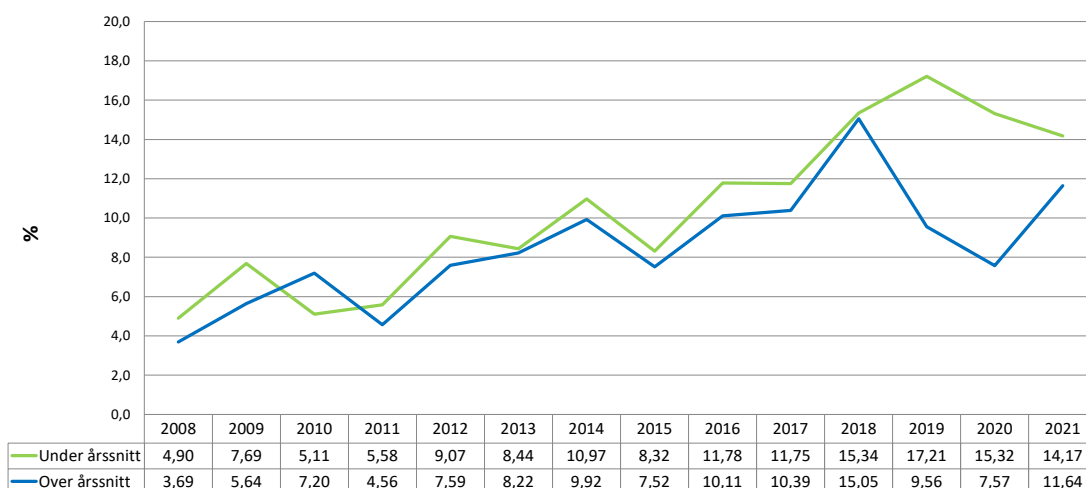
Størrelsesgruppe	Hurtig vekst i RAS		Sein vekst i RAS		Forskjell i måneder
	Snitt vekt (g)	Dager på land	Snittvekt (g)	Dager på land	
250-349 gr	294	401	301	494	3,1
350-449 gr	402	402	400	659	8,5
450-549 gr	499	466	509	686	7,2
550-649 gr	596	504	602	736	7,6
650-749 gr	690	495	703	772	9,1

Data på prestasjon i sjøfase fra Færøyene viser også at den største fisken ved utsett gjør det like bra med tanke på vekst i sjø som fisk som er mindre ved utsett, og den har heller ikke høyere dødelighet enn smolt som er mindre ved utsett (Tabell 10, Figur 15). Dødeligheten i sjø har økt de siste årene på Færøyene, noe som skyldes mer bruk av mekaniske avlusingsmetoder som er en påkjenning for fisken.

Tabell 10 Produksjonsdata for smolt satt ut ved ulike størrelser, alle merder slaktet mellom 2006-2021 på Færøyene (Kilde Avrik)

Størrelses Gruppe	Smolt vekt (g)	Slaktevekt (kg)	FCR eco	% døde	Vekst TGC	Vekst SGR	Temperatur i sjø (°C)	Måneder i sjø
S: u/100 gr	80	6,04	1,17	8,9	3,026	0,78	8,2	18,3
M: 100-200 gr	134	6,15	1,18	10,1	3,019	0,73	8,3	17,3
L: 200-500 gr	284	6,09	1,18	12,1	3,112	0,68	8,4	14,8
XL: +500 gr	679	5,84	1,12	9,1	3,424	0,64	8,0	11,1

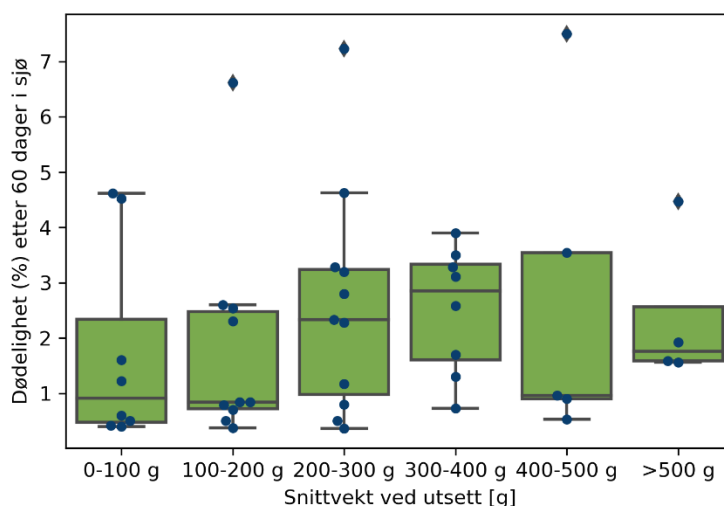
Dødelighet Færøyene, liten vs stor smolt pr år



Figur 15 Dødelighet per år (2008-2021) for smolt som ved utsett var over eller under gjennomsnittsvekt for utsett (Kilde Avrik)

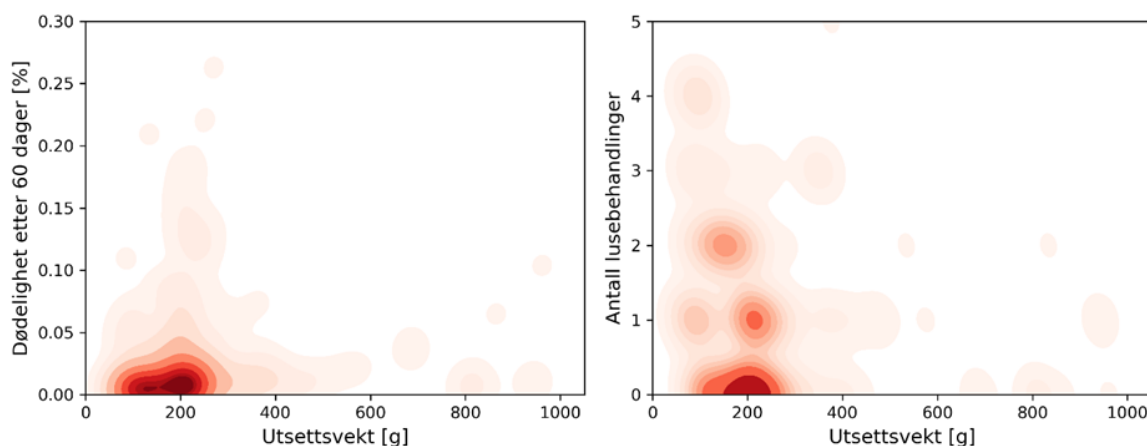
5.5.3 Data fra sjøfasen i norsk storsmoltproduksjon

Figur 16 inneholder et boksplott hvor prosentvis dødelighet de første 60 dager i sjø per settefiskanlegg er fremstilt mot snittvekt ved sjøsetting som hundregramsintervaller. Dataene inkluderte 17 settefiskanlegg spredt over hele landet. Merk at det er flere observasjoner blant de mindre vektclassene, da ikke alle de inkluderte settefiskanleggene produserte større fisk. Figuren viser ikke en entydig sammenheng mellom snittvekt ved utsett og dødelighet etter 60 dager i sjø, men det er en viss tendens til økt dødelighet opp til 400 g ved utsett.



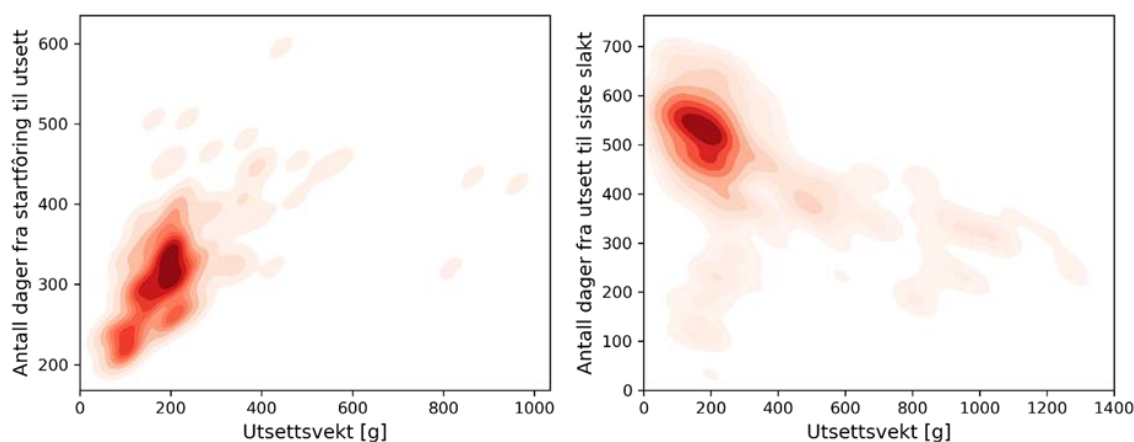
Figur 16 Dødelighet etter 60 dager i sjø, som prosent av antall sjø satt fisk, gruppert på settefiskanlegg. Data stammer fra utsett fra 17 settefiskanlegg i Sør-, Midt-, og Nord-Norge i årene 2018-2022.

Figur 17 viser kjernetetthetsplott, hvor konturene (mørkere rødfarge) i et område av plottet indikerer høyere tetthet av observasjoner, av snittvekt ved utsett mot dødelighet etter 60 dager i sjø og antall lusebehandlinger. Dataene er fra utsett fra 12 smolt- og postsmolt-anlegg i Sør- og Nord-Norge i årene 2019 til 2022. Ingen tydelig sammenheng mellom dødelighet og utsettvekt kommer frem av figuren, men en antydning til færre lusebehandlinger ved utsett av større fisk synes rimelig.



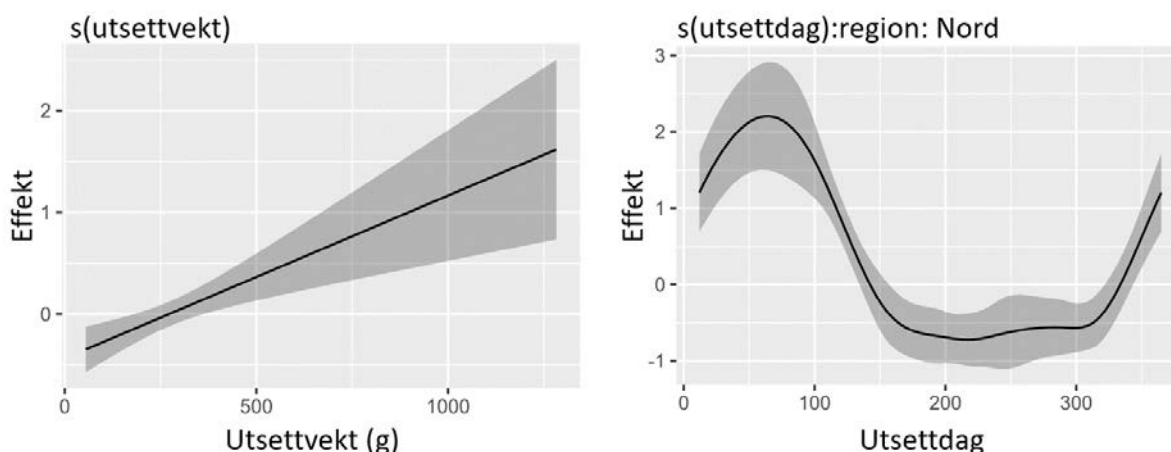
Figur 17 Kjernetetthetsestimater av forholdet mellom vekt ved sjøsetting og dødelighet, som present av antall sjøsatt fisk (venstre) samt antall lusebehandlinger (høyre). Dataene er på merdnivå og stammer fra utsett fra 12 smolt- og post-smoltanlegg i Sør- og Nord-Norge i årene 2019-2022.

Figur 18 viser kjernetetthetsplott, hvor konturene (mørkere rødfarge) i et område av plottet indikerer høyere tetthet av observasjoner, av snittvekt ved utsett mot antall dager fra startføring til utsett og antall dager fra utsett til siste slakt. Dataene er fra utsett fra 12 smolt- og postsmolt-anlegg i Sør- og Nord-Norge i årene 2019 til 2022. Figuren illustrerer at produksjonstiden på land økes ved produksjon av større fisk, mens produksjonstiden i sjø reduseres. Det var ikke antydninger i datasettet til at slaktevekten var endret ved produksjon av større fisk (ikke vist).



Figur 18 Kjernetetthetsestimater av forholdet mellom vekt ved sjøsetting og antall dager fra påbegynt startføring til sjøsetting (venstre) samt antall dager fra sjøsetting til siste slaktedag (høyre). Dataene er på merdnivå stammer fra utsett fra 12 smolt- og post-smoltanlegg i Sør- og Nord-Norge i årene 2019-2022.

For den generaliserte additive modell med dødelighetsrate (%) etter 60 dager i sjø som responsvariabel og utsettsvekt samt utsettdag (dag i året) per region (nord og sør) som forklaringsvariabler var alle inkluderte variabler signifikante ($p < 0.01$) unntatt variabelen «utsettdag» for region sør. Marginaleffektene av glattingsfunksjonene er vist i Figur 19.



Figur 19 Marginal effekter til signifikante glattingsfunksjoner fra en generalisert additiv modell med dødelighetsrate etter 60 i sjø som målvariabel (effekt), og utsettvekt og utsettdag per region som forklaringsvariabler. Settefiskanlegg var inkludert som tilfeldig variabel.

Resultatene indikerer at økt snittvekt ved sjøsetting, samt sjøsetting av fisk på vinterstid i Nord-Norge er assosiert med høyere dødelighet de første 60 dagene i sjø. Den tilfeldige effekten til settefiskanlegg var også signifikant, som indikerer at opphavet til fisken har en innvirkning på dødeligheten den første tiden i sjø. Forklaringsgraden til modellen var likevel forholdsvis lav (justert $R^2 = 0,36$, forklart avvik 38,5 %), noe som tilsier at mye av variasjonen i dødelighet skyldes andre forhold som ikke er inkludert, som f.eks. infeksjonspress og håndtering. Konfidensintervallene til utsettvekt-funksjonen er brede ved høyere snittvekter grunnet et begrenset antall observasjoner med snittvekt over 500 g og spredningen for disse er stor. Dette, samt at det er et begrenset antall selskaper og lokaliteter som er representert i datamaterialet, gjør at man ikke uten videre kan slutte at høyere snittvekt ved sjøsetting nødvendigvis medfører høyere dødelighet.

