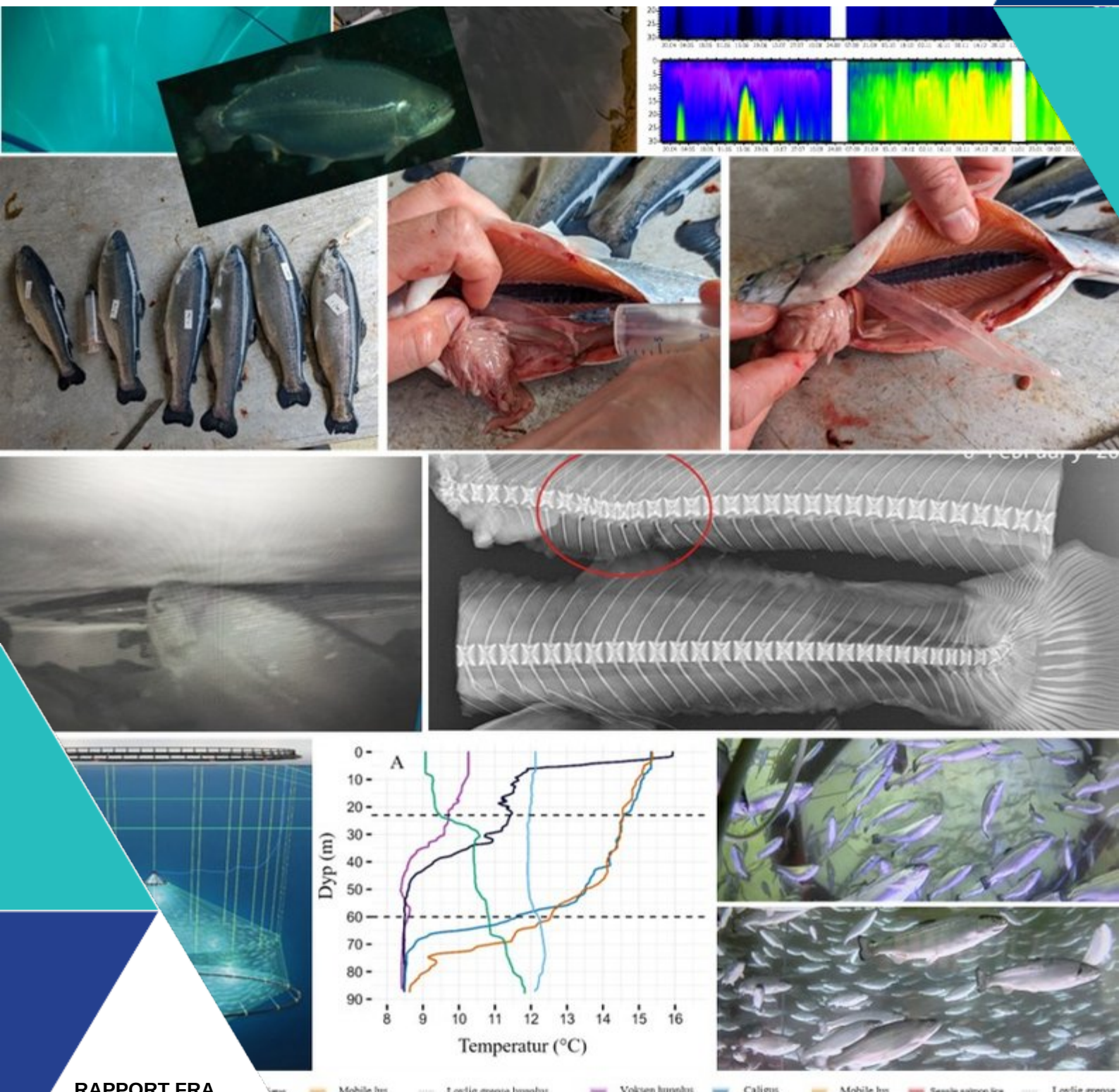
NEDSENKET OPPDRETT AV REGNBUEØRRET

Prosjektrapport FHF 901935 RegnbuørretDypt

Frode Oppedal (HI), Fletcher Warren-Myers (Deakin university), Tina Marie Weier Oldham, Per Gunnar Fjelldal, Tone Vågseth (HI), Emily Myklebust (UiB) og Ole Folkedal (HI)



RAPPORT FRA HAVFORSKNINGEN NR. 2026-76

Tittel (norsk og engelsk):

Nedsenket oppdrett av regnbueørret

Submerged farming of rainbow trout

Undertittel (norsk og engelsk):

Prosjektrapport FHF 901935 RegnbuørretDypt

Project report FHF 901935 RainbowtroutDeep

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2026-76	19.11.2026

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Frode Oppedal (HI), Fletcher Warren-Myers (Deakin university), Tina Marie Weier Oldham, Per Gunnar Fjelldal, Tone Vågseth (HI), Emily Myklebust (UiB) og Ole Folkedal (HI)

Forskningsgruppeleder(e): Lars Helge Stien (Dyrevelferd)
Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger
Programleder(e): Robin Ørnsrud

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

FHF #901935, HI #14597-21

Oppdragsgiver(e):

FHF

Oppdragsgivers referanse:

901935

Program:

Fremtidens havbruk

Forskningsgruppe(r):

Dyrevelferd

Reproduksjon og utviklingsbiologi

Antall sider:

50

Forord:

Arbeidet utgjør sluttrapporten på FHF prosjektet 901935 "Nedsenket produksjon av regnbueørret med luftlomme (RegnbueørretDypt)"

Det rettes en spesiell takk til referansegruppen hos FHF bestående av Tronn-Ove Grindvik Øren fra Sinkaberg og Hildebjørg Åsvang fra Lerøy Sjøtroll sammen med Jørund Larsen fra FHF som observatør. Takk til utvidet prosjektgruppe med Merete Gisvold Sandberg sin erfaring som utstyrsleverandør (AKVA group) og oppdrettere Robin Jarnes (Osland havbruk), Ivar Kramer/ Nicolai Berg-Arnesen/ Kristin Utne Berg (Firda Seafood) for gode innspill undervais. Stor takk til Hofseth for deres velvillighet til å dele data og erfaring fra kommersiell nedsenket produksjon av regnbueørret med glimrende gjennomføring av masterstudent Emily Myklebust. Takk for uvurderlig innsats fra alle som deltok på forsøksgjennomføring ved HI sitt sjøanlegg: Jan Olav Fosse, Jan Even Østerbø, Trond Asheim, Truls Marøy, Kris Oldham, Håkon Torsvik, Marius Lund Halland, masterstudent Ryan Day og Audun Østby Pedersen.

Sammendrag (norsk):

Nedsenket produksjon av laks med luftkuppel er i dag en etablert metode i norsk lakseoppdrett og gir betydelig redusert lusepåslag og lavere avlusingsfrekvens. Dette prosjektet undersøkte om regnbueørret (Oncorhynchus mykiss) egner seg for nedsenket drift. Undersøkelsene ble gjennomført i repliserte merder i mellomskala ved Havforskningsinstituttet, der nedsenket drift ble sammenlignet med en kontrollgruppe (AP1), samt i kommersiell produksjon hos Hofseth Aqua, der resultatene ble sammenlignet med historisk produksjon ved samme lokalitet (AP2).

Selv om regnbueørret har tilnærmet samme fysiologi som laks, ble det antatt at artens mer utfarende atferdsresponser kunne gi utfordringer knyttet til bruk av luftkuppel, begrenset overflateareal og mer innesluttede volumer enn i konvensjonelle merdsystemer.

I forsøket ved Havforskningsinstituttet (AP1) hadde regnbueørreten normal atferd og fylte svømmeblæren i luftkuppelen med tilstrekkelig hyppighet. Svømmehastigheten var innenfor 0,8–0,4 fiskelengder per sekund, og det ble ikke observert tiltet fisk. Mengden luft i svømmeblæren var tilsvarende som hos fisk i overflategruppene. Den dypere svømmingen vår og sommer ga nedsenket fisk 250 færre døgngrader, forsinket tilvekst og 20 % lavere slaktevekt. Samtidig ble det observert mindre utvikling av ryggradsdeformiteter og buklordose. Øvrige velferdsindikatorer, velferdsskår, slaktekvalitet (andel superior), kondisjon og dødelighet var sammenlignbare med resultatene fra overflateproduksjon og lå godt innenfor normale rammer. Tidvis økt lusepåslag hos den nedsenkede fisken skyldtes sannsynligvis opphold innunder haloklinen, der lusepresset forventes å være høyere enn i brakkvannet. Når luftkuppelen var tom for luft, økte regnbueørreten sin søkeatferd etter luft og skrubbet seg mot undersiden av kuppelen. Utover dette reagerte fisken moderat på annen stressende påvirkning, inkludert brå endringer i belysning.

I den kommersielle nedsenkede produksjonen (AP2) hadde regnbueørreten redusert påslag av lakselus. Tiden fram til første avlusingsbehandling ble forlenget med fem måneder, og avlusingsfrekvensen ble redusert til om lag en fjerdedel sammenlignet med historisk produksjon ved samme lokalitet. Samtidig ble normal appetitt, god tilvekst, høy overlevelse og god velferd opprettholdt. Dødeligheten var lav, og andelen superiorfisk høyere. Svømmehastigheten sank fra 1,5 til 0,5 fiskelengder per sekund med økende fiskestørrelse. Ugunstig tiltvinkel ble knapt observert, og fisken utnyttet merdvolumet som forventet. Det ble imidlertid registrert økt forekomst av skottelus hos den nedsenkede fisken.

De overordnede positive resultatene fra både forsøket og den kommersielle produksjonen viser at regnbueørret håndterte oppdrett i nedsenkede merder med luftkuppel. Bortfall av luft i kuppelen anbefales ikke, da dette raskt kan føre til utvikling av snuteslitasje. Ved nedsenket drift bør det være særlig oppmerksomhet på observasjon og dokumentasjon av utras og annen avvikende atferd i kommende produksjoner. Redusert sommertilvekst ved nedsenket drift kan føre til forskjeller i slaktebiomasse eller medføre behov for lengre produksjonstid for å oppnå samme slaktestørrelse.

Resultatene bygger på ett mellomskala-forsøk og én kommersiell lokalitet og generasjon, sammenlignet med én historisk produksjon. Ytterligere nedsenket oppdrett av regnbueørret vil kunne avdekke variasjonen mellom produksjoner og bidra til en mer nyansert vurdering av den lusereduserende effekten. De vil også kunne belyse eventuelle forskjeller i atferd mellom fiskegrupper og lokalitetsmiljøer.

Sammendrag (engelsk):

Submerged production of Atlantic salmon using an air dome is now an established method in Norwegian salmon farming and results in a substantial reduction in sea-lice infestation and a lower frequency of delousing treatments. This project investigated whether rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) are suitable for submerged production. The studies were conducted in replicated, intermediate-scale experimental cages at the Institute of Marine Research, where submerged production was compared with a control group (AP1), and in commercial production at Hofseth Aqua, where the results were compared with historical production at the same site (AP2).

Although rainbow trout have a physiology broadly similar to that of Atlantic salmon, it was assumed that the species' more excitable behavioural responses could create challenges related to the use of an air dome, the limited surface area and the more confined volumes compared with conventional cage systems.

In the experiment at the Institute of Marine Research (AP1), the rainbow trout displayed normal behaviour and re-filled their swim bladders in the air dome sufficiently frequently. Swimming speed ranged from 0.4 to 0.8 body lengths per second, and no fish with an abnormal tilt angle were observed. The amount of air in the swim bladders was comparable to that of fish in the normal surface access groups. Because the fish swam deeper during spring and summer, the submerged fish experienced 250 fewer degree-days, delayed growth and a 20% lower harvest weight. At the same time, less development of spinal deformities and lordosis was observed. Other welfare indicators, welfare scores, slaughter quality, including the proportion of superior-quality fish, condition and mortality were comparable to those observed in surface production and were well within normal ranges. The periodically

increased sea-lice infestation observed in the submerged fish was probably due to their spending time below the halocline, where lice pressure is expected to be higher than in brackish water. When the air dome was empty, the rainbow trout increased their searching behaviour for air and rubbed against the underside of the dome. Apart from this, the fish responded moderately to other stressors such as sudden changes in lighting.

In the commercial submerged production (AP2), the rainbow trout had reduced infestation by salmon lice. The time until the first delousing treatment was extended by five months, and the frequency of delousing treatments was reduced to approximately one quarter of that recorded in the historical production at the same site. Simultaneously, normal appetite, good growth, high survival and good welfare were maintained. Mortality was low, and the proportion of superior-quality fish was higher. Swimming speed decreased from 1.5 to 0.5 body lengths per second as fish size increased. Any unfavourable tilt angles was rarely observed, and the fish used the cage volume as expected. However, an increased occurrence of sea lice (Caligus) was recorded in the submerged fish.

The overall positive results from both the experiment and the commercial production show that rainbow trout adapted well to farming in submerged cages with an air dome. Loss of air in the dome is not recommended, as this can quickly lead to the development of snout abrasion. In submerged production, particular attention should be paid to observing and documenting any excitable/ panic behaviours and other abnormal behaviours in future production cycles. Reduced summer growth in submerged production may result in differences in harvested biomass or require a longer production period to achieve the same harvest size.

Results are based on one intermediate-scale experiment and one commercial site and generation, compared with one historical production cycle. Further submerged farming of rainbow trout will help reveal variation between productions and contribute to a more nuanced assessment of the lice-reducing effect. It may also provide greater insight into potential differences in behaviour between fish groups and site environments.

Innhold

1 Nedsenket oppdrett – bakgrunn og oppstart med laks 8
1.1 Nedsenket oppdrett 8
1.2 Utfordringen lakselus og lusebelte 8
1.2.1 *Skille mellom luselarver og laks* 9
1.3 Laks ned i dypet uten luft 10
1.4 Nedsenket luftoverflate og forsøksproduksjon i dypet 10
1.5 Nedsenket luftoverflate og innledende kommersiell produksjon i dypet 11
1.6 Kommersiell nedsenket produksjon i dag 12
1.7 Prosjekt for å undersøke om regnbueørret kan senkes ned som laks 13
2 Regnbueørret forsøk i nedsenkete merder 14
2.1 Nedsenket produksjon av regnbueørret - bakgrunn 14
2.1.1 *Regnbueørret versus laks* 14
2.1.2 *Forsøkets målsetninger* 15
2.2 Forsøksfisk, fasiliteter, oppsett og metode 15
2.2.1 *Miljø* 17
2.3 Resultat og diskusjon 18
2.3.1 *Svømmeblærefylling og atferd* 18
2.3.2 *Svømmehastigheter og overflateaktivitet.* 19
2.3.3 *Ekkosignal* 21
2.3.4 *Dybdefordeling* 22
2.3.5 *Opplevd temperatur* 23
2.3.6 *Vekt, lengde og kondisjon* 23
2.3.7 *Velferd* 24
2.3.8 *Deformitet på ryggrad* 25
2.3.9 *Lusenivå* 26
2.3.10 *Stress - effekt av lys av og på* 27
2.3.11 *Stress - effekt av lufttom kuppel og faste* 28
2.4 Konklusjon 29
3 Kommersiell nedsenket regnbueørret produksjon 30
3.1 Mål 30
3.2 Bakgrunn 30
3.3 Oppsett, metode og miljø 30
3.3.1 *Miljø* 31
3.4 Resultat og diskusjon 33
3.4.1 *Produksjonsoversikt, tilvekst og vektutvikling* 33
3.4.2 *Utfôring og appetitt* 34
3.4.3 *Velferd* 34
3.4.4 *Fiskehelse* 35
3.4.5 *Dødelighet* 36
3.4.6 *Slaktekvalitet* 36
3.4.7 *Lus og avlusinger* 37
3.4.8 *Atferd* 38
3.4.9 *Svømmehastighet* 39
3.4.10 *Tilt* 40
3.4.11 *Atferd under heving og senking* 40

3.5 Oppsummerende diskusjon 40
3.6 Fremtidig nedsenket produksjon av regnbueørret 43
4 Fremtidig nedsenket drift av regnbueørret 44
4.1 Nedsenket regnbueørret - prosjektets hovedfunn og måloppnåelse 44
4.1.1 *Hovedfunn* 44
4.1.2 *Måloppnåelse* 44
4.1.3 *Manglende kunnskap* 45
4.1.4 *Leveranser* 45
5 Referanser 46

1 - Nedsenket oppdrett – bakgrunn og oppstart med laks

1.1 - Nedsenket oppdrett

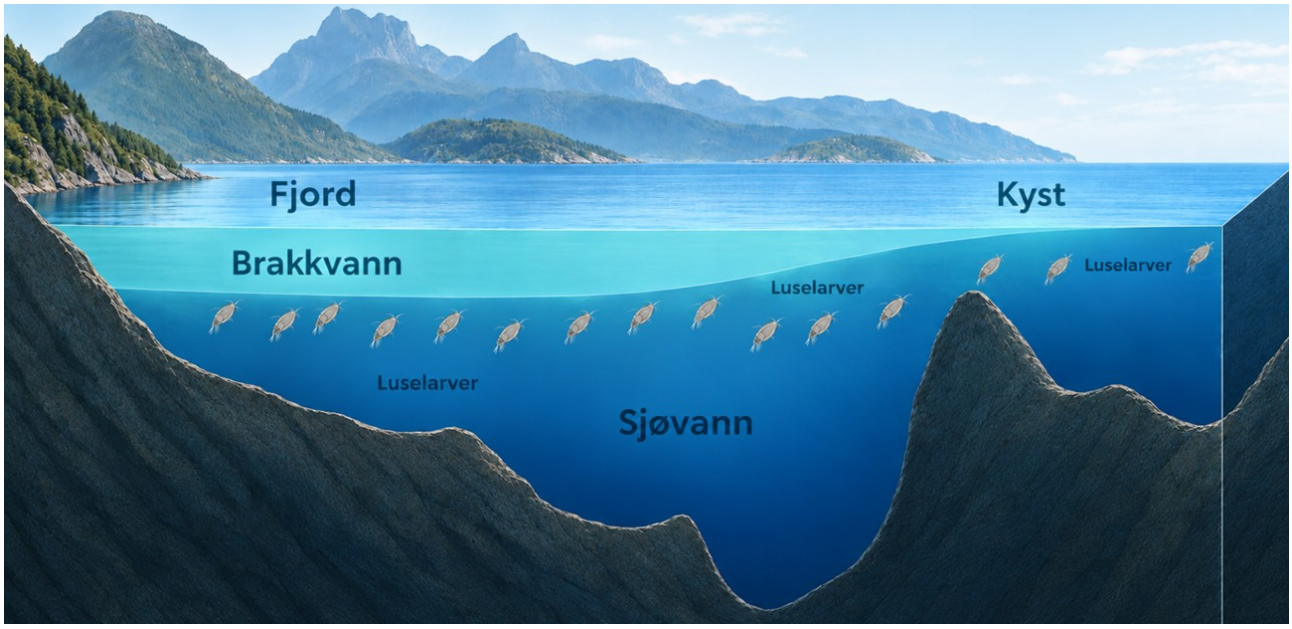
Nedsenket oppdrettsproduksjon foregår på en rekke arter på verdensbasis, men i Norge hovedsakelig med Atlantisk laks (Sievers et al., 2022). Gjennom nedsenket drift kan oppdrettsproduksjon unngå ugunstige overflaterelaterte forhold som dårlig vær med kraftige bølger og høy vannstrøm, ekstreme miljøforhold som varme/kulde som ikke er egnet eller er suboptimale for arten, skadelige alger og maneter, parasitter (lakseluslarver o.a.), samt andre ukjente faktorer eller rett og slett for å redusere visuell forurensing.

Nedsenket oppdrett krever at de ulike artenes svømmeblærebiologi tas hensyn til. Ettersom laksefisk har en åpen svømmeblære må den ha tilgang på en overflate mellom vann og luft for etterfylling, mens de fleste andre arter har enten lukket svømmeblære (f.eks. torsk) og må senkes/ heves sakte, eller ingen svømmeblære (f.eks. cobia) og kan stort sett tas raskt opp og ned.

Denne rapporten gjennomgår hvordan det er etablert en metode for nedsenket produksjon av laks med luftkuppel (kapittel 1) og nylige resultat for å benytte samme metode for regnbueørret både i småskal forsøk og kommersiell skala.

1.2 - Utfordringen lakselus og lusebelte

Lakselus (*Lepeoptheirus salmonis*) er en av de viktigste hindrene for videre ekspansjon av lakseproduksjon i åpne merder og belastende avlusinger er et velferdsproblem for oppdrettsfisken. Lakselusen er omtrent 0,4 mm når den kan feste seg på laksen og kalles da for en kopepodittlarve. Dette er det tredje av lusens livsstadier og larvene må her finne en vert eller så dør de. Larvene kommer drivende med vannstrømmen, men har en egenbevegelse mot lyset og vekk fra økende trykk som gjør at de hovedsakelig oppholder seg nær overflaten. Dette området omtales ofte som «lusebeltet». Larvene unngår også brakkvann og oppholder seg derfor oftest innunder haloklinen (overgangen mellom brakkvann og sjøvann) i fjordene (Figur 1.1.). Flere forebyggende tiltak, metoder og teknologi er utviklet for å skape et misforhold mellom de parasittiske luselarvene og lakseverten (Figur 1.2).



Figur 1.1. Lakseluslarver (brune kopepoditter i figuren) beveger seg vanligvis mot lyset og samler seg mot overflaten, men unngår samtidig brakkvann. Revidert skisse av Tina Oldham. Salmon lice larvae (the brown copepodites in the figure) usually move toward the light and distribute near the surface, while at the same time avoiding brackish water.

1.2.1 - Skille mellom luselarver og laks

Bruk av skjørt montert i overflaten for å beskytte laksen har til tider vist seg å være effektivt, men kan medføre dårlig vannkvalitet, utfordringer ved høye bølger og sterke strømmer, og har en lusereduserende effekt på 0–50 %. Lokke og lede laksen til å svømme dypere kan tidvis gi noe lusereduserende effekt (0–30 %), men gunstige temperatur- eller fôringsforhold nær overflaten overstyrer ofte det å holde laksen dypere i merden. Dynamiske kombinasjoner av skjørt og lokking med fôr til ulike dyp sammen med posisjonering av kunstig lys har gitt mer langvarig beskyttelse og gjennomsnittlig lusereduserende effekt på 50–62 %, med påfølgende redusert behov for avlusende behandlinger. Gjennom å tvinge laksen til å svømme dypere med et not-tak, mens det samtidig hadde tilgang til en sirkulær vannkolonne til overflaten for etterfylling av svømmeblæren (såkalt snorkel- eller tubenot), har vist lusereduserende effektiviteter på 75–85 % og redusert påfølgende behov for avlusende behandlinger. Men den lusereduserende effekten viser stor tidsmessig variasjon. I et mellomskala merdforsøk ble infestasjonene eksponentielt redusert med 63, 76, 90 og 95 % ved not-tak-/ snorkeldyp på henholdsvis 4, 8, 12 og 16 m, noe som indirekte illustrerer den lavere tettheten av luselarver med økende dyp (Oppedal et al., 2017). I flytende lukkede oppdrettsanlegg (FLO) er lusetettheten i stor grad redusert med 100 % når vanninntakene ligger på 25 m dyp, og dersom det likevel forekommer enkelte lus, ser de ikke ut til å reprodusere og smitte videre inne i de lukkede enhetene.



Figur 1.2. Skisser av forebyggende metoder mot infestasjon av lakselus. Merd med skjørt av presenning/ planktonduk nær overflaten, snorkel/ tubenot med not tak som tvinger fisken dypt, men åpning mot overflaten for svømmeblærefylling, lukket flytende merd (FLO) med dypt vanninntak, nedsenket merd uten og med luftkuppel for svømmeblærfylling. Skisser av Samantha Bui, AKVA group, Lars Helge Stien. Illustrations of preventative methods against salmon-lice infestation: a cage with a tarpaulin/ plankton screen skirt near the surface; a snorkel/ tubenet cage with a net roof that forces the fish deeper but has an opening to the surface for swim-bladder refilling; a closed floating cage with a deep-water intake (FLO); and a submerged pen, both without and with an air dome for swim-bladder refilling.