6 Diskusjon

For å oppnå lønnsom kommersiell produksjon med god vekst og overlevelse er det viktig å drifte innenfor de biotiske og abiotiske faktorer som best mulig tilfredsstiller laksen krav til oppdrettsmiljøet, herunder bruk av lys, vannhastighet, temperatur, gass- og saltinnhold i vannet, strømhastighet, tetthet og føring for å nevne noen. I prosjektet var oppdrettere også svært opptatt av temperaturstyring i tidligere faser av produksjonen og mente at intensiv drift i settefiskfaser trolig kan ha stor innvirkning på senere prestasjon i sjø. Laksens krav til oppdrettsmiljøet endrer seg med livsstadier og størrelse, og det er ikke mulig å gå i dybden på alt. Her diskuteres de viktigste biologiske kravene laksen har til omgivelsene opp mot de viktigste miljøparametere i produksjon av storsmolt og postsmolt på land. Det anmerkes at det nødvendigvis ikke finnes en enkelt anbefaling om beste praksis som fullt ut tilfredsstiller alle krav laksen har til oppdrettsbetingelsene. Valg av strategi er hovedsakelig motivert av et ønske om å produsere en robust fisk som presterer godt etter utsett til sjø. Imidlertid kan tekniske begrensninger i anlegget gjøre det praktisk utfordrende å holde laksen under optimale betingelser. Det vil da være viktig å benytte eksisterende kunnskap om laksens fysiologiske grenseverdier for å unngå at biologiske systemer presses utover det som regnes som håndterbart for det aktuelle utviklingsstadiet med det formål å minimere risiko for at uønskede produksjonsslidelser oppstår.

Temperatur: Temperatur har en markant effekt på fiskens metabolske og biologiske prosesser. Temperatur optimum hos laks varierer med utviklingsstadier og fiskestørrelse. Det er også slik at optimal temperatur kan være forskjellig for ulike biologiske egenskaper, som eksempelvis vekst og fôrutnyttelse. Videre kan feil bruk av temperatur, særlig i sammenheng med andre miljøbetingelser, som lys og salinitet, ha negative konsekvenser for fisken utvikling, vekst og helse. Erfaringene fra næringen viser at de fleste RAS anlegg som har driftet opp mot 14-15 °C har erfart større andel kjønnsmodning. Fra forskningen fremkommer det at for å unngå tidlig kjønnsmodning bør en holde seg rundt 12 °C eller lavere ved produksjon av fisk større enn 150 g (Fjelldal m.fl. 2011, 2018; Imsland m. fl. 2014, Martinez m. fl. 2021, 2023). Andel kjønnsmodning kan ytterlig reduseres ved å gi 21 timer lys og 3 timers mørke i stedet for 24 timers lys når vår-signalet sette på i smoltproduksjon (Fraser m. fl. 2023). Generelt er det viktig å merke seg at høy intensitet med kombinasjon av høy temperatur, kontinuerlig lys og maksimal føring også vil medføre økt risiko for produksjonsslidelser, særlig i forhold til hjerte-lidelser (Frisk m. fl. 2020). I hvor stor grad temperatur påvirker andre lidelser som utvikling av nefrokalsinose hos fisk produsert i RAS gjenstår å utrede. I dag drifter de fleste produsenter som produsere postsmolt i RAS med en temperatur mellom 12-14 °C i siste del av landfasen, før en eventuell akklimatisering. Majoriteten ligger nærmere 12 enn 14 °C og enkelte ønsker å teste ut lavere temperaturer enn dette på grunn av forhold nevnt over. Hvis målsetningen er å produsere en robust smolt som vokser godt i sjø tror mange oppdrettere at optimal temperatur er mellom 10-12 °C i postsmoltfasen. Produksjonsdata fra Færøyene støtter opp denne antagelsen hvor en har vist til at storsmolt som produseres ved lavere temperatur gjennom settefiskfase presterer bedre i sjøfase sammenlignet med storsmolt som produseres ved høyere temperaturer.

Lysstyring: I tillegg til å fremme vekst, så er bevist bruk av lys viktig for å stimulere smoltifisering og unngå tidlig kjønnsmodning. Undersøkelser i dette prosjektet viser at majoriteten av oppdrettere som produserer storsmolt bruker lysstyring alene eller i kombinasjon med andre metoder. De fleste velger å lysstyre fisken på samme tidspunkt som tradisjonell smolt og overfører den til et marint miljø når fisken er ferdig smoltifisert. Dersom man setter inn vintersignalet før fisken når 40-60 g, så bør lys protokoll bestående av 6 ukers vinter (12L:12D), etterfulgt av et vår-signal med kontinuerlig 24 timers lys for 4-6 uker (300 - 500 døgngrader) være tilstrekkelig for å produsere en god smolt (Stefansson m. fl. 1991, 1998). Samme protokoll er dokumentert å fungere godt helt opp til 120-130 grams størrelse ved start av vintersignal (Striberny m. fl. 2021; Annual report 2021,2022 CrtIAQUA). Dersom en ønsker benytte lengre vintersignal, så anbefales temperaturer på 10-12 °C eller lavere, bruk av ferskvann, samt at fisken overføres til sjø før den blir 400-500 g. En bør også ha med seg at risiko for økt innslag av

kjønnsmodning er dokumentert i litteraturen (Fjelldal m. fl. 2011). Generelt gjelder at jo større smolten er, jo større er risikoen for et asynkront smoltforløp (Khaw m. fl. 2021). Det kan derfor være fordelaktig å gi storsmolt 6-8 ukers vintersignal før den når 120 g, etterfulgt av et vår-signal på 21 timers lys og 3 timer mørke før fisken overføres til sjø etter ca. 400 døgngader. Det kan også være fordelaktig å benytte spesialfôr i tillegg til lysstyring for å synkronisere og øke sjøvannstoleranse. Det anbefales imidlertid ikke å gå bort fra bruk av lysstyrte protokoller før bedre dokumentasjon foreligger. Videre er det verdt å merke seg at desto lenger en venter med å iverksette lysstyringsprotokoll for smoltifisering, desto større er risiko for å få økt innslag av kjønnsmodning, særlig når fisken blir større enn ca. 150 g før vintersignal gis.

Salinitet: Hvilken salinitet som benyttes er ofte styrt av anleggets teknologi og fisken biologisk behov i ulike livsstadier. Selv om laks har relativ stor plastisitet når det gjelder salinitetstoleranse, så vil bruk av lavere salinitet i produksjon av storsmolt og postsmolt medføre både fordeler og ulemper. Dette medfører ofte at man benytter saliniteter som avviker fra det laksen er tilpasset fra naturens side, da en villaks kun er i kontakt med rent ferskvann til den er ferdig smoltifisert. Det er også viktig å være bevisst hvilke biologiske egenskaper en ønsker å fremheve gjennom å endre salinitet. Generelt vil en ferskvannsfisk vokse bedre ved litt høyere salinitet enn ferskvann, mens sjøvannsfisk vokser bedre ved salinitet lavere enn sjøvann. Vekst er derfor vanligvis høyere i brakkvann mellom 8-20 ppt (Brauner og Richards, 2020). Dersom vekst er den overordnede faktor en ønsker å hensynta så har 12 ppt vist seg å være fordelaktig for vekst hos postsmolt (Ytrestøyl m. fl. 2020, 2022). Dersom kriteriet for valg av salinitet er utelukkende vekst så er foreløpig anbefaling 12 ppt. i postsmoltfase. Imidlertid har den fagfellevurderte litteraturen benyttet saliniteter på enten 11-12 ppt eller 20-22 ppt (Brauner og Richards, 2020), så det gjenstår fortsatt å dokumentere salinitet for best vekst mellom 11-20 ppt. Selv om det kan være mye å hente på vekst ved bruk av brakkvann, så må valg av salinitet også sees i sammenheng med laksens evne til å regulere vann- og saltbalanse. Det er også viktig å hensynta fiskestørrelse, livsstadium og hvor lenge fisken skal gå i brakkvann før sjøsetting. Funn fra nefrosmolt-prosjektet tyder på at bruk av sjøvann for tidlig i produksjonen ser ut til å føre til osmoregulatorisk stress som igjen kan gi nefrokalsinose. I samme prosjekt var det indikasjoner på at stor fiskestørrelse gir høyere risiko for å utvikle *alvorlig* nefrokalsinose. Flere oppdrettere har erfart at en økning i salinitet kan gi mindre utfordringer med HSS i produksjonen. Salinitet må derfor brukes med bevissthet gjennom hele settefiskproduksjonen for å gi fisken de riktige signalene avhengig av livsstadium.

Smolt produsert ved lysstyrte protokoller bør ideelt overføres til sjø når de er midt i smoltvinduet, dvs rundt 400-500 døgngader. Det er ikke å anbefale bruk av brakkvann >10 ppt på fisk under 100 g som ikke har gjennomgått smoltifisering. Dette øker sannsynlighet for redusert vekst (Handeland og Stefansson 2002). Det er mulig å holde smolten i smoltvinduet lengre ved bruk av enten brakkvann (12-15 ppt), eller spesialfôr. Men da bør sjøvannstoleranse overvåkes nøye. Flere oppdrettere har i prosjektet gitt tilbakemelding om at det knyttes noe usikkerhet til om 12-15 ppt er tilstrekkelig for å opprettholde sjøvannstoleranse over tid hos en storsmolt. I en liten fisk er det dokumentert at 15 ppt er tilstrekkelig for å opprettholde sjøvannstoleranse (Mortensen og Damsgård 1998). I en større smolt opptil 600 g er det vist at 12 ppt opprettholder en overvekt av sjøvannsiso-formen av NKA i gjellene, men det ble ikke funnet en effekt på prestasjon i sjøfasen sammenlignet med fisk som hadde gått i ferskvann (Ytrestøyl m. fl. 2022). Enkelte oppdrettere prøver nå ut en strategi med 20-22 ppt for å se hvordan dette påvirker prestasjon både før og etter sjøsetting. Ulempen vil være risiko for noe lavere vekst, og mulig utfordring med sår i hud. Dette kan reduseres ved å ligge rundt 20 ppt, da erfaring viser at problem med sår ofte øker når man nærmer seg 24-25 ppt. Dersom man ikke har mulighet til å øke salinitet over 12-15 ppt, så har siste forskningsresultater fra SFI CtrlAQUA vist at man ofte får bedre effekt av brakkvann dersom fisken har gått gjennom lysstyringsprotokoll (CtrlAqua annual report 2022).

Erfaringene fra Færøyene, og noen norske oppdrettere, viser til gode prestasjoner for fisk produsert ved lav salinitet (< 3 ppt) frem til utsett i sjø. Dette er i hovedsak storsmolt > 500 g som produseres i RAS anlegg hvor tettheten er redusert. Flere av oppdretterne erfarer at storsmolt har mer risttap og tåler håndtering dårligere enn tradisjonell smolt, og man ser utfordringer med aggresjon og slitasje hos større fisk ved høy tetthet. Ved å redusere tettheten i karet blir også behovet for håndtering redusert, noe som kan gi en positiv påvirkning på fiskens robusthet og prestasjon etter utsett.

Forhold i sjøfase: På Færøyene har man i en årrekke hatt gode prestasjoner i sjøfasen ved utsett av en stor smolt ved bruk av en protokoll i landfasen som skiller seg vesentlig fra den som brukes i norsk oppdrett. Fisken står lengre på land i RAS anlegg på kort dag i ferskvann før den gis fullt lys før utsett (200-400 dgr), men det i norsk oppdrett benyttes til dels høyere temperaturer og kortere produksjonstid i RAS og det benyttes ofte brakkevann i postsmoltfasen. Om en tilsvarende praksis som brukes på Færøyene kunne vært innført i Norge bør vurderes med tanke på produksjonsmessige eller regulatoriske forhold som gjør at dette eventuelt ikke vil være lønnsomt i Norge. Det er noen forskjeller mellom Færøyene og Norge, sjøtemperaturen varierer mindre gjennom året på Færøyene sammenlignet med i Norge, den ligger i hovedsak mellom 6-11 °C (Larsen m. fl. 2008), og man unngår de laveste vintertemperaturene som det kan synes å være problematiske ved utsett av en stor smolt i Norge. Selv om det gjøres en temperaturakklimatisering før utsett, er det ikke sikkert dette er tilstrekkelig for en stor smolt som har gått på høy temperatur i mesteparten av produksjonsperioden på land.

Når det gjelder belastning med tanke på lusesmitte, er den også betydelig på Færøyene. Ved sammenligning med midt-Norge som har lignende temperaturer i sjø som Færøyene fant man høyere lusenivå og flere lusebehandlinger per produksjonssyklus på Færøyene (Kragesteen m. fl. 2021). Dette skyldes flere faktorer; på Færøyene er det overlappende produksjonssykluser, men det i Norge gjøres synkroniserte utsett med brakklegging. Det er også krav til avlusing på et lavere lusetall i Norge (0,2-0,5 bevegelige hunnlus per fisk) sammenlignet med på Færøyene (1 bevegelig hunnlus, men 0,5 i mai, juni og juli). Dette kan bidra til å holde de totale lusetallene lavere Norge (Krkošek m. fl. 2012, Stormoen m. fl. 2013, Kragesteen m. fl. 2019) noe som kan redusere behovet for avlusinger. En tredje faktor som kan forklare færre avlusinger i midt-Norge sammenlignet med Færøyene er strømforholdene i sjøen, det er en sterkere strøm langs kysten av Norge, mens rundt Færøyene er strømforholdene mer stagnante (Kragesteen m. fl. 2018). I tillegg kan bruk av rensefisk spille en rolle for det totale lusenivået, det er mye brukt i Norsk oppdrett, men i mindre grad på Færøyene.

Lusebehandlinger, særlig mekaniske metoder, fører til økt dødelighet, på Færøyene ser man en økt dødelighet i sjøfase de seinere år som sammenfaller med økt frekvens av mekaniske lusebehandlinger. Data fra sjø fra norsk produksjon viser en tendens til reduksjon i antall lusebehandlinger med økt utsettstørrelse samtidig som at slaktestørrelse ikke var økt. Færre lusebehandlinger var en de viktigste grunnene som ble oppgitt av oppdretteren for å produsere en større smolt, og det er også den viktigste grunnen til omleggingen til å produsere storsmolt på Færøyene.

Data fra sjøfasen i Norge indikerer en tendens til økt dødelighet de første 60 dager etter utsett for større smolt, mens dette ikke var tilfelle på Færøyene når man ser på data fra hele sjøfasen, samlet for ulike smoltstørrelser over mange år. I analysene av norske produksjonsdata hvor det ble brukt en modell som inkluderte vekt og tidspunkt ved utsett og settefiskanlegg som tilfeldig variabel var forklaringsgraden til modellen forholdsvis lav (38,5 %), noe som tilsier at mye av variasjonen i dødelighet i sjøfasen skyldes andre forhold som ikke er inkludert i modellen, som f.eks. infeksjonspress og håndtering. En større smolt er mer krevende å transportere og håndtere enn en liten smolt, og anlegg og installasjoner kan være dimensjonert for mindre fisk og fungerer kanskje ikke optimalt for en større smolt. En del oppdrettere mente også at storsmolt var mer utsatt for skjelltap og var mindre robust ved håndtering enn mindre

smolt. I Norge brukes brakkevann i stor grad i anlegg for postsmolt, mens Færøyene holder fisken på ferskvann til utsett. Hvilken salinitet fisken går på kan ha betydning for skinnhelsen til fisken, Det er vist at høyere salinitet (22-32 ppt) ga dårligere skinnhelse målt både morfologisk og ved uttrykk av stress-relaterte gener sammenlignet med fisk som gikk på 12 ppt (Ytrestøyl m. fl. 2020). Samtidig er det som nevnt tidligere en del som mener at 12 ppt ikke er en tilstrekkelig høy salinitet til å opprettholde sjøvannstoleranse hos en postsmolt. Utfordringer med sjøvannstoleranse kan også være årsak til økt dødelighet etter utsett. Hvilken salinitet som er optimal for en postsmolt er fortsatt et åpent spørsmål hvor det er behov for mer dokumentasjon.

7 anbefalinger om beste praksis og kunnskapsbehov

Det finnes lite systematisk dokumentasjon og forskningslitteratur å støtte seg på ved produksjon av storsmolt, det meste som gjøres bygger på erfaringer i det enkelte selskap. I prosjektet er det kartlagt en rekke ulike protokoller som benyttes for å produsere storsmolt. Det er også ulike måter å produsere på innen samme selskap, og også på samme anlegg. Enkelte rapporterte at de lysstyrte enkelte fiskegrupper, mens andre gikk på 24 t lys frem til utsett.

Det er ikke mulig å komme med en anbefaling om en beste praksis for produksjon av storsmolt basert på de data og opplysninger som er innhentet fra respondenter i prosjektet. Dette skyldes flere faktorer. Litteraturgjennomgangen har vist at det finnes per i dag relativt få studier som har studert effekten av kritiske innsatsfaktorer som lys, temperatur, vannkvalitet og håndtering spesifikt i sammenheng med storsmoltproduksjon og enda færre studier beskriver effekten av innsatsfaktorene over hele livsløpet frem til slakt. Det er mange ulike protokoller som er i bruk, og det er relativt få produsenter som har erfaring med produksjon av storsmolt på over 500 g. Det er også få som har erfaring med produksjon av storsmolt over et lengre tidsperspektiv slik som de har på Færøyene, og den geografiske spredningen gjør at forholdene i sjø er svært varierte i Norge sammenlignet med Færøyene. Prosjektet har heller ikke lyktes med å få en tilstrekkelig mengde produksjonsdata fra sjøfase for ulike smoltgrupper med ulik størrelse ved utsett til å kunne sikre konklusjoner og anbefalinger om optimal praksis ved produksjon av storsmolt. Dette skyldes at opplysninger kan være sensitive, eller at man ikke har samstemte rapporteringssystemer for å følge ulike grupper med fisk fra landfasen og over i sjøfasen. Færøyene har et godt system for rapportering inn i en database, slik at man kan følge vekst og overlevelse av ulike smoltgrupper, og tall herfra viser at storsmolt kan ha like god vekst og overlevelse i sjøfasen som fisk som var mindre ved utsett. På Færøyene produseres fisken med en lang periode på 12:12 lys:mørke og kun med bruk av ferskvann i landfasen, noe som er helt forskjellig fra hvordan produksjonen skjer i Norge, hvor det benyttes flere ulike protokoller, men ikke et så langt vintersignal som på Færøyene.

Selv om det ikke kan identifiseres en optimal praksis er det basert på forskning og erfaringer grunnlag for å komme med noen anbefalinger for produksjon av storsmolt med tanke på sentrale produksjonsparametere:

- **Temperatur:** Generelt synes en temperatur på 10-12 °C å være optimal for å sikre god vekst i sjøfase og å unngå tidlig kjønnsmodning hos hannfisk. Dette støttes både av vitenskapelig litteratur og data fra Færøyene som viser bedre vekst og overlevelse i sjøfasen når temperaturen i landfasen var lavere.
- **Fotoperiode:** Det anbefales ikke å gå bort fra lysstyring før det foreligger mer dokumentasjon på effekten av dette på prestasjon i sjø. Lysstyring av stor fisk (sent vintersignal) kan medføre økt risiko for asynkron smoltifisering og tidlig kjønnsmodning.
- **Salinitet:** En salinitet mellom 12-15 ppt er i mange studier oppgitt å gi optimal vekst. En salinitet på under 15 ppt ble av oppdrettere ansett for å gi færre problem med skinnhelse og sårdannelse, noe som også støttes av vitenskapelige funn (Ytrestøyl m. fl. 2020). 15 ppt er vist å opprettholde sjøvannstoleranse i liten fisk (Mortensen og Damsgård 1998), men det er ikke tilgjengelige data for større postsmolt.
- **Tetthet:** I en studie i regi av CtrlAqua var tilvekst og fôrinntak negativt korrelert med økende tetthet fra 50 kg/m³ og opp til 125 kg/m³, og en tetthet på 75 kg/m³ ble funnet som en akseptabel øvre grense (Calabrese m. fl. 2017). Flere oppdrettere erfarer imidlertid utfordringer med fiskevelferd hvis tettheten overstiger 65-70 kg/m³ og majoriteten mener at 65 kg/m³ er en god grenseverdi som ivaretar vannkvalitet og fiskehelse.
- **Vannhastighet:** 1,0 kroppslengder per sekund, eller like over dette, synes optimalt basert på vitenskapelige studier på postsmolt fra 60 og opp til 480 g (Solstorm m. fl. 2015, Ytrestøyl m. fl. 2020, Timmerhaus m. fl. 2021).

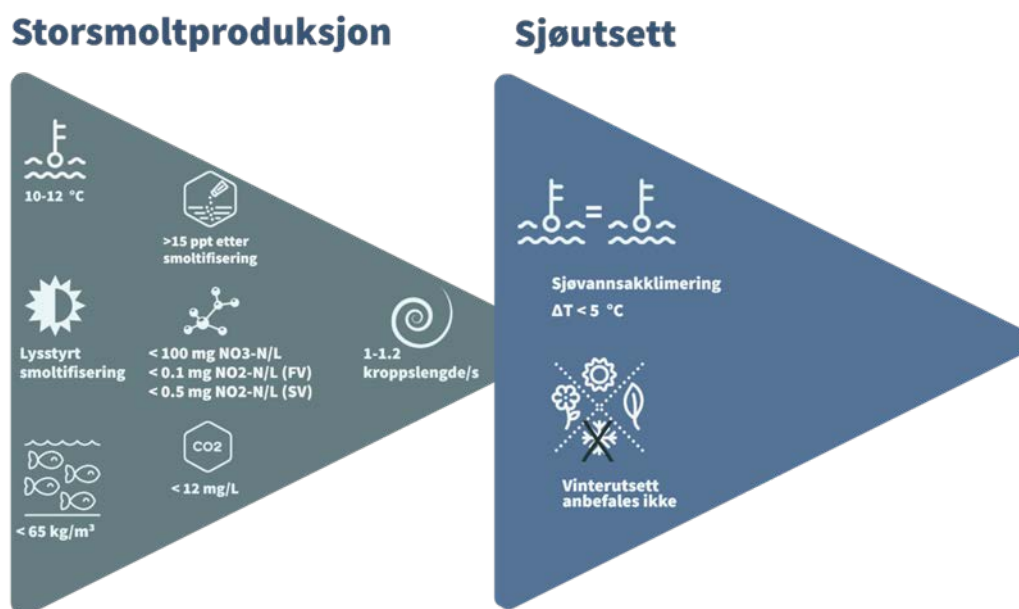
- **CO₂:** Vitenskapelige studier indikerer at verdier under 12 mg/L i brakkvann ikke gir en stor reduksjon i vekst. Mattilsynet anbefaler ikke over 15 mg/L. Oppdrettere oppgir at de ønsker å holde seg under 12 mg/L.
- **Nitrogenforbindelser (TAN, NO₃, NO₂):** Nitrat-nitrogen < 100 mg NO₃-N/L (Davidson m. fl. 2017); nitritt-nitrogen < 0,1 mg NO₂-N/L (FV), < 0,5 mg NO₂-N/L (SV) (Terjesen m. fl. 2013)
- **Tidspunkt for utsett:** Basert på data fra sjøfase er det ikke anbefalt å sette ut stor smolt på kalde vintertemperaturer.
- **Akklimatisering før utsett:** Det anbefales at fisken akklimatiseres til temperaturen den skal settes ut på slik at endringen i temperatur blir maks 3-5 °C. De fleste oppdrettere akklimatiserer fisken med tanke på temperatur før utsett. Dette er særlig viktig når den skal ut på lave temperaturer.
- **Størrelse ved utsett:** Det er anbefalt å sette ut smolt av stor størrelse i områder med høyt lusepress og behov for hyppige avlusinger. Data fra Færøyene indikerer at stor smolt presterer like godt i sjøfasen som smolt som er mindre ved utsett.

Når det gjelder anbefalinger, må det påpekes at en anbefaling for en parameter ikke nødvendigvis er uavhengig av en annen. Maksimal tetthet i ferskvann kan kanskje være høyere enn i brakkvann, hvor høyere salinitet (> 20 ppt) kan gi økt risiko for problem med sår og skinnhelse. Interaksjoner mellom fiskestørrelse og tetthet, og vannhastighet og vannkvalitet er også sannsynlig, men disse sammenhengene er lite undersøkt. Vannkvalitetens betydning for gjellehelse og skinnhelse er også mangelfullt dokumentert. Det samme gjelder for interaksjoner mellom lys og temperatur, hvor det er gjort mest på liten fisk, mens det er lite informasjon om større smolt/postsmolt.

Kunnskapsbehov:

- **Intensitet:** Oppdretterne etterlyser mer forskningsbasert kunnskap for å forbedre produksjonsmetodene. En utbredt hypotese blant oppdrettere var at for høy intensitet i produksjonen i RAS medfører dårligere robusthet og prestasjon i sjøfasen. Data på prestasjon i sjøfasen fra Færøyene indikerer at det kan være tilfelle, men her trengs det mer dokumentasjon og en forlengelse av landfasen ved at temperaturen senkes vil medføre en økt kostnad i landbasert produksjonsfase. Det er derfor viktig å dokumentere at det gir en gevinst i sjøfasen i form av økt vekst og overlevelse før man gjør investeringer og implementerer endringer som gir økte kostnader i landfasen. Det kan nevnes at det er pågående forskning i regi av FHF på hvordan intensitet i produksjonen i settefiskfasen påvirker prestasjon i sjøfasen ved utsett av en mindre smolt (Prosjekt 901770 «Livsløpsstudie med atlantisk laks av de kritiske innsatsfaktorene temperatur og salinitet», og 901793 «Optimal smoltproduksjon for en robust fisk i sjø»).
- **Salinitet:** Det benyttes i dag alt fra ca. 3 ppt til over 20 ppt i RAS, uten at effekten på vekst og fiskehelse etter overføring til sjøvann er godt dokumentert. Det er også usikkerhet om hva som er tilstrekkelig salinitet for å opprettholde sjøvannstoleransen i en post-smolt, her er det ulike meninger blant oppdrettere, en del mener at 20 ppt er nødvendig for å opprettholde sjøvannstoleranse, men det mangler vitenskapelig dokumentasjon på hvilken salinitet som gir en tilstrekkelig sjøvannstoleranse for å sikre god vekst og helse etter overføring til sjø.
- **Tetthet:** Respondentene ga uttrykk for ønske om økt fokus og kunnskap om betydning av tetthet i RAS for skinnhelse, finneslitasje og sårutvikling og betydning av vannkvalitet og innhold av partikler for gjelle- og skinnhelse. Optimal tetthet er som nevnt også avhengig av andre faktorer som salinitet og fiskestørrelse, men her mangler det dokumenterte anbefalinger.

- **Fotoperiode:** Det er godt dokumentert at en liten smolt trenger 300-400 døgngrader på 24 t lys etter at vintersignalet er over før utsett i sjø. Når det gjelder er større smolt, så er det indikasjoner på at fisken kan smoltifisere raskere enn en liten fisk, særlig når temperaturen er høy. Det er usikkerhet med tanke på effekt av fotoperiode på kjønnsmodning og optimalt tidspunkt for å gi et vintersignal i større smolt. Det er også mulig at lysregime i RAS bør tilpasses årstid hvor fisken settes ut. I dagens praksis benyttes det stort sett samme protokoll i RAS uansett når på året fisken settes ut.
- **Driftsbetingelser:** dimensjonering av kar (overflate/volum), vannhastighet og strømforhold i karene. Oppdretterne mener at det trengs en større overflate i forhold til volum i karene ved produksjon av større smolt. Dette for å sikre optimal tilgang til luft og fôr og unngå aggresjon og spredning i vekt.
- **Fôr og fôring:** Det er behov for mer kunnskap om fôrets næringssammensetning og utfôringsstrategier for å unngå for stor spredning i vekt og redusert appetitt og vekst etter utsett i sjø. Det er også lite dokumentasjon og publiserte studier om bruk av spesialfôr for å indusere sjøvannsstoleranse, hvor lenge det bør brukes, og hvordan det fungerer i større fisk, er tema som bør undersøkes nærmere.