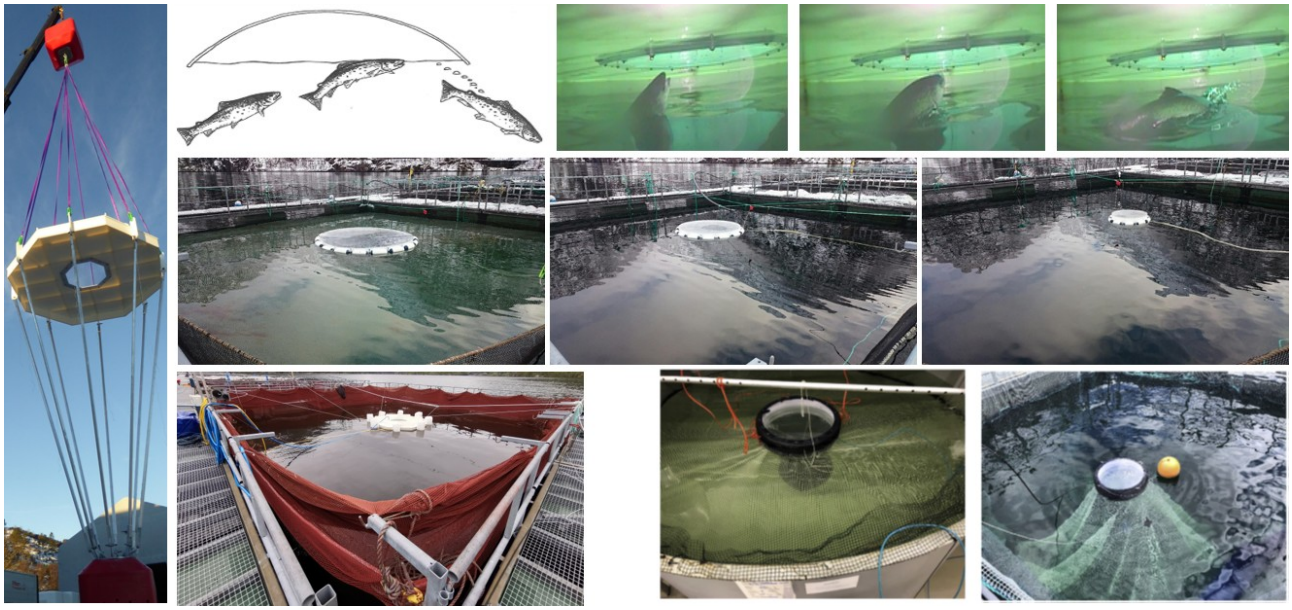
1.3 - Laks ned i dypet uten luft

Nedsenkede merder som tvinger laksen til å svømme dypere ble benyttet i forsøk på 2000-tallet (Figur 1.2). Imidlertid er laksefisk fysostome og har med andre ord en åpen svømmeblære som må etterfylles med luft via en åpen vann/ luft overflate. Det å holde laksen borte fra en luftoverflate i ukevis er ikke etisk akseptabelt, da oppdrift, appetitt og vekst kompromitteres, mens svømmehastighet, kroppsvinkling, ryggdeformiteter samt finne- og snuteskader øker (Korsøen et al., 2009). Selv gjentatte én ukes bortfall fra luftoverflate gir redusert volum av svømmeblæren og økt svømmehastighet hos 50–100 g nylig sjøvannsutsatt smolt som ble holdt under 10 m dyp (Glaropoulos et al., 2019). Laks på 450–1700 g så ut til å takle 2–22 dager under 3–5 m dyp noe bedre, men med økt svømmehastighet (Dempster et al., 2009). Laks på 120–220 g kunne regulere oppdrift ved å svelge luftbobler som ble introdusert på dypet, men større fisk håndterte dette i liten grad, og mange individer viste en uønsket akkumulering av vann i svømmeblæren (Barrett et al., 2024; Brynjulfsen, 2023).

1.4 - Nedsenket luftoverflate og forsøksproduksjon i dypet

Innføring av kunstige vannoverflater på det grunneste punktet i notens tak har imidlertid vist seg å være en god løsning for at laksen normalt kan etterfylle svømmeblæren nede i dypet (Figur 1.3). Denne teknikken med å bruke nedsenkede luftkupler ble utviklet gjennom en serie forsøk, innledningsvis basert på russiske forskeres observasjoner av regnbueørret sitt behov for en luftoverflate under isen i 1969 (Figur 2.1) og usikker bruk av luftkupler i Svartehavet (Bugrov, 1992), via innledende observasjoner på laks i ikke-repliserte 5 m³-merder av Ablett i 1989 og til prosjektarbeid ved høgskulen i Sogn i 2001. Fra 2011 ble vellykket testing hos Havforskningsinstituttet gjennomført i en småskala merder med 15 laks et 175 m³-bur (Korsøen et al., 2012). Men teknikken fungerte ikke ved testing i større skala med flere fisk, sannsynligvis fordi luftkuplene var for små samt for trange og bratte notvegger opp til selve luftoverflaten. Med ny motivasjon og innovasjonsprosjekter fra Forskningsrådet sammen med AKVA group og Sinkaberg ble det derimot suksess med nedsenket pilotproduksjon i repliserte småskala 2000 m³-merder over 5–7 uker med naive grupper på 10 000 halvkilos laks ved kommersielle tettheter i 2017 (Oppedal et al., 2020). Deretter fulgte fulle forsøksproduksjoner med laks fra smolt til slakt i 2019 og 2021 på 15 m og 5 m dyp i repliserte eksperimentelle oppsett (Warren-Myers et al., 2022; 2024). Regnbueørret ble testet i 2024 finansiert av FHF (se kapittel 2 og 3). I forsøksskala var en kuppel med 10 cm lufthøyde og diameter på 1–3 m tilstrekkelig for stor fisk, og en kuppel på 50 cm ser ut til å være tilstrekkelig for smolt. Å lære fisken å bruke luftkupler over tid, eller å trene laks til å bruke kupler før sjøvannsoverføring hadde positiv effekt (Macauley et al., 2020). Normale, effektiv produksjoner og god velferd ble observert når miljøet i dypet var egnet, mens lave oksygennivåer og kaldere temperaturer i dypet ga

utfordringer. Ved fjordlokaliteter i eksperimentelle oppsett med not-tak på 10–15 m dyp nådde var den luseinfestasjoner redusert med 55, 72 og 93 %.



Figur 1.3. Noen av luftkuplene benyttet i forsøk ved HI samt skisse og bilder av laks som etterfyller svømmeblæren i overflaten i nedsenket luftkuppel. Skisse: Stein Mortensen. Foto: Frode Oppedal/ Brede Fannemel. Some of the air domes used in experiments at the Institute of Marine Research, along with a sketch and photographs of salmon refilling their swim bladders at the surface inside a submerged air dome.

1.5 - Nedsenket luftoverflate og innledende kommersiell produksjon i dypet

I Sinkaberg sitt første kommersielle forsøk over 10 uker med dupliserte nedsenkede Atlantis-merder (Ø=157 m, luftkuppel på 15 m) sammenlignet med dupliserte overflatemerder (Figur 1.4), hver med 175 000 laks på 1–4 kg ved samme lokalitet, ble lusenivået redusert med 95–99 % og behovet for lusebehandlinger falt bort (Olafsen et al 2021). Overflatemerdene måtte ha to behandlinger i samme tidsrom. Etter at det ble betydelig infestasjon av mobile lus på den nedsenkede fisken som følge av avlusingsbehandlinger i overflatemerdene valgte oppdretterne å senke alle merder på samme lokalitet for å redusere påslag av mobile lus. Det ble antatt at løsrevne «kontroll»-lus under trenging før behandlingene gav påslaget av mobile lus i dypet. Senere forsøk viste at 10–40 % av mobile lus faller av under trenging og at disse har høy sannsynlighet for reinfestasjon til nabomerder innenfor 1–2 km (Geitung et al., 2025).



Figur 1.4. Atlantis og Nautilus merder hos oppdretter Sinkaberg. Skisser: AKVA group. Foto: Frode Oppedal. Atlantis and Nautilus cages at the commercial salmon farmer Sinkaberg

I et annet kommersielt forsøksoppsett over 5 måneder, med repliserte Atlantis- og Nautilus-merder ved en og samme lokalitet, var lusereduksjonen 80–96 % sammenlignet med overflatemerder ved en nabolokalitet (Lysø, 2023). Avlusende behandlinger ble gjennomført to ganger for fisken i overflatemerder, mot ingen behandlinger for fisken på dypet. En mer omfattende studie i Midt-Norge (Nordmøre til Bindal) undersøkte lusedata fra enkeltmerder ved 8 lokaliteter med Nautilus-merder (levert av AKVA group), hvor 6 av disse ble sammenlignet med tilgrensende lokaliteter med standard overflatemerder over 26–90 uker av produksjonssyklusen (Høvik, 2025). Produksjon i de nedsenkete merdene ga betydelig lavere lusepåslag/-nivå og reduserte det akkumulerte antallet produserte lus med gjennomsnittlig 68 % i forhold til lokalitet med overflatemerder. I sammenligning mellom de parvise nedsenkte og kontroll lokaliteter var reduksjonen på 56, 57, 62, 73, 78 og 83 %. Det tentative akkumulerte lusenivå ble beregnet ved å addere antall lus hver gang en avlusing fant sted (omregning foretatt basert på data i Høvik, 2025). Gjennomsnittlig antall avlusende behandlinger som ble gjennomført per merd ved de 8 nedsenkete lokaliteter var 0/ 0/ 0,1/ 0,3/ 0,6/ 0,9/ 1,3 og 3,9, mens det ved de 6 overflateproduksjonene var behov for omtrent 7 ganger så mange avlusinger: 3,8/ 4,4/ 5,4/ 6,7/ 7,0 og 12,3 avlusninger per merd. Det bør bemerkes at enkelte overflatelokaliteter også brukte skjørt og rensefisk i ulik grad. På lokalitet Fellesholmen, Troms, ble nedsenket produksjon gjennomført 2 ganger i 2 stykk Arctic Offshore Farming merder (Ø = 75 m, 600-784 000 laks per merd), med 4 luftkupler og not-tak på 11 m dyp (AOF, 2025). Første produksjon ble gjennomført uten lusebehandlinger (sep-des 2023). I andre produksjon steg lusenivået etter utsett (25.08.24) og avlusing måtte gjennomføres i oktober 2024. Rapporten utdyper at denne lusen med overveiende sannsynlighet stammet fra manglende avlusende effekt på fastsittende stadier under avlusingsbehandling ved overføring til AOF. Nivået av lus steg utover senhøsten og mengde voksne hunnlus var over tiltaksgrensen fra januar til siste utslakting i April. Værforhold gjorde det utfordrende å avslutte produksjonen som planlagt, noe som illustrerer de klare begrensninger som oppstår når oppdrettet foregår på meget værutsatte lokaliteter. En viktig lærdom å ta med seg inn mot fremtidig havbruk til havs.

1.6 - Kommersiell nedsenket produksjon i dag

Både i oppstartsperioden 2020 til 2023 og senere var det åpenbare positive effekter av nedsenkning. Luseinfestasjoner og behov for avlusingsbehandlinger ble redusert i så stor grad at flere oppdrettere investerte i metoden. En bølge av nye lokaliteter med nedsenket produksjon startet, og i 2025/ 2026 er mer enn 430 nedsenkede merder med luftkupler i bruk. Innen våren 2026 hadde >21 kommersielle lokaliteter gjennomført >42 produksjoner til slaktestørrelse, med varierende lusereduserende effekt og antall produserte lus. En del kunnskap er samlet fra 8 av disse produksjonene (Høvik, 2025), og det pågår ytterligere analyser basert på offentlig tilgjengelige lusedata og strukturerte intervjuer med de viktigste lakseprodusentene som driver nedsenket drift (pers. komm. Frode Oppedal, HI). Foreløpige analyser indikerer at det ved nedsenket drift var færre mobile lus, 35 % færre behandlingsuker og 17 uker forsinket tid til første avlusingsbehandling sammenlignet med historiske produksjoner ved samme lokalitet og nabolokaliteter med overflatedrift. Analysene er gjort på lokalitetsnivå og det forventes en betydelig feilkilde i forhold til om de hadde basert seg på merdnivå ettersom rapportering til Mattilsynet (tilgjengelige data på Barentswatch) kun oppgir om det er behandling eller ikke i inneværende uke, uavhengig av antall merder som behandles. I intervjurundene kom det frem at reduksjonen i antall merdavlusinger var i størrelsesorden 70 %, det doble av vår analyse. Dersom vi justerer for feilkilden så samsvarte luseforebygging med nedsenket drift med mønstre fra kortvarige pilotstudier med kommersielle nedsenkede merder, der >90 % reduksjon i lus og 100 % reduksjon i behandlingsfrekvens ble rapportert sammenlignet med overflatemerder på samme lokalitet (Olafsen et al., 2021). Resultatene samsvarer også med lengre tids nedsenkning av hele lokaliteter, der lusenivået ble redusert med 80–96 % og

behandlingsfrekvensen med 100 % sammenlignet med nærliggende overflatelokalitet (Lysø, 2023), samt med analyser av flere nedsenkede lokaliteter der akkumulert lusenivå ble redusert med 56–83 % og behandlingsfrekvensen med omtrent 80 % (Høvik, 2025).

1.7 - Prosjekt for å undersøke om regnbueørret kan senkes ned som laks

Basert på suksessen med nedsenket produksjon av laks med luftkuppel ble det satt i gang arbeid for å undersøke om regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) også kunne produseres på samme måte. Studiet ble fordelt på to arbeidspakker og støttet av FHF med prosjekt 901935 (RegnbueørretDypt).

Arbeidspakke 1 skulle gjennomføre mellomskala forsøk med repliserte nedsenkete merder og sammenligne produksjon, atferd og velferd med regnbueørret oppdrettet i vanlige overflatemerder. Regnbueørret ble ansett som egnet for nedsenket oppdrett på linje med laks, men det var nødvendig med dokumentasjon før storstilt kommersiell bruk kunne settes i gang.

Arbeidspakke 2 rettet seg mot å undersøke nedsenket oppdrett for regnbueørret i kommersiell skala som et forebyggende tiltak mot lus dersom mellomskala forsøk viste egnethet. Sammenligning skulle gjøres mot tidligere produksjoner. Hofseth Aqua var samarbeidsvillig oppdrettsbedrift og ville forsøke nedsenket drift innen prosjektperioden. Delmålet var å undersøke fiskens ytelse, velferd og lusepåslag i kommersiell nedsenket produksjon.

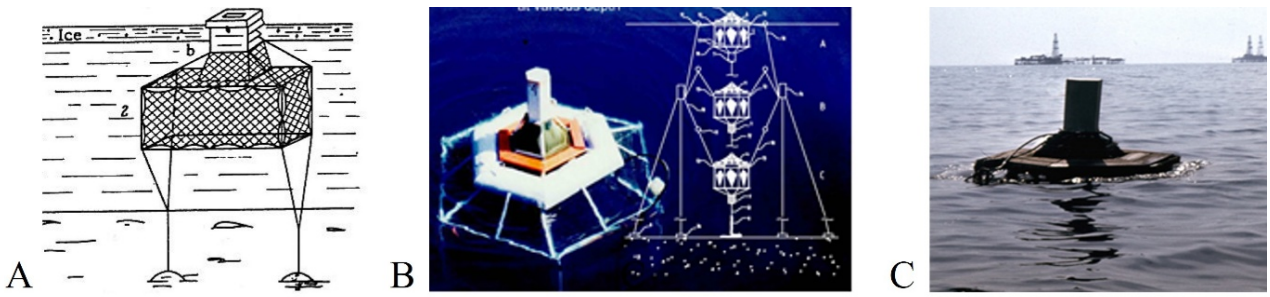
2 - Regnbueørret forsøk i nedsenkete merder

2.1 - Nedsenket produksjon av regnbueørret - bakgrunn

Regnbueørret er en robust oppdrettsart og tåler ofte sykdom bedre enn laks. Men utfordringer finnes på lakselus, da behandlinger er en stor påkjenning. Både mengde lus og behovet for avlusinger er i samme størrelsesorden som for laks (Barentswatch.no). Regnbueørret oppdrettes hovedsakelig i produksjons-områdene (PO) 3 og 4 (Fiskdir.no: 2022: ca 20 millioner individer), og utgjør >20% av antall oppdrettsindivider i sjø i Vestland. I disse PO'er er «trafikklyssystemet» rødt og produksjon er stagnert/ redusert og mindre bærekraftig. Forbedring av oppdrettets fotavtrykk kan gjøres gjennom å redusere lusenivå, som også kan gi mulighet for økt områdeproduksjon på sikt. Gjentagende avlusende behandlinger er også en velferdsutfordring, kostnad og hemsko for effektiv produksjon av regnbueørret som matfisk. Det var ønskelig å ta i bruk nedsenket dypdrift som ny produksjonsform av regnbueørret, et luseforebyggende tiltak som kan gi meget lave lusepåslag og dermed muliggjøre vekst i produksjonen og øke individenes velferd. Men for å sikre at dyp produksjon av regnbueørret skjer på en god måte er det viktig å dokumentere at arten er egnet til å oppdrettes i nedsenkete merder med et kunstig luftspeil for etterfylling av svømmeblæren.

2.1.1 - Regnbueørret versus laks

Selv om Atlantisk laks egner seg for nedsenket oppdrett med luftkuppel er det ikke sikkert at alle laksefisker evner å bruke luftkuppelen og trives dypt og uten tilgang til overflaten hvor fisken kan uttrykke blant annet hoppeatferd. Regnbueørretoppdrett dypt, uten kuppel, var ikke suksess i små bur (Fosseidengen et al., 1982), og russiske forskere viste at regnbueørreten måtte ha tilgang på luft til etterfylling av svømmeblæren når de ble holdt i bur under islagte vann (Mikheyev et al., 1970, Figur 2.1a). Men i Svartehavet ble regnbueørret sannsynligvis produsert hele året på 30 m dyp, men detaljert oppsett på teknologien, merdene, atferden, velferden og produksjonsparameterne er ikke beskrevet (Bugrov, 1992, Figur 2.1bc).



Figur 2.1. Gammel, fragmentert kunnskap på å holde regnbueørret nedsenket. A: Skisse av åpning til overflaten benyttet i islagte vann (Mikhevey et al., 1970) hvor b er et «skylight» hvor isen daglig knuses for at regnbueørreten skal ha overflatetilgang. B/ C: skisse/ bilder fra Svartehavet hvor regnbueørret sannsynligvis har blitt tilbudt en kunstig nedsenket overflate for etterfylling av luft til svømmeblæren eller repetitivt brakt til overflaten (Bugrov, 1992). Old, fragmented knowledge on keeping rainbow trout submerged. A: Sketch of an opening to the surface used in ice-covered waters (Mikhevey et al., 1970), where b is a "skylight" in which the ice was broken daily to provide rainbow trout with access to the surface. B/C: Sketches/images from the Black Sea, where rainbow trout were probably provided with an artificial submerged surface to replenish the air in their swim bladders, or were repeatedly brought to the surface (Bugrov, 1992).

Regnbueørret er en laksefisk fra Stillehavet og meget lik laks i forhold til anatomi og fysiologi. Men atferdsmessig er den mer aktiv i forhold til spiseaktivitet, går tettere i stim og er kjent for å ha mer «utras» eller

frenetisk gruppeaktivitet når den stresses eller opplever plutselige eller brå endringer i miljø. Denne kunnskapen er ikke klart beskrevet i litteraturen, men erfart i merder av mange regnbueørretoppdrettere i over 50 år. Slik atferd kan bli en mulig utfordring når regnbueørreten skal senkes ned eller tas opp, og bør undersøkes. I den beskjedne litteraturen som finnes om atferd hos regnbueørret i merder er det observert at svømmeaktivitet, romlig fordeling, respons på miljø og ytre stimuli ligner på laksens; regnbueørret svømmer rundt i merden eller stiller seg på innkommende vannstrøm om den er sterk, velger den optimale temperaturen i forhold til dyp, går mot fôret og tiltrekkes av lys i dypet (Sutterlin et al., 1979; Phillips, 1985; Sutterlin and Stevens, 1982; Oppedal, 1995; Bégout Anras et al., 2000). Oppdrettstettheter ser ut til å fungere som for laks ettersom at det ved sammenlignende studier i åpne 3000 L kar med oppdrettstettheter 12-21 kg m^{-3} og 17-30 kg m^{-3} ikke ble observert ulikheter i atferd, vekst, fysiologi, svømmeaktivitet eller velferd (Carbonara et al., 2020). Svømmeblærens utseende og funksjon hos regnbueørret ligner laksen, men data på mengde luft (fyllingsgrad) og hvordan denne endres med fiskestørrelse mangler, og bør undersøkes.

Oppdrettere observerer mer flytere (død fisk som flyter opp) i regnbueørret- enn laksemerder, trolig fordi ørreten har høyere fettdeponering enn laks, henholdsvis opp til 29 og 23% i regnbueørret vs. laks (Aas et al., 2022). Flytere kan utgjøre en utfordring i kuppeloverflaten, og hvis så er tilfelle bør det dokumenteres og avbøtende tiltak utvikles. Regnbueørret har en kondisjonsfaktor ved slakt som er ca. 0,5 høyere enn laks (1,9 vs. 1,4; Aas et al., 2022), spesielt tydelig på stor fisk som fort er over 2,2 i kondisjon (Fjelldal et al., 2025). Dette uttrykkes ofte ved at regnbueørret ser mer ut som en murstein sammenlignet laks. Det er mulig at denne forskjell i kroppsform, sammen med høyt fettnivå, kan gi utfordringer med svømmekapasitet og svømmeblærefylling. Sammenlignende studier på atferd og metabolsk kapasitet mellom artene for slaktestørrelse fisk finnes ikke. Det er således viktig å observere regnbueørret sin atferd frem til slaktestørrelse. Vil den svømme og etterfylle svømmeblæren normalt gjennom hele produksjonssyklusen? Et tilgrensende spørsmål er om økning i fettnivå gjennom livet i merden vil føre til mindre behov for luft i blæren da fisken i økende grad «flyter på flesket»?

2.1.2 - Forsøkets målsetninger

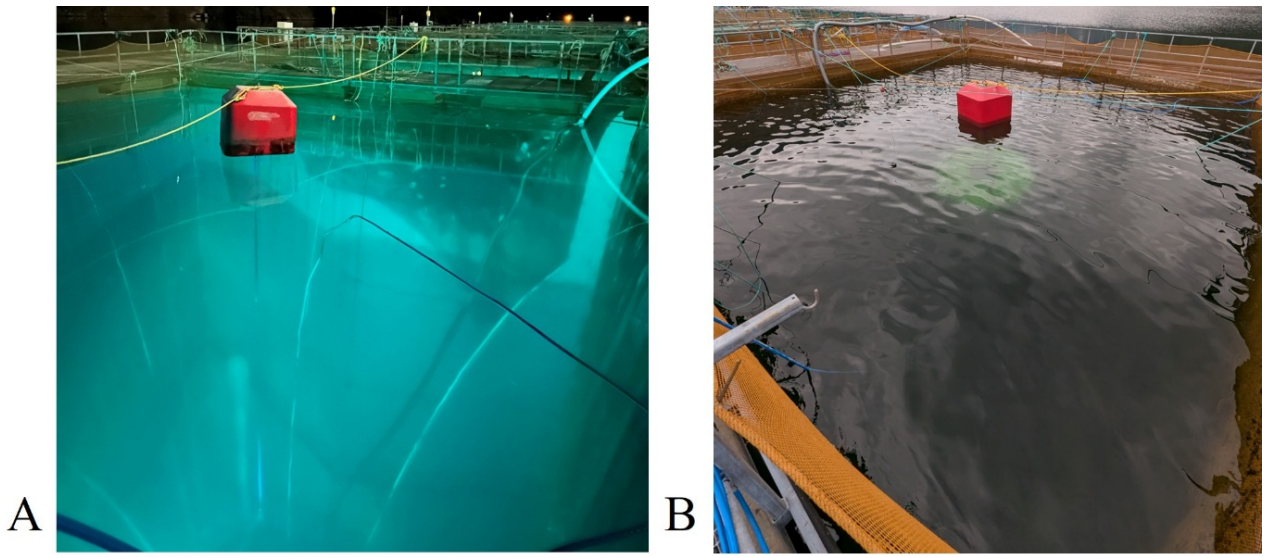
Oppdrettsnæringen ønsker å få undersøkt om nedsenkbar produksjon av regnbueørret er en biologisk utfordring gitt at denne produksjonsformen fungerer for laks. Men før utstrakt full-skala produksjon igangsettes er det ønskelig med erfaring fra forsøk med færre individer for å sikre at regnbueørretens atferd egner seg i dypet. Oppsummert, så er det meget sannsynlig at regnbueørret vil trives i samme merdmiljø som laks, inkludert i en nedsenket merd med luftkuppel. Prosjektets sin overordnede idé var å teste nedsenkning unna de infesterende luselarvene som et nytt forebyggende tiltak mot lus for regnbueørret.

Hovedmålet med forsøket var å undersøke om regnbueørret egner seg for oppdrett i nedsenkete merder med luftkuppel. Dette gjennom vitenskapelig dokumentasjon av regnbueørret sin atferd (luftfylling, svømmehastighet, tiltvinkel), fysiologi (svømmeblærefylling), tilvekst, kondisjon og velferd gjennom en produksjonssyklus i sjø i repliserte nedsenkete merder med luftkuppel til sammenligning med fisk i konvensjonelle overflatemerder.

2.2 - Forsøksfisk, fasiliteter, oppsett og metode

Regnbueørret ble fordelt i 6 merder og forsøk gjennomført fra april 2024 til mars 2025 ved Havforskningsinstituttet (HI), avdeling Matre sitt sjøanlegg i Smørdal, Masfjorden, Norge (60°N). Merdenes størrelse var 12 m × 12 m × 14 m dype hvor de nedsenkete burene kunne plasseres i dybdeintervaller 15-29 m med kuppel på 13 m eller 5-19 m med kuppel på 3 m dyp (Figur 2.2). Not-taket skråner fra innfesting i luftkuppel og ut til start av notvegg. Regnbueørreten (kun hunkjønn), 36 000 stk, ca 6000 per merd ble levert fra Firda Seafood sitt settefiskanlegg i Vik i Sogn med bil og var gjennomsnittlig 202 g. Tre replikate merder ble nedsenket med luftkuppel på Ø=2,5 m som var plassert øverst i not-taket og tre replikate merder ble holdt i

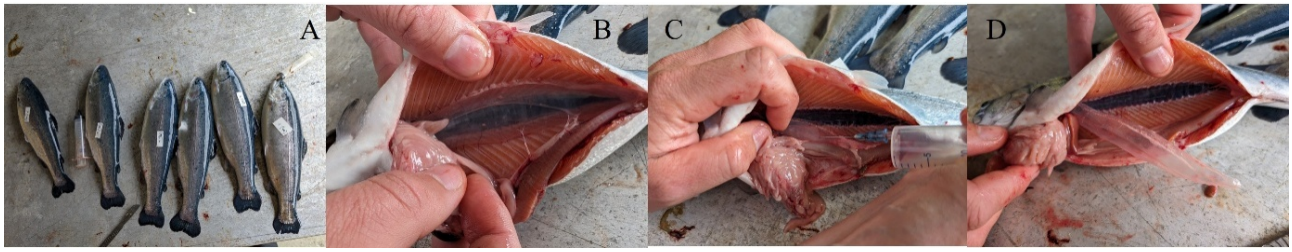
normal overflateposisjon og fungerte som kontroll. Anlegget består av en rekke med merder og annenhver merd var nedsenket eller kontroll. Etter utsett i sjø ble fisken gitt 1 uke tilvenningstid med merd i overflateposisjon før nedsenkning. Da tak var sydd på ble merden senket jevnt, stille og rolig (minutter) ned til rett dybde hvoretter kuppelen ble fylt med luft etter at den var i korrekt posisjon. Merden var montert slik at den glir nedover på utvendige hjørnetau. Når merden tas opp, tømmes luftkuppel for å unngå plutselig vekt-/ oppdriftsforskyvninger, og noten heves jevnt, stille og rolig (minutter). Ved uttak ble not-taket kun åpnet opp i et hjørne for å få tak i fisk med storhåv etter noen få minutters tiltrekking/ lokking med fôr. Fisken som ble tatt ut for prøver ble altså ikke gitt tilgang til overflaten før den ble håvet ut og resterende fisk fikk ikke tilgang til normal overflate.



Figur 2.2. Bilder fra overflaten som viser A) natt med lys hvor kuppel og not-tak er på 13-15 m dyp og B) fra dagtid med kuppel og not-tak på 3-5 m dyp. Foto: Ole Folkedal og Frode Oppedal. Photos from the surface showing A) nighttime conditions, with the dome and net roof at a depth of 13-15 m, and B) daytime conditions, with the dome and net roof at a depth of 3-5 m.

Kuppel ble først plassert på 13 m dyp i 8 uker for å gi fisken en realistisk direkte utfordring med nedsenkning og umiddelbart behov for etterfylling av svømmeblæren i luftkuppel. I de første 4 uker ble det gitt kontinuerlig lys (LL: AKVA Sublumin 600W lampe fra Akva group ASA) plassert på 8 m dyp (over not-taket) for å hjelpe fisken med å se kuppel og vannets luftoverflate i kuppelen hele døgnet. Bruk av lys er standard brukt i kommersiell nedsenket drift for laks, selv om en rekke mellom-skala forsøk viser at laksen håndterer fint mørk natt (Oppedal et al., 2020; Warren-Myers et al., 2022; 2024). Deretter ble lyset slått av og fisken gitt 4 uker med NL (naturlig lys med mørk natt) for å teste at regnbueørreten også håndterer not-tak og luftkuppel i mørke på 13-29 m dyp. Ettersom fisken håndterte de første 8 uker normalt ble det benyttet NL resten av forsøket. Fra den 9. uken ble de nedsenkete merdene holdt grunnere for at forskjeller i temperatur og oksygen ved de ulike fjorddyp ikke skulle påvirke tilvekst og velferd. Slik miljøpåvirket variasjon i tilvekst ble tidligere observert med laks på samme lokalitet (Warren-Myers et al., 2022). Fra slutten av juni hadde dermed begge gruppene bortimot samme tilgang til overflatenært varmere vann innunder haloklinen og mulighet for lik vekst og utvikling som kontrollmerdene på 0-14 m dybde. På høsten, vinter og vår ble nedsenkningsdyp vurdert i forhold til miljøprofilen ved anlegget. Det var ønskelig å gi fisken gunstigste temperatur tilgjengelig og gode oksygenforhold. Av erfaring vet vi at det tidvis er lavere temperatur og dårlig oksygennivå i dypet og tidvis lavere temperatur i overflaten. I forsøket var det imidlertid ikke betydelig bedre miljø i dypet høst og vinter og dermed ble not-tak og kuppel beholdt på 3-5 m dyp

frem til forsøket ble avsluttet (Figur 2.4). Underveis ble produksjonen nøye dokumentert med atferd på gruppe- (ekkolodd med total målstyrke som indirekte mål på svømmeblære-fylling og målstyrkens dybdeutspredning som mål på vertikal fordeling) og individnivå (hastighet, tilt, gruppestruktur) og jevnlige uttak av fisk (hver 4. til 8. uke). I de første 8 uker ble det utført hyppigere observasjon, men med forlengede intervaller (6-8 uker mellom hvert uttak) videre i forsøket da regnbueørreten håndterte forholdene og utviste normal atferd. Prøvetaking fra hver av de seks merdene (30 fisk per merd) ble utført 7 ganger i løpet av produksjonssyklus på følgende datoer: 2024: 25. april; 27.–28. mai; 25.–26. juni; 21.–22. august; 15.–16. oktober; 10.–11. desember; 2025: 4.–6. februar. Fisken ble slaktet 28.02 (kontroll) og 05-06.03 (nedsenket) etter brønnbåttransport (24.02 og 05.03) og variabel tid i ventemerd.



Figur 2.3. Bilder viser A) regnbueørret for prøvetaking av vekt, lengde, velferdskår og svømmeblæren med relativ normal fyllingsgrad i B) normal posisjon, C) hvordan luften kvantifiseres ved å stikke hull med nål og dra luften inn i en sprøyte med måleskala og D) utseende av en full svømmeblære frigjort fra bukhulen. Foto: Frode Oppedal. Modell: Ole Folkedal. Images show A) rainbow trout sampled for weight, length, welfare score, and swim bladder; B) a swim bladder with a relatively normal degree of inflation in its normal position; C) how the air is quantified by puncturing the swim bladder with a needle and drawing the air into a graduated syringe; and D) the appearance of a fully inflated swim bladder removed from the abdominal cavity.

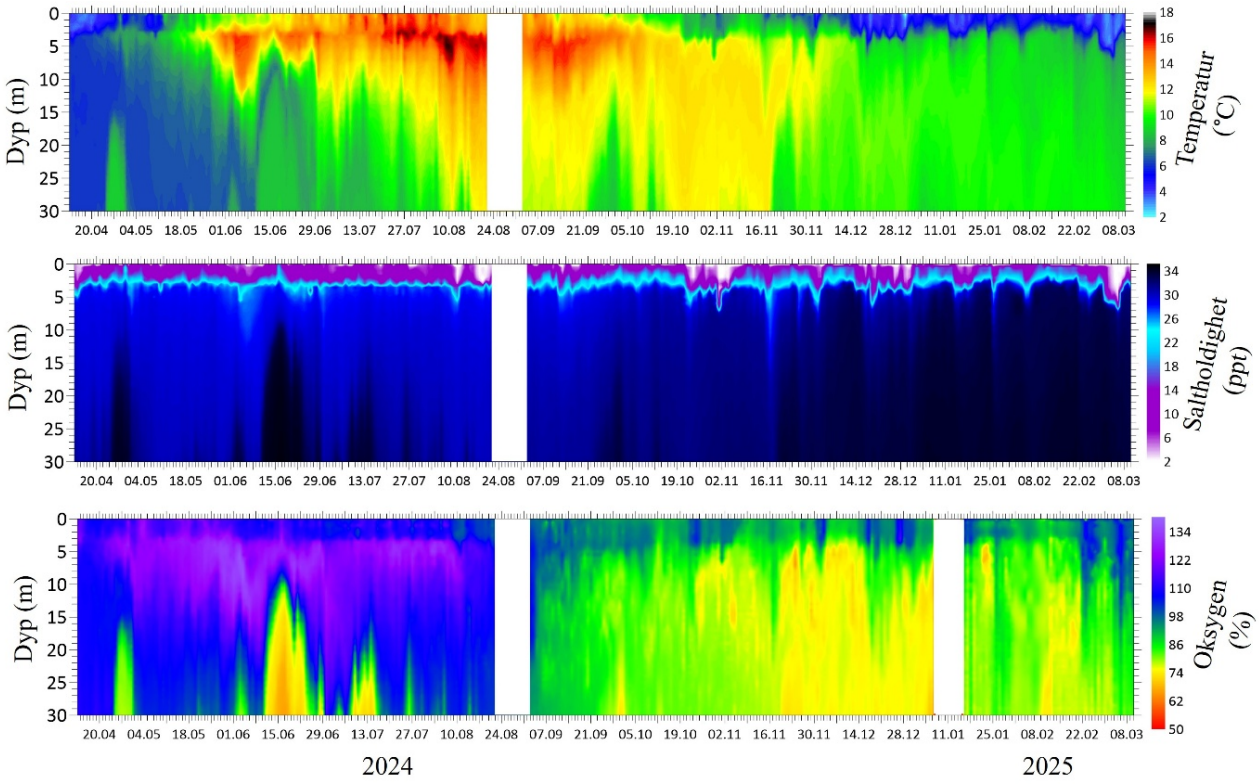
Vertikal atferd ble observert kontinuerlig med ekkolodd og målstyrke (tilbakespredning) ble brukt som et mål på svømmeblærens fyllingsgrad. Atferd på individnivå (hastighet, tilt, gruppestruktur) ble observert flere ganger i uken med kamera. Utvidete observasjoner av atferd ble utført når fisken ble senket ned eller tatt opp. Både atferden og produksjonseffektivitet som vekst, kondisjon, velferdskår (LAKSVEL), dødelighet, sykdom, svømmeblærens luftinnhold og lusepåslag (Figur 2.3) ble sammenlignet med de tre tilsvarende repliserte merder som ble produsert under normale oppdrettsbetingelser i overflaten. Ulik statistikk ble nyttet for sammenligninger (se resultat). Daglige miljøprofiler ble tatt med en APB5 bøye med CTD (SAIV as, Bergen, saiv.no) for parameterne temperatur, saltholdighet og oksygen. Lusepåslag ble registrert ved de periodiske uttakene, men dybdeplassering for minimalt lusepåslag er ikke fokus i dette forsøket, men derimot ørretens generelle egnethet til å være i nedsenket merd med kuppel.

På slutten av forsøksproduksjonen ble den nedsenkete gruppen testet for driftsforstyrrelser (stressforsøk) på 13-27 m dyp, dvs. med luftkuppel på 13 m dyp med skrånende not-tak til 15 m dyp. Dette ble gjennomført etter siste sammenlignende prøvetaking mellom gruppene i februar. Kun de nedsenkete fiskene ble utsatt for typiske miljømessige «stress»-utfordringer, som akutt av/på belysning, tom kuppel i en uke og faste i en uke før slakt.

2.2.1 - Miljø

Temperatur, saltholdighet og oksygen viste normale årstidsvariasjoner og variasjon med dyp (Figur 2.4). Varmeste forhold var nær overflaten eller oppunder haloklinen (sprangsjiktet for brakkvann) om sommeren og under haloklinen om vinteren. Kaldeste forhold var i overflaten om vinteren og dypest i april-juli. Den nedsenkete fisken opplevde kaldere forhold enn overflatefisken i de første 8 ukene, men ellers bortimot lignede temperatur (Figur 2.10). Det var et kontinuerlig brakkvannsjikt som kontrollfisken opplevde, men som den

nedsenkete fisken sjeldent kunne oppleve ettersom den var på 3-5 m dyp og nedover. Oksygenforholdene, som målt utenfor merdene, var alltid gode nær overflaten, men tidvis forringet på 5-30 m dyp og ned mot 70 % metning i mai (10-30 m) og november-desember (5-30 m).



Figur 2.4. Temperatur, saltholdighet og oksygen fra 0 til 30 m basert på daglige målinger gjennom forsøksperioden. Hvite felt indikerer manglende data. Temperature, salinity, and oxygen from 0 to 30 m based on daily measurements throughout the experimental period. White areas indicate lack of data.

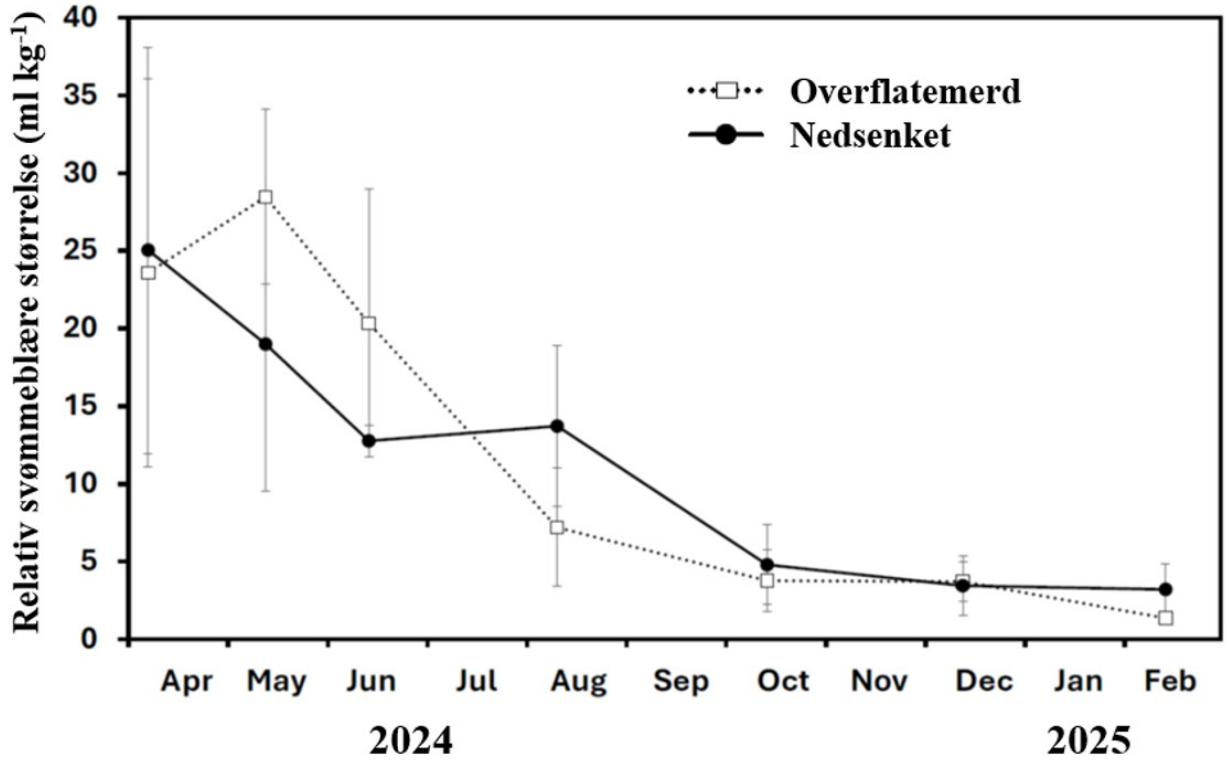
2.3 - Resultat og diskusjon

Regnbueørretens atferd i nedsenkete merder var normal, og den klarte fra første dag å etterfylle luft i den nedsenkete kuppelen. Det var forskjell i tilvekst i begynnelsen av forsøket, sannsynligvis grunnet lavere opplevd temperatur (akkumulert ~250 døgngrader) i nedsenket gruppe i løpet av perioden merdene stod dypt. Velferd og dødelighet var normalt god for begge fiskegrupper. Reaksjon på lys-stress var moderat, men regnbueørret viste sterk trang til å etterfylle luft når kuppelen var tom.

2.3.1 - Svømmeblærefylling og atferd

Relativ svømmeblære-fyllingsgrad (RSF = volum luft i svømmeblæren per kg fiskevekt, ml/kg, Figur 2.5) brukes som en indikator på at fisk etterfyller luft for å opprettholde nøytral oppdrift. Mellom 2. og 3. prøvetaking var forskjellen i RSF mellom overflatetilgang og nedsenkede fiskegruppe uendret, med en reduksjon i RSF på 30 % for begge. I atlantisk laks har vi tidligere funnet at RSF-verdier typisk avtar når fisken blir større (Warren-Myers et al., 2024). Ved 5. prøvetaking har RSF gått ytterligere ned for begge grupper, men nå uten forskjell mellom fiskegruppene. Det bør bemerkes at selv om den overordnede trenden er at RSF avtar med vekt, har det vært stor variabilitet mellom forsøksgrupper innen hver prøvedato. Etter å ha observert prøvetakingsprosedyren i

oktober 2024 detaljert, så vi at mye av variabiliteten mellom merdgruppene skyldes forskjeller i tiden mellom fangst av fisk og måling av luftinnhold. Ved den avsluttende prøvetakingen i februar 2025 var RSF-verdiene overlappende mellom gruppene og gjennomsnittlig 1,3 ± 0,3 ml/kg for fisk fra merder med overflateadgang og 3,1 ± 1,4 ml/kg for fisk fra nedsenkede merder. Det ble funnet ubetydelige mengder vann i svømmeblære, kontra at dette har tidvis blitt sett tidligere hos laks, spesielt når den ikke har hatt luft tilgjengelig eller luften har vært tilgjengelig kun som bobler. Mye vann i svømmeblæren kan føre til deformasjoner på sikt.



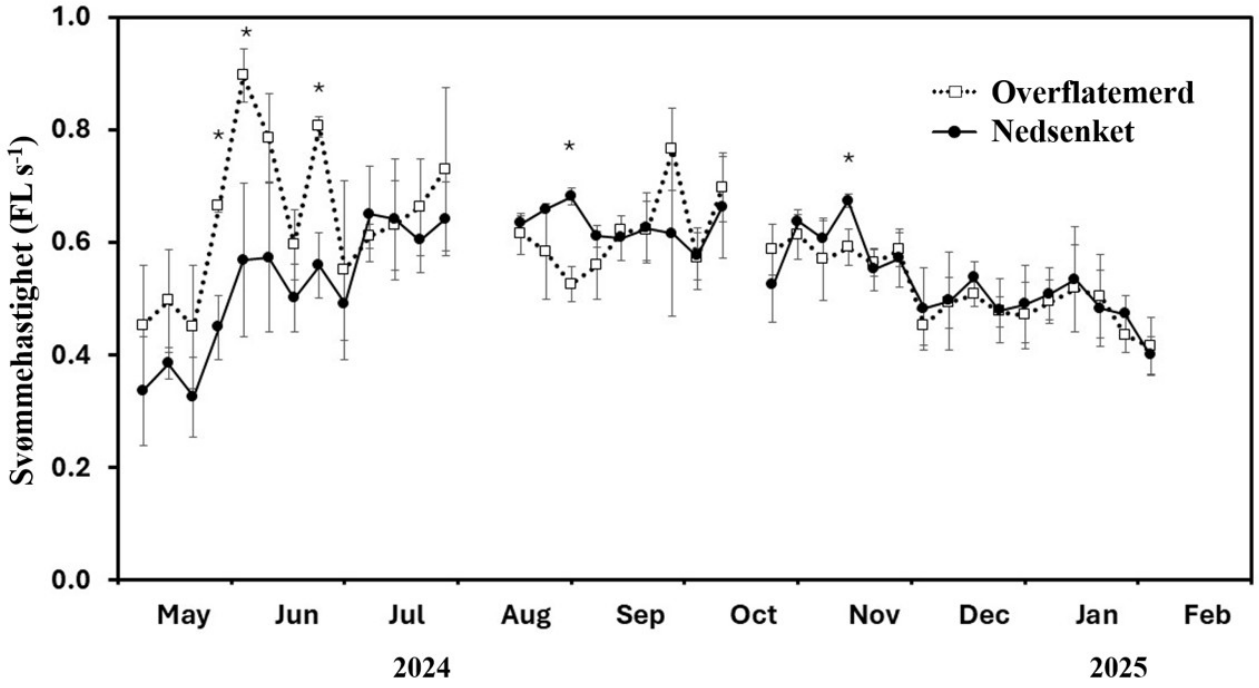
Figur 2.5. Relativ størrelse av svømmeblære målt som ml luft per kg fisk gjennom forsøket for regnbueørret holdt i overflate eller nedsenket merd med luftkuppel. Relative swim bladder size, measured as millilitres of air per kilogram of fish, throughout the experiment for rainbow trout kept in either a surface cage or a submerged cage with an air dome.

Lignende RSF data sees hos både nedsenket og overflate produsert laks på omtrent 0,8 til 4,2 kg hvor RSF sank fra 13 til 4 ml kg-1 (Warren-Myers et al., 2024). Dette indikerer at regnbueørret responderer og har en lignende fysiologi som laksen. Det er spekulert i om regnbueørret sitt 26 % høyere relative fettnivå (laks: 23 %, regnbueørret: 29 %, Aas et al., 2022) vil gjøre at den trenger mindre luft for oppdrift. Ved direkte sammenligning på 3-4 kg fiskestørrelse så ligger RSF nivået hos laks omkring 5-8 ml/kg (Warren-Myers et al., 2024) mens det hos regnbueørret er omkring 1-3 ml/kg (Figur 2.5). Således kan det se ut som regnbueørret «flyter litt bedre på flesket» enn den noe magrere laksen.

2.3.2 - Svømmehastigheter og overflateaktivitet.

Svømmehastighetene varierte fra 0,4 til 0,9 FL/s for overflatefisk og 0,3 til 0,7 FL/s for nedsenket fisk (Figur 2.6). En interaksjon mellom tid og merdtype viste at overflatefisk hadde raskere gjennomsnittlige svømmehastigheter i 3 uker i de to første månedene av forsøket, mens nedsenket fisk hadde høyere svømmehastigheter i 2 uker senere i forsøket (uke 16 og 26). Etter utsett var det størst variasjon og økende hastigheter for både overflateprodusert og nedsenkede ørret. Fra juli stabiliserte svømmehastighetene for

begge merdtypene seg innenfor 0,6-0,7 FL/s. Dette mønsteret holdt seg til November, hvoretter hastigheten stabiliserte seg rundt 0,4 FL/s.