Figur 20 Oppsummering av anbefalinger

8 Hovedfunn

- Resultatene i dette prosjektet viser at det benyttes mange ulike strategier ved produksjon av storsmolt. Strategien man velger er hovedsakelig basert på erfaring, ofte ved det enkelte anlegg.
- De fleste oppdrettere i Norge benytter en form for protokoll for å indusere sjøvannstilpasning, enten lysstyring, salinitetsøkning, smoltfôr eller kombinasjoner av disse. Få oppga at de ikke benyttet noen protokoll (kontinuerlig lys). Smoltsignalet gis på samme tid for stor og liten smolt (mellom 50-150 g).
- Tidspunkt for utsett av storsmolt i Norge sammenfaller i stor grad med tidspunktet for tradisjonelt smoltutsett.
- En utbredt oppfatning blant oppdrettere var at for høy intensitet i produksjonen i RAS medfører dårligere robusthet og prestasjon i sjøfase.
- På Færøyene har man en mer ensartet protokoll i landfasen som skiller seg fra det som gjøres i norsk produksjon, ved at det benyttes et langt vintersignal med 12:12 lys:mørke inntil 4 uker før utsett. Da settes den på 24 timer lys. Hele produksjonen på land skjer i ferskvann på Færøyene, og så og si all produksjon av storsmolt skjer i RAS.
- Data fra Færøyene viser at det er potensiale for god vekst i sjøfase ved utsett av en stor smolt produsert i ferskvann, men resultatene viser også at lavere intensitet i produksjonen i landfasen gir bedre vekst og lavere dødelighet i sjøfasen.
- Datagrunnlaget fra sjøfase i norsk produksjon av storsmolt var begrenset, men kan tyde på en høyere dødelighet de første 60 dager etter utsett med økende smoltstørrelse og ved utsett på vinteren i Nord-Norge. Det var også en effekt av anlegget fisken kom fra, men det er ikke grunnlag for å si noe om betydning av produksjonsbetingelser i RAS for prestasjon i sjøfasen.
- Utsett av en større smolt reduserte antall lusebehandlinger i sjøfasen, noe som er formålet med å sette ut større smolt.

9 Leveranser

Populærformidling

Foredrag:

- Foredrag Tekset 04.05.2022, «Smoltifiseringsprotokoller i storsmoltproduksjon: Dagens praksis» (Anja Striberny)
- Foredrag årsmøtet i SFI CtrlAqua 11.05 2022, “Knowledgemapping -production of large smolts” (Trine Ytrestøyl)
- Fremtidens smoltproduksjon Sunndalsøra 27.10.2022, «Kunnskapskartlegging – produksjon av stor laksesmolt» (René Alvestad)
- Prosjektet omtalt på samling Leverandørutvikling Havbruk Nord 03.11.2022, «Smoltproduksjon: eksempler fra forskning i skjæringspunktet mellom teknologi og biologi» (Anja Striberny)
- Foredrag konferanse «Risiko i landbasert oppdrett» 10.11.2022, «Kunnskapskartlegging – produksjon av stor laksesmolt» (Vibeke Emilsen Wetterwald)
- Fordrag Tekset 15.02. 2023 «Vet vi nok om hva som påvirker prestasjonen til stor smolt i sjøfasen?» (Trine Ytrestøyl/Åsa Espmark)
- Webinar «» Aquatech cluster 23.05 2023 (Trine Ytrestøyl)
- E-læringskurs: 01.06 2023

Artikler:

«Produksjon av stor laksesmolt-status og utfordringer» spesialnummer Norsk Fiskeoppdrett

Nyhetssaker:

- Nofima nyhetssak mai/juni 2023

Møter med industriaktører

- Dialogsamlinger med næringsaktører: Fysisk møte i Trondheim 5. mai og Haugesund 6. september, digitalt dialogmøte 29. september.

Vitenskapelig publisering

«Reviews in Aquaculture» (Innsendelse mai 2023), “Diversification of Atlantic salmon smolt production strategies: Technological opportunities and potential biological bottlenecks”.

Rapportering til FHF:

- Referat fra møter med referansegruppe: 01.10.2021, 01.03.2022, + siste
- Årlig statusrapportering til FHF: 31.12 2021 og 31.12 2022
- Faglig sluttrapport som beskrevet (<https://www.fhf.no/fhf/slik-arbeider-fhf/>): 01.06 2023
- Populærvitenskapelig resultatsammendrag 01.06 2023
- Administrativ sluttrapport: 01.06.2023

Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's Retningslinjer for sluttrapportering (se

<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektdokumenter/>):

10 Referanser

- Alipio, H. R. D., Albaladejo-Riad, N., & Lazado, C. C. (2022). Sulphide donors affect the expression of mucin and sulphide detoxification genes in the mucosal organs of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Frontiers in Physiology*, 13, 2608.
- Alipio, H. R. D., Bergstedt, J. H., & Lazado, C. C. (2023). Differential sensitivity of mucosal organs to transient exposure to hydrogen sulphide in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 739595.
- Annual Report 2021 CtrlAQUA. Multiple Authors. Centre for Closed-containment Aquaculture, eds. [CtrlAQUA annual report 2021 med.pdf](#)
- Annual Report 2022 CtrlAQUA. Multiple Authors. Centre for Closed-containment Aquaculture, eds. [CtrlAQUA - Annual Report 2022 - Centre for Closed-Containment Aquaculture - CtrlAqua](#)
- Basulto S. (1976) Induced saltwater tolerance in connection with inorganic salts in the feeding of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 8, 45-55.
- Bergstedt, J. H., & Skov, P. V. (2023). Acute hydrogen sulfide exposure in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): Critical levels and recovery. *Aquaculture*, 570, 739405.
- Bjerknes, V., Duston, J., Knox, D., & Harmon, P. (1992). Importance of body size for acclimation of underyearling Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) to seawater. *Aquaculture*, 104(3-4), 357-366. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90216-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90216-8)
- Bjerknes, V., Liltved, H., Rosseland, B. O., Rosten, T., Skjelkvåle, B. L., Stefansson, S., & Åtland, Å. (2007). Vannkvalitet og smoltproduksjon. Juul forlag.
- Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2019). Economic analysis of land based farming of salmon. *Aquaculture Economics & Management*, 23(4), 449-475.
- Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2020). Economic analysis of on-growing of salmon post-smolts. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4), 355-386.
- Blaalid, G.-E. (2018, 17. mars). Mange vil, men ingen gjør det. Norsk Fiskeoppdrett. Hentet 15. januar 2023 fra: <https://www.kyst.no/arkiv/mange-vil-men-ingen-gjr-det/246596>
- Boissonnot, L., Klykken, C., Stensby-Skjærvik, S. 2022. NEFROSMOLT: Nefrokalsinose hos laksesmolt – en kartleggingsundersøkelse med fokus på risikofaktorer. Sluttrapport, FHF-901587, 71pp.
- Boyd, C. E. (2014). Hydrogen sulfide, toxic but manageable. *Global Aquaculture Advocate*, 34-36.
- Brauner C.J., Richards, J.G. (2020). Physiological performance in aquaculture: Using physiology to help define optimal conditions for growth and environmental tolerance; Fish physiology series (eds. Grosell, M., Munday, P.L., Farrell, A.P., Brauner, C.), Volme 37, 84-120.
- Brett, J. R. (1969). Temperature and fish. *Chesapeake Science*, 10(3), 275-276. <https://doi.org/10.2307/1350466>
- Brown, E. M., Gamba, G., Riccardi, D., Lombardi, M., Butters, R., Kifor, O., Sun, A., Hediger, M. A., Lytton, J. and Hebert, S. C. (1993). Cloning and characterization of an extracellular Ca²⁺-sensing receptor from bovine parathyroid. *Nature* 366, 575-580.
- Brown, M.S., Jones, P.L., Tromp, J.J., van Rijn, C.A., Collins, R.A., Afonso, L.O.B. (2018). The physiology of saltwater acclimation in large juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*. 93, 540-549.
- Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2019). Economic analysis of land based farming of salmon. *Aquaculture Economics & Management*, 23(4), 449-475.
- Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2020). Economic analysis of on-growing of salmon post-smolts. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4), 355-386.
- Colt, J. E., & Armstrong, D. A. (1981). Nitrogen toxicity to crustaceans, fish, and molluscs. I: Allen, J. A. & Kinney, E. C.: Proceedings of the Bio-Engineering Symposium for Fish Culture. FCS pub.(USA). no. 1.

- Davidson, J., Good, C., Williams, C., & Summerfelt, S. T. (2017). Evaluating the chronic effects of nitrate on the health and performance of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* in freshwater recirculation aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 79, 1-8.
- Calabrese, S., Nilsen, T. O., Kolarevic, J., Ebbesson, L. O. E., Pedrosa, C., Fivelstad, S., Hosfeld, C., Stefansson, S. O., Terjesen, B. F., Takle, H., Martins, C. I. M., Sveier, H., Mathisen, F., Imsland, A. K., & Handeland, S. O. (2017). Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with emphasis on production performance and welfare [Article]. *Aquaculture*, 468, 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.041>
- Duncan, N. J., & Bromage, N. (1998). The effect of different periods of constant short days on smoltification in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) [Article; Proceedings Paper]. *Aquaculture*, 168(1-4), 369-386. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00363-9](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00363-9)
- Duston, J. (1994). Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture*, 121(1-3), 115-124. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90013-2)
- Duston, J. (1993). Effects of dietary betaine and sodium chloride on seawater adaptation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*). *Comp. Biochem. Physiol.*, Vol 105A, No, 4673-667, 1993
- Duston, J., & Knox, J. (1992). Acclimation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr to seawater in autumn: stimulatory effect of a long photoperiod. *Aquaculture*, 103(3-4), 341-358. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90177-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90177-M)
- Ebbesson, L. O. E., Ebbesson, S. O. E., Nilsen, T. O., Stefansson, S. O., & Holmqvist, B. (2007). Exposure to continuous light disrupts retinal innervation of the preoptic nucleus during parr-smolt transformation in Atlantic salmon [Article; Proceedings Paper]. *Aquaculture*, 273(2-3), 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.016>
- Eriksson, L. O., & Lundqvist, H. (1982). CIRCANNUAL RHYTHMS AND PHOTOPERIOD REGULATION OF GROWTH AND SMOLTING IN BALTIC SALMON (SALMO-SALAR L) [Article]. *Aquaculture*, 28(1-2), 113-121. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90014-x](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90014-x)
- Espmark, Å. M., Kolarevic, J., Åsgård, T., & Terjesen, B. F. (2017). Tank size and fish management history matters in experimental design. *Aquaculture Research*, 48(6), 2876-2894. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/are.13121>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.012>
- Fjellidal, 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.
- Fjellidal, P. G., Schulz, R., Nilsen, T. O., Andersson, E., Norberg, B., & Hansen, T. J. (2018). Sexual maturation and smoltification in domesticated Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - is there a developmental conflict? *Physiological Reports*, 6(17), 18. <Go to ISI>://WOS:000444544300002
- Fraser, T. W. K., Fjellidal, P. G., Schulz, R. W., Norberg, B., & Hansen, T. J. (2019). Termination of puberty in out-of-season male Atlantic salmon smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 232, 60-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.03.011>
- Fraser, T. W., Hansen, T. J., Norberg, B., Nilsen, T. O., Schulz, R. W., & Fjellidal, P. G. (2023). Atlantic salmon male post-smolt maturation can be reduced by using a 3-hour scotophase when inducing smoltification. *Aquaculture*, 562, 738772.
- Fredriksen, M. (2020). Skin development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolts reared in freshwater or low strength seawater and effect on susceptibility to *Tenacibaculum finnmarkense* (Master's thesis, The University of Bergen).