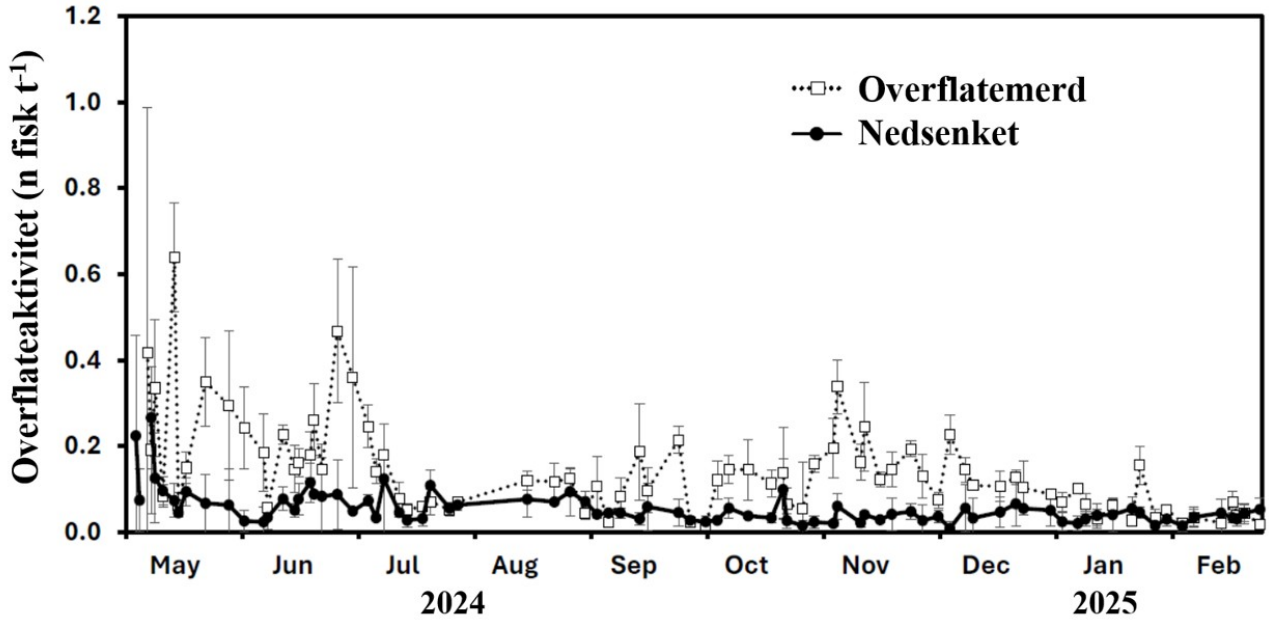


Figur 2.6. Svømmehastighet hos regnbueørret holdt i nedsenket eller overflate merd. Swimming speed of rainbow trout kept in a submerged or surface cage.

Basert på svømmehastighet viste den nedsenkete regnbueørreten ingen tegn til å ha problemer med å opprettholde oppdrift gjennom å ha lik eller marginalt lavere/ høyere aktivitet i forhold til fisken produsert i overflaten. Lik svømmehastighet som faktisk hastighet i cm/s gjennom hele produksjonen (mens avtagende i kroppslengder per s) i sjø har også vært gjentatt observert hos laks som har vært produsert nedsenket med en luftkuppel tilgjengelig sammenlignet med konvensjonell overflatedrift (Oppedal et al., 2020; Warren-Myers et al., 2022; 2024). Foruten en økning i hastighet den første måneden i sjø, viser regnbueørreten en svak nedgang i hastighet over hele produksjonstiden slik som laks. Hastigheten hos laks på dagtid var bortimot 40 cm/s i hele perioden fra utsett til slakt som dermed ga en nedgang i relativ hastighet fra 1,1 til 0,5 og 1,5 til 0,6 i henholdsvis Warren-Myers et al., (2022) og (2024). Regnbueørreten svømte omtrent 0,4-0,8-0,7-0,6-0,5-0,4 FL/s fra utsett til slakt, som er noe saktere enn laks observert i samme type merder, med samme observatør og metodikk. Dette er første gang regnbueørret sin svømmehastighet er dokumentert gjennom en hel produksjon i sjø og viser samme mønster som laks, men med 10-30% lavere hastighet. Hypoteser for den lavere hastighet hos regnbuørret enn laks kan være at den har høyere fettnivå og flyter mer på flesket, at den har høyere kondisjonsfaktor (og stuttere hale) eller at den rett ogslett er en annen art.

Overflateaktivitet (Figur 2.7) er en annen indikator på at fisk fyller svømmeblæren med luft. Tilsvarende svømmehastighetsdata var overflateaktiviteten ganske variabel frem til midten av mai. Fra da og fram til desember 2024 var overflateaktiviteten for det meste høyere i overflatedrift (2–5 ganger flere rull/ hopp i overflate per fisk per time) sammenlignet med i kuppelens luftoverflate. I januar/februar 2025 var derimot overflateaktiviteten minimal for begge fiskegrupper, og det var ikke noen forskjell mellom behandlingsgruppene

den siste måneden.

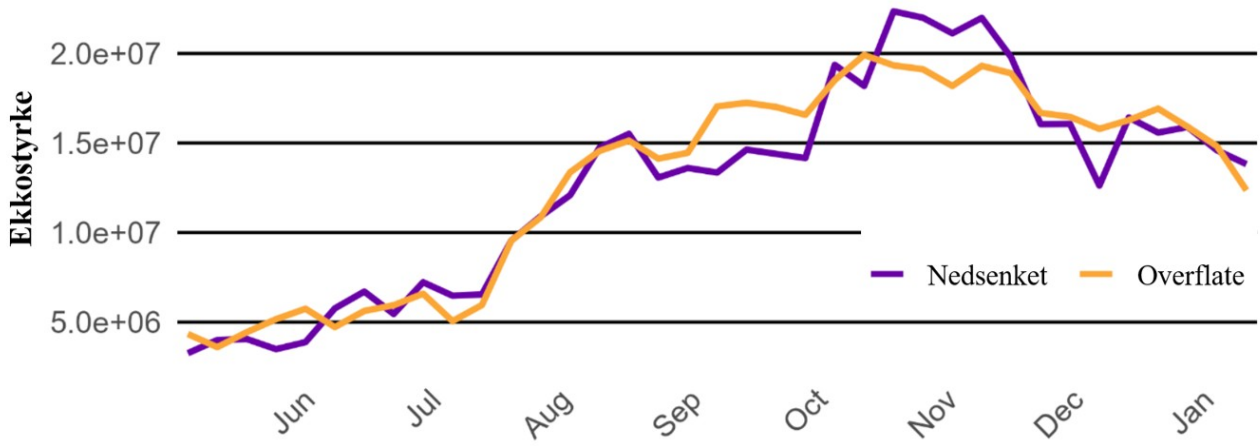


Figur 2.7. Overflateaktivitet hos regnbueørret holdt i nedsenket eller overflate merd gjennom forsøksperioden. Aktivitet er gitt som kombinasjon av antall rull og hopp per fisk per time.

Den daglige overflateaktiviteten hos regnbueørreten i kontrollmerdene varierte mellom 0,02 og 0,6 (gjennomsnitt 0,15) per fisk per time, som tilsvarer 0,5 til 14 (gjennomsnitt 3,6) ganger per fisk per døgn dersom en antar at aktiviteten er like høy om natten. Nedsenket regnbueørret varierer mellom 0,01 og 0,27 (gjennomsnitt 0,08) per fisk per time, som tilsvarer 0,24 til 6,5 (gjennomsnitt 1,9) ganger per fisk per døgn. Den lavere overflateaktiviteten hos nedsenket fisk med kuppel samsvarer med hva som er observert på laks (Warren-Myers et al., 2022; 2024) og kan blant annet skyldes kombinasjon av mer effektiv fylling av luft under trykk i kuppelen og mindre relative trykkforandringer som fører til redusert luftlekkasje som følge av at vertikale vandringer skjer dypere med lavere relativ endring i trykk. Muligens kan fisken også ha begrenset sin overflateaktivitet pga. redusert areal tilgjengelig, men det er ingen parametere som tilsier at den ikke har etterfylt tilstrekkelig med luft til å opprettholde normal oppdrift og atferd. For laks er det normalt å ha overflateaktiviteter på omtrent 4 ganger daglig når fisken er liten og nærmere 1 per dag når den er av slaktestørrelse (e.g. Warren-Myers et al., 2024). Regnbueørreten her ser med andre ord ut til å ha lignende frekvens på overflateaktivitet som laks, men med større variasjoner over tid.

2.3.3 - Ekkosignal

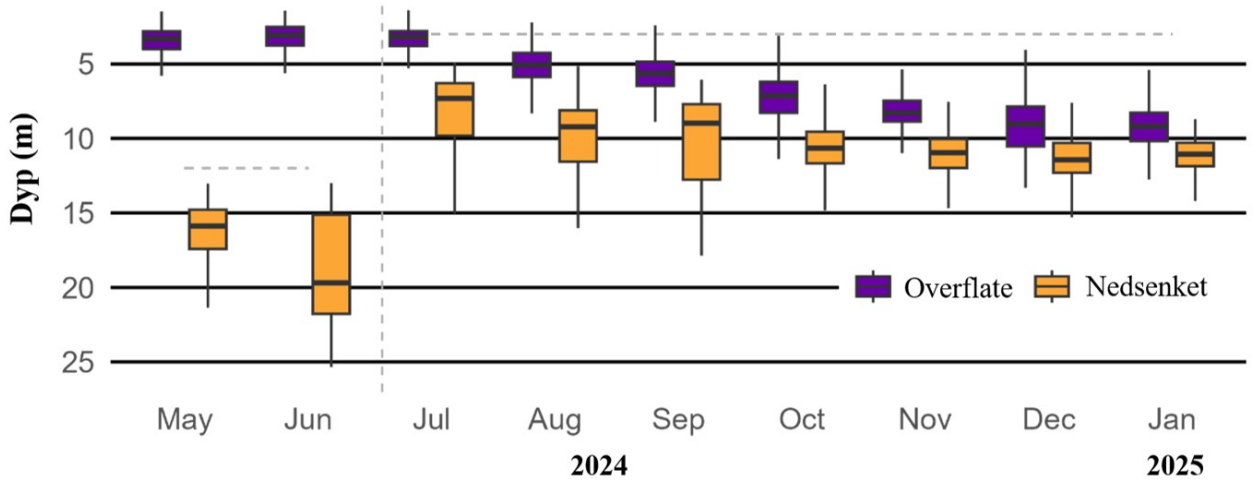
Endring i ekkostyrke, eller akustisk tilbakespredning er en annen, og kontinuerlig observerbar indikator på svømmeblærens luftinnhold (Figur 2.8). Ekkostyrke er lik for begge behandlingsgrupper og indikerer at den nedsenkete regnbueørreten klarer å opprettholde normalt med luft i svømmeblæren. Det er også normalt at ekkostyrke (som målt her) eller kalibrert individuell målstyrke (TS) eller gruppens målstyrke (Sv) øker med fiskestørrelse likt det vi observerer her. Lignende økning ble observert i både overflate og nedsenket drift med laks (Warren-Myers et al., 2022; 2024).



Figur 2.8. Ukentlige trender i gjennomsnittlig ekkosignalstyrke for overflatedrift og nedsenket fra mai til januar. Verdiene representerer gjennomsnittlig akustisk tilbakespredning per gruppe, som indikerer relative endringer i svømmeblæren, biomasse eller tetthet over tid. Reprodusert fra Masteroppgave, Day (2025). Weekly trends in mean total echo intensity for surface operation and submerged conditions from May to January. The values represent the mean acoustic backscatter per group, indicating relative changes in swim bladder condition, biomass or density over time. Reproduced from Day's master's thesis (2025).

2.3.4 - Dybdefordeling

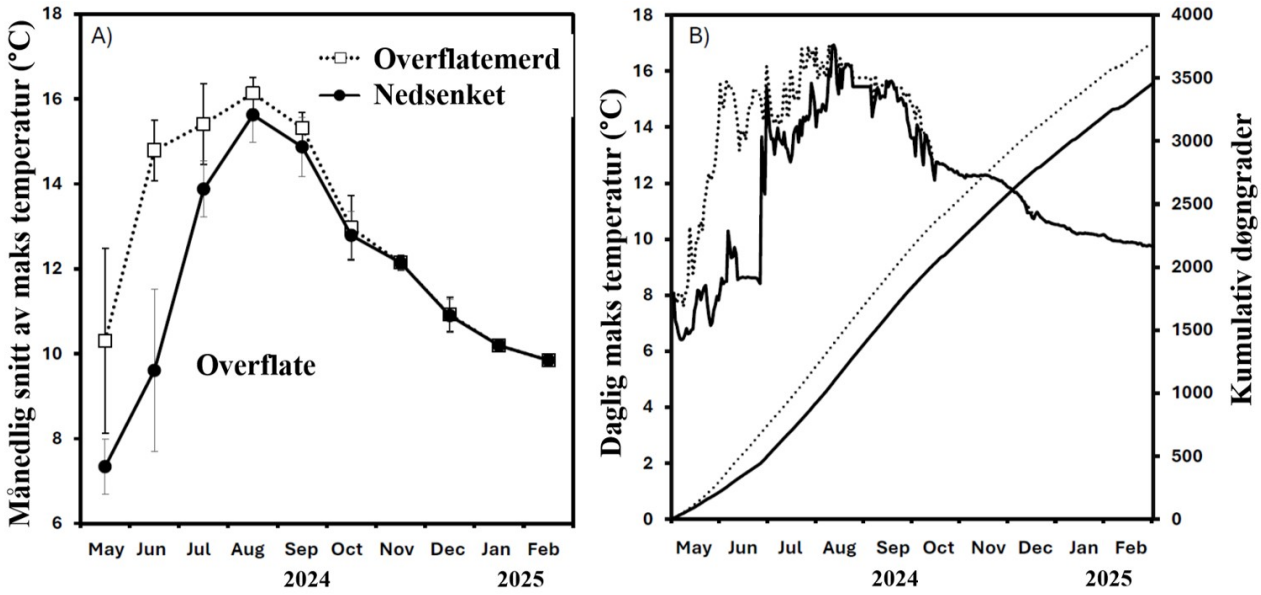
Regnbueørreten som var nedsenket svømte naturlig nok dypere enn overflatefisken i de første åtte uker ettersom not-tak og kuppel var på 13-15 m dyp. Dette ser vi illustrert som gjennomsnittlig svømmedyp per måned i Figur 2.9 hvor nedsenket fisk svømmer rundt 17-20 m dyp mens overflatefisken svømmer hovedsakelig fra 0 til 3 m. Resten av forsøket svømte den nedsenkete fisken i gjennomsnitt 2-5 m dypere enn fisken i konvensjonell merd hvor begge grupper unngikk det kaldere overflatelaget utover høsten og på vinteren.



Figur 2.9. Månedlige boks plott av vektet gjennomsnittsdybde for overflatedrift (lilla) og nedsenket fisk (oransje). Hver boks viser fordelingen per gruppe og måned, med bokser som representerer interkvartilområdet og horisontale linjer som indikerer medianen og avvikslinjer som strekker seg til 1,5 × interkvartilområde. Stiplede linjer indikerer de strukturelle dybdegrensene som er pålagt av det nedsenkede merdtaket. Netto dybde på kuppel er omtrent 13 meter frem til 24.–26. juni og omtrent 3 m deretter. En vertikal linje markerer endring i dyp. Reprodusert fra Masteroppgave, Day (2025). Monthly box plots of weighted mean depth for surface operation (purple) and submerged fish (orange). Each box shows the distribution for each group and month, with boxes representing the interquartile range, horizontal lines indicating the median, and whiskers extending to 1.5 times the interquartile range. Dashed lines indicate the structural depth limits imposed by the roof of the submerged cage. The depth of the dome was approximately 13 m until 24–26 June and 3 m thereafter. A vertical line marks the change in depth. Reproduced from Day's master's thesis (2025).

2.3.5 - Opplevd temperatur

Basert på de ulike svømmedyp fisken valgte, eller ble tvunget til å svømme på har vi beregnet opplevd temperaturforhold som det varmeste tilgjengelige vannet fisken kan svømme i innen hver gruppe (Figur 2.10). Det antas at regnbueørret ikke vil unngå temperaturer < 16 °C, men heller foretrekke det varmeste vannet. Denne preferanse stemmer overens med svømmedyp (Figur 2.9). Nedsenket fisk opplevde dermed henholdsvis 3 ± 1.9 og 5 ± 1.8 °C (snitt± 1SD) lavere månedlige makstemperaturer i mai og juni 2024 og 0,5-1,5 °C lavere i juli, august og september. Overflatefisk opplevde således omtrent 250 flere døgngrader enn den nedsenkete fisken. Totalt antall døgngrader var omtrent 10 % lavere for nedsenket sammenlignet med kontrollfisken i overflatemerdene (3524 vs. 3774). Ved en hypotetisk daglig temperatur på 12 ℃, ville dette tilsvare ~20 dager redusert tilvekst for nedsenket kontra overflatefisk.

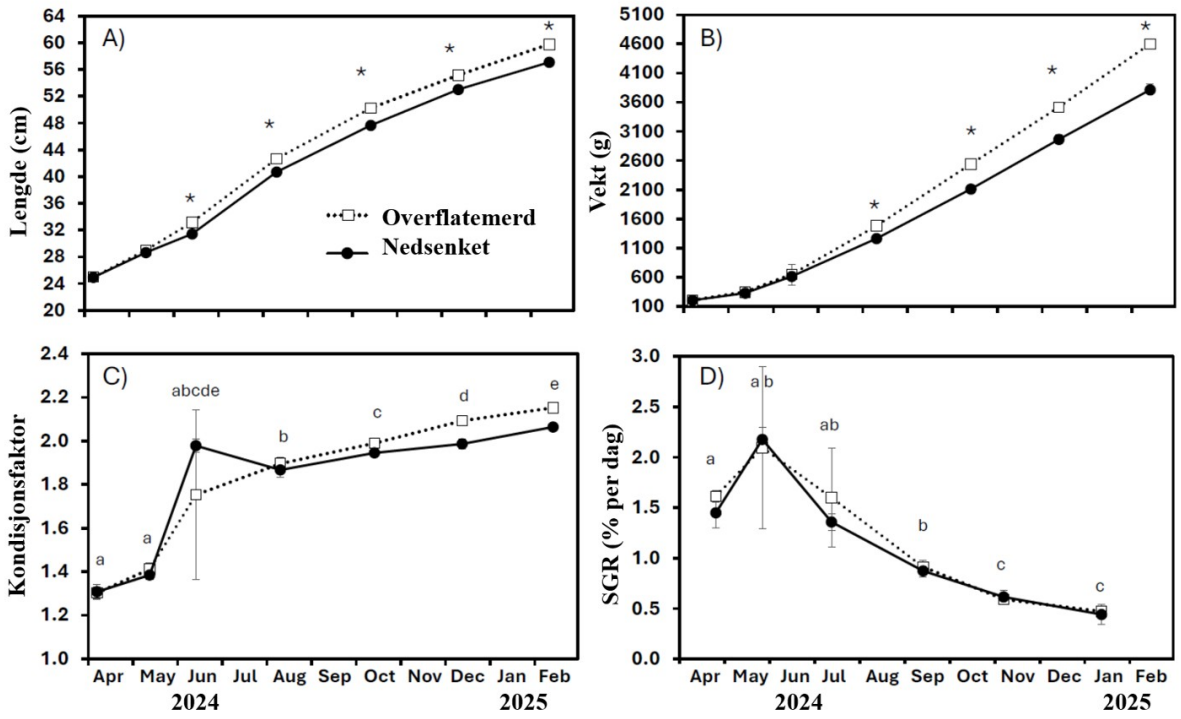


Figur 2.10. Sannsynlig opplevd temperatur (varmest temperatur tilgjengelig innenfor volum hvor fisken kan svømme) per måned (A) og den varmeste daglige temperatur (B) for overflate (åpen firkant, stiplet linje) og nedsenket (lukket sirkel, heltrukken linje) gruppe gjennom forsøksperioden. I (B) er også beregnet kumulativ antall døgngrader gitt med en total forskjell på 250 i februar. Likely experienced temperature (the warmest temperature available within the volume in which the fish could swim) by month (A) and the warmest daily temperature (B) for the surface group (open squares, dashed line) and submerged group (filled circles, solid line) throughout the experimental period. In (B), the calculated cumulative number of degree-days is also shown, with a total difference of 250 in February.

2.3.6 - Vekt, lengde og kondisjon

Ved forsøksstart var fisken i begge forsøksgrupper lik i lengde (Figur 2.11 A), vekt (Figur 2.11 B) og kondisjonsfaktor K (Figur 2.11 C). Fiskens lengde var 25 ± 0,3 cm, vekt 202 ± 25 g, kondisjonsfaktor (K) 1,30 ± 0,03 (gjennomsnitt ± 1 standardavvik). Ved siste uttak var den overflateproduserte regnbueørreten 2,7 cm lengre (5 %) enn nedsenket fisk, 20 % tyngre og hadde 5 % høyere kondisjonsfaktor (ikke signifikant ulike). Levende sluttvekt var 3,8 mot 4,6 kg etter henholdsvis nedsenket og overflate produksjon. Forskjellen mellom gruppene ble etablert i løpet av april, mai, juni og juli samtidig som temperaturen mellom gruppene var mest ulike (Figur 2.10). SGR viser ingen klare statistiske forskjeller, men var noe høyere i juli for den overflateproduserte fisken (Figur 2.11 D). Signifikante økning i K vises med ulike bokstaver i Figur 2.11 C.

Signifikant økning fra vår til sommer og deretter nedgang med størrelse i SGR vises i Figur 2.11 D. Netto snittvekt (sløyd vekt) ved slakt var 3,22 kg for den nedsenkete gruppen og 3,9 kg for den overflateproduserte fisken, dvs. en forskjell på 21 % som tilsvarer forskjellen i levende vekt. Den nedsenkete fisken ble slaktet 1 uke etter overflatefisken, men hadde da hatt flere dager med redusert tilvekst på grunn av kortvarig stress med lys, 1 uke uten luft i kuppel og forlenget sultetid før slakt.



*Figur 2.11. Lengde (A), vekt (B), kondisjonsfaktor (C) og tilvekst (D) (SGR; spesifikk vekstrate i % per dag) for tre repliserte merder av regnbueørret i henholdsvis nedsenket- eller overflatedrift. Signifikante forskjeller mellom grupper er indikert med * og signifikant forskjell over tid med ulik bokstav. Length (A), body weight (B), condition factor K (C), and growth (D) (SGR; specific growth rate in % per day) for three replicate cages of rainbow trout farmed under submerged or surface conditions, respectively. Significant differences between groups are indicated by *, and significant differences over time by different letters.*

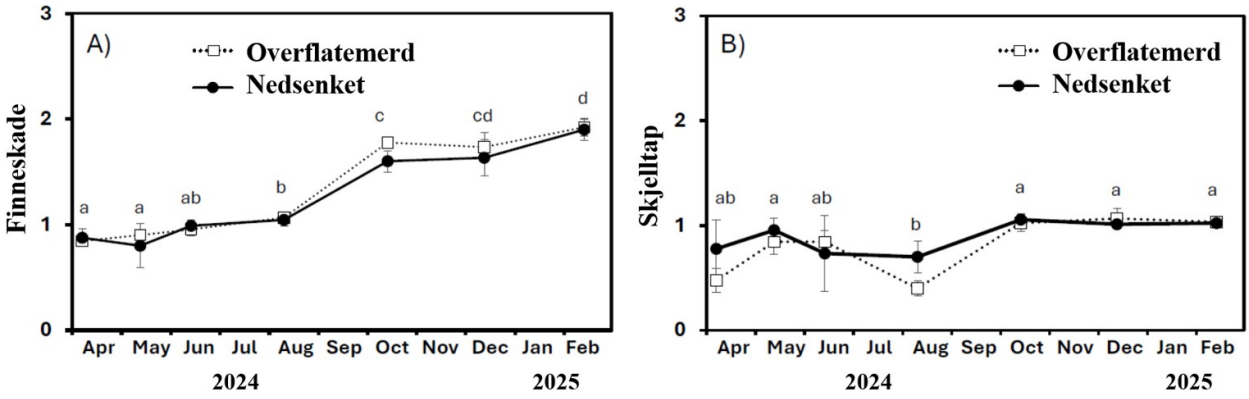
Tilvekst og utvikling viser en klar sammenheng med temperatur og fiskestørrelse. Tilvekst er høyest når fisken er liten og temperaturen høy. Med økende størrelse synker relativ tilvekst selv om temperaturen bare synker fra 14 til 10 °C utover høst og vinter. Det er åpenbart at når den nedsenkete fisken opplever lavere antall døgngrader fra utsett til over sommeren har den lavere tilvekst (både lengde og vekt) enn regnbueørreten som er produsert i overflaten. Deretter har den lik vekstrate utover høsten og viser ingen kompensasjonsvekst gitt samme temperaturforhold. Således er det ingen klare tegn på dårligere vektutvikling under nedsenket drift i forhold til overflatedrift om en ser bort fra effekter av ulik temperatur med dyp.

2.3.7 - Velferd

Slaktekvaliteten var 96,8 % superior hos den overflateproduserte fisken og 94,1 % superior hos fisken fra de nedsenkete merdene. Det er sannsynlig at noen fisk fra den nedsenkete gruppen fikk lavere skår på grunn av meget milde snutesår som følge av den avsluttende perioden uten luft i luftkuppelen (se stresstest). Total dødelighet i begge gruppene var for det meste vært svært lav med gjennomsnittlig total dødelighet fram til 5. februar 2025 på 2,3 ± 0,4 % for de nedsenkede merdene og 1,8 ± 0,1 % for merdene med full overflatetilgang

(gjennomsnitt ± SD) uten signifikante forskjeller mellom gruppene.

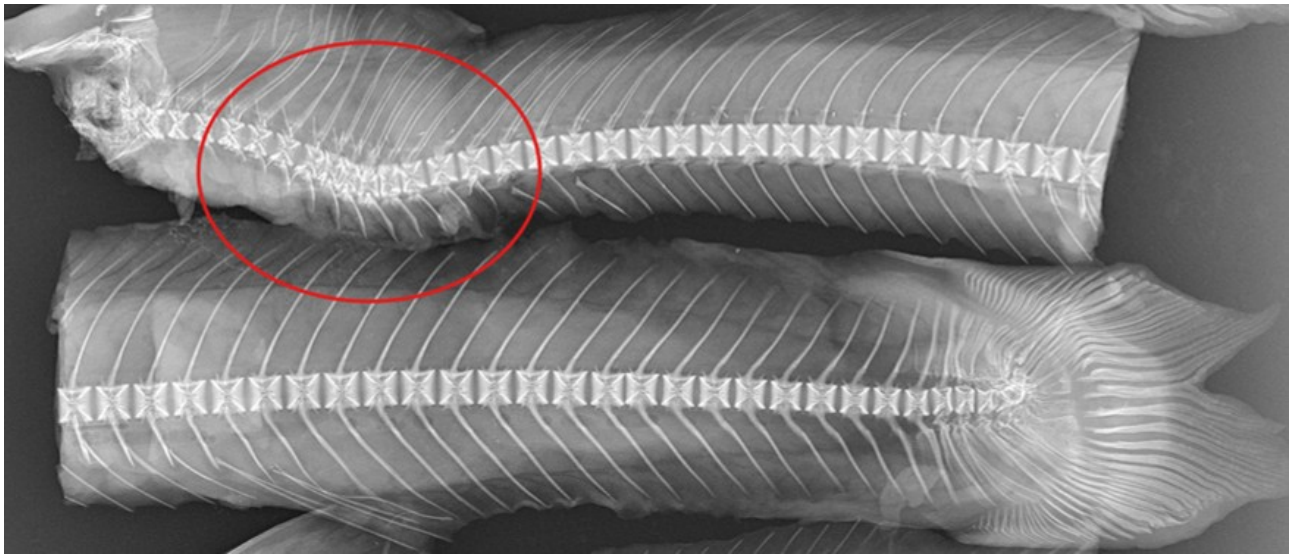
Velferdsskår for finnerosjon og skjelltap var lik mellom gruppene (Figur 2.12 A og B). Over tid økte gjennomsnittlig skår for finneskade fra 1 til omtrent 2, hvilket indikerer mer slitasje på finnene etter hvert som fiskene vokser uten fullstendig helning. Gjennomsnittlige skår for skjelltap per behandling endret seg lite over tid og ligger rundt 1 (skala fra 0 til 3). Resterende velferdskår er ikke rapportert da de er innenfor normalverdier og ingen forskjeller ses mellom gruppene.



*Figur 12. Finneskader (A) og skjelltap (B) vurdert med Laksvel skåringssystem (Nilsson et al., 2022) for tre repliserte merder av regnbueørret i henholdsvis nedsenket- og overflatedrift. Signifikante forskjeller mellom grupper er indikert med * og signifikant forskjell over tid med ulik bokstav. Fin damage (A) and scale loss (B), assessed using the Laksvel scoring system (Nilsson et al., 2022), for three replicate cages of rainbow trout produced under submerged or surface conditions, respectively. Significant differences between groups are indicated by *, and significant differences over time by different letters.*

2.3.8 - Deformitet på ryggrad

Ved oppstart (N=60) og avslutning (n=44 og 46 per gruppe) ble alvorlighetsgrad, type av og frekvensen av ryggradsdeformasjoner vurdert ved å studere røntgenbilder av enkeltindivider (Witten et al., 2009). Ved startuttak var det ingen individer med lordose i buk. Ved avslutning hadde 15,2 % av overflatefisken (7 av 46) lordose i bukhule regionen (Figur 2.13), mens kun 2,3% (1 av 44) av den nedsenkete fisken. Antallet fisk med deformerte virvler var 51,7 % ved start og økte til henholdsvis 56,8 og 73,9 % hos den nedsenkete og overflateproduserte fisken.

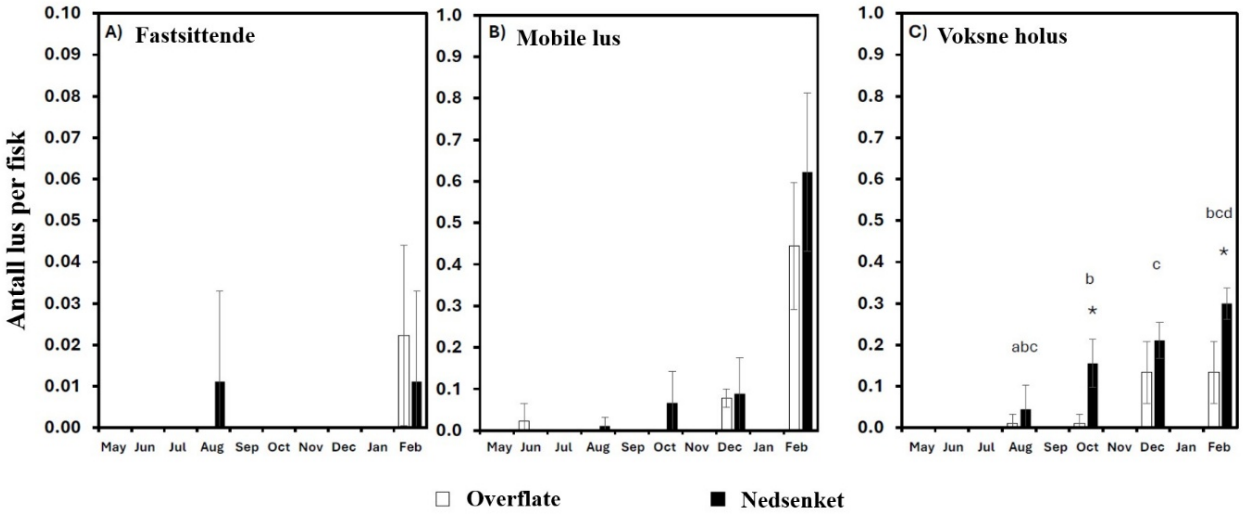


Figur 2.13. Eksempel på regnbueørret med betydelig lordose i bukhuleregionen (rød sirkel) ved avsluttende uttak hos regnbueørret på 3,8-4,6 kg. Regionen for denne type skade lå alltid mellom virvel 10 og 12 og var ikke observert ved oppstart. Merk at fisk er delt i to med fremre part øverst. Antydning til haledeformitet ses. Example of rainbow trout with pronounced lordosis in the abdominal region (red circle) at the final sampling, in fish weighing 3.8–4.6 kg. This type of lesion was consistently located between vertebrae 10 and 12 and was not observed at the start of the experiment. Note that the fish has been divided in two, with the anterior part at the top. Indications of caudal deformity can be seen.

Ved oppstart var mengde deformiteter relativt høyt for laksefisk, men innenfor frekvenser som er tidligere publiserte for regnbueørret (Fjelldal et al., 2025). Det var ikke en stor økning av frekvens gjennom produksjonen i sjø fra 0,2 kg til 3,8 (nedsenket)/ 4,6 (overflate) kg levende vekt. Men den høyere andel av både buk-lordose og 30 % mer deformiteter hos den overflate produserte fisken var betydelig. Forskjellen kan skyldes den hurtigere veksten som følge av det varmere vannet opplevd av overflategruppen. Det er tidligere observert at hurtig vekst kan gi økt andel deformiteter. Færre og mindre grad av deformiteter gir forbedret velferd og kan muligens også gi bedre slaktekvalitet dersom alvorlighetsgrad overstiger det som ble observert her.

2.3.9 - Lusenivå

Det var svært få fastsittende lus (kopepoditter, chalimus I- og II) som ble observert i løpet av forsøksperioden, kun i august og februar (Figur 2.14). Mobile lus (preadult I-, II og voksne hanner) ble først observert på fisk i overflatemerdene i juni 2024 (0 til 0,04 per fisk) og i de nedsenkede merdene i august 2024 (0–0,02 per fisk). Innen februar 2025 var det synlige mengder mobile lus i alle merdene (0,4 til 0,6 lus per fisk), men ingen tydelige forskjeller mellom behandlingsgrupper. Voksne hunnlus ble først observert i august 2024 (0,03 til 0,1 per fisk) og steg til omtrent 0,15 hos overflatefisk og 0,3 hos nedsenket fisk i februar. I gjennomsnitt var det 2,5 ganger mer voksne hunnlus på den nedsenkede fisken fra august 2024 til februar 2025.



*Figur 2.14. Lusenivå ved hvert uttak hos 3 repliserte merder av regnbueørret i nedsenket- og overflatedrift. Signifikante forskjeller mellom behandlingsgruppene når er indikert med * og signifikant forskjell over tid med ulik bokstav. Fastsittende stadier; kopepoditter, chalimus I og II (A), mobile stadier; pre-adult I, II og voksne hanner (B), og voksne hunner (C). Avvikene er ±95 % konfidensintervaller. Lice levels at each sampling point in three replicate cages of rainbow trout produced under submerged or surface conditions. Significant differences between treatment groups are indicated by *, and significant differences over time by different letters. A: Attached stages - copepodites, chalimus I and II; B: mobile stages - pre-adult I, pre-adult II, and adult males; C) adult females. Error bars represent ±95% confidence intervals.*

Overordnet så var det var lave lusenivå og kun en vag forskjell med noe mer lus i nedsenket gruppe. Dette var som forventet da fisken i begge grupper for det meste av forsøket står omtrent på samme dyp. Påslag av lus skjer normalt nær overflaten, men når det er brakkvannslag, som er typisk for denne fjordlokaliteten, holder kopepodittene seg oftere like under haloklinen. Den nedsenkete regnbueørreten burde dermed teoretisk sett få lite fastsittende lus i de 8 første ukene da den svømte dypere enn 13 m, mens den burde få flere lus resten av forsøket da den svømte like innunder haloklinen (Figur 2.9). I de første 8 ukene var det så lite påslag på begge fiskegrupper at det ikke var mulig å detektere noe mønster. Fra august og utover ser det ut som at den nedsenkete gruppen opparbeider seg høyest nivå av hunnlus som dermed stemmer overens med at de har fått påslag når de svømmer innunder haloklinen. Påslaget ble derimot ikke registrert som fastsittende lus ved uttakene, men blant de neste stadier av mobile lus sees en tendens som indikerer at det har vært påslag i nedsenket gruppe utover høsten. Overflatefisken bygger også opp et nivå av mobile og voksne lus, men noe lavere totalnivå. Tilgang på brakkvann i overflaten som tidvis nyttes av enkeltfisk, selv om ekkodataene ikke viser at fisken oppholder seg i betydelig grad i brakkvannet (Figur 2.9), kan være årsak til lavere påslag og muligens noe avgang av lus hos overflatefisken.

2.3.10 - Stress - effekt av lys av og på

Etter siste ordinære uttak i februar ble de nedsenkete merdene flyttet dypere og luftkuppel plassert på 13 m dyp hvoretter fisken ble utsatt for typiske driftsforstyrrelser som plutselig lys av/på, tom luftkuppel og faste i perioden 10. februar til 4. mars.

Det kontinuerlige lyset ble slått på ved 17 m dyp like utenfor notveggen (Figur 2.15). Etter noen dager ble fisken utsatt for lys av/på, først i en sekvens av 3 minutter av/på med 3 påfølgende gjentak, deretter av/på i 1 time med 3 påfølgende gjentak. Observasjoner ble utført med fastmontert videokamera inne i luftkuppel med IR lys både i mørke og lys, med pan/tilt kamera midt i merden når lyset var på, samt fra overflaten (siktedyp >20 m). Med ekkolodd ble vertikale endringer i utbredelse fulgt online hvert 12 sekund. Resultater indikerer en svak og

forbigående respons på lys av, hvor fiskene svømte noe nærmere not-tak og luftkuppel, med tidvis økt aktivitet i luftoverflaten under mørkeperiodene, men tilsynelatende uten å komme i kontakt med konstruksjonene. Ingen drastiske endringer i atferd ble observert når lys ble slått av og ingen åpenbare negative konsekvenser kunne ses eller måles. Når lys ble slått på var det heller ingen panikkrespons. Noen tidligere grupper av laks utsatt for samme behandling har vært mye mer stresset og raste rundt i merdvolumet. Det antas at ulike fiskegrupper (stamme, gruppe) kan respondere ulikt da slikt er observert blant kommersielle oppdrettere. Oppsummert var det ingen betydelig endringer i atferd eller observasjoner som skulle tilsi negative konsekvenser etterfulgt av de plutselige endringer i lysforhold. Ingen åpenbar nedgang i velferdskår basert på kameraobservasjoner og ingen dødelighet ble sett etter perioden med lys av/på.



Figur 2.15. Venstre bilde er tatt fra overflaten og ser gjennom not-tak på 13 m dyp og den nedsenkete regnbueørret som stimer i en sirkel om natten med lys plassert utenfor merden. Høyre bilde viser regnbueørret som stimer i en sirkel i overflatemerd i gjenskinnet av lys plassert på 17 m dyp. Bilder tatt av Ole Folkedal. Left photo is taken from surface and observe the fish through the net roof at 13 m depth where the submerged rainbow trout display a circulating school in the light beam from the artificial light source placed at 17 m depth. Right photo display the rainbow trout in the surface cage showing the same behaviour in the light beam from the same light source.

2.3.11 - Stress - effekt av lufttom kuppel og faste

Den 17. februar ble kuplene tømt for luft for å simulere en slik driftsforstyrrelse. Lufttom kuppel er gjentatte ganger observert i kommersielt oppdrett av nedsenket laks. Regnbueørreten var tilvent kuppel og nottak på 13 m dyp. I løpet av de første dagene uten luft ble enkelte fisk observert å søke etter luft. Likevel ble det ikke observert fysisk kontakt mellom fisk og konstruksjoner og velferd vurdert som tilfredstillende. De påfølgende dager viste regnbueørreten et økende behov til å ville etterfylle luft ved at flere individer ble observert nær taket i luftkuppelen (Figur 2.16). Normalt ble det observert omtrent 4 fisk i kuppelen per min, mens det etter 5-7 dager var gjennomsnittlig 26 fisk oppe i kuppelen per min. Etter 5-7 dager «skrubbet» en økende andel fisk oppunder kuppeltaket med hode og rygg (Figur 2.16). For å unngå skader og nedsatt velferd ble luft tilsatt kuppel på den 7. dagen uten luft, hvoretter fisken umiddelbart etterfylte svømmeblæren og utviste normal atferd utover dagen og dagen etter. Svømmehastigheten økte fra 0,42 til 0,56 FLs^{-1} ved observasjon 3 dager etter lufttom kuppel og ble redusert tilbake til 0,38 FLs^{-1} når kuppel ble fylt med luft igjen på den 7. dag. Det ble gjennomført et ekstra uttak av fisk 5. mars, samtidig som den ble trengt som forberedelse for brønnbåttransport for slakt. Velferdskår for snute var da moderat forringet hvor >50% av fisken fikk skår 1 (LAKSVEL skala) i forhold til tidligere uttak hvor <2% av fisken fikk skår 1.



Figur 2.16. Bilde tatt på dagtid (venstre) og om natten med IR lys (midtre og høyre) som viser regnbueørret som «skrubber» oppunder taket i den lufttomme kuppelen. Foto: Frode Oppedal. Photo taken at the natural lit day (left) and in darkness during night with infrared light source (mid and left photo). All images display rainbow trout partly scratching their snout and head against the ceiling of the air-empty dome searching for air to use for swim bladder refilling.

Oppsummert så vi at regnbueørreten i økende grad lette etter luft i kuppelen samtidig som svømmehastighet økte med >30% de første dagen etter at lufttilgang ble fjernet. Etter 5-7 dager ble enkeltindivider så «desperat» at noen kom i fysisk kontakt med kuppelkonstruksjonen, som medførte moderat snuteslitasje. Lignende observasjoner er ikke dokumentert for laks i mellomskala forsøk, men økt andel laks er observert nær luftkuppelen hos kommersielle oppdrettere når luft ikke er tilgjengelig. Under nedsenket drift er det med andre ord viktig å ha luft tilgjengelig i kuppelen bortimot kontinuerlig.

Ingen åpenbare påvirkninger på atferd ble observert ved å faste fisken.

2.4 - Konklusjon

Regnbueørret håndterte oppdrett i nedsenkete mellomskala merder med luftkuppel. Gitt de stratifiserte miljøforholdene ga nedsenket drift omtrent 20 % dårligere tilvekst på sommeren, samsvarende med lavere temperatur i dypet og opplevelse av færre døgngrader. Forskjellen i størrelse holdt seg frem til slakt uten at kompenserende tilvekst ble observert. Tilvekstmønsteret indikerer at nedsenket produksjon kan gi tidsmessig lavere biomasseøkning dersom miljøet i dypet er mindre gunstig for vekst enn i overflaten. Unngåelse av «høy» vekstrate på sommeren ga den mer saktevoksende nedsenkete fisken (3,8 kg) en lavere andel av buk-lordose og ryggradsdeformiteter enn den mer hurtigvoksende overflatefisken (4,6 kg). Dette gir åpenbart forbedret velferd og lignende vekstmønster kan muligens også gi bedre slaktekvalitet i fremtiden. Regnbueørrets atferd i nedsenkete merder er normal og akseptabel under stabil drift både med og uten kunstig lys. Reaksjon på lys-stress hos stor fisk var moderat. Det er anbefalt å til enhver tid ha luft i kuppelen ettersom regnbueørreten viste sterk trang til å etterfylle svømmeblæren når kuppelen var lufttom i noen dager og «skrubbet» hodet oppunder kuppeltaket med utvikling av moderat snuteslitasje hos noen individer. De positive resultatene antyder at regnbueørret egner seg godt for kommersiell produksjon i nedsenkete merder med luftkuppel.

3 - Kommersiell nedsenket regnbueørret produksjon

3.1 - Mål

Arbeidspakke 2 i RegnbueørretDypt rettet seg mot å undersøke nedsenket oppdrett for regnbueørret i kommersiell skala som et forebyggende tiltak mot lus. Vel og merke, dersom en samarbeidsvillig oppdrettsbedrift ville forsøke dette innen prosjektperioden. Delmålet var å undersøke fiskens ytelse, velferd og lusepåslag i kommersiell nedsenket produksjon.

Hofseth Aqua AS viste interesse for mellomskala-produksjonen på Matre, og ble første oppdretter til å drette opp nedsenket regnbueørret i kommersiell skala. Masterstudent ved UiB, Emily Myklebust, tok oppgaven å følge opp produksjonen og samle inn historiske data for tidligere konvensjonell overflate-produksjon av regnbueørret på Hofseth lokaliteten Bugane (Figur 3.0). Dette under veiledning av prosjektgruppen på HI, som selv var til stede på anlegget ved flere anledninger. Utvidet datamateriale finnes i Emily sin masteroppgave (Myklebust, 2026), og kun hovedfunn er her gjengitt og diskutert.



Figur 3.0. Masterstudent Emily Myklebust tar profilerende miljømålinger med CTD og observerer fiskeatferd med ulike kamera i de nedsenkete regnbueørretmerdene med 2025 generasjonen. Foto: Frode Oppedal. Master student Emily Myklebust measures the vertical environmental profile with a CTD and observe rainbow trout behaviours using various cameras within the submerged cages with the 2025 generation of fish.

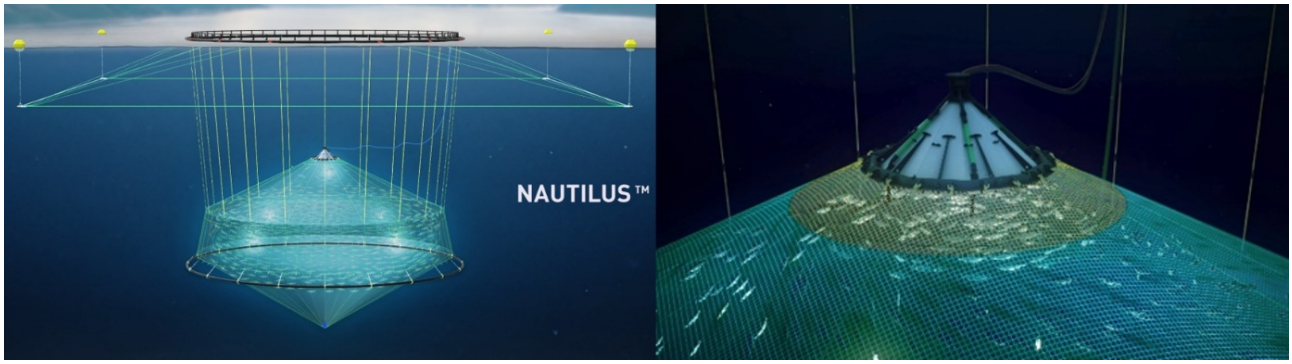
3.2 - Bakgrunn

Oppskalert produksjon fra mellomskala 2000 m^3 nedsenkete merder med luftkupler på Ø=2,5 m, 6000 fisk (kapittel 2) til fullskala kommersielle merder på >30 000 m^3 med >100 000 fisk og Ø>5 m luftkupler vil ofte gi utfordringer som må løses og egnete tilpasninger dokumenteres. Målet med denne aktiviteten var å dokumentere egnetheten av regnbueørret til å bli produsert nedsenket med fullskala, kommersielle kuppelmerder som utviklet og benyttet for laks. Aktiviteten sammenlignet oppdrett av regnbueørret i kommersielle kuppelmerder (Nautilus) med tidligere produksjon i konvensjonelle overflatemerder ved samme lokalitet. Sentralt i datainnsamlingen var atferd (svømmeblærefylling, svømmehastighet, tilt), produksjonseffektivitet (appetitt, tilvekst, dødelighet), lusepåslag, velferdsindikatorer og slaktekvalitet.

3.3 - Oppsett, metode og miljø

Kommersiell produksjon ble gjennomført på et fjordanlegg tilhørende Hofseth Aqua AS i Storfjorden, Norge (62°N). Det ble benyttet fem kommersielle nedsenkbare merder (157 m omkrets, 20 m mellom øvre og nedre ringer, og 37 m fra luftkuppelen/ toppen av noten til merdbunnen; Nautilus, AKVA Group AS, Figur 3.1) utstyrt med sentralt plasserte, dekagonale luftkupler (5 m diameter og ca. 15,7 m omkrets; PE1, AKVA Group AS)

montert i merdtakene.



Figur 3.1. Skisse av Nautilus nedsenket merdsystem (venstre) og luftkuppel (høyre) fra AKVA group som ble benytte ved lokalitet Bugane for produksjon av 2025 generasjonen. Sketches of Nautilus submerged cage system (left) and air dome (right) from AKVA group used at Bugane site for production of the 2025 generation of rainbow trout.