- Freitag, A. R., Thayer, L. R., Leonetti, C., Stapleton, H. M., & Hamlin, H. J. (2015). Effects of elevated nitrate on endocrine function in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 436, 8-12.
- Freitag, A. R., Thayer, L. R., & Hamlin, H. J. (2016). Effects of elevated nitrate concentration on early thyroid morphology in Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 32(2), 296-301.
- Frisk, M., Høyland, M., Zhang, L., Vindas, M. A., Øverli, Ø., & Johansen, I. B. (2020). Intensive smolt production is associated with deviating cardiac morphology in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 529, 735615.
- Gjedrem, T. (1986). *Fiskeoppdrett med framtid*. A/S Landbruksforlaget, Oslo.
- Gjedrem, T. (2010). The first family-based breeding program in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 2(1), 2-15.
- Good, C., & Davidson, J. (2016). A review of factors influencing maturation of Atlantic salmon, *Salmo salar*, with focus on water recirculation aquaculture system environments. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(5), 605-632.
- Good, C., Davidson, J., Terjesen, B. F., Takle, H., Kolarevic, J., Baeverfjord, G., & Summerfelt, S. (2018). The effects of long-term 20 mg/L carbon dioxide exposure on the health and performance of Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts in water recirculation aquaculture systems [Article]. *Aquacultural Engineering*, 81, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.003>
- Gorle, J. M. R., Terjesen, B. F., Mota, V. C., & Summerfelt, S. (2018). Water velocity in commercial RAS culture tanks for Atlantic salmon smolt production. *Aquacultural engineering*, 81, 89-100.
- Grindheim, J. (2016, 15. juli). 22 aktører vil satse på postsmolt-produksjon. Intrafish, Intrafish Media. <https://www.intrafish.no/nyheter/22-aktorer-vil-satse-pa-postsmolt-produksjon/1-1-768160>
- Guillette Jr, L. J., & Edwards, T. M. (2005). Is nitrate an ecologically relevant endocrine disruptor in vertebrates?. *Integrative and comparative biology*, 45(1), 19-27.
- Gutiérrez, X. A., Kolarevic, J., Takle, H., Baeverfjord, G., Ytteborg, E., & Fyhn Terjesen, B. (2019). Effects of chronic sub-lethal nitrite exposure at high water chloride concentration on Atlantic salmon (*Salmo salar*, Linnaeus 1758) parr. *Aquaculture Research*, 50(9), 2687-2697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/are.14226>
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., Björnsson, B. T., & Stefansson, S. O. (2013). Long-term effects of photoperiod, temperature and their interaction on growth, gill Na⁺, K⁺-ATPase activity, seawater tolerance and plasma growth-hormone levels in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, 83(5), 1197-1209. <Go to ISI>://WOS:000326476700007
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., & Stefansson, S. O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts [Article]. *Aquaculture*, 283(1-4), 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042>
- 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), 291-307. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00457-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00457-9)
- Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbo, 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 [Article]. *Aquaculture*, 233(1-4), 513-529. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.028>
- Handeland, S., & Stefansson, S. (2002). Effects of salinity acclimation on pre-smolt growth, smolting and post-smolt performance in off-season Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 209(1-4), 125-137. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00735-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00735-9)
- Hansen, T. (1998). *Oppdrett av laksesmolt*. Landbruksforlaget, Oslo.
- Hoar, W.S. 1988. The physiology of smolting salmonids. *Fish Physiology* vol 11B, pp 275-343. Ed. W.S. Hoar and D.J. Randall. Academic Press Inc.

- Höglund E, Sørensen C, Bakke MJ, Nilsson GE, Øverli Ø. Attenuation of stress-induced anorexia in brown trout (*Salmo trutta*) by pre-treatment with dietary L-tryptophan. *Brit J Nutr.* (2007) 97:786–9. [10.1017/S0007114507450280](https://doi.org/10.1017/S0007114507450280)
- Höglund E., Øverli, Ø., Windberg, S. (2019). Tryptophan Metabolic Pathways and Brain Serotonergic Activity: A Comparative Review. *Front. Endocrinol., Sec. Experimental Endocrinology*, Vol. 10 – 2019 <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00158>
- Imsland, A. K., Handeland, S. O., & Stefansson, S. O. (2014). Photoperiod and temperature effects on growth and maturation of pre- and post-smolt Atlantic salmon [Article]. *Aquaculture International*, 22(4), 1331-1345. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9750-1>
- Ishimatsu, A., Hayashi, M., Lee, K.-S., Kikkawa, T., & Kita, J. (2005). Physiological effects on fishes in a high-CO₂ world. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9). <https://doi.org/10.1029/2004JC002564>
- Iversen, A., Asche, F., Hermansen, Ø., & Nystøyl, R. (2020). Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003–2018. *Aquaculture*, 522, 735089.
- Jacobsen, H., 2020 "Úr eyga til varandi aling, Fiskaaling 50 ár" P/F Fiskaaling ISBN: 978-99918-3-639-3
- Jakobsen, S. K., & Holsvik, A. H. (2019). *Norsk settefiskproduksjon: Hva er erfaringene og effektene på produktiviteten etter innføring av resirkuleringsteknologi (RAS)?* (Master's thesis, University of Stavanger, Norway).
- Jensen, F. B. (2003). Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 135(1), 9-24.
- Karlsen, C., Ytteborg, E., Timmerhaus, G., Host, V., Handeland, S., Jorgensen, S. M., & Krasnov, A. (2018). Atlantic salmon skin barrier functions gradually enhance after seawater transfer [Article]. *Scientific Reports*, 8, 12, Article 9510. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27818-y>
- Khan, J. R., Johansen, D., & Skov, P. V. (2018). The effects of acute and long-term exposure to CO₂ on the respiratory physiology and production performance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in freshwater. *Aquaculture*, 491, 20-27.
- Khaw, H. L., Gjerde, B., Boison, S. A., Hjelle, E., & Difford, G. F. (2021). Quantitative Genetics of Smoltification Status at the Time of Seawater Transfer in Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) [Article]. *Frontiers in Genetics*, 12, Article 696893. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.696893>
- Kiemer, M. C., Black, K. D., Lussot, D., Bullock, A. M., & Ezzi, I. (1995). The effects of chronic and acute exposure to hydrogen sulphide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 135(4), 311-327.
- Knoph, M. B. (1996). Gill ventilation frequency and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to high ammonia levels in seawater. *Water Research*, 30(4), 837-842.
- Kolarevic, J., Takle, H., Felip, O., Ytteborg, E., Selset, R., Good, C. M., ... & Terjesen, B. F. (2012). Molecular and physiological responses to long-term sublethal ammonia exposure in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquatic Toxicology*, 124, 48-57.
- Kolarevic, J., Selset, R., Felip, O., Good, C., Snekvik, K., Takle, H., ... & Terjesen, B. F. (2013). Influence of long term ammonia exposure on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and welfare. *Aquaculture Research*, 44(11), 1649-1664.
- Kolarevic, J., Baeverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B. K. M., Nergard, S., & Terjesen, B. F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems [Article]. *Aquaculture*, 432, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.033>
- Kragesteen TJ, Simonsen K, Visser AW, Andersen KH (2018) Identifying salmon lice transmission characteristics between Faroese salmon farms. *Aquacult Environ Interact* 10: 49–60
- Kragesteen TJ, Simonsen K, Visser AW, Andersen KH (2019) Optimal salmon lice treatment threshold and tragedy of the commons in salmon farm networks. *Aquaculture* 512: 734329

- Kragesteen, T.J., Simonsen, K., Visser, A.W., Andersen, K.H. (2021). Estimation of external infection pressure and salmon-lice population growth rate i Faroese salmon farms. *Aquacult. Environ. interact.* 13, 21-32. <https://doi.org/10.3354/aei00386>
- Krkošek M, Connors BM, Lewis MA, Poulin R (2012) Allee effects may slow the spread of parasites in a coastal marine ecosystem. *Am Nat* 179: 401–412
- Krokan A. 2020 Digitalisering, ikke digital transformasjon. Khrono: <https://khrono.no/digitalisering-ikke-digital-transformasjon/504013>
- Kvamme, K., Fivelstad, S., Handeland, S. O., & Bergheim, A. (2019). Water flow and diurnal variation in metabolite production rates of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolt. *Aquaculture Research*, 50(1), 323-330.
- Langeteig, S. (2019). Bakgrunnsnivåer av hydrogensulfid i RAS, produksjon av hydrogensulfid fra fiskeslam ved ulike saliniteter, og effekten av å tilsette nitrat (Master's thesis, NTNU).
- Larsen, K.M.H., Hansen, B., Svendsen, H. (2008). Faroe Shelf Water. *Continental Shelf Research* 28, 1754-1768. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.04.006>.
- Larsen, J. S., Ervik, L., Klakegg, B. R., Sandberg, M. G., Johansen, E., Holmøy, R., (2020). Sluttrapport "smittesikring og biosikkerhet i norsk lakseproduksjon".
- Letelier-Gordo, C. O., Aalto, S. L., Suurnäkki, S., & Pedersen, P. B. (2020). Increased sulfate availability in saline water promotes hydrogen sulfide production in fish organic waste. *Aquacultural Engineering*, 89, 102062.
- Martinez, E. P., Balseiro, P., Pedrosa, C., Haugen, T. S., Fleming, M. S., & Handeland, S. O. (2021). The effect of photoperiod manipulation on Atlantic salmon growth, smoltification and sexual maturation: A case study of a commercial RAS [Article]. *Aquaculture Research*, 52(6), 2593-2608. <https://doi.org/10.1111/are.15107>
- Martinez, E. P., Balseiro, P., Stefansson, S. O., Kaneko, N., Norberg, B., Fleming, M. S., Imsland, A. K., & Handeland, S. O. (2023). Interaction of temperature and feed ration on male postsmolt maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 562, 738877.
- McCormick, S.D., 2001. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish. *Am. Zool.* 41, 781-794.
- McCormick, S. D. (2012). Smolt Physiology and Endocrinology. In *Fish Physiology* (Vol. 32, pp. 199-251).
- McCormick, S. D. & Saunders, R.L. (1987). Preparatory Physiological Adaptations for Marine Life of Salmonids: Osmoregulation, Growth, and Metabolism. *American Fisheries Society Symposium* 1. 211-229.
- McCormick, S. D., & Moriyama, S. (2000). Low temperature limits photoperiod control of smolting in atlantic salmon through endocrine mechanisms [Article]. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 278(5 47-5), R1352-R1361. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2000.278.5.r1352>
- McCormick, S. D., Shrimpton, J. M., Moriyama, S., & Björnsson, B. T. (2002). Effects of an advanced temperature cycle on smolt development and endocrinology indicate that temperature is not a zeitgeber for smolting in Atlantic salmon. *Journal of Experimental Biology*, 205(22), 3553-3560. <Go to ISI>://WOS:000179738900013
- McCormick, S. D., Shrimpton, J. M., Moriyama, S., & Björnsson, B. T. (2007). Differential hormonal responses of Atlantic salmon parr and smolt to increased daylength: A possible developmental basis for smolting [Article; Proceedings Paper]. *Aquaculture*, 273(2-3), 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.015>
- McCormick, S. D., Regish, A. M., Christensen, A. K., and Björnsson, B. T. (2013). Differential regulation of sodium-potassium pump isoforms during smolt development and seawater exposure of Atlantic salmon. *J. Exp. Biol.* 216, 1142–1151. doi: 10.1242/jeb.080440

- McGurk, M. D., Landry, F., Tang, A., & Hanks, C. C. (2006). Acute and chronic toxicity of nitrate to early life stages of lake trout (*Salvelinus namaycush*) and lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 25(8), 2187-2196.
- 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*) [Article]. *Journal of Endocrinology*, 220(3), 319-332.
- Mortensen, A., & Damsgård, B. (1998). The effect of salinity on desmoltification in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 168(1-4), 407-411.
- Mortensen, H. S., Jacobsen, E., Kolarevic, J., & Vang, A. (2022). Exposing Atlantic Salmon Post-Smolts to Fluctuating Sublethal Nitrite Concentrations in a Commercial Recirculating Aquaculture System (RAS) May Have Negative Consequences [Brief Research Report]. *Frontiers in Animal Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.886071>
- Mota, V. C., Nilsen, T. O., Gerwins, J., Gallo, M., Kolarevic, J., Krasnov, A., & Terjesen, B. F. (2020). Molecular and physiological responses to long-term carbon dioxide exposure in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 519, 734715.
- Mota, V. C., Nilsen, T. O., Gerwins, J., Gallo, M., Ytteborg, E., Baeverfjord, G., Kolarevic, J., Summerfelt, S. T., & Terjesen, B. F. (2019). The effects of carbon dioxide on growth performance, welfare, and health of Atlantic salmon post-smolt (*Salmo salar*) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 498, 578-586.
- Myklatun, L.E., Fraser, T.W.K., Fjelldal, P.G., Pedersen, A.Ø., Hansen, T.J. (2023). Long term effects of smolt production strategy and early seawater phase rearing environment on mortality, growth, sexual maturation, and vertebra deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture*, Volume 569, 739346, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739346>.
- Nearing, J., Betka, M., Quinn, S., Hentschel, H., Elger, M., Baum, M., Bai, M., Chattopadhyay, N., Brown, E. M., Hebert, S. C. m.fl. (2002). Polyvalent cation receptor proteins (CaRs) are salinity sensors in fish. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 9231-9236.
- Oliveira, V. H. S., Dean, K. R., Qviller, L., Kirkeby, C., & Bang Jensen, B. (2021). Factors associated with baseline mortality in Norwegian Atlantic salmon farming. *Scientific Reports*, 11(1), 14702. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93874-6>
- Olson, K.R. and Hoagland, T.M. (2008). Effects of freshwater and saltwater adaptation and dietary salt on fluid compartments, blood pressure, and venous capacitance in trout. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 294: R1061–R1067.
- Parry, G. (1960). The development of salinity tolerance in the salmon, *Salmo salar* (L.) and some related species. *Journal of Experimental Biology*, 37(2), 425-434.
- Perry, S. F., Rivero-Lopez, L., McNeill, B., & Wilson, J. (2006). Fooling a freshwater fish: how dietary salt transforms the rainbow trout gill into a seawater gill phenotype. *Journal of Experimental Biology* (209), ss. 4591-4596. doi:10.1242/jeb.02558
- Plantalech Manel-La, N., Thorstad, E., Davidsen, J., Økland, F., Sivertsgård, R., McKinley, R., & Finstad, B. (2009). Vertical movements of Atlantic salmon post-smolts relative to measures of salinity and water temperature during the first phase of the marine migration. *Fisheries Management and Ecology*, 16(2), 147-154.
- Poulsen, R., Cedergreen, N., Hayes, T., & Hansen, M. (2018). Nitrate: an environmental endocrine disruptor? A review of evidence and research needs. *Environmental science & technology*, 52(7), 3869-3887.
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine pollution bulletin*, 45(1-12), 17-23..
- Remen, M., Solstorm, F., Bui, S., Klebert, P., Vågseth, T., Solstorm, D., Hvas, M., Oppedal, F. (2016) Critical swimming speed in groups of Atlantic salmon *Salmo salar* . *Aquacult Environ Interact* 8:659-664. <https://doi.org/10.3354/aei00207>
- Rojas-Tirado, P., m.fl. (2021). "Biofilters are potential hotspots for H2S production in brackish and marine water RAS." *Aquaculture* 536: 736490.

- Rosten, T., Urke, H., Åtland, Å., Kristensen, T., og Rosseland, B. (2007). Sentrale drifts- og vannkvalitetsdata fra VK Laks - undersøkelsene fra 1999 til 2006 (Rapport nr. 5352). NIVA.
- Russo, R. C., Smith, C. E., & Thurston, R. V. (1974). Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 31(10), 1653-1655.
- Salman N A. and Eddy F.B. (1987) Response of chloride cell numbers and gill Na⁺ -K⁺ -ATPase activity of fresh water rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) to salt feeding. *Aquaculture* 61, 41-48.
- Salman, N.A. and Eddy F. B. (1988a) Effects of dietary sodium chloride on growth, food intake and conversion efficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture* 70, 131-144.
- Salman, N.A. and Eddy, F.B. (1988b) Kidney function in response to salt feeding in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Comp. Biochem. Physiol.* 89A, 535-539.
- Salman, N.A. and Eddy, F.R (1990) Increased seawater adaptability of non-smolting rainbow trout by salt feeding. *Aquaculture* 86, 259-270.
- Schaefer, J., & Ryan, A. (2006). Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. *Journal of Fish Biology*, 69(3), 722-734. <https://doi.org/10.1016/j.j.1095-8649.2006.01145.x>
- Sigholt, T., Staurnes, M., Jakobsen, H. J., & Asgard, T. (1995). EFFECTS OF CONTINUOUS LIGHT AND SHORT-DAY PHOTOPERIOD ON SMOLTING, SEAWATER SURVIVAL AND GROWTH IN ATLANTIC SALMON (*SALMO-SALAR*) [Article]. *Aquaculture*, 130(4), 373-388. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00349-s](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00349-s)
- Solbakken, V. A., Hansen, T., & Stefansson, S. O. (1994). Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. *Aquaculture*, 121(1-3), 13-27.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Olsen, R. E., Stien, L. H., & Fernö, A. (2016). Not too slow, not too fast: water currents affect group structure, aggression and welfare in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 339-347.
- Solstorm, F., Solstorm, D., Oppedal, F., Fernö, A., Fraser, T. W. K., & Olsen, R. E. (2015). Fast water currents reduce production performance of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 125-134.
- Sommerset, I., Walde, C. S., Bang Jensen, B., Bornø, B., Haukaas, A., & Brun, E. (2020). Fiskehelserapporten 2019. Report 5a/2020 (Norwegian Veterinary Institute, 2019).
- Sommerset, I., Jensen, B. B., Bornø, G., Haukaas, A., & Brun, E. (2021). Fiskehelserapporten 2020. *Fiskehelserapporten*.
- Sommerset I, Wiik-Nielsen J, Oliveira VHS, Moldal T, Bornø G, Haukaas A og Brun E. Fiskehelserapporten 2022, Veterinærinstituttets rapportserie nr. 5a/2023, utgitt av Veterinærinstituttet 2023
- Stormoen M, Skjerve E, Aunsmo A (2013) Modelling salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, reproduction on farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J Fish Dis* 36: 25-33
- Sutterlin, A. M., og Merrill, S. P. (1978). Norwegian salmonid farming (Fisheries and Marine Service Technical Report No. 779). Biological Station, St. Andrews, New Brunswick.
- Sveen, L. R., Timmerhaus, G., Krasnov, A., Takle, H., Stefansson, S. O., Handeland, S. O., & Ytteborg, E. (2018). High fish density delays wound healing in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [Article]. *Scientific Reports*, 8, 13, Article 16907.
- Stefansson, S. O., Björnsson, B. T., Hansen, T., Haux, C., Taranger, L. G., & Saunders, R. L. (1991). Growth, parr-smolt transformation, and changes in growth hormone of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(11), 2100-2108.
- Stefansson, S. O, Berge, Å. I., Gunnarsson, G. S., (1998). Changes in seawater tolerance and gill Na⁺, K⁺ -ATPase activity during desmoltification in Atlantic salmon kept in freshwater at different temperatures. *Aquaculture* 168:271-277

- Stefansson, S.O., Nilsen, T.O., Ebbesson, L.O.E., Wargelius, A., Madsen, S.S., Björnsson, B.Th., McCormick, S.D., (2007). Molecular mechanisms of continuous light inhibition of Atlantic salmon parr-smolt transformation. *Aquaculture* 273, 235–245.
- Striberny, A., Lauritzen, D.E., Fuentes, J., Campinho, M.A., Gaetano, P., Duarte, V., David, D.G., Hazlerigg, Jørgensen, E.H. 2021. More than one way to smoltify a salmon? Effects of dietary and light treatment on smolt development and seawater growth performance in Atlantic salmon. *Aquaculture* 532, 736044.
- Summerfelt, S. T., Mathisen, F., Holan, A. B., & Terjesen, B. F. (2016). Survey of large circular and octagonal tanks operated at Norwegian commercial smolt and post-smolt sites. *Aquacultural engineering*, 74, 105-110.
- Takvam, M., Wood, C. M., Kryvi, H., & Nilsen, T. O. (2021). Ion transporters and osmoregulation in the kidney of teleost fishes as a function of salinity. *Frontiers in Physiology*, **12**, 513.
- 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., & Hansen, T. (2010). Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 483-515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.004>
- Terjesen, A. B. F., Rosten, T. W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Aarhus, I. J., & Winther, U. (2013). Betydning av vannmiljøet ved produksjon av laksefisk i lukkede systemer i sjø. *VANN*,(1), 14-27.
- Thorarensen, H., & Farrell, A. P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312(1-4), 1-14.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H., & Aarestrup, K. (2010). Aquatic Nomads: The Life and Migrations of the Atlantic Salmon. In *Atlantic Salmon Ecology* (pp. 1-32). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781444327755.ch1>
- Timmerhaus, G., Lazado, C. C., Cabillon, N. A. R., Reiten, B. K. M., & Johansen, L. H. (2021). The optimum velocity for Atlantic salmon post-smolts in RAS is a compromise between muscle growth and fish welfare. *Aquaculture*, 532, 736076.
- Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J., & Huntingford, F. (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture*, 243(1), 121-132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.022>
- van Rijn, C. A., Jones, P. L., Evans, B. S., Huynh, C., McCormick, S. D., & Afonso, L. O. B. (2020). Characterization of smoltification in the Tasmanian strain of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in recirculation and flow-through systems. *Aquaculture*, 516, 10. <Go to ISI>://WOS:000501480700031
- Wiggins, G., & McTighe, J. 2005 Understanding by design (2nd ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development ASCD.
- Ytrestøyl, T., Bæverfjord, G., Kolarevic, J., Solheim, M., Hjellev, E., Mørkøre, T., Brunsvik, P. Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen (BENCHMARK). Rapport nr 38/2018. ISBN 978-82-8296-576-7
- Ytrestøyl, T., Hjellev, E., Kolarevic, J., Takle, H., Rebl, A., Afanasyev, S., Krasnov, A., Brunsvik, P., & Terjesen, B. F. (2022). Photoperiod in recirculation aquaculture systems and timing of seawater transfer affect seawater growth performance of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the World Aquaculture Society*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jwas.12880>
- Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Rosseland, B. O., Teien, H. C., Nilsen, T. O., Handeland, S. O., Stefansson, S. O., Ebbesson, L. O. E., & Terjesen, B. F. (2020). Performance and welfare of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. post-smolts in recirculating aquaculture systems: Importance of salinity and water velocity. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(2), 373-392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jwas.12682>
- Zaugg, W.S. and McLain, L.R. (1969) Inorganic salt effects of growth, salt water adaption and gill ATPase of Pacific salmon. In *Fish in Resmrrch* (Edited by Neuhaus O. W. and ffalvcr J. E.). pp. 293-306. Academic Press, New York.

- Zaugg, W.S., Roley, D.D., Prentice E. F., Gores K. X. and Waknitz .W. (1983) Increased se-awater survival and contribution to the fishery of chinook salmon (011corlv11chus 1sh,wrt.w:ha} by supplemental dietary salt. 32, 183-188.
- Økland, F., Jonsson, B., Jensen, A., & Hansen, L. (1993). Is there a threshold size regulating seaward migration of brown trout and Atlantic salmon? *Journal of Fish Biology*, 42(4), 541-550.

Vedlegg 1

Spørreundersøkelse om dagens smoltproduksjon

Denne undersøkelsen er en del av prosjektet «Kunnskapskartlegging – produksjon av stor laksesmolt» som gjennomføres av Nofima, NORCE, BDO, Åkerbåll, Fiskealling og Avrik på oppdrag fra Fiskeri- og havbruksnærings forskningsfond.

Spørreundersøkelsen skal kartlegge dagens praksis ved å innhente erfaringsbaserte data fra smoltproduksjon. Prosjektet kan følges her: <https://www.nofima.no/prosjekter/prosjektbasen/901701/>

Spørreundersøkelsen foregår i februar 2022 og henvender seg til settefiskvirksomheter som produserer laksesmolt i Norge og andre lakseproduserende land. Utvalgte respondenter/selskaper vil bli kontaktet med forespørsel om muntlig intervju i løpet av våren 2022.

All innlevert informasjon vil bli behandlet konfidensielt og resultatene anonymisert. Alle personidentifiserende opplysninger slettes ved prosjektets avslutning. Respondenten kan på hvilket som helst tidspunkt be om innsyn i personopplysningene vi har registrert om vedkommende, samt retting, begrensning og sletting av dem.

Nofima m/prosjektgruppen har felles behandlingsansvar for personopplysningene. Ved spørsmål knyttet til spørreundersøkelsen eller prosjektet som helhet kan prosjektleder Trine Ytrestoyl kontaktes på trine.ytrestoyl@nofima.no.

* Obligatorisk

Generelle anvisninger (vanligst fullt av å klikke på)

1. Hvilket settefiskanlegg svarer du for?

4. Hvilken anleggstype brukes til å produsere fisken ved smoltfisering?

- ☐ Gjennomstrømningsanlegg
- ☐ Resirkuleringsanlegg (RAS) (høyere resirkuleringsgrad enn 95%)
- ☐ Gjenbruksanlegg (lavere resirkuleringsgrad enn 95%)
- ☐ Merdanlegg i inne
- ☐ Kombinasjon (gjennomstrømming/resirkulering)
- ☐ Annet

5. Hvilken snittvekt har fisken når den settes i resirkuleringsanlegg (RAS)? (Flere svaralternativer er mulig)

- ☐ 0-5 g
- ☐ 5-10 g
- ☐ 10-50 g
- ☐ 50-150 g
- ☐ 150-500 g
- ☐ >500 g

2. I hvilket fylke/område ligger settefiskanlegget du svarer for? *

3. Hvilken tilknytning har du til anlegget du svarer for? (For eksempel rolle eller stillingstitel)

6. Bruker dere spesialrogn for ekstra god tilvekst?

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

7. Foretas det aktiv regulering av vanntemperatur etter startfôring? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

8. Hvilken gjennomsnittstemperatur benyttes fra startfôringen frem til smoltfisering?

9. Benytter dere en smoltifiseringsprotokoll for å smoltifisere fisken?
(Med smoltifiseringsprotokoll menes tiltak ment for å igangsette/behjelpe smoltifisering) *

- ☐ Ja
- ☐ Nei (vi holder fisken under konstante betingelser fra startfôring til utsett i sjø)
- ☐ Både og (ulik praksis for ulike fiskegrupper)

10. Hvor stor er fisken når smoltifiseringsprotokoll settes i gang? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <50 g
- ☐ 50-150 g
- ☐ 150-250 g
- ☐ 250-350 g
- ☐ 350-450 g
- ☐ 450-550 g
- ☐ >550 g

14. Hvor mange uker med lang dag (24 timers lys) etter vintersignal gis før sjøsetting? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <4 uker
- ☐ 4 uker
- ☐ 5 uker
- ☐ 6 uker
- ☐ 7 uker
- ☐ >7 uker
- ☐ Annet

15. Benytter dere temperaturendringer for å smoltifisere fisken? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei

16. Hva slags temperaturregime bruker dere under smoltifiseringen?

11. Benytter dere naturlig lys for å smoltifisere fisken?

- ☐ Ja
- ☐ Nei

12. Benytter dere lysstyring (periode med kort dag etterfulgt av periode med lang dag) for å smoltifisere fisken? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei

13. Hvor mange uker med vintersignal/kort daglengde gis under lysstyringen? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <4 uker
- ☐ 4 uker
- ☐ 5 uker
- ☐ 6 uker
- ☐ 7 uker
- ☐ >7 uker
- ☐ Annet

17. Benytter dere før ment til å stimulere smoltifisering (f.eks. SuperSmolt)? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei

18. I hvor mange uker gis fisken smoltifiseringsfør før sjøsetting? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <4 uker
- ☐ 4 uker
- ☐ 5 uker
- ☐ 6 uker
- ☐ 7 uker
- ☐ >7 uker
- ☐ Annet

19. Eksponerer dere fisken for vann med forhøyet salinitet/brakkvann for å smoltifisere fisken? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei

20. I hvor mange uker eksponeres fisken for vann med forhøyet salinitet/brakkvann før sjøsetting? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <4 uker
- ☐ 4 uker
- ☐ 5 uker
- ☐ 6 uker
- ☐ 7 uker
- ☐ >7 uker
- ☐ Annet

21. Hva bruker dere til å vurdere om fisken er sjøvannsdyktig? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Observasjon av ytre trekk (farger på skinn og finner)
- ☐ Atferd (f.eks. medstrøms svømming)
- ☐ K-faktor
- ☐ Na-K-ATPase
- ☐ Kloridtest
- ☐ Sjøvannstest (overlevelse etter et visst antall dager i sjøvann)
- ☐ Annet kommersielt produkt (for eksempel SmoltVision) (spesifiser gjerne under)
- ☐ Annet

24. Når overføres fiskegrupper med snittvekt under 250 g til merdanlegg i sjø? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Januar-februar
- ☐ Mars-april
- ☐ Mai-juni
- ☐ Juli-august
- ☐ September-oktober
- ☐ November-desember

25. Hvilken snittvekt har fiskegrupper over 250 g hatt ved levering de siste to år? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ 250-350 g
- ☐ 350-550 g
- ☐ 550-750 g
- ☐ >750 g