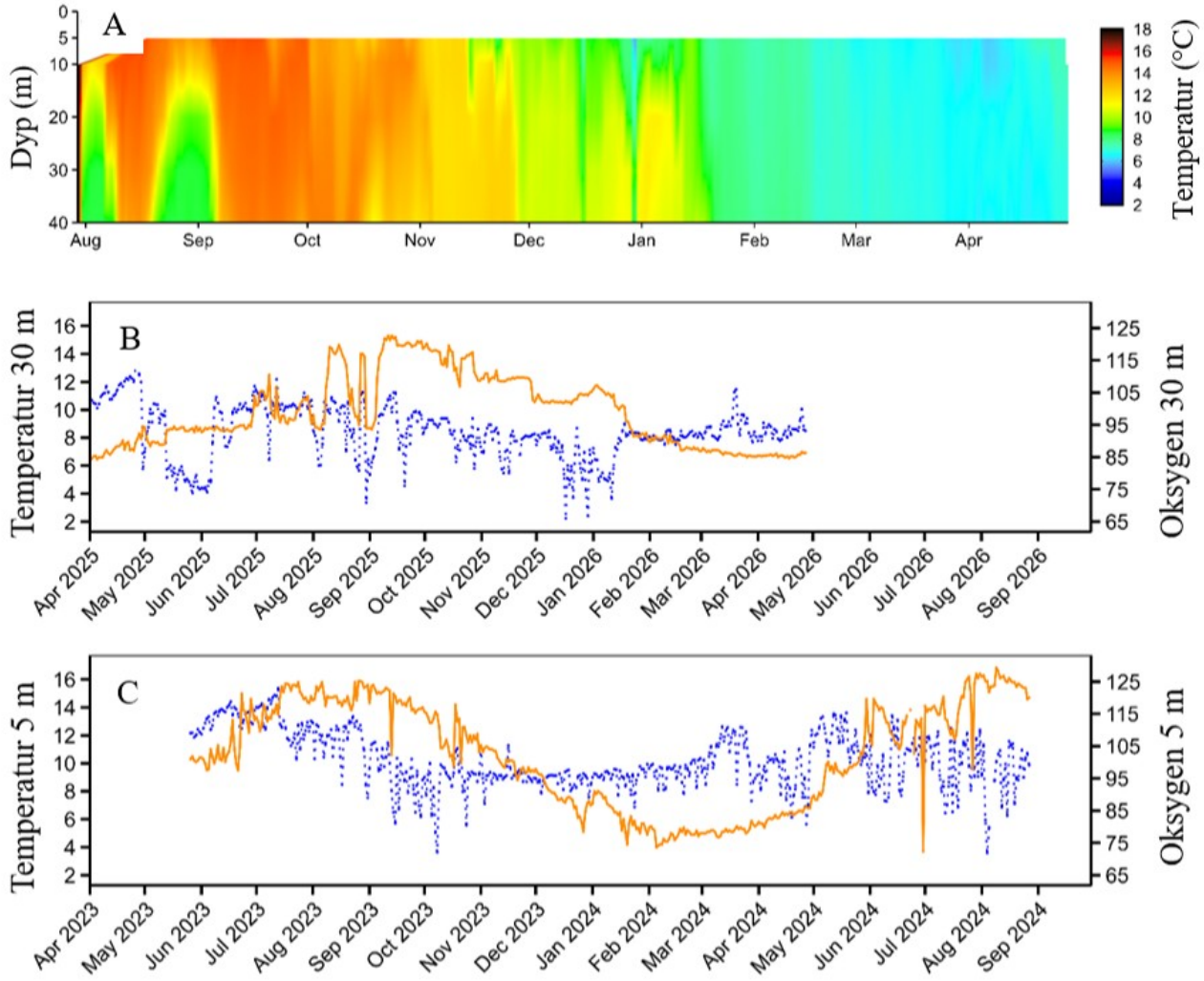
Regnbueørret (AquaGen-stamme) ble satt ut mellom april og juni 2025 og nedsenket umiddelbart eller få dager etter overføring til merd. Ved utsett hadde fisken en gjennomsnittsvekt på 481 ± 70 g (± standardavvik), med 117 000 ± 11 000 individer per merd. Merdene ble holdt nedsenket på 23 m (luftkuppel) til 60 m dybde. Merdene ble kun tatt til overflaten for avlusing eller nødvendige operasjoner for vedlikehold/reparasjon. Fisken ble gitt kontinuerlig lys med lamper plassert omtrent 7,5 og 14 m under luftkuppelen. Dette for å hjelpe fisken med orientering, finne fôrpellets og for at oppdretter kunne observere fisk og fôr. For å sammenligne resultatene fra den nedsenkede produksjonen med overflateproduksjon, ble data fra forrige produksjon på samme lokalitet innhentet. Dette omfattet seks grupper med regnbueørret (AquaGen-stamme) som ble oppdrettet i overflatebaserte merder (130 m omkrets, 20 m dype og 30 m til bunnen) fra mai og september 2023, med en gjennomsnittsvekt på 253 ± 123 g ved utsett. Disse fiskene fikk ikke kunstig belysning. Data fra begge produksjoner inkluderte fiskedødelighet, lusenivå og antall behandlinger, samt vekt og andel fisk med kvalitetsklassen "superior" ved slakt.

For den nedsenkede produksjonen ble lusenivå registrert ved automatisert telling (Aquabyte AS, Bergen, Norge) og tidvis manuelt på dødfisk, mens i overflatemerdene ble ukentlige manuelle tellinger utført. Generell vurdering av fiskens atferd ble gjort av personell på lokaliteten og forskningspersonell (master student Emily Myklebust og veiledere) ved feltbesøk.

3.3.1 - Miljø

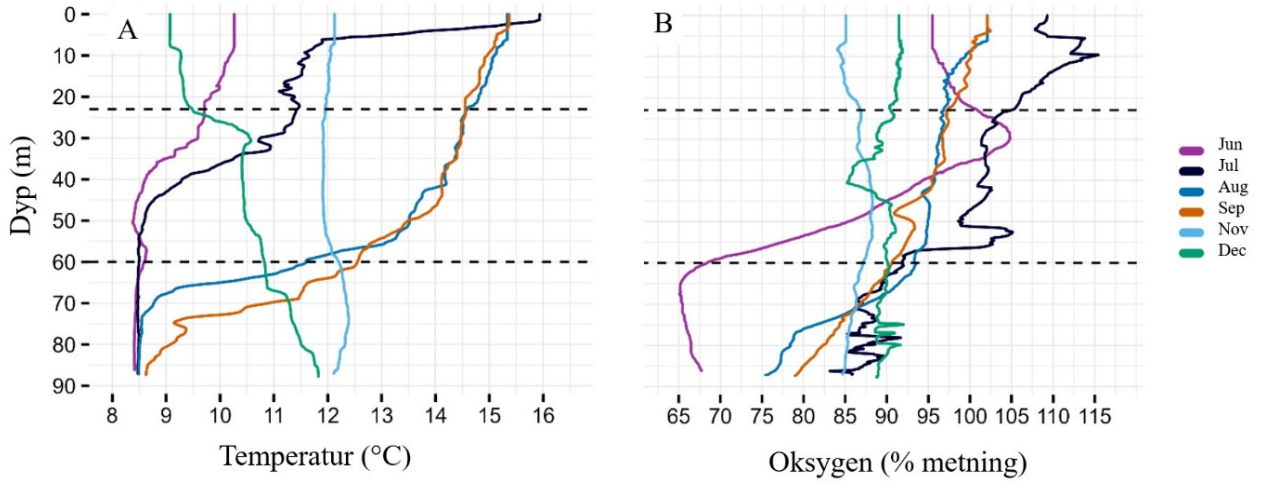
Gjennomsnittlig vanntemperaturer på relevante dyp (5 og 30 m) for hver produksjon ble også registrert, med daglige tilleggsmålinger i den nedsenkete produksjonen på 5, 10, 20, 30 og 40 m (Figur 3.2) samt månedlige dybdeprofiler med CTD (SAIV SD205) fra juni til desember (Figur 3.3). Temperaturen varierte fra 4 til 18 °C på lokaliteten (Figur 3.2). Miljøforholdene var forskjellige mellom 2025 generasjonens nedsenkede produksjonsdyp på 30 m og 2023 generasjonens overflatebaserte referansedyp på 5 m. Temperaturen fulgte et tydelig sesongmønster på begge dyp, men variasjonsbredden var smalere på 30 m i 2025 generasjonen enn på 5 m i 2023 generasjonen, henholdsvis i området fra 6,4 til 15,3°C og 3,7 til 17,9°C. Oksygennivåene var generelt høye på alle relevante nedsenkede dyp, inkludert på 40 m, hvor gjennomsnittlig oksygennivå var 86,2 ± 10%. Men oksygennivået var lavere og mer variabelt på 30 m i 2025 generasjonen enn på 5 m i 2023 generasjonen, med flere kortvarige reduksjoner gjennom senhøsten og vinteren. På 30 m dyp gikk oksygennivået ned mot

70% i en periode i juni og desember (Figur 3.2). Strømhastigheten var også noe lavere på 30 m i 2025, med gjennomsnittsverdier på 7,1 ± 6,5 cm s^{-1} sammenlignet med 8,5 ± 5,8 cm s^{-1} på 5 m i 2023 generasjonen.



Figur 3.2. Tidsmessig og dybderelatert variasjon i temperatur gjennom produksjonen av 2025-generasjonen (A). Plottet er interpolert fra daglige middelverdier registrert av sensorer på faste dyp på 5, 10, 20, 30 og 40 m. Temperatur (heltrukken, oransje linje) og oksygen (stiplet, blå linje) på 30 m dyp for den nedsenkete 2025 generasjonen (B) og på 5 m dyp for den overflateproduserte 2023 generasjonen (C). Revidert fra Myklebust (2026). Temporal and depth related variation in temperature during the 2025 generation. The plots were interpolated from daily mean values recorded by fixed-depth sensors at 5, 10, 20, 30 and 40 m. Temperature (orange) and oxygen (dotted blue line) at 30 m depth for the submerged 2025 generation (B) and at 5 m depth for the surface-produced 2023 generation (C). Revised from Myklebust (2026).

Temperaturprofilene innenfor dybden av de nedsenkede merdene viste sesongmessig variasjon i vertikal stratifisering mellom luftkuppelen på 23 m og merdens bunn på 60 m dyp (Figur 3.3). I juni var temperaturen i merdvolumet mellom 8,5 og 9,5°C, noe som indikerer relativt svak vertikal stratifisering. I juli ble det observert sterkere stratifisering, med temperaturer fra 8,5 til 11,5°C innenfor området som var tilgjengelig for fisken. Dette ga fisken tilgang til en temperaturgradient på omtrent 3°C, avhengig av svømmedyp. I august og september økte temperaturene og lå generelt mellom 12–14°C i store deler av merdvolumet. I november og desember endret temperaturprofilen seg, med lavere temperaturer i den øvre delen av den nedsenkede merden og høyere temperaturer på større dyp.



Figur 3.3. Vertikalprofiler av A) temperatur (°C) og B) oksygenmetning (%) i vannsøylen målt fra juni til desember 2025. Profilene illustrerer eksempler på hvilke temperatur- og oksygenforhold som oppleves ved standard overflatebasert oppdrett, typisk 0–30 m dyp, sammenlignet med dagens nedsenkede oppdrett på 23–60 m dyp (stiplede horisontale linjer). Revidert fra Myklebust (2026). Vertical profiles of A) temperature (°C) and B) oxygen saturation (%)in the water column measured June- December 2025. Profiles illustrates examples of what temperature and oxygen conditions is experienced dependent on standard surface related farming typically 0-30 m depth compared to present submerged farming at 23-60 m depth (dashed horizontal lines). Revised from Myklebust (2026)

3.4 - Resultat og diskusjon

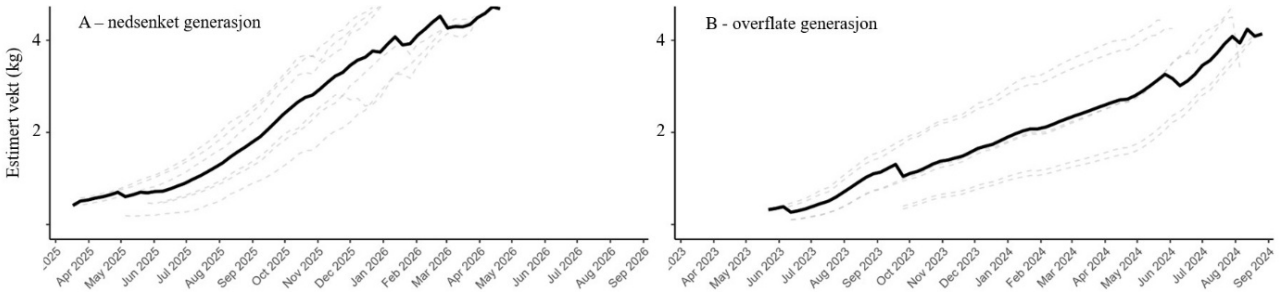
3.4.1 - Produksjonsoversikt, tilvekst og vektutvikling

Den nedsenkede produksjonen varte i gjennomsnitt 309 ± 27 dager og regnbueørreten var 4764 ± 236 g ved slakt (Figur 3.4). Til sammenligning varte 2023 generasjonen med produksjon i overflatemerder i 390 ± 31 dager og hadde slaktevekten var tilnærmet lik på 4837 ± 374 g. Men overflatefisken ble satt i sjø på omtrent halve størrelsen (253 vs. 483 g) og det var større variasjon i utsettingstidspunkt noe som gjør direkte sammenligning vanskelig.

Akkumulert antall døgngrader (dg) var lavere i den nedsenkete 2025 enn i den overflateproduserte 2023 generasjonen, med gjennomsnittsverdier på 3042 dg i 2025 og 4140 dg i 2023, hovedsakelig som følge av den kortere produksjonsperioden i sjø hos 2025 generasjonen. Til tross for dette var gjennomsnittlig *thermal growth coefficient* (TGC) signifikant høyere i den nedsenkete 2025 fisken enn i overflateproduserte 2023 generasjonen, 2,97 vs. 2,59, noe som indikerer bedre temperaturjustert tilvekst i den nedsenkete produksjonen.

Biologisk fôrfaktor (bFCR) var signifikant høyere i 2025 enn i 2023-generasjonen, men marginale forskjeller i gjennomsnittlige verdier på 1,36 og 1,32. Økonomisk fôrfaktor (eFCR) var tilnærmet identisk mellom generasjonene og 1,41 og spesifikk vekstrate var også lik, med 0,75 i 2025 og 0,78 for 2023 generasjonen. For laks er det antydet gjentagende høyere fôrfaktor i nedsenket drift uten at spesifikke årsaker er funnet. Det finnes hypoteser for 1) at energiforbruk er høyere når fisken får lys om natten og sannsynligvis svømmere raskere enn den ville ha gjort i naturlig mørke, 2) kontinuerlig lys i seg selv ikke gir mulighet for sesongstyrt (fotoperiodisk) tilvekst, 3) fôrpellet mister litt av sitt innhold ved å være i vann lenger og 4) ulike andre teorier. Fremtidige studier bør gjennomføres for å teste ulike hypoteser og anbefale mulige avbøtende tiltak.

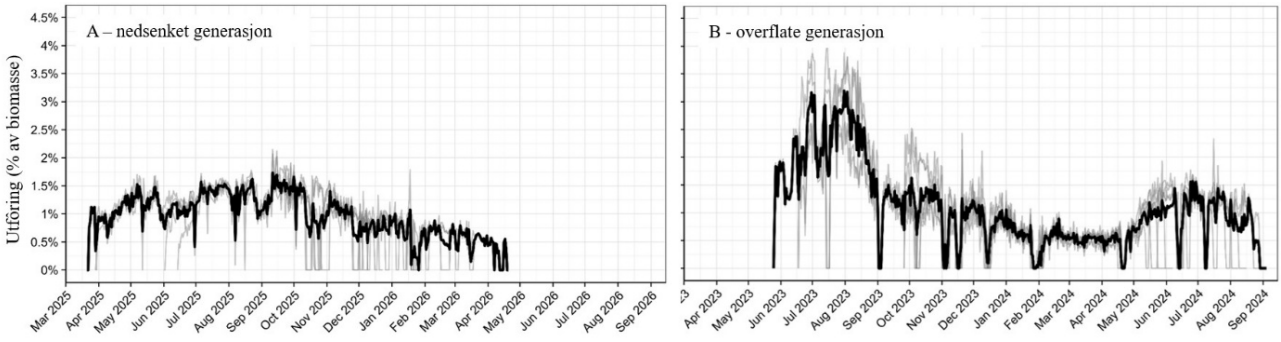
Vekstprestasjon og fôrutnyttelse forble med andre ord tilfredsstillende i nedsenket drift, med forbedret TGC og daglig tilvekst sammenlignet med overflatebasert produksjon.



Figur 3.4. Estimert ukentlig vekt og vekstutvikling for merdgrupper (grå stiplet linje) og gjennomsnitt (svart linje) for nedsenket 2025 generasjon (A) og overflateprodusert 2023 generasjon (B) av regnbueørret. Estimated weekly average weight and growth pattern for cage groups (grey dashed lines) and the average (black line) for submerged 2025-generation (A) and surface-produced 2023-generation (B) rainbow trout.

3.4.2 - Utfôring og appetitt

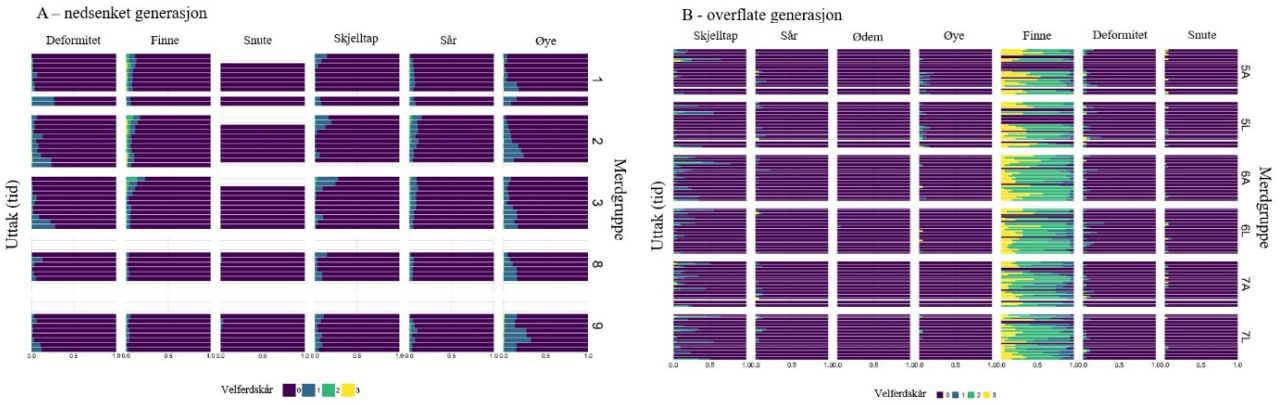
I den nedsenkete 2025 generasjonen var utfôringsprosenten (% av daglig estimert biomasse) relativt stabil gjennom mesteparten av produksjonsperioden, før den gradvis avtok (Figur 3.5A). I den overflateproduserte 2023 generasjonen var det et mer variabelt mønster på utfôring med sesong og gjentagende perioder med faste i alle merder og større variasjon mellom merdgrupper (Figur 3.5B). Den høyere utfôringsprosenten den første sommeren i sjø for overflatefisken samsvarer med høy temperatur og relativt mindre fiskestørrelse enn den nedsenkete; mindre fisk har raskere relativ tilvekst enn større fisk. Gjennomsnittlig utfôringsprosent skilte seg ikke signifikant, med verdier på 1,03 i 2025 og 1,00 i 2023. Daglig utfôringsprosent gikk signifikant ned med økende dager i sjø på tvers av begge generasjoner, noe som indikerer en generell reduksjon i utfôring relativt til biomasse etter hvert som fisken vokste. Antall dager med faste var færre i den nedsenkete enn overflateproduserte fisken. Merdgrupper i nedsenket produksjon hadde i gjennomsnitt 26 fastedager, tilsvarende 8,6 % av observerte produksjonsdager, sammenlignet med 63 dager og 13% hos overflateprodusert fisk. Både prosentandel og totalt antall fastedager var signifikant lavere i nedsenket produksjon og med mindre variasjon mellom merdgrupper.



Figur 3.5. Daglig utfôring (% av biomasse) og utvikling for merdgrupper (grå stiplet linje) og gjennomsnitt (svart linje) for nedsenkete 2025 generasjon (A) og overflateproduserte 2023 generasjon (B) av regnbueørret. Daily feeding (% of biomass) and growth for cage groups (grey dashed lines) and the average (black line) of submerged 2025-generation (A) and surface-produced 2023-generation (B) rainbow trout.

3.4.3 - Velferd

I den nedsenkete 2025 generasjonen ble de fleste velferdsklassifikasjoner gjort automatisk med kamera (Aquabyte) hvor skår 0 dominerte på tvers av velferdskategorier (Figur 3.5A). Dette indikerer generelt lav forekomst av synlige velferdsforringelser. Øyerelaterte funn hadde høyest skadeprevalens, med 12,0 % av observasjonene klassifisert som skadet. Gjennomsnittsskåren var imidlertid lav (0,126), de alle fleste funn var av lav alvorlighetsgrad (skår 1). Skjelltap var den nest hyppigste indikatoren, med 8,5 % skadede observasjoner og en lav gjennomsnittsskår (0,090). Finneskader, sår og deformiteter forekom på enda lavere nivåer, med skadeprevalenser på henholdsvis 6,3 %, 6,2 % og 5,9 % og gjennomsnittsskår 0,09 for finner, 0,08 for sår og 0,06 for deformiteter. Snuteskader var sjeldne, med kun 0,5 % skadde og gjennomsnittsskår på 0,005. Det ble observert en viss variasjon mellom merdgruppene, men med de lave gjennomsnittsskårene og generelt lave skadeprevalenser antyder at den biologiske betydningen av disse forskjellene var begrenset.



Figur 3.6. Velferdskår (0-3) over tid (tidsakse er nedover i figur) gjennom produksjonene for merdgrupper i nedsenket 2025 generasjon (A) og overflateprodusert 2023 generasjon (B) av regnbueørret. Welfare score (0–3) over time (the time axis runs downward in the figure) throughout the production cycles for cage groups of submerged 2025-generation (A) and surface-produced 2023-generation (B) rainbow trout.

I den overflateproduserte 2023 generasjonen ble de fleste velferdsobservasjoner, utenom finneskader, i hovedsak klassifisert som skår 0 på tvers av merdgrupper, og velferdskategorier 1–3 forekom sjelden (Figur 3.5A). Finneskader skilte seg tydelig fra de øvrige indikatorene hvor 53,9 % av observasjonene hadde finneskade med skår 1–3, hovedsakelig skår 2 (33,2 %) og skår 3 (11,7 %). Dette mønsteret var konsistent på tvers av merdgrupper. Skjelltap hadde den nest høyeste prevalensen, men hovedsakelig dominert av skår 1. Rygg- og snutedeformiteter var generelt uvanlige, med kun lave andeler moderate eller alvorlige. Samlet sett, med unntak av finneskader, var forskjellene mellom merdgruppene små.

3.4.4 - Fiskehelse

Samlet sett var sykdomsforekomsten lav i begge generasjoner, basert på interne observasjoner av fiskehelse fra Hofseth Aqua (fiskehelsebiolog ved Hofseth Aqua, personlig meddelelse, 2026). Bakteriologiske funn knyttet til disse tilfellene omfattet *Vibrio splendidus*, *V. tapetis* og *V. logei*. I den overflateproduserte 2023 generasjonen ble det rapportert enkelte tilfeller av uspesifikk gjellebetennelse og uspesifikk hjertelidelse, men disse funnene forekom hos et begrenset antall individer eller i prøver fra døde fisk og ble derfor vurdert å representere relativt lav prevalens.

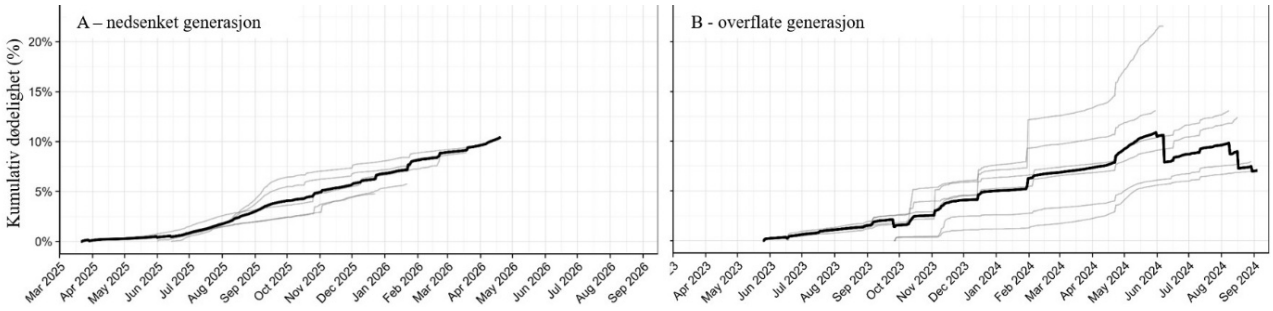
Sårrelatert dødelighet var sammenlignbar mellom generasjonene, med 2,8 % i 2025 generasjonen og 2,3 % i 2023-generasjonen. Akutt dødelighet knyttet til avlusing var derimot markert redusert, fra 4,3 % av antall ved

utsett i 2023 til 0,8 % i 2025 generasjonen. Dette tilsvarer en reduksjon på om lag 81 % i avlusingsrelatert dødelighet og antas å ha bidratt vesentlig til den noe lavere totale dødeligheten i 2025-generasjonen. Siden total dødelighet var lavere i 2025, utgjorde sår en større andel av registrerte dødsfall i 2025 enn i 2023-generasjonen (39 % i 2025-generasjonen og 19 % i 2023-generasjonen).