22. Hvilke størrelsesklasser av fisk har dere levert til sjøanlegg de siste to år? *

- ☐ Fisk mindre enn 250 g
- ☐ Fisk større enn 250 g
- ☐ Både fisk mindre og større enn 250 g

23. Hvilken snittvekt har fiskegrupper under 250 g hatt ved levering de siste to år? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <50 g
- ☐ 50-150 g
- ☐ 150-250 g

26. Når overføres fiskegrupper med snittvekt over 250 g til merdanlegg i sjø? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Januar-februar
- ☐ Mars-april
- ☐ Mai-juni
- ☐ Juli-august
- ☐ September-oktober
- ☐ November-desember

27. Hvor stor andel (%) av fiskegruppene dere produserer har hatt snittvekt over 250 g ved utsett i sjø, de siste to år? *

28. Hvilken snittvekt har fiskegrupper under 250 g hatt ved levering de siste to år? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ <50 g
- ☐ 50-150 g
- ☐ 150-250 g

29. Når overføres fiskegrupper med snittvekt under 250 g til merdanlegg i sjø? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Januar-februar
- ☐ Mars-april
- ☐ Mai-juni
- ☐ Juli-august
- ☐ September-oktober
- ☐ November-desember

30. Hvilken snittvekt har fiskegrupper over 250 g hatt ved levering de siste to år? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ 250-350 g
- ☐ 350-550 g
- ☐ 550-750 g
- ☐ >750 g

33. Blir fisken temperaturakklimatisert før utsett? (Reduserer/øker dere temperaturen i vannet for å gjøre den mer lik temperaturen i vannet fisken skal settes ut i)

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

34. Blir fisken akklimatisert til salinitet før utsett? (Reduserer/øker dere saliniteten i vannet for å gjøre den mer lik saliniteten i vannet fisken skal settes ut i)

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

31. Når overføres fiskegrupper med snittvekt over 250 g til merdanlegg i sjø? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Januar-februar
- ☐ Mars-april
- ☐ Mai-juni
- ☐ Juli-august
- ☐ September-oktober
- ☐ November-desember

32. Hvor settes fisken ut? (Flere svaralternativer er mulig)

- ☐ Produksjonsområde 1-3 (Svenskegrensa til Jæren, Ryfylke, Karmøy til Sotra)
- ☐ Produksjonsområde 4-5 (Nordhordland til Stord, Stord til Hustadvika)
- ☐ Produksjonsområde 6-7 (Nordmøre og Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag og Bindal)
- ☐ Produksjonsområde 8-9 (Helgeland til Bodø, Vestfjorden og Vesterålen)
- ☐ Produksjonsområde 10-11 (Andøya til Senja, Kvaløya til Loppa)
- ☐ Produksjonsområde 12-13 (Vest-Finnmark, Øst-Finnmark)
- ☐ Annet

35. Sorterer dere fisk som skal sjøsettes med snittvekt over 250 g oftere enn fisk som skal sjøsettes med snittvekt under 250 g? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

36. Hvor mange ganger sorteres fisken i løpet av en produksjonssyklus (i gjennomsnitt)?

37. Destruerer dere mer fisk gjennom produksjonen ved produksjon av smolt med snittvekt over 250 g?

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Annet

38. Har dere gjort endringer i størrelse på leverings-/sorteringsrør, fiskeavlsp i kar, eller fiskepumper som følge av økt produsert smoltstørrelse? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Annet

39. Når i produksjonssyklusen blir fisken vaksinert? (Indiker gjerne ved hvilke snittvekters vaksinerings forekommer)

40. Opplever dere høyere dødelighet som følge av smoltblødningssyndrom (HSS) gjennom produksjonen ved produksjon av større fisk? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Annet

41. Opplever dere høyere forekomst av andre sykdommer/biologiske problemer ved produksjon av større fisk?

- ☐ Nei
- ☐ Ja
- ☐ Annet

42. Tilsetter dere salt (f.eks. NaCl eller CaCl) i vannet av andre hensyn enn smoltfisering? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Nei
- ☐ Ja, for å motvirke dødelighet ved høye nivåer av nitritt (NO₂-N)
- ☐ Ja, for å motvirke dødelighet som følge av smoltblødningssyndrom/smoltbyndrom (HSS)
- ☐ Annet

43. Hva mener dere er fordeler ved å sette større fisk i sjø? (Flere svaralternativer er mulig) *

- ☐ Viser ingen fordeler
- ☐ Bedre fiskevelferd
- ☐ Lavere dødelighet
- ☐ Bedre fôrutnyttelse
- ☐ Bedre tilvekst
- ☐ Bedre konsjonsutnyttelse
- ☐ Behov for færre lusebehandlinger
- ☐ Annet

44. Har dere planer om å øke smoltstørrelsen over 250 g i løpet av de neste to år? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Produserer allerede smolt over 250 g og skal øke andelen
- ☐ Produserer allerede smolt over 250 g men skal ikke øke andelen
- ☐ Vet ikke
- ☐ Annet

Dette innholdet er verken opprettet eller godkjent av Microsoft. Dataene du sender, sendes til skjemaeieren.

 Microsoft Forms

Vedlegg 2

Smoltprestasjon i sjø

Denne undersøkelsen er en del av prosjektet «Kunnskapskartlegging – produksjon av stor laksemo» som gjennomføres av Nofima, NORCE, BDO, Åkerbå, Fiskaaling og Avrik på oppdrag fra Fiskeri- og havbruksnærings forskningsfond. Prosjektet kan følges her: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901701/>

Spørreundersøkelsen skal kartlegge matfiskanleggenes erfaringer rundt smoltprestasjon i sjø.

Undersøkelsen foregår februar 2022 og henvender seg til sjøanlegg som produserer matfisk i Norge og andre lakseproduserende land.

All innsendt informasjon vil bli behandlet konfidensielt og resultatene anonymisert. Alle personidentifiserende opplysninger slettes ved prosjektets avslutning. Respondenten kan på hvilket som helst tidspunkt be om innsyn i personopplysningene vi har registrert om vedkommende, samt retting, begrensning og sletting av dem.

Nofima og prosjektgruppen har felles behandlingsansvar for personopplysningene. Ved spørsmål knyttet til spørreundersøkelsen eller prosjektet som helhet kan prosjektleder Trine Ytrestøy kontaktes på trine.ytrestoy@nofima.no.

* Obligatorisk

1. Hvor mange anlegg svarer du for? *

5. Hvor mange generasjoner med fisk med smoltvekt over 250 g har dere hatt?

- ☐ 0 (ingen)
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ >3

6. Hvor stor andel av fiskegruppene har hatt snittvekt over 250 g ved utsett, de siste to generasjoner?

7. Når overføres fiskegrupper med snittvekt over 250 g til merdanlegg i sjø? (flere svaralternativer mulig) *

- ☐ Januar – februar
- ☐ Mars – april
- ☐ Mai – juni
- ☐ Juli – august
- ☐ September – oktober
- ☐ November – desember

2. I hvilket produksjonsområde ligger anlegget? *

3. Hvilken rolle har du i selskapet du representerer?

4. Hva er snittvektene til fiskegruppene som settes ut i deres anlegg i dag? (flere svaralternativer mulig)

- ☐ <50 g
- ☐ 50-150 g
- ☐ 150-250 g
- ☐ 250-350 g
- ☐ 350-550 g
- ☐ 550-650 g
- ☐ 650-750 g
- ☐ >750 g

8. Når overføres fiskegrupper med snittvekt under 250 g til merdanlegg i sjø? (flere svaralternativer mulig) *

- ☐ Januar – februar
- ☐ Mars – april
- ☐ Mai – juni
- ☐ Juli – august
- ☐ September – oktober
- ☐ November – desember

9. Dersom dere mottar fiskegrupper med smoltvekt over 250 g, i hvilken type produksjonssystem har disse gått i settefiskfasen? (flere svaralternativer mulig)

- ☐ Resirkuleringsystem
- ☐ Gjennomstrømningssystem
- ☐ Kombinasjon av resirkulering og gjennomstrømningssystem
- ☐ Vet ikke
- ☐ Annet

Driftsforholdene med smolt over 250 g sammenlignet med

10. Opplever dere at fiskegrupper med smoltvekt over 250 g ved utsett har dårligere, lik, eller bedre appetitt den første måneden i sjø?

- ☐ Dårligere
- ☐ Lik
- ☐ Bedre
- ☐ Vet ikke

11. Opplever dere at fiskegrupper med smoltvekt over 250 g ved utsett oftere har høyere dødelighet den første måneden etter utsett?

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

12. Opplever dere oftere problemer med tidlig kjønnsmodning hos fiskegrupper med smoltvekt over 250 g? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

16. Opplever dere at fiskegrupper med smoltvekt over 250 g oftere, like ofte, eller sjeldnere har problemer med hjertesprekk (CMS)?

- ☐ Sjeldnere
- ☐ Like ofte
- ☐ Oftere
- ☐ Vet ikke

17. Opplever dere lik, høyere, eller mindre forekomst av skader ved utsett av fiskegrupper med smoltvekt over 250 g?

- ☐ Lik
- ☐ Høyere
- ☐ Mindre
- ☐ Vet ikke

18. Er det mindre, lik, eller høyere forekomst av deformiteter hos fiskegrupper med smoltvekt over 250 g?

- ☐ Mindre
- ☐ Lik
- ☐ Høyere
- ☐ Vet ikke

13. Benytter dere et eget regime for kunstig belysning på fiskegrupper med smoltvekt over 250 g? *

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

14. Beskriv gjerne lysregimet dere benytter (valgfritt)

15. Blir fiskegrupper med snittvekt over 250 g ved utsett sykt på andre tider av året?

- ☐ Nei
- ☐ Ja, i større grad i sommerhalvåret
- ☐ Ja, i større grad i vinterhalvåret
- ☐ Vet ikke

19. Opplever dere at fiskegrupper med høyere snittvekt ved utsett sjeldnere, like ofte, eller oftere blir skadet, og eventuelt dør, ved håndteringer?

- ☐ Sjeldnere
- ☐ Like ofte
- ☐ Oftere
- ☐ Vet ikke

20. Bruker fiskegrupper med smoltvekt over 250 g kortere tid i sjø for å oppnå samme slaktevekt?

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

21. Hvor mye reduseres produksjonstiden (ved bruk av smoltvekt over 250 g)?

22. Får dere informasjon om hvilken smoltfiseringsprotokoll som er fulgt i settefiskfasen (for eksempel om det ble brukt lysstyring, smoltfôr, saltvann)?

- ☐ Aldri
- ☐ Sjelden
- ☐ Ofte
- ☐ Alltid

23. Har dere en smoltfiseringsprotokoll som foretrekkes?

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Vet ikke

24. Hvilken smoltfiseringsprotokoll foretrekker dere og hvorfor?

25. Hva er de viktigste målene på fiskens prestasjon de første tre måneder etter sjøsetting?

26. Hvilken av disse to smoltstørrelsene foretrekker dere? ^{*}

- ☐ Fiskegrupper med snittvekt over 250 g ved utsett
- ☐ Fiskegrupper med snittvekt under 250 g ved utsett
- ☐ Ingen preferanse

27. Hvorfor foretrekker dere at fisken har en bestemt snittvekt ved utsett?

28. Hvilken type settefiskanlegg foretrekker dere å få fisk fra?

- ☐ Resirkuleringsystem (RAS)
- ☐ Gjennomstrømningsystem
- ☐ Ingen preferanse
- ☐ Annet

Dette innholdet er verken opprettet eller godkjent av Microsoft. Dataene du sender, sendes til skjemaieren.

 Microsoft Forms

Vedlegg 3

SPØRSMÅL, SEMISTRUKTURERT INTERVJU AV STORSMOLTPRODUSENTER

- 1 Gi litt info om egen produksjon (anlegg, smoltstørrelse o.l.)
- 2 Hvilke protokoller benytter dere for smoltifisering og hvordan?
- 3 Hva avgjør om dere benytter smoltifiseringsprotokoll og hvilke grupper benyttes protokollen på? (Kommentarer: Hvordan påvirker tradisjonell lysstyring tilvekst? Hva er argumentene for saltstimulert smoltifisering?)
- 4 Hvilken smoltifiseringsprotokoll anser du å ha størst positiv effekt på smolten?
- 5 Ved tilsetning av salt, hvor høy promille benyttes i ukene før utsett og hvorfor?
- 6 Hvilken type rogn benyttes? / Benyttes rogn behandlet eller selektert for ekstra tilvekst?
- 7 Hvilke utfordringer har dere?
- 8 HSS utfordringer. Tiltak for å redusere problemet?
- 9 Må dere tenke annerledes mtp vannkvalitet når dere produserer storsmolt sammenlignet med smolt <250g? Ser dere noen utfordringer i vannkvalitet i.f.t. produksjon av stor smolt, fisken står jo lenger i anlegget?
- 10 Er det noen faser i produksjonen som er vesentlig mer kritisk i storsmoltproduksjon sammenlignet med vanlig smoltproduksjon og hvorfor?
- 11 Hvordan «vurderer» dere om fisken er tilstrekkelig/riktig smoltifisert før utsett og er dagens metoder gode nok? Hvilken metode opplever dere som mest pålitelig?
- 12 Flere gått vekk fra Na-K-ATPase fordi prøver anses som upålitelig. PCR test brukes i større grad nå. Hva er den største kunnskapshullet til hvordan evaluere/vurdere smolten?
- 13 Variasjon i smoltifisering. Er det forskjeller på storsmolt, mer jevn/ujevn smoltifisering enn for tradisjonell smolt?
- 14 Hva er de største kunnskapsgapene dere har når det gjelder smoltprotokoll? Hva ønsker man mer kunnskap om?
- 15 Hvordan stiller du deg til følgende utsagn: «er strategien i dag for intensiv»
- 16 Opplever dere at dagens smoltindikatorer er pålitelige og fungerer de?
- 17 Utsettmønster. Når settes den største smolten ut? Samme utsettpunkt for både tradisjonell smolt og større smolt?
- 18 Fôringstrategi?
- 19 Hvordan måler dere prestasjon etter utsett i sjø?

-
- 20 Hvordan opplever dere fiskens prestasjon etter utsett i sjø og ser dere sammenheng med utsettstidspunkt? (Eks. Hvordan presterer en stor smolt satt ut på ulike tider av året, eks en stor smolt satt ut i mars kontra i september, vs desember?)
-
- 21 Hvordan er tilvekst og dødelighet i sjø hos storsmolt sammenlignet med smolt <250g?
-
- 22 Hvordan tåler storsmolten håndtering sammenlignet med liten smolt <250 gr?
-
- 23 Opplever dere at stor laksesmolt har andre helseutfordringer sammenlignet med tradisjonell smolt (<250g) i sjøfasen?
-
- 24 Må dagens smoltprotokoll utvikles/endres med tanke på god fiskevelferd og prestasjon i sjø, eventuelt hvorfor og hvordan?
-
- 25 Hva tenker du er de viktigste parametere på prestasjon i sjøfasen som peker tilbake på om dere har produsert en god storsmolt?
-
- 26 Har produksjon av storsmolt en effekt på avlusingsfrekvens og sykdomsutfordringer?
-
- 27 Hvordan vil du evaluere effekt av storsmoltproduksjon? Skal dere øke andelen storsmolt i produksjonen og hvorfor? Evt hva er hovedmotivasjonen bak produksjon av storsmolt, hvilke effekter oppnår man?
-
- 28 I et dokument som beskriver antatt beste praksis for storsmoltproduksjon – hva anser du som de viktigste tema som bør beskrives/omhandles?
-

Vedlegg 4

Dialogmøte: Trondheim, 05.05.2022	
Målsetting:	Deltagere skal skissere det de anser som beste praksis for smoltifiseringsprotokoll
Situasjon:	Smoltifisering Bakgrunn: Innsamlet erfaringsdata viser en stor variasjon av smoltifiseringsprotokoller som er i bruk i storsmoltproduksjon. Lysstyring, som er en godt dokumentert metode, dominerer og benyttes ofte i kombinasjon med andre metoder. Kontinuerlig lys i anlegg, og særlig RAS-anlegg, har blitt mer populært siden fôropptak og vekst reduseres i mørkeperiode, en fersk studie viser at bruk av kontinuerlig lys opp til fisken er 200 g før utsett ikke har negativ innvirkning på dødelighet i sjø eller vekt ved slakt (Ytrestøyl m.fl., 2022), men at fisken kan prestere dårligere enn lysstyrt eller smoltifiseringsfôret fisk den første perioden etter utsett (Ytrestøyl m.fl., 2022, Striberny m.fl., 2020). Flere oppdretter bruker smoltifiseringsfôr for å gjøre fisken klar for et liv i sjøvann, denne metoden er dokumentert (Perry m.fl. 2006, Reviewed by Salman 2009) og har vist seg å være særlig effektiv i kombinasjon med lysstyring (Striberny m.fl., 2020). Basert på litteratur og innsamlet erfaringsdata ser det ut til at flere metoder gir gode resultat. Scenario: «Storsmolten AS» trenger hjelp fra dere til å velge riktig smoltifiseringsprotokoll og utvikle retningslinjer for beste praksis innen valgt metodikk. Fisken skal settes ut i slutten av mai i Midt-Norge. Reflekter over og besvar følgende spørsmål: - Hvilken metode foretrekkes og hvorfor? - Nevn noen utfordringer og muligheter med valgt metoden? - Hva tenker dere er viktige faktorer for å lykkes med valgte smoltifiseringsmetode? - Hva kan/bør optimaliseres i forhold til dagens smoltifiseringspraksis? - Hvilke produksjonsmessige utfordringer vil dette eventuelt gi ved smoltifisering? - Definer de viktigste kunnskapshull for de ulike smoltifiseringsmetoder.

Dialogmøte: Trondheim, 05.05.2022

Målsetting: Deltagere skal skissere det de mener er beste praksis innen produksjonsbetingelser for å produsere robust og jevn storsmolt.

Produksjonsbetingelser og robusthet

Bakgrunn: Det er forsket lite på hvordan ulike produksjonsregimer i settefiskfasen påvirker videre prestasjon på sjø ved produksjon av storsmolt. En relativt ny publikasjon viser at intensiv smoltproduksjon er assosiert med lavere tilvekst på sjø og høyere forekomst av hjertedeformiteter senere i livet (Frisk et al 2020). Når det kommer til selve produksjon av storsmolt og post-smolt på land er det gjort en del studier. Blant annet viser et forsøk at tettheter opp mot 86 kg/m³ ikke har noen negative effekter ved produksjon av storsmolt opp til ca. 250 g (Hosfeld m.fl. 2009), men et annet studie med postsmolt viser at tetthet > 75 kg/m³ reduserer prestasjon og vekst (Calbrese m.fl. 2017). Forsøk ved produksjon av storsmolt og post-smolt viser at høy strømhastighet er fordelaktig og at vekstrate er høyere ved lavere salinitet (12 promille) sammenlignet med ferskvann og høyere saliniteter (Ytrestøyl m.fl. 2022, Ytrestøyl m.fl. 2019.).

Under intervjuene har majoriteten av intervjuobjekter respondert at storsmoltproduksjon i mange tilfeller er for intensiv og tettheter over ca. 60 kg/m³ fører til redusert vekst og velferd. Flere aktører har nevnt at det kan være utfordrende med riktig fôring av storsmolt med tanke på riktig fôrfordeling til alle individer for å oppnå jevn vekst og minst mulig aggresjon.

Scenario: «Storsmolten AS» er ett nytt anlegg hvor dere er beslutningstaker for produksjon. Hvilke betingelser må legges til rette for å produsere en robust og jevn storsmolt med fokus på produksjon fra smoltifisering frem til utsett?

Fisken skal settes ut i slutten av mai i Midt-Norge.

Reflekter over og besvar følgende spørsmål:

Hva er motivasjonen for å produsere storsmolt/hovedmålene man ønsker å oppnå ved «Storsmolten AS»?

Del 1: Produksjonsbetingelser på land:

Hva er ønsket produksjonsplan hos «Storsmolten AS», fra smoltifisering frem til utsett hvor målsetningen er å produsere en robust smolt?

- Produksjonsplan og – intensitet
- Fysiske forhold
- Biologiske forhold

Hvordan samsvarer beste praksis (beskrevet over) med dagens produksjon basert på deres erfaring ved produksjon av storsmolt? Hva er de viktigste forskjellene?

Hva må endres fra dagens praksis for å oppnå optimale produksjonsbetingelser? Hvilke produksjonsmessige utfordringer vil dette gi i settefiskfasen/landfasen?

Hvilke utfordringer og kunnskapshull ligger i dette produksjonsstadiet?

Del 2: Sjøutsett:

Scenario: «Storsmolten AS» har nå produsert en robust smolt som er klar for sjø, hvilke betingelser er viktige å tenke på ved utsett:

- På land før utsett / forberedelser
- Under transport
- På sjøanlegg (før/ved/like etter utsett)
- Ville dere gjort noe annerledes ved et annet utsettstidspunkt?
-

Dialogmøte: Haugesund, 23.08.2022

Målsetting: Deltagere skal drøfte og definere viktige indikatorer for måling av storsmolt-kvalitet, med mål om å lage et felles grunnlag for å kunne sammenligne storsmoltprestasjon.

Definisjon av en robust storsmolt og gode indikatorer for storsmolt-kvalitet

Det er gitt mange og delvis uklare definisjoner av hva som er en robust og god storsmolt, og våre funn viser store variasjoner i hva som anses som beste praksis for produksjon av stor laksesmolt.

Det er store ulikheter mellom hvordan og i hvor stor grad ulike aktører måler, dokumenterer og sammenligner prestasjon ved storsmoltproduksjon. Dette gjør det utfordrende å sammenligne ulike fiskegrupper og ulike utsett opp mot hverandre.

Målsettingen er å utvikle et felles grunnlag for å måle prestasjon av storsmolt og sammenligne ulike grupper og produksjonsbetingelser. Det er derfor nødvendig å definere gode og målbare indikatorer for storsmolt-kvalitet, slik at vi også i fremtiden kan benytte disse indikatorene til å forklare hvorfor en gruppe presterer bedre enn en annen.

Reflekter over og besvar følgende spørsmål:

- 1) Lag et forslag med viktige indikatorer (minst 5 stk) som bør inkluderes i en standard for å måle storsmolt-kvalitet og -prestasjon. Vi ønsker her at dere fokuserer på periode etter vaksinerings frem til slakt. Indikatorene bør være så tydelige som mulig og man skal definere følgende per parameter (bruk gjerne skjema):

1. Hvilke indikatorer er viktig for å måle god smoltkvalitet?	2. Hvorfor er disse indikatorene viktig?	3. Hvordan skal man måle disse (måleenhet, metodikk o.l.)?
5. Hvordan tolke resultatene (evt. grenseverdier e.l.)?	4. På hvilket tidspunkt/tidsintervall er det viktig å gjennomføre registreringen?	

Dialogmøte: Haugesund, 23.08.2022

Målsetting:	Etablering av produksjon av storsmolt: Deltakere skal drøfte både grenseverdier de ønsker å operere med, og andre faktorer/rammebetingelser som er bestemmende for valg i produksjonsplanlegging
--------------------	--

Bakgrunn: Etablering av ny produksjon av storsmolt.

Dagens smoltproduksjon blir ofte omtalt som for intensiv, der man ikke alltid forholder seg til de grenseverdier man mener er optimale for fisken.

Deltakere skal drøfte hvilke grenseverdier de ønsker å operere med, samt andre faktorer/rammebetingelser som er bestemmende for de valg man tar i produksjonen og hva som driver disse. Her skal den planlagte produksjonen beskrives.

Betingelser for din produksjon ligger beskrevet i Case 1 og Case 2.

Case 1: Du skal etablere produksjon av storsmolt på Vestlandet i et område med luseutfordringer.

Case 2: En hel region åpnes for oppdrett for første gang på Vestlandet. Du er beslutningstaker i områdets eneste oppdrettsselskap, og har full frihet til å etablere produksjon (innen kjente regelverk).

Spørsmål 1: Gitt at du sitter i ledelsen til selskapet, hvordan vil du bygge opp og planlegge din produksjon for å optimalisere produksjon under de gitte utfordringene?

- Hva er de viktigste driverne rangert (for eksempel: lus, MTB, fiskevelferd, økonomi, logistikk og transport, produksjonsplan) for de valgene du tar og hvorfor/i hvilken rekkefølge kommer disse?
- Dersom fiskens behov er den viktigste driveren i alle situasjoner, er det noe i produksjonsplanleggingen du ville ha gjort annerledes?

Spørsmål 2: Ved planlegging av ny produksjon må man også ta stilling til ulike forutsetninger man vil drive produksjon under.

- Hvilke grenseverdier i produksjonen vil dere operere med for beste praksis for produksjon av stor laksesmolt (ulik størrelse)? (se utskrift)

Parameter	300 g	800 g	Forklar forskjellen
Tetthet			
CO2			
...			

Spørsmål 3: På hvilke områder skiller en slik ønsket situasjon seg (beskrevet i spm. 1 og 2) fra den reelle situasjonen i det produksjonsområdet dere nå driver?

- Hva er bakgrunnen for at beskrevet ønsket praksis ikke praktiseres i dagens produksjon?

Hver gruppe får presentert sine svar. Hvordan skiller de casene seg og hvilke praksis vektlegges ved de ulike casene (med og uten begrensninger)?

Felles spørsmål i plenum:

Spørsmål 4: Se for deg at du er 5-10 år frem i tid og laksenæringen har lyktes med mindre dødelighet og bedre konsesjonsutnyttelse ved produksjon av storsmolt. Hva var de viktigste tiltakene som ble iverksatt for å oppnå dette?

Spørsmål 5: Kan de samme smoltfiseringsmetodene og produksjonsforutsetningene brukes ved produksjon av storsmolt og tradisjonell laksesmolt? Hvis nei, hva er det som skiller storsmolt fra tradisjonell smolt og hva er de kritiske punktene i produksjonen?

Dialogmøte: Digitalt 29.09.2022**Bakgrunn: Postsmolt vs storsmolt / ulike produksjonsstrategier****Oppgave 1**

Smoltifiseringsprosessen medfører store fysiologiske, morfologiske og adferdsmessige forandringer i fisken. Hvilke smoltifiseringsmetoder som benyttes og når dette igangsettes er veldig ulikt for Norge og Færøyene. På Færøyene holdes fisken i ferskvann frem til utsett i sjø og smoltifiserer ved bruk av lysstyring, uten bruk av brakkvann. Norske aktører velger i større grad å produsere en laks som er smoltifisert på ulikt vis før de blir introdusert for brakkvann på land en periode før sjøsetting.

Start med runde i gruppa, hvilken erfaring har dere med smoltifiseringsmetode før en begynner på oppgaven. Unngå mulig synsing

Reflekter over og besvar følgende spørsmål:

1. Hva mener dere er fordeler og ulemper med de ulike metodene som benyttes? (på neste side)

2A. Hvilken metode over mener dere gir fiskegruppen best forutsetning for å prestere godt etter sjøsetting, forklar hvorfor (mulig å nevne flere).

2B. Dersom dere skulle sammenligne kvaliteten på en storsmoltgruppe som har stått kun i ferskvann og en som har stått i brakkvann over 12 promille; hvilke kvalitetstrekk tror dere vil skille fisken mest både før og etter sjøsetting?

Oppgave 2

Se for dere at det er 10 år frem i tid og oppdrettsnæringen har lyktes med bedre fiskevelferd og bedre prestasjon etter sjøsetting, samt en bedre konsesjonsutnyttelse og mindre utfordringer med lakselus ved produksjon av storsmolt.

1. Hva var de viktigste tiltakene som ble iverksatt for å oppnå dette?

- Av oppdrettere
- Av teknologileverandører
- Av myndighetene/ forvaltning
- Innen forskning og utvikling

2. Hva mener dere at er de viktigste områdene hvor vi trenger mer kunnskap om storsmoltproduksjon i tiden fremover?