I løpet av 2025 oppsto det en algeoppblomstring i fjorden i mars. I henhold til interne observasjoner fra Hofseth Aqua rapporterte øvrige lokaliteter med fisk i overflatebaserte merder i fjorden endret fiskeatferd eller økt dødelighet i denne perioden, mens den nedsenkede fisken på Bugane syntes upåvirket. Det ble ikke observert noen tydelig økning i dødelighet eller endringer i atferd ved Bugane under algeoppblomstringen.

3.4.5 - Dødelighet

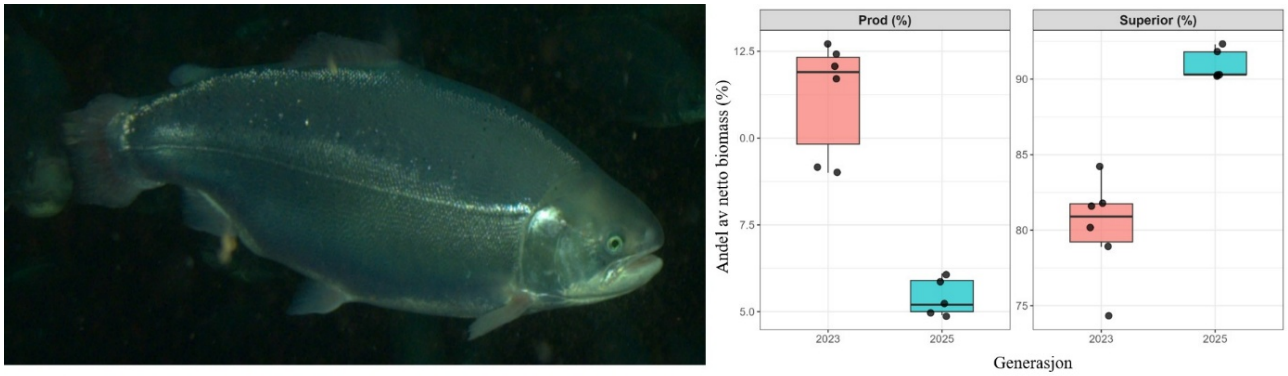
Akkumulert dødelighet var overordnet lik mellom produksjonene, men med noe lavere nivå for nedsenkede merder (7±2 %) enn overflatebaserte (10±4 %) merder. Justert for varighet var dødelighetsratene 0,022% dag^{-1} for 2025 og 0,026% dag^{-1} for 2023 generasjonene. Når den høye dødeligheten i en uteliggende merdgruppe i 2023 ble ekskludert, var raten for 2023 identisk med 2025. Antall dager i sjø hadde heller ingen signifikant effekt på daglig dødelighet, noe som indikerer at det ikke var noen tydelig endring i daglig dødelighet over tid. De kumulative kurvene viser flere tydelige trinnvise økninger, spesielt i 2023 generasjonen (Figur 3.7). Disse trinnene indikerer perioder der dødeligheten økte brått heller enn gradvis og ofte i etterkant av avlusing (Figur 3.7 og 3.9).



Figur 3.7. Akkumulert dødelighet for merdgrupper (grå stiplet linje) og gjennomsnitt (svart linje) for nedsenkete 2025 generasjon (A) og overflateproduserte 2023 generasjon (B) av regnbueørret. Cumulative mortality for cage groups (grey dashed lines) and the average (black line) for submerged 2025-generation (A) and surface-produced 2023-generation (B) rainbow trout.

3.4.6 - Slaktekvalitet

Andelen produksjonsfisk var signifikant lavere i den nedsenkete 2025 produksjonen enn i den overflateproduserte 2023 generasjonen. Produksjonsfisk utgjorde 11,2 % av nettobiomassen i 2023, sammenlignet med 5,4 % i 2025, tilsvarende en reduksjon på 5,8 prosentpoeng (Figur 3.8). Superior-fisk utgjorde 80,2 % av nettobiomassen i 2023 generasjonen og var signifikant høyere i 2025 generasjonen med 91,0 %.



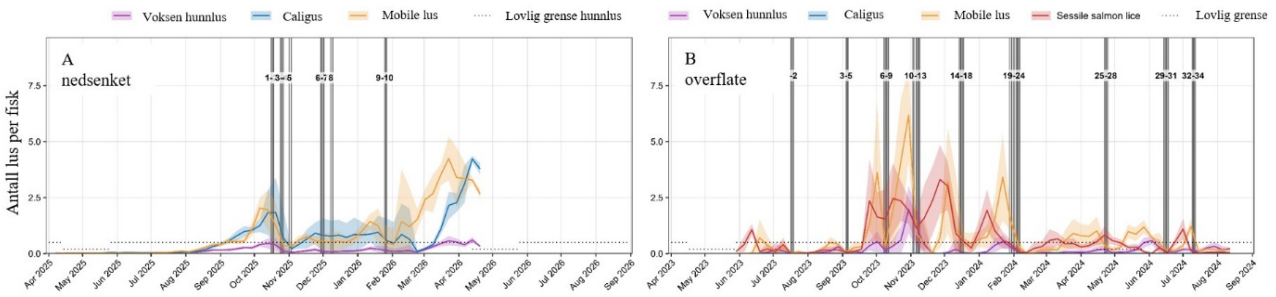
Figur 3.8. Bilde av regnbueørret (Myklebust, 2026/ Aquabyte) og boksplott som viser prosentandelen av nettobiomassen klassifisert som henholdsvis produksjon og superior fisk for 2025 og 2023 generasjonen. Enkeltpunkter representerer separate merdgrupper. Boksene viser interkvartilområdet, horisontale linjer angir medianen, og «whiskers» viser variasjonsområdet ekskludert individuelt plottede observasjoner. Photo of rainbow trout (Myklebust, 2026/ Aquabyte). Boxplots show the proportion of net biomass respectively classified as Production fish (%) and Superior fish (%) for 2025 and 2023 generation. Individual points represent separate fish groups. Boxes represent the interquartile range, horizontal lines indicate the median, and whiskers show the range excluding individual plotted observations.

3.4.7 - Lus og avlusinger

I 2025-generasjonen lå lusenivåene lavt og stabilt over en lengre periode, og de første avlusingsbehandlingene ble gjennomført etter omkring sju måneder (Figur 3.9A). I 2023 generasjonen økte lusemengden tidligere, og avlusingsbehandlinger ble igangsatt etter to måneder (Figur 3.9B). Forekomsten av voksne hunnlus av lakselus var signifikant høyere i 2023 enn i 2025, med gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0,21 og 0,13 lus per fisk. De manuelle tellingene i overflatemerdene registrerte høyt lusepåslag høsten 2023 og inn i vinteren 2024. Ettersom automatiske tellinger med kamera i de nedsenkete merdene ikke klarer å observere fastsittende er ikke slike påslagsmønstre synlige på samme måte.

Det var færre avlusingsbehandlinger i den nedsenkede produksjonen med gjennomsnittlig 2 avlusinger per merd (1- 3) sammenlignet med 7,5 per merd (6-9) i overflateproduksjonen. Dette tilsvarer en reduksjon på 73 % i behandlingsfrekvens. Nedsenket fisk ble først behandlet over 4 måneder senere enn for den overflateproduserte. Behandlingsmetodene varierte mellom produksjonssyklene. I 2023 ble flere ikke-medikamentelle tilnærminger benyttet, inkludert termisk behandling med Thermolicer, mekanisk børste-/spylebehandling med SkaMik, temperaturkontrollert vannbehandling med OptiLice og kombinerte ferskvanns- og termiske behandlinger. I 2025 ble det kun brukt kombinasjonsbehandlinger.

Caligus ble sjelden registrert i 2023-generasjonen, med totalt åtte individer gjennom hele produksjonssyklusen. I den nedsenkete 2025-generasjonen var voksne Caligus derimot vanlige, med en gjennomsnittlig forekomst på 0,54 per fisk.

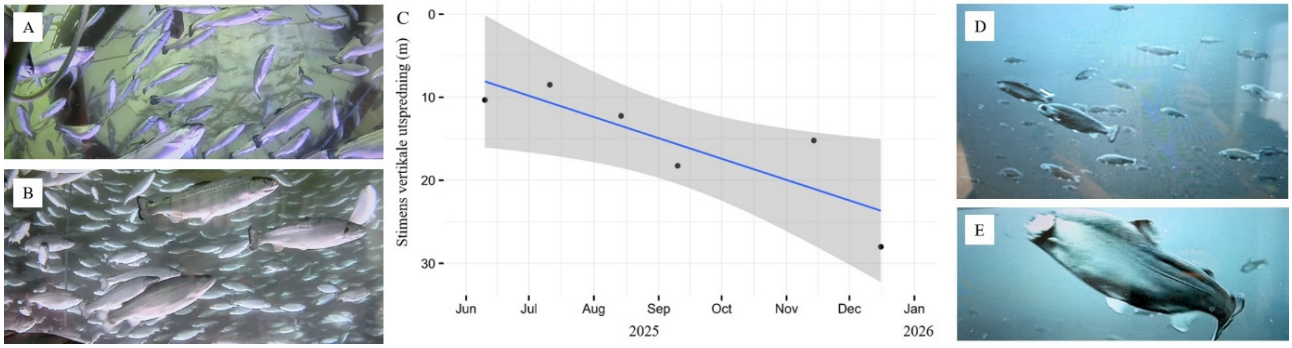


Figur 3.9. Gjennomsnittlig ukentlige antall lakselus (voksen hunnlus, mobile lus, fastsittende) og caligus samt akkumulerte gjennomførte merdavlusinger (vertikale linjer) i den nedsenkete 2025 (A) og overflate produserte 2023 generasjonen (B). Fargede områder angir standardavvik (SD) mellom merdgrupper. Den stiplede linjen angir det regulatoriske terskelnivået for voksne hunnlus av lakselus. Average weekly number of salmon lice (adult female lice, mobile lice and sessile stages) and Caligus , as well as accumulated cage delousing treatments (vertical lines) in the submerged 2025 generation (A) and the surface produced 2023 generation (B). Coloured areas indicate standard deviation (SD) between cage groups. The dotted line indicates the regulatory threshold level for adult female salmon lice.

3.4.8 - Atferd

Under månedlige lokalitetsbesøk ble fisken observert med dybdejusterbare kamera på dagtid. Den øvre delen av hovedstimen holdt seg nær merdtaket og luftkuppelen, og det ble ikke registrert noen signifikant endring i dybde over tid. Fiskestimens vertikalutbredelse endret seg derimot over tid ettersom den nedre delen av stimen gradvis svømte dypere. Avstanden mellom hovedstimens øvre og nedre observerte dyp økte fra 10 til 28 m fra juni til desember 2025 (Figur 3.10). Økt utspredning og dypere svømming samsvarte med økningen i fiskens størrelse og den totale biomassen i merden. Fiskens utbredelse på dagtid i juni og juli var omtrent fra kuppel og not-takets dybde på 23 meter og nedover til omtrent 33 m dyp. I desember sto fisken fra omtrent 23 til 40 m dyp. En mindre gruppe fisk ble observert under hovedstimen og okkuperte den dypeste delen av merden, med en gjennomsnittlig dybde på 54 m.

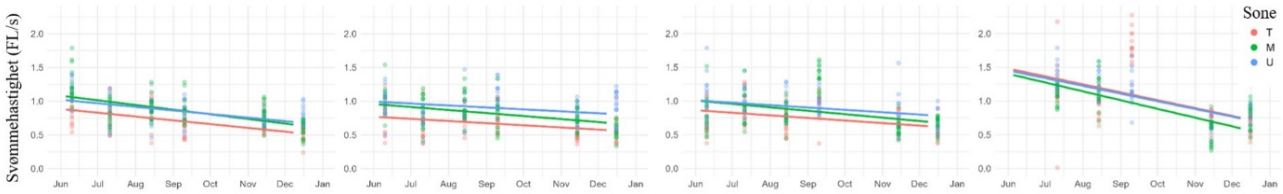
Den generelle vurderingen var at fisk innenfor hovedstimen i hovedsak besto av individer med normal og tilsynelatende god helse, mens den dypere svømmende «bunnfisken», fra noen hundre til noen få tusen individer, hadde en langt høyere forekomst av fisk med redusert helsestatus. Disse var karakterisert ved ryggdeformiteter og små, avmagrende individer, eller en kombinasjon av disse. Det ble også observert at mange av de dypere svømmende fisken hadde en tydelig skrå eller skjev tiltvinkel. Den dyperesvømmende gruppen ble observert fra dag 1, og ble ikke observert til å endre seg over tid. Det ble ikke observert noe mønster på at taperfisk oppholdt seg i nærheten av luftkuppelen. Såkalte flytere (døde eller døende regnbueørret) ble ikke sett i merdene og heller ikke oppunder kuppelen i periodene med intensiv observasjon.



Figur 3.10 Foto av regnbueørret i nedsenket merd oppunder luftkuppel (A), i hovedstimen (B), vertikal utspredelse gitt som avstand mellom hovedstimens topp til bunn ved månedlige observasjoner (C) og foto av dypere svømmende fisk i merden (D) med zoom av et enkeltindivid med tydelig deformitet og tiltet svømming (E). Foto: Frode Oppedal. Images of rainbow trout in a submerged cage swimming just below the air dome (A) and in the main school (B), the vertical distribution expressed as the distance from the top to the bottom of the main school during monthly observations (C), and images from the minor group of fish swimming deeper in the cage (D), with a close-up of an individual showing a distinct deformity and tilted swimming posture (E). Photo: Frode Oppedal.

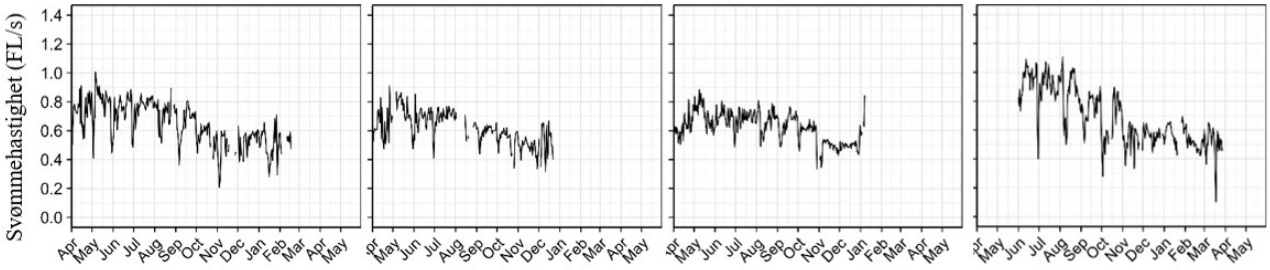
3.4.9 - Svømmehastighet

Svømmehastighet observert månedlig varierte fra omtrent 0,5 til 1,5 FL^{-S}, med effekt av observasjonsdyp, fiskegruppe og en generell nedgang over tid (Figur 3.11). På tvers av alle fiskegrupper var gjennomsnittlig svømmehastighet lavest i den øvre sonen (T, for topp) med 0.79 FL/s. I samtlige merder og dyp svømte regnbueørreten saktere over tid og med økende kroppsstørrelse. Det var en liten, men signifikant effekt av vertikalposisjon innad i merdstimen, hvor raskere hastighet ble observert i de dypere sonene. Svømmehastighet varierte noe mellom merder hvor de gjennomsnittlig svømte på 0,80-0,85 FL^{-S} i 3 merder og 1,0 FL^{-S} i den fjerde (Figur 3.11). Den fjerde merden ble satt ut 2-4 måneder senere enn de 3 første merder, men med omtrent samme vekt ved utsett.



Figur 3.11. Regnbueørret sin svømmehastighet (fiskelengder per sekund) i 4 ulike nedsenkete merder observert fra lokalitetsbesøk. Punkter representerer enkeltobservasjoner, mens linjer viser modellerte lineære trender for hver sone: øvre sone (T), midtre sone (M) og nedre sone (U). Rainbow trout swimming speed (body lengths per second) in four different submerged cages, observed during site visits. Points represent individual observations, while lines show modelled linear trends for each zone: upper zone (T), middle zone (M), and lower zone (U).

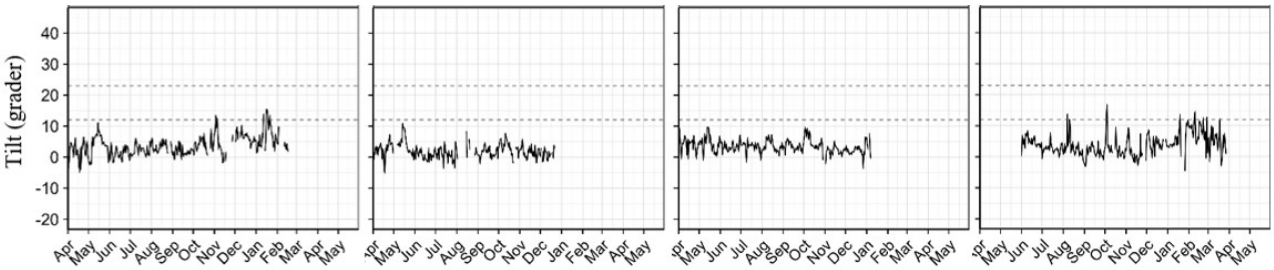
Svømmehastighet observert automatisk hver dag med kamerasystemets mjukvare viste en generell synkende trend gjennom produksjonsperioden med verdier fra omtrent 1 til 0,5 FL^{-S} med økende fiskestørrelse og tid i sjøen (Figur 3.12). Gjennomsnittlig svømmehastighet varierte mellom 0,61 til 0,69 FL^{-S} mellom merdgruppene med samme rangering som ved de månedlige manuelle observasjoner. Selv om svømmehastigheten generelt avtok over tid, var styrken på denne nedgangen ulik mellom merdgruppene.



Figur 3.12. Regnbueørret sin daglige svømmehastighet (fiskelengder per sekund) i 4 ulike nedsenkete merder observert automatisk via kamerasystem på ett representativt dyp i merden. Daily average swimming speed (body lengths per second) in rainbow trout within four different submerged cages, automatically recorded by a camera system at one representative depth in each cage.

3.4.10 - Tilt

Regnbueørreten sin tiltvinkel ble registrert daglig via Aquabyte kamera og tilhørende programvare. Tilt-vinkel varierte mellom merdgruppene, men verdiene var generelt lave og lå i hovedsak under den forhåndsdefinerte terskelen for normal kroppsstilling (12°) gjennom hele overvåkingsperioden (Figur 3.13).



Figur 3.13. Regnbueørret sin daglige tilvinkel (grader) i 4 ulike nedsenkete merder observert automatisk via kamerasystem på ett representativt dyp i merden. De stiplede horisontale linjene angir tersklene som ble brukt til å klassifisere tilt vinkel, der 12° skiller normal fra moderat tilt, og 23° skiller mellom moderat og alvorlig tilt. Rainbow trout daily tilt angle (degrees) in four different submerged cages, automatically recorded by a camera system at one representative depth in each cage. The horizontal dashed lines indicate the thresholds used to classify tilt angle: 12° separates normal from moderate tilt, while 23° separates moderate from severe tilt.

3.4.11 - Atferd under heving og senking

Oppdretter oppgir generelt at nedsenkning av merder med hastigheter på omtrent én time synes tilstrekkelig mens andre bruker lenger tid, spesielt dersom det er store gradienter i temperatur. Under oppstigning brukes kamerabasert overvåking for å vurdere fiskevelferd og eventuelt behov for pauser for å redusere panikk eller uregelmessig atferd. Lokalitetens driftsleder ved Bugane observerte at om lag 2 % av regnbueørreten i én merd viste uregelmessig atferd (utras, utbrudd, panikksvømming) som opphørte da all fisk ble løftet høyere i vannsøylen. Denne uønskede atferden ble ikke observert igjen. Oppdretteren antok at dette kunne være en svært liten, «nevrotisk» og overfølsom undergruppe på noen få tusen fisk. Spekulasjoner om hva dette kan skyldes kan innebære fysiologiske defekter, bobledannelse eller overfylt svømmeblære ved trykkendring men slike sammenhenger er ikke kjent. Hvis lignende utras observeres i flere produksjoner bør dette undersøkes nærmere.

3.5 - Oppsummerende diskusjon

I tråd med forsøket i forskningsskala håndterte regnbueørret også nedsenkning godt i kommersielle merder. I dette mer realistiske og relevante industrielle produksjonssystemet var fordelene med nedsenkning, i form av mindre luseutfordringer meget tydelige. Påslag av lakselus kom mye senere og på lavere nivå under nedsenket produksjonen sammenlignet med generasjonen før som ble produsert i overflaten på samme lokalitet. Behovet for å gjennomføre første lusebehandling ble utsatt med 5 måneder og frekvens redusert til omtrent en fjerdedel, noe som ga bedre velferd for fisken og lavere avlusingskostnader for oppdretter. Atferd, tilvekst, dødelighet, velferdskår og slaktekvalitet var innenfor normale og akseptable rammer.

En direkte sammenligning mellom den nedsenkede og den forrige generasjonens produksjon er ikke rett fram gitt ulike årsklasser, fiskestørrelse ved utsett, tidspunkt på året for utsett, fotoperiode (overflate: naturlig lys, nedsenket: kontinuerlig lys), metode for velferdsvurdering og lusetelling (overflate: manuelt, nedsenket: automatisk med kamera) og temperaturforhold. Ulik observasjonsmetode kan delvis ha påvirket innslag av finneskader. TGC kan være påvirket av kontinuerlig versus naturlig lys. Men sammenligning med historiske produksjonsdata er fortsatt verdifulle i kommersielle akvakulturstudier, der etablering av eksperimentelle kontrollgrupper ofte er upraktisk. Industriell nedsenket oppdrett er nytt for regnbueørret, og disse data representerer den første produksjonen i full kommersiell skala. Bruk av månedlige feltbesøk og mer forskningsbaserte observasjoner gir nyttige gjentatte registreringer av fiskens atferd, velferd og miljøforhold i tillegg til standard produksjonsdata og nyutviklet automatiske kamerabaserte registreringer. Denne tilnærmingen ga en bredere velferdsvurdering enn observasjonene gjennomført av oppdretter alene. Vi erfarte likevel at enda hyppigere besøk, spesielt i den tidlige fasen etter utsett og mot slutten av produksjonsperioden, ville ha økt den tidsmessige oppløsningen i datasettet og forbedret muligheten til å bedre koble miljøvariasjon, fiskeatferd, utvikling av lus og velferd.

Nedsenket drift som metode reduserte behovet for avlusing betraktelig sammenlignet med tidligere produsert generasjon på lokaliteten (minus 73%), og oppdretter var meget fornøyd med metodens effekt. Sammenlignbare anlegg i fjorden viser at deres avlusingsfrekvens ligger i størrelsesorden som ved forrige generasjon (Barentswatch, 2023-2026). Dette innebærer at lusepresset mellom generasjonene har vært betydelig og i samme størrelse, som igjen styrker hovedkonklusjonen i studiet om at det er en klar positiv effekt av å produsere fisken dypere og dermed unna mye av påslaget av luselarver. Tidligere kommersielle observasjoner av dypdrift i 8 anlegg med laks viser at antall lusebehandlinger ble redusert til 1/7 i forhold til 6 omkringliggende anlegg (Høvik, 2025). Dette tilsvarer en gjennomsnittlig nedgang i avlusingsfrekvens på 86%, som er i samme størrelsesorden som de 73% beregnet for regnbueørreten i denne studien.

Den økte mengden av Caligus hos den nedsenkete fisken kan skyldes at luselarvene hos denne arten befinner seg på større dyp enn lakseluslarver. Dette er ikke undersøkt i detalj, med det er antydet at så kan være tilfelle selv om Caligus larver også er funnet nær overflaten. Et studie på *Caligus rogercresseyi* i Chile indikere at denne Caligus art har mer kopepodittlarver i overflaten enn på 15 og 25 m dyp (Molinet et al., 2011), altså lik utbredelse som forventet for lakselus. En annen mulighet er at Caligus, som lever på en rekke fiskeslag, oftere bytter vert og dermed har kommet på regnbueørreten som en voksen lus i det mobile stadiet.

Det kan antydes at de relativt høyere og mer stabile temperaturene som de nedsenkede fisken opplevde kan ha gitt bedre vekstbetingelser (15% bedre TGC), spesielt i perioder hvor overflatevannet var kaldere. Redusert antall utfordrende avlusinger og færre fastedager kan også ha gitt positiv veksteffekt og forklare kortere produksjonstid i generasjonen med nedsenket drift. Oksygennivå ble ikke vurdert som direkte begrensende for noen grupper, selv om det på generelt grunnlag oftere måles lavt oksygen nede i dypet enn nær overflaten, spesielt ved en del fjordlokaliteter (Skagseth et al., 2025). Men eksakt hvilken parameter/ påvirkning som var viktigst for den forbedrede tilvekst i nedsenkete merder kan ikke trekkes frem basert på eksisterende

datagrunnlag.

Når prosent oksygenmetning på 30 m dyp var nede mot 70% i en periode i juni (ca 8°C) og desember (9-12°C) kan dette ha påvirket fisken i negativ retning, spesielt i desember. Grenseverdier for nedsatt appetitt ligger i området 43-54% for 8°C; 55-66% for 11-15°C for fiskestørrelser på 0,5 kg (Remen et al., 2016), mens høyere grenseverdier antas for større fisk. På lang sikt ville disse nivåene muligens påvirke appetitt og andre parametere som eksempelvis motstand mo sykdom. Lignende og langvarige nivåer ga negativ påvirkning på sårutvikling hos større laks (Warren-Myers et al., 2022). Det er viktig å kjenne oksygennivå for lokaliteten på forhånd og utføre målinger underveis for å sikre god nedsenket drift på egnete dypdriftslokaliteter.

Gjennomsnittlig kumulativ dødelighet var sammenlignbar mellom den nedsenkete 2025-generasjon vs. den overflatebaserte 2023-generasjonen. En betydelig andel av dødeligheten i 2023-generasjonen var knyttet til avlusingshendelser, mens dette i mindre grad var tydelig i 2025-generasjonen, i tråd med en markant lavere avlusingsfrekvens. I 2023-generasjonen økte dødeligheten mer trinnvis, særlig i perioder som sannsynligvis var knyttet til avlusing og håndtering. Dette mønsteret er i samsvar med at avlusingsbehandlinger og tilhørende håndtering kan øke dødelighetsrisiko og redusere velferd hos oppdrettede laksefisk (Moldal et al., 2026; Oliveira et al., 2021; Overton et al., 2019). Det bør påpekes at 2025-generasjonen ble satt i sjø ved en større fiskestørrelse enn 2023-generasjonen, og at dødelighet knyttet til denne tidligere livsfasen derfor ikke fanges opp for 2025-fisken. Men dødeligheten de første månedene i sjø var imidlertid lav i 2023-generasjonen, noe som tilsier at denne forskjellen sannsynligvis hadde begrenset betydning for den overordnede sammenligningen. Gjennomsnittlig akkumulerte dødelighet for regnbueørret i sjøfasen i 2025 var omtrent 17% (Moldal et al., 2026; Grefsrud et al., 2026) og nivået i de nedsenkede merdene var dermed under halvparten av nivået generelt i næringen.

De automatiske velferdsregistreringene viste høy grad av likhet med velferdsskår hentet fra historiske data for 2023 generasjonen og kan tyde på at velferdsstatusen i 2025 generasjonen generelt var god. Men finneslitasje/-skader var betydelig høyere i overflateproduksjonen og vi kan anta at dette, i hvert fall delvis, hadde en direkte sammenheng med økt avlusingsfrekvens. Det kan nevnes at utvalget av fisk som skåres med kamera plassert midt i hovedstimen for den nedsenkete produksjonen kan ha gitt et tidvis annerledes representativitet i uttak enn manuelt uttak med not og håv.

Fisk med ryggdeformiteter er et vanlig velferdsproblem hos oppdrettet regnbueørret (Fjelldal et al., 2025) og var allerede til stede ved utsett hos den nedsenkede fisken, spesielt observerbart blant fisk som svømte dypt i merdene.

Den høyere andelen fisk med kvalitetsklassen "superior" ved slakt i den nedsenkede produksjonen enn i den tidligere overflatebaserte, tyder på at mindre håndtering kan ha vært gunstig for den nedsenkede regnbueørreten.

Den observerte atferden hos fisken på dagtid i kommersiell skala var lik den som ble observert i forskningsskala, noe som tyder på effektiv bruk av luftkuppelen. Fiskens vertikale fordeling holdt seg hovedsakelig i den øvre delen av merden og dermed i nærheten av luftkuppelen, lyssettingen og fôringsområdet. Tilsvarende svømmedyp og vertikal utspredning er vanlig observert i merder hvor både laks og regnbueørret tiltrekkes mot overflaten (spesielt om natten), det varmeste vannet tilgjengelig (oftest øverst i merden), fôr eller fôringsområde og kunstig lys (Oppedal et al., 2011). For den nedsenkete regnbueørreten var det varmeste vannet alltid tilgjengelig grunnest i merden, selv om temperaturforskjeller var minimale (Figur 3.2). Selv med små variasjoner (0,2-0,5 °C) så velger laks det varmeste vannet i stedet for å bli styrt av lys (Stien et al., 2014).

Sub-grupper av fisk som svømte dypt i merdene og med en tydelig høy andel deformerte fisk, kan tyde på at svakere prestasjoner hos individer i nedsenket produksjon henger sammen med at de holder seg dypere, i kontrast til den mer overflateorienterte fordelingen av taperfisk som ofte sees hos atlantisk laks i merder (Vindas et al., 2016; Sauphar et al., 2023). Næringsaktørene i referansgruppen gir innspill på at syk eller taperatferd hos laks i nedsenket drift observeres som normalt, dvs grunt, oppunder tak og kuppel, spesielt i perioder når IPN og PD er påvist/ har utbrudd. Den observerte dypere svømming av mer deformerte individer krever ytterligere studier for å bekrefte eller avkrefte. Muligens kan det være sammenhenger mellom deformiteter og økte utfordringer med oppdrift i nedsenkete merder. Uansett må dette sees på som en mulig velferdsutfordring for fisken, selv om den ikke skyldes nedsenket drift i seg selv. Dersom deformitetene er betydelige og åpenbart av en slik karakter at de går ut over individenes velferd, bør denne fisken vurderes utsortert. En slik operasjon i nedsenkete merder er utfordrende og ved behov bør det utredes for mulige løsninger. Men en enklere løsning er å gjennomføre bedre sorteing før fisken overføres til merder i sjø. Det er ukjent om lignende undergrupper av deformert fisk også finnes i standard overflatemerder hvor lignende behov i så fall kan være til stede.

3.6 - Fremtidig nedsenket produksjon av regnbueørret

Samlet viser resultatene at kommersiell nedsenket produksjon av regnbueørret er en gjennomførbar strategi for å redusere eksponering for lakselus, samtidig som god vekst, overlevelse og velferd opprettholdes. Produksjon av regnbueørret i nedsenkede merder kan sammenlignes med resultatene som er gjentagende sett hos atlantisk laks. Det var minimale velferdsutfordringer, lave dødelighetsrater, og slaktekvaliteten var over industrisnittet. Den tydeligste begrensningen ved å holde regnbueørret i nedsenkede forsøksmerder var at dypere vann var kaldere enn i overflatemerdene, noe som ga lavere tilvekst. Det motsatte ble observert i forsøket i kommersiell skala, der nedsenket fisk opplevde tidvis noe varmere vann, færre avlusinger/ fasteperioder og dermed jevnere tilvekst. Men denne fordelen kunne også skyldes andre forskjeller mellom de sammenlignende generasjoner og ulike sesongmiljø. Flere produksjonssykluser er nødvendig for å vurdere langsiktig ytelse fullt ut og for å videreutvikle overvåkingsmetoder for nedsenkede systemer. Den tydelig reduserende effekten på mengde lakselus og avlusingsfrekvens ved det kommersielle anlegget med regnbueørret representerer kun en produsert generasjon ved en lokalitet. Det er nødvendig med repetisjon med flere generasjoner og for flere lokaliteter for å ytterligere bekrefte effekten av nedsenket drift på regnbueørret.

På en del lokaliteter vil man måtte vurdere avveininger mellom å ha lavere lusenivåer, men lengre produksjonstid, dersom nedsenket fisk holdes i et kaldere miljø.

4 - Fremtidig nedsenket drift av regnbueørret

4.1 - Nedsenket regnbueørret - prosjektets hovedfunn og måloppnåelse

4.1.1 - Hovedfunn

Hovedfunnene kan oppsummeres i følgende kulepunkt.

- Regnbueørret egner seg for produksjon i nedsenkete forsøksmerder. Fiskens atferd var normal med fylling av svømmeblære i luftkuppelen med tilstrekkelig frekvens, svømmehastighet var innenfor 0,4-0,8 fiskelengder per sekund, ingen tiltet fisk ble observert, volum av luft i svømmeblære tilsvarte overflategruppene og ble bekreftet med måling av ekkostyrke. Den dypere vertikale fordelingen, spesielt på vår/ sommer, ga opplevelse av lavere temperatur som ga tidvis redusert tilvekst som også er sannsynlig årsak til bedre velferd gjennom redusert andel av ryggradsdeformiteter og buklordose. Andre velferdsmål, -skåring, slaktekvalitet, kondisjon og dødelighet var lik som i overflateproduksjon og godt innenfor normale rammer. Det var noe mer lus som sannsynligvis skyldtes at den nedsenkete regnbueørreten ble holdt unna det kalde dypvannet utover høsten og plassert innunder haloklinen hvor forventet lusepress er høyt, men temperaturen og tilvekst bedre.
- Regnbueørreten ble stresset og skrubbet oppunder taket når det var tomt for luft i kuppelen, men responderte moderat på brå endringer av kunstig belysning.
- Kommersiell nedsenket produksjon av regnbueørret er en gjennomførbar strategi for å redusere påslag av lakselus og behov for avlusing. Første lusebehandling ble utsatt med 5 måneder og avlusingsfrekvens redusert til omtrent en fjerdedel i forhold til historisk produksjon ved samme lokalitet. Samtidig ble normal appetitt, god tilvekst, overlevelse og velferd opprettholdt. Det var minimale velferdsutfordringer, lave dødelighetsrater og økt slaktekvalitet. Svømmehastighet sank fra 1,5 til 0,5 fiskelengder per sekund med økende fiskestørrelse, ugunstig tilt ble knapt observert og fisken utnyttet merdvolum som forventet. Økt mengde Caligus ble funnet hos den nedsenkete fisken.
- Men, det kommersielle produksjonsresultat hviler på én lokalitet, én generasjon sammenlignet med en historisk kontroll. Ytterligere nedsenkete produksjoner med regnbueørret vil vise hvilke variasjoner som finnes og lede til en endelig konklusjon for nivåer av den lusereduserende effekt.

4.1.2 - Måloppnåelse

Basert på hovedfunn og tilhørende detaljer i de øvrige kapitler går det klart frem at arbeidet nådd målene som var skissert i prosjektet. Regnbueørret er undersøkt og dokumentert funnet egnet for nedsenket drift med luftkuppel i forhold til atferd, svømmeblærefylling og -hastighet, tiltvinkel, tilvekst, kondisjon, velferd, kommersielt lusepåslag, produksjonseffektivitet og slaktekvalitet, men med økt mengde Caligus. Det er ikke anbefalt at kuppel forblir tom for luft i flere dager, men forventede utras ble ikke sett i store fiskegrupper og flytere ble ikke observert.

Prosjektets metode med først å gjennomføre mellom-skala forsøk for å avdekke egnethet med få, men realistisk antall individer og vitenskapelig replisering av merder ga et godt utgangspunkt for deretter å sette i gang med mer tilrettelagt kommersiell produksjon. På denne måten kunne teknologisk og prinsipiell egnethet vises i et oppsett hvor flere av de tre R'er i forsøksdesign kunne brukes (Reduction-Refinement-Replacement) fremfor å teste direkte med flere hundre tusen fisk. Men overføringsverdien av mellom-skala forsøk kunne vært enda bedre dersom kuplene hadde stått dypere (eksempelvis på 23-25 m som de kommersielle) enn 13 og deretter 5 m. Denne avveiing ble gjort i forhold til at de stratifiserte temperatur og oksygenforholdene ved den gjeldene forsøksfasiliteten ikke skulle få for stor betydning. Denne avgjørelsen bygget på tidligere erfaring med 15 m

(Warren-Myers et al., 2022) versus 3-5 m (Warren-Myers et al., 2024) kuppeldyp benyttet for ulike forsøk med laks.

4.1.3 - Manglende kunnskap

Fortsatt vet vi for lite om hvordan det kan være en fordel å utnytte ulike dyp gjennom året, best egnet tidspunkt og størrelse ved nedsenkning for ulike lokaliteter, vertikal hastighet på merder ved senkning og heving, optimal lysbruk gjennom alle sesonger, oppfølging av eventuelle fiskegrupper nær bunnen og overvåking av Caligus i nedsenket drift for både regnbueørret og laks. Det ble observert panikkutbrudd hos en meget liten andel fisk i en merd under en heving, noe man bør se etter i fremtidige produksjoner og eventuelt avdekke årsakssammenhenger. Ytterligere nedsenkete produksjoner med regnbueørret vil vise hvilke variasjoner som finnes og lede til mer nyanserte diskusjoner for nivåer av den lusereduserende effekt og eventuelle forskjeller i atferd mellom fiskegrupper og lokalitetsmiljø.

4.1.4 - Leveranser

Overordnet oversikt over leveransene til prosjektet

- Forsøk utført 2024-2025 ved Havforskningsinstituttet og rapportert
- Kommersiell nedsenket produksjon 2025-2026 fulgt og rapportert
- Referansegruppemøter avholdt og dokumentert
- Statusrapporter levert
- Presentasjoner avholdt og flere vil holdes
- Vitenskapelig manus innsendt
- Faglig sluttrapportering laget (tidligere utkast pluss denne rapport)
- PPT med viktigste funn leveres etter foredrag på FHF dialogmøte 18 nov.
- Pressemelding (vil bli lagt ut på hi.no som oppfølger til denne rapport)
- Administrativ sluttrapport vil leveres i desember 2026

5 - Referanser

Aas, T.S., Åsgård, T., Ytrestøyl, T., 2022. Chemical composition of whole body and fillet of slaughter sized Atlantic salmon (Salmo salar) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farmed in Norway in 2020. Aquaculture Reports 25, 101252

Ablett RF, Marr CR, Roberts JD., 1989. Influence of chronic subsurface retention on swimming activity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in cold temperature conditions. Aquacult Eng. 8, 1-13

AOF, 2025. Sluttrapport Arctic Offshore Farming i utviklingstillatelser, Salmar, juni 2025. 46s

Barrett, L., Unneland Larsen, L.-T., Bui, S., Vågseth, T., Eide, E., Dempster, T., Oppedal, F., Folkedal, O., 2024. Post-smolt Atlantic salmon can regulate buoyancy in submerged sea-cages by gulping air bubbles. Aquacultural Engineering 102455.

Bégout Anras, M.L., Kadri, S., Juell, J.E., Hansen, T., 2000. Measuring individual and group swimming behaviour under production densities: test of a 3D multiple fish acoustic system in a sea cage. In: Moore, A., Russel, I. (Eds.), Advances in Fish Telemetry. CEFAS, Lowesoft Publication, pp. 75–78.

Bugrov L.Y.. 1992. Rainbow trout breeding in the submersible cages near offshore oil platforms. Aquaculture. 100, 169.

Brynjulfsen, E. Høisæther., 2023. Impacts of aeration and submergence on liquid accumulation in the swim bladder of farmed Atlantic salmon (Salmo salar L.). Master thesis. University of Bergen

Carbonara, P., Alfonso, S., Gai, F., Gasco, L., Palmegiano, G., Spedicato, M.T., Zupa, W. and Lembo, G., 2020. Moderate stocking density does not influence the behavioural and physiological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in organic aquaculture. Aquaculture Research, 51, 3007-3016.

Dempster, T., Korsøen, Ø., Folkedal, O., Juell, J.E., Oppedal, F., 2009. Submergence of Atlantic salmon (Salmo salar) in sea-cages: a potential short-term solution to poor surface conditions. Aquaculture 288, 254–263.

Fjelldal, P.G., Murugesan, S., Vågseth, T., Pedersen, A.Ø., Madaro, A., Bui, S., Kryvi, H., Stien, L.H. and Nilsson, J., 2025. Vertebral deformities in cultured big size Rainbow Trout: Radiological analysis from juvenile to harvest size. Aquaculture, 596, p.741729.

Fosseidengen, J.K., Boge, E., Huse, I., 1982. Forsøk med nedsenkbare bur for regnbueørret og laks. Norsk Fiskeoppdrett 10, 24–25.

Geitung, L., Barrett, L.T., Nola, V., Dalvin, S., Martinsen, L.V., Dahlgren, A., Oppedal, F., 2025. Crowding causes detachment and loss of mobile sea lice: Fine-meshed crowding nets may mitigate spread. Aquaculture Reports 42, 102784 https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102784

Glaropoulos, A., Stien, L.H., Folkedal, O., Dempster, T., Oppedal, F., 2019. Welfare, behaviour and feasibility of farming Atlantic salmon in submerged cages with weekly surface access to refill their swim bladders. Aquaculture 502, 332-337.

Grefsrud, E.S., Agnalt, A.-L., Andersen, L.B., Bui, S., Bøhn, T., Dalvin, S., Diserud, O., Dunlop, K. M., Escobar, R., Fiske, P., Folkedal, O., & Geitung, L., 2026. Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2026. Havforskningsinstituttet. Rapport fra havforskningen 2026-10.

Høvik, Cecilia Alexandra (2025) Growth, welfare and sea lice infestation of Atlantic salmon (Salmo salar) produced in submerged and surface cages. A comparative study across 12 paired full-scale commercial deployments. NTNU. https://hdl.handle.net/11250/3209036

Korsøen, Ø.J., Dempster, T., Fjelldal, P.G., Oppedal, F. and Kristiansen, T.S., 2009. Long-term culture of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in submerged cages during winter affects behaviour, growth and condition. Aquaculture. 296, 373-381

Korsøen, Ø., Fosseidengen, J.E., Kristiansen, T.S., Oppedal, F., Bui, S., Dempster, T., 2012. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a submerged sea-cage adapt rapidly to re-fill their swim bladders in an underwater air filled dome. Aquacult. Eng. 51, 1-6.

Lysø, N., 2023. Skåring av velferd hos atlantisk laks (Salmo salar L.) i nedsenkede kommersielle merder. Masteroppgave i Havbruk, Inst. for Biovitenskap, Universitetet i Bergen. 1 juni 2023. 106s

Macaulay G, Bui S, Oppedal F, Dempster T., 2020. Acclimating salmon as juveniles prepares them for a farmed life in sea-cages. Aquaculture 523, 735227

Mikheyev P, Meysner YV, Mikheyev V., 1970. The importance of contact with the air in the life of the rainbow trout. J Ichthyol. 10, 691-693.

Moldal, T., Wiik-Nielsen, J., Oliveira, V. H. S. de, Svendsen, J., Haukaas, A., & Sommerset, I., 2026. Fiskehelserapporten 2025. Veterinærinstituttetsrapportserienr.5a/2026

Molinet, C., Cáceres, M., Gonzalez, M.T., Carvajal, J., Asencio, G., Díaz, M., Díaz, P., Castro, M.T. and Codjambassis, J., 2011. Population dynamic of early stages of Caligus rogercresseyi in an embayment used for intensive salmon farms in Chilean inland seas. Aquaculture, 312, 62-71

Myklebust, E., 2026. Behaviour and performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in submerged commercial aquaculture: Master Thesis, University of Bergen, 109p.

Nilsson, J,. Gismervik, K., Nielsen, K:V., Iversen, M., Noble, C., Kolarevic J., Frotjold, H., Nilsen K., Wilkinson, E., Klakegg, B., Hauge, H., Sæther P.A., Kristiansen, T. og Stien L.H., 2022. Laksvel — Standardisert operasjonell velferdsovervåking for laks i matfiskanlegg. Rapport fra havforskningen 2022-14.

Olafsen, T, Holm, H., Ottesen, E., Tjølsen, J.I., 2021. Atlantis Subsea Farming 15 - Rapport fra produksjon på lokaliteten Otervika 2021. 54p. In Norwegian. https://www.akvagroup.no/atlantis-farming/

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, 14702.

Oppedal, F., 1995. Vekst, kvalitet, kjønnsmodning og atferd hos vårutsatt regnbueørret, (*Oncorhynchus mykiss*) holdt under naturlig og kontinuerlig lysregime i sjøvann. Hovedfagsoppgave, Institutt for fiskeri- og marinbiologi, Universitetet i Bergen. 30 juni 1995, 45s

Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. Aquaculture 311, 1-18.

Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D.W., Bui, S., Stien, L.H., 2017. Sea lice infestation levels decrease with deeper ‘snorkel’ barriers in Atlantic salmon sea-cages. Pest Management Science 73, 1935-1943.

Oppedal, F., Folkedal, O., Stien, L.H., Vågseth, T., Fosse, J.O., Dempster, T., Warren-Myers, F., 2020. Atlantic salmon cope in submerged cages when given access to an air dome that enables fish to maintain neutral buoyancy. Aquaculture 525. 735286

Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T., Gismervik, K., Stien L.H., 2019. Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. Reviews in Aquaculture, 11, 1398-1417.

Phillips, M.J., 1985. Behaviour of rainbow trout, Salmo gairdneri Richardson, in marine cages. Aquaculture Research 16, 223-232

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

Sauphar, C., Stolz, C., Tuene, S.A., Gansel, L.C., & Aas, G.K.F.H., 2024. Atlantic salmon (Salmo salar) distribution and vertical size-stratification in a commercial seacage: A case study. Aquaculture, 581, 740356.

Sievers, M., Korsøen, Ø., Warren-Myers, F., Oppedal, F., Macaulay, G., Folkedal, O., Dempster, T., 2022. Submerged cage aquaculture of marine fish: a review of the biological challenges and opportunities. Reviews in Aquaculture 14, 106-119

Skagseth, Ø., Oppedal, F., Søiland, H., Hvas, M., 2025. Measured oxygen levels in Norwegian waters and implications for future offshore Atlantic salmon aquaculture. Scientific Reports 15, 29416

Stien, L., Fosseidengen, J.E., Malm, M., Sveier, H., Torgersen, T., Wright, D.W., Oppedal, F., 2014. Low intensity light of different colours modifies Atlantic salmon depth use. Aquacultural Engineering 62, 42-48.

Sutterlin, A.M., Jokola, K.J., Holte, B., 1979. Swimming behaviour of salmonid fish in ocean pens. J. Fish. Res. Bd. Can. 36, 948–954.

Sutterlin A.M., and Stevens, E.D., 1992. Thermal behaviour of rainbow trout and Arctic char in cages moored in stratified water. Aquaculture, 65-75.

Vindas, M.A., Johansen, I.B., Folkedal, O., Höglund, E., Gorissen, M., Flik, G., Kristiansen, T.S. and Øverli, Ø., 2016. Brain serotonergic activation in growth-stunted farmed salmon: adaption versus pathology. Royal Society open science, 3(5), p.160030.

Warren-Myers F., Vågseth, T., Folkedal, O., Stien L.H., Fosse, J.O., Dempster, T., Oppedal, F., 2022. Full production cycle, commercial scale culture of salmon in submerged sea-cages with air domes reduces lice infestation, but creates production and welfare challenges. Aquaculture 548, 737570

Warren-Myers, F., Folkedal, O., Vågseth, T., Stien, LH., Fosse, JO., Dempster, T., Oppedal, F., 2024. Efficiency of salmon production in submerged cages with air domes matches standard surface cages when environments are similar. Aquaculture 740751

Witten, P.E., Gil-Martens, L., Huysseune, A., Takle, H. and Hjelde, K., 2009. Towards a classification and an understanding of developmental relationships of vertebral body malformations in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 295, 6-14.

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no